VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

NÁVRH BIOPLYNOVÉ STANICE

BIO-GAS POWERPLANT

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — BC.GABRIEL MÉSZÁROS
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — DOC. ING. JIRÍ POSPÍŠIL, PH.D.
SUPERVISOR

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav
Akademický rok:
2010/2011

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Gabriel Mészáros

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Energetické inženýrství (2301T035)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh bioplynové stanice

v anglickém jazyce:

Bio-gas power plant

Stručná charakteristika problematiky úkolu: Práce se zabývá produkcí bioplynu anaerobní fermentací a jeho následným energetickým využitím. Náplní práce je ucelený návrh bioplynové stanice v konkrétních podmínkách. Vlastní návrh bude doplněn o ekonomická hodnocení uvažované technologie.

Cíle diplomové práce:

1. Popis procesu anaerobní fermentace.
2. Přehled užívaných technologií bioplynových stanic a prvků stanici tvořící.
3. Návrh technologie a komponent pro konkrétní bioplynovou stanici.
4. Zpracování projekčního návrhu, volby jednotlivých komponent a návrhu uspořádání bioplynové stanice.
5. Technicko-ekonomické posouzení navrženého řešení.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na možnost využití biologicky rozložitelných materiálů (živočišný trus, energetické plodiny, rostlinný odpad) v bioplynové stanici.

První část se věnuje mechanizmu tvorby bioplynu. Jsou popsány faktory vplývající na produkci bioplynu, jeho složení, vlastnosti, možnosti využití a potenciální substráty. Další kapitole se zabývá užívanými technologiemi bioplynových stanic.

Hlavní část práce se věnuje návrhu konkrétní bioplynové stanice na území Slovenské republiky v Novozámockém okrese. Součástí je zpracování projekčního návrhu, volba jednotlivých komponent a návrhu uspořádání bioplynové stanice. Ekonomické hodnocení zahrnuje vyčíslení investičních a provozních nákladů a zisků z prodeje elektřiny a kompostu.

Klíčové slova

Anaerobní fermentace, bioplyn, návrh bioplynové stanice, ekonomika provozu

Abstract

The master's thesis is focused on the possibility of using biodegradable materials (animal manure, energy crops, crop waste) in a biogas plant.

The first part deals with the mechanism of production of biogas. Described are factors which affect the production of biogas, its composition, properties, utilization and potential substrates. The next chapter deals with the technologies of biogas plants.

The main part of the thesis is devoted to a proposal of a specific biogas plant in the Slovak Republic in the Novozámocký district. Included is the processing of design proposal, selection of components and proposal of the layout of biogas plant. The economic evaluation includes quantifying capital and operating costs and profits from the sale of electricity and compost.

Keywords

Anaerobic fermentation, biogas, biogas plant proposal, economic evaluation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MÉSZÁROS, G. *Návrh bioplynové stanice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 69 s. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Jiří Pospíšil, PH.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci *Návrh bioplynové stanice* vypracoval samostatně pod vedením Doc. Ing. Jiřího Pospíšila, PH.D a uvedl v seznamu literatury všechny použité literární a odborné zdroje.

V Brně dne 28. května 2011

.....

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své diplomové práce Doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, PH.D. za odborné vedení, rady a připomínky, které mi během vypracování diplomové práce poskytl. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu při studiu.

Obsah

Obsah ... 4
1 Úvod ... 6
2 Bioplyn ... 8
2.1 Proces tvorby bioplynu ... 9
2.1 Faktory vplývající na tvorbu bioplynu ... 12
2.1.1 Teplota ... 12
2.1.2 Hodnota pH ... 12
2.1.3 Vliv složení substrátu ... 13
2.1.4 Technologické faktory ... 13
2.1.5 Toxické a inhibující látky ... 13
2.2 Chemické složení bioplynu a jeho vlastnosti ... 14
2.2.1 Složení bioplynu ... 14
2.2.2 Vlastnosti bioplynu ... 14
2.3 Úprava a čištění bioplynu ... 15
2.4 Způsoby využití bioplynu ... 16
2.4.1 Kogenerace ... 16
2.4.2 Bioplyn jako pohonná látka ... 17
2.4.3 Dodávka BP do plynárenské sítě ... 17
2.5 Substráty využívané na tvorbu bioplynu ... 17
2.5.1 Zemědělské substráty ... 18
2.5.1.1 Živočišné odpady ... 19
2.5.1.2 Rostlinné odpady ... 19
2.5.2 Průmyslné substráty ... 20
2.5.3 Komunální substráty ... 20
2.5.4 Potenciál získávaní bioplynu v SR ... 21
3 Bioplynové stanice, technologie a prvky ... 22
3.1 Bioplynové technologie ... 24
3.1.1 Průtokový způsob ... 25
3.1.2 Kombinovaná průtoková metoda se zásobníkem ... 26
3.1.3 Dávkový způsob ... 26
3.1.4 Metoda střídání zásobníků ... 27
3.1.5 Metoda se zásobníkem ... 27
3.1.6 Proces se suchými substráty ... 28
3.2 Konstrukční řešení fermentorů ... 29
3.2.1 Horizontální typ ... 29
3.2.2 Vertikální typ fermentoru ... 30
3.3 Stavební technika a materiály pro vyhnívací nádrže ... 30
3.3.1 Plášť nádrže ... 30
3.3.2 Plynojem ... 31
3.3.3 Tepelná izolace ... 31
3.3.4 Fóliový poklop a kryt fermentoru ... 31
3.3.5 Nátěry, povlaky a těsnící materiály ... 33
3.4 Přípravné a skladovací nádrže, přímé plnění fermentoru ... 33
3.4.1 Přípravná nádrž ... 33
3.4.2 Skladovací nádrž (koncový sklad) ... 33
3.4.3 Dávkovací zařízení ... 34

3.5 Potrubí, čerpadla, armatury ... 34
3.5.1 Potrubí ... 34
3.5.2 Čerpadla ... 34
3.5.3 Armatury ... 35
3.6 Míchadla ... 36
3.7 Vytápění fermentorů ... 37
3.8 Kontrolní, měřící a ovládací zařízení ... 38
3.9 Fléra ... 39
3.10 Příprava a zpracování bioplynu ... 39
3.11 Technologie na využití bioplynu z BPS ... 40
3.11.1 Kogenerační jednotky (KGJ) ... 40
3.11.2 Trigenerace ... 41
3.11.3 Palivové články ... 41
4 Návrh bioplynové stanice ... 42
4.1 Umístění BPS ... 42
4.2 Vstupní suroviny ... 44
4.3 Vlastnosti a množství vznikajícího bioplynu ... 45
4.4 Návrh technologie a komponent ... 46
4.4.1 Příjmová nádrž a dávkovací zařízení ... 47
4.4.2 Návrh reaktoru ... 48
4.4.3 Odsiřování ... 51
4.4.4 Návrh koncového skladu/fermentoru ... 51
4.4.5 Fléra ... 52
4.4.6 Volba KGJ ... 53
4.4.7 Technologie pro chod BPS ... 56
4.4.8 Objekt technologie, velín ... 56
4.5 Řešení BPS ... 56
4.6 Ekonomické zhodnocení ... 58
5 Závěr ... 60
6 Seznam použitých zdrojů ... 61
7 Seznam použitých symbol ... 63
8 Seznam použitých zkratek ... 64
9 Seznam obrázků ... 64
10 Seznam tabulek ... 65
11 seznam grafů ... 65
12 Seznam příloh ... 65

1 Úvod

Biomasa je uložená energie ze slunce. Rostliny přemění sluneční energii fotosyntézou s průměrnou účinností 0,1% a uloží ji trvale v jejich částích. Biomasa je jediný z obnovitelných zdrojů energie, který může být přeměněn na plynná, kapalná nebo pevná paliva prostřednictvím známých konverzních technologií. Energie z biomasy je pravděpodobně nejširší oblastí obnovitelných zdrojů s významným potenciálem pro rozvoj v každé podskupině technologie.

Spalovaní biomasy má výhodu v tom, že nezatěžuje životné prostředí, protože množství CO2, které vzniká při jejím spalovaní je rovné množstvu CO2, kterou hmota spotřebovala při svém rastu.

Současná energetická situace ve světě, Českou republiku nevyjímaje, se vyznačuje vysokou poptávkou po energiích a s tím souvisejícím silným nárůstem cen.

V rámci přístupového procesu do EU se Slovenská republika přihlásila k plnění direktivy EU č. 2001/77/EC týkající se podpory produkce elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Pro Slovenskou republiku byl stanoven národní cíl podílu energie z obnovitelných zdrojů do r. 2020 na 14 %. Největší potenciál při využívaní těchto zdrojů na Slovensku má biomasa. Z celkového technicky využitelného potenciálu obnovitelných energetických zdrojů disponuje největším podílem – s až 40 453 TJ z celkového množství 87 753 TJ.

Podpora obnovitelných zdrojů energie a kombinované výroby elektřiny a tepla je definovaná v zákonu č.309/2009. Podpora OZE podle tohoto zákona:

- stanovení pevných cen elektřiny podle druhu a výšky instalovaného výkonu zařízení (ÚRSO)
- garance této ceny minimálně na stejné úrovni po dobu 15 roků
- podpora aj pro zařízení, které elektřinu nedodávají do distribuční soustavy
- povinný odběr elektřiny
- přednostní připojení
- podpora výroby biometanu

Táto skutečnost může být rozhodujícím momentem pro radu investorů, kteří chtějí na této situaci profitovat a využít co nejvíce investičních pobídek při realizaci a provozování technologických zařízení na výrobu energie z obnovitelných zdrojů.

Obecné rozdělení bioplynových stanic je podle zpracovávaného substrátu na zemědělské (zemědělská biomasa), čistírenské (kaly z čističek) a ostatní – zpracovávající bioodpady a vedlejší živočišné produkty případně zpracovávající mechanicky vytříděnou složku ze směsného komunálního odpadu. Jedním z cílů Evropské unie je snížení obsahu biologicky rozložitelného materiálu v odpadech ukládaného na skládkách, bioplynové stanice jsou možným řešením i tohoto problému.

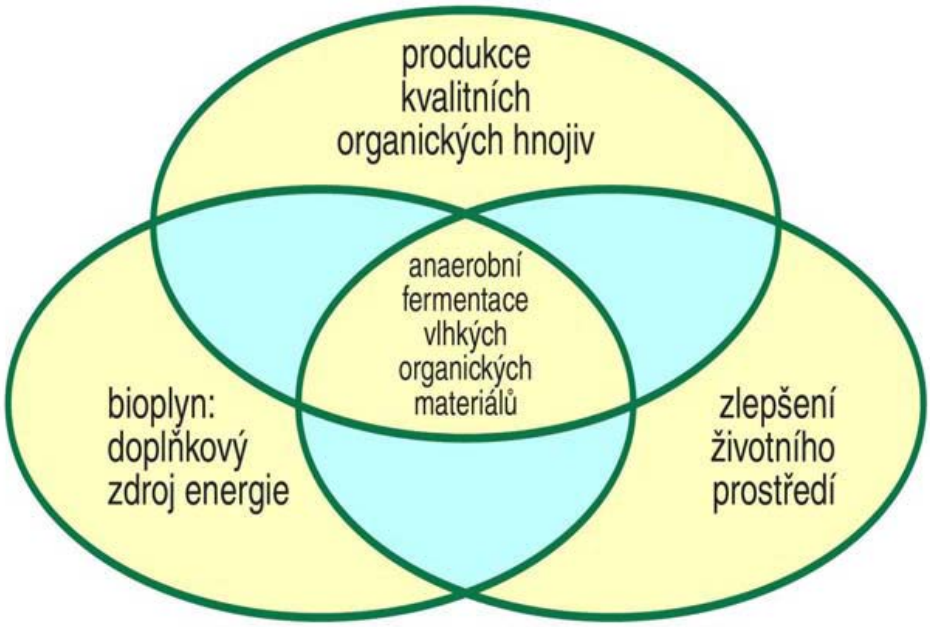
Rozkladem organického materiálu v reaktorech bioplynové stanice vzniká energeticky využitelný bioplyn, který je možné využít jak na výrobu tepla, tak aj na výrobu elektřiny. Vedlejší produkty fermentačních procesů tzv. fermentační zbytek je vynikajícím hnojivem pro rostlinnou výrobu.

Bioplynová stanice též zabraňuje samovolnému úniku metanu do ovzduší, jak by tomu bylo např. na skládce. V následujících letech totiž bude pravděpodobně omezeno otevřené skladování živočišných zbytků (hnůj, kejda) kvůli zvyšujícím se koncentracím skleníkových plynů v ovzduší.

Bioplynové stanice (BPS) v České a Slovenské republice zažívají v posledních letech výrazný rozvoj, protože na rozdíl od větrných a slunečných elektráren, kterých výkon závisí od počasí, výkon bioplynové stanice je dodáván do elektrizační sítě kontinuálně po celý rok (cca 8000 hodin). Rovněž má velký podíl na tomto rozvoji ekologický a ekonomický aspekt provozování těchto zařízení.

Před rozhodnutím o výstavbě bioplynové stanice je mimo jiné nezbytně nutné provést podrobné propočty ekonomické realizovatelnosti a udržovatelnosti plánovaného projektu. Podrobná ekonomická analýza by měla být provedena odborníky v daném oboru což ovšem přináší nezanedbatelné náklady a je proto žádoucí vypracovat základní odhad ekonomiky zamýšlené stavby ještě před zadáním zakázky projekční společnosti.

Samotný návrh bioplynové stanice v této práci je tvořen návrhem vhodné technologie stanice a rovněž základním výpočtem ekonomiky zamýšlené stavby.



Obr. 1.1 Význam anaerobní fermentace organických materiálů[8]

2 Bioplyn

Okrem vzdušného obalu planety Zem, směsi dusíku a kyslíku, podmiňující existenci života, je nejrozšířenější sloučeninou na Zemi metan (CH_4). Vytvářejí ji baktérie, které rozkládají organickou hmotu bez přístupu kyslíku (tzv. anaerobní fermentací nebo digescí).

Na jedné straně je výborným zdrojem energie, na druhé straně je však druhým nejdůležitějším skleníkovým plynem. V atmosféře zachytává teplo a je 21-krát efektivnější než CO_2. Jeho životnost je však kratší a to od 10 do 15 roků.

Proces vzniku metanu probíhá v přírodě za určitých podmínek samovolně nebo je vyvolán záměrně pomocí biotechnických zařízení. Zdroje metanu obecně:

- **přirozené prostředí** – usazeniny moří, řek a jezer, močály, rašeliniště, trávící trakt zvířat, přehrady
- **zemědělské prostředí** – bahnité plochy rýžových polí, jímky kejdy, hnojiště
- **odpadové hospodářství – skládky** komunálního odpadu, čistírny odpadových vod, odpad z potravinářské výroby
- **člověkem ovlivněné prostředí –** těžba a využívání fosilních paliv v sektoru energetiky

Výsledkem anaerobní digesce je vždy směs plynů a fermentovaný zbytek organické látky. Pro tuto směs plynů, obsahujících vždy dva majoritní plyny (metan CH_4 a oxid uhličitý CO_2) se ustálily různé názvy podle jejich zdroje. Podle toho rozeznáváme:

- **Zemní plyn** - vznikl anaerobním rozkladem organické hmoty před milióny let. Obsahuje největší množství metanu a je tedy energeticky nejhodnotnější. Je klasifikován jako neobnovitelný zdroj energie
- **Důlní plyn** - vzniká podobným způsobem jako zemní plyn má ale poněkud jiné složení. Ve směsi se vzduchem tvoří vysoce třaskavou směs (pouze ale v koncentraci od 5 do 15 %) a je proto velmi nebezpečnou příčinou důlních havárií
- **Kalový plyn** - vzniká rozkladem organických usazenin na dně vodních ploch (jezera, moře, oceány, rybníky, apod.), v čistírnách odpadních vod, rýžových polích, rašelinišť. Intenzita uvolňování i chemické složení se mění v závislosti od podmínek a místa vzniku.
- **Skládkový plyn** - skládky komunálního odpadu většinou obsahují 20 – 60 % organického materiálu, ze kterých může za vhodných podmínek vznikat po mnoho let skládkový plyn s proměnlivým složením. Je důležité tyto plyny využít na energetické účely nebo likvidovat bezpečnostním hořákem, protože dochází k jejím povrchovým výronům, které jsou nebezpečné.
- **Bioplyn** – obecně použitelný název pro všechny druhy plynných směsí, které vznikly v důsledku působení mikroorganizmů. To znamená, že všechny druhy předchozích plynů vznikají principiálně stejným způsobem, ať probíhá metanogenní proces kdekoliv. V technické praxi se název bioplyn ustálil pro plynnou směs vzniklou anaerobní fermentací organické hmoty v technických zařízeních (reaktorech, digestorech, atd.).

Cíleně orientovaný proces zachytávaní, případně řízený proces výroby bioplynu v bioplynových stanicích a následná přeměna na jiný, požadovaný druh energie (jako např. elektřina, teplo) přináší lidem užitek a zároveň vysokou mírou přispívá k snižovaní nežádoucí produkci skleníkových plynů, a tým k ochraně životného prostředí.

2.1 Proces tvorby bioplynu

Anaerobní mikroorganizmy produkující metan (metanogeny) jsou považovány za jedny z nejstarších živých organizmů na naší planetě. Jejich těsná symbióza s jinými aerobními organizmy, které jim zajišťují energetický zdroj a anaerobní (bezkyslíkaté) prostředí, umožnila jejich přežití po mnoho milionů let až do dnešní doby. Všudypřítomné metanogenní kultury proto v přírodě nalézáme zásadně ve směsných kulturách nikoliv v čistém stavu.

Proces anaerobní fermentace je velmi složitý biochemický proces, který se skládá z mnoha dílčích a na sebe navazujících fáz, při nichž různé druhy anaerobních mikroorganismů postupně rozkládají biologicky rozložitelnou organickou hmotu bez přístupu vzduchu. V přírodě tento proces probíhá za určitých podmínek samovolně, v biotechnických zařízeních je vyvolán záměrně. V odborné literatuře se můžeme setkat s různými názvy pro tento proces, jako jsou – anaerobní fermentace, anaerobní digesce, metanová fermentace, metanové kvašení, biometanizace, bioganisifikace apod. Všechny termíny a názvy mají stejný význam. Vznik bioplynu je pouze konečná fáze této biochemické konverze biomasy.

V každé fázi procesu působí různé druhy anaerobních mikroorganizmů, kde produkt jedné skupiny se stává zdrojem energie druhé skupiny mikroorganizmů. Kvůli této návaznosti může výpadek jedné skupiny způsobovat poruchy chodu celého procesu. Konečnými produkty jsou vzniklé plyny (CH_4, CO_2, H_2, N_2, H_2S) a nerozložený zbytek organické hmoty, který je z hlediska hygienického a senzorického nezávadný pro prostředí, tj. je již stabilizován.

Většinou u organických materiálů je bioplyn získán rozkladem polysacharidů, lipidů a proteinů. Protože podíl těchto látek je v různých materiálech rozličný i výtěžnost bioplynu se různí z jednotlivých organických materiálů.

Pro popis anaerobního metabolismu byly vytvořeny postupem času tři modely. Nejstarší model předpokládal dvoufázový proces, třífázový model popsaný Mackiem a Bryantem (1981) a dnes uznávaný nejnovější čtyřfázový model (1987).
Popis čtyrfázového modelu anaerobní fermentace (Obr. 2.1.):

Hydrolýza – první stadium rozkladu. Přítomné anaerobní bakterie (nikoliv metanové bakterie), přeměňují makromolekulární organické látky (bílkoviny, polysacharidy, tuky, celulózu) pomocí enzymů produkovaných fermentačními bakteriemi, na nízkomolekulární látky tz. monosacharidy, aminokyseliny, mastné kyseliny rozpustné ve vodě.

Acidogeneze – druhá tzv. "kyselá" fáze rozkladu, kde jsou rozkládány produkty hydrolýzi na jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy, CO_2, H_2). Tvoří se řada konečných redukovaných produktů v závislosti na charakteru původního substrátu a podmínkách prostředí. Při nízkých parciálních tlacích vodíku je produkována kyselina octová, CO_2 a H_2 , kým při vyšších parc. tlacích jsou tvořeny vyšší organické kyseliny jakými jsou kyselina mléčná, ethanol apod.

Acetogeneze – probíhá oxidace produktů acidogeneze na vodík, oxid uhličitý a kyselinu octovou. Důležitou skupinou jsou syntrofné acetogénne mikroorganizmy produkující vodík, protože rozkládají kyselinu propionovou, alkoholy a některé aromatické sloučeniny. Je potřebná součinnost mikroorganizmů s

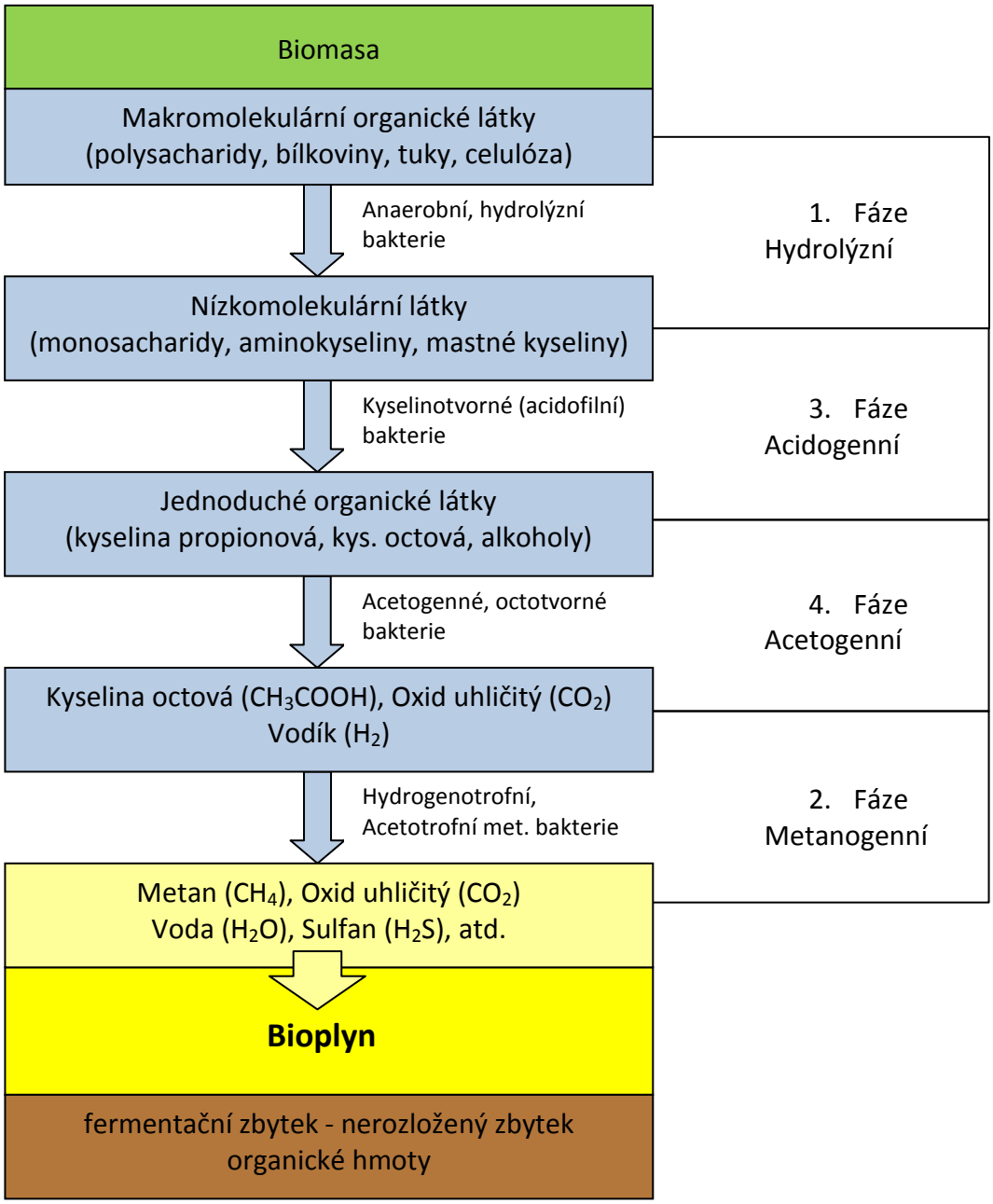
dalšími, které spotřebávají vodík tvořený acetogenními bakteriemi. Přebytek vodíku inhibuje činnost těchto mikroorganizmů a tím i produkci metanogenných substrátů v systému. Kyselina octová se rovněž tvoří acetogénní respirací CO_2 a H_2 homoacetogennými mikroorganizmami.

Metanogeneze – je poslední fází procesu obsahující, ve které metanogenní organismy rozkládají některé jednouhlíkaté látky (metanol, kyselina mravenčí, metylamin, CO_2, H_2, CO) a kyselinu octovou. Mají specifické požadavky na substrát i životní podmínky a vedle acetogenů zpracovávajících kyselinu propionovou se často stávají limitujícím faktorem celého procesu. Rozdělují se na pouze hydrogenotrofní nebo pouze acetotrofní.

Hydrogenotrofní metanogenní bakterie - produkují metan z CO_2 a H_2. Rostou poměrně rychle, jejich generační doba je cca 6 hodin. V procesu působí jako samoregulátor. Odstraňují vodík, jehož koncentrace by měla být minimální. Vodíkem jsou totiž ovlivňovány acetogenní bakterie rozkládající kyselinu propionovou a máselnou. Pro tyto organismy je přítomnost hydrogenotrofních organismů životně důležitá.

Acetotrofní metanogenní bakterie - jejich působením vzniká více jak 2/3 metanu v procesu. Metan produkují rozkladem kyseliny octové na směs metanu a oxidu uhličitého. Udržují pH fermentačního média, protože odstraňují kyselinu octovou a produkují CO_2, ale jejich generačni doba je delší ve srovnání s hydrogenotrofními methanogeny (několik dnů).

Stabilita fermentace je závislá na rovnováze mezi jednotlivými fázemi, které probíhají odlišnými kinematickými rychlostmi. Konečná fáze (metanogenní) vzniku bioplynu probíhá asi pětkrát pomaleji než ostatní fáze. Při konstrukci reaktorů, návrhu dávkování je proto důležité brát v potaz i tuto skutečnost, aby nedošlo k přetížení fermentoru a tým k nepříznivým důsledkům na tvorbu bioplynu.



Obr. 2.1 Schéma anaerobní fermentace

2.1 Faktory vplývající na tvorbu bioplynu

Na optimální chod procesu anaerobné fermentace vplývá řada faktorů. Tyto faktory mohou buď přímo měnit prostředí pro život mikroorganizmů (teplota, pH, toxické látky, nutrienty) nebo na ně třeba brát zretel při navrhování fermentoru.

2.1.1 Teplota

Teplota ovlivňuje anaerobní procesy podobně jako všechny ostatní biochemické procesy, tj. s rostoucí teplotou roste rychlost metanizačních procesů. Teplota ovlivňuje interakci mezi jednotlivými druhy anaerobních mikroorganizmů. Odezva mikroorganizmů na změnu teploty je u všech druhů kvalitativně prakticky stejná, avšak kvantitativně může být celkem odlišná. To znamená, že změnou teploty se mění zastoupení jednotlivých druhů mikroorganizmů, což má za následek porušení rovnováhy procesu a může vést až k úplnému zastavení procesu. Při teplotách pod 6 °C se metanizace prakticky zastavuje, jej rychlosti jsou velmi nízké (napr. pro čistírenské účely nepoužitelné). Podle pracovní teploty rozeznáváme čtyři oblasti metanizace, které jsou uvedené v Tab. 2.1. Většina anaerobních reaktorů pracuje při teplotách v mezofilní oblasti. V termofilní oblasti se dosahují vyšší rychlosti rozkladu organických látek a také je lepší výtěžnost bioplynu. Nevýhodou termofilní metanizace je vyšší spotřeba energie na ohřev a též nižší stabilita procesu. Kým bakterie v mezofilní oblasti snesou výkyv 2 - 3 °C, v termofilní oblasti pouze 1 °C.

	Teplota [°C]		
	minimálna	maximálna	optimálna
kryofilná	0	7	5
psychofilná	5	27	20
mezofilná	27	40	37
termofilná	45	60	55

Tab. 2.1 Teplotné oblasti metanizace

Z uvedeného vyplývá, že na udržení stability procesu je potřebné zaručit konstantní teplotu. Změny teploty jsou tým nebezpečnější, čím je kratší doba zdržení a nižší koncentrace biomasy v reaktore. Při přechode na jinou teplotu je potřebná dlouhodobá adaptace biomasy, případně nová inokulace.

2.1.2 Hodnota pH

Koncentrace vodíkových iónů (jejich měřítkem je pH), je dalším z důležitých faktorů ovlivňujících průběh biologických procesů. Různé skupiny mikroorganizmů mají různé optimální hodnoty pH pro svůj rast. Mechanizmus působení pH je složitý, extrémně nízké, anebo vysoké hodnoty koncentrace vodíkových iónů působí přímo inhibičně na mikroorganizmy. Inhibičně můžou působit sloučeniny jako napr. amoniak, nižší mastné kyseliny, sulfán, na pH závisí též uhličitanová rovnováha biologického systému. Nejdůležitějšími tlumivými systémy ve vyhnívacím systému jsou uhličitanový (HCO_3^-/CO_2) a amoniakální (NH_3/NH_4^+) tlumivý systém. Mírou hodnoty tlumivého systému je jeho kyselinová neutralizační kapacita. Zvyšuje se vyšším obsahem tuhých látek ve vyhnívané

hmotě, bílkovin v substrátě a stupněm rozkladu. Čím je vyšší hodnota kyselinové neutralizační kapacity, tým je menší nebezpečenství, že hodnota pH v anaerobním reaktore nadobude hodnotu v kritické oblasti. V teorii se uvádějí aj případy metanizace v kyselé, resp. zásadité oblasti. Podle jedné studie se optimální produkce bioplynu dosáhne, když se pH vstupní směsi pohybuje mezi 6-7. Hodnota pH také působí na zdržní dobu směsi v reaktoru. Na začátku provozu fermentace se tvoří velké množství organických kyselin co může způsobit pokles pH na hodnotu 5. Tento pokles pH způsobuje inhibici případně zastavení celého procesu vyhnívání. Metanogenní baktérie jsou velmi citlivé na pH a nejsou schopné pracovat pod hodnotou 6,5. Při pokračujícím vyhnívaní a stoupající koncentraci amoniaku způsobené přeměnou dusíku může pH stoupnout nad 8. Při ustálené produkcí metánu se pH pohybuje v rozmezí hodnot 7,2-8,2.

2.1.3 Vliv složení substrátu

Pro optimální průběh vyhnívacího procesu je důležité, aby substrát měl vyvážený poměr organického uhlíku, fosforu a živin zastoupené zde CHSK. Z bilance produkce biomasy se udává poměr CHSK:N:P v rozmezí od 300:6,7:1 do 500:6,7:1. Často se doporučuje jako dostačující poměr C:N:P = 100:1:0,2. Při zpracovaní tuhých organických odpadů, jakými jsou například zemědělský odpad anebo trus zvířat je doporučen poměr C/N 20-30. Když je poměr C/N přiliž vysoký, metanogenní mikroorganizmy spotřebují dusík velmi rychle a nebudou si všímat přítomný uhlík. Když ale bude poměr C/N velmi nízký, dusík se akumuluje ve formě amoniaku, co způsobí nárůst pH (RISE-AT, 1998). Vedla dusíku a fosforu je žádoucí i přítomnost mikronutrientů: Na, K, Ca, Mg, Fe, S, Ni, Co, Mo, Se, W, které jsou součástí některých enzymových systémů hlavně acetogenních a metanogenních baktérii. Poslední studie ukazují, že některé stopové prvky (Ni,Co,Mo) zvyšují metanogenní aktivitu.

Všeobecně je možné říct, že dávkovaní mikronutrientů za normálních okolností není potřebné, protože obsah nutrietů je postačující ve vstupním médiu.

2.1.4 Technologické faktory

Pro zaručení velkých kontaktných ploch pro organické látky jako napr. sláma, tráva nebo bioodpad je důležité je rozsekat přečd naložením do fermentačního reaktoru, pokud možno na vlákna, protože jinak fermentace je zdlouhavá.

Obsah musí být také dobře promícháván, aby se dosáhlo homogenity v celém obejmu. To zaručuje maximální kontakt mezi substrátem a mikroorganismy. Co má za následek maximální fermentaci celého obsahu. Aby se dosáhlo vysokého stupně digesce a nedocházelo k vyplavování mikroorganismů, musí se volit i optimální doba zdržení.

Vzhledem k různorodosti bakterií se doba zdržení udává na 20 až 30 dní. Čím je substrát hůře rozložitelný tím je doba zdržení delší.

2.1.5 Toxické a inhibující látky

Jako toxické nebo inhibující považujeme ty látky, které nepříznivě ovlivňují biologický proces. Látky a prvky, které jsou součástí buněk a jejich enzymů, působí v nízkých koncentracích stimulačně a ve vysokých inhibičně. Takými látkami jsou napr. prvky uváděné jako mikronutrienty. Nepříznivě působí vyšší koncentrace těžkých kovů (Cu, Pb, Cr, Zn a iné.), sulfidy, kyanidy apod. Dále jsou pro anaerobní baktérie rovněž škodlivé oxidanty –

molekulární kyslík, H_2O_2 apod. Koncentrace látky, při které se projevuje inhibiční efekt, závisí od způsobu dávkování, na přítomnosti eventuálního detoxikantu a na fyziologickém stave biomasy. Jednorázová dávka je nebezpečnější pro stabilitu procesu, než kontinuální dávkovaní. Taktéž i doba zdržení biomasy má rozhodující význam pro odolnost procesu. Dlouhá doba zdržení umožňuje adaptaci mikroorganizmů na nepříznivé podmínky. Dlouhodobou adaptací však možno vypěstovat bakterie, které tolerují koncentraci amonných iónů omnoho vyšší, např. při zpracovaní drůbežího trusu nebo prasečí kejdy.

2.2 Chemické složení bioplynu a jeho vlastnosti

2.2.1 Složení bioplynu

Ideální bioplyn je v podstatě směsí CH_4 a CO_2. Protože se v praxi nesetkáváme s ideálním plynem, může zde být přítomna další plyny (N_2, O_2, Ar) a nežádoucí příměsi. Z příměsí je nejproblémovější **sulfan** (H_2S), protože když jeho koncentrace v bioplynu je nad 0,1 %, působí korozívně na motory a technologické zařízeni. Proto je zpravidla nutné bioplyn odsířit. **Amoniak** (NH_3) je zdrojem zápachu a je nežádoucí pro nádrže na uskladnění. Jeho odstraňování je rovněž nutné z důvodu emisí NOx ve výstupní spalinách při spalování. Přítomnost volného **kyslíku** (O_2), svýnimkou počátečné fázi procesu, může být zapříčiněná zavzdušňováním pracovního prostoru. Tento stav je nežádoucí z bezpečnostního hlediska tvorby výbušné směsi metánu se vzdušným kyslíkem. Když se objeví v bioplynu stopy **vodíku** (H_2), není je to na škodu jeho energetické kvality, ale svědčí to o narušení rovnováhy mezi 2. fází bioplynového procesu a tvorbou metanu (4.fáza). Je to způsobené nadměrnou zátěží reaktoru surovým materiálem, anebo dochází z různých příčin k inhibičním účinkům, které potlačují rozvoj metanových baktérii. Surový plyn z bioplynové stanice je nasycený **vodní parou**. Je možné, že vodná para obsahuje stopové množství látek, které můžou způsobovat problémy, a proto je vysušení bioplynu kondenzaci vodné páry důležitým opatřením.

Metan – CH_4	40 - 75 %
Oxid uhličitý – CO_2	25 - 55 %
Vodní pára – H_2O	0 -10 %
Dusík – N_2	0 - 5 %
Kyslík – O_2	0 - 2 %
Vodík – H_2	0 -1 %
Čpavek – NH_3	0 -1 %
Sulfan – H_2S	0 -1 %

Tab. 2.2 přibližné složení bioplynu

Chemické složení bioplynu je značně ovlivněno složením vstupního substrátu. Na základě toho se pohybuje množství metanu a musí se brát v potaz i technologické procesy. Je rozdíl zda budeme bioplyn získávat ze skládky nebo stabilizace kalů. V Tab. 2.3 vidíme typické obsahy metanu a CO_2 v bioplynu produkovaném z různých technologických procesů.

Vznik bioplynu	Obsah CH_4 [obj. %]	Obsah CO_2 [obj. %]
Ze zemědělských hmot	55 – 75	25 – 45
Z čištění odpadních vod	50 – 80	20 – 50
Ze stabilizace kalů	60 – 70	30 – 40
Ze skládek	35 – 55	45 – 65

Tab. 2.3 Obsah metanu v bioplynu z různých technologických procesů [9]

2.2.2 Vlastnosti bioplynu

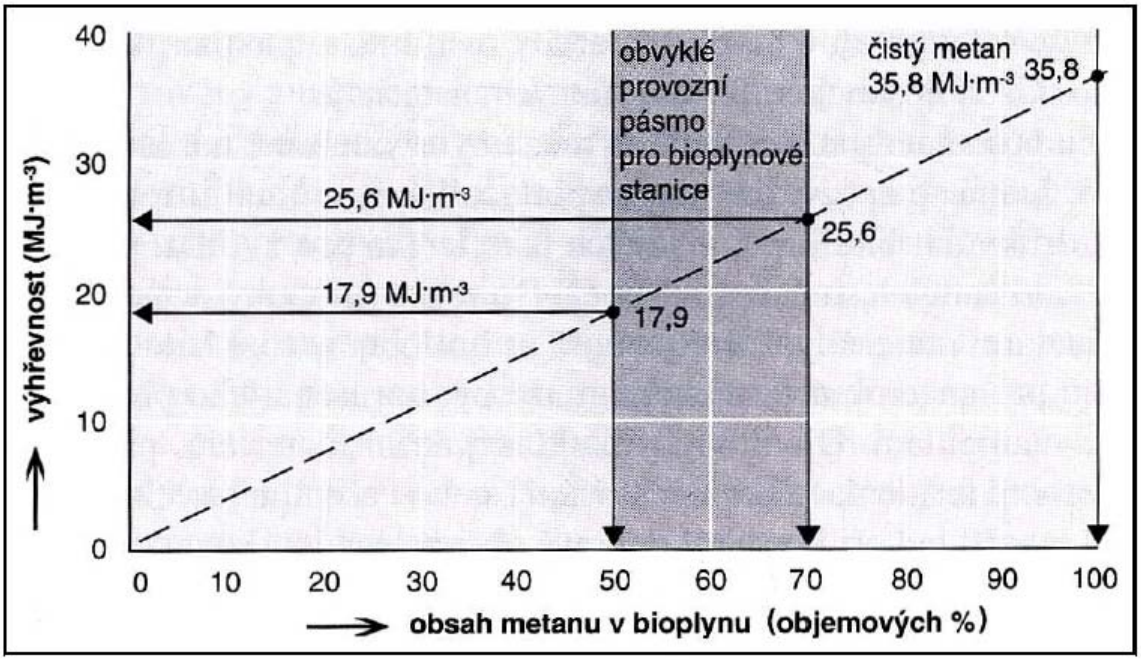
Metan jako hlavní složka bioplynu je plyn bezbarvý a bez zápachu. Ve směsi se vzduchem (pří koncentracích 5-15%) tvoří nebezpečnou výbušnou směs. Metan je lehčí než

vzduch. Když obsah metanu v bioplynu přesáhne hranici 53% stává se lehčím než vzduch. Druhá majoritní složka bioplynu je oxid uhličitý, který je plyn bezbarvý, bez zápachu a těžší než vzduch. Výsledné vlastnosti bioplynu nejvíce záleží na poměru těchto dvou složek a také na teplotě a tlaku. Zápach způsobují větší koncentrace sulfanu, sírnych a dusíkatých sloučenin.

Vlastnosti	**Hlavní složky bioplynu**			**Průměrná směs BP 65% CH_a a 35% CO_2**
	CH_4	**CO_2**	**H_2S**	
Průměrný obsah **[obj. %]**	55 – 75	24 – 44	0,1 – 0,7	100
Třaskavá směs se vzduchem **[obj. %]**	5 – 15	-	4 – 45	6 - 12
Kritický tlak **[MPa]**	4,7	7,5	9	7,5 – 8,9
Kritická teplota **[°C]**	-81,5	31	100	-36
Hustota **[kg/m^3]**	0,72	1,98	1,54	1,2
Zápalná teplota **[°C]**	650 - 750	-	270	700

Tab. 2.4 Vlastnosti bioplynu

Výhřevnost bioplynu je prakticky závislá výlučně na obsahu metanu..



Graf. 2.1 Závislost výhřevnosti na obsahu metanu [8]

2.3 Úprava a čištění bioplynu

V současné době používaných metodách využívání bioplynu je důležité odstránit některé její složky, protože mohou poškozovat samotné energetické zařízení nebo mohou tvořit nebezpečné látky pro prostředí. Takovými látkami jsou např. halogenované uhlovodíky a sirovodík (H_2S). Fluorované a chlorované uhlovodíky jsou nebezpečné, protože jejich nedokonalým spalováním se mohou tvořit dioxiny a dibenzofurany. Sirovodík (sulfan) vyvolává nebezpečnou korozi zařízení a trubek následkem tvořby kyseliny sírové (H_2SO_4)

Pokud má být zvýšena kvalita a tím výhřevnost bioplynu je nutné zvýšit podíl metanu v bioplynu. V tomto případě se jedná převažně o snížení obsahu CO_2 v bioplynu. Přítomnost

sloučenin chloru, fluoru, síry a fosforu ve spalinách znemožňuje katalytickou redukci NO_x. Míra čištění bioplynu závisí na zamýšleném způsobu jeho využívání.

Jednotlivé složky bioplynu se odstraňují následovně:

Voda H_2O – kondenzací, změnou tlaku, filtry, cyklóny

Sirovodík H_2S – je vedle odvodnění nejdůležitějším opatřením ke snížení koroze, obzvláště důležité při použití bioplynu jako paliva v kogeneračních jednotkách, Mezi nejpoužívanější metody odstraňováni sirovodíku z bioplynu patří:

- Dávkování solí železa do substrátu
- Odstranění sirovodíku chemickou oxidací
- Adsorpce sirovodíku na plynárenské hmotě
- Adsorpce sirovodíku na aktivním uhlí
- Mokrá vypírka sirovodíku
- Biologický způsob odstranění sirovodíku – nejčastější spůsob

Oxid uhličitý CO_2

- absorpce - vypírka tlakovou vodou
- adsorpce na molekulových sítech
- membránová separace
- kryogenní postupy

Ostatné nečistoty

- tuhé nečistoty – kapky kondenzátů s obsahem tuhých korozních zplodin anebo bakteriálních povlaků – filtry
- oleje – poměrně častá nečistota nalézaná v bioplynu z čerpacích systemů mazaných olejem – těžko odstranitelné
- halogeny – kvůli nízkému výskytu se neaplikuje metoda na odstřanění
- křemík – nejsou často aplikována čistící metody – neregenerovatelné filtry s aktivním uhlím

2.4 Způsoby využití bioplynu

Nejjednodušším způsobem využití bioplynu je přímé spalování v kotlích s následným získáváním tepla na vykuřování nebo ohřev vody. V létě však vzniká problém s umístněním tepla a také další technologické nevýhody, proto se využití tohoto způsobu radikálně snižuje. Tým dochází k nadprodukci vyrobeného bioplynu, který by se měl z bezpečnostních důvodů spalovat bez užitku na nouzovém horáku, který bývá na tento účel na bioplynových stanicích (zpravidla na ČOV) instalovaný. Proto je vhodné volit jiné, účelnější způsoby jeho využití.

2.4.1 Kogenerace

Spalování bioplynu v spalovacím motoru (resp. v plynové turbíně) s následnou výrobou tepla a elektřiny je další a v současnosti nejrozšířenější možností racionálního využití bioplynu.

Část tepla vyrobeného tímto způsobem je možné spotřebovat v procesech fermentace (asi 10 %), zbytek se dá využít na vykuřování a přípravu teplé vody. Zároveň vyráběná elektrická energie nahradí elektřinu, kterou bioplynová stanice potřebuje, a kterou by jinak bylo potřebné nakoupit od externího dodavatele. Navíc, případnou nadprodukci elektřiny je možné za v současnosti výhodné ceny předat do distribuční sítě.

2.4.2 Bioplyn jako pohonná látka

Další možností využití bioplynu je jeho využiti ve formě stlačeného plynu jako pohonné látky pro motorové vozidla, např. jako palivo v traktorech.
Pohon mobilních energetických prostředků komprimovaným bioplynem (technologií CNG) do tlakových nádob byl v ČR navržen koncem osmdesátých let u vozu Š 1203, traktoru Zetor a lehkého nákladního automobilu AVIA. Ve své době byl problémem malý akční rádius. Dnes při rozšíření čerpacích stanic na zemní plyn, tento problém odpadá, vozidla mohou fungovat běžně na stlačený zemní plyn. Všechny tyto adaptace fungovaly jako zážehové spalovací motory, při zvýšené potřebě výkonu motoru zvláštní směšovač mísil bioplyn se vzduchem zapalovaným ve válci po stlačení vstřiknutím základní dávky motorové nafty.

2.4.3 Dodávka BP do plynárenské sítě

Problém s využitím odpadového tepla, zejména v letním období, má mnoho bioplynových stanic. Proto se hledají alternativy na efektivnější využití bioplynu. Jednou z možných cest je jeho obohacování a dodávka do distribuční sítě zemního plynu.

Když má být bioplyn dodávaný do distribuční sítě, musí splňovat určité kritéria. Aby vyhověl, je nutné jej vyčistit, obohatit metanem (na minimální energetický obsah 8,4 kWh.m-3) a signalizační vůní, vysušit, filtrovat a nakonec stlačit na příslušný tlak.
Tento způsob se již využívá ve Švédsku, Švýcarsku a v Německu. Pro potřeby Slovenska jsou podmínky na dodávku bioplynu do plynárenských sítí zatím jenom v stadiu návrhu připravovaného zákona o podpore obnovitelných zdrojů.

Mezi další možné způsoby využití bioplynu patří:

- výroba elektrické energie, ohřev teplonosného média a výroba chladu (trigenerace)
- využití bioplynu v palivových článcích

2.5 Substráty využívané na tvorbu bioplynu

Substráty pro anaerobní rozklad zahrnují různé druhy materiálů, které je možné využít na produkci metánu. Mohou být materiály od lehko rozložitelných odpadových vod po komplexní odpady s vysokou koncentrací tuhých látek. Dokonce i toxické sloučeniny mohou být anaerobně rozložené při použití vhodné technologie. Z historického hlediska se anaerobní vyhnívané spájelo hlavně se zpracováním hnoje hospodářských zvířat a kalu z ČOV. V sedmdesátých letech minulého storočí se vzrůstem environmentálního povědomí a potřebou nových odpadových strategií a obnovitelných forem energie došlo k rozšíření použití anaerobního vyhnívaní aj na průmyslné a komunální odpady. Přehled materiálů podle jejich původu je znázorněný na Tab. 2.5. Jednotlivé materiály používané na anaerobní fermentaci se značně liší v složení, homogenitě a rozložitelnosti. Proto při výběru vhodných materiálů třeba brát do úvahy celkovou sušinu, poměr C/N a jejich biologickou rozložitelnost.

Zemědělské	Průmyslné	Komunální
• hnůj (hovězí, ošípané, drůbež) • energetické plodiny • biomasa řas • zbytky úrody • atď.	• potravinářské • mlékárenské • škrobárenské • cukrovarnické • farmaceutické • kosmetické • biochemické • papírenské • jatečné	• organická frakce tuhého komunálního odpadu • tuhý komunální odpad • odpadový kal • trávový odpad/zahradní odpad • zbytky jídel

Tab. 2.5 Přehled materiálů dle původu

2.5.1 Zemědělské substráty

Substráty zpracovávané v zemědělství s cílem produkce bioplynu možno rozdělit na odpady a cíleně pěstované energetické plodiny. Největší podíl odpadů vznikajících v zemědělství představují zbytky rostlin a exkrementů hospodářských zvířat. V obou případech se jedná o odpady s vysokým podílem organické hmoty a minerálních látek. Nejstarší a nejjednodušší formou nakládaní s těmito odpady je jejich přímá aplikace na půdu a následné zaoraní. Jednou z nejprogresivnějších technologií je jejich anaerobní stabilizace. Táto technologie umožňuje, při zachovaní hnojivých účinků vstupné suroviny, využití časti organické hmoty (odpadů) na produkci bioplynu jako zdroje energie.

Samostatnou skupinou zemědělských substrátů používaných na produkci bioplynu jsou cíleně pěstované energetické plodiny.

Filozofie cíleného pěstovaní zemědělských plodin na energetické použití se dostala do popředí i u nás. Jednou z možných alternativ využití zemědělské produkce a zlepšení ekonomiky zemědělského podniku může být pěstovaní “energetických“ plodin s cílem produkce bioplynu. Na bioplynových stanicích se zpracovávají buď samostatně, častěji však s jinými substráty resp. odpady. Jednou z takových plodin je napr. silážní kukuřice. Produkce bioplynu ze siláže je jiná pro různé druhy kukuřice a taktéž v různých stádiích zralosti (mléčná zralost, vosková zralost, plná zralost). Silážovaní rostlin způsobí nárůst produkci metánu o 15 % v porovnaní se zelenou, nekonzervovanou rostlinou Tab. 2.6.

Materiál	Stav	výťažok CH_4 [m^3/kg SŽ]
Cukrová repa - vňať	čerstvý	0,360
	silážovaný	0,381
Karfiol - listy	čerstvý	0,352
	silážovaný	0,341
Biela kapusta - listy	čerstvý	0,382
	silážovaný	0,343
Repka olejná - vňať	čerstvý	0,334
	silážovaný	0,330
Horčica biela - vňať	čerstvý	0,300
	silážovaný	0,326
Rebarbora - vňať	čerstvý	0,316
	silážovaný	0,345
Energetická trstina	čerstvý	0,245
	silážovaný	0,265
Artičok jeruzalemský - vňať	čerstvý	0,309
	silážovaný	0,301

Tab. 2.6 Produkce metanu vybraných rostlin [9]

2.5.1.1 Živočišné odpady

Živočišné odpady vhodné na anaerobní rozklad představuje především kejda hospodářských zvířat a drůbeží trus. Kejda vzniká při bezpodestýlkových provozovnách živočišné výroby. Je to směs tuhých a tekutých exkrementů hospodářských zvířat s velmi rozdílným podílem vody, případně dalšími látkami jakými jsou zbytky dezinfekčních prostředků, léků apod. Produkce a složení kejdy je proměnlivé a závisí od užitkového zaměření chovu, váhy a veku zvířat, složení krmiva, množstva technologické a balastní vody, způsobu ustájení, skladovaní apod. Kejda je substrát s vysokým podílem biologicky rozložitelných organických látek, obsahující všechny potřebné živiny pro metanogenní organizmy a bohatě oživený směsnou kulturou mikroorganizmů.

2.5.1.2 Rostlinné odpady

Odpad rostlinného původu patří mezi často anaerobně zpracovávané organické materiály. Můžeme jej dělit dle různých hledisek:

- odpad z rostlinné zemědělské výroby. zbytky sběru kulturních plodin napr. sláma, kukuřičné stvoly, natě apod.
- odpad z agropotravinářského průmyslu (z výroby rostlinných olejů, ze zpracování ovoce a zeleniny, výpalky z výroby lihu, řepné rezky z výroby cukru...)
- dřevný odpad z těžby a zpracovaní dřeva
- všeobecný odpad. Sem můžeme zařadit napr. listí, travný odpad apod. Do této kategorie můžeme zařadit i rostlinnou biomasu, která není odpadem, avšak v současnosti nenachází jiné širší uplatnění, jedná se o napr. plevele, mořské a sladkovodní rostliny.

2.5.2 Průmyslné substráty

Průmyslné substráty se líší od zemědělských najme různorodostí, přičemž se vždy jedná o odpady. Průmyslné odpady vhodné pro anaerobní zpracování představují převážně odpady z potravinářského a agropotravinářského průmyslu. Odpady z ovoce a zeleniny produkují především konzervárně, mrazírny, sušárny ovoce a zeleniny a závody na výrobu koncentrátů ze zeleniny a ovoce. Výtažek metanu se při těchto odpadech pohybuje v rozmezí 0,1-0,5 m3/kg. Další druh průmyslných odpadů pochází z fermentačního průmyslu, který možno rozdělit do třech hlavních kategorií – pivovarský průmysl, lihovarnický průmysl, vinárenský průmysl. Každý z těchto průmyslů produkuje kapalný odpad. Vzhledem na vysoké koncentrace tanínov, fenolov a organických kyselin, anaerobní zpracování odpadu z tohoto průmyslu má za následek vyšší výkonnost procesu. Jedním z průmyslných druhů odpadu jsou i výpalky. Výpalky představují vedlejší kapalný produkt destilace etanolu.

2.5.3 Komunální substráty

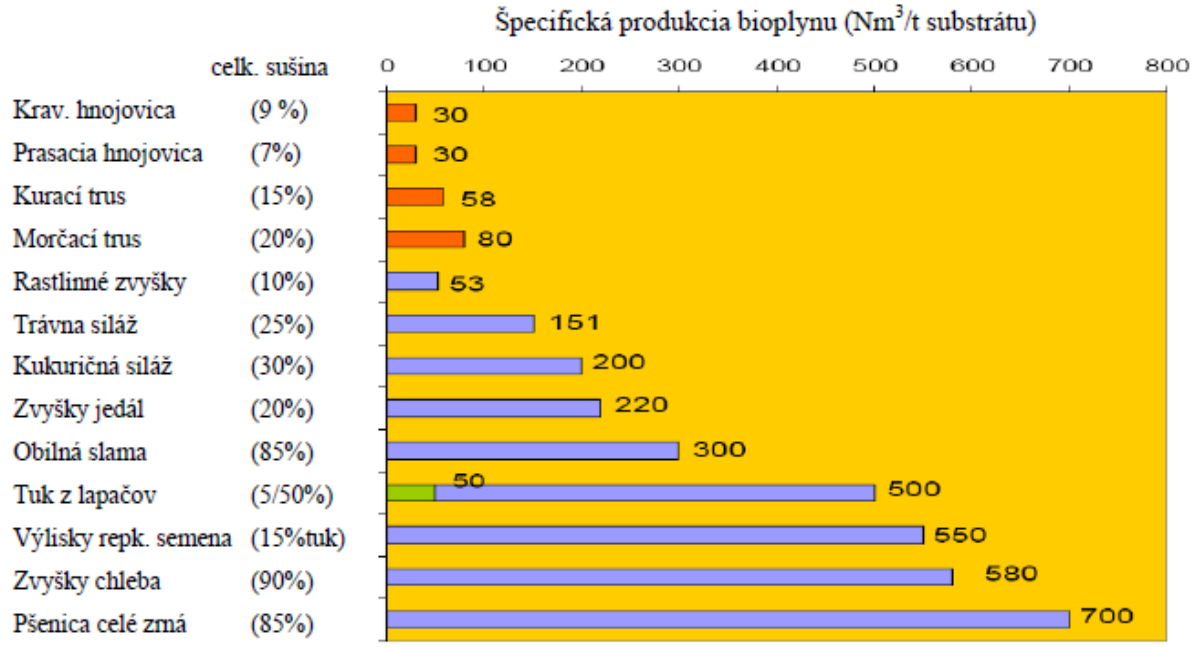
Mezi komunální substráty patří hlavně komunální odpad a odpad ze zařízeních občanské vybavenosti (úřady, školy, restaurace...). Jeho anaerobní zpracování patří mezi poměrně nové způsoby zhodnocování tohoto odpadu. Tento odpad patří mezi heterogenní odpad s 10 - 40 % obsahem tuhých látek, který není tekutý.
Rozdělit jej můžeme na několik frakcí:

- organická biologicky rozložitelná frakce, pozůstávající ze zbytků jídel a zahradního odpadu
- spalitelná frakce, pozůstávající z dřeva, papíru a plastů
- inertní frakce, pozůstávající z kamenů, skla, kovu a jiných anorganických částí

Složení odpadů se značně mění nejen mezi jednotlivými krajinami, ale aj na jednotlivých místech v dané krajině. Komunální odpad v městech neobsahuje tolik organické biologicky rozložitelné frakce v porovnaní s venkovem. V minulosti nejčastějším způsobem nakládání s komunálním odpadem bylo skládkování a spalování. V současnosti se pozornost zaměřuje na recyklaci, kterým se z odpadu získávají materiály vhodné na další použití a uchovávají se primární zdroje. Anaerobně je možné zpracovávat buď směšný komunální odpad, který se po zpracovaní vytřídí, anebo len separovaný organický podíl komunálního odpadu.

Protože podíl látek, které mikroorganizmy přemění v bioplyn je v různých materiálech rozličný i výtěžnost bioplynu se různí z jednotlivých organických materiálů.

Na Graf. 2.2 jsou uvedené průměrné specifické produkce bioplynu z vyjmenovaných zdrojů, které uvádějí ve svých prácích v různých obměnách různí autoři. Na obrázku je upřesněné, pro jakou celkovou sušinu jednotlivých substrátů hodnoty produkce bioplynu platí.



Graf. 2.2 Průměrné produkce bioplynu [9]

2.5.4 Potenciál získávaní bioplynu v SR

Největší potenciál na výrobu bioplynu z kukuřiční siláže a z živočišných exkrementů mají v Slovenské republice kraje Trnavské a Nitrianské.

Celkový potenciál na výrobu bioplynu z živočišných exkrementů na Slovensku je přibližně 409 mil. m3. Když k této sumě přičítáme námi zjistěný potenciál na výrobu bioplynu z kukuřiční siláže, dostaneme sumu 528 mil. m3, která udává, kolik m3 bioplynu můžeme teoreticky vyprodukovat z kukuřiční siláže a z exkrementů zemědělských zvířat.

Na základě studií uvažujeme, že z 1 m3 bioplynu dostaneme 1,7 až 2,2 kWh elektrické energie a 2,2 až 4 kWh tepelné energie a za průměrnou hodnotu považujeme
2,0 kWh a 4,0 kWh.

V našem případě tak dostaneme z bioplynu získaného prostřednictvím živočišných exkrementů 818 GWh elektřiny a 1636 GWh tepla. Bioplyn z kukuřiční siláže představuje 238 GWh elektřiny a 476 GWh tepla. Na ohřev fermentoru se využívá 25 – 30 % vyprodukovaného tepla. Zůstatek je možné využit na vykuřování budov, skleníků, dílní, maštalí, apod.

3 Bioplynové stanice, technologie a prvky

Podle studia Ministerstva zemědělství (SR, 2006) může slovenské zemědělství vyčlenit 300000 ha na účelové pěstování rostlinné biomasy na výrobu energie, ve formě rostlin na výrobu bioplynu (kukuřice, obilniny, luskoviny, apod.) a následnou kombinovanou výrobu elektřiny a tepla anebo formou energetických rostlin na produkci paliva. Při takovém řešení by bolo možné postavit okolo 1000 bioplynových stanic s instalovaným výkonem kogenerační jednotky 500 kW a 1000 zařízení na výrobu tepla spalováním o výkone 350 kW.

Bioplynové stanice představují efektivní možnost produkce elektřiny, tepla, případně chladu, zpracováním organických surovin, které tvoří vedlejší produkty ze zemědělství, cíleně pěstované energetické plodiny, komunální odpady, bioodpady z potravinářského průmyslu, přičemž jsou tito materiály permanentně k dispozici.

I když současný stav rozpracovanosti budoucích bioplynových stanic naznačuje, že stav v rozvoji bioplynových stanic v SR v nejbližším čase výrazně změní, zatím platí stav jaký znázorňuje Tab. 3.1. Širšímu rozvoji energetického využití bioplynu na Slovensku totiž brání následovné bariéry:

Bariéry pro využívaní bioplynu (platí to aj na jiné OZE):

- nedostatečná legislativa
- malé zkušenosti s přípravou, výstavbou a provozováním bioplynových stanic
- nerozvinutý trh tuzemských dodavatelů technologických a stavebných častí,
- nedocenění environmentálního a regionálního přínosu bioplynových technologií.
- úplatkářství a korupce v státní sféře

Bioplynová stanice	Surovina	Instalovaný el. Výkon kWe	V provozu od
AGROS s.r.o. Bátka	Kejda hospodářských zvířat	6x128	1995
PPD Brezov	Kejda skotu	50	1998
VPP SPU, s.r.o. Kolíňany	Různé substráty, zejména kejda	22	2001
PD Kapušany	Kukuřiční siláž, kejda	120	2005
STIFI Hurbanovo	Kukuřiční siláž	300	2005
Biochyn, s.r.o. Chynorany	Kukuřiční siláž, rostlinný odpad	995	2007
BPS Horovce	kukuřičná siláž, biologické odpady	997	2009
BPS Hontianske Moravce	Kukuřiční siláž, rostlinný odpad	997	2010
BPS Ludrová	Kejda hospodářských zvířat	200	2010

Tab. 3.1 Bioplynové stanice v SR

Rozdělení bioplynových stanic

Existují různá hlediska pro rozdělení BPS. Obecně se dělí na základe zpracovávaných surovin do následovných skupin:

• **zemědělské bioplynové stanice** - zpracovávají hlavně suroviny ze zemědělské výroby. Mezi tyto materiály patří zejména odpad (resp. vedlejší produkt) živočišné výroby jako kejda, hnůj anebo trus. K dalším materiálům patří suroviny z rostlinné výroby, které tvoří rostlinný odpad, sběrové zbytky a v posledních letech cíleně pěstované energetické plodiny.

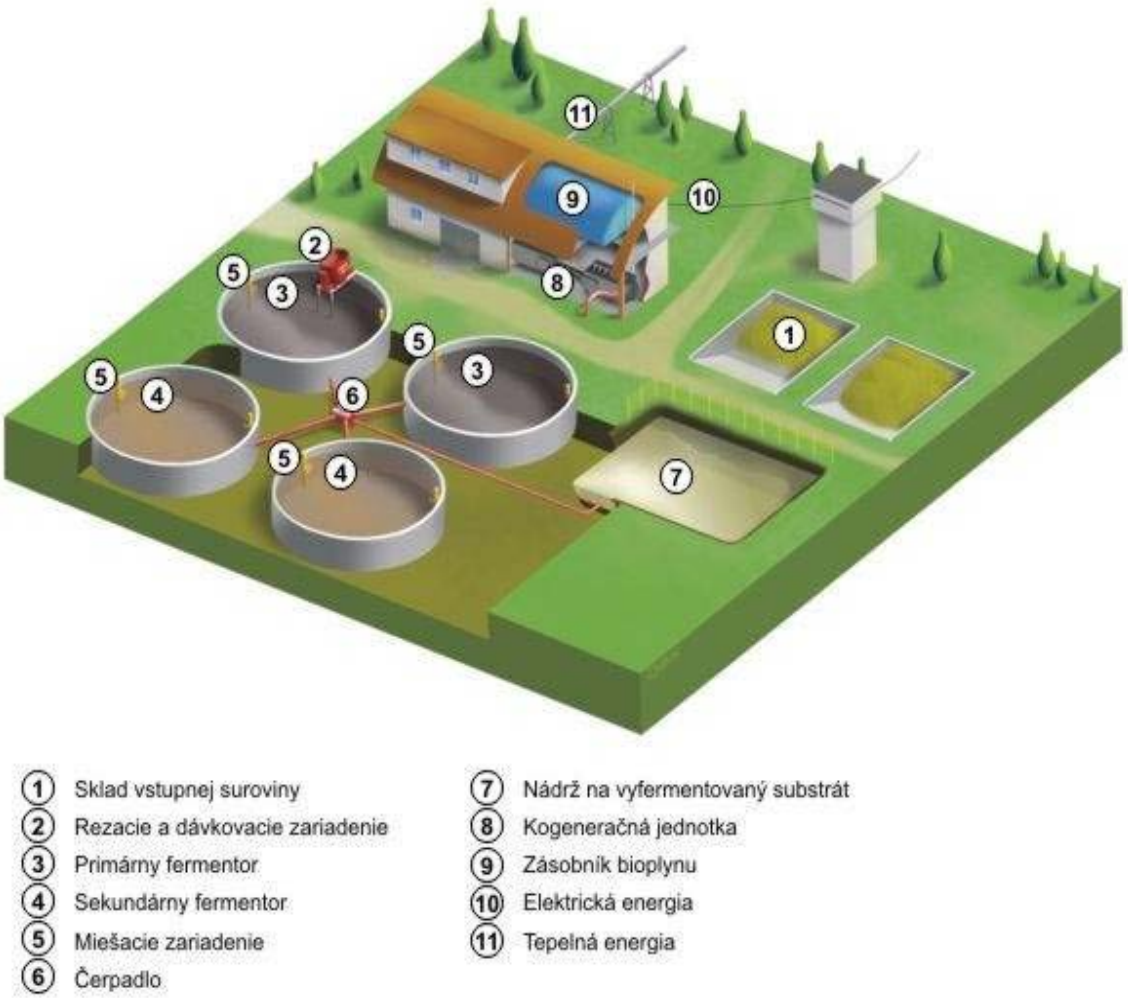
• **průmyslné bioplynové stanice** - zpracovávají odpady z různých průmyslných výrob. většinou se jedná o odpady z agropotravinářského průmyslu. Tyto bioplynové stanice jsou realizované buď přímo v místě, kde je zpracovávaný odpad produkovaný anebo jsou to stanice, kde se odpad zpracovává na smluvním základe. Provozování průmyslných

bioplynových stanic, kde se zpracovávají odpady na smluvním základe, je charakteristická různorodostí vstupů a tým aj vyšší nestabilitou anaerobních procesů.

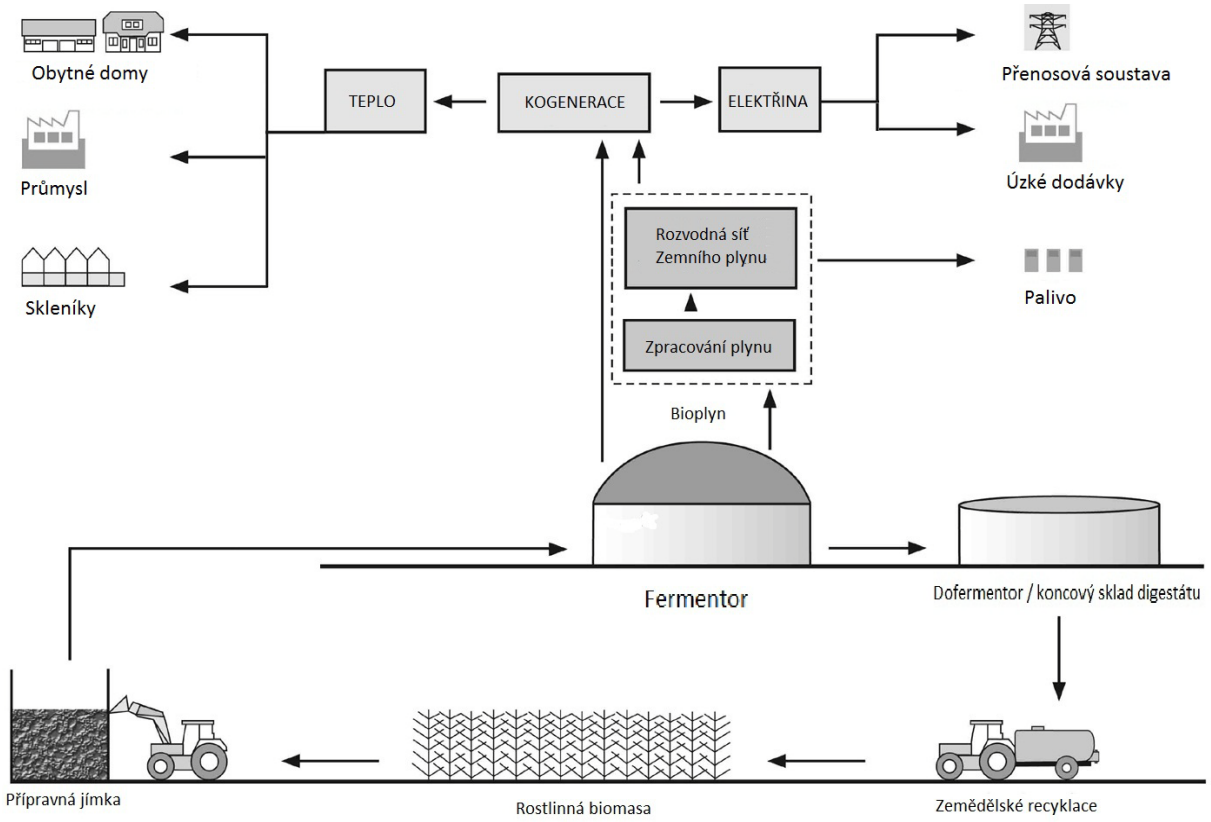
• **komunální bioplynové stanice -** jsou budované většinou s většinovým vlastnictvím obcí. Zpracovávají komunální odpady, kde největší podíl tvoří biologicky rozložitelný podíl komunálního odpadu, odpad z restaurací a jídelen a zelený odpad z údržby obecné zeleně. Za samostatnou podskupinu komunálních bioplynových stanic můžeme považovat anaerobní zpracování čistírenských kalů na čističkách odpadních vod (ČOV).

Rozvodná síť

Toto rozdělení bioplynových stanic není striktní, často se jedná o kombinaci zpracovávaných materiálů ze zemědělské, průmyslné resp. komunální sféry. Charakteristický vzhled BPS je na Obr. 3.1 a princip funkce na Obr. 3.2.



Obr. 3.1 Charakteristický vzhled zemědělské BPS s hlavními prvky [8]



Obr. 3.2 Princip bioplynové stanice

3.1 Bioplynové technologie

Základní myšlenkou každého bioplynového zařízení je stejný. Substráty jsou přidány do uzavřeného obalu, v němž je bioplyn vyráběný fermentačním procesem. Bioplyn je ukládán do nádrže (plynojemu), aby bylo dosaženo konstantní dodávky do kogenerační jednotky. Existuje velké množství různých anaerobních fermentačních systémů. Každý systém má své výhody a nevýhody. Nejběžnější systémy budou rozděleny a popsány v následující části:

Podle podílu vlhkosti zpracovávaného materiálu

- **zpracování tuhých materiálů -** sušina v substrátu mezi 18 – 30 %; někdy až 50 %
- **zpracování tekutých materiálů -** vstupní substrát s podílem sušiny 3 – 14 %

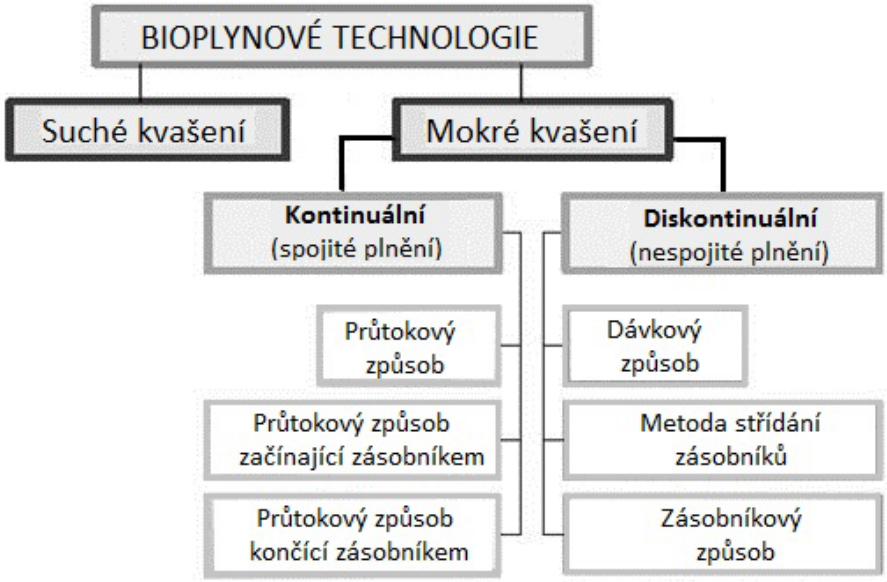
Podle dávkování surového materiálu

- **diskontinuální** (s přerušovaným provozem, cyklické, dávkové atd.) – doba jednoho cyklu odpovídá době zdržení materiálu ve fermentoru. Používá se zvláště při suché fermentaci tuhých organických materiálů. Způsob manipulace s materiálem je v tomto případě náročný na obsluhu

- **kontinuální(semikontinuální)** – používá se při plnění fermentorů, které jsou určeny pro zpracování tekutých organických odpadů s velmi nízkým obsahem sušiny. Při semikontinuálním plnění je čas mezi jednotlivými dávkami kratší, než je doba zdržení ve fermentoru. Je to nejpoužívanější způsob plnění fermentorů při zpracování tekutých organických materiálů. Materiál se obvykle dávkuje jedenkrát až čtyřikrát za den, někdy i častěji. Materiál vstupující semikontinuálně do fermentoru má minimální vliv na změnu

pracovních parametrů fermentoru (teplota, homogenita). Technologický proces lze snadno automatizovat a není tedy náročný na obsluhu.

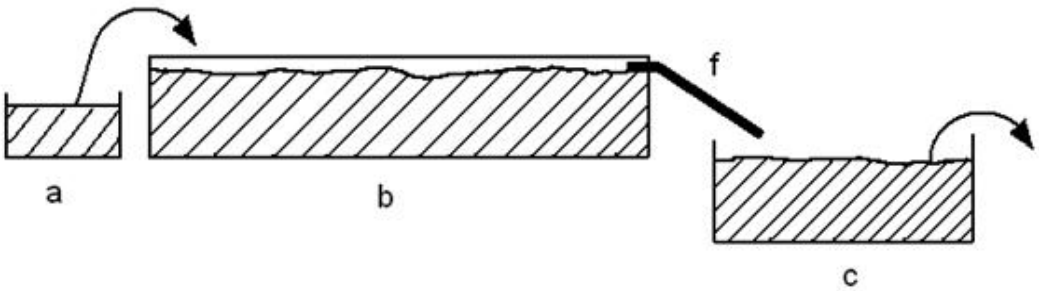
Podle konzistence vstupního materiálu je často zvolen i způsob dávkování. Tuhé materiály se dávkují obvykle diskontinuálně a naopak tekuté materiály se častěji dávkují semikontinuálně či kontinuálně. Toto členění je však pouze orientační. Přehled bioplynových technologií podle předchozího rozdělení můžeme vidět také na Obr. 3.3.



Obr. 3.3 Základné rozdělení bioplynových technologií [1]

3.1.1 Průtokový způsob

V současnosti ve světe pracujících bioplynových stanic pracují průtokovým způsobem, buď v čisté formě anebo v kombinaci se zásobníkovým způsobem. Při tomto způsobu je vyhnívací nádrž stále naplněná a jedině při opravách, anebo při odstraňování usazenin se vypouští. Z přípravní nádrže se čerpá čerstvý substrát (víckrát za den) do vyhnívací nádrže, přičemž automaticky odchází stejné množství digestátu do skladovací nádrže. (Obr. 3.4) Táto metoda se vyznačuje rovnoměrnou výrobou bioplynu, dobrým vytíženým fermentoru a tým i cenově příznivé kompaktní konstrukcí s malými tepelnými ztrátami. Proces plnění je možné automatizovat například prostřednictvím časového spínače na dávkovacím čerpadle. Nevýhodou této technologie je, že může dojít ke smíchání čerstvého a vyhnitého substrátu ve fermentoru v závislosti na použité technologie a konstrukce vyhnívací nádrže.

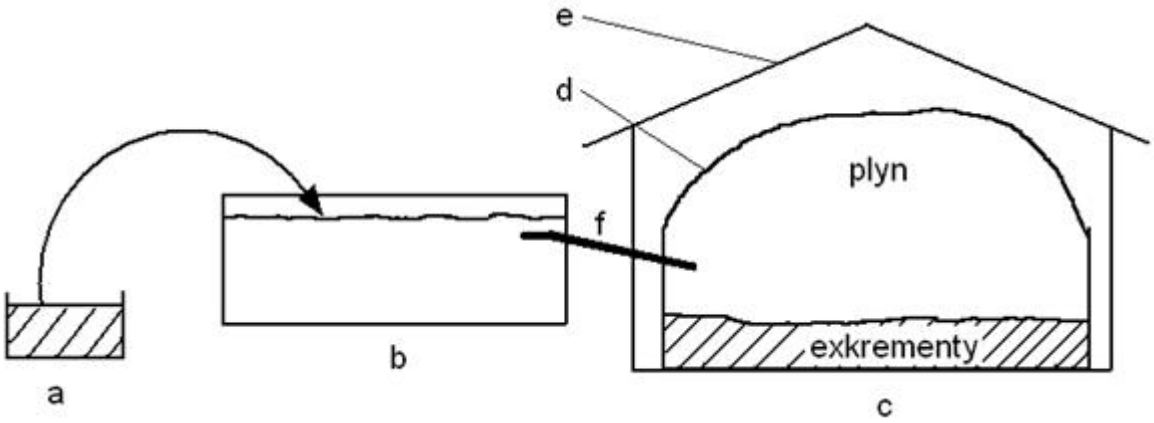


a – přípravná nádrž, b - vyhnívací nádrž, c – skladovací nádrž, f - přepad

Obr. 3.4 Průtokový způsob [1]

3.1.2 Kombinovaná průtoková metoda se zásobníkem

Tato metoda reprezentuje v současnosti nejvyšší vývojoví stupeň bioplynových stanic. Vznikla zkombinováním průtokového fermentoru se zastřešenou skladovací nádrží (Obr. 3.5), protože se v praxi ukázalo, že při dnešních dobách skladování vyhnilého materiálu, což představuje přibližně 6 měsíců, uniká 20-40% bioplynu ze skladovací nádrže. Cílem ale nejprve bylo jenom zabránění úniku dusíku z digestátu. Skladovací nádrže se zpravidla neizolují ani neohřívají, proto jsou náklady na takto získaný bioplyn relativně nízké.



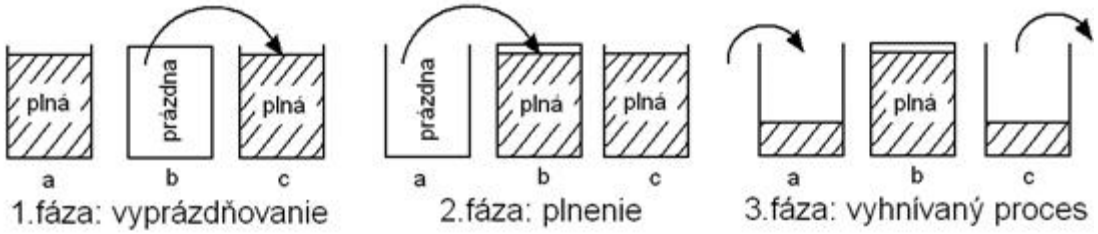
a – přípravná nádrž, b - vyhnívací nádrž, c – skladovací nádrž, d – fóliový poklop, e – ochrana před povětrnostními vplyvy, f - přepad

Obr. 3.5 Metoda průtoková se zásobníkem na konci [1]

3.1.3 Dávkový způsob

Při tomto způsobu se vyhnívací nádrž (fermentor) naplní naráz (Obr. 3.6). Vyhnívání probíhá do konce bez dalšího přidávání substrátu. Produkce bioplynu po naplnění roste do dosáhnutí maxima a pak klesá. Po skončení vyhnívání se nádrž zcela vyprázdní, okrem menšího množství vyhnitého kalu (cca. 5-10%), které je potřebné pro inokulaci nové dávky bakteriemi. Aby bylo možné fermentor plnit a vyprazdňovat na jeden krát je potřebné mýt k dispozici přípravní a skladovací nádrž se stejnou velkostí, co tento postup prodražuje. Nevýhodu představuje též nerovnoměrná výroba plynu. Nevýhodou je také to, že před přemístěním obsahu přípravní nádrže do vyhnívací nádrže uplyne dlouhá doba během, které již v přípravní nádrži probíhá proces rozkladu, což přináší straty na dusíku a metanu.

Používá se většinou při laboratorních pokusech. Táto metoda je optimální z hygienického hlediska, protože při ní nedochází k promíchávání s čerstvým substrátem.

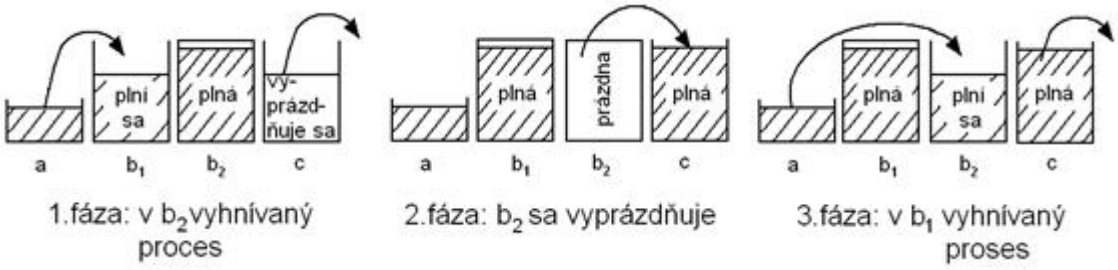


a – přípravná nádrž, b - vyhnívací nádrž, c – skladovací nádrž

Obr. 3.6 Dávkovací způsob [1]

3.1.4 Metoda střídání zásobníků

Metoda střídání nádrží pracuje s dvěma vyhnívacími nádrži: z přípravné nádrže, která pojme substrát získaný za 1 až 2 dni se pomalu a rovnoměrně plní prázdní fermentor, zatímco v druhé probíhá vyhnívací proces (Obr. 3.7). Při naplnění první nádrže se obsah druhé naráz přemístí do skladovací nádrže a následně se táto vyprázdněná druhá nádrž začne plnit z přípravné nádrže. Kapacita skladovací nádrže by zpravidla měla být větší než kapacita jedné vyhnívací nádrže. Tento postup se vyznačuje rovnoměrnou výrobou plynu a dobrým hygienickým účinkem, protože po dobu vyhnívání není doplňován čerstvý substrát. Nevýhodou tohoto systému jsou vysoké investiční náklady kvůli velkému počtu nádrží a vyšší tepelné ztráty. Dalším problémem je, že zavzdušnění nádrží při vyprazdňování.

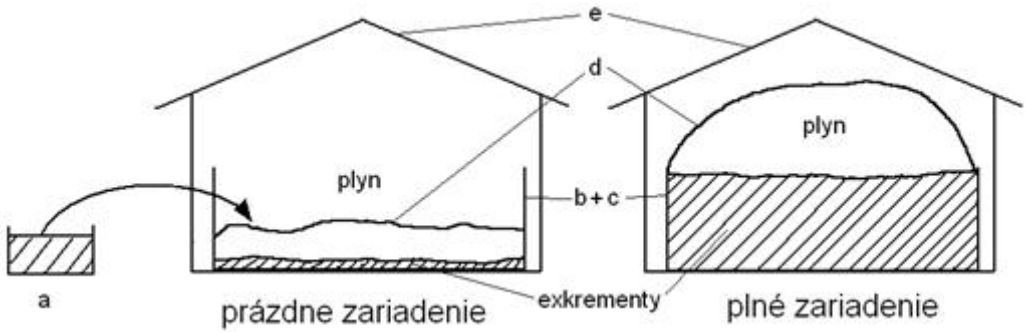


a – přípravná nádrž, b - vyhnívací nádrž, c – skladovací nádrž

Obr. 3.7 Metoda střídání zásobníků [1]

3.1.5 Metoda se zásobníkem

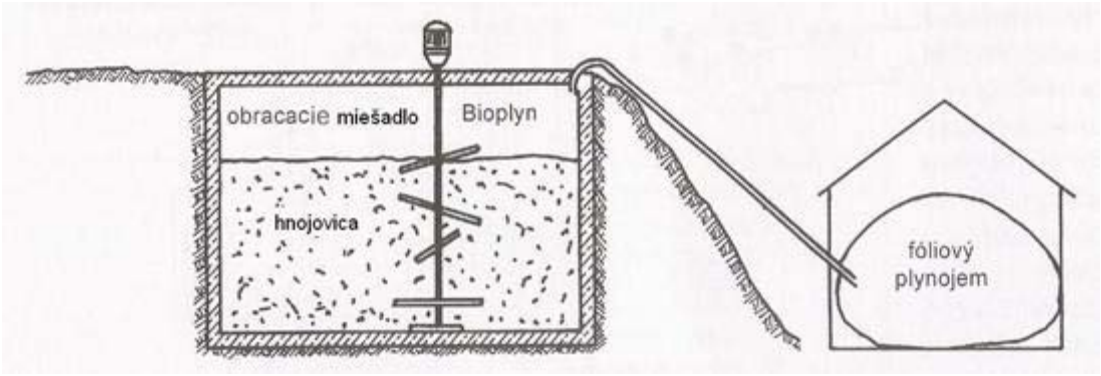
U tomto způsobu tvoří skladovací nádrž a fermentor jednu velkou nádrž (Obr. 3.8). Nádrž se při vyvážení digestátu vyprázdní až na malý zbytek potřebný k naočkování čerstvého substrátu. Zásobník se pak pomalu plní z přípravní nádrže, nebo přítokem skrz přirozený propad.



a – přípravná nádrž, b - vyhnívací nádrž, c – skladovací nádrž, d – fóliový poklop, e – ochrana před povětrnostními vlivy

Obr. 3.8 Metoda se zásobníkem [1]

K výhodám patří zejména nízké investiční náklady a také jednoduchost a přehlednost provozu. Zařízení s fóliovým krytem se vyznačují vysokými teplotními ztrátami a proto jsou tyto zařízení provozované hlavně v oblastech s vyššími teplotami (20 – 25 °C). Při zásobníkových zařízeních s pevným krytem (Obr. 3.9) musí být obsah plynojemu tak velký aby nevzniklo nebezpečenství vniknutí vzduchu při vyvážení digestátu. Dále je nutné zajistit ochranu před nepřízni počasí (přístřešek nebo dvojitý fóliový kryt).

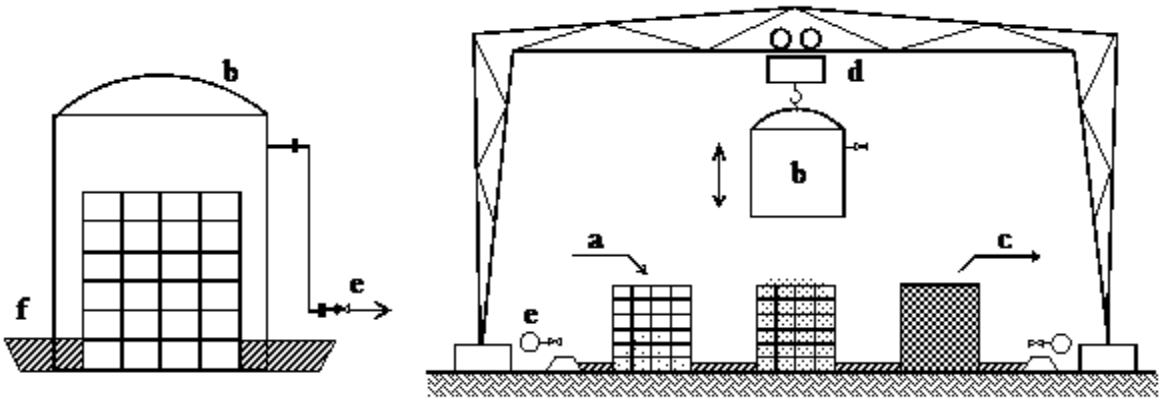


Obr. 3.9 fermentor s pevným stropem a externím fóliovým plynojemem

3.1.6 Proces se suchými substráty

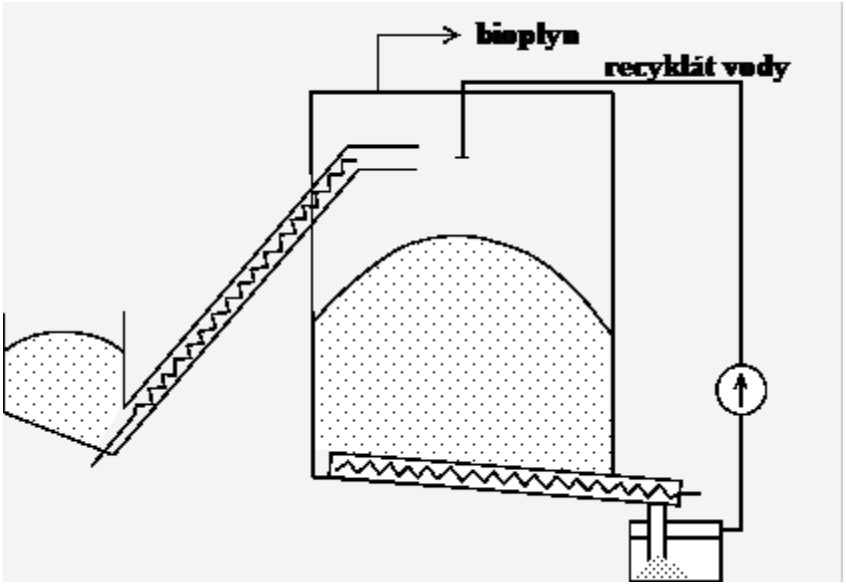
Samostatné postavení mají zařízení (reaktory) na tuhou fázi – tzv. suchou fermentaci. Tu jde buďto o tzv. reaktory zvonové (Obr. 3.10) anebo o reaktory komorové (Obr. 3.11). Zařízení se zvonovými reaktory byly speciálně vyvinuté pro fermentaci slamnatých hnojů resp. podestýlky aj samotné slamy. Reakce v těchto zařízeních probíhá pomaleji, protože tuhý odpad je naskládaný do velkých drátěných košů, v kterých je po naplnění překrytý plynotěsným zvonem a ponechaný fermentaci. Zařízení tohoto systému sice nemají problémy s vypouštěním odpadových vod, avšak na druhé straně je systém náročný na čas, na manipulaci a reaktory se prakticky nedají ohřívat, co zvlášť v zimě vede k zpomalení rozkladných procesů.

Komorové reaktory jsou konstruované na podobném principu jako systémy zvonové, t.j. jako komory vyplněné tuhým materiálem. Substrát je buď periodicky do komory zakládaný a po zfermentovaní vynášený anebo je systém navrhnutý jako kontinuálny. V tom případě je dávka vnášená uzavřeným dopravníkem do komory a z dna je zpracovaný materiál vynášený vyhrnovacím zařízením. Výhodou komorových systémů oproti zvonovým je to, že tu se dá zabudovat recyklační potrubí pro oběh výluhu a pro řízené zvlhčování reagujícího lůžka (obr. X).



a – plnění koše, b – překřývací zvon, c – odebírání zbytku, d-portálový jeřáb, e – sběrné plynovody, f – vodná uzávěrová nádrž

Obr. 3.10 Zvonový reaktor na tuhou fázi [8]



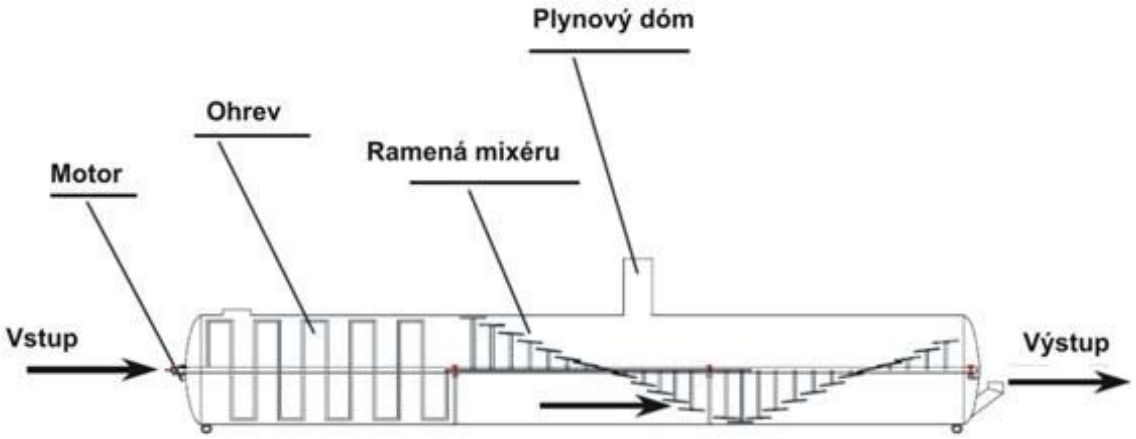
Obr. 3.11 P*rincip komorového reaktoru*

3.2 Konstrukční řešení fermentorů

3.2.1 Horizontální typ

Hlavní předností horizontálních fermentorů je, že zde lze instalovat bezpečné a energeticky úsporné míchadlo. Tým dosáhneme dobrého promíchání směrem průtoku, aniž by došlo k promíseni v podélném směru. Vzniká zde velmi žádoucí jev tzv. pístové proudění, kdy jedna dávka substrátu je posunována rourou jako píst, takže čerstvý substrát z plnící části se nemíchá s vyhnilým materiálem na druhém konci nádrže. Tento jev podporuje tedy higienizační efekt.

Nevýhodou je potřeba velkého prostoru na umístění a velké tepelné ztráty, kvůli velkému povrchu nádrže. Horizontální nádrže jsou konstruovány buď jako cylindrické ocelové nádrže(zejména pro malé objemy), nebo jako betonové konstrukce čtvercového a pravoúhlého průřezu



Obr. 3.12 Horizontální konstrukce

3.2.2 Vertikální typ fermentoru

Obr. 3.13 Vertikální oceloví fermentor

Fermentory konstruované jako vertikální vycházejí ze standardních, ocelových nebo železobetonových nádrží kruhového průřezu. Jejich objemy se pohybují v rozmezí 250 - 5000 m3. Dosahují lepší poměr mezi povrchem a objemem než horizontální typ, čímže se sníží náklady a tepelné ztráty. Nevýhodou je, že zde nemůže nastat jev pístového proudění. Při vysokém stavu podzemní vody se volí nadzemní umístění, jejíž výhodou je, že k vnější izolaci lze použít levnější materiály, nevýhodou jsou pak vyšší tepelné ztráty v zimě. Zařízení uložena pod zemí mají výhodu v tom, že nezabírají místo a proto mohou být umístěny klidně i přímo na dvoře. Kromě toho jsou chráněny před kolísáním venkovních teplot.

3.3 Stavební technika a materiály pro vyhnívací nádrže

Když nepočítáme technologické zařízení, jako jsou míchadla, čerpadla, topení fermentoru apod., tvoří vyhnívací nádrže tyto prvky:

- Plášť nádrže
- Plynojem u úplně naplňovaných nádrží
- Tepelná izolace
- Případně fóliový kryt nebo poklop
- Nátěry, povlaky, těsnící materiály

3.3.1 Plášť nádrže

Plášť fermentoru se vyrábí zpravidla z betonu nebo oceli, přičemž jsou možná různá provedení:

Železobetonové nádrže – Odlívají se pomocí ocelových bednění na místě stavby, nebo se používají betonové prefabrikáty (kratší doba výstavby). Třeba dbát na vodo- a plynotěsné provedení

Nádrže z ocelového plechu – Je druhým nejvýraznějším stavebním materiálem pro stavbu fermentorů. Používají se i použité, ale zachovalé cisterny pro přepravování a uskladňování kapalin např. cisterny na čerpacích stanicích, které se musejí v pravidelných intervalech měnit.

3.3.2 Plynojem

Plynojem slouží na vyrovnávání nerovnoměrností při výrobě plynu ve fermentoru. U současných bioplynových stanic v zemědělském sektoru se nejčastěji používají gumotextilní dvouplášťové plynojemy a kovové válcové plynojemy (Obr. 3.14). Existují ovšem i další méně používané plynojemy jako mokré plovoucí plastové plynojemy a suché kovové plynojemy s gumotextilní membránou. Životnost plynojemu je obvykle stejné jako životnost fermentoru.

Obr. 3.14 Kovový válcový plynojem

3.3.3 Tepelná izolace

V našich zeměpisných šířkách je nezbytná izolace částí bioplynových zařízení (fermentoru, teplovodního potrubí, atd.). Pro tyto účely se osvědčili následující materiály:

Minerální vlna (skelná vlna, minerální vata) – nízká cena, odolnost vůči teplotám a mikrobiálnímu rozkladu, při zpracování podle předpisů nehrozí žádné zdravotní nebezpečí

Rohože z minerálního vlákna – slouží především pro izolaci zaoblených a zakřivených ploch a potrubí, cenově výhodné a dlouhodobé řešení při zakrytí kovovými profily eventuelně lepenkou proti obraně před vnějšími vlivy počasí

Pěnové hmoty(expandovaný polystyrén) – značně rozšířené u BPS, lze lepit na beton, ohýbání ve velkých poloměrech bez naříznutí, obtížně se zbavují vlhkosti proto vhodný pro použití na nadzemních částech, nutné opatřit ochranou proti vnějším vlivům

Desky z extrudovaného pňového polystyrénu (Styrodur, Isofoam) – mají velkou pevnost v tlaku, odolné vůči působení kejdy, nenasakují vlhkost, ideální pro izolaci podzemních nádrží

Polyuretanová pěna – má velmi nízkou tepelnou vodivost, tedy dobrý izolační účinek. Dražší než uvedené polystyrénové materiály, proto se užívají zřídka.

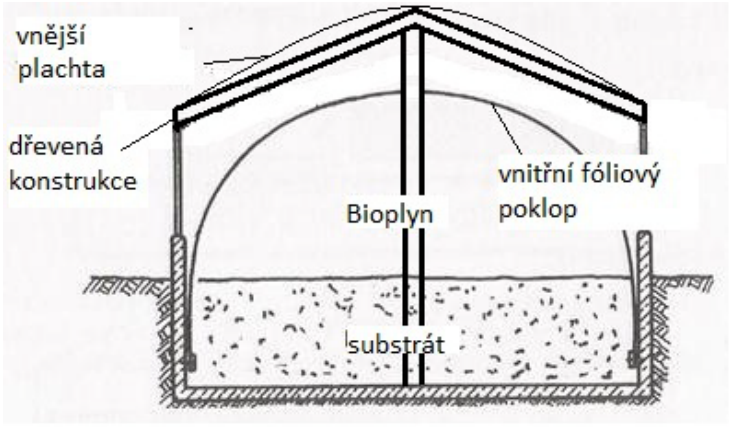
Organické izolační materiály(ovčí vlna, bavlna, korek) – hodí se pro izolaci nadzemích částí nádrží, ceny jsou však dva až třikrát vyšší než ceny minerálních a polystyrénových materialů, rovněž mají horší vlastnosti (vyšší tep. vodivost)

3.3.4 Fóliový poklop a kryt fermentoru

Zakrytí nádrže fermentoru fóliovým poklopem sloužícím rovněž jako plynojem má ve srovnání s uzavřenými fermentory radu výhod. Při nouzovém případě je možné zvednutím poklopu odkrýt nádrž na velké ploše. Hlavní nevýhodou je vystavení fóliového krytu povětrnostním vlivům (sníh, led, UV záření). Řešení tohoto problému, která se v praxi osvědčila jsou následovné:

Fóliový poklop pod fóliovým zastřešením nádrže

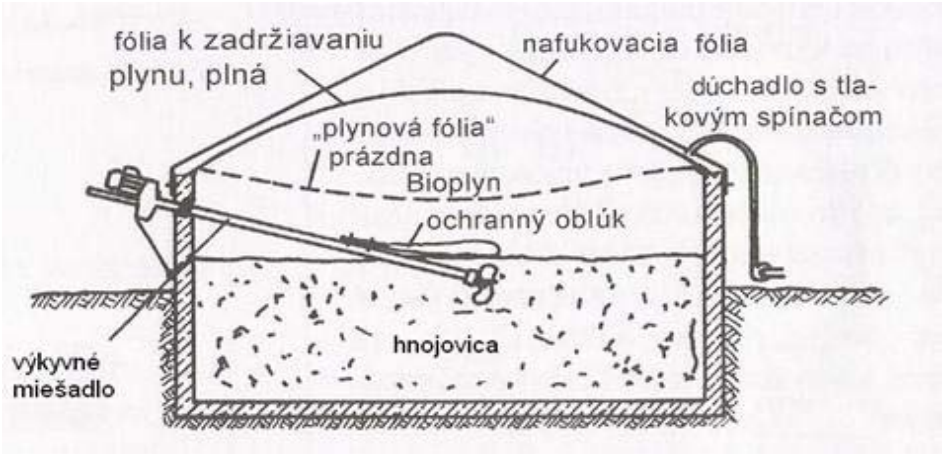
Při tomto řešení se plachta ze zesíleného PVC natáhne přes kuželovitou dřevěnou konstrukci, která se opírá o horní okraj nádrže. Druhý, vnitřní fóliový poklop jakožto plynojem je tým chráněn před povětrnostními vlivy.(Obr. 3.15)



Obr. 3.15 Fóliový poklop pod fóliovým zastřešením nádrže

Dvojitá fólie jakožto nafukovací střecha

V tomto případě se místo nosné konstrukce kompresorem nafouká vzduch mezi vnitřní fólií a fólií střešní pláště, čímž se krycí plachta nafoukne a napne. K jímání bioplynu tedy slouží vnitřní fólie, která je plynotěsně připevněna k stěně nádrže. Plynová fólie se může v závislosti od množstva plynu pohybovat nahoru a dolů. Jako střešní plášť se používá zesílená PVC plachta. Kvůli montáži a opravám je pod plynojemem instalována podpěrná konstrukce. Ve srovnání s odděleným plynojemem je tento typ levnější.



Obr. 3.16 fermentor s dvojitým fóliovým překrytím

Krytí nádrže jednoduchou fólií

Nahoře otevřená nádrž je opatřena krytem z jednoduché fólie. Tento kryt slouží jako střecha i plynojem. Plachta je uložena na podpěrné konstrukci a takto chráněna proti tomu, aby klesala pod okraj nádrže.

3.3.5 Nátěry, povlaky a těsnící materiály

Užití těchto hmot může být nutné k utěsnění porézních betonových ploch nebo míst napojení a rovněž k ochraně plechu proti korozi. Tyto hmoty musí být absolutně odolné vůči vlivům vlhkosti a teplot a nesmí podléhat působení slabých organických kyselin ani sirovodíku a amoniaku.

Vyšší výskyt koroze se ukázal v praxi na ocelových nádržích na hraniční čáře mezi substrátem a bioplynem. U betonových fermentorů s pevným stropem je v každém případě vhodné provést těsnící nátěr nad hladinou substrátu, neboť již nejmenšími trhlinami může unikat velké množství bioplynu.

V úvahu připadají tyto typy nátěrových hmot:

Bitumenové, bitumen-kaučukové nátěrové hmoty – levné, snadno se nanášejí, zachovávají plasticitu, často užívané

Disperzní nátěrové hmoty ředitelné vodou – nehořlavé, zdravotně nezávadné, většinou ale nejsou plynotěsné a působením vlhkosti bobtnají

Umělé pryskyřice – tvoří vysoce odolné, plynotěsné a zároveň elastické vrstvy, drahé

3.4 Přípravné a skladovací nádrže, přímé plnění fermentoru

3.4.1 Přípravná nádrž

Málokdy se podaří kontinuální plnění vyhnívací nádrže kejdou přímo ze stáje nebo z jiného zdroje kapalného substrátu. Kapalné substráty se proto sbírají v přípravné nádrži, odkud se 1-2 denně přečerpává do fermentoru. Přípravná nádrž tím přejímá funkci vyrovnávací nádrže. Můžeme jej také použít pro přimísení, rozmělňování a zkapalňování kofermentů nebo tuhého hnoje. Má mýt objem pro zdržení tekutého materiálu získaného během 1 až 2 dnů. Není nutné plynotěsnost, protože přístup vzduchu působí příznivě na započetí první tzv. kyselé fáze.

Přípravné nádrže jsou většinou zapuštěny do země. Zhotoveny jsou buď litím na místě nebo z betonových tvárnic. Cylindrický tvar je výhodný pro míchání. Substrát se nasává ve výši cca. 50 cm nade dnem, kde zůstanou cizorodé látky.

3.4.2 Skladovací nádrž (koncový sklad)

Slouží k zachytávání vyhnilého substrátu z průtokových zařízení. Velkost nádrže třeba projektovat s přihlédnutím na legislativu, která předepisuje, že digestát třeba zdržet minimálně po dobu 180 dnů. Je to rovněž důležité kvůli vegetačnímu klidu rostlin, kdy nepřijímají živiny.

Koncový sklad je železobetonová nádrž, která je odolná vůči vodě, síře a nízkému pH. Vnitřní steny je možné opatřit trojvrstvovým akrylátovým nátěrem, který prodlužuje životnost. U většiny nových bioplynových stanic je kryta pevným stropem nebo fóliovým poklopem, aby se zabránilo ztrátám na dusíku a zároveň aby bylo možné využít dohnívání substrátu ze kterého se uvolňuje bioplyn (4-8% celkového množství). I když v první fázi výstavby investor nepořídí kryt pro snížení nákladů, musí s tím do budoucna počítat, protože otevřené skladování nebude zanedlouho přípustné.

3.4.3 Dávkovací zařízení

Slouží pro přímé plnění fermentorů tuhými kosubstráty (kukuřiční siláž, senáž). Při kofermentaci různých substrátů rovněž slouží pro homogenizaci materiálu. Dávkovače pevných látek zpravidla vycházejí z míchacích vozů na krmiva, které jsou vybaveny šnekovým podavačem pevných látek a jsou vyzkoušené v praxi. Vyrábějí se o objemu 14-200 m^3. Vyznačují se robustním provedením, snadnou údržbou a spolehlivým systémem dávkování vstupních surovin. Dávkování je obvykle pomocí časových spínačů automatizován.

Obr. 3.17dávkovací zařízení

3.5 Potrubí, čerpadla, armatury

Potrubí, čerpadla a armatury jsou nutné k transportu čerstvého a vyhnilého substrátu a pro řízení toku materiálu.

3.5.1 Potrubí

Potrubí v bioplynové stanici jsou dvojího druhu:

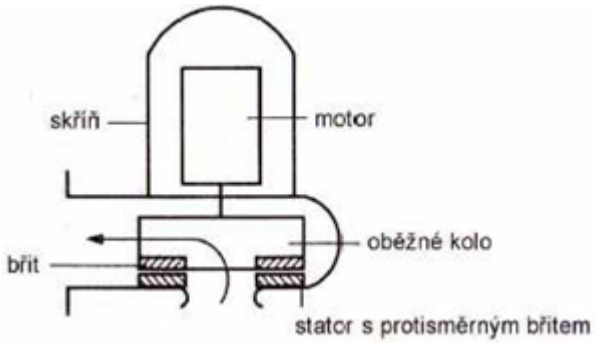
- **Plnící tlakové potrubí –** dopravuje substrát pod tlakem čerpadla(např. z přípravné nádrže do fermentoru, z koncového skladu di cisternového vozu), průměr 100-125 mm(u delších tras i 150 mm), většinou proveden z ocelových rour se svařovanými nebo přírubovými spoji
- **Přepadové a vratné beztlakové potrubí –** materiál odchází samovolně vlivem spádu(např. z fermentoru do koncového skladu), průměr min. 200 mm při řídkých kapalných substrátů, 300 mm pro husté substráty(hovězí kejda), používají se téměř výhradně kanalizační roury z PVC

Potrubí by měla být uložena v nezámrzném prostředí. Mírný spád směrem k vyústění umožňuje samovolné vyprázdnění obsahu potrubí a zmenšuje nebezpečí tvorby sedimentů.

3.5.2 Čerpadla

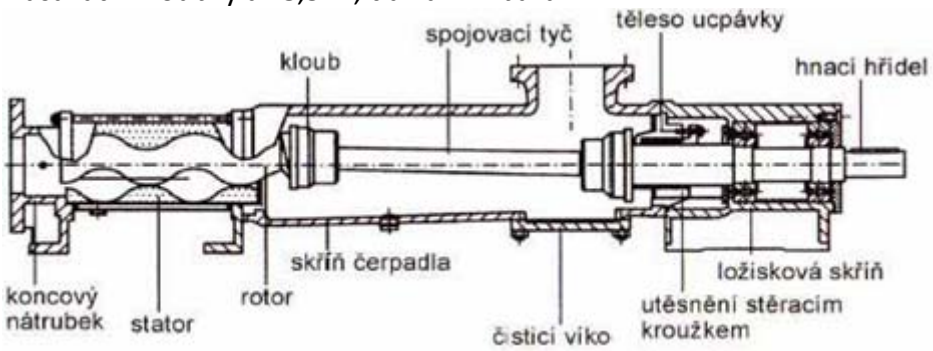
Slouží k přepravě tekutých substrátu a k překonávání výškových rozdílů mezi jednotlivými nádržemi:

- **Odstředivá (rotační) čerpadla** – používají se často u kejdy a kapalných substrátů s obsahem sušiny menším než 8%, konstrukčně jednoduché, relativně robustní, maximální tlak 4 – 20 barů, průtok 2-6 m^3/min, příkon 3-15 kW, zvláštní forma rotačních čerpadel je tzv. břitová čerpadla mající na oběžném kole tvrzené břity a na skříni protilehlý břit (Obr. 3.18)



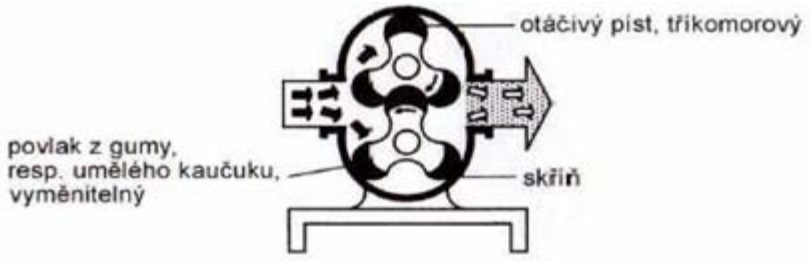
Obr. 3.18 Ponorné břitové čerpadlo (podélný řez)

- **Objemové čerpadla –** pro dopravu substrátů s vysokým obsahem sušiny, jsou méně závislá na změně tlaku než rotační čerpadla, mohou čerpat i v protisměru, v BPS se užívají nejvíce
  - šnekové čerpadla (Obr. X) – rotor(vřeteno) z oceli otáčející ve statoru, mohou nasávat z hloubky až 8,5 m, tlak až 24 barů



Obr. 3.19 Excentrické šnekové čerpadlo (podélný řez)

  - čerpadlo s rotujícími písty (Obr. 3.20) – dva oproti sobě rotující písty potažené elastomerem, tlak 2 – 10 barů, průtok 0,5 – 4 m^3/min, nejsou citlivá na chod na sucho, měnitelný směr otáčení



Obr. 3.20 čerpadlo s rotujícími písty (příčný řez)

Při tlakové dopravě v BPS je důležité provést hydraulicky efektivní návrh potrubí a čerpadla v závislosti na druhu a složení čerpaného substrátu.

3.5.3 Armatury

Důležitými armaturami v potrubním systému BPS jsou:

- spojky – provedeny obvykle jako přírubový spoj (ocelové roury) nebo zásuvné spoje s gumovým těsněním (plastové roury)
- šoupátka – obsluhují se buď ručně nebo motorem, při rozvádění dopravního proudu do více směrů se používají vícecestná šoupátka

- zpětné ventily, klapky – jsou nutné v případech, když se musí materiál dopravovat z přípravné nádrže do výše situovaného fermentoru
- čistící otvory – tvoří je T kus, jehož boční otvor se uzavírá víkem na otočném rameni, po zvednutí víka lze odstranit ucpávku jednoduše proudem vody
- manometr – umožňuje kontrolu čerpadla a potrubního systému

3.6 Míchadla

Substrát ve fermentoru je třeba denně několikrát promíchat aby se dosáhlo následujících efektů:

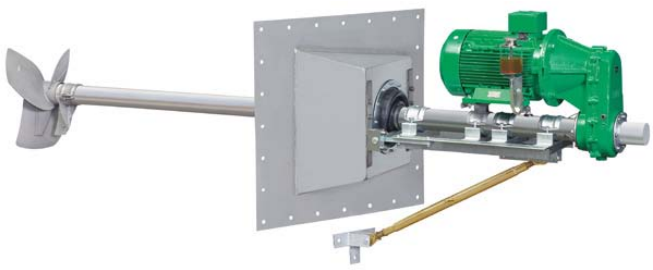
- smíchání čerstvého substrátu s vyhnívajícím, kvůli inokulaci čerstvého substrátu mikroorganizmy
- rozdělení tepla pro udržení rovnoměrnosti teplotní úrovně
- zabránění vzniku plovoucí tuhé vrstvy a usazenin na dně fermentoru
- zlepšení látkové výměny bakterií přívodem čerstvých živin

K promíchávání ve fermentoru dochází i bez práce míchadiel působením termického konvekčního proudění a stoupajícím plynovým bublinkám. Pasivní promíchávání ale není dostačující pro tužší fáze substrátů, proto se používají:

Mechanická míchadla:

- Mechanická lopatková míchadla – užívají se v horizontálních fermentorech (Obr. 3.12)
- Mlýnová míchadla – pracují rovněž mechanicky, ale se svislou, odstředivě směrovanou vlnou
- Ponorná motorová vrtulová míchadla (Obr. 3.21) – v posledních letech se výrazně prosadila ve vertikálních fermentorecht
- Otočné tyčové mixéry (Obr. 3.23) – motor umístěn mimo nádrž a vrtuli pohání dlouhou hřídelí
- Pádlová míchadla (Obr. 3.22) - jednoduchá konstrukce a zaručuje dlouhodobý provoz

Obr. 3.21 ponorné motorové míchadlo

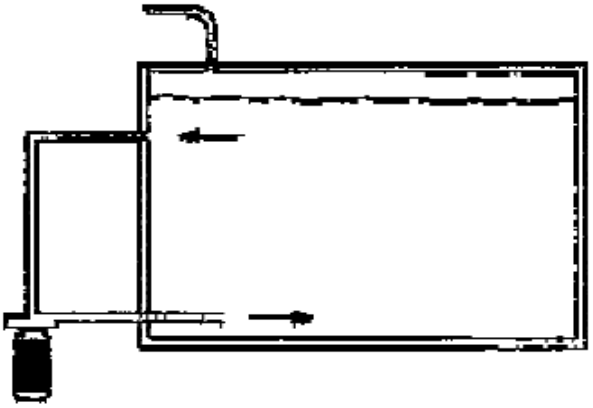


Obr. 3.22 Pádlové míchadlo

Obr. 3.23 Otočný tyčový mixér

Hydraulická míchadla:

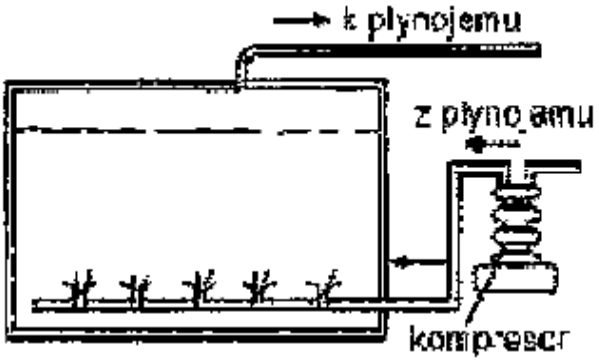
Používá se výkonné centrální čerpadlo, které zároveň slouží k čerpání substrátu z přípravné nádrže do fermentoru. Funkce míchání se nastavuje přesměrováním dopravního proudu uzavíracím šoupátkem. Hydraulické míchání má výhodu v tom, že v prostoru fermentoru se nenacházejí žádné pohyblivé části, které by mohli způsobovat oděr stěn. Použití se omezuje na řídké substráty.



Obr. 3.24 Hydraulické míchání [1]

Pneumatická míchadla:

Metoda míchání stlačeným plynem spočívá ve využití vznikajícího bioplynu, jak je tomu uvedeno na Obr. 3.25. Vznikající bioplynové bubliny vyvolávají v substrátu vertikální pohyb, nikoliv však horizontální, tudíž fermentor není promícháván v plném rozsahu. Pořizovací náklady tohoto zařízení jsou ale dosti vysoké a kvůli relativně vysokým hodnotám tlaku plynu je nutné dokonalé utěsnění fermentoru.



Obr. 3.25 Pneumatické vtlačování bioplynu[1]

3.7 Vytápění fermentorů

Jak už bylo uvedeno v předchozích kapitolách v našich klimatických podmínkách je zapotřebí fermentor uměle vytápět, aby se udržela žádoucí teplota pro mikroorganizmy a aby se vyrovnaly tepelné ztráty způsobené únikem tepla do okolí. Substrát je možné zahřívat cirkulací teplé vody nebo přes výměník tepla.

Externí výměníky:

V mimo fermentor umístěných výměníků tepla jsou substráty a horká voda čerpány proti sobě teplonosnými zařízeními. Z termodynamického hlediska velmi efektivní metoda. Čištění takových systémů je ovšem velmi nákladné proto se používají jedině pro velká zařízení.

Podlahové vytápění:

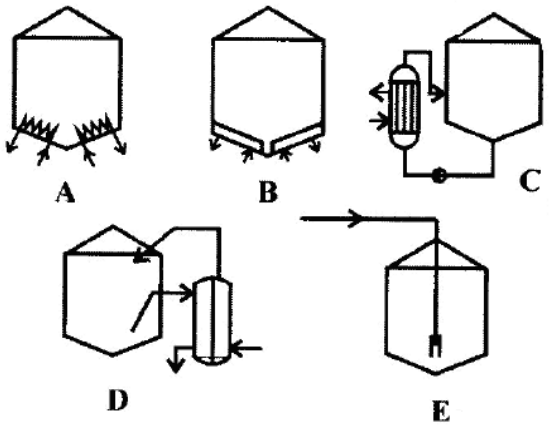
U vertikálních fermentorů často používaný způsob ohřevu. V podlahové desce jsou uloženy plastové výhřevné trubky o stejných délkách a napojeny paralelně na jeden spoločný rozdělovač pro přítok a jeden pro odtok topné vody, podobně jako u podlahového topení obytných domů.

Stěnové topění:

Používá se rovněž u vertikálních okrouhlých fermentorů. Teplonosné trubky se buď zalijí do stěn(u nádrží z litého betonu) nebo se v určité vzdálenosti zavěsí na stěnu. U ocelových nádrží se trubky ovinou zvenčí kolem nádrže.

Topení na hřídeli míchačky (Obr. 3.12**):**

Tento typ se nejvíce uplatňuje u horizontálních nádrží s lopatkovým míchadlem. Na začátku nádrže je v určitém úseku hřídele namísto lopatek smyčka z ocelové trubky, kterou protéká topná voda. Při otáčení dochází k velmi dobrému přenosu tepla.



A – vnitřní výměník, B – duplikátorový plášť, C – externí výměník, D – rekuperační výměník, E – přímotopná pára

Obr. 3.26 Způsoby otopu reaktorů [8]

3.8 Kontrolní, měřící a ovládací zařízení

Bezproblémový chod bioplynové stanice není možný bez měřících a vyhodnocovacích údajů a bez každodenní kontroly nejdůležitějších částí. V následující části jsou popisovány, jaká měření jsou nutná, respektive žádoucí.

Množství substrátu

Denní množství substrátu se musí evidovat, v přípravné nádrži je k tomu účelu instalován ukazatel hladiny. Na dávkovacím zařízení tuhého substrátu je instalována tenzometrická váha. Jenom se znalostí průměrného denního množství lze posoudit míru výnosu bioplynu.

Měření teploty ve fermentoru a v topném okruhu

Je realizován teplotním čidlem zasazeným ve 2/3 tloušťky betonové stěny. Krátkodobé výkyvy uvnitř fermentoru nelze tímto způsobem zachytit. Pro měření teploty vytápěcího systému jsou teploměry uloženy v přítokové a odtokové větvě vytápěcího systému.

Stanovení hodnoty pH

Prováděn pomocí lakmusového papíru(primitivní způsob) nebo elektronickými měřiči pH.

Měření množství vyrobeného plynu

Nejdůležitějším měřítkem funkce a výkonu BPS. Měří se suchými plynoměry nejčastěji napojenými na počítač kvůli zběru dat.

Měření složení bioplynu

V tomto případě se vždy jedná o měření metanu, oxidu uhličitého a sirovodíku. S přímým měřením metanu se ale v praxi nepočítá, protože měřící přístroje jsou drahé. Proto se měří obsah CO_2 a to Brigonovým indikátorem (bioplyn je veden roztokem hydroxidu draselného), obsah CO_2 lze pak odečíst na stupnici z výšky sloupce kapaliny. Jelikož je bioplyn tvořen 92 – 94% metanem a CO_2 obsah metanu se snadno vypočítá. Obsah H_2S se zjišťuje pomocí Drägerových trubičiek.

Spotřeba a výroba proudu

K zjištění spotřeby proudu se nejdůležitější spotřebiče (čerpadla kejdy, míchadla, oběhové čerpadla, atd.) nechají běžet přes vložené počitadlo. Pro měření vyrobeného množství

proudu kogenerační jednotkou jsou nezbytná dvě měřící přístroje:jedno měří celkovou produkci a druhé množství dodávaného do sítě.

Spotřeba LTO vznětovými motory se vstřikem zápalné dávky

Měří se průběžně a velmi přesně průtokovým měřidlem. Poměrem mezi energetickým obsahem spotřebovaného oleje a celkovou výrobou energie za daný časový úsek zjistíme kolik procent z celkové výroby získáme z LTO.

Ovládací zařízení

Procesy , které se řídí automaticky

- *Plnění fermentoru z přípravné nádrže* – řízené plovákovými spínači
- *Regulace teploty procesu* – termostatickou regulací pomocí senzoru vně fermentoru
- *Zapínání míchadel* – časovým spínačem

3.9 Fléra

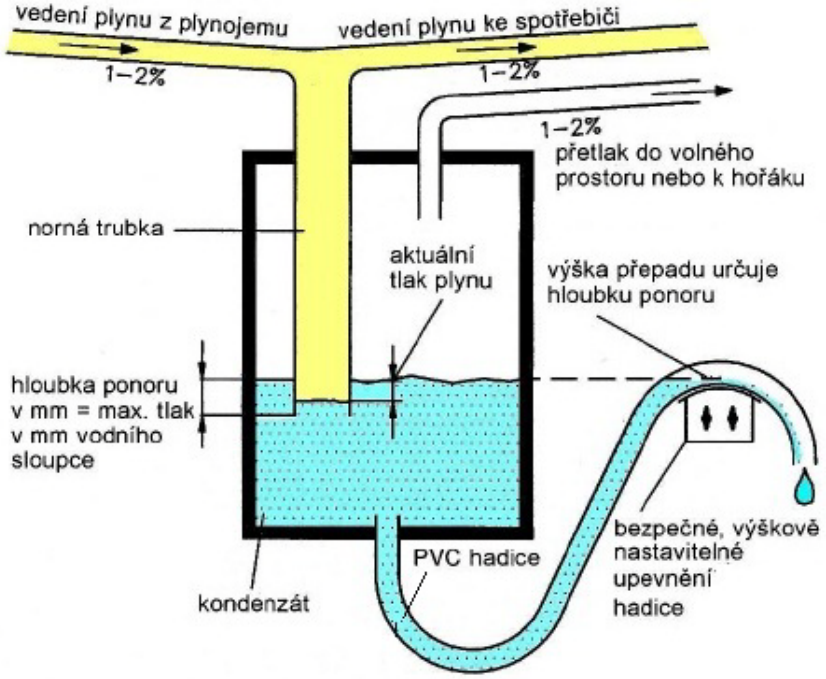
Horák sloužící pro spalování přebytečného plynu, při odstávkách KGJ a při havarijním odstavení spalovacích zařízení. Nutno projektovat na stejný výkon jakou má spalovací zařízení.(Obr. 3.28)

3.10 Příprava a zpracování bioplynu

Bioplyn vycházející z fermentoru je přibližně ze 100% nasycen vodní párou a kromě toho obsahuje velké množství sirovodíku. Rovněž může docházet k vytváření aerosolů, které způsobují zanášení trubek. Použité techniky pro řešení uvedených problémů jsou:

Odlučovač kondenzátu

Instalován na začátku plynové trasy v nezámrzném prostoru. Tvoří ho nádoba z kterého může odtékat kondenzát přes sifon bez úniku plynu.



Obr. 3.27 Odlučovač kondenzátu s přetlakovou pojistkou

Obr. 3.28 Fléra

Jištění proti zpětnému výšlehu plamene
Tímto jištěním třeba zajistit aby ani při vytvoření zápalné směsi plynu a vzduchu v plynovém potrubí nedošlo k jejímu zapálení plamenem spalovacího zařízení. Používají se tzv. štěrkové ucpávky.
Odsíření
Vedle sušení je nejdůležitějším opatřením ke snížení koroze. K tomuto účelu slouží tzv. biotechnické odsíření cíleným nafoukáním minimálního množstva venkovního vzduchu do plynojemu, kde sirné bakterie za přítomnosti vzduchu rozkládají sirovodík na elementární síru, která pak v digestátu slouží jako výživa pro rostliny.

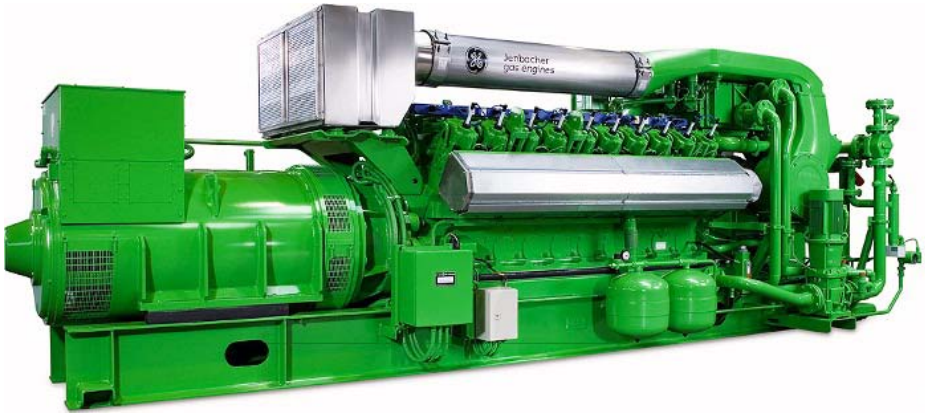
3.11 Technologie na využití bioplynu z BPS

Bioplyn můžeme použít všude, kde se používají i jiná plynná paliva. Spotřebiče je potřebné přizpůsobit na provoz bioplynem.
Mezi možné využití bioplynu patří:

- přímé spalování (vaření, svícení, topení, sušení, ohřev užitkové vody,…)
- výroba elektrické energie a ohřev teplonosného média (kogenerace)
- výroba elektrické energie, ohřev teplonosného média, výroba chladu (trigenerace)
- pohon spalovacích motorů nebo turbín pro získání mechanické energie
- využití bioplynu v palivových článcích

V našich podmínkách se nejčastěji setkáme s využitím bioplynu v kogeneračních jednotkách.

3.11.1 Kogenerační jednotky (KGJ)



Obr. 3.29 kogenerační jednotka Jenbacher

Kogenerační jednotka se používá na kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Elektrická energie se získává přeměnou mechanické energie a to za pomocí elektromagnetické indukce v elektrickém generátoru. Tepelná energie, jež se dá dále využít pro vytápění budov nebo procesních zařízení (např. reaktor u bioplynových stanic), se tvoří za pomocí výměníků. Na trhu existuje mnoho výrobců – kogenerační jednotky představují ustálenou a dostupnou technologii. Dostupné jsou s výkony od 10 kW do několika MW. Z environmentálního hlediska jsou kogenerační jednotky velmi přijatelné, jejich používání nemá závažný negativný vplyv na životné prostředí, protože produkují nižší obsah škodlivých emisí než je to v případě samostatné výroby tepla nebo elektrické energie. Pro praktické použití v BPS připadají v úvahu:

- plynové zážehové motory

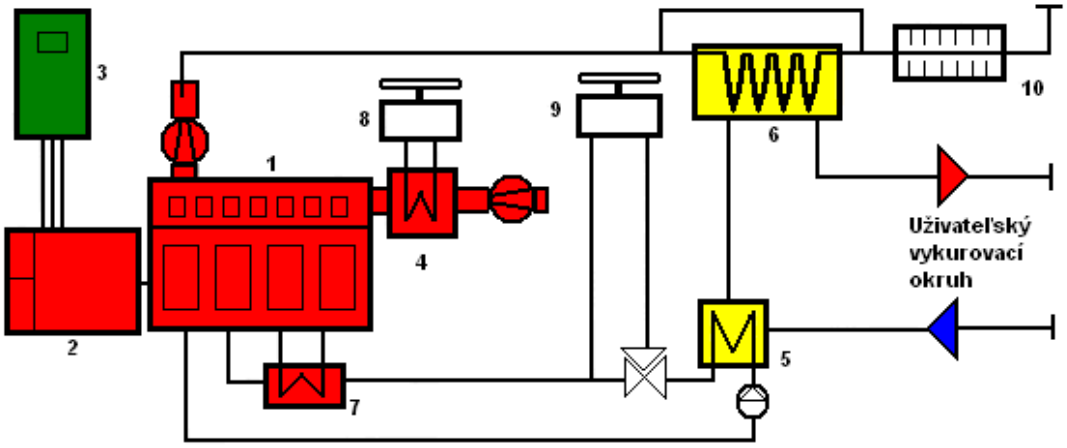
- na plynové zážehové motory přestavěné dieselové motory
- dieselové motory se vstřikem zapalovacího oleje

Hlavní části kogenerační jednotky nezávisle od použitého typu motoru jsou:

- spalovací motor
- generátor
- výměník na využití tepla z chladícího okruhu (voda, olej) a potrubních rozvodů spalinového výměníku
- elektrické části na vyvedení výkonu
- systém automatického řízení

Trojfázový generátor může být synchronní, anebo asynchronní, podle toho, či má kogenerační jednotka spolupracovat se sítí, anebo pracovat pouze v ostrovním provozu. Na Obr. 3.30 je znázorněná principiální schéma kogenerační jednotky.

Celková účinnost kogeneračních jednotek se pohybuje v rozmezí 80 až 90 %. Přičemž tepelná účinnost zařízení ku elektrické účinnosti bývá většinou v poměru 5:4. U některých typů spalovacích zařízení je však tento poměr i 1:1. Kogenerační jednotky je vhodné instalovat do samostatných budov, případně průmyslných celků.



1-Blok spalovacího motoru, 2-Elektrický generátor, 3-Elektrický rozvaděč s řídícím systémem (připojení k ES), 4-Mezichladič plnící směsi, 5-Výměník tepla voda/voda, 6 -Výměník tepla spaliny/voda, 7-Chladič mazacího oleje, 8-Chladící ventilátor, 9-Chladící ventilátor, 10-Tlumič hluku

Obr. 3.30 Principiální schéma kogenerační jednotky

3.11.2 Trigenerace

Problém s využitím tepelné energie v letních měsících je možné vyřešit trigenerácí. O trigeneraci hovoříme při spojení kogenerační jednotky s absorpční chladící jednotkou. Okrem elektrické a tepelné energie tak vyrábíme i chlad. Přebytečná tepelná energie je spotřebovaná v desorbéri.

3.11.3 Palivové články

Jsou vyvíjeny palivové články pracující namísto vodíku s metanem, tudíž v budoucnu je předpoklad i pro využití bioplynu. Palivový článek je elektrochemický reaktor, který trvalo přeměňuje chemickou energii přímo na elektrickou energii (a teplo), kým je přiváděné palivo a oxidant. Každý palivový článek má dvě elektrody (anodu a katodu), elektrolyt, který umožňuje pohyb iónů mezi elektrodami a většinou i katalyzátor, který urychluje reakci

4 Návrh bioplynové stanice

Záměrem diplomové práce je návrh konkrétní zemědělské bioplynové stanice pro zpracování (kofermentaci) odpadů z živočišné výroby, rostlinných odpadů a cíleně pěstovaných energetických plodin. Nápad návrhu a po úspěšném dokončení projektu i provozu bioplynové stanice vznikl jednak z dostupnosti velkého objemu substrátů v dané oblasti a v neposlední řadě i z finančních důvodů. Kvůli projektu byla založena společnost *Axone s.r.o.*, která bude v připravovaném projektu vystupovat jako investor a po zdárném rozběhu i provozovatelem.

Bioplyn vzniklí fermentací bude spalován v kogenerační jednotce za vzniku el. energie a tepla. Elektrická energie bude dodávána do distribuční sítě ZSE. Pro dobrou finanční efektivitu stanice je vhodné využít celé množství vyrobeného tepla. Část tepla bude spotřebováno na vlastní ohřev fermentační nádrže a pro zbývající část se intenzivně hledá vhodné využití (skleník, sušení dřeva z blízké dřevozpracujícího podniku, apod.). Vyhnilý zbytek (digestát) poslouží pro snížení množství umělých hnojiv použitých při produkci cíleně pěstované energetické plodiny (silážní kukuřice).

Projekt bioplynové stanice je multioborový, prolínající se tematicky napříč mnoha odvětvími (ochrana ovzduší, odpady, energetika). Proto je také proces jejich přípravy a realizace poměrně náročný z hlediska administrativy a naplnění požadavků různých zákonů. Je proto nezbytné, aby zájemci a potenciální investoři věnovali důslednou pozornost předrealizační přípravě, která je dlouhodobou záležitostí (min. 1 rok v ideálních případech, ve složitějších i delší), ale při samotném provozu se pak pečlivá příprava mnohokrát vrátí. Čas a úsilí věnované předrealizační přípravě je základním kamenem pro následnou efektivní životaschopnost projektu.

Podle zkušeností s přípravou několika desítek projektů BPS je definované několik základních kroků jejich přípravy, následné realizace a provozu:

- Úvodní posouzení záměru
- Studie proveditelnosti, podnikatelský záměr
- Řízení EIA, projektová dokumentace k územnímu řízení
- Zajištění financování a zpracování žádostí o investiční podporu
- Projektová dokumentace ke stavebnímu řízení
- Realizace projektu
- Monitoring provozu BPS

Rozsah této práce zahrnuje zhruba první dva kroky k úspěšné realizaci projektu. Znamená to navrhnutí použité technologie na základě a průběhu výtěžnosti bioplynu z dostupných substrátů, hrubý odhad investice a provedení energetické a ekonomické bilance, kterými se budeme zabývat v následujících částech. Na základě těchto informací se rozhodujeme zda budeme v projektu dále pokračovat

4.1 Umístění BPS

Pro správný chod BPS je důležité vhodné umístění objektu. Má to vliv na povolovací řízení stavby a v nejhorším případě může nevhodné umístění znamenat krach celého projektu. Hlavně jde o řízení posouzení vlivu na životní prostředí (EIA dle zákona č. 24/2006 Z.z.) a územním rozhodnutí. Rozsah a zpracování projektové dokumentace pro územní a

stavební řízení podléhá zákonu č. 50/1976 Zb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). Součástí dokumentace k územnímu řízení je provedení jednoduchého inženýrskogeologického průzkumu v místě založení fermentorů a jímek a geodetické zaměření staveniště. Objekt by se neměl nacházet v přílišné blízkosti lidských sídel, protože to vyvolává negativní reakce ze strany obyvatelstva.

Pokud má investor vytipovanou lokalitu umístění BPS, je nezbytným dalším krokem včasné ověření možnosti připojení na síť k přenosové soustavě nebo k distribuční soustavě u příslušného regionálního distributora. Získání kladného stanoviska provozovatele distribuční soustavy je nutným předpokladem pro další kroky k realizaci zařízení ve vybrané lokalitě.

U různých druhů vstupních surovin je třeba zvážit svozové vzdálenosti tak, aby doprava těchto vstupů byla ekonomicky atraktivní, protože náklady na dopravu neúměrně zatěžují rozpočet BPS. V případě kejdy je vhodné svozovou vzdálenost maximálně redukovat vzhledem k nízké výtěžnosti bioplynu. Naproti tomu u cíleně pěstovaných plodin je svozová vzdálenost podstatně větší a u bioodpadů z komunální či podnikatelské sféry může dosahovat cca 20 km. V širším pohledu na projekt lze potom jmenovat důležitost nakládání s vyhnilým substrátem. Většina BPS je nastavena na využití digestátu ve svém blízkém okolí jako hnojiva na zemědělských pozemcích. Existuje ale i možnost zpracování digestátu odseparováním tuhých zbytků a následný prodej jako kvalitního hnojiva.

Pozemek vyhovující těmto podmínkám jsme našli v okrese Nové Zámky. Přesnější lokalizace pozemku je následovná:

Obec:	Andovce
Okres:	Nové Zámky
Kraj:	Nitriansky
Katastrální území:	Andovce
Parcelní číslo pozemku:	1952/4

Výměra pozemku je 32579 m^2, která je dostačující pro stavbu a popřípadě i pro rozšíření BPS v budoucnu. Místo připojení trafostanice bude určené Západoslovenskou Energetikou (ZSE) na základě žádosti o územně-technickou informaci (viz přílohy). Možným způsobem připojení je využití vzdušného vedení na linke č. 322, při ÚO 116/322, procházející poblíž pozemku BPS (mapa viz přílohy). Vhodné místo pro stavbu bioplynové stanice je zobrazeno na satelitní mapě na Obr. 4.1 a na mapě oblasti na Obr. 4.2.

Z potřebné infrastruktury se zde nachází pouze přístupová cesta a blízké vyvedení distribuční sítě. Podle dispozičního řešení budou upraveny stávající komunikace. Podle vybrané technologie nebude zapotřebí technologické vody k provozu BPS. Voda bude sloužit jedině jako mycí medium na některá zařízení, na techniku a možná pro sociální zařízení.

Obr. 4.1 Satelitní mapa místa stavby

Obr. 4.2 Mapa oblasti s vyznačeným místem předpokládané stavby

4.2 Vstupní suroviny

Jako suroviny pro bioplynovou stanici se budou využívat: prasečí kejda, drůbeží trus, lisované cukrovarnické řízky, kukuřičná siláž a popřípadě travní senáž. Prasečí kejda bude dodávána z chovu prasníc. Drůbeží trus zajistí firma *Novogal a.s.*, která se specializuje na výrobu drůbežích produktů - slepičích vajec a brojlerových kuřat. Cukrovarnické řízky budou dodávány *Slovenskými Cukrovary s.r.o.*. Kukuřičná siláž bude pěstována po dohodě s místním zemědělcem na 160 ha půdy pronajímané společností v přímém okolí navrhované bioplynové stanice, aby se zajistila co nejekonomičtější výroba. Travní hmota by byla použita v případě výpadku dodávky některých surovin, anebo v případě menší úrody kukuřiční siláže.

Touto formou lze zajistit tyto suroviny o následujících množstvích a vlastnostech:

Tab. 4.1 Množství a vlastnosti surovin

Surovina	Množství [t/rok]	Objem surovin [m^3/rok]	Podíl [%]	Obsah sušiny [%]	Organická část sušiny [%]
Drůbeží trus	5000	7826	29,7	40	75
Prasečí kejda	4000	3637	23,8	6	78
Silážní kukuřice (při výnosu 30 t/ha)	4800	6956	28,6	32	96
Cukrovarnické řízky	3000	3956	17,9	23	92
Celkem	16800	22375	100	25,25	85,3

Tab. 4.2 Množství a vlastnost tráví

	Množství [t/rok]	Objem surovin [m^3/rok]	Obsah sušiny [%]	Organická část sušiny [%]
Travní senáž	1000	1420	30	90

Travní hmota není prioritní surovinou protože by sloužila hlavně pro vykrití nižšího výnosu kukuřice, ale v případě rozšíření stanice se jedná o hodnotnou surovinu.

Fermentor bude plněn surovinami kontinuálně po celý rok, je tedy vhodné pro návrh navazujících zařízení stanovit objem a množství denní vsázky (Tab. 4.3).

Surovina	hmotnost vsázky [t/den]	Objem vsázky [m^3/den]
Drůbeží trus	13,69	21,44
Prasečí kejda	10,95	9,96
Silážní kukuřice	13,15	19,05
Cukrovarnické řízky	8,21	10,83
Celkem	46	61,3

Tab. 4.3 Množství a objem denních vsázek

4.3 Vlastnosti a množství vznikajícího bioplynu

Vzniklý bioplyn je složen ze směsice plynů. Hlavní složkou je metan a oxid uhličitý. Koncentraci dalších složek (sulfan, dusík, pára) při výpočtu dle praxe můžeme zanedbat, protože jejich koncentrace je značně snížena před vstupem do spalovacího zařízení.
Vlastnosti surovin pro výpočet výhřevnosti:

Surovina	Bioplyn [Nm^3/t os]	Podíl CH_4 [%]
Drůbeží trus	450	65
Prasečí kejda	350	60
Silážní kukuřice	690	53
Cukrovarnické řízky	630	50,5
Travní senáž	600	54

Tab. 4.4 Výtežnost jednotlivých z OS

Množství metanu v bioplynu stanovíme zprůměrováním hodnot z tabulky Tab. 4.4., vychází nám 56 % obj. Výhřevnost byl vypočítán dle Rov. 4.1 a výsledky zapsány do následující tabulky Tab. 4.5 Stanovení výhřevnosti bioplynu

$$LHV_{BP} = \sum_{i}^{n} c_i \cdot LHV_i, \qquad \textbf{(Rov. 4.1)}$$

kde LHV_{BP} – celková výhřevnost plynu [kJ/m_N^3]
c_i – objemový zlomek „i“ složky v plynné směsi [-]
LHV_i – výhřevnost „i“ složky [kJ/m_N^3]

Složka bioplynu	Koncentrace [% obj.]	Výhřevnost složky LHV [kJ/m^3_N]	Příspěvky složek [kJ/m^3_N]
CH_4	56	36000	20160
CO_2	44	0	0
Celkovo	100	**Výhřevnost bioplynu LHV [kJ/m^3_N]**	20160

Tab. 4.5 Stanovení výhřevnosti bioplynu

Ze stanovené hodnoty výhřevnosti bioplynu vyplývá, že jeho hodnota závisí jedině od koncentrace a výhřevnosti metanu. Oxid uhličitý nemá v bioplynu žádný energetický přínos. Produkci bioplynu můžeme stanovit dle Rov. 4.2. Závisí na množství a vlastnostech přiváděného substrátu.

$$V_{BP} = m_N \cdot w_s \cdot w_o \cdot V_{sp}, \qquad \textbf{(Rov. 4.2)}$$

kde V_{BP} – množství vznikajícího bioplynu [m^3_N]
m_N – hmotnost dostupného substrátu [t]
w_s – hmotnostní zlomek sušiny v surovině [-]
w_{os} – hmotnostní zlomek organických látek v surovině [-]
V_{sp} – specifická produkce bioplynu [m^3_N/t_{os}]

Po dosazení hodnot z tabulek Tab. 4.3 a Tab. 4.4 do rovnice Rov. 4.2 dostaneme předpokládanou produkci bioplynu za jeden rok z jednotlivých surovin (Tab. 4.6)

$$V_{BP} = 5000 \times 0{,}40 \times 0{,}75 \times 450 = 675000\ [m^3_N/rok]$$

Surovina	Produkce bioplynu $[m^3_N/rok]$
Drůbeží trus	675000
Prasečí kejda	65520
Silážní kukuřice	1017446,4
Cukrovarnické řízky	399924
Celkem	**2157890,4**
Travní senáž	162000

Tab. 4.6 Produkce bioplynu

4.4 Návrh technologie a komponent

Jako použitou technologií pro návrh bioplynové stanice jsem zvolil kombinovanou průtokovou metodu se zásobníkem na konci. K tomuto typu zařízení jsem se rozhodl proto, že právě tento typ zařízení reprezentuje současný nejvyšší vývojový stupeň bioplynové technologie. V BPS bude probíhat proces polosuché fermentace (obsah sušiny cca. 25%) ve

vertikálním fermentoru při teplotě 35 °C. Při takové teplotě je pro získání největší části bioplynu ze substrátu a jeho hygienizace potřebné přibližně 24 dní (doba zdržení substrátu ve fermentoru). Následně bude vyhnilý digestát přečerpán do uzatvořeného koncového skladu, který poslouží jako dofermentor a rovněž jako plynojem. Vzniklý bioplyn bude spalován v KGJ za vzniku elektrické energie a tepla.

4.4.1 Příjmová nádrž a dávkovací zařízení

Objem příjmové nádrže by měla být dostačující na akumulaci tekutého substrátu dovezeného minimálně za dva dni. V příjmové nádrží též dochází k homogenizaci složek, tudíž ji třeba opatřit míchacím zařízením, k tomuto účelu poslouží hřídelové míchadlo. Objem nádrže tedy získáme z denního objemu dovezené prasečí kejdy a drůbežího trusu.

$$V_{pn} = V_{do} \times t_{ak} = 31{,}4 \times 2 = 62{,}8\ [m^3] \qquad \textbf{(Rov. 4.3)}$$

kde V_{pn} – objem příjmové nádrže [m^3]
V_{do} – objem množství tekutého substrátu [m^3/den]
t_{ak} – akumulační doba [den]

Objem nádrže by tedy měla mýt minimálně 62,8 m^3. Navrhuji kvůli možné změně objemu aspoň 70 m^3. Nejvhodnější bude postavit tuto nádrž z kruhových železobetonových prvků. Není třeba ji nijak izolovat ani ohřívat, protože jednak doba zdržení je krátká a rovněž ji můžeme zapustit do země (Obr. 4.3).

Obr. 4.3 příjmová nádrž

Velkost dávkovacího zařízení navrhuji dle objemu vstupních surovin na ccca. 60 m^3. Dávkování bude probíhat automaticky v pravidelných intervalech během dne. Vybral jsem dávkovací zařízení od německé firmy Eckart, která vyrábí robustní a odolné dávkovací zařízení s přiměřeným rezervním pohonem). Dva mísící šneky s režnými čepelemi v nádrží zařízení budou pracovat na homogenizaci a rozmělnění substrátu.

Obr. 4.4 dávkovací zařízení

Tento typ zařízení je vhodný pro všechny obnovitelné suroviny i tuhé živočišné exkrementy. Doprava do fermentoru bude zajištěna dvěma šnekovými dávkovači (stoupavý a plnící šnek) o výkonu 2 x 7,5 kW.

4.4.2 Návrh reaktoru

Z příjmové nádrže a dávkovacího zařízení bude materiál dopravován do vertikálního fermentoru (obr. 52) od německého renomovaného výrobce Drössler GmbH. Ve fermentačním zařízení bude probíhat polosuchá fermentace, což znamená, že obsah sušiny se bude pohybovat v rozmezí 20 až 30 % v mezofilní oblasti při teplotě 35°C. Zdržení materiálu bude 24 dní. Objem fermentoru získáme dle předpokládaného objemu denní vstupní vsázky a dobu zdržení.

Obr. 4.5 fermentor

Předpokládaná denní vsázka bude dle Tab. 4.3 61,3 m^3 substrátu

- Zdržení vsázky bude 24 dní
- Objem za 24 dní bude 1471,2 m^3

Podle tohoto poznatku jsem vybral standardní nádrž Typ BD 19 :

Objem nádrže	1475	[m^3]
Vnitřní průměr	17,63	[m]
Zaplněná výška	6	[m]
Celková výška	6,5	[m]
Plocha dna a stropu	244,1	[m^2]
Plocha stěny	332,31	[m^2]

Tab. 4.7 Rozměry nádrže

Obr. 4.6 Vertikální pádlové míchadlo

Fermentor bude postaven z prefabrikovaných betonových dílů s integrovanou tepelnou izolací (tzv. Sandwichové provedení). Pro mícháni je vhodné použít stabilní pádlové míchadla (Obr. 4.6), od společnosti Agraferm, které je speciálně navrženo pro stanice zpracovávající obnovitelné suroviny s vysokým obsahem sušiny. Pádlové míchadlo s integrovaným valivým ložiskem může být demontováno nebo nahrazeno během údržby bez narušení provozu a vyprázdnění nádrže. Nízkoúdržbový a snadno přístupný pohon míchadla není ovlivňován teplotou ve fermentoru. Výška míchacího mechanismu je uzpůsobena tak, aby vyhovovala fermentační nádrži. Délka lopatek míchadla činí 1.4 m, celkový průměr: cca. 3 m. Nominální výkon a otáčky jsou 10 kW při 8 otáček za min. Budou instalována 3 pádlová míchadla pro zajištění rozvrstvení substrátu.

V předchozích kapitolách bylo zmíněno, že v našich podmínkách je nezbytné vytápět bioplynové stanice a to hlavně v zimním období. Aby fermentační proces probíhal bez problémů, je totiž potřebné zajistit požadovanou procesní teplotu, která by se neměla měnit, anebo jenom velice pomalu. Tuto teplotu zajistíme dodáváním potřebného množství tepelné energie. Množství energie se vypočítá dle Rov. 4.4.

$$Q_K = m_N \cdot c_P \cdot (T_2 - T_1), \quad \textbf{(Rov. 4.4)}$$

kde Q_K – tepelná energie [J]
c_P – tepelná kapacita substrátu [J/kg.K]
T_1 – teplota vstupujícího substrátu [°C]
T_2 - teplota uvnitř nádrže [°C]
m_N – hmotnost přivedeného substrátu za den [kg]

Tepelná kapacita substrátu bude 3108,7 J/kg.K. Teplota vstupujícího substrátu zvolena průměrně na 10 °C. Teplota udržovaná ve fermentoru bude 35 °C.Tepelná energie potřebná pro ohřev vstupujícího substrátu se spočítá dosazením do Rov. 4.4.

$$Q_K = 46000 \times 3{,}1087 \times (35 - 10) = 3575{,}005\ MJ \approx 0{,}993\ MWh$$

Další energii, kterou musíme přivést je určena k pokrytí tepelných ztrát nádrže. Tepelné ztráty fermentoru spočítáme pro zimní období, kdy je největší rozdíl venkovní teploty a uvnitř nádrže. Celková tepelná ztráta se bude rovnat součtu ztrát z nádrží a ztráty při nichž dochází v potrubí mezi zdrojem tepla a nádrží. Protože neznáme přesnouá délku potrubí, budou se uvažovat ztráty v potrubí 8 % celkových ztrát dle [37].
Pro výpočet tepelných ztrát fermentoru za den vyjdeme z Rov. 4.5.

$$Q_Z = k \cdot A \cdot (T_{IN} - T_O), \quad \textbf{(Rov. 4.5)}$$

kde Q_Z – energie na pokrytí ztrát [W]
k – koeficient prostupu tepla [W/m^2K]
A – plocha prostupu tepla [m^2]
T_{IN} – teplota uvnitř nádrže [°C]
T_O – teplota vně nádrže [°C]

Pro výpočet této rovnice musíme znát koeficient prostupu tepla, který se bude lišit v závislosti na druhu použitého materiálu a jaké prostředí bude ve styku se stěnou. Koeficient prostupu tepla se vypočte dle Rov. 4.6

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad \textbf{(Rov. 4.6)}$$

kde k – koeficient prostupu tepla [W/m^{2}K]
α_1 – koeficient přestupu tepla ze suspenze do stěny [W/m^{2}K]
α_2 – koeficient přestupu tepla ze stěny do okolního prostředí [W/m^{2}K]
d_i – tloušťka „i“ vrstvy [m]
λ_i – tepelná vodivost „i“ materiálu [W/mK]

Nejjednodušší je rozdělit nádrž na tři části, pro které spočítáme koeficient prostupu tepla a tepelné ztráty. Jako průměrná venkovní teplota (T_O) v zimním období bude uvažována - 10 °C a teplota půdy (v nezámrzné hloubce) bude uvažována 5 °C.

Strop fermentoru:

Materiál	Tloušťka [m]	Tepelná vodivost [W/m.K]
Beton třídy C35/45	0,2	1,35
Tepelná izolace (Styrodur)	0,06	0,035

Tab. 4.8 Složení stěny stropu

Koeficient přestupu tepla dle [38] stěna – vzduch: α_1 = 15 W/m^{2}K
stěna – plyn: α_2 = 15 W/m^{2}K

Koeficient prostupu tepla po dosazení do Rov. 4.6 k_1 = 0,501 W/m^{2}K
Tepelné ztráty stropu po dosazení do Rov. 4.5 **Q_1** = 5503 W = **0,0055 MW**

Stěna fermentoru:

Materiál	Tloušťka [m]	Tepelná vodivost [W/m.K]
Beton třídy C35/45	0,16	1,35
Tepelná izolace (Styrodur)	0,08	0,035
Beton třídy C35/45	0,07	1,35

Tab. 4.9 Složení stěny

Koeficient přestupu tepla dle [38] stěna – vzduch: α_1 = 15 W/m^{2}K
stěna – substrát: α_2 = 1000 W/m^{2}K

Koeficient prostupu tepla po dosazení do Rov. 4.6 k_2 = 0,396 W/m^{2}K
Tepelné ztráty stropu po dosazení do Rov. 4.5 **Q_2** = 5921 W = **0,00592 MW**

Dno fermentoru:

Materiál	Tloušťka [m]	Tepelná vodivost [W/m.K]
Železobeton C25/30	0,18	1,512
Tepelná izolace (penový polistyren)	0,08	0,04

Tab. 4.10 Složení dna

Koeficient přestupu tepla dle [38] stěna – zem: α_1 = 10 W/m^{2}K
dno – substrát: α_2 = 1000 W/m^{2}K

Koeficient prostupu tepla po dosazení do Rov. 4.6 k_3 = 0,450 W/m^{2}K
Tepelné ztráty stropu po dosazení do Rov. 4.5 **Q_3** = 3295 W = **0,00329 MW**

Tepelné ztráty nádrže fermentoru:

$$Q_{ZF} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad \textbf{(Rov. 4.7)}$$

$$Q_{ZF} = 0.0055 + 0.00592 + 0.00329 = 0.0147\ MW$$

Celkové množství tepla k pokrytí tepelných ztrát a množství přiváděného tepla na ohřev substrátu jsou uvedené v Tab. 4.11 vyjádřené v MWh. Pro tepelné ztráty potrubím od zdroje tepla je uvažován 8% z tepla potřebného na pokrytí tepelných ztrát.

Tepelná ztráta fermentoru	0,353	[MWh]
Ztráta potrubím	0,028	[MWh]
Teplo na ohřev substrátu	0,993	[MWh]
Celkom	**1,374**	**[MWh]**

Tab. 4.11 Množství potřebného tepla

Ze zjištěného množství tepla vyplývá, že na pokrytí teplotních potřeb fermentoru v zimním období je zapotřebí KGJ, která dodá denně 1,374 MWh tepelné energie. Teplo pro ohřev budé sprostredkován topným okruhem umístěným do podlahy a stěn fermentační nádrže. Kontrola teploty bude zabezpečena řídícím systémem.

4.4.3 Odsiřování

Na reaktoru bude použito biologické odsiřování. Zařízení je tvořeno kompresorem, který bude dodávat rovnoměrně vzduch ve 3 různých místech fermentační nádrže pomocí PE potrubí. Ovládání a monitorování odsiřovacího zařízení bude zajišťovat řídicí systém. Pro zobrazování provozních informací a zadávání požadovaných parametrů slouží ovládací terminál na rozvaděči. Dávkování vzduchu do substrátu má pozitivní vliv na průběh fermentace, zvyšuje úbytek organické sušiny a zvyšuje celkovou produkci plynu. Zařízení nevyžaduje žádné přídavné chemikálie ani jejich regeneraci. Zařízení snižuje obsah sulfanu v bioplynu na hodnoty požadované výrobcem KJ.[2]

4.4.4 Návrh koncového skladu/fermentoru

Obr. 4.7 dofermentor

Pro koncové sklady je stanoven minimální zdržení vyhnilého substrátu na 180 dní. Proto navrhuji dofermentor/koncový sklad (Obr. 4.7) s 5030 m^3 objemem. K dosažení předepsané doby zdržení je zařazen šnekový separátor typ FAN 780 (příkon 5,5 kW), který na výstupu z dofermentoru odseparuje tekutou část a vrací ji zpět do dofermentoru, čím se udržuje hodnota sušiny na 8%, což je vhodné pro eliminaci plovoucí vrstvy. Tuhá část se šnekovým dopravníkem dopravuje do meziskladu separátu. Aby byl obsah nádrže homogenní budou zde instalovány hřídelové míchadla s hřídelem o délce 4,5 m horizontálně i vertikálně nastavitelné. Pohon zajistí 15 kW elektromotor, který je vně nádrže proto ji lze bez problémů opravit během plného chodu stanice. Rovněž jako fermentor i dofermentor bude postaven z prefabrikovaných železobetonových dílů. Pro naše účely nejvíce vyhovuje typ BD 35 od stejného výrobce jako u fermentoru, rozměry jsou uvedeny v Tab. 4.12

Objem nádrže	5030	[m^3]
Vnitřní průměr	33,65	[m]
Zaplněná výška	6	[m]
Celková výška	6,3	[m]
Plocha dna	840,3	[m^2]
Plocha stěny	634	[m^2]

Tab. 4.12 Rozměry dofermentoru

Tuto nádrž už není třeba vytápět, protože nedochází v ní k tak intenzívní tvorbě bioplynu. Přesto je tepelně izolován pro maximalizaci zbytkové výtěžnosti bioplynu a eliminaci problému s nízkými teplotami. Bude opatřen dvoumembránovým plynojemem firmy Sattler o objemu cca 3800 m^3 což je ekvivalentní množství vyprodukovaného bioplynu za cca 15h. Vnitřní membrána je obestavěna vnější membránou ve tvaru koule, obojí utěsněné a kotvené k betonovému základu. Mezi membrány se vhání tlakový vzduch 1,5 kPa, který vytváří skrze vnitřní membránu přetlak plynu v systému. Ventilátor má záložní zdroj energie, aby se vnější membrána nezhroutila při výpadku elektrické sítě. Výhodou integrovaného plynojemu je kompletní hermetická uzavřenost bioplynové stanice a tím eliminace rizika úniku zápachových látek a úniku výživových látek (hlavně dusíku).

4.4.5 Fléra

Fléra se používá k dopalování bioplynu, který nemohl být využitý a také umožňuje v případě poruchy odběru bioplynu bezpečné spálení nadbytečného plynu. Provoz se řídí automaticky podle příchozích signálů z nadřazeného řídicího systému. Zapalování je zajištěné vysokonapěťovou jiskrou, hlídání plamene ionizační elektrodou. Zařízení je uzpůsobeno pro instalaci ve venkovním prostředí. Hořák je umístěn na volném prostranství a má ochranné pásmo o poloměru 10 m.

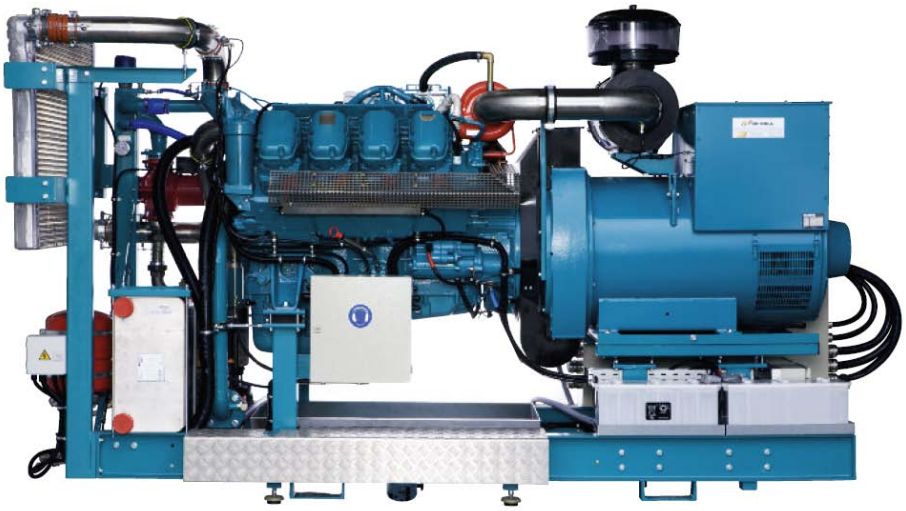
Obr. 4.8 Fléra

Za běžných okolností však není zapotřebí. Můžeme zvolit úspornou variantu, kdy pro větší (plánované) odstávky z důvodu údržby KGJ se vhodným zásahem do procesu sníží množství produkovaného bioplynu a případný nadbytek plynu se spálí na krátkodobě zapůjčeném přenosném hořáku.
Technické parametre vybrané fléry od firmy *PBS Power*

Equipment:

- Spalované médium: bioplyn
- Provozní přetlak: 3,0 (1,5-5)kPa, resp. 20 (5-50) kPa
- Výkon zařízení: 260 $m^3.hod^{-1}$ při přetlaku 2,0 kPa
- Spalovací vzduch: hořák přetlakový
- Zapalování plamene: vysokonapěťovou jiskrou
- Hlídání plamene: ionizační elektrodou
- Způsob regulace: skoková – dle požadovaného výkonu z příchozích signálů z nadřazeného systému
- Rozvodná soustava: 3 PEN 50 Hz, 400V/230 V
- Instalovaný příkon 3,5 [kVA]
- Ochrana: před dotykovým napětím dle ČSN 33 2000-4-41

4.4.6 Volba KGJ



Obr. 4.9 KGJ Scania -Schnell

Vznikající bioplyn bude spalován v kogenerační jednotce. Tepelná energie bude hlavně využitá k ohřevu substrátu vstupujícího do vyhnívacích nádrží a k udržení požadované teploty uvnitř nádrží. Elektrická energie bude prodávána do distribuční sítě. Doba provozu KGJ před nutností generální opravy se pohybuje okolo 40-50 000 motohodin. Roční provozní doba je v průměru 8 000 provozních hodin. Při výběru vhodné KGJ je důležité přizpůsobit jeho výkon k množství produkovaného bioplynu, aby bylo zajištěno celkové využití jak výkonu jednotky tak i množství bioplynu. Je totiž nežádoucí aby motory pracovali na velmi nepříznivý částečný výkon. Při výběru KGJ přihlédneme k hodinové spotřebě bioplynu.
Vycházíme z roční předpokládané produkce bioplynu, která činí:

$$V_{BP} = 2157890{,}4\ [m_N^3/rok]$$

Z toho vyplývá, že hodinová produkce bioplynu je:

$$V_{hod} = 246{,}33\ [m_N^3/hod]$$

Toto množství odpovídá 8760 hodinám produkce, protože v provozu budou KGJ jenom 8000 hodin ročně je vhodnější přepočítat na množství využitelného bioplynu za hodinu tak získáme:

$$V_{vyuz} = 269{,}73\ [m_N^3/hod]$$

Na základě zjištěného množství využitelného bioplynu, byly vybrány dvě KGJ od firmy SCHNELL MOTOR Česká republika s.r.o. typ ES 3407 o výkonu 340 kW_{el}, která mají spotřebu jednotlivě 133 m^3_N/hod bioplynu. Jedná se o vznětový motor se zápalným paprskem pracující na principu dieselového motoru. Dieselový motor se již před více než sto lety etabloval jako nejefektivnější spalovací motor. Vyniká fyzikálními vlastnostmi, jejichž výhod využívá i vznětový motor se zápalným paprskem. Vznětový motor se zápalným paprskem má však ještě další přednosti: vyšší kompresní poměr zvyšuje účinnost. Chudý plyn (bioplyn, kalový a skládkový plyn) vykazuje vzhledem ke svému vysokému podílu CO2 vysokou antidetonační odolnost („odolnost proti klepání“), a ideálně se proto hodí ke spalování ve vznětových motorech se zápalným paprskem. Plyn se přimíchává do nasávaného spalovacího vzduchu. Tato směs chudého plynu a vzduchu se v motoru stlačí a vstříknutím malého množství zapalovacího oleje se ve spalovacím prostoru aktivuje zapálení směsi [28].Technická data KGJ jsou na Obr. 4.10

Typ motoru	SCANIA - SCHNELL
Objem válců	16,0 litrů
Válce	V 8
Otáčky	1500 ot/min
Generátor	Synchronní generátor Stamford 560 kVA
mechanický výkon	356 kW
mechanická účinnost	46% dle DIN 3046
elektr. výkon	340 kW
elektr. účinnost	44% dle DIN 3046
tepelný výkon	317 kW z chlazení motoru 170 kW – 22 %
tepelná účinnost	41 % z tepelného výměníku odpadních plynů 147 kW – 19 %
Celkový spalovací výkon	773 kW

Obr. 4.10 Technická data KGJ

Využitím dvou motorů získáme výrazně vyšší provozní bezpečnost vzhledem k částečné zastupitelnosti zařízení. Jednotky budou dodány jako technologické celky v kontejnerovém provedení s následujícím vybavením:

- Turbodmychadlo
- Chlazení plnícího vzduchu
- Spalinový výměník tepla
- Deskový výměník tepla pro rozdělení motorových a topných obvodu
- Oběhové čerpadlo v primárním a sekundárním okruhu
- Elektronické vstřikovací čerpadlo paliva
- Detektor pohybu jehly vstřikovací trysky
- Jednoválcové sledování teploty
- Chladící systém zápalného oleje
- jednotka na predúpravu plynu GAM, chlazení bioplynu,odstraňování škodlivých látek
- nádrže na zápalný olej cca 5000l

Elektrickém vybavení

- Synchronní generátor Stamford (230/400 V, 50 Hz)
- Regulace účiníku napětí a výkonu (cos φ)
- Automaticky řízená ovládací skříň včetně mikroprocesorového regulátoru se zobrazením textu

- Regulace výkonu
- Automatický provoz
- Monitoring vedení, výkonu a motoru
- Zobrazení chyb a paměť chyb
- Možnost vzdáleného monitoringu pomocí modemu

Provedeme výpočet kolik KGJ vyrobí tepelné a elektrické energie. Protože se jedná o stejný typ elektrická i tepelná účinnost budou stejné.
Nejdříve vypočteme energetický obsah vzniklého bioplynu dle

$$Q_{BP} = V_{BP} \cdot LHV_{BP}, \quad \textbf{(Rov. 4.8)}$$

kde Q_{BP} – energetický obsah bioplynu [kJ]

$$Q_{BP} = 2157890{,}4 \times 20{,}16 = 43503070{,}3 \text{ MJ} \approx \mathbf{12084\ MWh}$$

z toho tepelná energie

$$E_{BP,t} = Q_{BP} \cdot \eta_t, \quad \textbf{(Rov. 4.9)}$$

kde $E_{BP,t}$ – vyrobená tepelná energie [MWh]
η_t – tepelná účinnost [-]

$$E_{BP,t} = 12084 \times 0{,}41 = \mathbf{4954{,}51\ MWh}$$

a elektrická energie

$$E_{BP,el} = Q_{BP} \cdot \eta_{el}, \quad \textbf{(Rov. 4.10)}$$

kde $E_{BP,el}$ – vyrobená elektrická energie [MWh]
η_{el} – elektrická účinnost [-]

$$E_{BP,t} = 12084 \times 0{,}44 = \mathbf{5316{,}96\ MWh}$$

Je potřebné dopočítat ještě energii získanou ze zápalného oleje. Při 8000 provozních hodinách činí množství spotřebovaného oleje 49600 l. Výhřevnost zápalného oleje je cca 37,5 MJ/l. Energetický obsah oleje tedy vychází na

$$Q_{LTO} = 49600 \times 37{,}5 = 1860000 \text{ MJ} \approx 516 \text{ MWh}$$

Tepelná energie
$$E_{LTO,t} = 516 \times 0{,}41 = \mathbf{211{,}83\ MWh}$$

Elektrická energie
$$E_{LTO,el} = 516 \times 0{,}44 = \mathbf{227{,}33\ MWh}$$

Tepelá bilance je uvedena níže

Tepelná ztráta fermentorů	128,84	[MWh]
Ztráta potrubím	10,22	[MWh]
Teplo na ohřev substrátu	362,44	[MWh]
Celkem	**501,5**	**[MWh]**
Vyrobené teplo z KGJ	5166,34	[MWh]
Zbylé teplo	**4664,84**	**[MWh]**

Tab. 4.13 Tepelná bilance

Množství vzniklé elektrické energie 5544,29 MWh budeme dodávat do sítě. Vznikající elektrická energie je více ceněna než energie tepelná, protože jednak je dotována garantovanou výkupní cenou a také lépe se distribuuje.

4.4.7 Technologie pro chod BPS

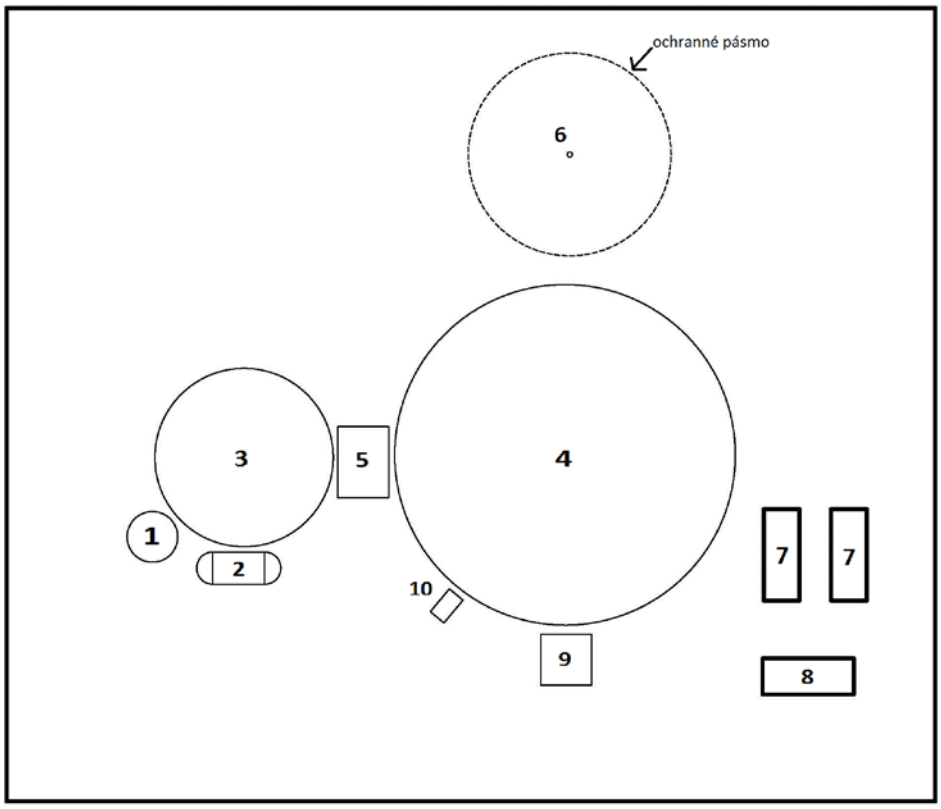
Je nezbytné se zmínit o následující technologie, protože bez nich se nedá představit chod bioplynové stanice. Patří sem:
Elektrotechnika, měření a regulace - řídící systém PLC, kabeláž a instalace, hlavní rozvod nízkého napětí, uzemnění a vyrovnání potenciálu, různé měřící přístroje, ochrana proti prepetí a ochrana proti blesku
Šoupata
Rozvod tlakového vzduchu – pístový kompresor
Potrubí – na substrát, plynové potrubí
Revizní průhledítka
Ocelové konstrukce – schodiště, plošiny
Čerpací zařízení – centrální čerpadlo(excentrické šnekové čerpadlo)
Výdejní místo digestátu

4.4.8 Objekt technologie, velín

Objekt technologie bude postaven mezi fermentorem a dofermentorem, kvůli snížení množstva použitého potrubí, pro kompaktnost a zjednodušenou rozšiřitelnost stanice. Rozměr tohoto objektu bude cca 5 x 7 x 3 m.
Velín bude zřízen vedle kontejnerů KGJ. Bude se jednat o kontejnerovou budovu, odkud bude ovládána stanice a zároveň se zde bude dohlížet na celý proces.

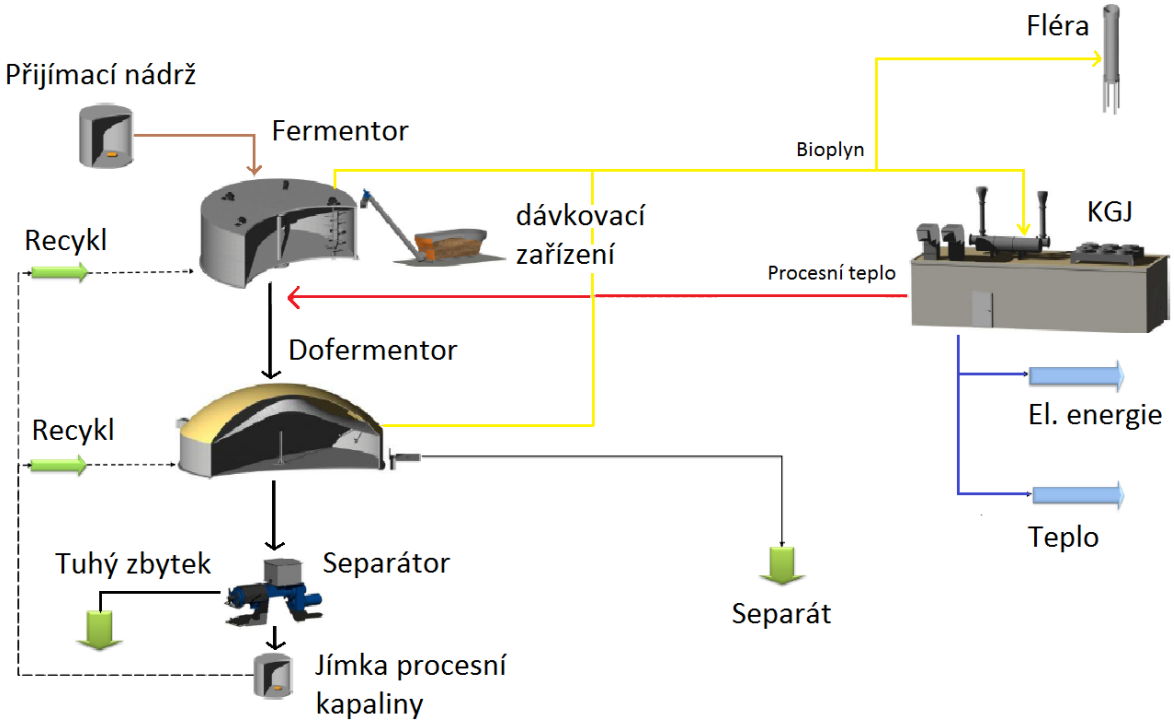
4.5 Řešení BPS

Půdorys areálu je na Obr. 4.11 a obsahuje následující části (rozměr areálu 90x80m).
1–příjmová nádrž na tekutý substrát, 2–dávkovací zařízení, 3–fermentor,
4–dofermentor/koncový sklad, 5–objekt technologie, 6–fléra, 7–kontajneri KGJ,
8–velín, 9–mezisklad separátu, 10–stáčiště fugátu



Obr. 4.11 Půdorys bioplynové stanice

Na Obr. 4.12 je znázorněno technologické schéma BPS



Obr. 4.12 Technologické schéma BPS

4.6 Ekonomické zhodnocení

Jádrem každé ekonomické rozvahy je vlastně srovnání nákladů a výnosů zařízení. Je-li finanční výnos menší než roční náklady na provoz zařízení z ekonomického hlediska není důvod pro stavbu bioplynové stanice.

Roční náklady na provoz získáme sečtením např. ceny surovín, pracovních nákladů, nákladů na opravy a údržbu apod. Náklady souvisící se surovinami jsou vyčíslené v následující tabulce.(Tab. 4.14)

Cena jednotlivých vstupních surovin			Cena dopravy surovin (1.1 Eur/km)		
Kukuričná siláž 25 Eur/ t	Cukrovarnické řízky 7 Eur/t	Drůbeží trus 5 Eur/t	Cukrovarnické řízky	Drůbeží trus	Prasečí kejda
120000	21000	25000	11550	6875	4400

Tab. 4.14 Náklady na suroviny

Snížení nákladů na suroviny zlepšuje ekonomiku stanice, proto je důležité snažit se o co nejnižší pořizovací ceny surovin. Podrobněji jsou roční náklady uvedeny v přílohách.

Budeme uvažovat výnosy jenom z prodeje elektřiny, protože jsem zatím nenašel vhodné využití odpadního tepla nebo vyseparovaného substrátu. V případě dobrých finančních výsledků z prodeje elektřiny bude mýt případný další zdroj výnosu jedině kladný vplyv na ekonomiku bioplynové stanice.

Elektrická energie bude vykupována za garantovanou cenu 148,72 eur/MWh, po dobu 15 let. Cenu garantuje Úřad pro regulaci sítových odvětví výnosem **č. 2/2010 z 23.6.2010.**

Investiční náklady (Tab. 4.16) museli být v největší míre odhadnuty pomocí u nalezených projektů respektive z průměrných hodnot z praxe, ale pro náš případ mají i tak dostatečnou vypovídající hodnotu. Investiční náklady závisí od mnoha faktorů. Napr. od plánované velikosti BPS, použité technologie, zda je stavba celá realizována na klíč nebo je podíl vlastních prací, jestli byla na stavbu získána dotace ze státního fondu životního prostředí či nikoliv atd.

Výhodnost investice nejlépe ukazuje návratnost vložených finančních prostředků. Porovnal jsem možnosti investice bez využití dotačních fondů ES a také s vyžitím dotace na 30% investice. Proti využití dotace stojí jedině jeden aspekt a to, že využitím dotace se sníží garantovaná výkupná cena. Výsledkem porovnání je tabulka Tab. 4.15 a Graf. 4.1

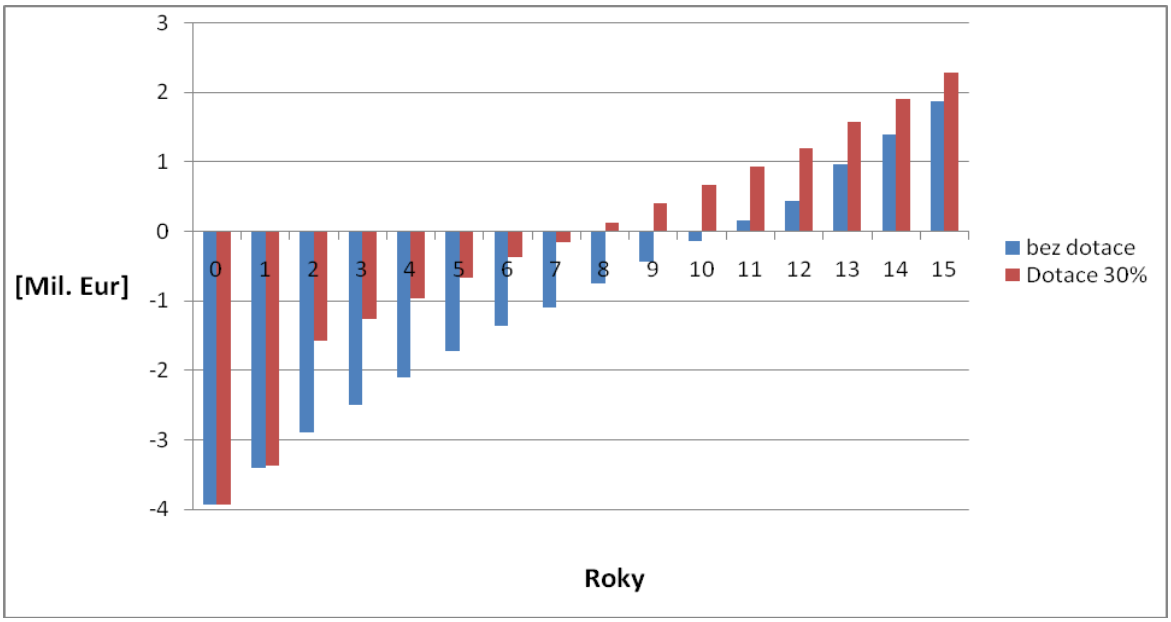
Investice	bez dotace	s dotací
Celkový zisk [Eur] (po zdanění, po 15 let)	2392237	2100677
Diskontovaná návratnost [let]	10	7

Tab. 4.15 Návratnost investičních nákladů

Technologická část - BPS

A	**Technologie**				**2,455,616.67 €**
1	**Fermentor**	**kus**	**1**		**371,333.33 €**
2	**Dofermentor**	**kus**	**1**		**613,500.00 €**
3	**Kogenerační jednotka 2x340 kWel.**	**kus**	**2**	367,875.00 €	**735,750.00 €**
4	**Nouzový horák**	**kus**			**54,450.00 €**
5	**Příjmová nádrž**				**26,041.67 €**
6	**Separátor**				**20,208.33 €**
7	**Dávkovač pevných substrátů**	**kus**	**1**		**203,750.00 €**
8	**Řídící jednotka**	**kus**	**1**		**273,250.00 €**
9	**Vyvedení elektrického výkonu**	**kus**	**1**		**157,333.33 €**
Stavební práce					
B	**Stavební část**				**324,287.08 €**
	Projektová část			25,625.00 €	
	fermentory			136,041.67 €	
	Vstupní jímka			18,777.08 €	
	Kogenerační jednotka (základové pasy)			650.83 €	
	Řídící kontejner (základové pasy)			650.83 €	
	Nouzový hořák			6,483.33 €	
	Základová deska pro dávkovač pev. subst.			2,050.00 €	
	Velín			46,666.67 €	
	Technologická budova			20,833.33 €	
	Areálové rozvody			19,175.00 €	
	Komunikace			35,000.00 €	
	Oplocení			12,333.33 €	
	Základní rozpočtové náklady				**2,779,903.75 €**

Tab. 4.16 Investiční náklady na stavbu BPS



Graf. 4.1 Zobrazení návratu investic

5 Závěr

Jednou z možností jak zmenšit míru závislosti Slovenska na dovozu fosilních paliv a zároveň zvětšit její energetickou soběstačnost, je využívání domácí biomasy, protože z obnovitelných zdrojů energie právě biomasa má na Slovensku největší potenciál. Využívání biomasy je zvlášť preferovanou oblastí v zemědělství, které produkuje velké množství odpadní biomasy. Vybudováním zařízení na energetické zhodnocování těchto odpadů - bioplynové stanice, se zhodnotí biologicky rozložitelné odpady, které by jinak vytvářeli neřízeným vyhnívacím procesem velké množství skleníkového plynu - metánu. Z toho vychází, že bioplynové stanice mají příznivý dopad na životní prostředí v důsledku zamezení tvorby skleníkových plynů.

V první kapitole je popsán vznik bioplynu a další důležité informace týkající se tohoto perspektivního zdroje energie. V další části této práce byly shrnuty technologie BPS a následně byly popsány jednotlivé prvky tvořící toto energetické zařízení.

Jak už ze samotného zadání diplomové práce vyplývá se společníky uvažujeme o realizaci projektu bioplynové stanice na Slovensku. Tato myšlenka navazuje na další část mé práce, ve které jsem podle získaných zkušeností a vědomostí z předrealizačné přípravy a ze studia provedl přibližný návrh bioplynové stanice. Množství surovin, místo pozemku a připojovacího místa jsou získány z námi uvažovaného projektu, ostatní vztahy týkající se dalších částí byli získány z teoretických zdrojů a z praxe. Výsledkem návrhu a jeho zhodnocení je zjištění, že je vhodné dále rozvíjet tento projekt.

Diplomová práce má rovněž za úkol načrtnutí představu, jakými kroky třeba postupovat k realizaci samotné BPS. Od zvolení vhodných surovin s čím celý proces začíná, přes vyhotovení různých posudků, žádostí, analýz, vyhotovení projektové dokumentace až po realizaci samotné stavby. Celý tento postup je velmi náročný a vyžaduje vela času, úsilí, cílevědomost a preciznost. Čas a úsilí věnované předrealizační přípravě, které jsou základním kamenem pro životaschopnost projektu se nám při samotném provozu mnohokrát vrátí. Cena energií stále roste, kvůli ubývajícím zásobám fosilních paliv. Proto je zavádění výroby a následné energetické využití bioplynu stále výhodnější. Počáteční investice do BPS jsou nadále dosti vysoké, ale při zvolení optimální technologie a následném dodržování provozních parametrů a předpisů skrývá v sobě bioplyn veliký potenciál do budoucnosti.

6 Seznam použitých zdrojů

[1] Heinz Schulz, Barbara Eder: Bioplyn v praxi – Teorie – projektování – stavba zařízení – příklady, 1. české vyd. HEL, Ostrava 2004. 168 s. ISBN 80-86167-21-6 Ostrava Plesná, 2004.

[2] KOUĎA, Jaroslav: ZPRACOVÁNÍ KONFISKÁTŮ A DALŠÍCH ODPADŮ BIOPLYNOVÝM PROCESEM, Praha, 2009
Dostupné z <*www.mze-vyzkum infobanka.cz/DownloadFile/12263.aspx*>

[3] KŠICA, Martin, ŠMARDA, Pavel, OLT, Jiří: Konkurenceschopnost a kvalita – cesta k úspěchu zemědělského podniku, Letovice,
Dostupne z < *www.irs-eu.com/files/prezentace_pOlt_final.pdf*>

[4] CZ Biom: DESATERO BIOPLYNOVÝCH STANIC, 2007 dostupne z <http://www.czbiom.cz/data/Upload/PDF/Desatero%20bioplynovych%20stanic.pdf>

[5] HOLUB, Peter, Posudek studie proveditelnosti pro projekt bioplynové stanice v Očové, 2010 dostupne z
< http://www.priateliazeme.sk/cepa/pdf/posudek_ocova_271010.pdf >

[6] ČEKANOVÁ, Patrícia, JASMINSKÁ, Natália: ENERGETICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE ODPADOV Z POĽNOHOSPODÁRSKEJ PRODUKCIE V BIOPLYNOVEJ STANICI, 2010 dostupne z
<http://www.sjf.tuke.sk/kmae/TaIPvPP/2010/index.files/clanky%20PDF/CEKANOVA_JASMINSKA.pdf >

[7] KUBICA, Juraj: TECHNOLOGICKÝ MODEL VÝROBY A SPRACOVANIA BIOPLYNU, Bratislava, 2006 dostupna z < http://diplomovka.sme.sk/zdroj/kubica_juraj.pdf>

[8] KÁRA, Jaroslav, PASTOREK, Zdeněk, PŘIBYL, Evžen: VÝROBA A VYUŽITÍ BIOPLYNU V ZEMĚDĚLSTVÍ, Praha, 2007 dostupne z
< http://212.71.135.254/vuzt/poraden/prirucky/2007-7.pdf?menuid=608>

[9] ÚSTAV CHEMICKÉHO A ENVIRONMENTÁLNEHO INŽINIERSTVAFCHPT STU BRATISLAVA: Zborník odborného seminára - Produkcia bioplynu, pyrolýza a splynovanie - efektívny spôsob zhodnotenia biomasy ako obnoviteľného zdroja energie, Bratislava, 2010 dostupne z
<http://kchbi.chtf.stuba.sk/cevoze/doc/pod6/Zbornik%20komplet%20zamknuty.pdf>

[10] HUTŇAN, Miroslav, ŠPALKOVÁ, Viera, KOLESÁROVÁ, Nina, LAZOR, Michal:Produkcia bioplynu z biomasy, Bratislava dostupne z
<http://kchbi.chtf.stuba.sk/cevoze/doc/pod6/Produkcia%20bioplynu%20z%20biomasy%201.pdf>

[11] ŘEZÁČ, Jaroslva: ANAEROBNÍ FERMENTACE KALŮ Z VÝROBY BUNIČINY A KRMNÉHO DROŽDÍ – diplomová práce, Brno, 2010 VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. JAN PĚČEK dostupne z
< http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=30217>

[12] VODSTRČIL, Milan: Analýza Efektivnosti investičního projektu a jeho finacování – diplomová práce, Brno 2008

[13] DOSKOCILOVÁ,, Adéla: Bioplynová stanica, Letovice dostupne z
<http://ontosearch.ics.muni.cz/feed/attachment.php?aid=15>

[14] QEL s.r.o.: NÁVRH S BIOPLYNOVEJ STANICE VÝKONOM 1 MW, Bardejov dostupne z <*www.qel.sk/data/MW%20BPS_**1**.pdf* >

[15] HVIZDOŠ, Marek, TKÁČ, Ján: Energetické využitie biomasy a bioplynu, Kosice, 2009 dostupne z <Energetické využitie biomasy a bioplynu>

[16] KOCIÁN, Oldřich: NÁVRH BIOPLYNOVÉ STANICE-diplomová práce, Brno 2009 dostupne z <*www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17545*>
[17] KRÁTKÝ, Lukáš: Fermentor na přípravu biopaliv,dostupne z <http://stc.fs.cvut.cz/History/2009/Papers/pdf/KratkyLukas-326207.pdf>
[18] MUŽÍK, Oldřich, KÁRA, Jaroslav, ABRHAM, Zdeněk: Možnosti využití produkce travních porostů anaerobní digescí, Praha dostupne z <http://www.vuzt.cz/doc/energetika/BP_TTR_PDF.pdf?menuid=486>
[19] DOHÁNYOS, Michal: Teoretické základy anaerobní fermentace, Praha dostupne z <http://www.czba.cz/index.php?art=page&parent=vse-o-bioplynu&nid=teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>
[20] ŽÍDEK, Michal: ANAEROBNÍ DIGESCE ZVOLENÝCH SUBSTRÁTŮ NA LABORATORNÍM FERMENTORU, Brno, 2004 dostupne z <http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa_iii/papers/08-Zidek.pdf>
[21] KAJAN, Miroslav, LHOTSKÝ, Richard: MOŽNOSTÍ ZVÝŠENÍ VÝROBY BIOPLYNU NA STÁVAJÍCÍCH ZAŘÍZENÍCH, Třeboň, 2006 dostupne z <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/30.pdf>
[22] Využití bioplynu v zemědělství - Učební text pro agronomický modul projektu OP RLZ (ESF), Příbram-Benešov, 2008
[23] KUDLÁČ, Adam: ZPRACOVÁNÍ BIOPLYNU-diplomová práce, Brno, 2009 dostupne z <http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16978>
[24] GECIOVÁ, Eva, NAŠČÁKOVÁ, Jana: MOŽNOSTI VYUŽITIA BIOPLYNU A POTENCIÁL JEHO ZÍSKAVANIA N SLOVENSKU, Kosice,dostupne z <http://www.pulib.sk/elpub2/FM/Kotulic13/pdf_doc/03.pdf>
[25] ČIČMANEC, Samuel:Bioplyn – vhodný doplnok k zemnému plynu, dostupne z <http://www.szn.sk/Slovgas/Casopis/2008/5/2008_5_12.pdf>
[26] PĚČEK, J.; HOUDKOVÁ, L.; BEŇO, Z.; ŘEZÁČ, J.: *Energetické využití kalu z výroby buničiny a krmného droždí*, Odpadové fórum 2010 - sborník přednášek, ISBN 978-80-85990-12-6, (2010) článek ve sborníku dostupne z <http://www.odpadoveforum.cz/OF2010/dokumenty/prispevky/035.pdf>
[27] PROPERTY & ENVIRONMENT s. r. o. : Vydavateľstvo spravodajského a informačného portálu o energetike Energie-Portal.sk dostupne z <http://www.energie-portal.sk/>
[28] SCHNELL MOTOR Česká republika s.r.o. , distributor KGJ Dostupne z <http://www.schnellmotor.de/>
[29] ECKART Maschinenbau GmbH, dávkovací zařízení, dostupne z <http://www.eckart-maschinenbau.de/>
[30] Drössler GmbH Umwelttechnik, vyrobí nadrzi fermentoru dostupne z http://www.droessler-umwelttechnik.de/
[31] SASSE, Ludwig: Biogas Plant, 1988, 85 str. dostupne z <http://sleekfreak.ath.cx:81/3wdev/CD3WD/APPRTECH/G34BIE/B112_1.HTM
[32] VP AGRO spol. s.r.o. ,prodej osiv dostupna z < http://www.vpagro.cz/ >
[33] PBS POWER EQUIPMENT, s.r.o, vyroba horaku, dostupne z < http://www.pbspe.cz/>
[34] http://www.agrobiomasa.sk/ základné informácie o poľnohospodárskej biomase
[35] KAZDA, Radek: Projekt bioplynové stanice – odborný článok (online) dostupne z <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/projekt-bioplynove-stanice>

[36] DVOŘÁČEK, Tomáš: Základní problémy přípravy a provozu bioplynových stanic v České republice-odborný článek,dostupný z http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zakladni-problemy-pripravy-a-provozu-bioplynovych-stanic-v-ceske-republice

[37] HLAVÍNEK, P., HLAVÁČEK, J., JEŽ, M,. *Čistění odpadních vod – praktické příklady výpočtů*. VUT Brno: 1995. 135 s.

[38] STRAKA, F. a kol.: *Bioplyn.* 2. vyd. GAS s.r.o., Praha 2006. 706 s. ISBN 80-7328-090-6.

7 Seznam použitých symbol

symbol	význam	jednotka
A	Obsah plochy	m^2
α_1	Koeficient přestupu tepla ze suspenze do stěny	W/m^2K
α_2	Koeficient přestupu tepla ze stěny do okolního prostředí	W/m^2K
c_i	Objemový zlomek „i“ složky v plynné směsi	-
c_P	Tepelná kapacita substrátu	J/kg.K
d_i	Tloušťka „i“ vrstv	M
$E_{BP,t}$	Vyrobená tepelná energie	MWh
$E_{BP,el}$	Vyrobená elektrická energie	MWh
$E_{LTO,t}$	Tepelná energie z oleje	MWh
$E_{LTO,el}$	Elektrická energie z oleje	MWh
k	Koeficient prostupu tepla	W/m^2K
λ_i	Tepelná vodivost „i“ material	W/mK
LHV_{BP}	Celková výhřevnost plynu	kJ/m_N^3
LHV_i	Výhřevnost „i“ složky	kJ/m_N^3
m_N	Hmotnost dostupného substrátu	t
η_t	Tepelná účinnost	-
η_{el}	Elektrická účinnost	-
Q_{BP}	Energetický obsah bioplynu	kJ
Q_K	Tepelná energie	J
Q_{LTO}	Energetický obsah oleje	kJ
Q_Z	Energie na pokrytí ztrát	W
Q_{ZF}	Tepelné ztráty fermentoru	W
t_{ak}	Akumulační doba	Den
T_1	Teplota vstupujícího substrátu	°C
T_2	Teplota uvnitř nádrže	°C
T_{IN}	Teplota uvnitř nádrže	°C
T_O	Teplota vně nádrže	°C
V_{BP}	Množství vznikajícího bioplynu	m_N^3
V_{do}	Objem množství tekutého substrátu	m^3/den
V_{hod}	Hodinová produkce bioplynu	m_N^3/hod
V_{pn}	Objem příjmové nádrže	m^3
V_{sp}	Specifická produkce bioplynu	m^3_N/t_{os}
V_{vyuz}	Množství využitelného bioplynu za hodinu	m_N^3/hod
w_{os}	Hmotnostní zlomek organických látek v surovině	-
w_s	Hmotnostní zlomek sušiny v surovině	-

8 Seznam použitých zkratek

symbol	význam
OZE	Obnovitelné zdroje energie
ÚRSO	Úrad pro reguláciu síťových odvětví
BPS	Bioplynová stanica
BP	Bioplyn
ČOV	Čistička odpadových vod
LTO	Lehký topný olej
ZSE	Západoslovenská energetika
EIA	Environmental Impact Assessment

9 Seznam obrázků

Obr. 1.1 Význam anaerobní fermentace organických materiálů 7
Obr. 2.1 Schéma anaerobní fermentace 11
Obr. 3.1 Charakteristický vzhled zemědělské BPS s hlavními prvky 23
Obr. 3.2 Princip bioplynové stanice 24
Obr. 3.3 Základné rozdělení bioplynových technologií 25
Obr. 3.4 Průtokový způsob 25
Obr. 3.5 Metoda průtoková se zásobníkem na konci 26
Obr. 3.6 Dávkovací způsob 26
Obr. 3.7 Metoda střídání zásobníků 27
Obr. 3.8 Metoda se zásobníkem 27
Obr. 3.9 fermentor s pevným stropem a externím fóliovým plynojemem 28
Obr. 3.10 Zvonový reaktor na tuhou fázi 28
Obr. 3.11 P*rincip komorového reaktoru* 29
Obr. 3.12 Horizontální konstrukce 29
Obr. 3.14 Kovový válcový plynojem 31
Obr. 3.15 Fóliový poklop pod fóliovým zastřešením nádrže 32
Obr. 3.16 fermentor s dvojitým fóliovým překrytím 32
Obr. 3.17dávkovací zařízení 34
Obr. 3.18 Ponorné břitové čerpadlo (podélný řez) 35
Obr. 3.19 Excentrické šnekové čerpadlo (podélný řez) 35
Obr. 3.20 čerpadlo s rotujícími písty (příčný řez) 35
Obr. 3.21 ponorné motorové míchadlo 36
Obr. 3.22 Pádlové míchadlo 36
Obr. 3.23 Otočný tyčový mixér 37
Obr. 3.24 Hydraulické míchání 37
Obr. 3.25 Pneumatické vtlačování bioplynu 37
Obr. 3.26 Způsoby otopu reaktorů 38
Obr. 3.27 Odlučovač kondenzátu s přetlakovou pojistkou 39
Obr. 3.28 Fléra 39
Obr. 3.29 kogenerační jednotka Jenbacher 40
Obr. 3.30 Principiální schéma kogenerační jednotky 41
Obr. 4.1 Satelitní mapa místa stavby 44
Obr. 4.2 Mapa oblasti s vyznačeným místem předpokládané stavby 44
Obr. 4.3 příjmová nádrž 47
Obr. 4.4 dávkovací zařízení 47

Obr. 4.5 fermentor 48
Obr. 4.6 Vertikální pádlové 48
Obr. 4.7 dofermentor 51
Obr. 4.8 Fléra 52
Obr. 4.9 KGJ 53
Obr. 4.10 Technická data KGJ 54
Obr. 4.11 Půdorys bioplynové stanice 57
Obr. 4.12 Technologické schéma BPS 57

10 Seznam tabulek

Tab. 2.1 Teplotné oblasti metanizace 12
Tab. 2.2 přibližné složení bioplynu 14
Tab. 2.3 Obsah metanu v bioplynu z různých technologických procesů 14
Tab. 2.4 Vlastnosti bioplynu 15
Tab. 2.5 Přehled materiálů dle původu 18
Tab. 2.6 Produkce metanu vybraných rostlin 19
Tab. 3.1 Bioplynové stanice v SR 22
Tab. 4.1 Množství a vlastnosti surovin 45
Tab. 4.2 Množství a vlastnost tráví 45
Tab. 4.3 Množství a objem denních vsázek 45
Tab. 4.4 Výtežnost jednotlivých z OS 45
Tab. 4.5 Stanovení výhřevnosti bioplynu 46
Tab. 4.6 Produkce bioplynu 46
Tab. 4.7 Rozměry nádrže 48
Tab. 4.8 Složení stěny stropu 50
Tab. 4.9 Složení stěny 50
Tab. 4.10 Složení dna 50
Tab. 4.11 Množství potřebného tepla 51
Tab. 4.12 Rozměry dofermentoru 52
Tab. 4.13 Tepelná bilance 56
Tab. 4.14 Náklady na suroviny 58
Tab. 4.15 Návratnost investičních nákladů 58
Tab. 4.16 Investiční náklady na stavbu BPS 59

11 seznam grafů

Graf. 2.1 Závislost výhřevnosti na obsahu metanu 15
Graf. 2.2 Průměrné produkce bioplynu 21
Graf. 4.1 Zobrazení návratu investic 59

12 Seznam příloh

Příloha č.1: Datový disk obsahující diplomovou práci v elektronické podobě.
Příloha č.2: Žádost o územno-technickou informaci
Příloha č.3: Finančná analýza bez dotace
Příloha č.4: Finančná analýza s dotací 30%
Příloha č.5: Ročné prevádzkové náklady