

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

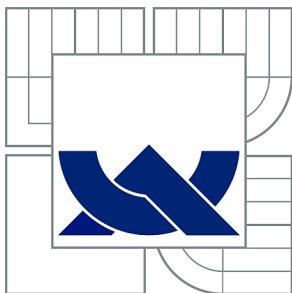
BIOPLYNOVÉ STANICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

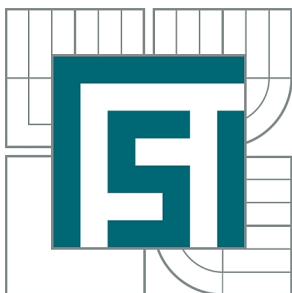
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

EVA HUDEČKOVÁ

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

BIOPLYNOVÉ STANICE

BIOGAS PLANTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

EVA HUDEČKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK FORTELNÝ

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Eva Hudečková

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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

Bioplynové stanice

v anglickém jazyce:

Biogas plants

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Seznámení se s problematikou fermentace se zaměřením na anaerobní technologii. Dále zhodnocení energetické a ekonomické bilance vybrané bioplynové stanice.

Cíle bakalářské práce:

1. Popsat fermentační technologii.
2. Přehled vstupních surovin do bioplynových stanic i s popisem jejich hlavních částí.
3. Možnosti zpracování produktů fermentace.
4. Zpracovat energetickou a ekonomickou bilanci vybrané bioplynové stanice v ČR.

Seznam odborné literatury:

1. Heinz Schulz, Barbara Eder: Bioplyn v praxi – Teorie - projektování – stavba zařízení – příklady, 1. české vyd. HEL, Ostrava 2004. 168 s. ISBN 80-86167-21-6 Ostrava Plesná, 2004.
2. CZ Biom: DESATERO BIOPLYNOVÝCH STANIC, 2007 dostupné z
<<http://www.czbiom.cz/data/Upload/PDF/Desatero%20bioplynovych%20stanic.pdf>>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Zdeněk Fortelný

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 15.12.2011



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou bioplynových stanic. V práci jsou popsány vstupní suroviny vhodné pro anaerobní fermentaci, popis procesu fermentace a jsou zde zmíněny základní prvky bioplynové stanice. V další části práce byla popsána vybraná stávající bioplynová stanice a byla zpracována její energetická a ekonomická bilance. V jednoduchosti byla vypočtena návratnost investice a její ekonomický přínos pro zemědělský podnik.

KLÍČOVÁ SLOVA

bioplynová stanice, anaerobní fermentace, bioplyn, fermentor, kogenerační jednotka

ABSTRACT

This thesis deals with biogas plants. In thesis are described suitable inlet feedstock for anaerobic fermentation, described proces of fermentation and there are mentioned basic elements of biogas plant. In next part of thesis was described concrete biogas plant and there were worked out energy and economic balance. In simplicity there were calculated return of investment and economic benefits for farm.

KEY WORDS

biogas plant, anaerobic fermentation, biogas, fermenter, cogeneration unit

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HUDEČKOVÁ, E. *Bioplynové stanice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Zdeněk Fortelný.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce Ing. Zdeňkem Fortelným a s použitím citované odborné literatury. Využity byly také podklady poskytnuté zemědělským podnikem Statek Dubinka s.r.o.

V Brně dne 21.5.2012

Eva Hudečková

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji mému vedoucímu bakalářské Ing. Zdeňkovi Fortelnému za přínosné konzultace při tvorbě bakalářské práce. Děkuji také panu Marku Doležalovi ze Statku Dubinka s.r.o. za umožnění prohlídky areálu bioplynové stanice a za ochotnou spolupráci.

Obsah

Obsah	1
1 Úvod	2
2 Výroba bioplynu	4
2.1 Teorie vzniku bioplynu	4
2.2 Metanové bakterie.....	5
2.3 Kvalita bioplynu	7
2.4 Přehled vstupních surovin do bioplynových stanic	8
3 Bioplynové stanice.....	10
3.1. Dělení bioplynových stanic	11
3.1.1 Dle způsobu kvašení.....	11
3.1.2 Dle druhu zpracovávaných surovin	11
3.1.3 Dle způsobu plnění fermentoru.....	12
3.1.4 Proces jedno či vícestupňový	13
3.2 Hlavní části bioplynové stanice	13
3.2.1 Homogenizační jímka	14
3.2.2 Míchání fermentoru	14
3.2.3 Ohřev	15
3.2.4 Fermentor	17
3.2.5 Plynojem	19
4 Možnosti zpracování produktů fermentace	21
4.1 Zbytkový substrát	21
4.2 Bioplyn.....	22
4.2.1 Přímé spalování	22
4.2.2 Kogenerace, trigenerace.....	22
4.2.3 Palivový článek.....	25
4.2.4 Prodej do plynovodní sítě	25
4.2.5 Využití pro pohon dopravní techniky a automobilů.....	25
5 Energetická a ekonomická bilance vybrané bioplynové stanice	27
5.1 Popis vybrané bioplynové stanice.....	27
5.2 Energetická bilance bioplynové stanice.....	30
5.3 Ekonomické posouzení	32
6 Závěr.....	35

1 Úvod

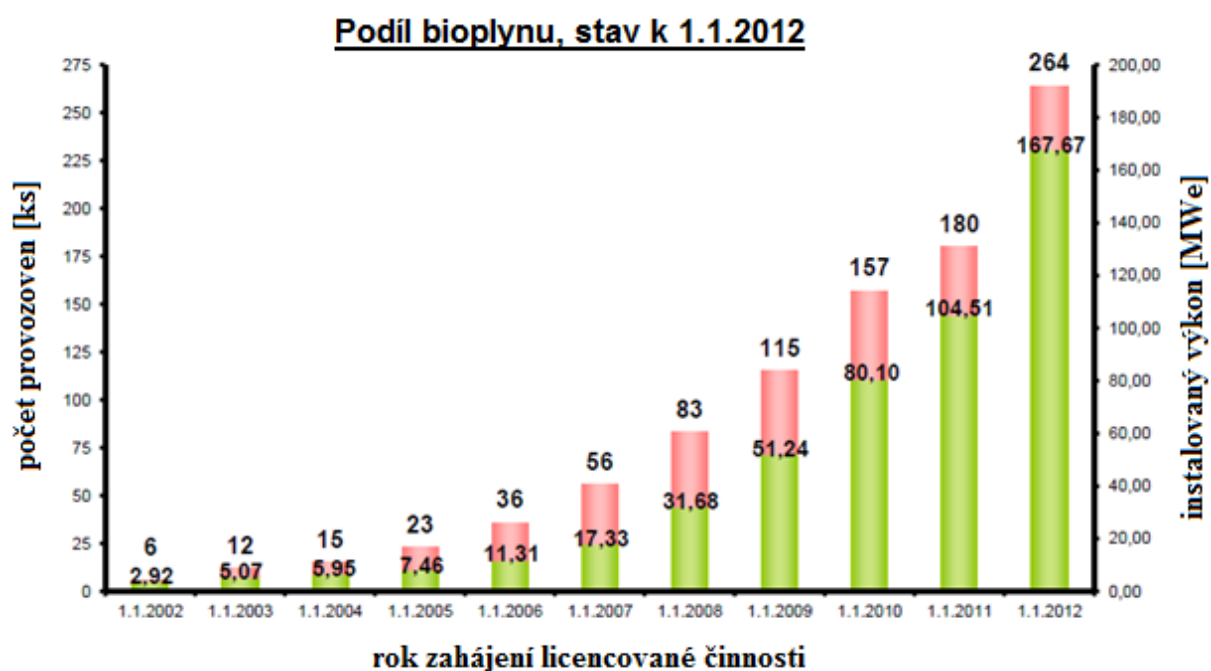
V dnešní době, kdy stále narůstají energetické nároky obyvatel a zároveň se klade důraz na ekologii, je nutné využívat dostupné obnovitelné zdroje energie (OZE). Mezi OZE patří také plyny, které vznikají vyhníváním organické hmoty. Jde především o kalový plyn, skládkový plyn a bioplyn.

Kalový plyn vzniká anaerobním rozkladem organických usazenin ve vodních nádržích, v močálech, v mořích, jezerech, rýžovištích, rašeliništích, ale i v biologickém stupni čistíren odpadních vod. Skládkový plyn vzniká za vhodných podmínek anaerobní fermentací na skládkách komunálního odpadu.

Tato práce je zaměřena na výrobu a využití bioplynu, který je řízenou anaerobní fermentací produkovan v bioplynových stanicích (BPS). Kromě skutečnosti, že je bioplyn obnovitelným zdrojem energie, je hlavním přínosem bioplynových stanic zejména efektivnější využití zemědělských zbytků a zbytků z komunální sféry.

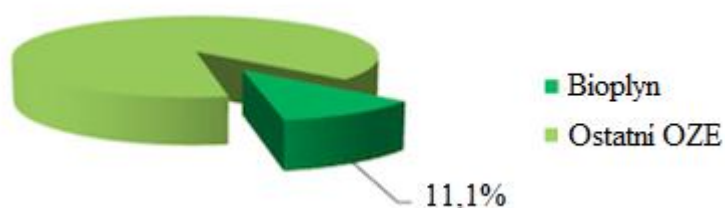
Zemědělské podniky si mohou vylepšit ekonomickou situaci prodejem elektrické energie vyrobené z bioplynu a vyhníly substrát využít jako kvalitní hnojivo. V komunální sféře, kde odpady obsahují velké množství vody, je anaerobní fermentace mnohdy energeticky i ekonomicky výhodnější než spalování vlhkých odpadů. Také v porovnání se skládkováním odpadů je anaerobní fermentace v BPS vhodnější. Při skládkování vzniká skládkový plyn obsahující metan, který patří k významným skleníkovým plynům. V BPS se téměř veškerý metan energeticky využije, metan neuniká do ovzduší a anaerobní fermentace v BPS je tak oproti skládkování ekologičtější.

Technologie anaerobní fermentace se v České republice využívá již od roku 1974, kdy byla v Třeboni postavena první bioplynová stanice. Tato BPS využívala převážně tekuté odpady z živočišné výroby [1]. Z okolních zemí mají velké zkušenosti s BPS zejména německé a rakouské zemědělské podniky. Například v Německu bylo na konci roku 2010 v provozu 5900 BPS s instalovaným elektrickým výkonem 2300 MW_e [2]. Pro srovnání v ČR bylo na začátku roku 2012 v provozu 264 BPS s instalovaným elektrickým výkonem 167,7 MW_e, jak ukazuje obr. 1. Zvláště pak v roce 2011 byl patrný významný nárůst počtu bioplynových stanic. Na nárůst počtu dokončených staveb mají vliv zejména investiční dotace poskytované státem. Další podporou pro BPS jsou garantované výkupní ceny elektrické energie a zelené bonusy.



Obr. 1 Nárůst počtu bioplynových stanic v České republice [3]

Celkově se v ČR výroba elektrické energie v BPS podílí na celkové výrobě elektřiny ze všech obnovitelných zdrojů energie 11,1 % (údaj z roku 2011), což naznačuje obr. 2.



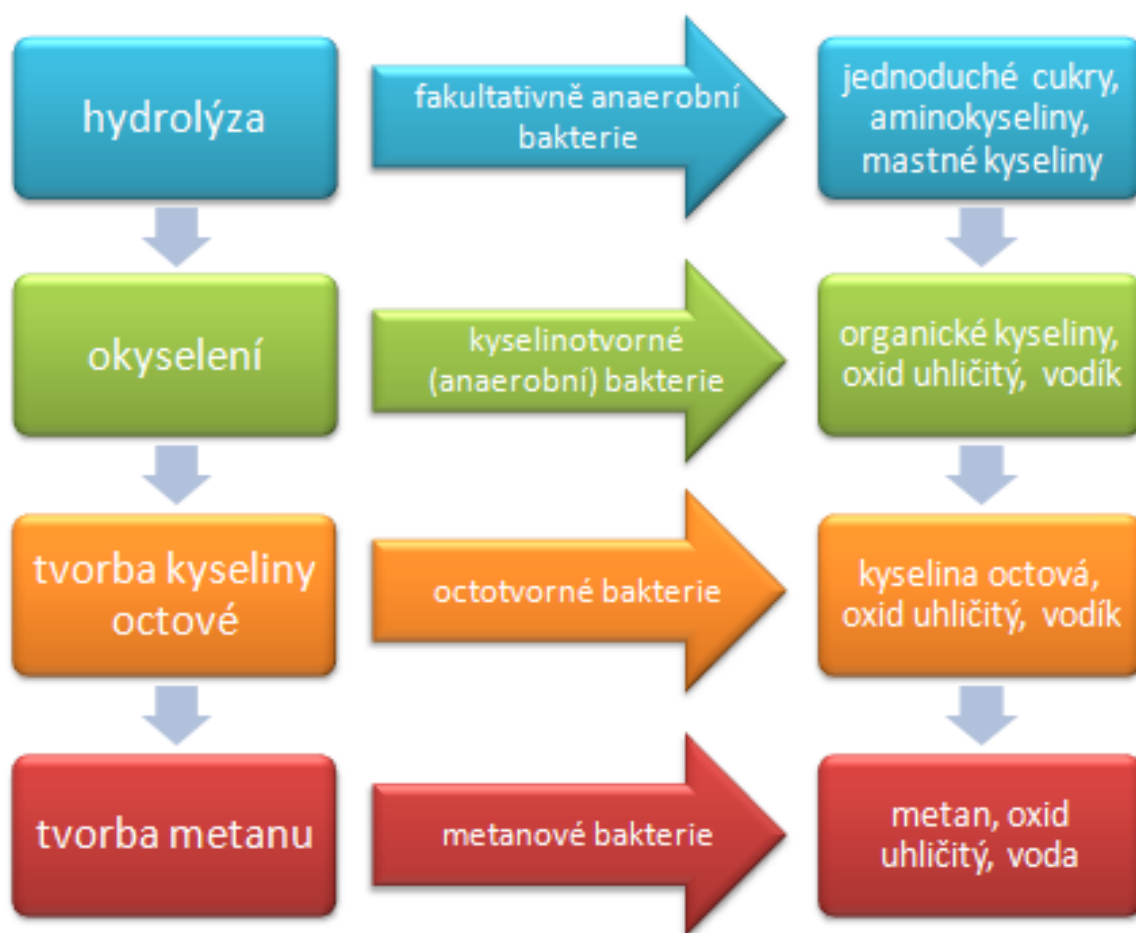
Obr. 2 Podíl bioplynu na celkové produkci elektrické energie v OZE v roce 2011[4]

2 Výroba bioplynu

2.1 Teorie vzniku bioplynu

Bioplyn (BP) je směs plynů, z nichž hlavní je metan a oxid uhličitý. Bioplyn je produktem látkové výměny metanových bakterií, které rozkládají organickou hmotu [5]. Tento proces rozkladu můžeme rozdělit na 4 základní fáze, které popisuje obr. 3.

První fází rozkladu je hydrolyza, při které se díky působení enzymů štěpí makromolekulární látky na jednodušší sloučeniny (jednoduché cukry, aminokyseliny, mastné kyseliny). Produktem této fáze je vodík a oxid uhličitý. Ve fázi okyselení acidofilní bakterie dále rozkládají substrát na organické kyseliny, oxid uhličitý, sirovodík a čpavek. Ve třetí fázi rozkladu dochází k dalšímu rozkladu kyselin a alkoholů za produkce kyseliny octové. Následně, až ve čtvrté fázi, z kyseliny octové, vodíku a oxidu uhličitého vytváří metanové bakterie metan. Jednotlivé fáze anaerobní digesce probíhají s odlišnou kinetickou rychlostí. Metanogenní fáze probíhá přibližně pětikrát pomaleji než předcházející tři fáze. Ve většině BPS však probíhají všechny čtyři fáze souběžně. Při dosažení stabilizované melanogeneze jde o dlouhodobě udržovanou rovnováhu mezi navazujícími procesy.



Obr. 3 Čtyři fáze procesu vyhnívání [5]

2.2 Metanové bakterie

Metanových bakterií je dnes známo asi 10 druhů, přičemž každý druh vyžaduje různý typ péče. Všechny však potřebují následující životní podmínky [5]:

Vlhké prostředí

Metanové bakterie mohou pracovat a množit se jen tehdy, když jsou substráty dostatečně zality vodou (alespoň z 50 %).

Zabránění přístupu vzduchu

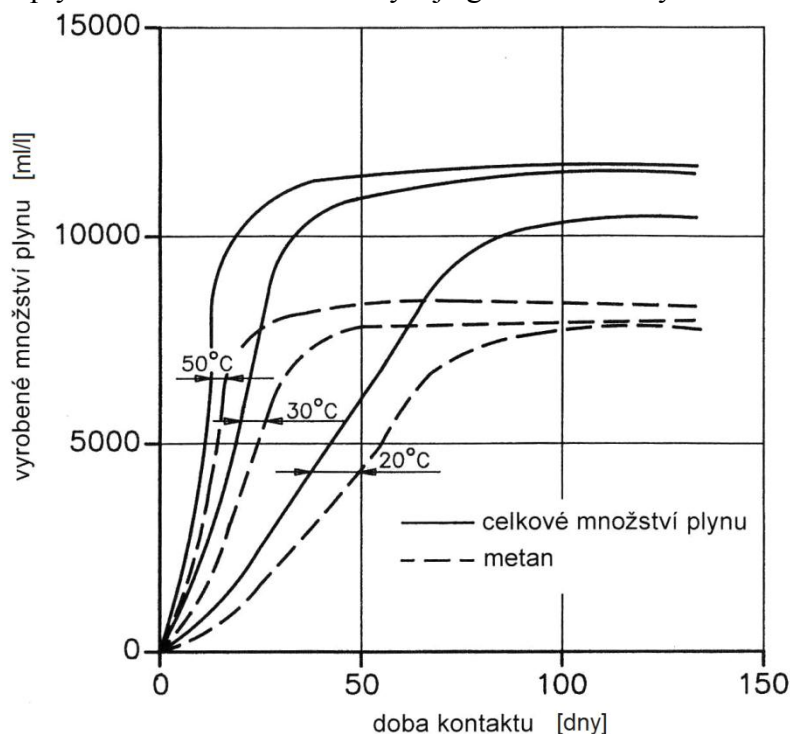
Metanové bakterie jsou striktně anaerobní. Je-li v substrátu přítomen kyslík, jako například v čerstvé kejdě, musejí ho bakterie nejprve spotřebovat.

Zabránění přístupu světla

Světlo sice bakterie neničí, ale brzdí proces tvorby metanu.

Stálá teplota

Metanových bakterie jsou nejvíce produktivní v rozmezí teplot 0 °C a 90 °C. Při teplotách nad horní hranici bakterie hynou, pod spodní hranici bakterie přežívají, avšak neprodukují metan. Rychlost procesu vyhnívání je na teplotě silně závislá. Platí čím vyšší je teplota, tím rychleji nastává rozklad a tím vyšší je produkce plynu, tím kratší je doba vyhnívání a tím nižší je obsah metanu v bioplynu. Tuto skutečnost zachycuje graf znázorněný na obr. 4.



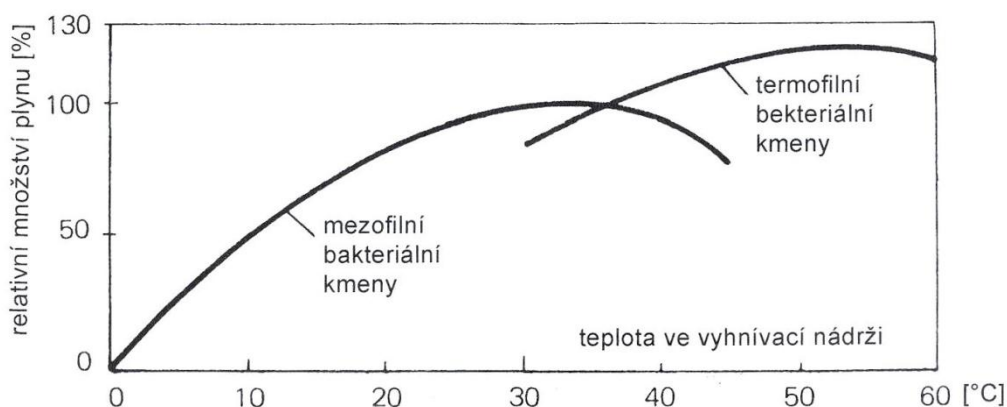
Obr. 4 Vliv teploty vyhnívacího procesu a doby kontaktu na množství a složení vyrobeného plynu [5]

Metanové bakterie můžeme rozdělit podle třech typických teplotních oblastí, které jednotlivým bakteriálním kmenům prospívají:

- psychrofilní kmeny (teploty pod 20 °C)
- mezofilní kmeny (teploty od 25 °C do 35 °C)
- termofilní kmeny (teploty nad 45 °C)

Čím vyšší teplota, tím citlivější jsou bakterie na teplotní výkyvy. U zařízení s výrobou elektrického proudu jsou kvůli velkému množství odpadního tepla z kogenerace fermentory provozovány při teplotách nad 40 °C.

Obr. 5 naznačuje citlivost metanových bakterií na změnu teploty ve fermentoru.



Obr. 5 Citlivost metanových bakterií na změnu teploty [5]

Hodnota pH

Hodnota pH by měla ležet okolo hodnoty 7,5. U kejdy a hnoje tato slabá alkalita nastává většinou samovolně ve 2. fázi vyhnívacího procesu vlivem tvorby amoniaku. U kyselých substrátů je třeba pro zvýšení hodnoty pH přidat vápno.

Přísun živin

V substrátu je třeba užívat hnoje a kejdy jakožto stálého základního substrátu a ostatních látek (tráva, kuchyňské odpadky, mláto, výpalky, syrovátka) jakožto přísad, aby se dosáhlo vyrovnaného poměru kyselosti a zásaditosti.

Velké kontaktní plochy

Látky určené pro vyhnívání musí být upraveny tak, aby vznikly velké dotykové plochy. Proto tedy slámu, trávu či bioodpad je nutné rozsekat, neboť by proces vyhnívání byl velmi dlouhý a materiál by vytvářel kalový strop.

Inhibitory

Vyhnívání může být zbrzděno, nebo dokonce úplně zastaveno zvýšenou koncentrací určitých druhů antibiotik, chemoterapeutik či desinfekčních prostředků.

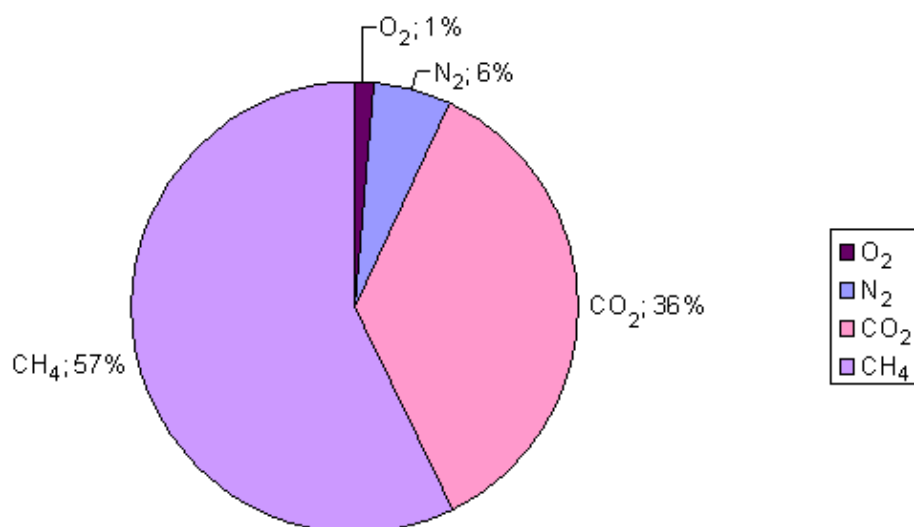
Dále je třeba dodržet maximální zatížení vyhnívacího prostoru (zabránit „překrmení“ bakterií), rovnoměrný přísun substrátu (jednou až dvakrát denně) a odplynování substrátu, které je zajištěno jeho promícháváním.

2.3 Kvalita bioplynu

Kvalita bioplynu je definována poměrem složky metanu (CH_4) ku nežádanému oxidu uhličitému (CO_2). Obvyklý podíl metanu v bioplynu se pohybuje v rozmezí 50 až 75 %. Přibližné procentuální zastoupení hlavních složek bioplynu je patrné z obr. 6.

Mezi další látky, které jsou v bioplynu obsaženy řadíme:

- amoniak NH_3
 - dusík
 - vodík
 - kyslík
- } obsah těchto složek je 6 – 8 %



Obr. 6 Podíl jednotlivých složek bioplynu

Bioplyn obsahuje také sirovodík H_2S . Jedná se o velmi agresivní, korozi způsobující látku. Přítomnost H_2S tedy způsobuje problémy na armaturách, plynoměrech, hořácích a motorech, proto je nutné plyn odsířit.

Metody odstraňování sirovodíku se soustřeďují buď na minimalizaci vzniku sirovodíku, nebo na odstraňování již vzniklého sirovodíku z bioplynu.

Metody odsiřování bioplynu

- Přidávání solí Fe ke zpracovanému substrátu. Tento způsob je účinný, ale prodražuje provoz vzhledem k relativně vysoké ceně solí a k produkci zvýšeného množství kalů.
- Udržování pH reaktoru na hodnotě 8, kdy je rozkládáno 90 % sirovodíku oproti 50 % při pH 7. Opět je nutné přivádět chemikálie - alkalizační činidla.
- Absorpční metoda využívá k odstranění sirovodíku prací kapaliny, ve kterých se sirovodík dobře rozpouští. Typickou látkou absorpční metody je například metanol.[6]
- Při adsorpční metodě se sirovodík zachycuje na pevných absorbentech (aktivní uhlí, oxidy a hydroxidy kovů, ...) [6]
- Biologická oxidace sirovodíku je řízena dodávkou vzduchu nebo O_2 přímo do anaerobního reaktoru, kde se v určitých místech vytvoří mikroaerobní podmínky. Sirovodík se biologicky oxiduje pomocí sírných bakterií a vzniká tak elementární síra.

Podle potřeby můžeme z bioplynu dále odstraňovat kapaliny a prach, halogenové uhlovodíky nebo oxid uhličitý [7].

Odstranění kapalin a prachu

Pro tento účel se využívají různé filtry a cyklony. Pouze v případech, kdy je vyžadováno vysokého stupně čištění je vhodné využít dražší způsoby, jako například vymrazování, adsorpce a tlakové sušení.

Odstraňování halogenových uhlovodíků

Nejúčinnější metodou k odstranění chlorovaných uhlovodíků je adsorpce na aktivním uhlí nebo jiné adsorpční metody.

Odstranění CO₂

Nejjednodušším způsobem odstranění CO₂ je vypírka tlakovou vodou. Mezi další metody patří sorpce CO₂ v alkalických roztocích a separace na selektivních membránách.

2.4 Přehled vstupních surovin do bioplynových stanic

Bioplynové stanice nám umožňují využít řadu surovin a bioodpadů. Z technologického hlediska můžeme rozdělit zpracování surovin na aerobní a anaerobní.

Aerobní zpracování biologicky rozložitelného odpadu, neboli kompostování, je biologická metoda, při které reakce probíhají za přítomnosti vzduchu. Aerobní zpracování je zvláště vhodné pro pevné, členité materiály, jako klestí z ořezu stromů a keřů.

Anaerobní zpracování surovin je technologie, při níž reakce probíhá za nepřítomnosti kyslíku. Ideálními materiály pro fermentaci (zkvašení) jsou naopak mokré suroviny jako například kejda, zbytky jídla nebo tuky [5]. Bioplynové stanice fungují na principu kvašení, a proto se dále zaměřím pouze na anaerobní zpracování surovin.

V bioplynových stanicích je možné efektivně zpracovat širokou škálu bioodpadů a surovin, včetně takových, které jsou jinak obtížně zpracovatelné.

Vstupní suroviny vhodné pro fermentaci jsou např.:

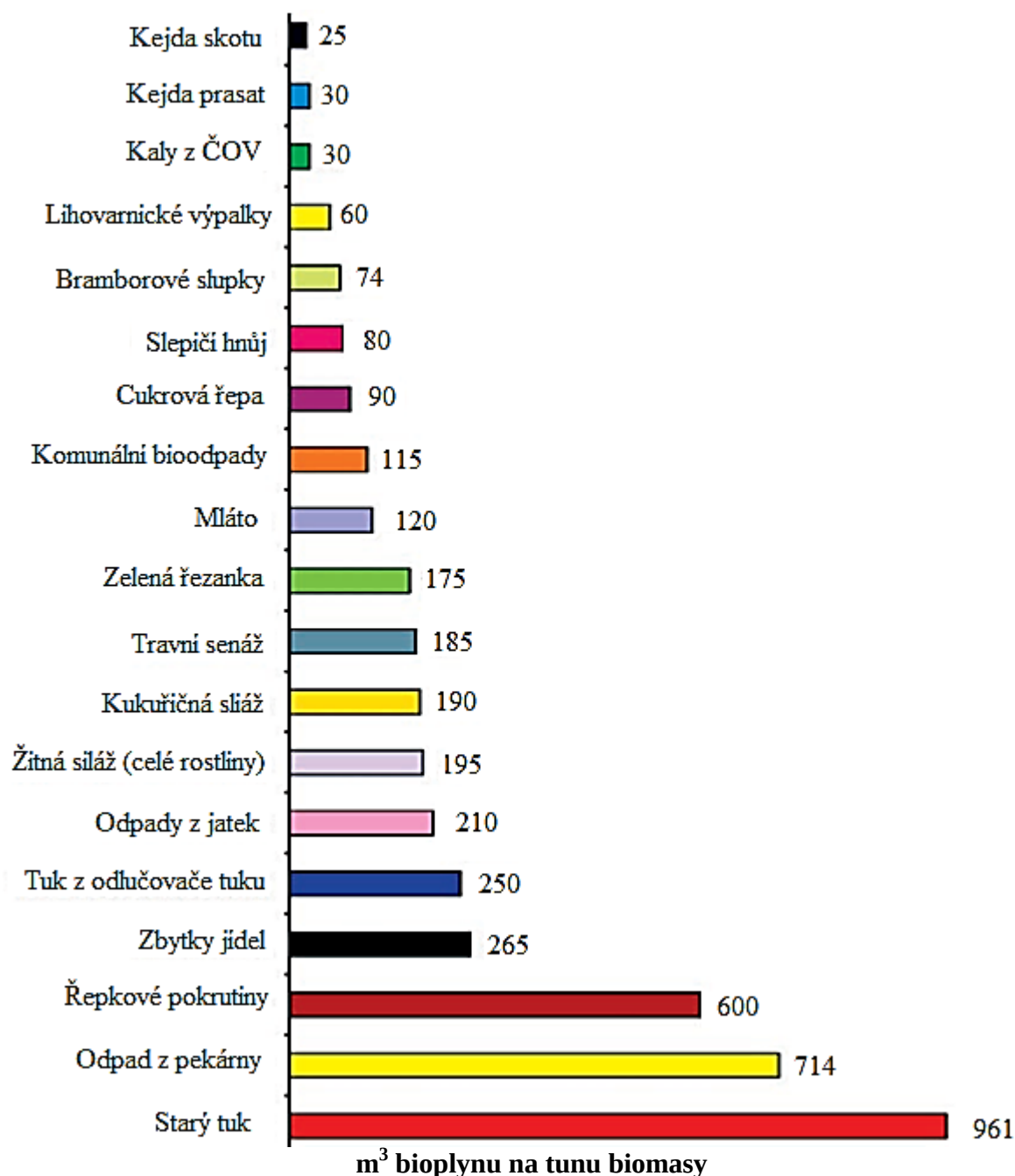
- bioodpady z údržby veřejné zeleně
- bioodpady z domácností a ze zahrad
- prošlé potraviny a bioodpady ze supermarketů
- zbytky z jídelen a restauračních zařízení

Ať se jedná o potraviny z domácností, či stravovacích provozů, mezi potraviny vhodné pro fermentaci patří pečivo, knedlíky, brambory, těstoviny, kávový lógr, čaje, ořechy, vejce, ovoce, zeleniny a podobně. Listí, zvadlé květiny, trusy a podestýlky domácích zvířat, zeminy z květináčů, zahrad také řadíme mezi vhodný bioodpad.

- bioodpady z podnikatelských provozů (pekárny, lihovary, pivovary, cukrovary, masokombináty)
- odpady z chovu hospodářských zvířat (kejda, hnůj, podestýlky atd.)
- cíleně pěstovaná biomasa (např. kukuřice, řepa, senáž)
- kaly z čistíren odpadních vod [4]

V pekárnách, pivovarech nebo například cukrovarech vzniká při výrobě odpad, který je pro provoz dále nevyužitelný, avšak pro BPS je zajímavou surovinou pro vyhnívání. Je

zřejmé, že bioplynová stanice má velké množství výběru vstupních surovin. Jiné množství plynu vyprodukuje bioplynová stanice z tuny senáže, kukuřičné siláže, lihovarnického mláta či například odpadů z jatek. Nejméně plynu se vyprodukuje z hovězí či prasečí kejdy, kalů čistíren odpadních vod, dále z produktů z lihovarů, cukrové řepy aj. Naopak největší výnosnost bioplynu získáme ze surovin s vysokým obsahem tuku. Mezi tyto suroviny můžeme řadit starý tuk, pekárenské odpady, pokrutiny z vylisované řepky aj. Tuto skutečnost naznačuje obr. 7, na kterém jsou znázorněny výnosnosti plynu z různých materiálů.



Obr. 7 Výnosnost bioplynu [8]

Při volbě vstupního materiálu musíme vzít v úvahu také svozovou vzdálenost, ze které budeme vstupní suroviny přivážet do BPS. Svozová vzdálenost je odlišná pro různé vstupní suroviny. Pokud provozujeme zemědělskou BPS, je velmi vhodné, aby byla stanice přímo

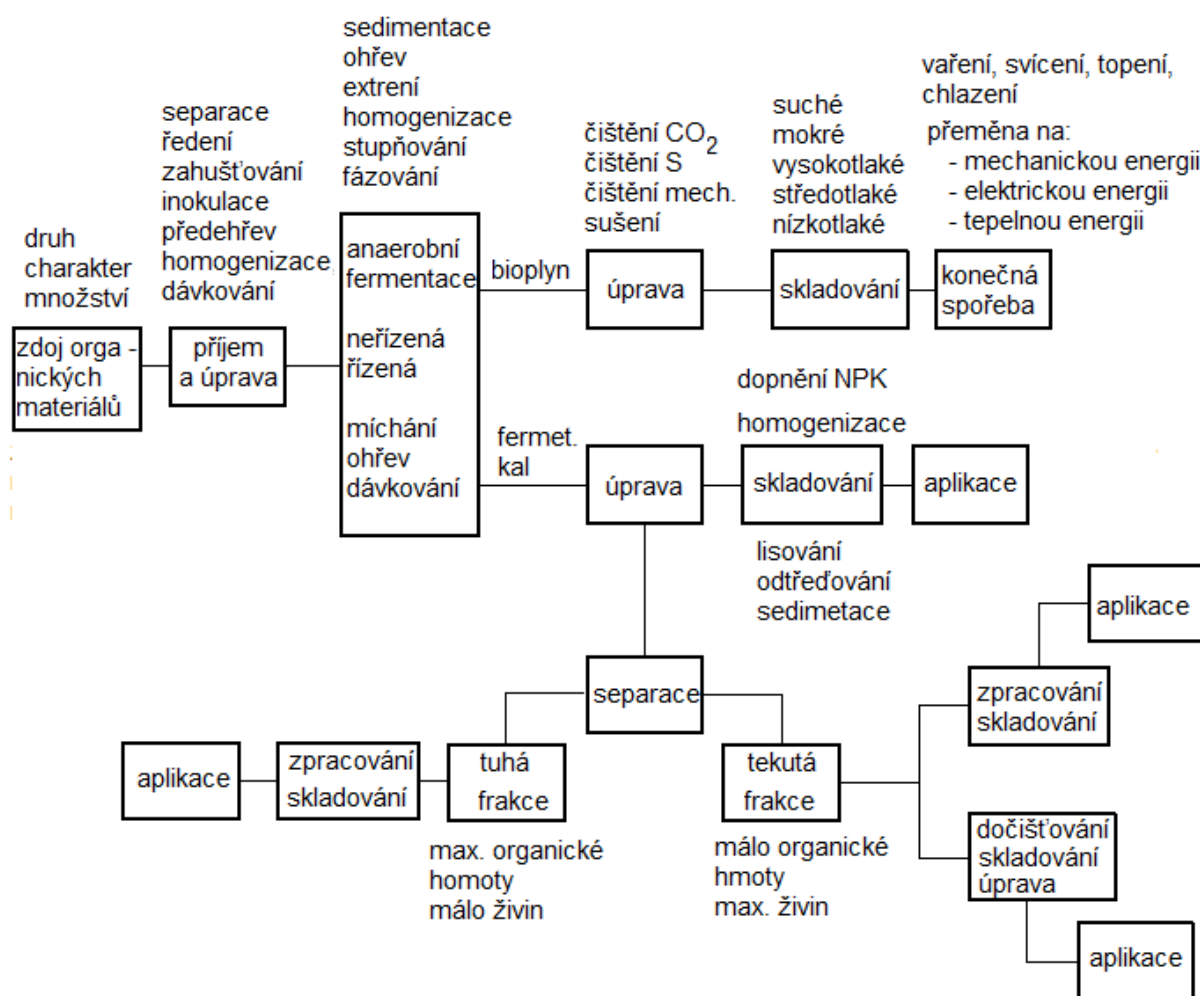
v areálu zemědělského podniku. V tomto případě se minimalizují náklady na dopravu, což je velmi přínosné, neboť výtěžek plynu ze statkových hnojiv není nikterak velký.

Naopak u cíleně pěstovaných surovin, jako je např. kukuřice, řepa, či senáž, může svozová vzdálenost dosahovat i 20 km. Náklady spojené s dopravou jsou kompenzované velkou výtěžností bioplynu [8].

3 Bioplynové stanice

Každá bioplynová stanice se skládá ze základních technických uzlů, které nám schématicky znázorňuje obr. 8. Strojní linka pro anaerobní fermentaci organických materiálů může mít mnoho variant podle toho, jaký materiál využívá a jak je tento materiál zpracováván před vstupem do hlavní části bioplynové stanice – fermentoru. Lišit se může i podle způsobu nakládání s vyhnílym materiálem a podle využití bioplynu.

Do BPS vstupují suroviny blíže popsané v kapitole 2.4. Tyto vstupní materiály, je-li to nutné, jsou před zavedením do fermentoru upravovány. Mohou být např. ředěny, nebo naopak zahušťovány, homogenizovány apod. Při vlastní fermentaci musí být materiál průběžně ohříván a promícháván. Bioplynovou koncovku a kalovou koncovku blíže popisuje kapitola 4.2.

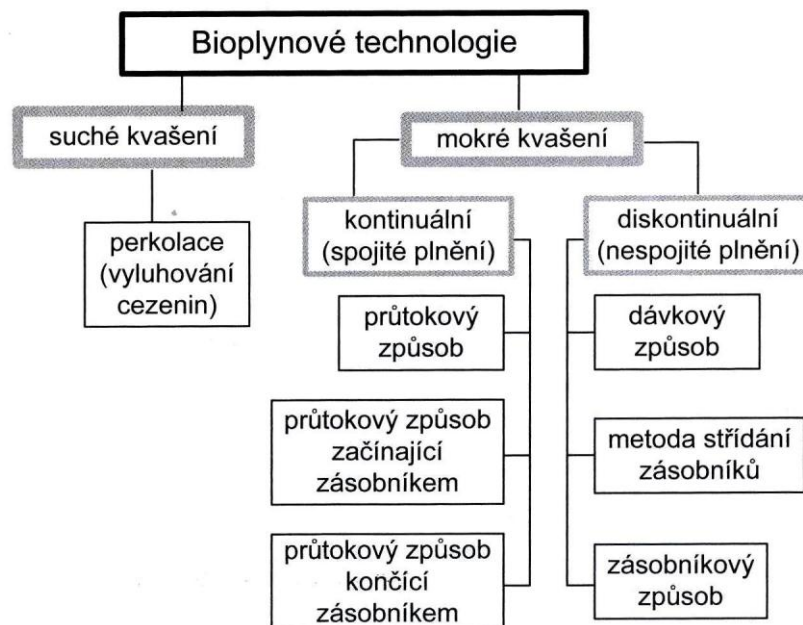


Obr. 8 Schéma jednotlivých uzlů bioplynové stanice [9]

3.1. Dělení bioplynových stanic

3.1.1 Dle způsobu kvašení

Podle druhu zpracovávaného materiálu můžeme bioplynové technologie rozdělit na procesy se suchým kvašením a procesy s mokřým kvašením, jak je zřejmé z obr. 9.



Obr. 9 Dělení bioplynové technologie podle konzistence substrátu [5]

Suché kvašení

Technologie suché fermentace zpracovává substráty o sušině 30 až 35 %. Zpravidla jde o aplikace mezofilního anaerobního procesu s rozsahem používaných reakčních teplot 32 až 38 °C. Optimální pH se pohybuje mezi 6,5 - 7,5 pH. V zásadě lze rozdělit technologie na diskontinuální (vsázkové) a kontinuální. Diskontinuální technologie suché fermentace sestává z několika reakčních komor (kovový kontejner nebo zděná komora s plynotěsnými vraty) a meziskladu. Doprava zpracovávaného materiálu do komor a z nich je zpravidla prováděna běžnou manipulační technikou (např. traktor s radlicí). Cyklus diskontinuálního procesu začíná vyprázdňením a znovu naplněním reakčních komor. Start reakce trvá přibližně 3 dny a vlastní reakce a produkce bioplynu trvá přibližně 24-27 dnů. Proces je řízen dávkováním procesní tekutiny [10].

Mokré kvašení

Nejpoužívanější technologií výroby BP je tzv. mokrá fermentace, která zpracovává substráty s výsledným obsahem sušiny < 12%. Mokrá anaerobní fermentace probíhá v uzavřených velkoobjemových nádobách, tzv. fermentorech. Mokré kvašení můžeme dále rozdělit podle způsobu plnění na spojitě a nespojitě plnění [10].

3.1.2 Dle druhu zpracovávaných surovin

Zemědělské (farmářské) BPS

Tyto bioplynové stanice zpracovávají vstupy ze zemědělské prvovýroby, tzn. statková hnojiva (keřda, hnůj) a energetické plodiny (např. kukuřice). Tento typ BPS je v ČR nejrozšířenější.

Lze říci, že právě zvířecí exkrementy jsou základem krmné dávky. Měrnou produkcí bioplynu patří exkrementy mezi podprůměrně vydatné materiály, ale zato vznikají na jednom místě v relativně velkém množství. Exkrementy obsahují kmeny bakterií, které se podílejí na rozkladu surovin ve fermentoru a na vzniku bioplynu. Nejčastěji využívanou surovinou je již zmiňovaná kukuřičná siláž. Je však vhodné při zpracovávání kombinovat více plodin, ať už z důvodu nepříznivého ročníku dané suroviny nebo například z důvodu propadu cen u plodin pěstovaných za jiným účelem. Své zastoupení si také získala travní senáž. Pro její zpracování musíme mít mírně odlišné zařízení, jedná se např. o robustní promíchávání. V České republice i v Německu již fungují bioplynové stanice provozované převážně na travní senáž [5, 11, 12].

Kofermentační BPS

Zpracovávají výhradně, nebo v určitém podílu, rizikové vstupy, např. jateční odpady, kaly z čistíren odpadních vod, tuky, masokostní moučku, krev z jatek apod. Pro fermentaci těchto vstupů je nezbytné pečlivě zvolit technologii zařízení a zpracovat kvalitní provozní řád zařízení. Povolovací proces by měl být v těchto případech přísnější [12].

Komunální BPS

Tento druh bioplynových stanic je zaměřen na zpracování komunálních bioodpadů. Jedná se zejména o odpady z údržby zeleně, vytríděných bioodpadů z domácností a restaurací a jídelen. Při zpracovávání tříděných odpadů z domácností je nutné, aby BPS obsahovala technologie na mechanickou úpravu vstupů. Ty nám zabrání, aby se do procesu vyhnívání dostaly nečistoty jako např. kovy, plasty aj. [11,12]

3.1.3 Dle způsobu plnění fermentoru

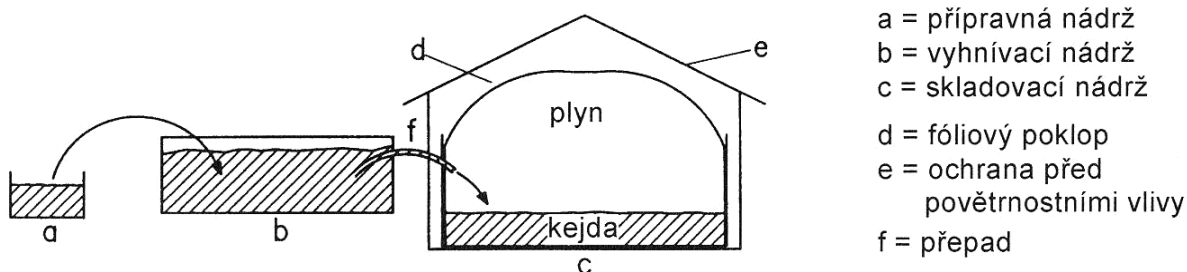
- **Diskontinuální způsob** (dávkový, s přerušovaným provozem, cyklický)

Doba jednoho pracovního cyklu je stejná jako doba zdržení materiálu ve fermentoru. Vyhnívací nádrž je tedy naplněna najednou. Dávka v ní pak vyhnívá do konce doby kontaktu, aniž by se substrát přidával nebo odebíral. Po skončení doby kontaktu se vyhnívací nádrž vyprázdní najednou. Doba kontaktu se pohybuje v rozmezí několika dnů až týdnů. Tato doba závisí na druzích a úpravě materiálů ve fermentoru. Ve fermentoru se však zanechá podíl vzniklého kalu (5 až 10 %). Tento kal nám naočkuje novou dávku „zpracovanými“ bakteriemi. Pro naplňování a vyprazdňování dávkového fermentoru v jednom kroku je nutné mít vedle dávkového fermentoru dvě další nádrže (přípravnou a skladovací) o stejných rozměrech jako fermentor. Tato skutečnost tento postup prodražuje. Nevýhodou je také dlouhá doba přemístění obsahu z přípravné nádrže do vyhnívací. Dochází tak ke ztrátám již vznikajícího metanu a dusíku v přípravné nádrži. Z těchto důvodů se v praxi tento způsob nevyužívá, kdežto v laboratorní praxi se s ním pracuje ve většině případů.

Velikou výhodou je hygienické hledisko. Při tomto způsobu plnění nemůže čerstvý substrát kontaminovat substrát zbavený choroboplodných zárodků, neboť je zpracovaný substrát z fermentoru přemístěn před vsazením čerstvého materiálu [5,9,13].

- **Semikontinuální** – doba mezi jednotlivými dávkami je kratší, než je doba zdržení ve fermentoru. Materiál se obvykle dávkuje jedenkrát až čtyřikrát za den. Materiál vstupující semikontinuálně do fermentoru má minimální vliv na změnu pracovních parametrů fermentoru (teplota, homogenita). Technologický proces lze snadno automatizovat [9,8].

- **Kontinuální** – používá se pro plnění fermentorů, které jsou určeny pro zpracování tekutých organických materiálů s velmi malým obsahem sušiny [9,8]. V současné době je nejvyspělejší metoda výroby bioplynu kontinuální metoda se zásobníkem. K průtokovému fermentoru je připojena skladovací nádrž na vyhnílou kejdu, která se zastřeší fóliovým poklopem, za účelem získání zbytkového bioplynu. Tato metoda je schématicky znázorněna na obr. 10.



Obr. 10 Kontinuální metoda se zásobníkem [5]

3.1.4 Proces jedno či vícestupňový

Vyhnívání substrátu a výrobu bioplynu lze z hlediska výroby procesu provádět jednostupňově nebo vícestupňově [5]. Při jednostupňovém procesu probíhají 4 fáze vyhnívacího procesu (hydrolyza, okyselení, tvorba kyseliny octové a tvorba metanu), popsané v kapitole 2.1. Jednostupňový proces může probíhat:

- v jednom vyhnívacím prostoru, a to u plně promíchávaných zařízení (typy vybavené kotlem s míchadlem), souběžně ve stejném čase a prostoru
- u zařízení ve směru toku nepromíchávaných (pístové proudění) v různých prostorech jedna fáze za druhou.

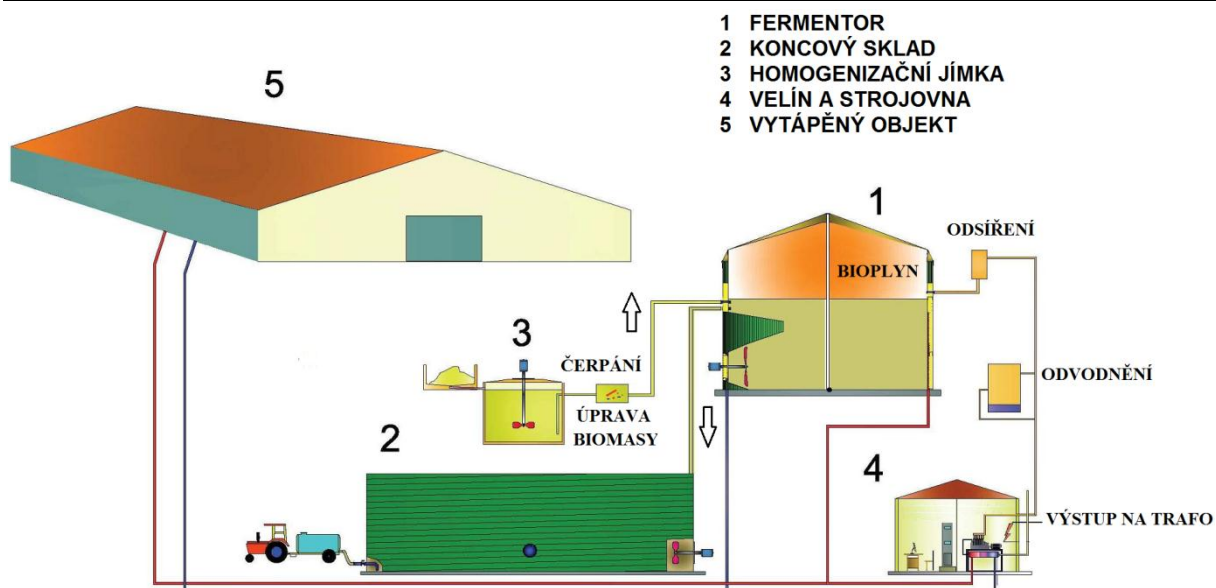
U vícestupňového procesu se jednotlivé fáze vyhnívání od sebe prostorově oddělují a to:

- užitím většího počtu vyhnívacích nádrží
- oddělením ve vyhnívacím prostoru.

V praxi se při využití vícestupňového procesu využívá z důvodu zvyšujících se nákladů maximálně proces dvoustupňový [5].

3.2 Hlavní části bioplynové stanice

Jednoduché schéma bioplynové stanice s mokrou technologií kvašení je znázorněno na obr. 11. Vstupní materiál je navážen do homogenizační jímky (3), kde je promíchán. Dále je čerpadlem dopraven do fermentoru (1). Zde se vytváří bioplyn. Ten je zachycován v plynojemu, který je součástí fermentoru. Vzniklý plyn je následně odsířen a odvodněn. Takto upravený plyn je spalován kogenerační jednotkou ve strojovně (4). Část vzniklého tepla je použita pro vlastní spotřebu na vytápění fermentoru a zbylé teplo je využito k vytápění hospodářské budovy (5). Elektrická energie generovaná kogenerační jednotkou je z části využita pro vlastní spotřebu a přebytek je vyveden a prodáván do elektrizační sítě.



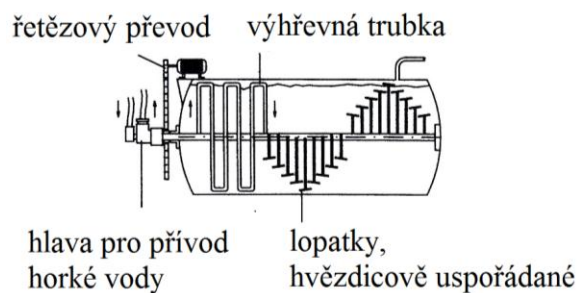
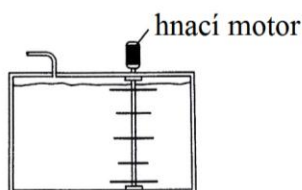
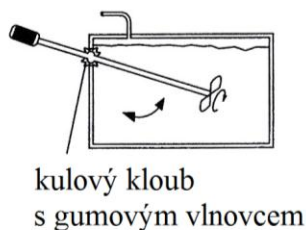
Obr. 11 Schéma bioplynové stanice [14]

3.2.1 Homogenizační jímka

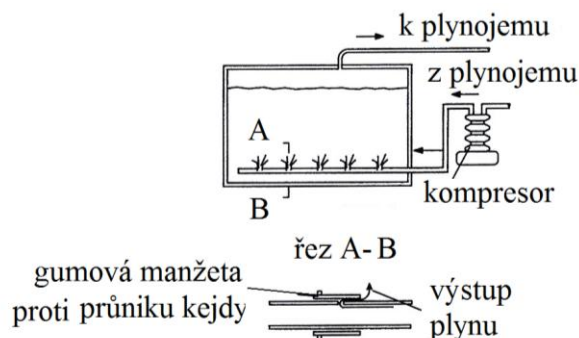
Homogenizační jímka je výchozím bodem při výrobě bioplynu. Probíhá zde úprava různorodých materiálů, které následně lépe reagují ve vyhnívací nádrži. Z přípravných procesů lze zmínit míchání materiálu, ředění vodou, aktivace mikroflóry, ohřev materiálu. Součástí homogenizační jímky mohou být prvky pro separaci hrubých příměsí, atd. Z homogenizační nádrže je substrát obvykle dopravován pomocí šnekových dopravníků do fermentační nádrže.

3.2.2 Míchání fermentoru

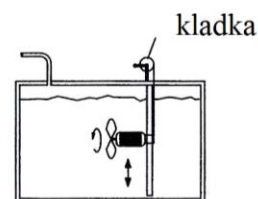
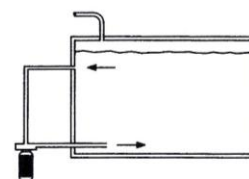
Míchání anaerobních reaktorů je důležité pro homogenizaci obsahu a tedy i naočkování čerstvého substrátu aktivními bakteriemi. Promícháváním substrátu také docílíme rovnoměrně rozložené teploty v celém objemu fermentoru a zabráníme vzniku kalového stropu. Kalový strop je nežádoucí pevná křusta na hladině reagujícího materiálu. Míchání je uskutečňováno pomocí míchadel, které mohou být mechanické (míchadla ve fermentoru), hydraulické (odděleně instalovaná čerpadla) nebo pneumatické (vtlačování bioplynu). Zcela běžné jsou krátké míchací periody několikrát během dne. Po zbytek dne je reaktor v klidu. Intenzivní nepřetržité míchání prakticky nezvyšuje výtěžek plynu a je využíváno jen ve výjimečných případech, např. když je substrát členitý [5, 9]. Možné způsoby míchání jsou zobrazeny na obr. 12.

Mechanické lopatkové míchadlo
s výhřevnými trubkamiMechanické mlýnové míchadlo
s excentrickým umístěním

Tyčový mixér, otočný



Pneumatické vtláčování bioplynu

Ponorné motorové vrtulové míchadlo
s nastavitelnou výškou

Hydraulická cirkulace

Obr. 12 Míchadla pro bioplynové stanice [5]

3.2.3 Ohřev

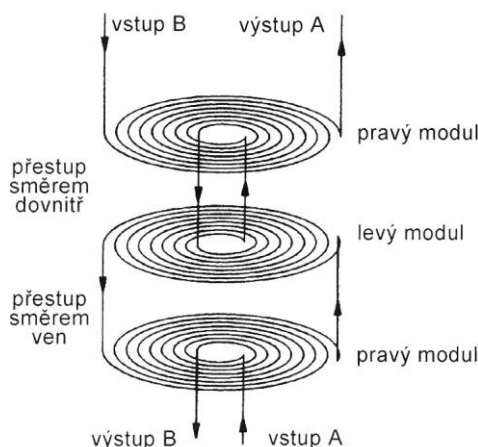
Mezi velmi důležité podmínky pro vznik bioplynu patří udržování konstantní teploty surovin fermentoru (vsádky). V našich klimatických podmínkách je nutné fermentory vytápět, aby měl substrát požadovanou teplotu a také pro vyrovnání tepelných ztát vzniklých únikem tepla do okolí. Ohřev substrátu může být zajišťován externími výměníky tepla, nebo topidly vestavěnými ve fermentoru [5,9]. Jako energie k ohřátí topné vody se využívá teplo vzniklé při kogeneraci.

1) Externí výměníky

Externí výměníky tepla (výměníky umístěné mimo fermentor) pracují na principu čerpání kejdy a horké vody teplotními zařízeními proti sobě. Protiproudé výměníky tepla jsou efektivnější než výměníky souproudé. V praxi se osvědčily výměníky s dvojitými trubkami a výměníky spirálové. Mezi obecnou výhodou externích výměníků patří fakt, že nejsou závislé na vyhřívací nádrži. Jedná se o nákladné výměníky, a proto je vhodné je používat až u velkých zařízení.

U protiproudého výměníku tepla s dvojitými trubkami protéká kejda hlavní trubkou. Ve vnější (ochranné) trubce protéká horká nebo studená voda. Pro přenos tepla z horké kejdy rovnou na kejdu studenou se tento druh výměníku nehodí.

Spirálové výměníky tepla mají širší spektrum využití, jsou prostorově nenáročné a mají vysoký výkon. Díky konstrukci se může výměník snadno rozšiřovat. Spirálový výměník není náročný na údržbu, neucpává se a má dlouhou životnost. Princip proudění média je zobrazen na obr. 13.



Obr. 13 Schéma spirálového výměníku tepla [5]

2) Podlahové vytápění

Vnitřní výhřevné plochy, tj. plochy instalované ve fermentoru nebo na něm, pracují na principu přečerpávání pouze horké vody. U stojících fermentorů jsou v podlahové desce plastové výhřevné trubky. Pod podlahovou deskou je extrudovaný pěnový polystyren, který slouží jako izolace. Při výběru tohoto způsobu vytápění musíme zajistit, aby se ve fermentoru netvořila velká vrstva usazenin, která by bránila prostupu tepla. Tohoto můžeme docílit výkonným míchadlem.

3) Stěnové topení

U vertikálních nádrží se stěnové topení provádí také plastovými trubkami. U fermentoru z betonu mohou být trubky přímo zality do stěny jako u podlahového vytápění. Další možností využití stěnového vytápění je umístění trubek v určité vzdálenosti od stěny (trubky nejsou zabetonovány). Toto provedení je zřejmé z obr. 14. Důležité je, aby trubky byly stále omývány substrátem, a netvořily se místa, kde nedochází k výměně tepla (tzv. mrtvá místa). Účelné je stočit trubky do spirály a nechat je odvědušňovat prouděním odspodu nahoru. Trubky se paralelně napojují ve dvou či více kruzích podle parametrů trubek a nádrže. U ocelových nádrží se plastové trubky vedou vnější stranou okolo nádrže. Je zřejmé, že v tomto případě je přenesený tepelný výkon menší oproti variantě, kdy je substrát v přímém kontaktu s otopným systémem. Výhodou je levná montáž.



Obr. 14 Stěnové vytápění [14]

4) Topení na hřídeli míchačky

Tento typ je velmi vhodný pro horizontální fermentory s lopatkovým míchadlem. Na straně fermentoru, kde přitéká kejda, je v určitém úseku míchačky namísto lopatek osazena smyčka z ocelové trubky, kterou protéká horká voda. Při otáčení míchadla dochází k velmi dobrému přestupu tepla, proto není třeba velkých ploch výměníku. V době kdy je míchadlo v klidu, je přestup tepla podstatně horší.

3.2.4 Fermentor

Fermentor je nádrž, kde dochází k vlastnímu vyhnívání materiálu za vzniku bioplynu. Fermentory máme dvojího druhu. Vyhnívací nádrž může být zkonstruována jako ležící (horizontální) nebo jako stojící (vertikální).

Horizontální fermentor

Nejčastějším provedením je cylindrická ocelová nádrž, která je umístěna nad zemí. Pro betonovou variantu se volí čtvercový nebo pravoúhlý průřez [5]. Horizontální fermentor je znázorněn na obr. 15. Na tomto obrázku je znázorněn ohřev fermentoru, míchadlo, lapače písku, odvodnění a vyústění do plynojemu.

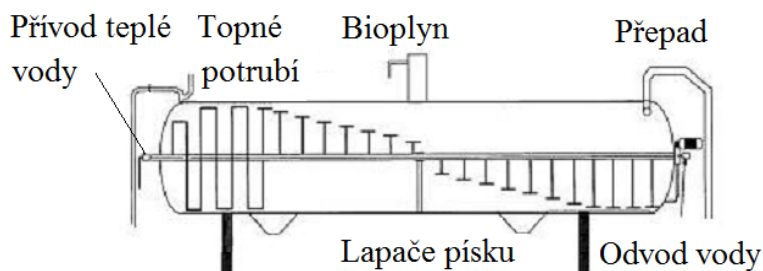
Výhody

U horizontální nádrže je možnost instalace velkého, výkonného, energeticky nenáročného mechanického míchadla. Díky tomu je substrát dobře promícháván napříč směrem průtoku, v podélném směru méně. U tohoto typu vzniká tzv. píستové proudění, které podporuje hygienizační efekt (dávka je posunována jako píst a tak se čerstvý substrát z plnicí zóny nesmíchává s již vyhnílym materiálem na druhém konci nádrže) [5].

Nevýhody

Mezi nevýhody se řadí nadměrná vysoká náročnost na zastavěnou plochu v poměru k jejímu objemu. Délka nádrže je několika násobkem průměru.

Dochází zde také k velkým tepelným ztrátám a je nemožné čerstvý substrát očkovat vyhnílym kalem. U hovězí kejdy a hnoje nám tato skutečnost nevadí, neboť samotný substrát obsahuje dostatek metanových bakterií. V případě prasečí kejdy, slepičího trusu nebo organického odpadu by měl být substrát naočkován. Může se tak dít v přípravné nádrži, nebo použitím malého čerpadla k recirkulaci očkovačla [5].



Obr. 15 Horizontální reaktor [15]

Vertikální fermentor

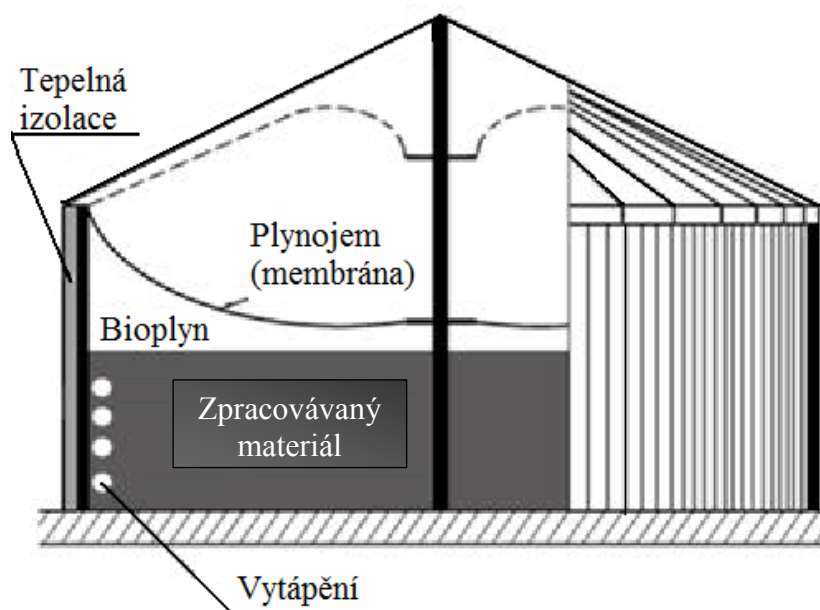
Vertikální fermentory mívají betonovou konstrukci kruhového průřezu. Při stejném objemu zaujímá tato nádrž menší zastavěnou plochu. Tento typ fermentoru je oproti horizontálnímu více rozšířený. Obr. 16 znázorňuje základní konstrukci vertikálního fermentoru. Po obvodu nádrže se nachází vytápění, které je izolováno od okolního prostředí. Uvnitř fermentoru je substrát, nad kterým je plynojem, který jímá vzniklý plyn.

Výhody

Poměr mezi povrchem a objemem fermentoru je lepší než u horizontální polohy. Z tohoto důvodu se snižují tepelné ztráty. Také sníží náklady na potřebný materiál [5].

Nevýhoda

V tomto zařízení nemůže docházet k pístovému proudění.



Obr. 16 Vertikální fermentor [15]

Umístění fermentorů

Zda umístíme zařízení do země, zpola do země, nebo nad zem závisí na množství spodních vod. Při umístění fermentorů úplně pod zem ušetříme místo a ochráníme fermentor před kolísáním teplot, a to zejména v zimě (nižší spotřeba energie na provoz zařízení). V tomto případě pak ale musíme celý plášť opatřit drahými izolačními materiály odolnými vůči vlhkosti. Umístění zpola pod a zpola nad zem se volí v případě, kdy z důvodu spodní vody není možno umístit nádrž celou pod zem.

Umístění reaktoru nad zemí volíme při velkém množství spodních vod. K tepelné izolaci se používají levnější izolační materiály. Nevýhodou této varianty jsou velké tepelné ztráty, které vznikají v zimním období. Naopak v létě je umístění fermentoru nad zemí z hlediska vytápění výhodnější než umístění pod zemí.[5]

Nedílnou součástí fermentu i teplovodního potrubí je tepelná izolace. V praxi se osvědčily materiály:

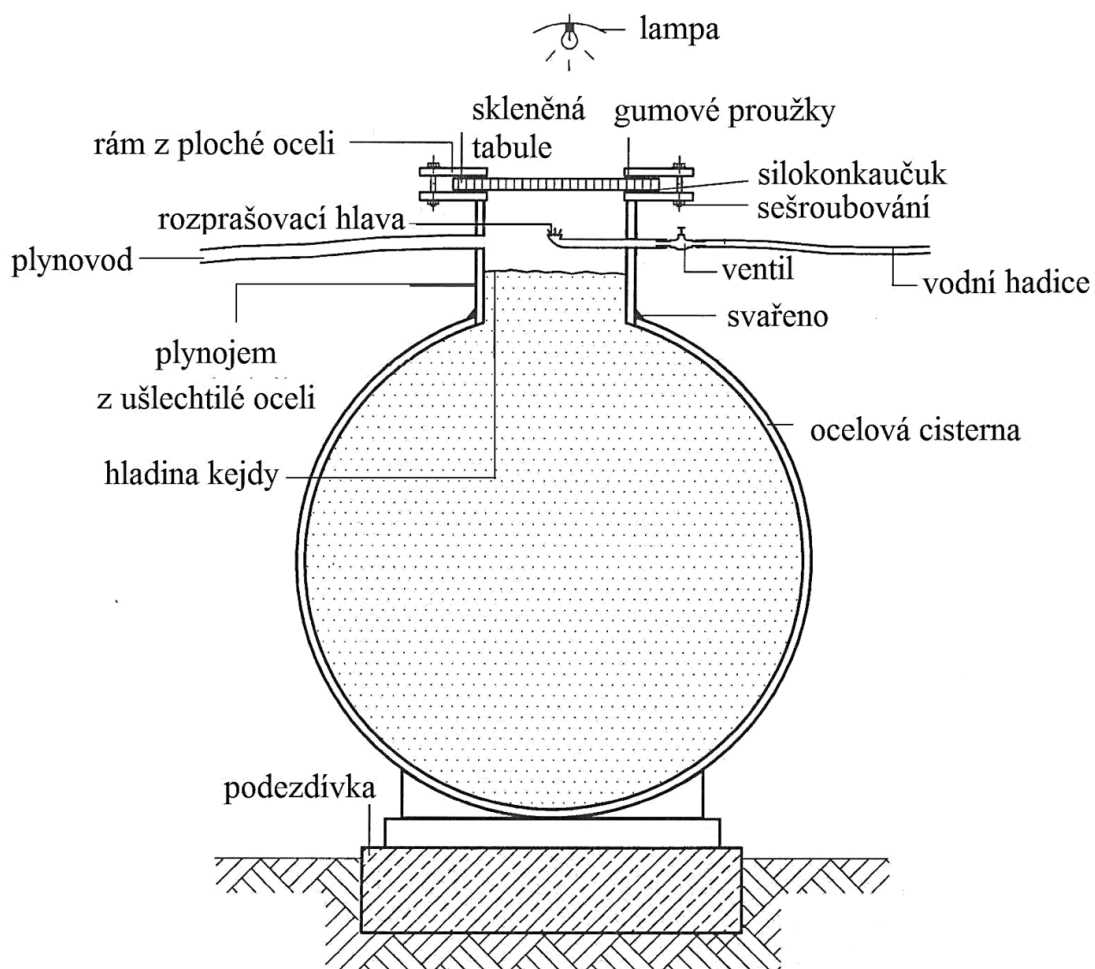
- minerální vlna (skelná vata)
- rohože z minerálního vlákna
- pěnové hmoty
- desky z expandovaného polystyrénu

Dle druhu izolace volíme i typ obložení. Obložení nám chrání fermentor před vnějšími vlivy počasí, a zvyšuje nám tak životnost fermentoru. Nabízí se nám obložení dřevěnými prkny, nebo kovovými profily (hliník, pozinkovaná ocel).

3.2.5 Plynojem

Funkcí plynojemu je shromažďování plynu a jeho oddělení od pěny a kapalných částí. Horní část plynojemu by měla být opatřena plexisklovou tabulkou. Tabulka slouží k nahlížení do nádrže, kontrolování funkce míchadla a možného vzniku kalového stropu. Plexisklo také funguje jako přetlaková pojistka. V případě ucpání plynovodu pěnou a selháním další pojistky tabulka praskne. Tím se zabrání poškození vyhnívací nádrže příliš vysokým tlakem.

Plynojem je konstruován z ušlechtilé oceli, která odolává korozi. Mnohdy dostačující variantou je použití ocelového plechu o tloušťce 4 až 6 cm s vhodnou úpravou, který odolá agresivním látkám jako např. sirovodíku. U vertikálních nádrží se často ani plynojem nezřizuje. Schéma plynojemu horizontální nádrže je znázorněno na obr. 17 [5].



Obr. 17 Schéma plynojemu [5]

4 Možnosti zpracování produktů fermentace

Produkty anaerobní fermentace zbytkové biomasy jsou bioplyn a biologicky stabilizovaný substrát. BP je vysoce kvalitní obnovitelný zdroj energie, který poskytuje celou řadu možností energetického využití.

4.1 Zbytkový substrát

Vlastnosti substrátu (digestát) závisí především na druhu zpracovávaných materiálů a v určité míře také na technologickém procesu. Nejjednodušším využitím digestátu je jeho přímá aplikace na zemědělskou půdu. V porovnání s hnojením surovým materiálem (např. prasečí kejdou) má digestát řadu výhod [16]:

- substrát je biologicky stabilizovaný a homogenizovaný
- zvýšení využitelnosti živin a snížení jejich vyplavitelnosti
- snížení obsahu patogenů a semen plevelů
- snížení zápachu
- pokles emisí skleníkových plynů



Obr. 18 Využití digestátu z BPS jako hnojiva [17]

Další možností zpracování digestátu je separace tuhé frakce lisováním (kalolis), sedimentací či odstředováním, za účelem jejího následného zhodnocení. Tuhá frakce s vysokým obsahem organické hmoty se může kompostovat, čímž vznikne kvalitní statkové hnojivo, nebo dalším dosušováním a lisováním do podoby briket (zobrazených na obr. 18) či pelet s přídavným materiálem, jako dřevní štěpka a sláma, upravit na biopalivo. Prodej kompostu či biopaliva musí pokrýt náklady na úpravu digestátu.



Obr. 19 Brikety s příměsí tuhé frakce digestátu [18]

Zbylá tekutá frakce s vyšším obsahem živin (dusík, fosfor, draslík) může být opět aplikována na pole jako hnojivo nebo může být dočištěna a následně vypuštěna do kanalizace. Následné dočišťování odpadní vody ale výrazně zvýší investiční i provozní náklady celé technologické linky. Protože i z upraveného digestátu vzniká opět hnojivo, je vysoce žádoucí přímá návaznost bioplynové stanice na zemědělství [16].

4.2 Bioplyn

Energetické zužitkování bioplynu můžeme rozdělit na 5 základních kategorií. Jednotlivé způsoby jsou popsány v tab. 1 a dále pak podrobněji vysvětleny v následujících podkapitolách. Zmíněná tabulka v přehledu ukazuje, zda je plyn nutno před využitím čistit, v jakém zařízení se plyn zužitkuje, jaká forma energie z tohoto zařízení vystupuje a také současné využití technologie v praxi.

Tab. 1 Energetické zužitkování bioplynu [9, 19]

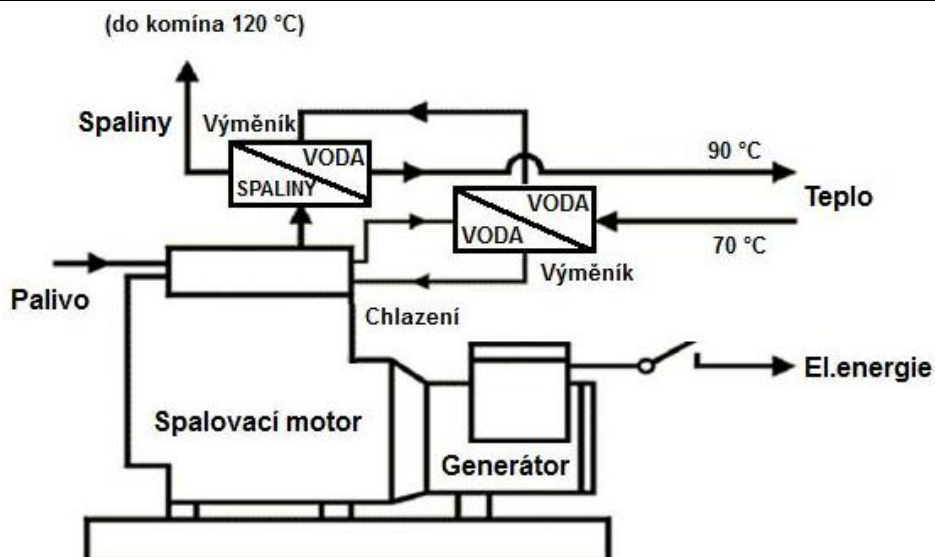
ENERGETICKÉ ZUŽITKOVÁNÍ BIOPLYNU						
Způsob zužitkování		Přímé spalování	Kogenerace, trigenerace	Palivový článek	Prodej do plynovodní sítě	Pohonná hmota doprav. prostředků
Nutnost čištění	H ₂ S	ano	ano	ano	ano	ano
	H ₂ O	ne	ne	ano	ano	ano
	CO ₂	ne	ne	ano	ano	ano
Zařízení		Kotel	Kogenerační jednotka	Palivový článek	Plynovodní síť	Tlaková nádoba
Forma energie		Teplo	Elektřina, teplo	Elektřina, teplo	Palivo	Palivo
Současný stav		možné, ale neekonomické	využívá se	výzkum, vývoj	výzkum, vývoj	výzkum, vývoj

4.2.1 Přímé spalování

Spalování v kotlích je nejjednodušší možností využití bioplynu za účelem ohřevu teplé vody nebo vody k vytápění. V letních měsících, při malých požadavcích na teplou vodu, se může bioplyn využít jako zdroj tepla k sušení různých produktů např. štěpky, pilin, obilí, dřeva či digestátu. Tato možnost nevyžaduje žádné speciální nároky na kvalitu bioplynu. Ke spalování jsou zapotřebí jen modifikované hořáky určené na spalování bioplynu [20].

4.2.2 Kogenerace, trigenerace

Princip kogenerační jednotky je zobrazen na obr. 20. Bioplyn je spalován v pístovém spalovacím motoru, který roztáčí generátor a vyrábí tak elektrickou energii. Ze spalovacího motoru je vzniklé teplo odváděno chladicí vodou, která je vedena do tepelného výměníku voda/voda. Teplo, obsažené ve spalínách, je předáváno ve výměníku spaliny/voda. Cirkulující voda otopné soustavy je tedy nejdříve přehřívána ve výměníku voda/voda a následně je dohřívána na požadovanou teplotu ve výměníku spaliny/voda. Ochlazené spaliny jsou odváděny do komína.



Obr. 20 Princip kogenerační jednotky s pístovým spalovacím motorem [10]

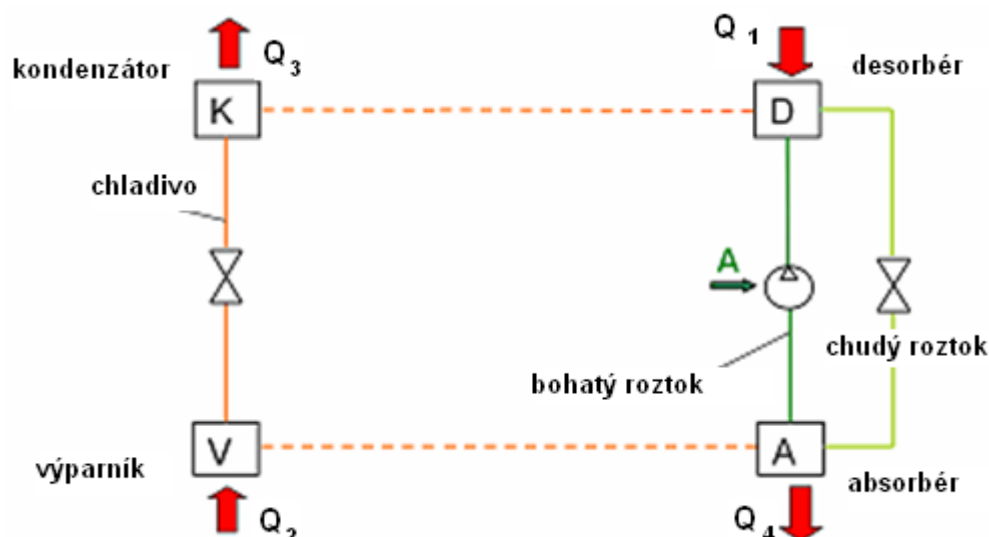
Kogenerace je nejvyužívanějším způsobem zužitkování bioplynu. Celková účinnost přeměny energie obsažené v bioplynu se uvádí kolem 85% (35% elektrická a 50% tepelná) a zbytek jsou tepelné ztráty. I přes značné možnosti využití odpadního tepla nebývá veškeré množství zužitkováno, a tak dochází po většinu roku ke ztrátám energie.

Výhodou tohoto způsobu využití bioplynu je možnost prodeje elektrické energie za garantovanou cenu do sítě. Zákon 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (OZE) garantuje zvýhodněnou výkupní cenu elektrické energie OZE na 15 let a konkrétní výkupní cenu pak určuje Energetický regulační úřad (ERÚ) pro jednotlivé druhy OZE zvlášť. [13]

Zajímavým způsobem využití bioplynu je trigenerace. Jedná se o podobný princip výroby energie jako u kogenerace s tím rozdílem, že kogenerační jednotka je doplněna o absorpční oběh pro výrobu chladu. Trigenerace umožňuje využít teplo z kogenerace i v letním období k výrobě chladu, kdy je spotřeba tepla minimální. Vyrobený chlad se nejčastěji používá ke klimatizaci budov.

Princip absorpčního oběhu

Absorpční tepelný oběh je zvláštní typ chladicího oběhu. Základním principem absorpčního oběhu je nahrazení komprese par chladiva za pomoci tří termochemických kroků: absorpcí v roztoku, přečerpáním na vyšší tlakovou úroveň a desorpcí par z roztoku. Tento postup umožňuje realizovat transformaci tepelné energie na vyšší teplotní úroveň s řádově menší spotřebou elektrické energie než tradiční oběh kompresorový.



Obr. 21 Schéma absorpčního oběhu [21]

V absorpčním oběhu, znázorněném na obr. 21, koluje chladivo a absorpční látka. Páry odpařeného chladiva odcházející z výparníku jsou absorbovány v absorbéru do kapalné absorpční látky za současného uvolnění absorpčního tepla. Vzniklá kapalná směs je čerpadlem dopravena do části oběhu s vyšším pracovním tlakem. Následným zvýšením teploty této směsi jsou vypuzeny páry chladiva z absorpční kapaliny. K vypuzení par dochází v prvku označovaném jako desorbér. Páry postupují do kondenzátoru, kde kondenzují při kontaktu s ochlazovaným povrchem. Chladivo v kapalně podobě dále prochází přes škrtkový ventil do výparníku. Zde vlivem snížení tlaku dochází k varu chladiva při nízké teplotě a odnímání tepla ochlazované látky. Páry chladiva poté uzavírají svůj pracovní oběh absorpcí v absorbéru. Oddělenou větví se z vysokotlaké části oběhu vrací přes škrtkový ventil do nízkotlaké části absorpční kapalina prostá vypuzeného chladiva. Pro dosažení dobré účinnosti je nutno absorpční oběh vhodně doplnit výměníky tepla, které zajistí opakované využití tepelných toků s respektováním nutných teplotních spádů. Konkrétní uspořádání oběhu vždy záleží na zvolených pracovních parametrech a použité dvojici pracovních látek.[21]

Využití odpadního tepla

Při výrobě elektřiny kogenerací vzniká také významné množství tepla. Vlastní spotřeba tepla bioplynové stanice závisí především na tepelných ztrátách fermentorů a na teplotě fermentace. Vlastní spotřeba tepla se v praxi pohybuje v rozmezí 25 – 40 % produkovaného tepla. Využití přebytků tepla je většinou problematické, protože v místech plánované výstavby BPS není zpravidla možnost toto teplo využít a je nutné uvažovat o výstavbě dalších systémů pro jeho využití (např. teplovody). Investiční náklady na využití tepla bývají poměrně vysoké, ale úspěšně realizovaný projekt může mít významný pozitivní přínos pro ekonomiku BPS. [8]

Možnosti využití tepla jsou následující:

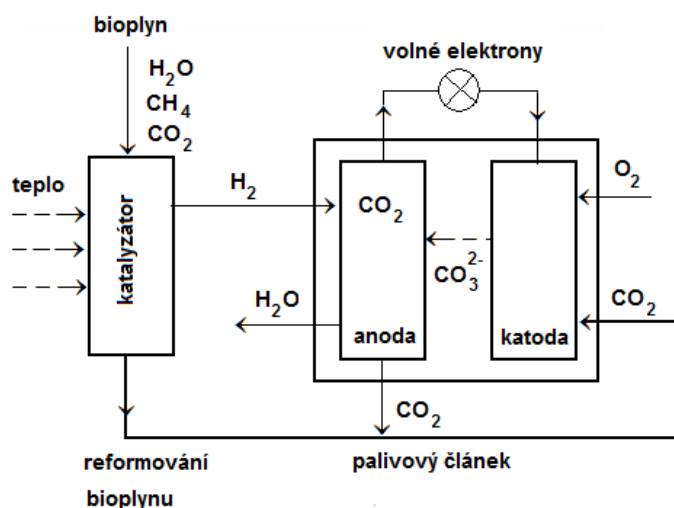
- vytápění objektů v bezprostředním okolí, zejména v areálu farmy
- dodávky do systému CZT (centrální zásobování teplem) a vytápění obytných domů
- pro potřeby přidružených podnikatelských provozů
 - různé druhy sušárenských technologií
Jedná se o sušárny dřeva, obilí, fermentačních zbytků, pilin, peletační/briketovací linky, haly pro sušení sypké biomasy
 - stanice pro chov teplomilných živočichů a ryb, skleníky, apod.[8]

4.2.3 Palivový článek

Způsob využití palivového článku se zásadně liší od obvyklých způsobů přeměny energie. Jedná se o přímou přeměnu chemické energie bioplynu v elektrický proud. Palivový článek garantuje vysokou elektrickou účinnost až 50 % a minimalizované emise [20]. Palivové články jsou velmi perspektivní, ale s jejich praktickým využitím lze počítat až ve výhledu 10 a více let.

Funkční princip

V palivovém článku se generuje elektrický proud způsobem, který se podobá opačnému průběhu elektrolýzy. Z tohoto důvodu je polarita u palivového článku obrácená. Bioplyn musí být pro použití upraven. Prvním krokem je odstranění sirovodíku z bioplynu a poté dochází k obohacování metanu. V případě bioplynu není k dispozici čistý vodík, a proto je zapotřebí jej z bioplynu oddělit společně s oxidem uhličitým, procesem zvaným reforming. Na obr. 22 je znázorněn princip činnosti palivového článku na bioplyn.



Obr. 22 Princip palivového článku na bioplyn [20]

4.2.4 Prodej do plynovodní sítě

Další možností využití bioplynu je jeho prodej do plynovodní sítě a jeho distribuce k místům lepšího využití. Před prodejem je však nutné bioplyn upravit na plyn srovnatelný kvalitou a čistotou se zemním plynem, na tzv. biometan (96 – 98 % metanu). Způsoby čištění bioplynu jsou popsány v kapitole 2.3. Energie využitelná z bioplynu tímto způsobem vzroste až na 74 %. [22]

4.2.5 Využití pro pohon dopravní techniky a automobilů

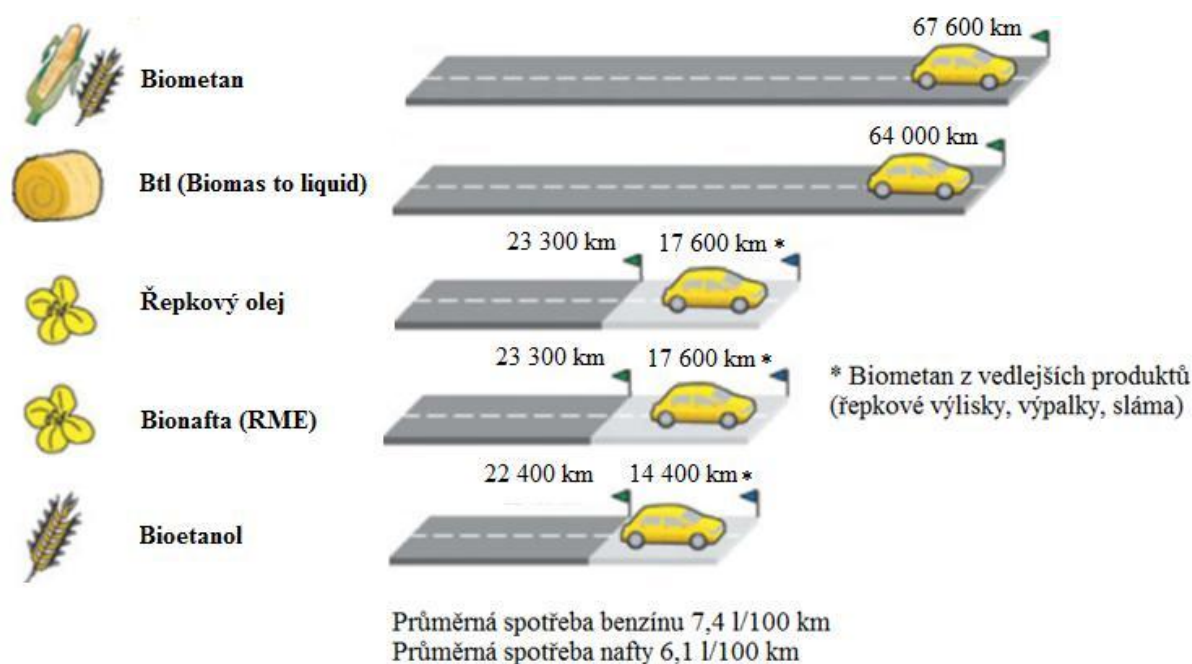
Po úpravě bioplynu na biometan lze využít tento plyn jako palivo pro pohon dopravních prostředků. Biometan je nutné komprimovat na tlak 20 – 30 MPa. Energie potřebná na stlačení biometanu se pohybuje okolo 0,26 kWh/m³ upraveného bioplynu a tímto krokem klesne energie využitelná z bioplynu na cca 70 %, která je i tak oproti kogenerační jednotce vyšší. Při tomto způsobu využití biometanu je hlavní překážkou nedostatečná infrastruktura plnicích stanic CNG oproti čerpacím stanicím kapalných pohonných hmot a na to navazující malé rozšíření dopravních prostředků využívajících CNG [23]. V současné době, vztaženo k roku 2011, je v České republice provozováno 34 veřejných CNG plnicích stanic a zemní plyn jako pohonnou hmotu využívá cca 3250 vozidel. [24]



Obr. 23 Autobus na palivo CNG [25]

Bioplyn se jako palivo pro motorová vozidla v České republice zatím nevyužívá. V Evropě jsou v tomto směru nejdále skandinávské země, především Švédsko. V České republice je upřednostňováno použití kapalných biopaliv, bionafty a bioetanolu, protože mohou být přimíchávána do konvenčních pohonných hmot. Pro jejich spalování tak není třeba speciálně upravený motor. [19]

Obr. 24 porovnává biopaliva z hlediska výtěžnosti energie z 1 ha plochy zemědělské půdy, přepočteno na ujeté kilometry. Největší energetický výnos je dosahován při výrobě paliva anaerobní fermentací. Bionafta a bioetanol dosahuje v porovnání s bioplynem a Btl ("biomass to liquid", tzv. biopalivo druhé generace) asi třikrát nižšího energetického výnosu.



Obr. 24 Ujetá vzdálenost osobního automobilu na různá biopaliva vyprodukovaná z 1 ha zemědělské půdy [19,9]

Následující tab. 2 srovnává energetické vstupy a výstupy pěstování a zpracování jednotlivých druhů biopaliv. Důležitým údajem je poměr energie získané v celém procesu produkce daného biopaliva a energie do tohoto procesu vložené. V dnešní době můžeme předpokládat, že veškerá vložená energie je fosilního původu. Čím větší je tento poměr, tím je produkce

daného biopaliva energeticky výhodnější. S nejnižší energetickou účinností je produkována bionafta z řepky olejky. Dobrého poměru je dosahováno při pěstování kukuřice a triticales k produkci bioplynu. Nahrazením 50 % průmyslových hnojiv digestátem může výrazně vylepšit energetickou bilanci výroby biometanu. [19]

Tab. 2 Srovnání energetických vstupů a výstupů při zpracování biopaliv[19]

palivo	bionafta	bioetanol		biometan				biometan
plodina	řepka olejka	cukrová řepa	pšeničné zrno	cukrová řepa	pšeničné zrno	kukuřice	triticales celá rostlina	triticales * celá rostlina
energetický poměr (energie získaná/ energie vložená)	1,84	2,2	2,36	5,5	3,79	6,36	6,84	8,34
čistá vyprodukovaná energie (GJ/ha)	18,5	63,7	35,1	102,1	65,5	132,4	141,7	146,1
ekvivalentní litry nafty (diesel equivalent)	517	1779	980	2704	1726	3514	3764	3885

* v tomto případě předpokládáme nahrazení 50 % průmyslových hnojiv digestátem

5 Energetická a ekonomická bilance vybrané bioplynové stanice

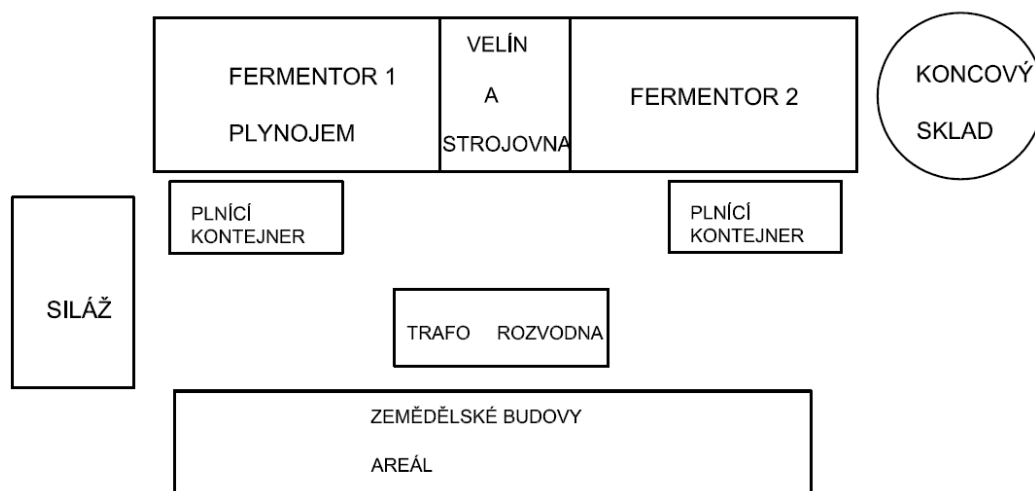
5.1 Popis vybrané bioplynové stanice

V rámci bakalářské práce jsem navštívila zemědělský podnik Statek Dubinka s.r.o. u města Třebíče. Z dříve školního statku Střední zemědělské školy Třebíč vznikl zemědělský podnik s bioplynovou stanicí. V objektu mají 2 kraviny s celkovým počtem 600 ks skotu.

Bioplynová stanice byla postavena ve dvou etapách a sestává ze dvou shodných bloků, které jsou vzájemně zrcadlově převráceny. Uspořádání stanice je naznačeno na obr. 25. BPS má tedy dva stejné plnicí kontejnery, dva fermentory a dvě kogenerační jednotky. Bloky mají společný plynojem a koncový sklad vyhnílého materiálu. Tento koncový sklad není zastřešený, a tak zde vznikající zbytkový bioplyn uniká do ovzduší a tím vznikají ztráty.

První blok BPS Dubinka zahájil provoz v červnu 2011 a druhý blok 6 měsíců poté, tedy v prosinci 2011. Důvodem rozdělení výstavby do dvou etap bylo zejména nejisté financování celého projektu. V první fázi byl postaven plnicí kontejner, fermentor č. 1, plynojem, velín se strojovnou vybavenou jednou kogenerační jednotkou a koncový sklad. Ve druhé etapě byl dostaven fermentor č. 2 a byla instalována druhá kogenerační jednotka. V první etapě bylo proinvestováno 65 mil. Kč a ve druhé etapě 35 mil. Kč. Celkové investiční náklady tedy činily 100 mil. Kč.

Bioplynová stanice Dubinka pracuje se třemi druhy vstupních surovin. Jedná se o kukuřičnou siláž, cukrovarnické řízky a hovězí kejdu. Do budoucna má podnik v plánu zařadit i obilnou siláž.



Obr. 25 Blokové schéma BPS Dubinka s.r.o.

Plnící kontejner, do kterého se zaváží vstupní suroviny, je umístěn v těsné blízkosti fermentoru. Na obr. 26 je tento zásobník naplněn kukuřičnou siláží a cukrovarnickými řízky. Tato směs je pomocí šnekového dopravníku dávkována do fermentoru. Dávkování je řízeno počítačem podle nastaveného programu.



Obr. 26 Kukuřičná siláž a cukrovarnické řízky

Fermentory, každý o objemu $2\,880\text{ m}^3$, jsou obdélníkového průřezu, s rozměry $32 \times 15 \times 6\text{ m}$. Každá nádrž se promíchává dvěma horizontálními šnekovými míchadly. Fermentory jsou tepelně izolované. V Dubince pracují fermentory v mezofilním provozu, čemuž odpovídá teplota $42,5\text{ °C}$. Denně na každý fermentor připadá 48 tun kukuřičné siláže, 5 tun cukrovarnických řízků a 40 m^3 kejdy. Do této směsi se přidává voda na zředění. Doba vyhnívání se pohybuje v rozmezí 45 až 50 dní. V současnosti má podnik v plánu přejít na termofilní provoz (55 °C), což povede ke snížení doby vyhnívání. Ohřev substrátu je zajištěn stěnovým vytápěním připevněným k vnitřní straně nádrže fermentoru.

Společný plynojem je umístěný na prvním fermentoru. Plynojem slouží především jako zásobárna bioplynu v případě výkyvu výroby bioplynu. Objem plynojemu činí 800 m^3 . Výtěžnost plynu je při maximálním výkonu $10\,560\text{ m}^3/\text{den}$. V plynovém vaku je analyzováno složení plynu. Výsledky analýzy se zobrazují ve velině na obrazovce, stejně jako na obr. 27. Maximální dovolená koncentrace sirovodíku pro motor je 300 ppm.

Při dlouhodobém přesahování této koncentrace hrozí poruchy motoru vedoucí k celkové generálce. Ve fermentoru se provádí odsiřování biologickou oxidací sirovodíku, jak je popsáno v kapitole 2.3.

Hodnoty	Nastavení	Rozšířené nastavení		
	Fermenter1	Motor	Fermenter2	Vzduch
CH ₄ (%)	51.0(16:02)	49.8(16:09)	51.3(16:16)	0.0(16:21)
O ₂ (%)	0.0(16:01)	0.5(16:08)	0.0(16:15)	21.5(16:22)
H ₂ (ppm)	99.4(16:04)	133.4(16:11)	165.4(16:18)	0.0(16:23)
H ₂ S (ppm)	312(16:06)	219(16:13)	414(16:21)	0(16:26)

Obr. 27 Aktuální hodnoty složek plynu

V bezprostřední blízkosti druhého fermentoru se nachází koncový sklad digestátu. Sklad je kruhového průřezu a je vysoký 9,5 m. Jeho objem je 5 850 m³. Digestát podnik využívá ke hnojení. Při produkci digestátu 70 m³/den odpovídá doba zaplnění koncového skladu 83 dnům. Po této době je nutné sklad vyprázdnit. Na vyvezení tohoto objemu je zapotřebí cca 332 fekálních vozů. V budoucnu chce podnik z digestátu oddělovat pevnou část, kterou bude dále využívat jako podestýlku zvířatům. Separát tak nebudou muset skladovat a výrazně se tak prodlouží interval vyprazdňování koncového skladu. Tekutou část digestátu budou dále využívat ke hnojení.

V blízkosti fermentoru se nachází chladicí systémy. Jedná se v první řadě o vzduchový chladič, ve kterém se maří nevyužitě teplo vznikající při kogeneraci. Dále se zde nachází klimatizace, která ochlazuje prostor strojovny, kde vzniká při provozu kogeneračních motorů ztrátové teplo. Dále se v blízkosti fermentoru nachází zařízení pro spalování bioplynu, tzv. svíčka, znázorněná na obr. 28. Ta slouží ke spalování vzniklého plynu při havárii motoru, nebo plánované údržbě motorů. Využívá se tedy v tom případě, kdy fermentory stále produkují bioplyn, který nemůžeme jiným způsobem zužitkovat. Servis motorů probíhá ve třech variantách. Malá servisní prohlídka se provádí po 2 000 h provozu, velká servisní prohlídka po 10 000 h provozu a generální oprava motoru se provádí po 60 000 h provozu.



Obr. 28 Svíčka

BPS Dubinka má ve strojovně dva pístové plynové motory GE Jenbacher. Tyto motory jsou chlazeny kapalinou s nemrznoucí směsí. Elektrický výkon motorů je 2x550 kW a tepelný výkon je 2x320 kW. Jeden z motorů je na obr. 29.



Obr. 29 Motor GE Jenbacher

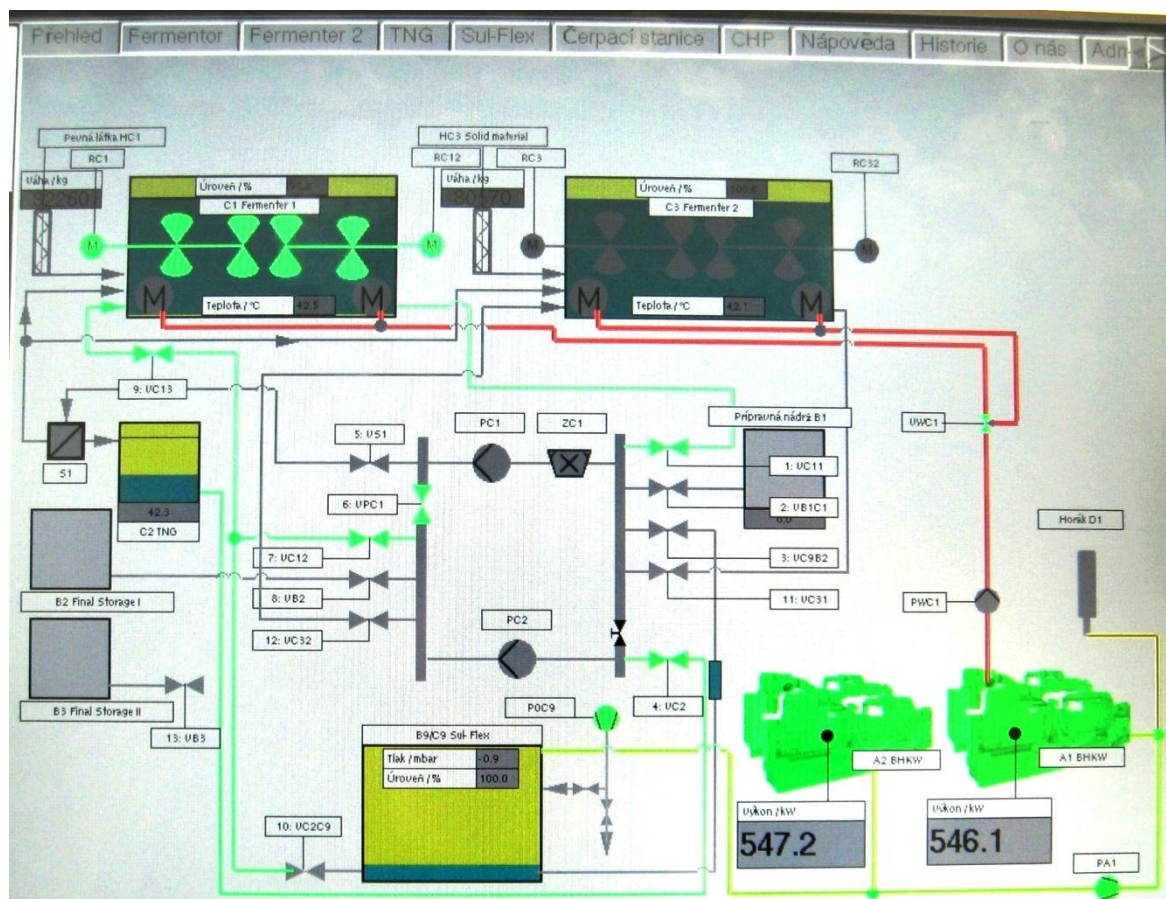
Důležitým prvkem bioplynové stanice je centrální čerpadlo. Toto čerpadlo je společné pro oba fermentory. Jeho správná funkce tedy musí být řešena soustavou ventilů a armatur, které směřují substrát do právě žádaného zařízení. Centrální čerpadlo plní následující funkce:

- nasává kejdu do fermentoru
- přečerpává substrát z fermentoru do koncového skladu
- nasává kejdu z fermentoru do drtiče před čerpadlem a zpět



Obr. 30 Centrální čerpadlo

Celý proces výroby bioplynu je možné sledovat a řídit z velínu. Na centrálním počítači je možné sledovat všechny důležité teploty, tlaky, výkony, výšky hladin apod. Snímek displeje je patrný na obr. 31.



Obr. 31 Displej centrálního počítače

5.2 Energetická bilance bioplynové stanice

Kogenerační jednotky GE Jenbacher vyrábí spalováním bioplynu elektrickou energii a teplo. Energetická bilance zemědělského podniku Dubinka s.r.o. je uvedena v tab. 3.

Kogenerační jednotka vyrábí elektrickou energii výkonem 1 100 kW_e. Bioplynová stanice využije pro vlastní spotřebu (míchání, čerpadla, ...) cca 3 % instalovaného elektrického výkonu a 97 % generované elektrické energie prodává podnik do rozvodné sítě.

Tepelný výkon kogenerační jednotky, který činí celkem 640 kW_t, je z 80 % bez užítu mařen. Využito je pouze 20 %, a to na vlastní potřebu bioplynové technologie. Zejména pak na vyhřívání fermentorů. Po dostavbě teplovodu plánuje zemědělský podnik využít teplo k vytápění dílny, administrativních budov a pro roštovou halu k dosoušení zemědělských plodin.

Jak již bylo zmíněno výše, celkový elektrický výkon bioplynové stanice je 1100 kW. Výkyvy produkce bioplynu jsou vyrovnávány plynem z plynojemu. Plynojem má dostatečný objem pro 2 hodiny provozu motorů na maximální výkon. Motor pracuje kontinuálně a elektrický výkon kogenerační jednotky je v průběhu roku stálý, bez výrazných výkyvů. Kogenerační jednotka vypíná pouze při odstávkách a servisních prohlídkách. Při uvažování stálého výkonu 1100 kW a provozní době 8000 h/rok lze spočítat celkové měsíční množství vyrobené elektrické energie.

Tab. 3 Energetická bilance zemědělského podniku Dubinka s.r.o.

ENERGETICKÁ BILANCE ZEMĚDĚLSKÉHO PODNIKU DUBINKA s.r.o.				
Elektrická energie		Prům. výkon		Podíl
Výroba el. energie		1100 kW	8800 MWh/rok	100 %
Vlastní spotřeba BPS		33 kW	264 MWh/rok	3 %
Prodej el. energie		1067 kW	8536 MWh/rok	97 %
Teplo		Prům. výkon		Podíl
Výroba		640 kW	18,4 GJ/rok	100 %
Vlastní spotřeba BPS		128 kW	3,68 GJ/rok	20 %
Maření tepla		512 kW	14,72 GJ/rok	80 %

Celková roční výroba elektrické energie

$$E_{celk} = P_e^{max} \cdot t \quad (5-1)$$

$$E_{celk} = 1100 \cdot 8000$$

$$E_{celk} = 8800000 \text{ kWh}$$

$$E_{celk} = 8800 \text{ MWh}$$

kde P_e^{max} [kW] - maximální elektrický výkon kogenerační jednotky
 t [h] - roční provozní doba kogenerační jednotky

Vlastní spotřeba technologie

Z celkové výroby elektrické energie jsou 3 % elektřiny využita pro provoz bioplynové technologie. Roční spotřeba elektřiny pro BPS je tedy 264 MWh, čemuž odpovídá průměrný odběr 33 kW.

$$E_{vl} = E_{celk} \cdot 0,03 \quad (5-2)$$

$$E_{vl} = 8800 \cdot 0,03$$

$$E_{vl} = 264 \text{ MWh}$$

Prodej do rozvodné sítě

Z celkové výroby elektřiny je část využita pro vlastní spotřebu technologie a zbytek je prodáván do rozvodné sítě.

$$E_{prodej} = E_{celk} - E_{vl} \quad (5-3)$$

$$E_{prodej} = 8800 - 264$$

$$E_{prodej} = 8536 \text{ MWh}$$

5.3 Ekonomické posouzení

Výkupní ceny elektřiny z OZE stanovuje Energetický regulační úřad. Pro řešený případ je výše výkupní ceny stanovena na 4120 Kč/MWh. Tato hodnota se meziročně zvyšuje pouze o inflaci. V následujícím ekonomickém posouzení byla uvažována tato hodnota jako konstantní. Výkupní cena byla zvolena z důvodu jistoty odkoupení veškeré vyrobené elektrické energie a z důvodu garantované ceny. V případě zelených bonusů si provozovatel musí sám zajistit odběratele elektrické energie, který není povinen odkoupit veškerou vyrobenou energii. Ekonomické zhodnocení a posouzení návratnosti investice je provedeno ve zjednodušené formě. Nejsou zde započítány úroky z půjčky, daně z příjmu, pojištění apod.

V tab. 4 jsou uvedeny základní ukazatele pro ekonomické hodnocení. Jsou zde uvedeny roční výnosy, roční náklady a je zde predikována návratnost investice.

Protože posuzovaná bioplynová stanice prozatím nevyužívá produkované teplo, plynou zisky pouze z prodeje elektrické energie. Při prodeji 8536 MWh dosahuje roční zisk z prodeje elektřiny 35,2 mil. Kč. Do nákladů byly započítány náklady na vstupní suroviny, náklady na obsluhu BPS, náklady na údržbu BPS a odpisy.

Ceny vstupních surovin byly poskytnuty pracovníkem BPS. Bioplynovou stanicí obsluhuje jeden vedoucí a jeden pomocný pracovník. Roční náklady na obsluhu tak byly odhadnuty na 0,7 mil. Kč. Náklady na údržbu byly stanoveny podle [5] jako 4 % z celkových investičních nákladů. Bioplynové stanice jsou řazeny do 4. odpisové skupiny, ve které jsou odpisy rozloženy do 20 let s ročním odpisem 5 mil. Kč. Celkové roční náklady na provoz bioplynové stanice tedy činí 21,9 mil. Kč.

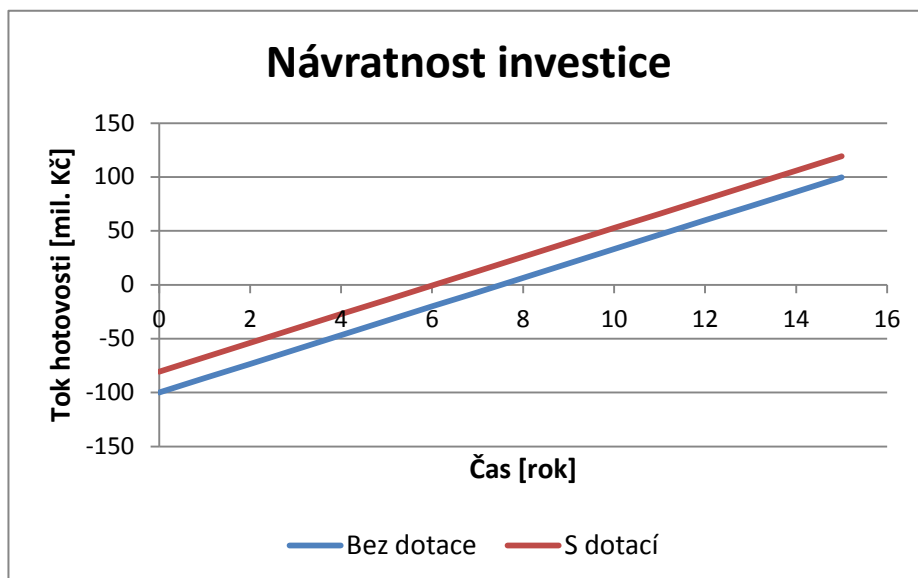
Celkové investiční náklady na výstavbu BPS činí dle poskytnutých informací 100 mil. Kč. Jak bylo popsáno výše, výstavba byla rozdělena do dvou etap, z nichž první vyšla na 65 mil. Kč a druhá na 35 mil. Kč. Za první fázi výstavby má zemědělský podnik zažádáno o státní investiční dotaci. V případě kladného vyřízení by získali 30 % z investic do první fáze, tj. 30 % z 65 mil. Kč.

Výpočet návratnosti investice byl proveden ve dvou variantách. První varianta počítá návratnost investice bez poskytnutí dotace a druhá varianta počítá s přiznáním dotace.

Tab. 4 Ekonomické posouzení bioplynové stanice v areálu Dubinka s.r.o.

EKONOMICKÉ POSOUZENÍ BIOPLYNOVÉ STANICE V AREÁLU DUBINKA s.r.o.			
Roční výnosy	Množství	Jednotková cena	Celková cena
Prodej elektřiny za rok	8 536 MWh/rok	4 120 Kč/MWh	35,2 mil. Kč
Roční náklady	Množství	Jednotková cena	Celková cena
Vstupní suroviny	-	-	12,1 mil. Kč
Siláž	16 000 t/rok	650 Kč/t	10,4 mil. Kč
Kejda	13 333 m ³ /rok	80 Kč/m ³	1,1 mil. Kč
Cukr. řízky	1 667 t/rok	400 Kč/t	0,7 mil. Kč
Obsluha BPS	2 osoby	360 000 Kč/rok	0,7 mil. Kč
Údržba BPS	-	-	4 mil. Kč
Odpisy	-	-	5,0 mil. Kč
Celkové roční náklady	-	-	21,9 mil. Kč
Návratnost investice			
Celkové investiční náklady	-	-	100,0 mil. Kč
Dotace (30 % z 1. etapy výstavby)	-	-	19,5 mil. Kč
Návratnost investice bez dotace	-	-	7,5 let
Návratnost investice s dotací	-	-	6,0 let

Grafická interpretace návratnosti investice je zobrazena na obr. 32. Stejně jako ve výpočtu, tak i zde jsou zobrazeny hodnoty bez přiznání dotace a s přiznáním dotace.

*Obr. 32 Návratnost investice*

6 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo seznámit se s problematikou anaerobní fermentace a zhodnotit energetickou a ekonomickou bilanci vybrané bioplynové stanice. V práci byla popsána teorie vzniku bioplynu v bioplynové stanici a bioplynové stanice byly rozděleny podle různých kritérií do několika skupin. Dále byly popsány základní prvky bioplynových stanic a byly nastíněny různé možnosti využití bioplynu a zbytkového substrátu. V poslední kapitole byla popsána provozovaná bioplynová stanice Dubinka s.r.o. Dle poskytnutých informací byla vypracována energetická bilance zmíněné bioplynové stanice a následně v jednoduchosti vypočítaná doba návratnosti této bioplynové stanice.

Díky státním dotacím na výstavbu bioplynových stanic a podpoře při výkupu elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie zažívá v posledních letech oblast bioplynových stanic výrazný rozvoj. Zejména výhodná je výstavba bioplynových stanic ve velkých zemědělských podnicích s dostatečnou zásobou vstupních surovin. Investičně výhodnější jsou bioplynové stanice o velkých elektrických výkonech, protože měrné investiční náklady s rostoucí velikostí BPS klesají. Důležité je také zužitkování generovaného tepla z kogenerace.

Posuzovaná bioplynová stanice Dubinka s.r.o. má podle předpokládaných výnosů a nákladů čistý roční zisk 13,3 mil. Kč. Návrhnost investice tak vychází v případě poskytnutí investičních dotací na 6,0 let a v případě zamítnutí dotace na 7,5 let. Podle poskytnutých informací byla před výstavbou BPS vypracována studie, která předpokládá návratnost investice bez dotace 7 let. Jednoduchý výpočet, provedený v této bakalářské práci, tedy přibližně odpovídá podrobnější studii.

Bioplynové stanice jsou jednoznačně přínosem jak pro zemědělské podniky, tak i obecně pro energetiku. Zemědělské podniky využívají BPS především jako další zdroj příjmů. Česká republika se zavazuje Evropské unii zvyšovat podíl vyráběné elektrické energie z obnovitelných zdrojů a napomáhat tak k ekologičtější výrobě elektřiny. V porovnání například s výrobou elektřiny ve fotovoltaických elektrárnách je jednoznačně výhodnější výroba elektřiny v BPS. Fotovoltaické elektrárny vyrábí elektřinu v závislosti na slunečním svitu, a tak je jejich produkce velmi nerovnoměrná a působí tak problémy při regulaci elektrizační sítě. Na rozdíl od fotovoltaiky vzniká energie v BPS kogenerací, a tak vedle elektřiny získáváme také mnohdy potřebné teplo, které bychom museli vyrábět jiným způsobem.

Použitá literatura

- [1] DOMANSKÁ, Lucie. Bioplynové stanice – nova příležitost k podnikání. *Podnikatel.cz* [online]. 6.8.2007 [cit. 2012-03-10]. Dostupné z: <<http://www.podnikatel.cz/clanky/bioplynove-stanice-nova-prilezitost-k-podnikani-1/>>.
- [2] KOUBOVÁ, Dana. Téměř tisíc nových bioplynových stanic v Německu. *Agronavigátor* [online]. 1.11.2011 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <<http://www.agronavigator.cz/default.asp?ids=138&ch=1&typ=1&val=114929>>.
- [3] ERÚ [online]. 1.11.2011 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/user_data/files/licence/info_o_drzitelich/OZE/12_01_bpl.pdf>.
- [4] Výroba elektrické energie z OZE v roce 2011. *Česká bioplynová asociace* [online]. 9.2.2012 [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <<http://www.czba.cz/aktuality/vyroba-elektricke-energie-z-oze-v-roce-2011.html>>.
- [5] SCHULZ, Heinz a Barbara EDLER. *Bioplyn v praxi*. 1. Vyd. Ostrava: HEL, 2004. ISBN 80-86167-21-6.
- [6] HOLUB, R. *Problematika síry a křemíku v bioplynu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 37 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Zdeněk Beňo.
- [7] ŽÍDEK, Michal. Alternativní využití bioplynu. *Energie z biomasy - seminář 2003* [online]. 2003 [cit. 2012-04-05]. Dostupné z: <<http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa/Zidek.pdf>>.
- [8] CZ Agromont. Desatero bioplynových stanic aneb zásady efektivní výstavby a provozu bioplynových stanic. *Agromont.cz* [online]. 2007 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.agromont.cz/userfiles/file/dokumenty_5.pdf>.
- [9] KÁRA, Jaroslav, Zdeněk Pastorek, Evžen Příbyl. Výroba a využití bioplynu v zemědělství. *Eagri* [online]. 2007 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <<http://eagri.cz/public/web/file/26952/Vyrobaavyuzitbioplynu.pdf>>.
- [10] CZ Bioprofit. Anaerobní technologie. *Bioprofit.cz* [online]. 2007 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm>.
- [11] CZ Biom. Dostatek kvalitních vstupních surovin pro výrobu bioplynu. *Biom.cz* [online]. 18.12.2012 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/dostatek-kvalitnich-vstupnich-surovin-pro-vyrobu-bioplynu>>.
- [12] BAČÍK, Ondřej. Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu. *Biom.cz* [online]. 14.01.2008 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu>>.
- [13] MUŽÍK, Oldřich, Jaroslav KÁRA: Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. *Biom.cz* [online]. 04.03.2009 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>>.

-
- [14] CZ Jma. Bioplyn. *Jma.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z: <http://www.bioplynove-stanice.com/cze/index.php?action=page_detail&id=2>.
- [15] Fermentácia. *Polnohospodárska biomasa* [online]. 2006 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <<http://www.polnohospodarskabiomasa.sk/index.php?c=13.2.1>>.
- [16] MUŽÍK, Oldřich, SLEJŠKA, Antonín: Možnosti využití anaerobní fermentace pro zpracování zbytkové biomasy. *Biom.cz* [online]. 14.7.2003 [cit. 2012-04-02]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy>>.
- [17] *Agroslužby 3S* [online]. 2010 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: <<http://agrosluzby3s.cz/?zobraz=10>>.
- [18] KÁRA, Jaroslav, KOUTNÝ, Roman: Využití fermentačních zbytků anaerobní digesce jako paliva. *Biom.cz* [online]. 2009-12-30 [cit. 2012-05-15]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-fermentacnich-zbytku-anaerobni-digesce-jako-paliva>>.
- [19] NOVOTNÝ, Petr. Historie a perspektivy OZE - bioplyn. *TZB-info* [online]. 4.5.2009 [cit. 2012-03-5]. Dostupné z: <<http://oze.tzb-info.cz/biomasa/5610-historie-a-perspektivy-oze-bioplyn>>.
- [20] VYŠTEINOVÁ, Tereza. *Výroba, úprava a využití bioplynu v energetice a v dopravě*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, 2011. 98 s. Vedoucí diplomové práce Mgr. Eduard Ščerba Ph.D.
- [21] POSPÍŠIL, Jiří, FIEDLER, Jan. Systémy společné výroby elektrické energie, tepla a chladu. *TZB-info* [online]. 31.5.2010 [cit. 2012-03-27]. Dostupné z: <<http://oze.tzb-info.cz/kogenerace/6519-systemy-spolecne-vyroby-elektricke-energie-tepla-a-chladu>>.
- [22] ČERMÁKOVÁ, Jiřina: Nové trendy ve využití bioplynu. Sborník příspěvků ze semináře „Energie z biomasy X“, VUT v Brně, 2009, ISBN 978-80-214-4027-2.
- [23] ČERMÁKOVÁ, Jiřina: Nové trendy ve využití bioplynu. *Biom.cz* [online]. 2009 [cit. 2012-04-012]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nove-trendy-ve-vyuziti-bioplynu>>.
- [24] CNG stanice v České republice. *CNG* [online]. [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <<http://www.cng.cz/cs/cng-stanice-v-ceske-republice/>>.
- [25] *TEDOM* [online]. [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <<http://bus.tedom.cz/zakladni-udaje.html>>.
-

Přehled použitých symbolů a zkratk

OZE	obnovitelný zdroj energie
BPS	bioplynová stanice
BP	bioplyn
ERÚ	Energetický regulační úřad
CZT	centrální zásobování teplem

E_{celk}	MWh	celková roční výroba elektrické energie
p_e^{max}	kW	maximální elektrický výkon kogenerační jednotky
t	h	roční provozní doba kogenerační jednotky
E_{vl}	MWh	vlastní spotřeba technologie
E_{prodej}	MWh	elektřina prodaná do rozvodné sítě

Seznam obrázků

Obr. 1 Nárůst počtu bioplynových stanic v České republice	3
Obr. 2 Podíl bioplynu na celkové produkci elektrické energie v OZE v roce 2011	3
Obr. 3 Čtyři fáze procesu vyhnívání	4
Obr. 4 Vliv teploty vyhnívacího procesu a doby kontaktu na množství a složení vyrobeného plynu	5
Obr. 5 Citlivost metanových bakterií na změnu teploty	6
Obr. 6 Podíl jednotlivých složek bioplynu	7
Obr. 7 Výnosnost bioplynu	9
Obr. 8 Schéma jednotlivých uzlů bioplynové stanice	10
Obr. 9 Dělení bioplynové technologie podle konzistence substrátu	11
Obr. 10 Kontinuální metoda se zásobníkem	13
Obr. 11 Schéma bioplynové stanice	14
Obr. 12 Míchadla pro bioplynové stanice	15
Obr. 13 Schéma spirálového výměníku tepla	16
Obr. 14 Stěnové vytápění	17
Obr. 15 Horizontální reaktor	18
Obr. 16 Vertikální fermentor	18
Obr. 17 Schéma plynojemu	20
Obr. 18 Využití digestátu z BPS jako hnojiva	21
Obr. 19 Brikety s příměsí tuhé frakce digestátu	21
Obr. 20 Princip kogenerační jednotky s pístovým spalovacím motorem	23
Obr. 21 Schéma absorpčního oběhu	24
Obr. 22 Princip palivového článku na bioplyn	25
Obr. 23 Autobus na palivo CNG	26
Obr. 24 Ujetá vzdálenost osobního automobilu na různá biopaliva vyprodukovaná z 1 ha zemědělské půdy	26
Obr. 25 Blokové schéma BPS Dubinka s.r.o.	28
Obr. 26 Kukuřičná siláž a cukrovarnické řízky	28
Obr. 27 Aktuální hodnoty složek plynu	29
Obr. 28 Svíčka	29
Obr. 29 Motor GE Jenbacher	30
Obr. 30 Centrální čerpadlo	30
Obr. 31 Displej centrálního počítače	31
Obr. 32 Návrh investice	34

Seznam tabulek

Tab. 1 Energetické zužitkování bioplynu	22
Tab. 2 Srovnání energetických vstupů a výstupů při zpracování biopaliv	27
Tab. 3 Energetická bilance zemědělského podniku Dubinka s.r.o.	32
Tab. 4 Ekonomické posouzení bioplynové stanice v areálu Dubinka s.r.o.	33