

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

TECHNICKÁ FAKULTA

Katedra technologických zařízení staveb

**Návrh bioplynové stanice pro malý zemědělský výrobní
subjekt**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí diplomové práce: Ing. Zdeněk Pastorek, CSc.

Zpracoval: Václav Vondruška

V Praze, duben 2009

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Pastorka, CSc. Uvedl jsem všechny literární prameny, publikace a internetové stránky, ze kterých jsem čerpal.

V Šebířově dne 24. 4. 2009

Václav Vondruška

Poděkování

Děkuji tímto svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňku Pastorkovi, CSc. za odborné vedení, poskytnutí pomocné literatury, rady a korekturu této diplomové práce.

Václav Vondruška

Abstrakt

Problematika anaerobní fermentace organických odpadů vznikajících nejen při zemědělské výrobě nabývá na významu ve světě, a v posledních letech také v České republice. Touto cestou lze vyřešit problematiku legislativně a ekonomicky náročného zpracování odpadů vznikajících při živočišné i rostlinné výrobě a zároveň snížit závislost farmy či statku na kolísajících cenách vstupů a výstupů z výroby. Také lze touto cestou postupně snižovat závislost na konvenčních neobnovitelných zdrojích energie, prospět tak celkové ekonomice farmy a přispívat také ke zlepšení životního prostředí.

Klíčová slova: bioplyn, bioplynová stanice, fermentor, kogenerační jednotka, kofermentace, stabilizovaný substrát

Design of biogas station for small agricultural production subject

Summary

Anaerobic fermentation of organic waste generated in agriculture grows in importance in the world and also in Czech republic. It is a way to solve the issue of a waste treatment in the legislative and economic aspect. It can also decrease a dependance of farmers on fluctuating input and output prices. Globally, it can decrease our dependence on a fossil energetic resources and contribute to our care of natural environment and sustainable development.

Key words: biogas, biogas plant, fermenter, combined heat and power generator, co-fermentation, stabilized substratum

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Aktuální přehled o současném stavu řešení problému.....	3
2. 1 Legislativní zázemí dané problematiky v ČR.....	3
2. 2 Anaerobní fermentace – podstata.....	4
2. 3 Rozdělení bioplynových technologií.....	6
2. 4 Struktura hlavních prvků bioplynové linky.....	7
2. 5 Princip bioplynové stanice.....	8
2. 6 Hlavní části bioplynové stanice.....	9
2. 6. 1 Přípravná nádrž – předjímka.....	9
2. 6. 2 Čerpací technika.....	9
2. 6. 3 Fermentor.....	10
2. 6. 4 Plynojemy.....	10
2. 6. 5 Hospodaření s teplem.....	13
2. 6. 6 Kalová a plynová koncovka.....	14
2. 7 Situace v oboru v rámci EU.....	14
2. 8 Aktuální situace a možný potenciál v ČR.....	15
3. Výchozí podmínky vybraného zemědělského podniku nebo farmy.....	17
3. 1 Cíl práce.....	17
3. 2 Základní údaje o farmě.....	17
3. 3 Výchozí údaje pro návrh bioplynové stanice.....	20
3. 3. 1 Množství biologicky rozložitelných materiálů z ŽV.....	20
3. 3. 2 Množství biologicky rozložitelných materiálů z RV.....	23
3. 3. 3 Shrnutí.....	24
4. Návrh technologie bioplynové stanice.....	25
4. 1 Kritéria pro rozhodnutí výstavby BPS.....	25
4. 2 Předjímka.....	27

4. 3 Dávkovací technika – volba vhodného zařízení.....	28
4. 3. 1 Suché dávkování pevných substrátů.....	28
4. 3. 1. 1 Míchací a dávkovací zařízení Trioliet.....	29
4. 3. 1. 2 Míchací a dávkovací zařízení Strautmann Biomix.....	33
4. 3. 1. 3 Dávkovač pevného substrátu Biomicher.....	34
4. 3. 2 Mokrý dávkování pevných substrátů.....	35
4. 3. 3 Význam drcení a řezání kofermentů.....	36
4. 3. 4 Porovnání variant řešení – výběr vhodného zařízení.....	37
4. 4 Fermentor.....	39
4. 5 Čerpací technika.....	46
4. 5. 1 Čerpadla.....	46
4. 5. 2 Potrubí.....	46
4. 5. 3 Armatury.....	47
4. 5. 4 Manometr.....	48
4. 6 Míchací technika.....	49
4. 7 Skladování bioplynu – plynojem.....	51
4. 8 Skladovací jímka.....	54
4. 8. 1 Železobetonová jímka.....	54
4. 8. 2 Úchovný vak Flexistore.....	55
4. 9 Kogenerační jednotka.....	56
4. 10 Řídící jednotka.....	59
5. Optimalizace směsi před vstupem do fermentoru.....	61
5. 1 Vliv chemického složení na výtěžnost metanu.....	61
5. 2 Optimalizace vstupních substrátů.....	63
6. Teoretický výpočet množství bioplynu a jeho praktické ověření.....	67
7. Ekonomické zhodnocení provozu navržené bioplynové stanice.....	73
8. Závěr.....	78

1. Úvod

Zásobování palivy a energiemi je problém, který znepokojuje celou společnost na různých úrovních řízení a který je umocňován dosavadními trendy světového populačního růstu, rostoucí spotřebou energie, rychlým poklesem zásob fosilních paliv, zdánlivě pomalým technickým pokrokem v objevování nových, především obnovitelných zdrojů energie a negativními dopady na životní prostředí.

Faktem zůstává, že od 17. století se zvýšil počet obyvatel planety více než 12krát (z 0,5 mld. na více než 6 mld.) a podle údajů WEC (World Energy Council) se zvyšuje o 80 mil. za rok. Ještě vyšší nárůst vykázala podle této organizace světová spotřeba energie, ze 100 mil. t CE na 14 mld. t CE. (uhelný ekvivalent 1 t CE = $7 \cdot 10^6$ kcal = $29,281 \cdot 10^9$ J = 29,281 GJ). Prognóza inovací na příštích 25 let nemůže opomíjet výrobu a využití energetických zdrojů.

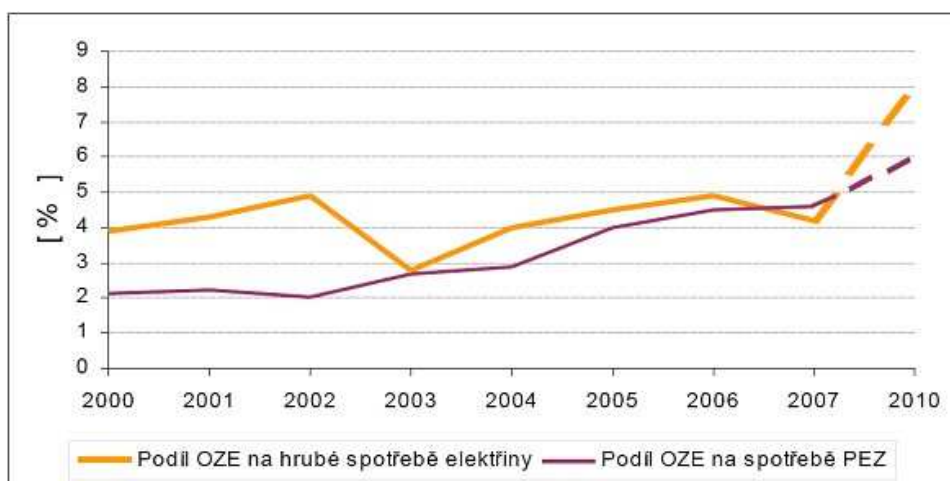
Evropská unie chce, aby do roku 2020 obnovitelné zdroje energie, například solární či větrné zdroje energie, či spalování biomasy, zajišťovali v průměru 12% spotřeby členských zemí. Čistá energie není zázračným lékem, který za pár let nahradí uhelné kotle, ropu a jaderné reaktory. Obnovitelné zdroje nebudou patřit mezi rozhodující vysokopotenciální energetické zdroje, mohou však mít významný regionální a lokální přínos. Musí ale dostat přednost. Snižují znečištění a vytváří více pracovních míst, než „stará“ energetika. Zatím tomu brání energetická politika a špatná legislativa. [1]

Pro Českou republiku je prognostický scénář zachycen v „Energetické politice. Podepsáním přístupové smlouvy k EU se zavázala k dosažení 8% podílu energie z obnovitelných zdrojů na tuzemské spotřebě elektrické energie a 6% na výrobě tepelné energie do roku 2010. Podíl výroby elektrické energie z OZE na hrubé spotřebě kolísá díky vysokému potenciálu vodní elektráren (VE) a její závislosti na klimatických podmínkách (viz tab. 1, resp. graf 1).

Tab.1 Obnovitelné zdroje energie – skutečnost a cíle [3]

Položka (rok 20..)	00	01	02	03	04	05	06	07	Cíl
Podíl OZE na spotřebě el. [%]	3,9	4,3	4,9	2,8	4,0	4,5	4,9	4,2	8
Podíl OZE na PEZ [%]	2,1	2,2	2,0	2,7	2,9	3,99	4,5	4,6	6

Graf 1 Vývoj spotřeby elektřiny v OZE [3]



Možnosti využití obnovitelných zdrojů jsou však v České republice omezené. Například výroba elektřiny ve vodních elektrárnách se může zvýšit maximálně o 20 procent [5]. Značný potenciál je ve využití biomasy, tedy i anaerobní fermentací vlhkých organických materiálů vznikajících při živočišné i rostlinné výrobě. [1]

2. Aktuální přehled o současném stavu řešení problému

2.1 Legislativní zázemí dané problematiky v ČR

V posledních několika letech byla přijata celá řada legislativních předpisů a technických norem, které více či méně souvisejí a ovlivňují využití obnovitelných zdrojů energie v České republice.

Bezesporu nejdůležitějším právním dokumentem, který byl v posledním období schválen, je zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Jak již z názvu tohoto zákona vyplývá, upravuje způsoby a možnosti podpory pouze pro výrobu elektřiny, nevztahuje se však na výrobu tepla z biomasy. Uvedený zákon implementuje směrnici EU č. 2001/77/ES, o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie na vnitřním trhu s elektřinou.

Podle názorů zahraničních expertů je tento zákon, který při návrhu schémat podpory výroby tzv. „zelené elektřiny“ vycházel z nejlepších evropských zkušeností, jedním z nejmodernějších v Evropské unii.

Pro potenciální investory do nových zařízení zákon garantuje:

- minimální výkupní cenu biomasy po dobu 15 let od uvedení zařízení do provozu,
- meziroční změnu minimální výkupní ceny maximálně o 5 %.

Oba tyto faktory usnadňují výpočet návratnosti vložených investic a zlepšují pozici investorů při vyjednávání bankovních úvěrů pro realizaci jejich záměrů v oblasti výroby elektřiny z OZE.

Výrobce elektřiny z OZE může využít jeden ze dvou modelů podpory vyrobené elektřiny:

- 1. Model minimální výkupní ceny.**
- 2. Model zelených bonusů.**

Na rozdíl od prvního přístupu, kdy výrobce prodává elektřinu za garantované minimální výkupní ceny, v případě druhém prodává elektřinu za sjednané tržní ceny navýšené o tzv. zelený bonus. Celková získaná cena, tj. součet ceny tržní a zeleného bonusu, by ve většině případů měla přesahovat minimální garantovanou výkupní cenu. Tento model však vyžaduje aktivnější přístup výrobce k prodeji svého produktu, tj. zelené elektřiny.

Výše minimální výkupní ceny i zelených bonusů stanovuje jednou ročně Energetický regulační úřad. [6]

Dle Cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 8/2008 ze dne 18. listopadu 2008 je stanovena výkupní cena elektrické energie dodávané do sítě spalováním bioplynu v bioplynových stanicích kategorie AF1* na 4120,- Kč/MWh a zelené bonusy 2580,- Kč/MWh.

*** zařazení BPS do kategorií AF1 a AF2 stanoví zvláštní právní předpis**

Při zpracování materiálů, které jeho původce charakterizoval jako odpad, je třeba dodržovat legislativní ustanovení zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech, ve znění pozdějších předpisů a všech prováděcích vyhlášek MŽP k tomuto zákonu vydaných a jejich inovací. Při uvádění vyfermentovaného substrátu na trh je nutné se řídit ustanoveními zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech, ve znění zákona č. 308/2002 Sb. a všech souvisejících prováděcích vyhlášek MZe.

Další důležitou informací je závazek ČR, který podle směrnice EU 99/31/EC o skládkování odpadů, ukládá novým členským státům povinnost, aby bylo postupně snižováno množství biologicky rozložitelného odpadu ukládaného na skládky (75% do roku 2010, 50% do roku 2013 a 35% do roku 2020 v porovnání s rokem 1995).

2. 2 Anaerobní fermentace - podstata

Při rozkladu organických látek (hnůj, zelené rostliny, kal z čističek) v uzavřených nádržích bez přístupu kyslíku vzniká bioplyn. Základní druhy

biomasy, běžně využívané pro anaerobní výrobu bioplynu, jsou: exkrementy hospodářských zvířat (kejda, trus, hnůj, močůvka, hnojůvka, podestýlka, atd.), fytomasa (senáže, siláže, části a kořeny rostlin, vybrané druhy energetických rostlin, ekonomicky neprodejné produkty), odpady ze zpracovatelského a potravinářského průmyslu (mlékáren, jatek, lihovarů, atd.), specifické a speciální odpady (např. masokostní moučka apod.), tříděné domovní a komunální odpady. Dalším významným producentem bioplynu jsou ČOV a skládky tuhého komunálního odpadu.

Principiálně se setkáváme se dvěma druhy procesů :

Mokrý fermentace – zpracování biomasy s obsahem sušiny < 12 %.

Suchá fermentace – zpracování biomasy s obsahem sušiny 20 až 60 %.

V literatuře je možné najít velmi podrobné členění procesů i další speciality a podrobnosti. Z hlediska reakční teploty (resp. druhu anaerobních mikroorganismů) se v praxi nejčastěji setkáme s těmito procesy:

- psychrofilní teplotní pásmo: 15 – 20°C
- mezofilní teplotní pásmo: 38 – 40°C
- termofilní teplotní pásmo: asi 55°C

Anaerobní fermentace je doprovázena velmi výraznou redukcí přirozené pachové zátěže (fermentace probíhá v plynotěsném reaktoru). Průměrná doba zdržení biomasy v reaktoru činí 20–30 dnů. Výslednými produkty jsou: fermentační zbytek (digestát) resp. hnojivý substrát (výroba kompostů a certifikovaných hnojiv) a samozřejmě energeticky využitelný bioplyn. Bioplyn obsahuje cca 55–75 objemových procent CH₄, 20–40 % CO₂, 1–3 % dalších plynů (N₂, H₂, H₂S, NH₃, vzácné plyny, aj.), výhřevnost se pohybuje od 19,6 do 25,1 MJ/m³. Další přínosy fermentace jsou v hygienizaci fermentačního zbytku a např. výrazném snížení klíčivosti semen ve zbytcích. [6]

Anaerobní fermentace je proces, při kterém probíhá rozklad látek bez přístupu vzduchu ve vlhkém prostředí působením metanových bakterií při teplotě 0°C až

70°C. (psychrofilní pásmo: 15 až 20 °C, mezofilní: 35 až 40 °C, termofilní: 55 °C a více). Má čtyři základní fáze:

- **Hydrolyza** – enzymatický rozklad mění polymery na jednodušší organické látky. Nevyžaduje striktně bezkyslíkaté prostředí.
- **Acidogeneze** – dochází k vytvoření bezkyslíkatého prostředí, vznik CO_2 , H_2 , CH_3COOH umožňuje metanogenním bakteriím tvorbu metanu.
- **Acetogeneze** – je někdy označována jako mezifáze. Acidogenní specializované kmeny bakterií transformují vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou (CH_3COOH) a oxid uhličitý.
- **Metanogeneze** – metanogenní acetotrofní bakterie rozkládají především kyselinu octovou na metan CH_4 a oxid uhličitý CO_2 , hydrogenotrofní bakterie produkují metan z vodíku H_2 a oxidu uhličitého. Určité kmeny metanogenních bakterií se chovají jako obojetné.

Základní podmínky anaerobního procesu:

- Malý obsah anorganického podílu (popelovin).
- Organický materiál s vysokým podílem biologicky rozložitelných látek.
- Optimální obsah sušiny pro zpracování pevných odpadů je 22 až 25 %, v případě tekutých odpadů 8 až 14 %, tekuté odpady s obsahem sušiny nižším než 3 % mají negativní energetickou bilanci (dodávání doplňkového tepla z externího zdroje pro udržení procesu)
- Hodnota pH materiálu na vstupu by měla být 6,5 až 7,5, při hodnotě pH nižší než 5 se mohou objevovat inhibiční účinky na některé kmeny metanogenů.
- Optimální poměr uhlíku (C) a dusíku (N) ve vstupním materiálu je 30:1.
- Materiál by neměl obsahovat inhibiční látky (antibiotika a podobné) a neměl by být v hnilobném rozkladu.
- Materiál před vstupem do procesu není vhodné dlouhodobě skladovat

2. 3 Rozdělení bioplynových technologií

Podle dávkování surového materiálu rozdělujeme technologie:

- **Diskontinuální** – doba jednoho pracovního cyklu odpovídá době zdržení materiálu ve fermentoru, používá se zejména při suché fermentaci tuhých org. materiálů. Způsob manipulace je náročný na obsluhu
- **Semikontinuální** – doba mezi jednotlivými dávkami je kratší než doba zdržení materiálu, je to nejpoužívanější způsob plnění fermentoru při zpracování tekutých organických materiálů. Materiál se dávkuje 1 – 4 i vícekrát za den.
- **Kontinuální** – používá se při plnění fermentorů které jsou určeny pro zpracování tekutých organických odpadů s velmi malým obsahem sušiny.[1]

2. 4 Struktura hlavních prvků bioplynové linky

- **Zdroj organických materiálů** – sběr a transport do příjmové nádrže musí s malými výkyvy odpovídat nominální výkonnosti strojní linky, před uskladněním v přijímací nádrži musí být evidován druh, charakter a množství materiálu a odebírány vzorky pro případ reklamací dodávek
- **Příjem a úprava materiálu** – skladovací nádrže mohou být vybaveny zařízeními na separaci hrubých příměsí, na ředění vodou, na zahušťování řídkého materiálu, inokulace mikroflóry, předehřev materiálu, homogenizace a automatické dávkování do fermentoru
- **Anaerobní reaktor na tekutý materiál** – reaktor je nejdůležitější součást strojních linek a rozhoduje o kvalitní funkci celé linky. Používají se tato provedení reaktorů: Laguna (nejjednodušší zařízení, malá intenzita výroby CH₄, psychrofilní pásma), reaktory pravoúhlé, hranolovité (podoba žlabu nebo zakryté hranolovité jímky), válcové reaktory (pro malé objemy okolo

150 m³ – vodorovná osa, velké objemy svislá osa), reaktory kulové nebo polokulové

- **Bioplynová koncovka** – obsahuje potrubí na dopravu bioplynu, bezpečnostní zařízení proti zpětnému zahoření plynu, dmychadlo, zásobník (plynojem), zařízení na úpravu plynu a zařízení na konečné využití plynu, hořák zbytkového plynu
- **Kalová koncovka** – sestává z armatur, dopravních čerpadel, homogenizátorů, skladů, separačních zařízení (spádové síto, šnekový lis, dekantér, rotační síto, pásový lis) .[1]

2. 5 Princip bioplynové stanice na zpracování odpadní biomasy kofermentací s kejdou hospodářských zvířat

U starších typů BPS se pro fermentaci využívá pouze kejda hospodářských zvířat, která má ale malou výtěžnost plynu. Většina dnešních BPS pracují na principu kofermentace, což znamená rozklad kejdy, pevného hnoje a organického materiálu, který nevzniká v živočišné výrobě (zbytky z rostlinné výroby, odpady ze zpracování a výkrmu, rostliny pěstované pro fermentaci) při teplotě 35 - 40°C. Díky kofermentaci vzniká zajímavá kombinace odpadového a energetického hospodářství, navíc se tak dá podstatně zvýšit výtěžnost bioplynu a tím také výkon a ekonomika BPS. Organická hmota se před vstupem do fermentační nádrže rozseká na drobné části a promíchá (předjímka). Fermentační nádrž může být celá, nebo částečně zapuštěná v zemi. Nádrže (většinou 2 – 4 kusy) jsou vzájemně propojené, což umožňuje lepší regulaci fermentačního procesu. Nepřetržitý vývin bioplynu je zajištěn důkladným promícháváním substrátu, v ideálním případě permanentně. Vznikající bioplyn je směs plynů, která obsahuje 60 – 70 % metanu a 30 – 40 % oxidu uhličitého. Bioplyn se spaluje v kogenerační jednotce (upravený spalovací motor) s účinností do 42 %. Kogenerační jednotka

vyrábí elektrickou energii a teplo, které vzniká jejím chlazením. Tepla se vyrobí asi o 1/3 víc, než elektrické energie. Pro ekonomiku BPS je důležité využití tepla například na vytápění budov, sušení obilnin, dřeva, pelet či polnohospodářských plodin.

2. 6 Hlavní části bioplynové stanice

2. 6. 1 Přípravná nádrž / předjímka

V přípravné zakládací jímce je možné zamíchat substráty až na max. 3 dny. Instalované míchadlo zajistí intenzivní promíchání a nánosy homogenizuje. Míchací nádrž může být v provedení jako nadzemní nebo zemní jímka [7]. Dle materiálového provedení a dodavatele BPS mohou být tyto jímky železobetonové, ocelové se smaltovaným povrchem či z nerezové oceli. Výhodné z hlediska pořizovacích nákladů je využití stávajících jímek zemědělských provozů, popř. podroštových kanálů.

2. 6. 2 Čerpací technika

Čerpadla jsou nutná k překonání výškových rozdílů mezi jednotlivými nádržemi a rovněž pro pohon hydraulických míchadel. Základní typy čerpadel využívaných v systémech BPS jsou:

- **Odstředivá (rotační) čerpadla** – konstrukčně jednoduchá a relativně robustní, přicházejí v úvahu především pro dopravu řídkých kapalných substrátů o obsahu sušiny menším než 8%.
- **Objemová (plunžrová) čerpadla** – používají se především pro dopravu kejdy s vysokým obsahem sušiny. Jsou samonasávací a podstatně stabilnější vůči změnám tlaku než rotační čerpadla. Čerpadla tohoto typu mohou po změně směru otáčení čerpat i v protisměru. Z mnoha

principiálně různých objemových čerpadel se v BPS užívá hlavně šnekových čerpadel a čerpadel s rotujícími písty.

Významní dodavatelé čerpací techniky pro BPS jsou společnosti:

Hugo Vogelsang GmbH, Konrad Pumpe GmbH, MEZ a.s., Oramont, DeLaval, DPS Engineering

2. 6. 3 Fermentor

Srdcem bioplynové stanice je fermentor, ve kterém probíhají biologické procesy. Této části technologie je nutné věnovat zvláštní pozornost, protože při fermentaci dochází k uvolňování velmi agresivních sloučenin plynů, které způsobují rychlou korozi materiálů. Konstrukční typy vyhnívacích nádrží byly popsány v kapitole 2. 4. odst. 3. Provedení a parametry návrhu fermentoru budou popsány v dalších kapitolách.

Volba dodavatele vyhnívací nádrže (stejně tak jako předjímky a skladovacího prostoru digestátu) je závislá především na materiálovém provedení fermentoru. Pro příklad lze uvést významné firmy působící na tuzemském trhu jako konstruktéři a dodavatelé jímek a nádrží:

WOLF Systém s. r. o. (železobetonové stavby), S.O.K stavební s.r.o. (ocelové smaltované nádrže), Monticom s.r.o. (ocelové smaltované nebo pozinkované nádrže), LOTHAR BECKER ČR s.r.o. (ocelové smaltované nádrže), UNIMONT Pacov s.r.o (ocel – nerezové nádrže), MÍČ Systém (železobetonové monolitické nádrže)

2. 6. 4 Plynojemy

Velkou výhodou bioplynu oproti jiným nosičům energie je ta skutečnost, že bioplyn lze skladovat a podle potřeby využívat v době, kdy potřeba zapojit špičkové zdroje pro výrobu elektrické energie nebo tepla. Při jeho skladování nedochází na rozdíl od "skladování" solární elektrické a tepelné energie nebo tepla

a energie z větru ke ztrátám (tepelné ztráty, vybíjení akumulátorů). Nevýhodou bioplynu je poměrně malá hustota energie v poměru k objemu, kdy 1 m³ bioplynu obsahuje takové množství energie, jako 0,6 až 0,7 l topného oleje. Pro beztlakové skladování jsou proto potřeba větší objemy zásobníkových plynojemů.

Základní rozdělení plynojemů

Důležitým parametrem při volbě typu plynojemu je množství uskladňovaného bioplynu. Podle zkušeností z praxe a experimentálních provozů je dostačující objem plynojemu roven asi jednodenní jmenovité produkci plynu. Toto platí při zpracování bioplynu na tepelnou energii, nebo pokud je z něj vyráběna elektrická energie diskontinuálně. Pokud běží agregát bez přestání, je dostačující objem 20 – 50 procent denní produkce. Slouží pak jako vyrovnávací zásobník k vyrovnání výkyvů tvorby bioplynu během dne (přísun surovin, míchání..).

Plynojemy používané u BPS můžeme rozdělit podle použitého konstrukčního materiálu na kovové, plastové, gumotextilní nebo kombinované.

Podle provozního tlaku pak na:

- Nízkotlaké (méně než 50 kPa)
- Středotlaké (1 až 2 MPa)
- Vysokotlaké (15 až 35 MPa)

U většiny bioplynových stanic jsou používány nízkotlaké plynojemy, a to buď tzv. mokré nebo suché zásobníky. Mokré zásobníky se osvědčili zejména u malých BPS v teplých zeměpisných pásmech, v našich podmínkách je od nich však upouštěno kvůli vyšším pořizovacím nákladům a velkým tepelným ztrátám. Rozdělují se na plynojemy s vodním uzávěrem a plynojemy uzavřené vodním prstencem. Jejich principem je nádoba otočená dnem vzhůru a ponořeným okrajem. Hloubka ponoru je regulována množstvím plynu.

Využívanější variantou jsou tzv. suché zásobníky. Mohou být realizovány ku příkladu jako fóliová trubice uložená v lehké stavební konstrukci, zavěšená

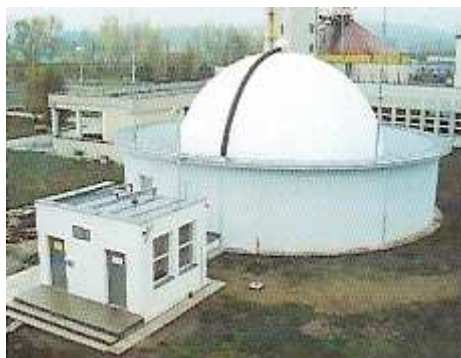
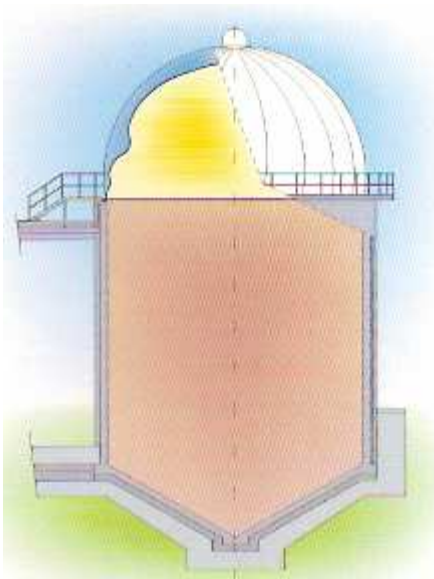
v silážní věži i ležící pod širým nebem, nebo jako polštář ležící na samotném fermentoru, případně zavěšen obdobně jako fóliová trubice. (Obr. 1,2)

Obr. 1 Fóliový zásobník – polštář [8]

Obr. 2 Fóliový zásobník - válec [8]



Obr. 3 Plynojem – střecha fermentoru (schéma + realizace) [8]



Další často využívanou variantou je fóliový plynojem ve formě fóliového poklopu fermentoru. V některých případech nádrže s plynotěsnou membránovou střechou slouží i jako fermentor (Obr. 3). Často se používají dvojité membrány,

kdy se do membránového meziprostoru ventilátorem vhání vzduch pod tlakem 200 - 300 Pa, kterým se nafoukne venkovní membrána sloužící jako střecha a tlak vzduchu působící na vnitřní membránu, oddělující bioplyn, zabezpečuje dostatečný přetlak bioplynu pro další využití. Střecha je odolná UV-zářením a je předepnuta pomocí vzduchového polštáře. Vnitřní membrána zajišťuje variabilní objem pro vznikající plyn. V případě použití jednoduché membrány, se doporučuje udělat nad reaktorem přístřešek.

**Významní dodavatelé nízkotlakých fóliových plynojemů jsou společnosti:
AGROTEL, SATTLER, Wieffering**

2. 6. 5 Hospodaření s teplem

Proces tvorby bioplynu je značně odkázaný na udržování konstantní teploty ve fermentoru. Stabilní hospodaření s teplem je zajištěno díky dostatečně dimenzovanému potrubnímu topení ve spodní třetině fermentoru a vnější izolací z polystyrénových desek. Teplota vody v topném potrubí je na vstupu pomocí směšovacího ventilu dle potřeby regulována, aby se zamezilo vytváření sraženin na potrubí vlivem vysokých teplot. Výkon topení umožňuje také přechod na termofilní metanogenezi při teplotě 55°C. Vnější ochrana proti povětrnostním vlivům je vyrobena z hliníkového trapézového plechu. [7]

Obr. 4 Vyhřívání substrátu [7]



2. 6. 6 Kalová a plynová koncovka

Kalová koncovka sestává z armatur, čerpadel, homogenizátorů, skladů a separačních zařízení (spádové síto, šnekový lis, dekanter, rotační síto, pásový lis).

Plynová koncovka obsahuje potrubí na dopravu bioplynu, bezpečnostní zařízení proti zpětnému zahoření plynu, dmychadlo, zásobník, regulační a kontrolní prvky, zařízení na úpravu plynu a zařízení na konečné využití plynu.[1]

Konkrétní uspořádání a parametry kalové a plynové koncovky budou popsány v dalších kapitolách.

2. 7 Situace v oboru v rámci EU

Přínosy BPS názorně dokládá vývoj v Německu. Díky vhodně nastavenému systému podpor dosáhl obor bioplynu v roce 2006 zatím největšího rozvoje, když bylo nově zprovozněno cca 700 zařízení s celkovým instalovaným výkonem 550 MW_{el}. Celkový počet BPS v roce 2006 v Německu odhadován na 3.500 zařízení. Jejich souhrnný instalovaný elektrický výkon dosáhl již 1.100 MW_{el} s produkcí více než 5 TWh elektřiny. Po uvedení zařízení z roku 2006 do plného výkonu a s novými instalacemi byla celková produkce pro rok 2007 prognózována na více než 10 TWh. Skutečnost bude zřejmě jiná vzhledem k aktuálnímu vývoji v zemědělství a vzhledem k výraznému růstu cen zemědělských komodit. Zajímavou ukázkou efektivity výroby elektřiny v BPS je předpoklad publikovaný v Německu, že nově instalovaný výkon 550 MW_{el} v bioplynu zajistí díky několikanásobně stabilnější produkci energie srovnatelnou výrobu elektřiny, jakou poskytne 2 280 MW_{el} nově instalovaných ve větrných elektrárnách v roce 2006. Bioplyn stále více ukazuje svůj rostoucí význam v energetickém hospodářství a v budoucím „energetickém mixu“.

Další zajímavou „bioplynovou“ zemí je např. Rakousko. V letech 2001 – 2005 zde došlo k razantnímu rozvoji BPS, když jejich počet vzrostl na 300 zařízení na

konci roku 2005 a instalovaný elektrický výkon dosáhl 80 MW_{el}. Roční produkce elektrické energie dosáhla 570 GWh, což je množství, které odpovídá celoroční spotřebě 160 000 domácností.

2. 8 Aktuální situace a možný potenciál v ČR

V současnosti je u nás v provozu cca 30 BPS, což samo o sobě naznačuje, že ČR na skutečné využití přínosů bioplynu stále čeká. Zhruba polovina z těchto zařízení pochází ze 70., 80. a z počátku 90. let. Ing. Petr Dlouhý ze společnosti MWK Bioplyn odhaduje, že v roce 2012 bude v České republice fungovat na sto bioplynových stanic (BPS). Expanzi odvětví podporuje příznivá legislativa, která bere v úvahu závazky ČR ve zvyšování výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů. [9]

Teprve s přijetím zákona č. 180/2005 Sb. na podporu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů nastalo oživení tohoto oboru. Zejména v roce 2007 a 2008 bylo zprovozněno několik nových BPS a ve fázi přípravy je aktuálně několik desítek projektů. Určité oživení signalizuje i to, že podle statistiky MPO ČR celková výroba elektřiny z BPS meziročně vzrostla o 134 %, konkrétně z 8,2 GWh v roce 2005 na 19,2 GWh o rok později.

Uvedené hodnoty jsou bohužel stále nejen zlomkem reality z Rakouska či Německa, ale i z reálného potenciálu v ČR. Asociace CZ Biom zpracovala již několik scénářů tohoto potenciálu, včetně návrhu „Akčního plánu pro biomasu“. Ten byl nedávno vypracován pro účely MZe ČR a Vlády ČR za účelem definování rozvoje biomasy a bioplynu v letech 2008 – 2010. Střední varianta možného vývoje ukazuje scénář, kdy v roce 2020 může být pouze v zemědělských BPS instalována kapacita o výkonu 240 MW_{el} s výrobou elektrické energie dosahující 1 900 GWh za rok. Varianta vychází z předpokladu, že bude využívána zhruba třetina potenciálu zbytkové biomasy a pěstovaná biomasa z přibližně 80 – 100 000 ha zemědělské půdy. Znamenalo by to existenci přibližně 400

zemědělských BPS, které by zároveň tvořily většinu z celkového počtu BPS v ČR. V případě komunálních a kofermentačních BPS lze jejich počet v budoucnu odhadnout na několik desítek zařízení.

BPS a výroba bioplynu obecně má řadu pozitivních a celospolečenských přínosů. Bioplyn je podle zákona č. 180/2005 Sb. hodnocen jako obnovitelný zdroj energie a elektrická a tepelná energie z něj vyrobená je tedy ekologicky šetrná. Hlavní přínosy lze shrnout následovně:

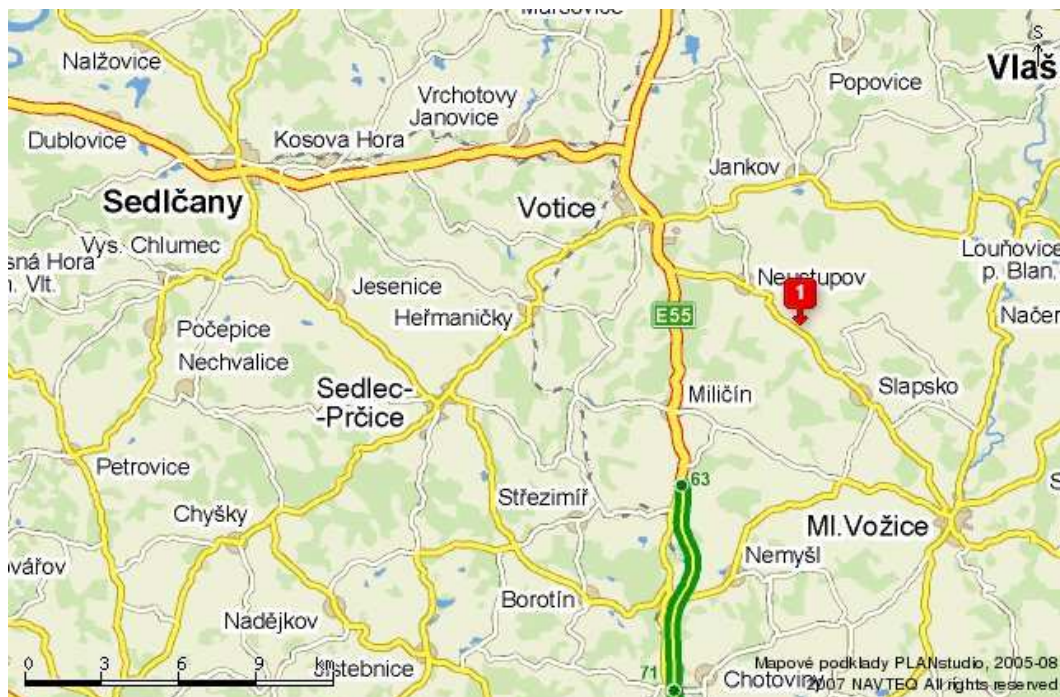
- Z hlediska obnovitelných zdrojů má ČR právě v bioplynu jeden z největších a navíc rychle mobilizovatelných potenciálů
- Jeho uplatnění může nejen významně pomoci při plnění závazku ČR vůči EU v oblasti obnovitelných zdrojů, ale také může přispět ke snížení závislosti ČR na fosilních palivech a na jejich dovozu z nestabilních zemí
- Pro obce a města jsou BPS ve vhodných lokalitách efektivním způsobem řešení zpracování bioodpadů a jejich aktivního odklonu ze skládek v souladu s požadavky legislativy
- Pro venkov jsou BPS jednou z možností, jak zajistit jeho rozvoj a podporu zaměstnanosti. Zemědělcům nabízejí reálnou alternativu pro smysluplné využití zemědělské půdy a novou podnikatelskou příležitost. [10]

3. Výchozí podmínky vybraného zemědělského podniku

3.1 Cíl práce

Cílem této práce je navrhnout bioplynovou stanici pro vybraný malý zemědělský výrobní podnik nebo rodinnou farmu. Navrhnout a dimenzovat jednotlivé části BPS, optimalizovat směs vstupních substrátů dle množství a kvality materiálů, které jsou k dispozici a ekonomicky zhodnotit navržený provoz. Pro tento účel byla vybrána malá o rodinná farma hospodařící s cca 200 hektary a produkční stájí připravenou pro kejdomé hospodářství s 90 kusy dojeného dobytka, 60 kusy mladého dobytka a 40 telaty, o jejíž chod se starají čtyři rodinní příslušníci.

Obr. 5 Umístění farmy na mapě



3.2 Základní údaje o farmě

Název podnikatelského subjektu: Kopecký Pavel

Zapsáno od: 1. 1. 1992

Místo podnikání: Jiřetice 3

IČ: 45128570

Živnost: Registrace soukromého zemědělce

Počet zaměstnanců: 4

Farma se nachází na hranici jihočeského a středočeského kraje nedaleko obce Neustupov (viz. Obrázek 5). Jedná se o rodinný podnik založený v roce 1992 panem Kopeckým, z počátku hospodařícím na 100 ha, s 50 ks dojníc, v současné době čítá stádo dojníc 90 ks, mladý dobytek (jalovice od 6 měsíců do zabřeznutí, býčci od 6 měsíců do 1 roku) asi 50 ks a 40 telat do 6 měsíců. Rozloha zemědělsky obdělávaných ploch je cca 200 ha.

Původní stáj je typu volného boxového ustájení s hnojnou chodbou uprostřed a krmnou chodbou podél delší strany stáje (viz příloha č. 1). Později majitelé ke stávající stáji připojili přístavek za účelem zvýšení kapacity stáda, jenž je koncipován jako volné kotcové ustájení s občasným přistýláním a odklizem slamnateho hnoje. Majitelé farmy jsou členy svazu chovatelů holštýnského skotu a jejich chov je registrován v plemenné knize holštýnského skotu. Průměrná užitkovost stáda je 11 500 litrů mléka.

Co se rostlinné výroby týče, hospodaří farma s celkem 220 hektary zemědělské půdy. Z toho 38 ha jsou trvalé travní porosty, zbytek připadá na ornou půdu. Ta slouží především pro pěstování krmných plodin pro zabezpečení potravy pro chov skotu (kukuřice, jarní směs jetelovin a jetel jako hlavní plodina). Na přebytečných plochách jsou pěstovány plodiny určené ke komerčním účelům (řepka, pšenice, oves, ječmen, vyjímečně mák). Pro rok 2009 je stanoven následující osevní plán:

kukuřice.....	50 ha
jarní směs jetelovin.....	30 ha
jetel	30 ha
řepka.....	20 ha
pšenice a tritikále.....	40 ha

oves.....5 ha
ječmen.....7 ha
TTP.....38 ha

Z těchto ploch je 30 hektarů ve vlastnictví farmy, zbytek jsou plochy pronajaté. Výše pronájmu činí v průměru 600 Kč/ha.rok a příslušná daň z pozemku. O samotný chod farmy se starají čtyři rodinní příslušníci a při sezónních pracích vypomáhá až 6 sezónních pracovníků.

Obr. 6 Uspořádání farmy



Uspořádání jednotlivých částí farmy je zřejmé z obr. 6. První objekt zprava , označený jako SO 01 je produkční stáj pro 90 ks dojnic a 70 ks mladého dobytka s venkovním výběhem, objekt uprostřed – SO 02 je rodinný dům a vedle něj vpravo – SO 03 je jízdnárna a sklad zemědělské techniky. Mezi objekty SO 01 a SO 03 je stávající železobetonová jímka na kejdu a průsak z hnojiště o kapacitě 300 m³ (užitečný objem 260 m³). Hnojiště – vodohospodářsky zabezpečená

plocha, vyspádaná s odtokem do jímky, s čelním a bočním ohrazením panely se nachází za produkční stájí. Půdorysné rozměry hnojiště jsou 14 x 6 m. Součástí objektu SO 02 je dojírna Westfalia 2 x 4 autotandem. Za hnojištěm je nejmladší objekt farmy označen jako SO 04 sloužící jako sklad balíků slámy, balíkové senáže a siláže a v případě potřeby i jako sklad zemědělské techniky. Pro rok 2009 bylo vydáno stavební povolení na zbudování silážního a senážního žlabu (SO 05 a SO 06) a související železobetonové jímky (SO 07)– viz. projektová dokumentace – Příloha č. 1. Tyto objekty se jeví jako velmi vhodná součást navrhované bioplynové stanice. Projektované rozměry silážního žlabu jsou:

šířka.....20m

délka.....35m

výška.....3,5m

senážního pak:

šířka.....12m

délka.....35m

výška3,5m

Kapacita silážního žlabu tedy je 2450 m³, senážního žlabu 1470 m³. Projektovaná kapacita železobetonové nadzemní jímky je 400 m³ užitečného objemu.

3. 3 Výchozí údaje pro návrh bioplynové stanice

3. 3. 1 Množství biologicky rozložitelných odpadů z živočišné výroby

Základním údajem pro návrh bioplynové stanice je bezesporu denní množství zpracovávaného biologicky rozložitelného materiálu a zejména organického podílu sušiny. Na obsahu organického podílu sušiny materiálu závisí potenciál produkce bioplynu.

Tab. 2 Produkce výkalů kategorií skotu jednotku [1]

	Průměrné množství výkalů kg/den	Sušina výkalů včetně moče kg/den	Množství bioplynu m ³ /den
Dojnice 550 kg	60	6	1,7
Skot ve výkrmu 350 kg	30	3	1,2
Jalovice 330 kg	35	3,5	0,9
Telata 100 kg	12 - 15	1,25	0,3

Čím více bioplynu vznikne, tím více organické sušiny bude odbouráno. Obsah sušiny v kejdě je v průměru 10,65 %. Při 78 % organické sušiny v sušině obsahuje kejda 8,3 % hmotnostních organické sušiny, tzn. 1 m³ kejdy obsahuje 83 kg organické sušiny. [2].

Jako jen z klíčových faktorů návrhu bioplynové stanice je stanovení průměrného denního množství kejdy celého stáda. K tomuto je nutný přepočít všech kusů na dobytčí jednotku (DJ) dle tabulky 3:

Krávy v II. a další laktaci 75 ks.....	1,20 . 75 ks = 90 DJ
Krávy v I. laktaci 15 ks.....	1,00 . 15 ks = 15 DJ
Jalovice 7 – 18 měsíců 15 ks.....	0,56 . 15 ks = 8,4 DJ
Býci ve výkrmu 35 ks.....	0,73 . 35 ks = 25,25 DJ
Telata v mléčné výživě 20 ks.....	0,15 . 20 ks = 3 DJ
Telata v rostlinné výživě 20 ks.....	0,28 . 20 ks = 5,6 DJ
CELKEM dobytčích jednotek.....	147,25 DJ

Z tohoto množství dobytčích jednotek (DJ) lze určit denní množství vyprodukovaných výkalů podle vztahu:

Denní produkce kejdy = 50 l/(den . DJ) = 50 . 147,25 = 7 363 l = **7,363 m³**, tedy při průměrné měrné hmotnosti kejdy 1030 kg/m³ [1] činí denní produkce kejdy vztaheno na kilogramy: 7,362 m³ . 1030 kg/ m³ = **7583 kg**

Z toho organické sušiny (8,3 %) = 7363 kg · 0,083 = **611 kg**

Tab. 3 Převod kategorií skotu na dobytčí jednotku [1]

Skot	Hmotnost zvířat (kg)	Počet dobytčích jednotek
Krávy v I. laktaci	500	1,00
Krávy ve II. a další laktaci	600	1,20
Krávy s velkým těl. rámcem	700	1,40
Telata v mléčné výživě (do 3 měsíců věku)	75	0,15
Telata v rostlinné výž. (3 – 6 měsíců věku)	140	0,28
Jalovice (7 – 18 měsíců věku)	280	0,56
Jalovice (19 – 24 měsíců věku)	425	0,85
Býci ve výkrmu	365	0,73
Býci chovní a voli	800	1,60

Dále je nutno počítat s přistýláním obilnou slámou do lehacích boxů a kotců pro jalovice, býky a telata ve frekvenci 1x denně. Ze zkušeností z předchozích let lze počítat se spotřebou obilné slámy pro potřeby celé farmy v množství okolo 500 tun ročně. Denní spotřeba steliva tedy činí **1 370 kg**. Obilná sláma obsahuje v průměru 86 % sušiny, která obsahuje 5,8 % popelovin, tedy lze počítat s 81 % organické sušiny. Z toho lze tedy určit množství organické sušiny v denní spotřebě steliva: 1370 kg · 0,81 = **1110 kg**

Celkové denní množství biologicky rozložitelných materiálů odpadního charakteru pocházející z živočišné výroby je:

Denní produkce kejdy.....7583 kg

Z toho organické sušiny.....611 kg

Obilná sláma (stelivo).....1370 kg

Z toho organické sušin.....1110 kg

3. 3. 2 Množství biologicky rozložitelných surovin z rostlinné výroby

Tab. 4 Měrná produkce metanu z fytomasy [1]

Plodina	Výnos [t/ha]	Výpočetní faktor	Výnos kg org. suš. z m ³	Produkce metanu [m ³ /kg suš. org.]
Žito	3,2 – 4,0	0,0086	0,275 – 0,344	0,65 – 0,72
Žitná sláma	2,6 – 3,2	0,0081	0,211 – 0,259	0,27 – 0,31
Travní siláž	20 – 25,7	0,0031	0,620 – 0,797	0,45 – 0,48
Kukuřičná siláž	31,7 – 40	0,0033	1,046 – 1,320	0,49 – 0,55
Siláž z konopí	20 – 23	0,0027	0,540 – 0,621	0,26 – 0,29
Krmná řepa	55 - 80	0,0011	0,605 – 0,880	0,58 – 0,62

Dle zkušeností z předchozích let je možno stanovit plochy nutné pro zajištění dostatečného množství krmiva dojený skot. Na základě těchto zkušeností je stanoven i osevní plán pro rok 2009, ve které je pro krmné plodiny vyčleněno 110 ha. V nejbližší době neuvažují majitelé farmy o rozšiřování stájí, je tedy možno počítat s přebytky zemědělských ploch, jenž mohou být osázeny plodinou určenou k energetickým účelům bioplynováním. Dle tabulky 4. se jako nejvýhodnější plodina pro tento účel jeví kukuřice. Jejím silážováním lze zajistit dostatečné množství zplynovatelného materiálu pro zimní měsíce a také zajistit plynulé dávkování biomasy (nutné pro dodržení správného poměru C:N). Další nespornou výhodou je, že při procesu silážování dochází k prvním fázím samotné anaerobní fermentace a snižuje se tak doba zdržení materiálu ve fermentoru.

Jako velmi vhodné z hlediska navrhované bioplynové stanice se jeví záměr vybudovat nové kapacity silážních a senážních jam o kubatuře 2450 m³ resp. 1470 m³. Tyto zajistí uskladnění dostatečného množství materiálu pro provoz bioplynové stanice v zimních měsících.

Pro účely pěstování energetické plodiny lze tedy vyčlenit celkem 72 ha orné půdy a 38 ha trvalých travních porostů. Konkrétní složení vstupního materiálu bude předmětem optimalizace v dalších kapitolách. Pro potřeby návrhu BPS lze tedy dle tab. 4 počítat s celkovým množstvím materiálu pocházející z rostlinné výroby:

Kukuřičná siláž: 2282 – 2880 tun/rok = 6252 – 7890 kg/den

Z toho sušiny 28 – 32 % [11]:

Travní siláž: 760 – 977 tun/rok = 2082 – 2677 kg/den

Z toho sušiny 28 – 32%:

3. 3. 3 Shrnutí

Tab. 5 Množství vstupních surovin pro návrh BPS [1],[2],[11], [24]

	Množství [kg/den]	Sušina [%]	Sušina [kg/den]	Org. sušina [kg/den]	Roční potenciál [t]
Hovězí kejda	7583	10	758	611	2768
Obilná sláma	1370	86	1178	1110	500
Kukuřičná siláž	7071	28 - 32	2121	2001*	2581
Travní siláž	2380	28 - 32	714	674*	869
Celkem/průměr	18404	24,9**	4771	3796	6719

* počítáno s obsahem popelovin 5,8 % hmotnostních ze sušiny, tedy obsah organické sušiny je 28,3% hmotnostních z celkového množství

**vážený průměr: $X = [(7583 \cdot 10) + (1370 \cdot 86) + (7071 \cdot 28) + (2380 \cdot 28)] / (7583 + 1370 + 7071 + 2380) = 24,9 \%$

V navrhované bioplynové stanici bude možno zpracovat maximální denní množství vstupního substrátu celkem asi 18,5 t. Ročně pak bude ve stanici zpracováno celkové množství okolo 6700 t biomasy.

4. Návrh technologie bioplynové stanice

4.1 Kritéria pro rozhodnutí výstavby BPS

Před samotným započítáním přípravných, projektových a stavebních prací na bioplynové stanici, musí potenciální investor zvážit zejména účelnost, rentabilitu a návratnost investovaných prostředků. Při rozhodování je třeba zohlednit tyto aspekty vysledované na základě zkušeností provozovatelů BPS u našich západních sousedů:

- BPS nemůže ozdravit upadající podnik. Zdravému podniku však pomůže zachovat si dobrý stav.
- BPS by neměl budovat podnik, který řeší problémy s chovem dobytka, popř. uvažuje o zrušení chovu.
- Je bezpodmínečně nutné usilovat o úplné využití potenciálu vyrobeného bioplynu (ideálně i odpadní teplo z kogenerační jednotky).
- O mikrobiální kultury v BPS je třeba je třeba pečovat. Provoz vyžaduje určité znalosti případně odborné zaškolení.
- Provoz stanice vyžaduje údržbu, přibližně 15 – 30 minut denně.
- Je třeba zohlednit výkupní ceny elektrické energie vyrobené tímto způsobem – 3,90 Kč/kWh a výhled na progresivitu jejich růstu v budoucnu.
- Je zapotřebí kejdy a hnoje od nejméně 100 dobytčích jednotek.
- Vysoký podíl svépomoci při stavbě přispívá ke snížení pořizovacích nákladů a může ovlivnit hospodárnost provozu.
- Stávající jímky na kejdu lze bez velkých nákladů přebudovat na součást BPS [2]
- Zemědělcům, kteří mají problém se zatížením okolí zápachem, může BPS přinést zásadní řešení

- Kdo má trvalý a výhodný přísun vhodných zbytků a odpadů, může významně zlepšit hospodárnost svého zařízení a recirkulací živin ušetřit na hnojivech. Hospodárnost zařízení by však neměla být závislá na dodávkách kosubstrátů

Ve světle těchto skutečností a se zřetelem k nim je bioplynová stanice účelná a investor stojí před neméně důležitým rozhodnutím a to je typ **technologie bioplynové stanice**, zejména způsob a frekvence dávkování substrátu. Správná volba technologie s ohledem na zpracovávané suroviny, jejich množství a dostupné finanční prostředky, může mít klíčový význam pro správné a bezporuchové fungování a „rozumnou“ návratnost investovaných prostředků. Projektováním a dodávkou BPS nebo jejích částí se zabývá v současnosti spousta tuzemských i zahraničních firem a jejich technologické „know-how“ se více či méně liší. Porovnávání technologií jednotlivých firem není účelem této práce. Účelem této práce je navrhnout fungující zařízení, správným způsobem nadimenzovat jeho jednotlivé části, optimalizovat směs materiálu, na základě měření zjistit množství vyrobeného bioplynu a ekonomicky zhodnotit provoz BPS.

Většina bioplynových stanic ve světě pracuje průtokovým způsobem. A také na tomto principu bude pracovat bioplynová stanice navrhovaná v této práci. Tento postup se oproti jiným technologiím vyznačuje tím, že vyhnívací nádrž je stále naplněna a vyprazdňuje se pouze příležitostně kvůli opravám, nebo odstranění usazenin. Z malé přípravné nádrže je čerstvý substrát dodáván do vyhnívací nádrže, přičemž zároveň a automaticky odchází odpovídající množství vyhnílého substrátu přepadem do skladovací nádrže. Výhodou této metody je rovnoměrná výroba plynu, dobré zatížení vyhnívacího prostoru a tím také cenově příznivá, kompaktní konstrukce s nízkými tepelnými ztrátami. Kromě toho lze

proces plnění plně automatizovat, např. plovákovým spínačem v přípravné nádrži nebo prostřednictvím časového spínače na plnicím čerpadle.

4.2 Předjímka

Pro návrh přípravné nádrže – předjímky je klíčovým parametrem zejména její objem. Kejda odtéká do přípravné nádrže, odkud je jednou až dvakrát denně (čím častěji, tím lépe) přečerpávána do fermentoru. Předjímka tedy v podstatě plní funkci vyrovnávací nádrže. Lze ji také využít pro přimísení, rozmělnění a vyplavování kofermentů nebo tuhého hnoje. Dnes se však kosubstráty přidávají přímo do fermentoru. Přípravná nádrž musí mít takový objem, aby byla schopná pojmout množství kejdy a hnoje nejméně za 1 až 2 dny. Musí být utěsněna proti úniku kejdy, plynotěsné provedení není nutné. Přístup vzduchu příznivě působí na započetí první, kyselé fáze procesu rozkladu.

Nádrž bude koncipována jako nadzemní vzhledem ke skutečnosti, že i budoucí fermentor bude umístěn nad zemí, čímž se snižují investiční náklady o výkopové práce a přesuny zeminy a provozní náklady o energii potřebnou pro překonání výškových rozdílů mezi předjímkou a fermentorem. Stejně jako ostatní nádrže bude jímka v provedení železobeton z důvodu robustnosti, životnosti a přiměřených pořizovacích nákladů. Tyto systémy dodávají na trhu 2 společnosti a to MÍČ systém a WOLF systém. První je omezena velikostí nádrží.

Technické parametry předjímky:

2x průměrná denní produkce kejdy = $2 \cdot 7,362 \text{ m}^3 = 14,724 \text{ m}^3$

Materiál: železobeton

Umístění: nadzemní

Rozměry: válec o průměru 3 m a výšce 2,5 m

Výrobce: Wolf Systém spol. s.r.o

Orientační pořizovací náklady: 338 000,- Kč

4. 3 Dávkovací technika – volba vhodného zařízení

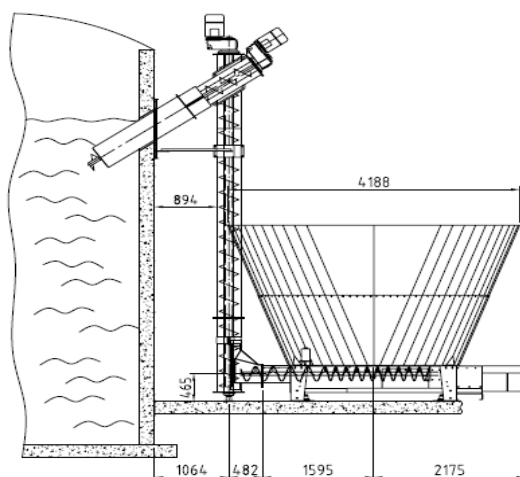
Účelem těchto zařízení je pravidelné a plynulé dávkování kofermentů do fermentoru, ale také jejich rozmělnění, rozdrcení, namíchání a nasekání tak, aby získaly potřebnou velikost a konzistenci a nenarušovaly proces fermentace.

Pravidelné a rovnoměrné přidávání čerstvých kofermentů během dne je základním faktorem úspěšné produkce bioplynu. Pomocí dávkovače pevných substrátů je možné fermentor rovnoměrně plnit přímo substráty v pevné formě, jako je siláž, chlévská mrva, cukerné řízky, obiloviny a podobné. Objem zakladače pevných substrátů je navrhován pro daný systém v objemu denní spotřeby kofermentů, tedy: **9451 kg denní spotřeby travní a kukuřičné siláže odpovídá při měrné hmotnosti skladované siláže 550 kg/m³ objemu 17,2 m³**

4. 3. 1 Suché dávkování pevných substrátů

Při suchém dávkování jsou substráty v pevné formě dodávány přímo do fermentoru bez toho, aniž by byly předtím smíchány s jiným substrátem v tekuté formě.

Obr. 7 Schéma plnění fermentoru kofermenty



Ve fermentoru jsou pevné látky pomocí šnekového dopravníku zavedeny pod hladinu z důvodu nižší hustoty pevných látek než substrát ve fermentoru a jejich

tendence k vyplavávání a tvorby neprodyšného příkrovu. Substráty jsou takto rovnoměrně a plynule promíchávány a zároveň je zaručena těsnost systému vůči úniku plynu. Dávkovač je vyroben z nádrže postavené na podpěrách s tenzometrickými senzory a s uzavřeným šnekovým systémem. Suché substráty jsou přesně odebírány a pomocí navzájem naladěných dopravních šneků jsou dávkovány do fermentoru. [12]

Obr. 8 Dávkování pevného substrátu [12]



4. 3. 1. 1 Míchací a dávkovací zařízení TRIOLIET

Solomix 1 STAT

Stacionární míchací a dávkovací zařízení s jedním vertikálním míchacím šnekem.

Obr. 9 Míchací a dávkovací zařízení TRIOLIET 1 STAT



Stroj je sériově vybaven:

- dávkovacím otvorem s hradítkem v přední části,
- planetovou převodovkou vhodnou pro pohon elektromotorem pohánějící vertikální míchací šnek
- 3 stavitelnými nohama s vestavěnými senzory váhy,
- 2 protinoži,
- plnicí otvor je montován proti straně motoru

Tab. 6 Technické parametry TRIOLIET Solomit 1 STAT

Specifikace	1000	1200	1400	1800
Objem [m3]	10	12	14	18
Délka (s motorem)[m]	4,12	4,17	4,31	4,31
Šířka [m]	2,28	2,3	2,44	2,44
Výška [m] *	2,45 – 2,75	2,65 – 2,95	2,70 – 3,0	3,29 – 3,59
Pohotovostní hm. [kg] **	2950	3280	3710	4310
Kapacita [kg]	5000	6000	7000	9000
Počet řezacích nožů	5	5	9	9
Průměr řezacího šneku [m]	2,2	2,2	2,44	2,44
Potřebné el. zařízení	Pozvolný rozběh nebo frekvenční měnič			
Výkon elektromotoru [kW]	22	22	30	37

Cena [EUR]	18 190	19 050	21 755	24 485

* výška míchací vany je stavitelná mezi těmito hodnotami

** hmotnost je včetně rámu, vyskladňovacího hradítka a válců (bez rámu motoru a motorů)

*** uvedený výkon elektromotoru platí pro maximální uvedenou kapacitu

Tab. 7 Nezbytná doplňková výbava pro typ Solomix 1 STAT :

Název vybavení	Cena [EUR]
Elektronický vážicí systém	1 811
Rám motoru a nástavba jištění motoru	985
Elektromotor 22 kW (pro typ 1000 a 1200)	2 875
Elektromotor 30 kW (pro typ 1400 a 1800)	3 622
Elektromotor 37 kW (pro typ 1400 a 1800)	4 558
Hydromotor 2,2 kW	825
Indikátor váhy EZ 2400 V	990
Dodatečné připojení pro EZ 2400 V	160
Základní zařízení systému plnění fermentoru víkem	5 555
Dávkovací šnek L= 3000 (pro plnění víkem fermentoru)	2 135
Šnekové potrubí L=3000 (pro plnění víkem fermentoru)	1 340

Všechny ceny uvedeny bez DPH.

Doplňková výbava uvedena pro plnění fermentoru víkem.

Solomix 2 STAT

Stacionární míchací a dávkovací zařízení s dvěma vertikálními míchacími šneky

Obr. 10: Míchací a dávkovací zařízení TRIOLIET 2 STAT



Stroj je sériově vybaven:

- dávkovacími otvory s hradítky v přední části,
- dvěma planetovými převodovkami vhodnými pro pohon elektromotorem a pohánějícími vertikální míchací šneky,
- 4 stavitelnými nohami s vestavěnými senzory váhy,
- 2 protinoži.

Tab. 8 Technické parametry TRIOLIET 2 STAT

Specifikace	1200	1600	2000
Objem [m ³]	12	16	20
Délka (míchací vany) [m]	4,2	4,6	5,2
Délka (s motorem) [m]	5,25	5,6	6,28
Šířka (míchací vany)[m]	2,15	2,3	2,44
Výška [m] *	2,55 – 2,84	2,84 – 3,13	2,84 – 3,13
Pohotovostní hm. [kg] **	3 750	4 750	5 250
Kapacita [kg]	6 000	8 000	10 000
Počet řezacích nožů	4	5	5
Průměr řezacího šneku [m]	1,5	1,7	1,95
Potřebné el. zařízení			
Výkon elektro-motoru	22 kW	37 kW	37 kW
Cena [EUR]	25 270	29 680	32 020

* výška míchací vany je stavitelná mezi těmito hodnotami

** hmotnost je včetně rámu, vyskladňovacího hradítka a válců (bez rámu motoru a motorů)

Tab. 9 Nezbytná doplňková výbava pro typ Solomix 2 STAT:

Název vybavení	Cena [EUR]
Elektronický vážicí systém	1811

Název vybavení	Cena [EUR]
Rám motoru a nástavba jištění motoru	1349
Elektromotor 22 kW	2875
Elektromotor 37 kW	4388
Hydromotor 2,2 kW	825
Indikátor váhy EZ 2400 V	990
Dodatečné připojení pro EZ 2400 V	160

Všechny ceny uvedeny bez DPH.

Doplňková výbava uvedena bez plnicího zařízení.

4. 3. 1. 2 Míchací a dávkovací zařízení Strautmann biomix

Jsou dvě možné varianty a to s jedním nebo dvěma vertikálními šneky. Podlaha u obou o síle 20 mm, vana není ohýbaná ale skružovaná (hladký povrch, žádné hrany) masivní převodovka v olejové lázni, pohon elektrickým motorem, výsypné okno s hydraulickým šubrem.

Obr. 11 Stacionární míchací zařízení Strautmann BIOMIX



Tab. 10 Cenová kalkulace vybraných typů BIOMIX

Biomix typ	1250	1450	2000
Objem [m3]	12,5	14,5	20
Cena [EUR]	20 460	24 025	33 375

Tab. 11 Doplnující vybavení zařízení BIOMIX

Název vybavení	1 míchací šnek [EUR]	2 míchací šneky [EUR]
Elektronický vážicí systém G420*	2860	4155
Elektronický vážicí systém BIO 1500**	3215	4590
Odebírací šnekový dopravník***	6157	6157
Svislý šnekový dopravník	9905	9905
Plnicí šnekový dopravník	7323	7323
Výstelka biomixu z nerezů	2185	3050
Spojovací materiál	700	700

* obyčejná - sleduje částečnou a celkovou hmotnost s výstupem na řídicí jednotku

** 1500 nastavení maximální a minimální dávky, hlídání spotřeby, hlídání průchodnosti, výstup na řídicí jednotku

*** od firmy Prazi-Fordertechnik komplet z nerezů

4. 3. 1. 3 Dávkovač pevného substrátu BIOMICHER, Typ 16/1M

Výrobce: Konrad Pumpe, GmbH

Rozměry: délka 4,2 m, šířka 2,5 m, výška

Objem dávkovače: 17 m³

Příkon motoru mixéru: 22 kW

Příkon spodního šnekového dopravníku: 2,2 – 3 – 4 kW

Příkon vynášecího šnekového dopravníku: 5 – 6,8 kW

Příkon dopravníku ústícího do fermentoru: 2,5 kW

Orientační pořizovací náklady: 29 500 EUR

Obr. 12 Dávkovací zařízení a míchací šnek BIOMICHER [13]



4.3.2 Mokrý dávkování pevných substrátů

Velmi progresivním způsobem plnění fermentoru kofermenty je jejich rozmělnění za současného dopravování do fermentoru společně s kejdou pomocí zařízení QuickMix firmy VOGELSANG. Zejména v sousedním Německu je v současné době rozšířeno zpracování organického odpadu a kejdy pro výrobu bioplynu. Tato biomasa se musí před naskladněním do fermentoru nejprve homogenizovat v separátoru a materiál, který do něj přichází, musí mít určitou velikost. Fermentovaný materiál je však odpad, do kterého se schová leccos, co by mohlo v separátoru a později i ve fermentoru překážet. Stejné problémy s obsahem nežádoucích částic jsou i u kejdy.

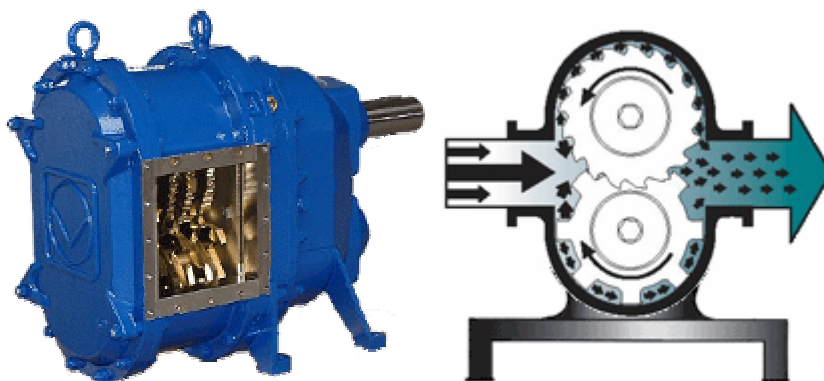
Obr. 13 QuickMix [13]



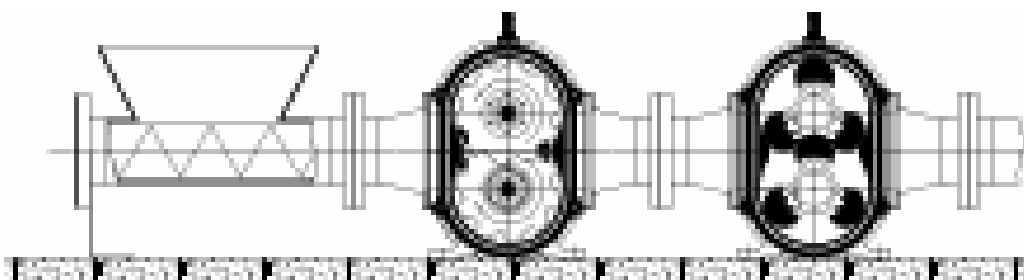
Firma představila Hugo Vogelsang Maschinebau GmbH zajímavý dávkovací šnekový dopravník QuickMix, který posunuje materiál do čerpadla,

odkud putuje do homogenizátoru. Šneky jsou opatřeny vroubkováním, které drtí různé nežádoucí příměsi a mimoto dovoluje dávkovat materiál o různé tvrdosti a sušíně. Nevznikají pak problémy s tím, jaký materiál bude do separátoru plněn. Podobné zařízení s názvem X-Ripper představila také firma Hugo Vogelsang Maschinebau GmbH. Před čerpadlem polotekuté kejdy či jiných materiálů určených pro fermentaci jsou dvě řady ozubených kol, která drtí příměsi, které by mohly ucpávat čerpadlo, či jinak vadit při technologii fermentace a následné výroby bioplynu. [14]

Obr. 14 X-Ripper – princip [13]



Obr. 15 Schéma zapojení zařízení X-Ripper [13]

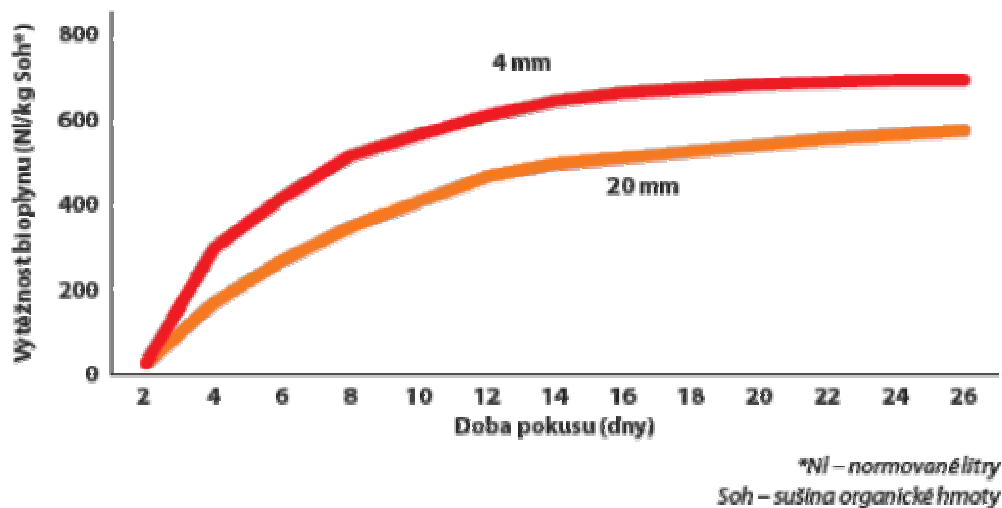


4. 3. 3 Význam drcení a řezání kofermentů

Čím větší je dotyková plocha kofermentů se substrátem, tím snadněji a rychleji je fermentovaný materiál rozkládán. Je třeba volit optimální poměr mezi velikostí

řezanky a energií vynaloženou na destrukci materiálu (viz graf č. 3). Dalšími výhodami jsou zlepšení promíchatelnosti a omezení tvorby plovoucích krust.

Graf 2 Vliv délky řezanky siláže na výtěžnost plynu (Bath-test, 26 dní) [16]



Z výše uvedeného grafu vyplývá, že měrnou výtěžnost bioplynu kofermentací kukuřičné siláže lze poměrně významně zvýšit zmenšením velikosti jednotlivých částic vstupních surovin. Délka řezanky pod doporučenou hodnotu vede k výrazně vyšší spotřebě nafty při sklizni, popřípadě elektrické energie při dodatečném drcení a není z ekonomického hlediska při výrobě bioplynu smysluplná.

4. 3. 4 Porovnání variant řešení – výběr vhodného zařízení

V tuto chvíli je třeba zvolit vhodný typ míchacího a dávkovacího zařízení na kofermenty. Přehled porovnávaných zařízení, jejich technické parametry, vhodná doplňková zařízení a ceny jsou uvedeny v kapitolách 4. 3. 1. 1.; 2; 3

Z porovnávaných variant dle hodnocení uvedené v tabulce 12. se jako nejvhodnější nejen z ekonomického hlediska jeví produkty společnosti TRIOLIET s jedním míchacím šnekem. Ze čtyř sledovaných parametrů obdrželo toto zařízení ve třech nejlepších známku.

Tab. 12 Vhodnost daného zařízení pro navrhovaný provoz (známky 1-3)

Výrobce	Typ	Počet mích. šneků	Objem	Cena	Dodatečné vybavení	Celkové hodnocení (pořadí)
Trioliet	1 STAT	1	2	1	1	1
Trioliet	2 STAT	2	2	2	1	2
Strautmann	Biomix 1	1	2	3	2	3
Strautmann	Biomix 2	2	2	3	2	4
Pumpe	Biomicher	1	1	2	3	2

Vzhledem k vypočítanému množství denní dávky kofermentů 17,2 m³ je jako nejvhodnější zařízení s jedním vertikálním míchacím šnekem TRIOLIET 1 STAT typ 1800. Pořizovací náklady zařízení jsou **24 485 EUR**. Zařízení bude dle tabulky 7. vybaveno následujícími komponenty: elektronický vážicí systém, rám motoru a nastavba jištění motoru, elektromotor 30kW, hydromotor 2,2 kW, indikátor váhy EZ 2400 V a dodatečné připojení indikátoru váhy EZ 2400 V, vše s pořizovacími náklady **8393 EUR**. Celkové pořizovací náklady na míchací a dávkovací zařízení tedy jsou **32 878 EUR**.

V další části návrhu je třeba porovnat a zvážit způsob samotného dávkování kofermentů. Protože veškeré železobetonové nádrže BPS jsou v provedení nadzemní, jedinými variantami plnění fermentoru je plnění vrchem (viz. Obr. 7) pomocí 3 šnekových dopravníků (**suché dávkování**), nebo pomocí tlakového potrubí společně s kejdou (**mokrý dávkování**).

Tab. 13 Porovnání způsobů dávkování kofermentů (známky 1, 2)

Typ dávkování	Ce na	Úprava kofermentů	Homogenizace směsi	Vliv na výtěžnost BP	Pořadí
Dávkovací šneky	2	2	2	2	2
QuickMix	2	1	1	1	1

Investiční náklady na suchý způsob dávkování (viz. Tab. 11):

Odebírací šnekový dopravník.....	6 157 EUR
Svislý šnekový dopravník.....	9 905 EUR
Plnicí šnekový dopravník.....	7 323 EUR
Celkem.....	23 385 EUR

Investiční náklady na mokrý způsob dávkování (orientačně):

QuickMix.....	25 000 EUR
---------------	------------

Z tabulky 13 je zřejmé, že ve třech sledovaných parametrech je mokrý způsob dávkování kofermentů výhodnější, než standardní způsob dávkování pomocí šnekových dopravníků přímo do fermentoru. Při tomto způsobu totiž nejsou kofermenty nijak upravovány a homogenizovány jsou až ve fermentoru, což klade vysoké nároky na míchací techniku. Existuje také větší nebezpečí vyplavávání kofermentů. Nevýhodou obou způsobů jsou relativně vysoké pořizovací náklady.

Shrnutí:

Kofermenty budou dávkovány do fermentoru pomocí míchacího a dávkovacího zařízení TRIOLIET Solomix 1 STAT 1800 a dávkovacího šnekového dopravníku QuickMix v množství asi 9400 Kg/den. Systém bude vybaven tenzometrickými váhami připojenými k řídicí jednotce, která v pravidelných intervalech nadávkuje odměřené množství kofermentů do fermentoru.

4. 4 Fermentor

Pro návrh a dimenzování fermentoru je prvořadým měřítkem jaké denní množství organického materiálu (kejda, chlévská mrva, kofermenty) má být zpracováno a pak také střední doba zdržení substrátu. Jak již bylo vypočítáno v kapitole 3. 3. 2. maximální denní množství biomasy zpracovávané v BPS je 18,5

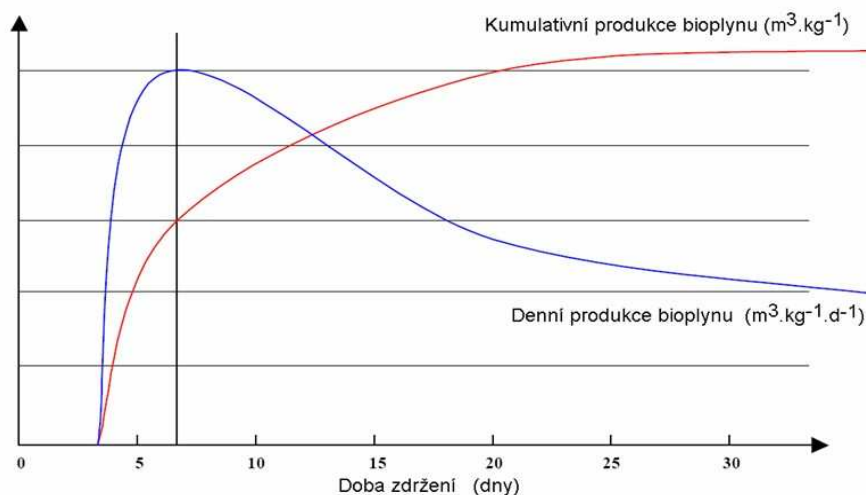
tuny. Pro účely návrhu fermentoru je třeba převést toto množství z tabulky 5. na objemové jednotky:

Kejda s příměsí slamnatého hnoje při měrné hmotnosti 1030 kg/m ³	8,69 m ³
Travní siláž při měrné hmotnosti 550 kg/m ³	4,33 m ³
Kukuřičná siláž při měrné hmotnosti 550 kg/m ³	12,85 m ³
Celkem denní objem substrátu.....	25,87 m ³

Závažnou skutečností při návrhu objemu fermentoru je doba zdržení materiálu ve fermentoru. Téměř u všech substrátů, které jsou k dispozici se jedná o snadno rozložitelné materiály a lze říci, že produkce bioplynu končí v zásadě do 30 dnů. Ve skutečnosti produkce bioplynu většinou velmi pomalu pokračuje dál, ale z hlediska praktického využití již nemá tato malá část plynu ekonomický význam. Je možné říci, že většina obdobných materiálů bude mít dobu zdržení 25 - 30 dnů a na tuto dobu se pak navrhuje velikost fermentoru.

Tuto skutečnost obecně shrnuje graf 4. Kumulatívni produkce bioplynu dosahuje maxima přibližně ve třiceti dnech, denní produkce bioplynu v tomto retenčním čase klesá na minimální hodnoty.

Graf 3 Kumulatívni a denní produkce bioplynu v závislosti na době zdržení [17]



Na zpracování živočišných exkrementů v bioplynové stanici obvykle stačí jeden reaktor s dobou zdržení do 30 dnů. Jiná situace nastává u silážní kukuřice i dalších zelených materiálů s obsahem hemicelulózy a určitým podílem celulózy. Zde se doba zdržení pro odbourání organické sušiny pohybuje od 50 do 140 dnů. Pro zpracování silážní kukuřice, případně podobných materiálů je potřeba spíše počítat se dvěma reaktory za sebou s dobou zdržení 25 - 40 dnů (celkem 50 až 80 dnů). Podle kvality a doby sklizně silážní kukuřice (sušina 28 až 35 %) se tak dostáváme na rozložitelnost organického podílu 60 až 80 %. Vyšší podíl hůře rozložitelné hemicelulózy a zejména celulózy prodlužuje u kukuřice hydrolyzní i acidogenní fázi rozkladu. Důležitým závěrem je, že zpracování kukuřičné, šťovíkové nebo travní siláže proto vyžaduje doby zdržení delší, minimálně okolo padesáti dnů. [17]

Vzhledem k tomu, že v návrhu je počítáno s maximálním množstvím využitelných surovin pro kofermentaci a může se stát že bude potřeba více siláže pro krmivářské účely, bude objem fermentoru dimenzován pod spodní hranici zdržení – 45 dní. Zohledňuje to také skutečnost, že je počítáno s uskladňovací jímkou v plynotěsném provedení a tedy s možností jímat dodatečně vytvořený bioplyn.

Objem fermentoru = denní množství zpracovávaných substrátů . střední doba kontaktu (doba zdržení substrátu)

$$V_r = t_z \times Q_0$$

$$V_r = 25,87 \text{ m}^3 \text{ subst.} \cdot 45 \text{ dní} = 1125 \text{ m}^3$$

Uspořádání fermentačního prostoru je navrženo jako dva paralelní samostatné fermentory, primární o užitném objemu 550 m³ a sekundární také o objemu 550 m³. Koncepce je tvořena dvěma železobetonovými nadzemními nádržemi, které jsou uspořádány jako kruh v kruhu. První z nich slouží jako fermentor, druhá jako dofermentor. Jako sekundární fermentor (vnitřní kruh) bude použita plánovaná

nadzemní jímka, je však třeba upravit v projektu výstavby plánované v roce 2009 její kapacitu z 400 m³ na 550 m³. Osvědčená koncepce „kruh v kruhu“ zaručuje nízké nároky na zastavěnou plochu, minimální vlastní spotřebu elektrické energie pak zaručuje přechod materiálu mezi jednotlivými stupni pomocí tzv. přepadů na principu „spojitých nádob“. Velkou výhodou této koncepce je také nízká vlastní spotřeba tepelné energie a podstatně nižší náklady na tepelnou izolaci fermentoru, než při koncepci dvou samostatných oddělených fermentorů. Nadzemní provedení je výhodné z hlediska nákladů na výkopové práce a přesuny materiálů a také je zajištěn samospád do skladovací jímky.

Obr. 16 Stavba fermentoru – systém kruh v kruhu [18]



Sekundární fermentor bude zastřešen fóliovým plynojemem s variabilním vnitřním objemem vyrovnávající nerovnoměrnosti tvorby bioplynu v reaktoru. Primární fermentor bude zastřešen pevnou železobetonovou deskou (viz. Obr. 17). Plyn vytvořený v sekundárním fermentoru bude plynovým potrubím přiveden do plynojemu primárního fermentoru, odkud je veden ke kogenerační jednotce. Betonová deska i plynojem budou opatřeny průhlednými prvky pro vizuální kontrolu procesu kvašení.

Obr. 17 Fóliový plynojem vnitřního fermentoru [4]



Rozměry fermentorů:

Sekundární při výšce nádrže 5 m a objemu 550 m³

$$V_{SF} = \pi \cdot r^2 \cdot v$$

V_{SF} – objem sekundárního fermentoru

$$550 = 3,14 \cdot r^2 \cdot 5$$

V_{PF} – objem primárního fermentoru

$$550/15,7 = r^2$$

r – poloměr nádrže

$$5,92 \text{ m} = r$$

v – výška nádrže

Primární při výšce 5 m a objemu 550 m³

$$V_{PF} - V_{PF} = 550$$

$$V_{PF} = 550 + 550$$

$$\pi \cdot r^2 \cdot v = 1100$$

$$r^2 = 1100/15,7$$

$$r = 8,37 \text{ m}$$

Materiál: železobeton

Umístění: nadzemní

Výrobce: Wolf Systém spol. s.r.o

Pořizovací náklady: 3 011 000,- Kč

Tepelná izolace fermentoru a opláštění trapézovým plechem: 500 000,- Kč

Plynotěsná fólie uvnitř fermentoru: 480 000,- Kč

Aby se zabránilo velkým tepelným ztrátám je nutno fermentor dobře izolovat. Užitek z tepelné izolace musí být v rozumném poměru k nákladům na její provedení. U bioplynových stanic s fermentací v mezofilní oblasti (35 °C) by hodnota součinitele prostupu tepla měla činit 0,3 W/m²K. Tepelná izolace u fermentorů, kde teplota ve vyhřívacím prostoru se pohybuje od 35°C do 40°C, by vrstva izolace měla mít tloušťku 10 – 12 cm. [2]

Potřeba energie na vyhřívání fermentoru

Množství tepla potřebné pro vytápění bioplynové stanice je součtem tepla potřebného na ohřev čerstvého substrátu a tepla potřebného pro vyrovnání tepelných ztrát prostupem stěnou fermentoru. Velikost těchto ztrát silně závisí na kvalitě tepelné izolace.

Problematika přestupu tepla, správné dimenzování chladicích resp. ohřívacích plocha s tím spojená i regulace teploty uvnitř reaktoru, je pro bioplynové technologie obzvláště důležitá. Substrát je zahříván cirkulací teplé vody, která se ohřívá spaliny z kogeneračních jednotek nebo přímo jimi, pokud jsou dostatečně zchladlé. Pro zlepšení axiálního promíchávání se fermentory většinou opatřují vhodnými vestavbami např. narážkami.

Pomocí tabulek 14. a 15. lze orientačně určit potřebu tepelné energie fermentoru. V primárním fermentoru bude třeba tepelnou energii pro ohřev čerstvé biomasy, tepelné ztráty prostupem lze orientačně určit dle tabulky 14. V sekundárním fermentoru se naopak nebude ohřívát žádná nová biomasa a tepelné ztráty prostupem tepla jsou minimální z důvodu absence tepelného spádu (vnější fermentor má stejnou teplotu).

Tab. 14 Energie pro vyrovnání tepelné ztráty ($\lambda = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$; $T = 7^\circ\text{C}$) [2]

Specifický tepelný výkon pro vyrovnání tepelné ztráty fermentoru		
Objem fermentoru [m ³]	Povrch fermentoru [m ³]	Specifický otopný výkon [W/m ³]
50	86	576

Specifický tepelný výkon pro vyrovnání tepelné ztráty fermentoru		
Objem fermentoru [m ³]	Povrch fermentoru [m ³]	Specifický otopný výkon [W/m ³]
100	131	439
200	207	347
300	257	296
400	322	270
500	372	250
600	416	233

Tab. 15 Specifická potřeba tepla pro proces ohřívání substrátu [2]

Spec. otopný výkon pro vyrovnání tepelné ztráty ohřevem substrátu	
Obsah sušiny [%]	Specifická potřeba energie [Wh/kg suš]
6	740
7	640
8	560
9	490
10	445
11	400
12	370

Vyrovnání tepelné ztráty:

$$Q_1 = 0,242 \text{ kWh/m}^3 \cdot 550 \text{ m}^3 = 133 \text{ kWh/den}$$

Ohřev substrátu:

$$Q_2 = 4771 \text{ kg sušiny} \cdot 0,185^* \text{ kWh/kg sušiny} = 883 \text{ kWh/den}$$

* orientační hodnota určená odhadem trendu hodnot dle tab. 15.

Celková spotřeba energie pro proces fermentace je tedy 1016 kWh/den

Teplota vody v topném potrubí je na vstupu pomocí směšovacího ventilu dle potřeby regulována, aby se zamezilo vytváření sraženin na potrubí vlivem

vysokých teplot. Výkon topení umožňuje také přechod na termofilní metanogenezi při teplotě 55°C.

4.5 Čerpací technika

4.5.1 Čerpadla

Čerpadla jsou nutná k překováním výškových rozdílů mezi jednotlivými nádržemi. Existuje celá řada způsobů, jak dodávat substráty do bioplynového zařízení. Způsob dávkování závisí především na konzistenci a fyzikálních vlastnostech jednotlivých surovin. Jednoduchá zařízení s jedním fermentorem a tekutými substráty jsou vybavena ponorným čerpadlem (ponořeným v předjímce) a přímým přívodem do fermentoru. U komplexnějších zařízení je doprava substrátů do systému fermentace zajištěna centrálním čerpadlem. Díky čerpací stanici umístěné buď v kontejneru nebo v budově lze pak plnit a vyprazdňovat všechny nádrže v bioplynovém systému. V tomto případě však není komplexní čerpací stanice třeba, postačí díky systému QuickMix jedno čerpadlo s rotujícími písky, které je součástí systému a jedno ponorné čerpadlo umístěné v předjímce. Systém je sice navrhnout jako dva sériově umístěné fermentory, avšak díky uspořádání „kruh v kruhu“ postačí plnit primární fermentor. Sekundární fermentor a následně pak skladovací jímka na digestát se plní samospádem.

4.5.2 Potrubí

Potrubí v bioplynovém systému je dvojího druhu. Jednak plnicí, jímž je pod tlakem dopravován substrát z přípravné nádrže do primárního fermentoru, jednak přeřadové potrubí, jímž materiál odchází samovolně vlivem přirozeného spádu ze sekundárního fermentoru do skladovací nádrže.

Tlakové potrubí by mělo mít průměr minimálně 100 mm. Vzhledem ke skutečnosti, že společně s kejdou bude dopravována i travní a kukuřičná siláž bude vhodnější použití průměru 150 mm, aby se zabránilo ucpávání a velkým

ztrátám tlaku. Tlakové potrubí bude provedeno z ocelových rour se svařovanými nebo přírubovými spoji.

Přepadové a vratné beztlakové potrubí by mělo mít podstatně větší průměr. Minimum je 200 mm pro průtok řídkého kapalného substrátu jako prasečí kejdy, zatímco pro husté substráty jako hovězí kejda by potrubí mělo mít průměr 300 mm. Pro tato potrubí budou použity kanalizační roury z PVC nebo polypropylenu se zásuvným spojem a gumovým těsnícím prstencem. V litinových rourách se totiž tvoří usazeniny rychleji, než na hladkých stěnách plastových rour. [2]

4. 5. 3 Armatury

Nejdůležitějšími armaturami v navrhovaném potrubním systému budou spojky, šoupátka, zpětné klapky, čistící otvory a manometr.

Zřídka rozpojované spojky v ocelových potrubích budou provedeny jako sešroubované **přírubové spoje**. U přepadových beztlakých plastových potrubí budou zásuvné spoje s gumovým těsněním. Pomocí přírubových šroubovaných spojení bude připojeno k potrubí i navržené čerpadlo s rotujícími písty, aby čerpadlo mohlo být demontováno pro účely čištění či opravy.

K uzavření potrubí slouží **šoupátka** která se ovládají buď ručně, nebo motorem. Otočné šoupátko lze velmi rychle otevřít a zavřít, avšak dostatečně netěsní. Plochá klínová šoupátka velmi dobře těsní, ale jsou citlivá na přítomnost cizích těles. Ideálním řešením v případech, kdy je společně s kejdou dopravován i kusový a vláknitý materiál (siláž, sláma, travní hmota), tedy pro účely tohoto návrhu, jsou nožová šoupátka. Přetínají při uzavření části, které by jinak mohli způsobit problémy s těsností. Zpětné ventily nebo **zpětné klapky** jsou nutné v případech, kdy z přípravné nádrže ležící pod úrovní zaústění do fermentoru a materiál musí být dopravován do výše položeného fermentoru. Z bezpečnostních důvodů toto není příliš vhodné řešení, ale vzhledem k poloze přípravné nádrže a fermentoru a vzhledem ke skutečnosti, že veškeré nádrže jsou situovány jako nadzemní není jiné řešení. Systém proto bude vybaven dvěma zpětnými klapkami,

první přímo u ústí do fermentoru, druhá v přípravné nádrži sloužící zároveň jako sací koš bránící zavzdušnění čerpadla.

Čistící otvory tvoří T kus, jehož boční otvor se uzavírá víkem. Po zvednutí víka lze odstranit ucpávky propláchnutím proudem vody nebo protažením drátěnou spirálou, aniž je třeba potrubí rozpojit. Potrubí proto bude opatřeno větším počtem otvorů po každých 5 metrech a za každým ohybem.

4. 5. 4 Manometr

Manometr v tlakovém potrubí za čerpadlem umožňuje kontrolu čerpadla a potrubního systému. Jestliže tlak stoupne nad normální hodnotu, znamená to, že vedení je v některém místě ucpáno, nebo že některé šoupátko není zcela otevřeno [2]. Manometr bude napojen na řídicí jednotku, která při výkyvu provozního tlaku zalarmuje obsluhu BPS.

Shrnutí – uspořádání čerpadel a potrubí

Uspořádání celého systému potrubí, čerpadel a armatur tedy bude následující: v přípravné jímce asi 500 mm nad dnem bude umístěno ponorné čerpadlo se sacím košem se zpětnou klapkou proti zpětnému úniku kejdy a zavzdušnění čerpadla s rotujícími písty. To je součástí systému navrženého progresivního systému QuickMix, plnicího zároveň funkci dávkování a drcení pevných kofermentů. Za systémem QuickMix bude instalováno mechanicky ovládané šoupátko pro uzavření potrubí v případě potřeby demontáže systému za účelem údržby či opravy. Před samotným vstupem do fermentoru bude potrubí opatřeno zpětnou klapkou, opět kvůli případným demontážím a úniku substrátu z fermentoru. Potrubí bude hermeticky zaústěno do primárního fermentoru ve výšce cca 2,5 m pod hladinou, z důvodu vyplavávání kofermentů a tvorby plovoucí krusty. Otvor mezi primárním a sekundárním fermentorem o průměru 400 mm bude umístěn na protější stěně, než přívodní potrubí substrátu z důvodu co možná největšího zdržení čerstvého substrátu ve fermentoru. Beztlaké potrubí z odpadních rour průměru 300 mm bude samospádem odvádět vyhnílý substrát do

skladovací jímky a bude umístěno opět na protější stěně než otvor mezi fermentory.

4.6 Míchací technika

Kvalitní a sladěná míchací technika je rozhodující pro spolehlivé a efektivní promíchání fermentovaných substrátů a tvoří základ pro rovnoměrný vývin bioplynu. [12] Substrát se ve fermentoru zpravidla několikrát denně promíchá, aby se dosáhlo následujících efektů:

- Smíchání čerstvého substrátu s již vyhnívajícím substrátem, aby se čerstvý substrát naočkoval aktivními bakteriemi
- Rozdělení tepla, aby se ve fermentoru udržovala co nejrovnoměrnejší teplotní úroveň
- Zabránění vzniku plovoucího příkrovu a usazenin nebo jejich odstranění
- Zlepšení látkové výměny bakterií vypuzením bublin bioplynu a přívodem čerstvých živin [2]

Bohužel není možné, vzhledem k charakteru míchaného materiálu (jedná se tzv. o „nenewtonské kapaliny“) dokladovat účinnost míchacího systému výpočtem. Dostupné znalosti z této oblasti tak vycházejí většinou ze zkušeností a existujících referencí dodavatelů zařízení.

Systém promíchávání substrátů bude navržen takto:

V sekundárním fermentoru (vnitřní nádrž) bude umístěno jedno míchadlo na dlouhém hřídeli ústící šikmo pod úhlem 35° skrz pevnou střechu sekundárního fermentoru a stěnu primárního a jedno ponorné míchadlo výškově stavitelné pomocí lanka a kladky umístěné na střeše sekundárního fermentoru. Míchadlo na dlouhém hřídeli zajišťuje v systému rovnoměrné a šetrné promíchání substrátů. Nastavení míchadla na 40 ot./min vytváří ve fermentoru žádoucí proudění a pohyb k podpoře dlouhodobě optimálních podmínek růstu bioplyn tvořících bakteriálních kolonií. Umístění ponorného míchadla zde není nutné, do tohoto

fermentoru není dávkován materiál určený pro kofermentaci mající tendenci vyplavávat a tvořit krustu. Také sedimentující látky zůstanou v primárním fermentoru.

V sekundárním fermentoru budou instalována dvě míchadla na dlouhé hřídeli umístěná proti sobě po 180° zajišťující plynulé promíchávání již nahnílého homogenizovaného substrátu. Míchadlo ústí z fermentoru skrz pevnou střechu pod úhlem 35° a těsnost je zajištěna plynotěsnou průchodkou z nerezové oceli. Ponorné míchadlo doplňuje míchadlo na dlouhé hřídeli a zajišťuje cílené promíchání plovoucích nebo usazených substrátů. Slouží také k rozbití případných nežádoucích plovoucích vrstev. [12] Součástí pevné střechy také bude průzor pro kontrolu procesu kvašení.

Všechna míchadla budou připojena k řídicí jednotce, která je bude spouštět automaticky každé dvě hodiny na 15 minut a to vždy před a při nadávkování pevných substrátů do fermentoru

Technická data míchadla na dlouhé hřídeli:

- hřídel míchadla je vyrobena z nerezové oceli 1.4301/AISI 304
- blok uložení je vyroben z nerezové oceli 1.4301/AISI 304
- míchadlo s lopatkami je vyrobeno z vysokopevnostního litého polyamidu
- 4-pólový elektromotor s převodovkou 10 kW, max. 40 U/min., určený do výbušného prostředí
- plynotěsná průchodka stěnou nádrže z nerezové oceli 14571/AISI 316 Ti
- teplotní odolnost pro média max. 60

Technická data ponorného míchadla:

- BG 132 o výkonech 4/5,5/7,5
- integrovaná tepelná ochrana
- 4-pólový elektromotor s rozběhem
- teplota média max. 55

Obr. 18 Míchadlo na dlouhém hřídeli [12]



Obr. 19 Ponorné míchadlo [12]



4. 7 Skladování bioplynu – plynojem

Jako plynojem bude sloužit jednak fóliová střecha primárního fermentoru, jednak flexibilní prostor ve skladovací jímce viz dále. Fóliové membránové plynojemy s variabilním vnitřním prostorem projektují, dodávají a montují na tuzemském trhu dvě společnosti a to AGROTEL a SATTLER. Obě mají obchodní zastoupení v České republice.

Technický popis:

Plynojem sestává z vnější a vnitřní membrány o vysoké pevnosti, které jsou upevněny k železobetonové nádrži pomocí plynotěsného kotevního prstence. Vnější membrána má tvar kulového vrchlíku a je napínána přetlakem vzduchu z podpůrného ventilátoru. Pohyblivá vnitřní membrána vytváří proměnný plynový prostor a společně s napnutou vnější membránou tlakový regulační prostor. Podpůrný ventilátor, připojený vzduchovou hadicí k vnější membráně, vytváří tlakem vzduchu na vnitřní membránu potřebný přetlak plynu. Provozní tlak plynojemu je 0,5 – 2,5 kPa. Před nadměrným přetlakem je plynojem chráněn kapalinovou pojistkou. Je-li produkce plynu vyšší než spotřeba, zvětšuje se objem plynového prostoru na úkor tlakového regulačního prostoru a naopak. Přetlak v plynové soustavě je dán tlakem, který vytváří podpůrný ventilátor

Požadavky na zařízení, která navazují na plynojem, jsou stanoveny zejména technickou normou ČSN 75 6415. Navazující zařízení se obvykle instalují do strojovny plynojemu.

Materiálové provedení:

Membrány plynojemu jsou zhotoveny z vysoce kvalitní polyesterové tkaniny povrstvené PVC, odolné vůči UV záření a plísňím, se zvýšenou požární odolností. Kotevní prstenec je zhotoven ze žárově pozinkované oceli. Kapalinová pojistka je z nerezové oceli. Provoz plynojemu nevyžaduje obsluhu, jeho činnost lze plně automatizovat. Rovněž požadavky na údržbu jsou minimální.

Membránový plynojem je dodáván jako kompletní dodávka včetně montáže, případně i projektové dokumentace. Dispozice plynojemu je individuálně upravována dle konkrétních požadavků zákazníka a je předmětem technického vyjasnění. [20]

Výrobce a dodavatel: AGROTEL GmbH

Pořizovací náklady:

Spodní konstrukce: Pás..... 3.484,-

Vnitřní a venkovní membrána6.479,-

Zašroubování	4.235,-
Sít' a pásová konstrukce	412,-
Doprava	1.000,-
Jeřáb, lešení, nosné rameno	2.300,-
Kompletní montáže	2.835,-
Jištění podtlaku a přetlaku	3.815,-
Vzduchová pumpa	3.200,-
Vedení	1.390,-
Montáž přetlaku a podtlaku+vedení	350,-
CELKEM.....	29.500,- EUR

Obr.20 Lana proti klesnutí vnitřní membrány a systém uchycení vnější m. [21]



Obr. 21: Průzor pro vizuální kontrolu fermentačního procesu [21]



4. 8 Skladovací jímka

Nejčastějším způsobem skladování vyfermentovaného substrátu jsou jímky v provedení železobeton, smaltovaná ocel, popřípadě nerezavějící ocel. Vzhledem k nutnosti skladovat velké objemy (180-200 denní produkce) těchto materiálů se však jedná o poměrně velkou investici. Výhodou pak je možnost tuto jímku zastřešit fóliovým plynojemem a využít tak téměř veškerý potenciál fermentované biomasy. Levnější a občas používanou variantou je zbudování dohnívací laguny. Problémem však může být z hlediska pachové zátěže při posouzení vlivu stavby na životní prostředí (EIA), proto se tento způsob dá použít pouze v provozech vzdálených od obydlených oblastí. Investor také přichází o možnost využívat dodatečnou tvorbu bioplynu. Výhody obou těchto způsobů přináší systém uskladnění kejdy v úchovných flexibilních vacích Flexistore. Pro možnost porovnání těchto systémů je třeba stanovit potřebný objem nádrže, popř. pořizovací náklady.

Celková kapacita nádrže má vystačit na 180 – 200 dní, což odpovídá asi půlroční kapacitě produkce vyfermentovaného materiálu. To by však bylo pro malou rodinnou farmu ekonomicky velmi zatěžující a protože se počítá s aplikací tekutých digestátů na zemědělské plochy od jara do podzimu, postačí jímka s kapacitou cca 90 dní. Vzhledem k dennímu objemu zpracovávaných substrátů $25,87 \text{ m}^3$ by měl být k dispozici skladovací prostor:

$$V = 25,87 \text{ m}^3 \cdot 90 \text{ dní}$$

$$V = 2328 \text{ m}^3$$

4. 8. 1 Železobetonová jímka při výšce 5 m a objemu 2328 m^3

$$V_{SJ} = \pi \cdot r^2 \cdot v$$

$$2328 = 3,14 \cdot r^2 \cdot 5$$

$$2328/15,7 = r^2$$

$$12,18 \text{ m} = r$$

V_{SJ} – objem skladovací jímky

r – poloměr nádrže

v – výška nádrže

Rozměry: výška 5m, průměr 24,5 m

Výrobce a dodavatel: Wolf Systém spol. s.r.o.

Orientační pořizovací náklady: 2 285 000,- Kč

Výhody:

- relativně malá zastavěná plocha oproti systému Flexistore
- konvenční, zavedená technologie – zkušenosti, reference
- robustní konstrukce

4. 8. 2 Flexibilní úchovný vak Flexistore:

Obr. 22 Úchovný vak v krajině [22]

Obr. 22 Kalová koncovka pro fekální vůz[22]



Výrobce: H.J.Wiefferring b.v.

Rozměry: 29 x 29 m půdorysně

Charakteristika a technická data:

- velice pevná a odolná plastová fólie pogumovaná z obou stran
- kapacity od 100 m³ až po 5000 m³
- možnost vybavení míchací a čerpací technikou
- vaky jsou certifikovány holandskou agenturou KIWA (obdoba německé DLG), záruka na materiál 5 let

Výhody:

- systém umožňuje jednak skladovat kejdu, jednak plní funkci plynování
- možnost dodání v několika barvách (= začlenění do krajiny)
- vaky nevyžadují žádnou údržbu

- mohou být vyrobeny v různých velikostech a tvarech
- pro instalaci nejsou třeba žádné základy – snazší získání stavebního povolení, možnost zapustit vak do terénu – nevyčnívá v krajině
- vak svou konstrukcí zabraňuje úniku zápachu a amoniaku – přísné směrnice

Orientační pořizovací náklady:

Vak Flexistore 2500 m ³ (29x29 m, hloubka 3,5 m)	38 600 Eur
Rozvod potrubí průměr 250 mm	4 000 Eur
Míchací vybavení	5 500 Eur
Výkopové práce	1,25 Eur/m ³ kapacity vaku = 1,25 . 2500 = 3 125 Eur

Obr. 24 Spodní plnění vaku [22]

Obr. 25 Kontrola těsnosti systému [22]



4. 8. 3 Porovnání variant řešení - shrnutí:

Ve světle porovnání variant řešení systémů uskladnění vyfermentovaného substrátu se jako vhodnější varianta pro účely návrhu BPS jeví úchovné vaky Flexistore. Největší výhodou je, že mohou plnit kromě uskladnění kejdy i funkci plynojenu a to za nižší pořizovací náklady než standardní železobetonová jímka bez zastřešení fóliovým plynojmem. Takto navržený systém pak využívá téměř veškerého energetického potenciálu biomasy (úplný rozklad některých kofermentů trvá až 140 dní), zvyšuje se tedy měrná výtěžnost bioplynu a celkově se toto projeví na rentabilitě investice do BPS.

4. 9 Kogenerační jednotka

K přeměně vyrobeného bioplynu na využitelnou energii, tedy proud a teplo, slouží kogenerační jednotka (samostatná tepelná elektrárna).

KGJ v sobě spojuje plynový motor (resp. turbínu) a generátor elektrického proudu. Tato metoda využití bioplynu dosahuje vysoké účinnosti přeměny energie z bioplynu (80 – 90 %) na elektrickou a tepelnou energii. Pro hrubou orientaci lze počítat, že asi 30 % energie bioplynu se přemění na elektrickou energii, 60 % na tepelnou energii a zbytek jsou tepelné ztráty. Na výrobu 1 kWh_e je třeba přivést do kogenerační jednotky 0,6 – 0,7 m³ bioplynu s průměrným obsahem metanu CH₄ = 60 %. [1]

Výpočet potřebného výkonu kogenerační jednotky:

Poměr objemu spotřebovaného bioplynu na výrobu 1 kWh_e je klíčovým faktorem pro výpočet výkonu kogenerační jednotky. Jak bude stanoveno v dalších kapitolách předpokládaná denní produkce bioplynu je 1866 m³. Z tohoto lze předpokládat denní výrobu elektrické energie:

$$1866 \text{ m}^3 \text{ bioplynu za den} / 0,7 \text{ až } 0,6 = 2665 - 3110 \text{ kWh}_e / \text{den}$$

Za předpokladu, že KGJ bude v provozu nepřetržitě 24 hodin denně tedy:

$$P_{\text{KGJ}} = 2665 - 3110 \text{ kWh}_e / 24$$

$$P_{\text{KGJ}} = 111 - 129 \text{ kW}_e$$

Tab. 16 Typy a parametry kogeneračních jednotek TEDOM [1]

Typ	El. výkon [kW]	Tepelný výkon [kW]	El. účinnost [%]	Tep. účinnost [%]	Celková účinnost [%]
Cento 42 SP	42	64.5	33,8	52,0	85,8
Cento 65 SP	65	97.0	34,4	51,3	85,7
Cento 75 SP	75	125.0	30,7	51,2	81,9
Cento 100 SP	100	161.0	32,8	52,8	85,6
Cento 120 SP	125	169	37,1	50,1	87,2

Dle katalogové řady výrobce kogeneračních jednotek lze tedy zvolit jednotku s nejbližším vyšším výkonem, výkon jednotky bude spojitě regulován řídicí jednotkou dle množství vyrobeného bioplynu.

Dle tabulky 16 a výpočtů výkonu kogenerační jednotky se jako nejvhodnější typ jeví CENTO 120 SP.

Technické parametry navržené jednotky:

K pohonu jednotky je použit plynový spalovací motor TG 132 GV TX 86, výrobek firmy TEDOM s.r.o.

Tab. 17 Motor KGJ Cento 120 SP

počet válců	6	kompresní poměr	11 : 1
uspořádání válců	v řadě	pracovní otáčky	1500 min ⁻¹
vrtání × zdvih	130 × 150 mm	spotřeba oleje	0,3/0,5 g/kW
		normal/max	h
zdvihový objem	11940 cm ³	max. výkon motoru	132 kW

Zdrojem elektrické energie je jednoložiskový synchronní generátor ECO 38-1SN/4, výrobek firmy Mecc alte spa, Itálie, se základními parametry dle uvedeného přehledu v tabulce 18.

Tab.18 Generátor KGJ Cento 120 SP

výkon generátoru	180/144 kVA/kW	napětí	400 V
cos φ	0,8/1 -	frekvence	50 Hz
účinnost v pracovním bodě	94,7 %	jmenovité otáčky	1500 min ⁻¹
zapojení statorového vinutí	do hvězdy	krytí	IP 21
max. pracovní teplota	40 °C		

Investiční náklady:

Kogenerační jednotka Cento 120 SP.....	2 465 000,- Kč
Elektroměr pro měření vyrobené elektřiny.....	28 000,- Kč
Kopírování vlastní spotřeby.....	36 000,- Kč

4. 10 Řídící jednotka

Všechny podstatné funkce bioplynového zařízení jsou detekovány centrálním řídicím a měřicím systémem, jsou počítačově analyzovány a kontrolovány.

Rozhodující pro optimální využití zařízení je vyvážená a navzájem vyladěná dodávka substrátů. Řídící systém zajišťuje, aby byly substráty dávkovány v dostatečném množství a byl tak objem fermentoru využit s maximální efektivitou. V tomto okamžiku jsou zjišťovány všechny důležité vstupní parametry jako např. typ substrátu, denní zakládané množství substrátu nebo dávkovací časy, řídicí parametry jsou systémem ukládány a dále zpracovány.

Obr. 26 Vybavení řídicí místnosti BPS



Automatické řízení centrálního čerpadla a míchadel výrazně redukuje nároky na obsluhu zařízení a současně zajišťuje vždy optimální promíchání fermentovaných substrátů.

Kontrola a hodnocení celého procesu Všechny rozhodující parametry

anaerobního fermentačního procesu jsou systémem spolehlivě zjišťovány, řízeny a analyzovány, jako jsou např.:

- stav naplnění jednotlivých oblastí zařízení
- kontrola hodnot teploty, průběh hodnot pH, analýza plynu
- kontrola procesu hygienizace

Kvalitně vyhodnocená data nabízí dvě přednosti: nastavení optimálního chodu a tím zvýšení hospodárnosti zařízení a dále archivovaná data slouží jako dokumentace a důkazní materiál pro úřady, např. s ohledem na kritéria předpisů zpracování bioodpadů. Regulační, měřicí a řídicí systém neulehčuje pouze obsluhu a optimalizuje provoz zařízení, ale současně zajišťuje bezpečný provoz s registrací a rozbořem všech podstatných procesních parametrů. Všechna zjištěná data jsou díky vizualizaci zobrazena na obrazovce a v případě potřeby mohou být tištěna, či jinak zpracovávána k zajištění stálého systematického přehledu o činnosti zařízení. [12]

5. Optimalizace směsi fermentovaných materiálů

5.1 Vliv chemického složení na výtěžnost metanu

Biologická rozložitelnost a tím i výtěžnost bioplynu závisí na chemickém složení substrátu, na obsahu sacharidů, tuků, proteinů, na podílu celulózy, hemicelulóz a ligninu eventuelně dalších inertních složek materiálu a na poměru jednotlivých komponentů. Vzhledem k tomu, že poměr těchto komponentů v různých druzích suroviny je různý, odlišná je i jejich rozložitelnost a výtěžnost metanu.

Polysacharidy

Jsou součástí veškeré rostlinné biomasy, patří sem škrob, celulóza a hemicelulózy. Teoretická výtěžnost metanu je daná jejich POXČ, které je pro všechny polysacharidy 0,00. Z toho plyne, že z molekuly sacharidů vzniknou tři molekuly metanu a tři molekuly CO₂, tedy teoretický obsah metanu v bioplynu je 50 %. Z polysacharidů je nejlépe rozložitelný škrob, který se poměrně snadno hydrolyzuje amylolytickými enzymy.

Celulóza

Je polymerem glukózy, v biotechnologickém procesu je relativně málo rozložitelná. Pro její hydrolyzu je nutná přítomnost celulólytických enzymů, které jsou produkovány hydrolytickými mikroorganismy a v přírodě jsou přítomny v zažívacím traktu přežvýkavců. Další skupinou polysacharidů jsou heteropolysacharidy - hemicelulózy, které tvoří rozvětvené řetězce s prostorovou strukturou. Hemicelulózy podléhají snáze a rychleji enzymatické hydrolyze než celulóza.

Lignin

Vedle biologicky rozložitelných sacharidů a polysacharidů obsahuje rostlinná biomasa i látky jejichž biologická rozložitelnost je velmi nízká až nulová. Mezi tyto látky patří především lignin a též lignany a terpeny. Lignin je organickou

součástí nejenom každé rostlinné biomasy, ale materiálů z ní pocházejících, jakou jsou například různé druhy kejdy nebo hnoje a je hlavní součástí biologicky nerozložitelné frakce organických látek v stabilizovaném zbytku po anaerobní fermentaci.

Lipidy

Společnou charakteristikou lipidů je přítomnost mastných kyselin s dlouhým alifatickým řetězcem a malým počtem atomů kyslíku v jejich molekulách, což odpovídá nízkému POXČ v rozmezí od $-1,63$ do $-1,70$. To je důvod, že tuky mají nejvyšší výtěžnost metanu ze všech skupin substrátů. Podléhají relativně snadno enzymové hydrolýze. Problémem může být technické zvládnutí rozkladu tuků, které díky své hydrofobicitě mohou mít tendenci vyplouvat k hladině, oddělovat se z vodní fáze nebo zvyšovat tvorbu pěny.

Proteiny

Proteiny patří mezi dobře biologicky rozložitelné látky, jejich POXČ se pohybuje v rozmezí od $-1,2$ až -2 . To znamená, že vykazují vysokou výtěžnost metanu. Proteiny jako jediné s výše uvedených substrátových skupin obsahují ve svých molekulách heteroatomy. Kromě uhlíku, vodíku a kyslíku obsahují také síru a hlavně dusík. Dusík při anaerobní fermentaci přechází amoniak, který při vyšších koncentracích může způsobovat inhibici tvorby metanu.

Poměr C:N

Je důležitý pro dobrý průběh anaerobního procesu. Jestli je tento poměr vysoký, dochází k deficitu dusíku. Při nízkém poměru dochází k vysoké produkci amoniaku, který je při vyšších koncentracích toxický pro anaerobní bakterie, zejména metanogeny. Toxicky působí nedisociovaná forma amoniaku, jejíž koncentrace závisí především na pH, s vyšším pH silně vzrůstá. Optimální poměr C:N pro anaerobní fermentaci organické frakce tuhého odpadu se pohybuje okolo 25 až 30, vztaženo na biologicky rozložitelný uhlík, pro anaerobní fermentaci exkrementů hospodářských zvířat nebo jatečních a kafilerních odpadů se za optimální poměr C:N považuje 16 až 19. Za kritický se považuje poměr C:N 12.

V technologické praxi se většinou setkáváme s komplexním složením suroviny pro anaerobní fermentaci, v níž jsou zastoupeny v různém poměru (podle původu a zpracování suroviny) všechny výše uvedené skupiny substrátů. Jak již bylo uvedeno, ne všechny organické látky přítomné v surovině se v průběhu procesu rozloží, část jich zůstává jako tzv. nerozložitelný zbytek ve fermentovaném materiálu. Jaký podíl organických látek zůstane nerozložený závisí i na technologických podmínkách procesu (teplota, doba zdržení, předúprava). [27]

5.2 Optimalizace směsi vstupních surovin

Každý organický materiál s vysokým obsahem těkavých látek a sušinou menší než 50% může být teoreticky využit pro anaerobní fermentaci. Pro efektivní zpracování je však zapotřebí, aby vlastnosti použitých materiálu byly v určitém optimálním rozmezí. Základní hodnoty jsou uvedeny v tabulce 17.

Tab. 19 Základní vlastnosti materiálů vhodných pro anaerobní fermentaci

Podíl organické hmoty [% suš.]	Sušina [%]	Poměr C:N	pH
nad 60	7 - 25	20 – 30:1	6,5 – 7,5

Podíl organických látek a obsah sušiny jsou důležité zejména pro určení produkce bioplynu, pH a C:N pak pro optimalizaci surovinové skladby.

Velmi důležitá je přítomnost toxických a inhibujících látek, které by výrazným způsobem narušily biologický proces ve fermentoru. Jedná se např. o všechna bakteriální léčiva (bakteriocidy), látky v hnilobném rozkladu či vyšší koncentrace amoniaku. Nežádoucí jsou i látky, které přímo nenarušují biologický proces, ale negativně ovlivňují kvalitu zplynovaného substrátu, jako např. těžké kovy. Ostatní vlastnosti uvedené v tabulce 17 je možné ovlivnit vhodnou úpravou materiálu před vstupem do BPS, popř. složením vsázky při společné fermentaci (kofermentaci) různých druhů organických látek. Například přidáním travní

fytomasy k prasečí kejdě (s vysokým obsahem dusíkatých látek a nízkou sušinou) lze optimalizovat poměr uhlíkatých a dusíkatých látek (C:N) i obsah sušiny. [23]

Tab. 20 Sledované hodnoty vstupních materiálů [1],[2],[11], [24], [25]

	Podíl organické hmoty [% suš.]	Sušina [%]	Poměr C:N	pH
Kejda skotu	78	10,00	10:1	7,34
Kukuřičná siláž	28*	30,00	31:1	4,00
Travní siláž	28*	30,00	11-16:1	4,00
Obilná sláma	82	86,00	80-100:1	---

*počítáno s obsahem popelovin 5,8 % hmotnostních ze sušiny

Optimální poměr C:N pro anaerobní stabilizaci organické frakce tuhého odpadu se pohybuje okolo 25 až 30, vztaženo na biologicky rozložitelný uhlík, pro anaerobní fermentaci exkrementů hospodářských zvířat nebo jatečných a kafilerních odpadů se za optimální poměr C:N považuje 16 až 19.

Různé druhy organického odpadu mají různou koncentraci dusíku, proto je výhodné kombinovat zpracovávané materiály s vysokým (např. prasečí kejda, odpady z jatek aj.) a nízkým (např. celulózové materiály) obsahem, tak aby výsledný poměr C:N se blížil optimálnímu.

Stanovení optimálního poměru směsi vstupních surovin z hlediska C:N dle tab. 5.a tab. 16:

Kejda skotu.....7583 kg/den = 41,2 % hmotnostních (C:N = 10)

Kukuřičná siláž.....7071 kg/den = 38,4 % hmotnostních (C:N = 31)

Travní siláž.....2380 kg/den = 12,9 % hmotnostních (C:N = 13,5*)

Obilná sláma..... 1370 kg/den = 7,5 % hmotnostních (C:N = 90*)

*střední hodnota poměru C:N z tab. 16

Vážený průměr poměrů C:N vstupních surovin:

$$X_{C:N} = [(41,2 \cdot 10) + (38,4 \cdot 31) + (12,9 \cdot 13,5) + (7,5 \cdot 90)] / (41,2+38,4+12,9+7,5)$$

$$X_{C:N} = 2461,55 / 100$$

$$X_{C:N} = 24,6$$

Z výše uvedených výpočtů vyplývá, že výsledný poměr C:N vstupních směsí dle zadání investora je na spodní hranici rozmezí optimálních poměrů C:N (25 – 30:1). Pro samotný proces anaerobní fermentace to není problémem, poměr C:N je možno zvýšit nahrazením travní siláže kukuřičnou a využitím zbylé travní siláže ke krmivářským účelům. Také by pak bylo možno odstranit z procesu fermentace alespoň část obilné slámy (instalací lehacích matrací do lehacích boxů). Ta sice příznivě zvyšuje výsledný poměr C:N, ale má malou výtěžnost bioplynu a také zvyšuje obsah sušiny substrátu a zhoršuje tak jeho čerpatelnost. Také má tendenci vyplavávat a tvořit plovoucí krustu. Při nahrazení travní siláže kukuřičnou při zachování objemů navrhovaných jímek a fermentorů výsledný poměr C:N bude:

$$X_{C:N} = [(41,2 \cdot 10) + (51,3 \cdot 31) + (7,5 \cdot 90)] / (41,2+51,3+7,5)$$

$$X_{C:N} = 2677,3 / 100 = 26,8$$

Stanovení pH vstupní směsi dle tab. 5 a tab. 16:

Za optimální hodnotu pH na vstupu do procesu se považuje interval blízký neutrální hodnotě pH = 7 (rozmezí 6,5 – 7,5). V průběhu procesu se tento parametr mění. Na začátku převažuje aktivita acidogenů a pH může klesnout na 4 až 6. Při hodnotách pH substrátu menších než 5 se mohou objevovat inhibiční účinky na některé kmeny metanogenů. Dojde – li však za příznivých podmínek k jejich rozvoji, zvýší svojí aktivitou číslo pH až na neutrální hodnotu 7. V praxi se hodnota pH na vstupu do procesu upravuje homogenizací směsných materiálů nebo alkalickými přísadami. [1] pH vstupní směsi při vyloučení travní siláže z procesu tedy je:

$$X_{pH} = [(41,2 \cdot 7,34) + (51,3 \cdot 4,0) + (7,5 \cdot 7,0)] / (41,2+51,3+7,5)$$

$$X_{pH} = 560,1 / 100 = 5,6$$

Vypočtená hodnota pH vstupní směsi 5,6 neleží v optimálním rozmezí. Na metanogenní organismy ve fermentoru však nebude mít inhibiční účinky a dá se předpokládat vzestup hodnoty pH po vstupu směsi do fermentoru. V přípravné fázi (míchání a mísení) bude možno v případě problémů s hodnotou pH přidávat do směsi alkalická činidla a upravit pH vstupů na požadovaný interval 6,5 – 7,5.

6. Teoretický výpočet množství vyrobeného bioplynu a jeho praktické ověření

Existují tři základní způsoby výpočtu množství vyrobeného bioplynu z organických materiálů:

- **Výpočet podle tabulkových údajů** – používá se pro orientační výpočet produkce bioplynu z materiálů typu exkrementů hospodářských zvířat z tabulkových hodnot. Tyto hodnoty byly získány z experimentálních pokusů nebo analýzou literárních údajů.
- **Výpočet podle předpokládaného úbytku organické sušiny zpracovávaného materiálu** – předpokladem použití této metody je znalost měrné produkce bioplynu z jednotkového množství sušiny zpracovávaného materiálu.
- **Výpočet podle chemického složení materiálu** – při fermentaci složitých směsných substrátů, používá se výpočet produkovaného bioplynu z každé jednotlivé složky (uhlohydráty, tuky, bílkoviny) [27]

Tab. 21 Přehled praktických výtěžků CH_4 vztažených na jednotku org. suš. [26]

Surovina	[m ³ CH ₄ /kg organické složky]			limitní hodnota B ₀
	stř. hodnota nebo pouze 1 zdroj	min. hodnota	max. hodnota	
Skot vysokoenergetický výkrm	0,25	0,22	0,28	B ₀ = 0,32 – 0,40
Skot dojnice (550 kg)	0,15	0,12	0,17	B ₀ = 0,17 – 0,24
Skot jalovice	0,15	0,15	0,16	
Skot telata	0,14	0,14	0,15	
Skot hnůj + stelivo	0,10	0,09	0,29	

Surovina	[m ³ CH ₄ /kg organické složky]			limitní hodnota B ₀
	stř. hodnota nebo pouze 1 zdroj	min. hodnota	max. hodnota	
Vepři (70 kg) vysokoenergetický výkrm	0,32	0,29	0,35	B ₀ = 0,41 – 0,50
Tráva čerstvě sečená	0,25	0,18	0,32	
Travní senáž	0,28	0,23	0,48	
Seno, stébelnaté trávy	0,24	0,19	0,29	
Dřevní prutová biomasa	0,16	0,12	0,28	
Kukuřičná siláž (celá, vč. zrna)	0,40	0,37	0,55*	
Kukuřičná siláž	0,27	0,17	0,37	
Kukuřičná sláma	0,18	0,16	0,26	B ₀ = 0,26
Pšeničná sláma	0,15	0,10	0,20	
Žitná sláma	0,27	0,27	0,31	B ₀ = 0,28
Ovesná sláma	0,17	0,12	0,29	B ₀ = 0,28

Zcela obecně platí, že veškeré publikované údaje, které se používají pro výpočet produktivit plynu jsou zadány buď na obsah sušiny anebo organické sušiny. Zpracování veškerých vstupních dat bez znalosti těchto hodnot nemá žádnou vypovídací spolehlivost.

Jsou-li do zpracování přiváděny i odpady s vyššími a vysokými obsahy proteinů, je třeba hodnocení surovin věnovat obzvláště velkou pozornost. Zde je třeba analýzy vstupů doplnit i o elementární rozbor jednotlivých surovin tak, aby bylo možno stanovit skutečný praktický poměr C/N ve vstupech. [26]

Dle tabulky 5. je známo denní množství organické sušiny u zpracovávaných surovin. Dosadíme –li střední hodnoty měrné produkce z tab. 19 u jednotlivých vstupních surovin, vypočítáme předpokládané denní množství vyrobeného bioplynu:

Kejda skotu.....611 kg org. suš. x 0,25 m³ CH₄/kg = 152,75 m³ CH₄/den

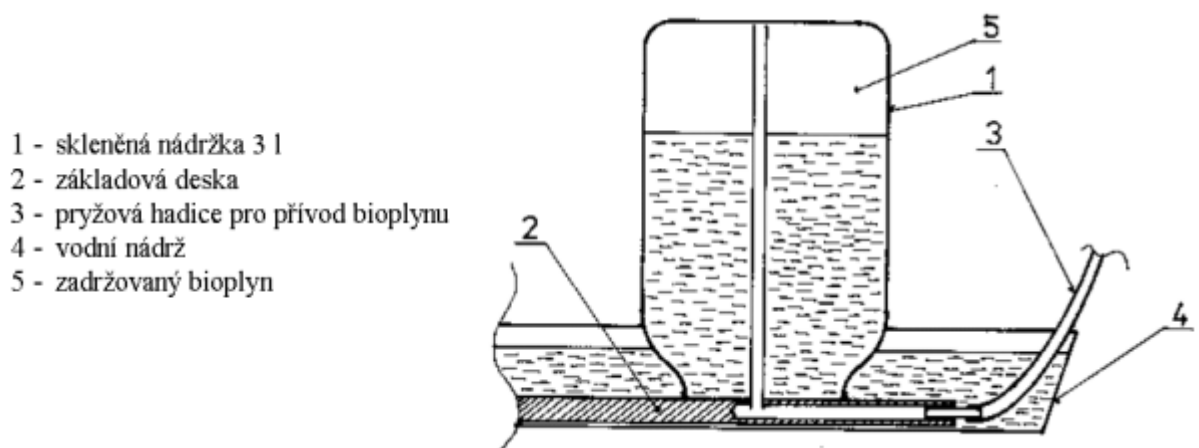
Kukuřičná siláž2001 kg org. suš. x 0,40 m³ CH₄/kg = 800,40 m³ CH₄/den
Obilná sláma.....1110 kg org. suš. x 0,15 m³ CH₄/kg = 166,50 m³ CH₄/den
Celkem.....1119,65 m³ CH₄/den
Toto množství odpovídá při obsahu 60% CH₄ v bioplynu denní produkci 1866 m³ bioplynu za den.

Praktické ověření vypočítaného množství vyrobeného bioplynu:

Na pracovišti VÚZT bylo realizováno experimentální zařízení pro zjišťování optimálních parametrů anaerobních metanogenních procesů. Jedná se o nádrž s temperovaným vodním prostředím umožňujícím porovnávací měření produkce bioplynu z malých objemů. V temperovaném prostředí je možno umístit 6 nádržek s objemem po 3 l. Z každé nádržky je pryžovou hadicí odváděn vznikající bioplyn do vodního plynojemu sestávajícího ze šesti sekcí. Každá sekce má objem rovněž 3 l. Na obr. 27 je uvedeno schéma plynojemu. [29]

Pro analýzu bioplynu je k dispozici měřicí přístroj AIR LF firmy ASEKO s.r.o., obr. 28. Jedná se o přenosný analyzátor plynů s rozsahy měření dle tab. 20.

Obr. 27 Schéma plynojemu [29]



Postup stanovení výtěžnosti bioplynu:

Z jednotlivých typů substrátů, samostatně i ve směsích, bez a s přidavkem exkrementů hospodářských zvířat, při různých režimech anaerobního vyhnívání

(mezofilní a termofilní proces) byly zjišťovány produkce bioplynu a jeho chemické složení. Popisy složení směsí a proces jsou popsány na obrázcích. Pro výrobu bioplynu ze speciálních substrátů bylo upraveno laboratorní pracoviště, kde se průběžně provádí sledování produkce bioplynu. Zpracovávané substráty byly získány přímo v potravinářských provozech. V laboratorních pokusech vyhledáváme vhodné směsi biomasy pro výrobu bioplynu na malých zařízeních o objemu 3 l, kterých je k dispozici 9 (pokusy probíhají na šesti, další dublují některé směsi, nebo jsou v rezervě). Sada fermentorů je ve vyhřívané vodní lázni. Každý fermentor má svůj plynomet pro odečet produkce bioplynu.

Obr. 28 Analyzátor plynu AIR LF [29]



Tab. 22 Měřicí rozsahy analyzátoru plynů [29]

Senzor	Rozsah	Kalibrace	Přesnost	V rozsahu	Přetížení
CH ₄	0-100 %	při 60%	± 5 %	10-100%	ne
CO ₂	0-50 %	při 30%	± 5 %	5-50%	ne
O ₂	0-20,9 %	0%,20,9%	5 %	1-20,9%	max. 30%
CO	0-4000ppm	500 ppm	± 5 %	100-4000ppm	max. 2%

Z výsledků experimentů v maloobjemovém zařízení je možno konstatovat následující. Kofermentace čerstvých hovězích exkrementů s fytomasou vede k zastavení metanogeneze v důsledku extrémního snížení hodnoty pH. Již množství fytomasy přes 20 % a to v čerstvé formě i ve formě sena či senáže vede k zastavení reakce. Překyselení reakce je možno zabránit přidáním zásadité látky ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), tak jak bylo uvedeno v předchozí kapitole, nebo recyklovaného substrátu do metanogenní směsi. Směs s aditivem $\text{Ca}(\text{OH})_2$ má oproti aditivu s vyhnilým substrátem nižší produkci bioplynu v začátku procesu, v dalším průběhu se však produkce vyrovnává.

Obr. 29 Malé laboratorní fermentory



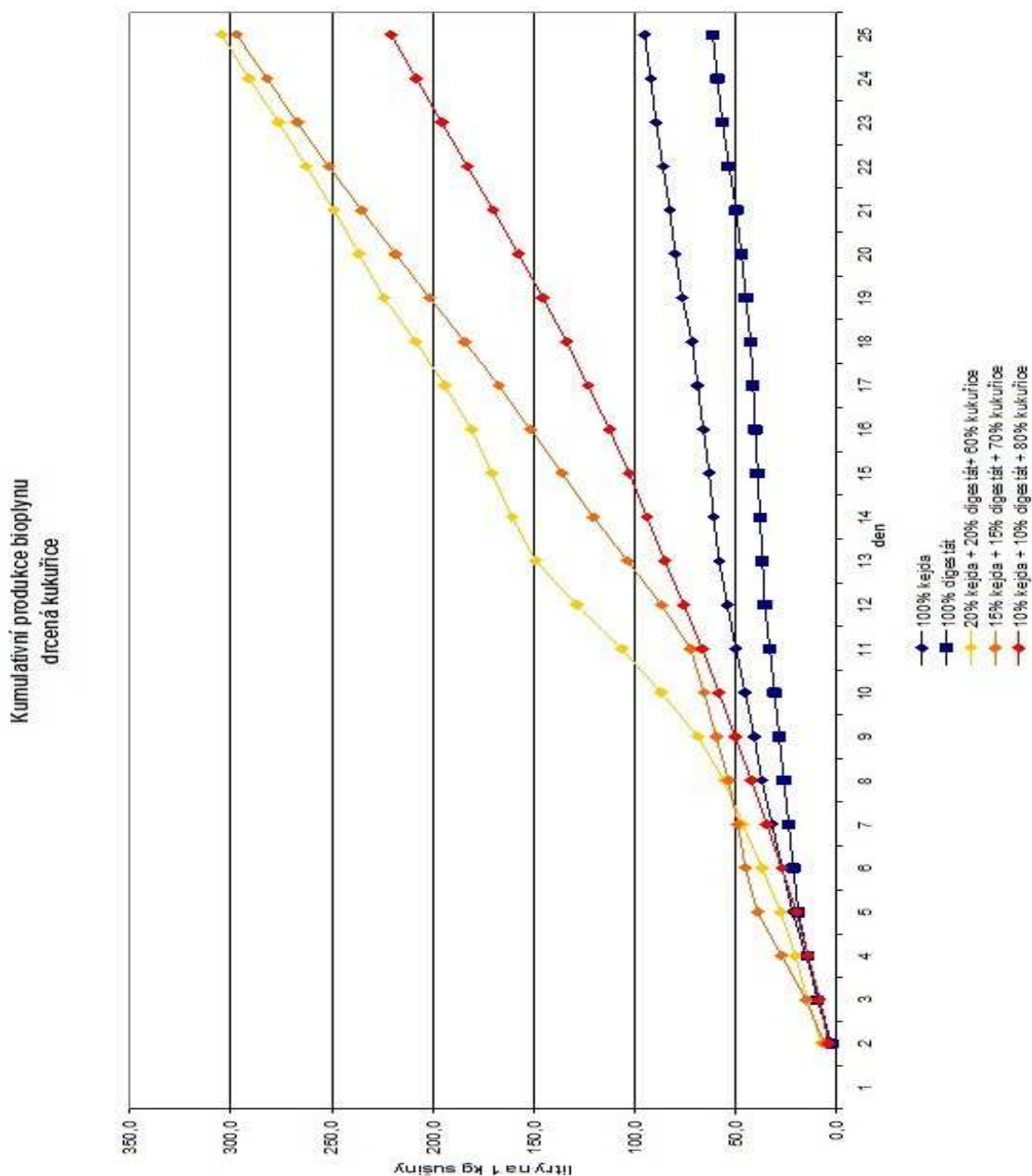
Obr. 30 Velké laboratorní fermentory



Co se produkce bioplynu týče, v grafu 4 je uvedena měrná kumulovaná produkce bioplynu pro různé hmotnostní koncentrace kukuřice v sušině. V průběhu 25 dnů dosáhla nejlepšího výsledku směs s 60 % kukuřice, téměř stejného výsledku bylo dosaženo při fermentování směsi se 70 % kukuřice. Při vyšších koncentracích produkce bioplynu ztelně klesá. Vyroběný bioplyn obsahoval dle analyzátoru AIR LF 65 – 70 % metanu od patnáctého dne pokusu a jeho kumulované množství za 25 dní pro koncentraci 60 % kukuřice přesahuje 300 l na 1 kg sušiny. Nedostatek však byl v tom, že maximální produkce bioplynu nastala prakticky u všech vzorků ke konci doby zdržení a materiál nebyl ještě dostatečně odbourán. Přesto lze konstatovat, že i přes tento zkrácený průběh

pokusu (pro kukuřičnou siláž je okolo 50 dnů) se potvrzuje předpoklad, že produkce bioplynu na kilogram sušiny zelené hmoty zhruba odpovídá hodnotám uvedeným v tabulce 16.

Graf 4 Kumulativní produkce bioplynu z kukuřičné siláže



7. Ekonomické zhodnocení návrhu BPS

Relativně vysoké investiční náklady znamenají prakticky jedinou nevýhodu bioplynových stanic. Vzhledem k tomu, že pro příjem bioplynové stanice využívající bioplyn k výrobě elektrické energie a tepla je z hlediska příjmů absolutně nejdůležitější prodej vyrobené elektrické energie, se běžně udávají investiční náklady na jednotku instalovaného elektrického výkonu kogenerace. U stanic s výkonem kolem 100 kW je cena kolem 4200 eur u stanic kolem jednoho MW 2 500 až 3000 eur na kW instalovaného elektrického výkonu. Cena by měla zahrnovat kompletní stanici, kterou představují příjmová jímka, reaktor, plynové a elektrické rozvody, plynojem, kogenerační jednotka a uskladnění fermentačního zbytku na dobu zhruba 4 až 6 měsíců. [28]

Potenciální investor musí předem zvážit, zda investovat do zvoleného projektu a jaký bude mít investice efekt. Při posuzování investice je nutno zvážit tyto ukazatele:

- Investiční náklady – musejí být co nejnižší, protože zásadním způsobem ovlivňují dobu návratnosti investice.
- Provozní náklady – musejí být rovněž co nejnižší, neboť se přímo promítají do ceny práce strojů a linek.
- Životnost – čím je životnost delší, tím efektivněji jsou zúročeny investované náklady.
- Způsob financování – způsob financování má na efektivitu investice zásadní vliv. Úroky z případného bankovního úvěru obvykle zvyšují cenu produktu. Při financování z vlastních zdrojů je nutno porovnat finanční přínos investice s výnosem, který by bylo možné získat jiným druhem investice hotovosti, např. uložením na termínovaný vklad, investováním do obligací, akcií, jiného projektu a podobně.

Doba návratnosti investice

$$D = I / (RV - VN) \quad [\text{roky}]$$

I – investiční náklady

RV – průměrné roční výnosy

VN – vlastní náklady

(RV – VN) – čistý roční výnos

Investiční náklady:

Velmi hrubým odhadem lze stanovit investiční náklady na výstavbu BPS dle nákladů na jednotku instalovaného výkonu, které se pohybují pro tuto kategorii BPS v intervalu 100 000 – 130 000 Kč/kW výkonu KGJ. [4] Pro navrhovanou bioplynovou stanicí by se pak investiční náklady pohybovaly v rozmezí od 12,5 do 16,3 milionů Kč. Pro kontrolu lze uvést součet pořizovacích nákladů jednotlivých částí BPS uvedených v předchozích kapitolách:

Předjímka.....	338 000,-
Dávkování kofermentů.....	1 575 364,-*
Fermentor.....	3 991 000,-**
Čerpací technika.....	500 000,-***
Míchací technika.....	950 000,-***
Skladování bioplynu.....	826 000,-*
Skladování digestátu.....	1 434 300,-*
Kogenerační jednotka.....	2 529 000,-
Řídící jednotka + software.....	150 000,-***
Výkopové práce a přesuny hmot.....	400 000,-***
CELKEM.....	12 693 664,-

* převod cen z EUR na Kč při kurzu 28 Kč/EUR

** k ceně železobetonové nádrže fermentoru přičteny nezbytné komponenty – ochranná fólie zabezpečující plynotěsnost betonu 480 000,- Kč a zateplení + opláštění fermentoru 500 000,- Kč

***odhadované položky

Z výše uvedené kalkulace plyne, že skutečné investiční náklady leží na spodní hranici intervalu nákladů předpokládaných dle instalovaného výkonu KGJ.

Průměrné roční výnosy

Hlavním zdrojem výnosů navrhované BPS bude prodej elektrické energie vyrobené v kogenerační jednotce. Ze zkušeností z fungujících provozů BPS lze konstatovat, že předpokládaný potenciál výroby elektrické energie bývá naplněn z 90 – 95 % (z důvodu výkyvů tvorby bioplynu, servisních odstávek, poruch systému a podobně). Předpokládaný roční výnos z prodeje elektrické energie tedy bude:

$$RV_{pe} = 2665 - 3110 \text{ kWh}_e/\text{den} \cdot 365 \text{ dní} \cdot 0,90 \text{ až } 0,95 \cdot 4,12 \text{ Kč/kWh}_e$$

$$RV_{pe} = 3\,606\,864 \text{ až } 4\,442\,977 \text{ Kč/rok}$$

Střední hodnota $RV_{pe} = 4\,024\,920 \text{ Kč/rok}$

Dalším „nepřímým“ výnosem bude využití odpadní tepelné energie pro vytápění obytných a provozních prostor farmy. Odpadnou tak roční náklady na vytápění těchto prostor zemním plynem ve výši **55 000,- Kč/rok**.

Jako další potenciální výnos je možno využít odpadní teplo z kogenerační jednotky. V návrhu s tímto není počítáno, do budoucna ovšem lze tuto, jinak ztracenou energii, využít například k vytápění chovů hospodářských zvířat vyžadujících teplo, k sušení polnohospodářských plodin, dřeva, chovu exotické zvířeny a podobně. Pro zajímavost uvádím „volný“ potenciál tepelné energie:

Dle tabulky 14 je tepelný výkon KGJ 161 kW

$$\text{Roční množství tepelné energie: } 169 \text{ kW} \cdot 24\text{h} \cdot 365 \text{ dní} \cdot 0,9 = 1\,332\,396 \text{ kWh}_t$$

Po odečtení předpokládaného množství tepelné energie vrácené do provozu BPS:

$$1\,332\,396 - (1016 \cdot 365) = 961\,556 \text{ kWh}_t/\text{rok}$$

Vlastní náklady

Položka vlastní náklady je v tomto případě tvořena z největší části náklady na výrobu měrné jednotky vstupní suroviny – siláže. Dále pak jsou to provozní

náklady na provoz, údržbu a opravy poruch BPS a náklady na pronájem zemědělských ploch. Do nákladů by bylo třeba zahrnout i procento úroků z případného bankovního úvěru, v ekonomickém hodnocení však s tímto není počítáno stejně jako z dotací na BPS ve výnosech z důvodu snadného zkreslení vypovídací hodnoty ekonomického zhodnocení.

Výkupní cena kukuřičné siláže se pohybuje okolo 550 – 600 Kč/t [29]

Ročně bude v BPS zpracováno asi 3450 t kukuřičné siláže, tedy:

$$VN_{ks} = 3450 \cdot 575 = 1\,983\,750,- \text{ Kč}$$

Roční provozní náklady při cca 20 hodinách údržby týdně

$$VN_{pn} = 20h \cdot 54 \text{ týdnů} \cdot 150 \text{ Kč/h vlastní práce} = 162\,000,- \text{ Kč}$$

Roční náklady na pronájem zemědělských ploch:

$$VN_{pp} = 600 \text{ Kč/ha} \cdot 110 \text{ ha} = 66\,000,- \text{ Kč}$$

$$VN = 1\,983\,750 + 162\,000 + 66\,000 = 2\,213\,750,- \text{ Kč}$$

Předpokládaná návratnost investovaných prostředků tedy bude:

$$D = I / (RV - VN) \quad [\text{roky}]$$

$$D = 12\,693\,664 / (4\,024\,920 - 2\,213\,750)$$

$$D = 7,02 \text{ roku}$$

Tento výpočet však udává pouze statistický pohled na investici. Neuvažuje se v něm ani s faktorem času, ani s časovou hodnotou peněz. Pro přesnější výpočet budoucích přínosů z provozu bioplynové stanice lze použít vztah který vyjadřuje tzv. čistou současnou hodnotu hotovostních toků (net present value).

Čistá současná hodnota

$$\text{ČSH} = \sum^N P_n \cdot (1 + i)^{-n} - K \quad [\text{Kč}]$$

P_n – peněžní příjmy v jednotlivých letech

n – léta do konce životnosti

i – úrok

N – doba životnosti

K – kapitálový výdaj

$(1 + i)^{-n}$ - diskontní faktor, odúročitel

Rentabilita (výnosnost) investice

$$R = RV/I$$

RV – průměrný roční výnos

$$R = 4\,024\,920 / 12\,693\,664 = \mathbf{0,317}$$

I – investiční náklady

Shrnutí

Z výpočtu návratnosti investovaných prostředků plyne, že bez státní podpory je rentabilita investice poměrně nízká. V současné době lze využít program podpory ministerstva průmyslu, zemědělství a životního prostředí. Podpora je 50% maximálně 30 mil. Kč. Při využití této podpory v plné výši se zkrátí doba návratnosti investice na polovinu a investice se tak stává rentabilní. Pro snížení návratnosti investice je také velmi výhodná možnost využití odpadního tepla z kogenerační jednotky.

V zásadě pro bioplynové stanice platí, že doba návratnosti investice do 5 let je výborná, do 10 let provozu je ještě přijatelná. Do 15 až 20 let dosáhne konce životnosti mnoho hlavních prvků bioplynové stanice, proto je třeba kalkulovat vyšší náklady na opravy a rekonstrukce.

ZÁVĚR

Bioplynové technologie v posledních letech v České republice zažívají nebývalý rozkvět. Zájem investorů nejen ze zemědělství je dán především podporou státu v oblastech výroby elektrické a tepelné energie z obnovitelných zdrojů a trvale se zvyšujícími výkupními cenami elektrické energie vyrobené tímto způsobem. Dalším významným faktorem je trvalá osvěta odborníků v této oblasti a bioplynové stanice se tak postupně zbavují svého cejchu zapáchající nevhledné stavby konkurující živočišné výrobě a celkové nedůvěry zejména ze strany starších, tradičních zemědělců. Mnozí již pochopily, že v době, kdy výrazně kolísají jednak ceny vstupů do zemědělské výroby, jednak výkupní ceny výstupů a výkupní ceny mléka v mnohých oblastech spadly pod výrobní náklady, je investice do bioplynové stanice s garantovanými výkupními cenami elektrické energie po dobu 15 let tím možná jediným způsobem, jak zachovat zemědělský provoz vitální.

V této práci byla navržena bioplynová stanice pro malý zemědělský výrobní subjekt – rodinnou farmu hospodařící na ploše asi 200 ha. Toto zařízení bude zpracovávat exkrementy od 147 dobytčích jednotek a kofermentovat je s kukuřičnou siláží v celkovém množství okolo 6700 tun ročně. BPS je navržena jako standardní průtočný systém s fermentorem uspořádaným jako kruh v kruhu. Vyroběný bioplyn bude zpracováván v kogenerační jednotce společnosti Tedom o výkonu 120 kW elektrické energie. Veliká pozornost byla při návrhu věnována dávkovacímu zařízení na dávkování kofermentů do fermentoru. Výběrové řízení ukázalo jako nejvhodnější stacionární míchací zařízení Trioliet Solomit ISTAT a mokrý způsob dávkování pomocí zařízení QuickMix. Toto zařízení společnosti Vogelsamg GmbH je na trhu novinkou a získalo ocenění na veletrhu v Hannoveru 2008. Má schopnost nejen dávkovat kofermenty přímo do dopravované kejdy a omezovat tak jejich vyplavávání, ale také drtí a dezintegruje větší části a snižuje tak dobu zdržení materiálu a zvyšuje měrnou výtěžnost bioplynu. Progresivně

také bylo navrženo skladování vyfermentovaného digestátu v úchovném vaku Flexistore od firmy Wiefferink. Oproti standardnímu skladování v zemních či nadzemních jímkách je tento způsob výrazně levnější a z hlediska pachové zátěže okolí (což může být při získávání stavebního povolení a provozování BPS problém) se jedná o ideální řešení. Vak tvoří hermeticky uzavřený celek a za určitých podmínek by mohl sloužit i jako dodatečný plynojem.

Ekonomické zhodnocení návrhu ukázalo, že i pro malý výrobní subjekt se může bioplynová stanice stát významným zdrojem příjmů s dobou návratnosti porovnatelnou s daleko většími zařízeními tohoto charakteru. Vypočítaná návratnost investice 7 let spadá ještě do optimálních hodnot. Není však kalkulována státní dotace některého z fondů ministerstva životního prostředí, průmyslu či zemědělství, která by dobu návratnosti investovaných prostředků příznivě snížila. Problémem při financování výstavby může být nižší dostupnost vlastních finančních prostředků, než je tomu u velkých zemědělských celků a také nižší schopnost dosáhnout na finanční zdroje vyčleněné pro tento účel státem, popřípadě Evropskou unií a výrazně tak zkrátit dobu návratnosti investovaných prostředků. Přesto však je třeba právě malým farmám umožnit získávat dotace a finanční půjčky na takovéto projekty. Důvodem je velký počet takovýchto podniků oproti velkým družstvům a společnostem a jejich rovnoměrné rozmístění po území našeho státu.

Seznam použité literatury

- [1] Pastorek, Z. – Kára, J. – Jevič, P.: Biomasa – obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC public, 2004. 288 str. ISBN 80-86534-06-5.
- [2] Shulz, H. – Eder, B.: Bioplyn v praxi. Ostrava: HEL, 2004. 168 str. ISBN 80-86167-21-6.
- [3] Vlk, V. Obnovitelné zdroje jako součást energetického mixu, 2009 [online]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz-obnovitelne-zdroje-energie/odborne-clanky/obnovitelne-zdroje-energie> [cit. 2009-04-06].
- [4] BIOM [online]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz-bioplyn/odborne-clanky/v-cem-se-lisi-zemedelska-a-komunalni-bioplynova-stanice-zamysleni-u-prilezitosti-otevreni-bioplynovy-stanice-v-krasne-hore> [cit. 2009-04-06].
- [5] ČSZE [online]. Dostupné z: <http://www.csze-eurelectric.cz/clanek.php?kat=2&subkat=3&id=713> [cit. 2007-02-20].
- [6] Motlík, J. a kol.: Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR. Praha: ČEZ 2007. 183 str.
- [7] Gamapolis [online]. Dostupné z: <http://www.gamapolis.cz/bio1.html> [cit. 2007-02-25].
- [8] Sattler thinking high TEX [online]. Dostupné z: <http://www.sattler-europe.com/sattler-web/en/> [cit. 2008-05-20].
- [9] Agroweb [online]. Dostupné z: http://www.agroweb.cz/rostlinna-vyroba/Biomasa-jako-energie-i-material__s44x25011.html [cit. 2009-01-20].
- [10] BAČÍK, Ondřej: Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu. Biom.cz [online]. 2008-01-14 [cit. 2009-04-23]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-bioplyn/odborne-clanky/bioplynovy-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu>>. ISSN: 1801-2655.

- [11] Nároky na kvalitu a konzervaci kukuřičné siláže na bioplyn [online].
Dostupné z: <http://www.zea.cz/kukurice/naroky-na-kvalitu-a-konzervaci-kukurice-silaze-na/> [cit. 2009-01-20].
- [12] WELltec BioPower [online]. Dostupné z: <http://www.weltec-biopower.cz/priklad.php> [cit. 2009-02-20].
- [13] PUMPE Agrartechnik [online]. Dostupné z:
http://www.pumpegbh.de/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=115 [cit. 2009-04-02].
- [14] FLIEGL Agrartechnik [online]. Dostupné z: <http://www.fliegl-fahrzeugbau.de/content/index.cfm/fuseaction/0,dsp,0,3,0,0,1,0,Fliegl-Agrartechnik.html> [cit. 2009-04-02].
- [15] Agroweb [online]. Dostupné z: http://www.agroweb.cz/zivocisnavyroba/Stribro-za-novinky-v-Hannoveru__s45x19227.html [cit. 2009-02-20].
- [16] SCHAUMANN-úspěch ve stáji [online]. Dostupné z:
<http://www.schaumann.cz/bioplyn/zvyseni-produkce/delka-rezanky/> [cit. 2009-04-02].
- [17] KÁRA, Jaroslav, PETŘÍKOVÁ, Vlasta: Krmný šťovík a jeho využití pro výrobu bioplynu. Biom.cz [online]. 2007-11-27 [cit. 2009-04-22].
Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/krmny-stovik-a-jeho-vyuziti-pro-vyrobu-bioplynu>>. ISSN: 1801-2655.
- [18] SLAVÍK, Josef: Bioplynové elektrárny Agri Fair. Biom.cz [online]. 2008-11-03 [cit. 2009-04-23]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-bioplyn/odborne-clanky/bioplynove-elektrarny-agri-fair>>. ISSN: 1801-2655.
- [19] AGRIFAIR[online]. Dostupné z:
<http://www.agrifair.cz/component.php?cocode=section&seid=313> [cit. 2009-14-03].

- [20] KH-Kinetic [online]. Dostupné z: <http://www.kh-kinetic.cz/home/pdf/62a.pdf> [cit. 2009-04-03].
- [21] AGROTEL [online]. Dostupné z: <http://www.agrotel.eu/produktauswahl/biogas/behaelterabdeckungen.html> [cit. 2009-04-03].
- [22] WIEFFERING [online]. Dostupné z: http://www.wiefferink.nl/CM/PAG000002305/Home_Tjech.html [cit. 2009-04-03].
- [23] MUŽÍK, Oldřich, SLEJŠKA, Antonín: Možnosti využití anaerobní fermentace pro zpracování zbytkové biomasy. Biom.cz [online]. 2003-07-14 [cit. 2009-04-23]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.
- [24] Richter, R. a kol.: Organická hnojiva a jejich postavení v zemědělské praxi. [online]. Dostupné z: http://old.mendelu.cz/~ryant/publikace/Organicka_hnojiva_02.htm [cit. 2009-02-20].
- [25] MaS Co je siláž. [online]. Dostupné z: <http://www.akaska.cz/sdruzeni-ms/co-je-silaz.php> [cit. 2009-04-15].
- [26] Straka, F. a kol.: Optimalizace vsázek pro bioplynové stanice při použití biomasy, živočišných odpadů nebo dalších možných vedlejších živočišných produktů. Technická zpráva ÚVP č. 781/128/12, 2007. 31 str.
- [27] TZBINFO [online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=5550> [cit. 2009-04-05].
- [28] Agroweb [online]. Dostupné z: http://www.agroweb.cz/zivocisnavyroba/Zpracovani-odpadu-na-bioplyn__s45x24963.html5550 [cit. 2009-04-05].

- [29] PASTOREK, Zdeněk, KÁRA, Jaroslav: Suchá fermentace zemědělských a komunálních organických materiálů. Biom.cz [online]. 2003-09-29 [cit. 2009-04-22]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/sucha-fermentace-zemedelskych-a-komunalnich-organickych-materialu>>. ISSN: 1801-2655.
- [30] Firemní literatura TEDOM Třebíč, ČR.
- [31] Firemní literatura SATTLER, Rakousko
- [32] Firemní literatura Hugo Vogelsang Maschinebau GmbH, DE
- [33] Firemní literatura TRIOLIET, Holandsko
- [34] Firemní literatura B.STRAUTMAN GmbH, DE
- [35] Firemní literatura KONRAD PUMPE GmbH, DE

Seznam tabulek

- Tab. 1 Obnovitelné zdroje energie – skutečnost a cíle*
- Tab. 2 Produkce výkalů kategorií skotu*
- Tab. 3 Převod kategorií skotu na dobytčí jednotku*
- Tab. 4 Měrná produkce metanu z fytomasy*
- Tab. 5 Množství vstupních surovin pro návrh BPS*
- Tab. 6 Technické parametry TRIOLIET Solomit 1 STAT*
- Tab. 7 Nezbytná doplňková výbava pro typ Solomix 1 STAT :*
- Tab. 8 Technické parametry TRIOLIET 2 STAT*
- Tab. 9 Nezbytná doplňková výbava pro typ Solomix 2 STAT:*
- Tab. 10 Cenová kalkulace vybraných typů BIOMIX*
- Tab. 11 Doplnující vybavení zařízení BIOMIX*
- Tab. 12 Vhodnost daného zařízení pro navrhovaný provoz (známky 1-3)*
- Tab. 13 Porovnání způsobů dávkování kofermentů (známky 1, 2)*
- Tab. 14 Energie pro vyrovnání tepelné ztráty ($\lambda = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$; $T = 7^\circ\text{C}$)*
- Tab. 15 Specifická potřeba tepla pro proces ohřívání substrátu*
- Tab. 16 Typy a parametry kogeneračních jednotek TEDOM*
- Tab. 17 Motor KGJ Cento 120 SP*
- Tab. 18 Generátor KGJ Cento 120 SP*
- Tab. 19 Základní vlastnosti materiálů vhodných pro anaerobní fermentaci*
- Tab. 20 Sledované hodnoty vstupních materiálů*
- Tab. 21 Přehled praktických výtěžků CH_4 vztažených na jednotku org. suš.*
- Tab. 22 Měřicí rozsahy analyzátoru plynů*

Seznam obrázků a grafů

- Obr. 1 Fóliový zásobník – polštář*
- Obr. 2 Fóliový zásobník - válec*
- Obr. 3 Plynojem – střecha fermentoru (schéma + realizace)*
- Obr. 4 Vyhřívání substrátu*
- Obr. 5 Umístění farmy na mapě*
- Obr. 6 Uspořádání farmy*
- Obr. 7 Schéma plnění fermentoru kofermenty*
- Obr. 8 Dávkování pevného substrátu*
- Obr. 9 Míchací a dávkovací zařízení TRIOLIET 1 STAT*
- Obr. 10 Míchací a dávkovací zařízení TRIOLIET 2 STAT*
- Obr. 11 Stacionární míchací zařízení Strautmann BIOMIX*
- Obr. 12 Dávkovací zařízení a míchací šnek BIOMICHER*
- Obr. 13 QuickMix*
- Obr. 14 X-Ripper – princip*
- Obr. 15 Schéma zapojení zařízení X-Ripper*
- Obr. 16 Stavba fermentoru – systém kruh v kruhu*
- Obr. 17 Fóliový plynojem vnitřního fermentoru*
- Obr. 18 Míchadlo na dlouhém hřídeli*
- Obr. 19 Ponorné míchadlo*
- Obr. 20 Lana proti klesnutí vnitřní membrány a systém uchycení vnější m.*
- Obr. 21 Průzor pro vizuální kontrolu fermentačního procesu*
- Obr. 22 Úchovný vak v krajině*
- Obr. 22 Kalová koncovka pro fekální vůz*
- Obr. 24 Spodní plnění vaku*
- Obr. 25 Kontrola těsnosti systému*
- Obr. 26 Vybavení řídicí místnosti BPS*

Obr. 27 Schéma plynojemu

Obr. 28 Analyzátor plynu AIR LF

Obr. 29 Malé laboratorní fermentory

Obr. 30 Velké laboratorní fermentory

Graf 1 Vývoj spotřeby elektřiny v OZE

Graf 2 Vliv délky řezanky siláže na výtěžnost plynu (Bath-test, 26 dní)

Graf 3 Kumulativní a denní produkce bioplynu v závislosti na době zdržení

Graf 4 Kumulativní produkce bioplynu z kukuřičné siláže