

Katedra elektroenergetiky a ekologie
Fakulta elektrotechnická
Západočeská univerzita v Plzni

Diplomová práce

Výroba, úprava a využití bioplynu
v energetice a dopravě

Tereza Vyšteinová

Školitel: Mgr. Eduard Ščerba, Ph.D.
Datum odevzdání: 11. května, 2011

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Výroba, úprava a využití bioplynu, v energetice a dopravě* jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušila autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhla nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědoma následků porušení ustanovení §11 autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestně-právních důsledků vyplývajících z ustanovení §152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

.....

Tereza Vyšteinová

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou výroby, čištění a následným využitím bioplynu jak v energetice, tak i v dopravě. Srovnává standardní využití bioplynu v kogeneračních jednotkách pro výrobu elektrické energie a tepla s variantou čištění bioplynu na kvalitu zemního plynu a následného vtlačení do sítí zemního plynu. Na navrženém modelu bioplynové stanice o velikosti 1 MW porovnává tyto dvě varianty z ekonomického, energetického a environmentálního hlediska.

Klíčová slova: Bioplyn, biometan, bioplynová stanice, technologie na úpravu bioplynu, zemní plyn, napájení sítě zemního plynu, environmentální aspekty, ekonomické aspekty.

Abstract

This master thesis deals with the production, modification and usage of biogas in energetics and transportation. It compares a standard utilization of biogas in co-generation units for heat and electric power production with a variant of upgrading biogas to the quality of nature gas and usage in the local gas distribution networks. In the designed model of biogas plant, which has power output 1 MW, there are compared this two variants from energetical, economical and environmental aspects.

Keywords: Biogas, Biomethan, Biogas plant, Upgrade technology, Natural gas, Injection into the Gas Grid, Environmental Aspects, Economical Aspects.

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce Mgr. Eduardu Ščerbovi, Ph.D. za ochotu, s nímž se mi při práci věnoval, za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce.

Děkuji svému konzultantovi z firmy Johann Hochreiter s.r.o. panu Ing. Jiřímu Pastorkovi za poskytnutí všech potřebných materiálů nezbytných k realizaci této práce a odborné vedení.

Dále bych ráda poděkovala svému příteli Ing. Josefu Ottovi, Ph.D. za odbornou pomoc při grafickém zpracování textu v programu $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X}$ a celé své rodině za podporu při psaní této diplomové práce.

Obsah

1	Úvod	1
2	Analýza současného stavu výroby bioplynu a jeho využití	3
2.1	Základní pojmy z oblasti výroby bioplynu	3
2.2	Vznik bioplynu	4
2.2.1	Anaerobní fermentace	5
2.2.2	Složení a vlastnosti bioplynu	6
2.3	Zdroje biomasy pro výrobu bioplynu	7
2.3.1	Produkce bioplynu z různých substrátů	9
2.3.2	Energetický potenciál jednotlivých druhů odpadů	10
2.4	Důvody využívání anaerobní fermentace v zemědělství	12
2.5	Pozice obnovitelných zdrojů energie v energetické bilanci ČR	13
2.5.1	Výroba elektřiny z OZE	13
2.5.2	Výroba tepelné energie z OZE	14
2.5.3	Energetické využívání bioplynu	15
3	Popis současné technologie na výrobu, úpravu a využití bioplynu	19
3.1	Zařízení na výrobu bioplynu	19
3.1.1	Počet procesních stupňů	19
3.1.2	Procesní teplota	20
3.1.3	Způsob pohybu substrátu	20
3.1.4	Obsah sušiny	20
3.1.5	Porovnání technologií suché a mokré fermentace	23
3.2	Funkční popis technologie bioplynové stanice „kruh v kruhu“	25
3.3	Technologie na úpravu bioplynu	28
3.3.1	PSA (Pressure Swing Adsorption)	29
3.3.2	Metoda absorpce	30
3.3.3	Membránová separace	32
3.3.4	Nízkoteplotní rektifikace - kryotechnologie	33
3.3.5	Porovnání technologií čištění bioplynu	33

3.4	Možnosti využití bioplynu	34
3.4.1	Spalování v kotlích	34
3.4.2	Kogenerace	35
3.4.3	Trigenerace	36
3.4.4	Palivové články	37
3.4.5	Biometan jako palivo pro motorová vozidla	39
3.4.6	Biometan v porovnání s jinými palivy	40
3.4.7	Napájení sítě zemního plynu	42
3.4.8	Požadavky na kvalitu vtláčeného biometanu	43
3.4.9	Závěr	46
4	Návrh bioplynové stanice s ohledem na využití biometanu	47
4.1	Postup při realizaci projektů bioplynových stanic v ČR	47
4.2	Zemědělská bioplynová stanice z hlediska legislativy	49
4.3	Koncepce bioplynové stanice 1 MW	51
4.4	Finanční náročnost bioplynové stanice	53
4.4.1	Kalkulace nákladů stavební části a technologie	53
4.4.2	Ekonomická bilance produkce bioplynu	55
5	Porovnání bioplynu z hlediska ekonomické a environmentální přijatelnosti	59
5.1	SWOT analýza výstavby BPS	59
5.2	Ekonomické aspekty	60
5.2.1	Ekonomická efektivnost investice	60
5.2.2	Výkupní cena energie	62
5.2.3	Diverzifikace příjmů	64
5.3	Environmentální aspekty	64
5.3.1	Problematika zápachu	64
5.3.2	Zdroj emisí	65
5.3.3	Nezávislý obnovitelný zdroj energie	66
6	Závěr	67
7	Přílohy	73

Seznam tabulek

2.1	Složení bioplynu, [14].	7
2.2	Produkce bioplynu ze substrátů na bázi zvířecích exkrementů, [9].	9
2.3	Produkce bioplynu ze substrátů na bázi energetických rostlin, [9].	10
2.4	Přehled potenciálu biomasy anaerobní fermentací v ČR, [16].	11
2.5	Energetický potenciál zbytkové biomasy na území ČR, [11].	11
2.6	Teoretický potenciál využití energie z exkrementů hospodářských zvířat v ČR, [11].	12
2.7	Výroba elektřiny z OZE v roce 2009, [17].	14
2.8	Výroba tepla z OZE v roce 2009, [17].	14
2.9	Spotřeba bioplynu k energetickým účelům v roce 2008 a 2009, [17].	16
2.10	Výroba elektřiny z bioplynu v roce 2009 a 2008 , [17].	16
2.11	Výroba tepla z bioplynu v roce 2009 a 2008, [17].	16
3.1	Postupy výroby bioplynu dle jednotlivých kritérií, [14].	19
3.2	Srovnávání parametrů jednotlivých absorpčních procesů, [25].	33
3.3	Požadavky na kvalitu bioplynu dle TPG 902 02, [32].	43
3.4	Návrh vlastnictví zařízení pro úpravu a vtláčení biometanu do sítí zemního plynu, [37].	45
4.1	Etapy výstavby bioplynové stanice, [19].	49
4.2	Bilanční výpočet bioplynové stanice 1000 kW _e	51
4.3	Parametry technologických nádrží	52
4.4	Náklady stavební a technologické části BPS 1 MW.	54
4.5	Tržby z energií vyrobených na BPS kategorie AF1.	55
4.6	Tržby z prodeje biometanu (zemního plynu)	56
5.1	SWOT analýza	60
5.2	Výkupní ceny a zelené bonusy pro elektřinu vyrobenou z bioplynu.	63
5.3	Limitní hodnoty znečišťujících látek, [40].	65

Seznam obrázků

2.1	Zjednodušené schéma anaerobní fermentace, [6].	6
2.2	Výhřevnost bioplynu v závislosti na koncentraci metanu, [6].	8
2.3	Význam anaerobní fermentace vlhkých organických materiálů, [6].	12
2.4	Mapa bioplynových stanic, CZ Biom 2009, www.biom.cz , [18].	15
3.1	Blokové schéma technologie mokré fermentace, [19].	21
3.2	Výstavba fermentoru „kruh v kruh“, [19].	22
3.3	Blokové schéma technologie mokré fermentace, [19].	22
3.4	Princip diskontinuální technologie, [19].	23
3.5	Garážový systém fermentorů na tuhý organický materiál suchý a sucho-mokrý proces, [6].	24
3.6	Schéma bioplynové stanice se sucho-mokrou fermentací, [22].	24
3.7	Koncepce bioplynové stanice „kruh v kruhu“ firmy Johann Hochreiter, [20] . . .	25
3.8	Vstupní dávkovací zařízení - firma Fliegel, [23].	26
3.9	Horizontální pádlové míchadlo; 1- kryt s pádlem, 2- pádla (4x), 3- závěs ložiska, 4- kluzné ložisko, 5- míchací hřídel, [23].	27
3.10	Vertikální pádlové míchadlo, [23].	27
3.11	Boční vrtulové míchadlo, [23].	28
3.12	Centrální čerpadlo, [23].	28
3.13	Procesní schéma úpravy bioplynu technologií PSA	30
3.14	Procesní schéma úpravy bioplynu vodní absorpcí	31
3.15	Schéma membránové separace	33
3.16	Způsoby využití bioplynu	34
3.17	Schématická výstavba kogenerační jednotky, schéma ASUE, [14].	35
3.18	Kogenerační jednotka, [26].	36
3.19	Schéma zapojení absorpčního chlazení, firma TEDOM, [28].	37
3.20	Princip palivového článku (MVFC) na bioplyn, [6].	38
3.21	Motorový vlak ve švédském Linköpingu, [1].	41
3.22	Porovnání produkce, efektivity a dojezdové vzdálenosti kapalných biopaliv na 1 hektar pěstební plochy za rok, [30].	41
3.23	Schéma uspořádání technologií pro vtláčení biometanu do plynárenských sítí. . .	42

3.24	Blokové schéma vlastnictví zařízení, [37].	44
3.25	Bioplynová stanice Pliening v Německu, [33].	46
4.1	Grafické znázornění uspořádání objektů v areálu BPS.	52
4.2	Měrná investiční náročnost bioplynové stanice, [6].	54
5.1	Schéma režimu výkupních cena zelených bonusů, [39].	63

Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka	Název
ATP	Alternativní paliva
BM	Biometan
BP	Bioplyn
BPE	Bioplynová elektrárna
BPS	Bioplynová stanice
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
BRPO	Biologicky rozložitelný průmyslový odpad
Btl	Biopaliva 2. generace („Biomass to liquid“)
CH ₄	Metan
CNG	Stlačený zemní plyn („Compressed Natur Gas“)
CO ₂	Oxid uhličitý
ČOV	Čistírna odpadních vod
D	Výše poskytnuté dotace (Kč)
EIA	Posuzování vlivu na životní prostředí („Environmental Impact Assessment“)
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
H ₂	Vodík
H ₂ O	Voda
H ₂ S	Sulfan
KJ	Kogenerační jednotka
LFG	Skládkový plyn („Landfill Gas“)
LNG	Zkapalněný zemní plyn („Luiquide Nature Gas“)
LPG	Zkapalněný ropný plyn („Luquefied Petroleum Gas“)
MEA	Membránová separace
N	Jednorázové náklady (Kč)
N ₂	Dusík
NaOH	Hydroxid sodný
NH ₃	Amoniak
NO _x	Oxidy dusíku
N _{pr}	Průměrné roční provozní náklady (Kč)
O ₂	Kyslík

OZE	Obnovitelné zdroje energie
PRO	Průmyslové odpady
PSA	Tlaková adsorpce („Pressure Swing Adsorption“)
PWA	Absorpce vodní vypírkou („Pressure Water Absorption“)
REZZO	Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší
SNG	Náhradní zemní plyn („Substitute Natur Gas“)
TKO	Tuhý komunální odpad
TOC	Uhlovodíky
TS	Obsah sušiny
T_s	Prostá doba návratnosti (roky)
TZL	Tuhé znečišťující látky
V_r	Průměrné roční výnosy (Kč)
ZP	Zemní plyn

*We can create a more sustainable, cleaner
and safer world by making wiser energy
choices.*

Robert Alan

1

Úvod

V současné době význam obnovitelných zdrojů energie neustále zvyšuje. Ceny všech dostupných paliv rostou, a proto se výrobci energií častěji zamýšlejí nad otázkou, jak nahradit alespoň část spalovaných fosilních paliv environmentálně vhodnějším materiálem. Jednou z elegantních možností je využití bioplynu. Bioplynové stanice jsou zařízení produkující bioplyn, který je následně přeměněn na elektrickou energii a teplo, popřípadě chlad. Tato vyrobená energie byla v dříve spotřebována v místě výroby, dnes se elektrická energie dostává do distribuční sítě a následně k zákazníkům. V současné době je bioplyn v České republice využíván pouze v kogeneračních jednotkách, avšak v zahraničí jsou o něco dále a snaží se využít maximální množství energie, která je v bioplynu obsažena. Vzniklý bioplyn je možné vyčistit na plyn nazývaný též jako biometan, který je svým složením a vlastnostmi téměř totožný se zemním plynem. Tento plyn je možné dále efektivněji využívat například vtlačení do distribučních sítí zemního plynu nebo jako pro palivo pro motorová vozidla (CNG, LNG). Obě tyto varianty se v zahraničí začínají čím dál častěji objevovat.

Tato diplomová práce se zabývá problematikou výroby, úpravy a využití bioplynu z bioplynových stanic v energetice a dopravě. Práce je rozdělena do čtyř hlavních kapitol, přičemž první část je zaměřena na analýzu současného stavu výroby bioplynu a jeho využití.

V druhé části práce jsou popsány dosud známé technologie na výrobu a čištění bioplynu. Je zde blíže popsán proces výroby bioplynu v bioplynových stanicích. Dále jsou v tomto bodě popsány jednotlivé způsoby využívání bioplynu jako je například kogenerace, trigenerace, spalování, ale také nové alternativy jako je využití bioplynu v palivových člancích nebo jako motorového paliva.

V třetí části práce je navržen model bioplynové stanice o velikosti 1 MW. Jsou zde porovnávány dvě varianty využití. První možnost představuje klasická BPS s kogenerační jednotkou, druhou variantu tvoří BPS s technologií na čištění bioplynu. Pro obě možnosti je zpracována kalkulace nákladů a výnosů.

Čtvrtý bod práce je zaměřen na hodnocení bioplynových stanic z hlediska environmentálních a ekonomických aspektů. Jaký vliv má provoz bioplynových stanic na okolní prostředí.

*Nature provides a free lunch, but only if
we control our appetites.*

William Ruckelshaus

2

Analýza současného stavu výroby bioplynu a jeho využití

V posledních letech stále výrazněji stoupá zájem o problematiku v oblasti bioplynu. Zvýšená poptávka po obnovitelných zdrojích energie umožňuje dynamický rozvoj jejich využívání a vývoj technologií pro produkci bioplynu. V současné době není možné ve větším měřítku nahradit fosilní paliva, avšak systémy, které využívají bioplyn jako zdroj energie, jsou perspektivními energetickými zdroji s neomezenými možnostmi do budoucna a s vysoce pozitivními přínosy pro životní prostředí.

V současnosti je v ČR bioplyn využíván jako obnovitelné palivo a to především pro výrobu elektřiny a tepla v kogeneračních jednotkách umístěných v areálu bioplynových stanic (BPS). Důvodem, proč se u nás vyrábí právě elektřina, je veřejná podpora instalacím využívajícím obnovitelné zdroje energie pro výrobu elektřiny formou grantových výkupních cen, tzv. „Zelených bonusů“ majících charakter příplatku za environmentálně šetrnou výrobu elektrické energie. Nevýhodou takovýchto instalací je nedostatečné využití tepla z kogenerace, zvláště v letním období. V zahraničí se proto v posledních letech objevuje řada nových instalací s úpravou bioplynu na biometan, který pak může být plnohodnotnou náhradou zemního plynu využitelného např. jako motorové palivo v dopravě. A to buď přímým zásobováním blízkoležících plnicích stanic na stlačený (zemní) plyn - CNG (z angl. "Copressed Natur Gas"), nebo vtlačáním do distribuční sítě zemního plynu, jejímž prostřednictvím lze biomatan dodávat daleko širšímu okruhu dalších možných zájemců, [1, 6].

2.1 Základní pojmy z oblasti výroby bioplynu

Anaerobní fermentace je proces, při kterém dochází k přeměně surové organické hmoty na biologicky stabilizovaný substrát a bioplyn.

Biomasa (BM), biopalivo jsou látky organického původu, které lze využít jako zdroje energie, např. pro spalování, zplyňování aj., [3].

Biometan je upravený bioplyn vhodný pro vtlačení do plynárenských sítí, [12].

Biopalivo motorové kapalné nebo plynné pohonné hmoty vyrobené z biomasy a určené pro pohon vozidel na pozemních komunikacích, [3].

Bioplyn je směs plynů, kde podstatnou část tvoří metan (50 - 75%) a zbytek je doplněn oxidem uhličitým (25 - 50%) a malým množstvím dalších příměsí jako voda nebo sulfan (H_2S). Vzniká bakteriálním rozkladem organické hmoty bez přístupu vzduchu, [11].

Bioplynové stanice (BPS) jsou zařízení pro řízenou anaerobní fermentaci organických látek. Obecné rozdělení BPS je na zemědělské (statková hnojiva, zemědělská biomasa), čistírenské (kaly z ČOV) a komunální BPS, které zpracovávají bioodpady a vedlejší živočišné produkty, [10].

CNG - Compressed Natur Gas znamená stlačený zemní plyn. Je používán jako palivo pro pohon motorových vozidel, [13].

Digestát je fermentovaný zbytek z provozu bioplynových stanic. Lze ho rozdělit na tuhou složku - separát a na tekutý fugát. Digestáty z BPS zpracovávajících odpady v případě, že vyhovují limitům obsahu cizorodých látek, zejména těžkých kovů, mohou být použity jako organické hnojivo na zemědělské půdě na základě předpisů legislativy hnojiv nebo mohou být použity jako rekultivační digestát na nezemědělské půdě. Tuhé digestáty mohou být kompostovány nebo upravovány na pěstební substráty. Fugát po odvodnění digestátu může být částečně recyklován v provozu BPS nebo vypouštěn na ČOV, [10].

Kofermentace je technologie umožňující fermentovat při anaerobní digesci např. zvířecí fekálie společně s dalšími bioodpady ze zemědělské, komunální a průmyslové sféry, [8].

LNG - Liquid Natur Gas je zemní plyn ve zkapalněné formě, [13].

LPG - Liquefied Petroleum Gas neboli zkapalněný ropný plyn je směs uhlovodíkových plynů používaná jako palivo do spalovacích spotřebičů a vozidel, [13].

Reaktorový plyn se vyrábí v reaktorech a základní surovinou může být např. rostlinný odpad, dřevní biomasa, kaly získané při čištění odpadních vod. Vsázku reaktoru je nutno aktivovat speciální kulturou, která zajišťuje nastartování technologického procesu. Bioplyn vzniklý touto technologií sestává převážně z metanu a oxidu uhličitého, [3].

Skládkový plyn je bioplyn těžený ze skládek tuhých komunálních odpadů. Vzniká podobným způsobem jako bioplyn vyráběný v reaktorech. Ze skládek se plyn čerpá speciálními čerpacími agregáty, [3].

2.2 Vznik bioplynu

Bioplyn vzniká během řízené anaerobní fermentace, která se taktéž nazývá anaerobní digesce, biogasifikace, vyhnívání, anaerobní stabilizace, ale obecně se označuje jako methanizace. Methanizace (biomethanizace) je soubor procesů, při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá biologicky rozložitelnou hmotu bez přístupu vzduchu. Konečnými produkty jsou stabilizovaná organická hmota (zbytková biomasa, tzv. digestát) a bioplyn, který je tvořen převážně methanem a oxidem uhličitým. Zvláštní skupinou mezi bioplyny představují plyny tvořící se samovolně ve skládkách odpadů, které obsahují biologicky rozložitelné komponenty. Principiálně jde o zcela stejné procesy jako u reaktorové biometanizace, ale složení skládkových plynů bývá mnohem proměnlivější. Proto odborná literatura používá pro tento plyn zkratku LFG (Landfill Gas, tzv. skládkový plyn).

Mezi konečné produkty z BPS patří stabilizovaný digestát, který se nachází většinou v tekutém stavu s nízkým podílem sušiny. Obsahuje hodnotné organické látky a minerální živiny a dále se používá jako organické hnojivo pro své velmi dobré vlastnosti, [2, 15].

2.2.1 Anaerobní fermentace

Methanová fermentace je soubor řady na sebe navazujících procesů, na kterých se podílí několik základních skupin anaerobních mikroorganismů. Produkt jedné skupiny mikroorganismů se stává substrátem skupiny druhé, a proto výpadek jedné skupiny může způsobovat poruchy v celém systému. Rozlišují se 4 stádia rozkladu:

Hydrolýza

při hydrolýze jsou rozkládány makromolekulární rozpuštěné i nerozpuštěné organické látky (polysacharidy, lipidy, proteiny) na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů. Tyto enzymy jsou produkovány hlavně fermentačními bakteriemi. Vznikající nízkomolekulární látky jsou schopny na rozdíl od makromolekulárních transportu dovnitř buňky. Předpokladem pro nastartování hydrolýzy je dostatečný obsah vlhkosti nad 50% hmotnostního podílu. Hydrolytické organismy ještě nevyžadují striktně bezkyslíkaté prostředí.

Acidogeneze

jde o druhou fázi rozkladu, při níž jsou produkty hydrolýzy uvnitř buňky dále rozkládány na jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy, oxid uhličitý, vodík). Fermentací těchto látek se tvoří řada konečných redukováných produktů, které jsou závislé na charakteru počátečního substrátu a na podmínkách prostředí. Během této fáze dojde k vytvoření bezkyslíkatého prostředí.

Acetogeneze

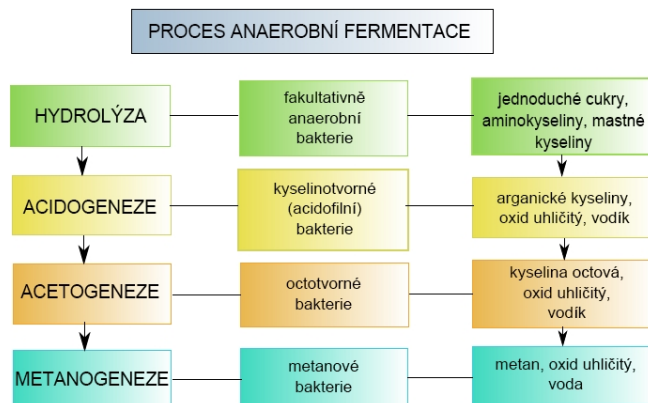
někdy též označovaná jako mezifáze. Při acetogenezi dochází k dalšímu štěpení substrátu na vodík, oxid uhličitý a kyselinu octovou. Dále probíhá acetogenní respirace oxidu uhličitého a vodíku homoacetogenními mikroorganismy. Účast těchto mikroorganismů produkujících vodík je nezbytná, jelikož rozkládají kyselinu propionovou a ostatní organické kyseliny vyšší než octovou, alkoholy a některé aromatické sloučeniny.

Metanogeneze

je poslední fází procesu a obsahuje již methanogenní organismy, které rozkládají některé jednodušší látky (methanol, kyselina mravenčí, metylamin, oxid uhličitý, vodík, oxid uhelnatý) a kyselinu octovou. Při této fázi dochází k vlastní tvorbě bioplynu. Metanogenní fáze probíhá přibližně 5x pomaleji než předchozí tři. Tomu je třeba přizpůsobit konstrukci bioplynových technologických systémů a dávkování surového materiálu jinak hrozí přetížení fermentoru. Methanogenní organismy jsou nejdůležitější trofickou skupinou, mají vysoce specifické požadavky na substrát i životní podmínky.

Všechny fáze procesu anaerobní methanové fermentace jsou následné, při kontinuálním provozu probíhají současně. Důležitou úlohu hrají bakterie, které mají přímý vliv na jednotlivé fáze rozkladu. Rozlišujeme dva druhy bakterií:

Acetotrofní methanogenní bakterie - jejich působením vzniká významný podíl methanu v bioplynu. Tyto bakterie rozkládají kyselinu octovou na směs metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2). Jsou schopny udržovat pH fermentačního média.



Obrázek 2.1: Zjednodušené schéma anaerobní fermentace, [6].

Hydrogenotrofní methanogenní bakterie - produkují methan z vodíku a oxidu uhličitého. Rostou poměrně rychle, jejich generační doba je asi 6 hodin. V anaerobním procesu působí tyto vodíkové methanogeny jako samoregulátor. Odstraňují ze systému téměř všechny vodík. Koncentrace vodíku v plynu by měla být minimální a může být způsobena buď přetížením anaerobního reaktoru nebo inhibicí (zadržováním) těchto methanogenů, [2, 3, 4].

Výroba bioplynu je velmi složitým procesem a musí probíhat za určitých podmínek. Metanové bakterie se mohou efektivně množit a pracovat pouze pokud jsou splněny následující podmínky:

Vlhké prostředí - jelikož bakterie nejsou schopné žít v pevném substrátu, je nutné zajistit dostatečnou vlhkost.

Zabránění přístupu vzduchu - metanové bakterie nejsou schopné pracovat za přítomnosti vzduchu. V případě, že je přítomný kyslík, je zapotřebí, aby jej zpracovaly bakterie v prvních fázích metanové fermentace, ale tím se proces zpomaluje.

Zabránění přístupu světla - světlo zpomaluje průběh procesu.

Stálá teplota - pro každý typ kmenů bakterií je charakteristická jiná teplota optimálního růstu. Tato teplota je v rozmezí 0°C až 70°C, většinou je to kolem 40°C.

Hodnota pH - methanogenní organismy vyžadují pro svůj růst pH v neutrální oblasti 6,5-7,5.

Optimální činnost bakterií ovlivňuje celá řada dalších faktorů, jako např. dostatečný a rovnoměrný přísun živin, odvětrání substrátu atd.

2.2.2 Složení a vlastnosti bioplynu

Složení bioplynu závisí na druhu rozkládaného substrátu, z toho také vyplývají rozdíly ve složení bioplynu a především množství metanu z různých technologických procesů. Bioplyn obsahuje vždy dva majoritní plyny a to metan (CH_4), oxid uhličitý (CO_2) a také početnou, ale objemově zanedbatelnou řadu minoritních plynů jako je vodík (H_2), sulfan (H_2S), dusík (N_2) a jiné. Při výstupu z metanizačního reaktoru obsahuje ještě určité množství vody (H_2O), dle teploty procesu (3-4%) a může obsahovat stopové množství amoniaku, mastných kyselin a jiné. Bioplyn z dobře

Tabulka 2.1: Složení bioplynu, [14].

Podíl	Koncentrace
Methan (CH ₄)	50 - 75 objem. %
Oxid uhličitý (CO ₂)	25 - 45 objem. %
Voda (H ₂ O)	2 - 7 % objem. (20 - 40°C)
Sirovodík (H ₂ S)	20 - 20 000 ppm
Dusík (N ₂)	< 2 % objem.
Kyslík (O ₂)	< 2 % objem.
Vodík (H ₂)	2 % objem.

pracujících reaktorů obsahuje 65-85% CH₄ a 20-35% CO₂. Vysoký obsah CO₂ může znamenat, že nebyly vytvořeny optimální podmínky pro anaerobní fermentaci. V Tabulce 2.1 jsou uvedeny průměrné hodnoty složení bioplynu.

Výhřevnost bioplynu je určena majoritním obsahem metanu. Díky jeho vysokému obsahu je bioplyn cenou energetickou surovinou. Na Obrázku 2.2 je znázorněna závislost výhřevnosti na obsahu metanu v bioplynu. Při obvyklém složení bioplynu s obsahem biometanu 50-70% se výhřevnost pohybuje mezi 18-26 MJ.m⁻³. Energetický obsah 1 m³ biometanu, což je metan izolovaný z bioplynu, je asi 10 kWh energie a to odpovídá 1 litru benzínu.

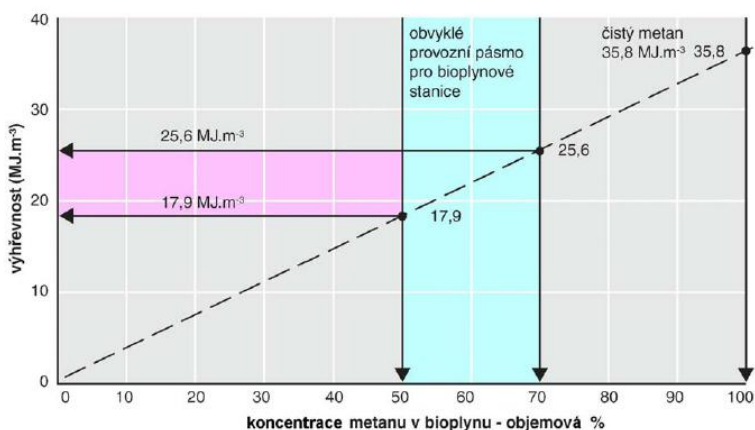
Hranice zápalnosti metanu ve směsi se vzduchem je 5 - 15% objemových. Tato koncentrace metanu již tvoří výbušnou směs. Zápalná teplota bioplynu je určena stejnou hodnotou pro metan, tj. 650 - 750 °C.

Hodnota hustoty metanu a bioplynu s 60% podílem CH₄. Bioplyn je těžší než vzduch a vytváří pro člověka i živočichy smrtelně nebezpečné prostředí v reaktorových nádobách, v prohlubenninách u skládek a podobně. Po separaci obou hlavních složek bioplynu, klesá oxid uhličitý dolů, [6].

Podrobnější rozpis vlastností, požárně technické charakteristiky metanu a ostatní technické údaje jsou uvedeny v Příloze 1.

2.3 Zdroje biomasy pro výrobu bioplynu

Pro výrobu bioplynu jsou důležité vstupní suroviny, které jsou zpracovávány v bioplynových stanicích. Jako substrát pro výrobu bioplynu slouží biomasa rozložitelná za anaerobních podmínek. Tuto biomasu představují nejrůznější druhy biologicky rozložitelných odpadů nebo cíleně pěstované energetické plodiny.



Obrázek 2.2: Výhřevnost bioplynu v závislosti na koncentraci metanu, [6].

Biomasa záměrně pěstovaná k energetickým účelům

- **energetické plodiny lignocelulózové:**

- energetické dřeviny (vrby, topoly, olše, akáty a další stromové a keřové dřeviny)
- obiloviny (celé rostliny)
- travní porosty (sloní tráva, chřastice, trvalé travní porosty,...)
- ostatní rostliny (konopí seté, čirok, křídlatka, šťovík krmný, sléz topolovka)

- **Energetické plodiny olejnaté:**

- řepka olejná, slunečnice, len, dýně na semeno

- **Energetické plodiny škrobnato-cukernaté:**

- brambory, cukrová řepa, obilí (zrno), topinambur, cukrová třtina, kukuřice

Biomasa odpadní

- **Rostlinné zbytky ze zemědělské prvovýroby a údržby krajiny** - Pro část z těchto odpadů je pro bezproblémovou fermentaci nutné předchozí drcení.

- sláma obilná, kukuřičná řepka, zbytky po likvidaci křovin a lesních náletů, zbytky z lučních a pastevních areálů, odpady ze sadů a vinic, travní porosty z úhorů, parkových úprav

- **Odpady z živočišné výroby** - Hnůj ze statků tvoří základní substrát zemědělské kofermentace. Pro kofermentaci se hodí veškeré druhy hnojů nebo pevných exkrementů vzniklých na farmách, jako např.:

- exkrementy z chovů hospodářských zvířat, zbytky krmiv, odpady z mléčnic, odpady z přidružených zpracovatelských kapacit

- **Biologicky rozložitelné komunální odpady** - Tyto odpady obsahují vyšší podíl nežádoucích látek, z toho důvodu většinou vyžadují předúpravu:

- kaly z odpadních vod, organický podíl tuhých komunálních odpadů, odpadní organické hmoty z údržby zeleně a travnatých ploch
- **Organické odpady z průmyslových a potravinářských výrob.** Odpady vzniklé ze zpracování potravin se hodí obzvláště pro kofermentaci. Odpadní produkty z výroby potravin jsou málo zatížené škodlivinami, mají zpravidla homogenní strukturu a poskytují vysoký výnos plynu. Mezi tyto odpady se řadí:
 - odpady z provozů na zpracování a skladování rostlinné produkce, odpady z jatek, z mlékáren, z lihovarů a konzerváren, odpady z vinařských provozoven, dřevařských provozů, jako jsou odřezky, hobliny, piliny
- **Odpady z lesního hospodářství:**
 - dřevní hmota z lesních propírek, kůra, větve, pařezy, kořeny po těžbě dřeva, palivové dřevo, manipulační odřezky, klest, [18, 37].

2.3.1 Produkce bioplynu z různých substrátů

Tvorba bioplynu probíhá ve vlhkém prostředí, a proto jsou pro anaerobní zpracování vhodné kapalné nebo mokré materiály, jako je např. kejda, hnůj, zbytky jídla, tuky atd. Pro produkci bioplynu ve stávajících technologických zařízeních je optimální obsah sušiny v rozmezí 5 až 15%. Jedním z dalších důležitých parametrů je poměr uhlíku a dusíku (C : N), který by se měl pohybovat v rozmezí 20:1 až 40:1. Při sestavování surovinové skladby je kromě optimaizace C : N třeba uvažovat, aby surovinová skladba umožnila efektivní zatížení bioplynové stanice. V případě, že zvířecí fekálie vykazují nízkou sušinu, je třeba uvažovat o kofermentaci s energeticky bohatším materiálem.

Zvířecí fekálie, které se používají jako substrát na zemědělských bioplynových stanicích, mají 40 - 60% rozložitelnost organické sušiny za dobu 25 - 30 dnů. Bylo zjištěno, že rozklad prasečí kejdy pokračuje i po 30 dnech, ale jen s nízkými kumulativními přírůstky bioplynu. Anaerobní digestace zvířecích fekálií může zabezpečit ročně 600 m³ bioplynu s energetickým obsahem cca 13 200 MJ. Přídavek 1 kg slámy v podestýlce zvyšuje produkci bioplynu o 0,15 - 0,35 m³. V Tabulce 2.2 se nachází údaje o produkci bioplynu ze zvířecích exkrementů. Jsou zde také znázorněny rozdíly mezi prasečí a hovězí kejdou. Prasečí kejda ve srovnání s hovězí je lepším zdrojem bioplynu, a zároveň bioplyn produkovaný z prasečí kejdy má vyšší obsah metanu.

Tabulka 2.2: Produkce bioplynu ze substrátů na bázi zvířecích exkrementů, [9].

Substrát	Produkce bioplynu m ³ /t	Produkce bioplynu m ³ /t sušiny	Obsah metanu v bioplynu v % obj.
Hovězí kejda	20 – 30	200 – 500	60
Prasečí kejda	20 – 35	300 – 700	65 -70
Hovězí hnůj	40 – 50	210 – 300	60
Prasečí hnůj	55 – 65	270 – 450	60
Drůbeží hnůj	70 – 90	250 – 450	60

Se zvířecími exkrementy je možné kofermentovat další biodegradabilní odpady ze zpracování zemědělských produktů nebo zpracovávat vedlejší živočišné produkty, např. trávu z údržby, masokostní moučku, syrovátka, chmelový extrakt, atd.

Speciální podmínky jsou požadovány na bioplynových stanicích, kde dochází ke zpracování vedlejších živočišných produktů (jateční odpady, kuchyňské odpady apod.). Na těchto bioplynových stanicích se vyžaduje k předúpravě hygienizační zařízení, tzv. pastér se záznamovým zařízením ke kontinuálnímu měření teploty a s bezpečnostním systémem k zabránění nedostačného ohřevu. Dalším důležitým zařízením je drtič, jelikož je u těchto odpadů vyžadována zrnitost 12 mm a minimální teplota ohřevu 70°C po dobu nejméně 1 hodiny.

Dotační politika a intervenované výkupní ceny elektrické energie z obnovitelných zdrojů, jako jsou např. bioplynové stanice, vede k cílenému pěstování energetických rostlin a využívání jejich biomasy k výrobě bioplynu. Konzervaci biomasy energetických rostlin nebo trvalých porostů je možno zabezpečit intenzivní celoroční provoz bioplynových stanic. V České republice jde zejména o kukuřičnou siláž a senáž z trvalých travních porostů. V sousedních státech se využívá větší sortiment energetických rostlin (cukrovka, krmná řepa, slunečnice, atd).

Při biozplynování biomasy energetických rostlin je anaerobní odbouratelnost rostlinného substrátu 60 - 80% a je tedy podstatně vyšší než u zvířecích fekálií. Hydrolýza rostlinného substrátu probíhá pomaleji než u zvířecích fekálií, jelikož rostliny obsahují významný podíl neodbouratelných látek, a proto je nutné uvažovat s prodloužením doby fermentace na 50 - 80 dnů. V Tabulce 2.3 je znázorněna produkce bioplynu ze substrátu na bázi energetických plodin, jako např. travní senáž, kukuřičná siláž, cukrovka atd., a je zde možné vyčíst množství metanu obsažené v bioplynu z jednotlivých substrátů, [9].

Tabulka 2.3: Produkce bioplynu ze substrátů na bázi energetických rostlin, [9].

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

2.3.2 Energetický potenciál jednotlivých druhů odpadů

Největší nevyužitý potenciál skýtají zemědělské provozy s odpady z živočišné výroby a zbytky rostlin. Dalším významným zdrojem je biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO), průmyslový odpad (BRPO) a kaly z čistírenských odpadních vod. BRKO patří mezi problematické zdroje, jelikož jeho složení je heterogenní a musí procházet hygienizací.

V Tabulce 2.4 je znázorněn teoretický a dostupný potenciál energie, který je možné získat ze zbytkové biomasy na území České republiky. Teoretický potenciál je vyčíslená energie z veškerého množství bioodpadů. Dostupný potenciál je teoreticky možné využít v současné době dostupnými technickými prostředky. Položka živočišný odpad v Tabulce 2.4 představuje exkrementy hospodářských zvířat, jejichž množství bylo odhadnuto z počtu chovaných zvířat v ČR, položka

fytomasa odpovídá odpadní či cíleně pěstované fytomase, kterou představují povinně sklizené travní porosty a pěstované zemědělské plodiny s vysokým obsahem dusíkatých látek, [16].

Tabulka 2.4: Přehled potenciálu biomasy anaerobní fermentací v ČR, [16].

Potenciál využití biomasy		Živočišný odpad	Fytomasa	BRKO + BRPO	Celkem
	materiál [tis. t]	30 000	6 000	2 806	38 806
Teoretický potenciál	bioplyn [m ³]	780 000	450 000	280 600	1 510 600
	energie [PJ]	17	10	6	33
	materiál [tis. t]	10 000	3 000	1 403	14 403
Dostupný potenciál	bioplyn [m ³]	260 000	225 000	140 300	625 300
	energie [PJ]	6	5	3	14

Pro lepší představu jsou data z Tabulky 2.4 převedená na elektrický a tepelný výkon. V případě, že by byl metan použit pro pohon motorových vozidel, je uveden počet osobních automobilů, které by bylo možno pohánět. Výsledné hodnoty jsou prezentovány v Tabulce 2.5. V úvahu je brána jen odpadní biomasa. Vše je počítáno za předpokladu, že bioplyn obsahuje 60% metanu, účinnost kogenerační jednotky je 33% elektrická a 50% tepelná. Pro převedení na množství automobilů poháněných biometanem (BM) se předpokládá spotřeba jednoho automobilu 8 m³ BM/100km a 20 tisíc km najetých za rok, [11].

Tabulka 2.5: Energetický potenciál zbytkové biomasy na území ČR, [11].

Potenciál využití biomasy		Celkem	MWh _{el}	MWh _t	Biometan tis. m ³	Osobní automobily ks
Teoretický	bioplyn [m ³]	1 510 600	2 990 988	4 531 800	906 360	566 475
Dostupný	bioplyn [m ³]	625 300	1 238 094	1 875 900	375 180	234 488

Tabulka 2.6 ukazuje teoretický potenciál využití energie z výkalů hospodářských zvířat. V případě, že by byly veškeré exkrementy jedné dojnice přeměněny na bioplyn, bylo by možné z daného množství ročně vyrobit cca 1 188 kWh elektrické energie nebo 1800 kWh tepelné energie. V případě, že by došlo k vyčištění bioplynu a následnému použití k pohonu osobních automobilů na CNG, bylo by možné ujet vzdálenost 4 500 km.

Zbytkovou biomasu není energeticky ani ekonomicky výhodné vozit na velké vzdálenosti, proto se doporučuje, aby byla zpracována, co nejbližší svého vzniku. Jako optimální vzdálenost se uvádí okruh v rozsahu 5 až 30 km do místa zpracování. Tento fakt vede k decentralizaci produkce energie z biodpadů. Pro pokrytí území celé České republiky by bylo zapotřebí asi 1000 bioplynových stanic, v případě, že byl zvolen rádius 5 km od bioplynové stanice.

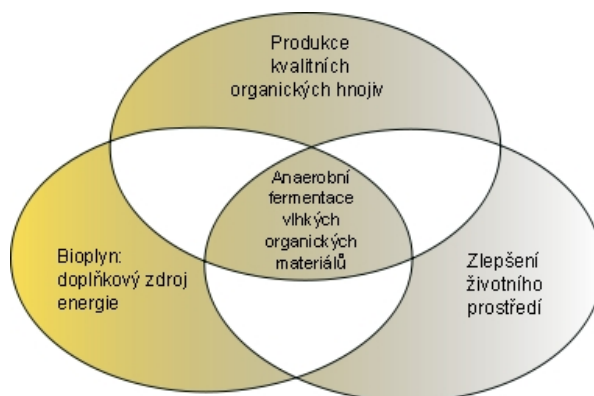
Jako vhodné lokality pro umístění bioplynových stanic přicházejí v úvahu stávající čistírný odpadních vod (ČOV) a zemědělské areály, kde je zajištěna celoroční dodávka zpracovávaného materiálu.

Tabulka 2.6: Teoretický potenciál využití energie z exkrementů hospodářských zvířat v ČR, [11].

	Produkce bioplynu m ³ /ks/rok	kWh _{el} /rok	kWh _t /rok	Ujeté km automobilu na CNG	Stavy 2007 (ks)	Celkem MWh _{el} /rok	Celkem MWh _t /rok	Počet CNG automobilů
dojnice	600	1 188	1 800	4 500	564 686	670 847	1 016 435	127 054
skot výkrm	400	792	1 200	3 000	826 707	654 752	992 048	124 006
prase výkrm	70	139	210	525	2 605 537	361 127	547 163	68 395
prasnice	110	218	330	825	224 878	48 978	74 210	9 276
nosnice	5,8	11,5	17,4	44	6 287 764	72 209	109 407	13 676
brojler	3	5,9	9,0	23	18 304 321	108 728	164 739	20 592
					28 813 893	1 916 641	2 904 002	363 000

2.4 Důvody využívání anaerobní fermentace v zemědělství

Existují tři hlavní důvody pro využívání anaerobní fermentace organických materiálů pocházejících ze zemědělství, lesnictví, komunálního hospodářství a venkovské krajiny. Obrázek 2.3 zobrazuje význam této technologie.



Obrázek 2.3: Význam anaerobní fermentace vlhkých organických materiálů, [6].

Mezi tyto důvody patří:

1. Produkce kvalitních organických hnojiv
2. Doplňkový zdroj energie
3. Zlepšení pracovního a životního prostředí

Produkce kvalitních organických hnojiv

Tento aspekt je významný především pro zemědělské podniky. V případě, že podnik zpracovává vlastní organický materiál a vyprodukované hnojivo využívá pro vlastní potřeby podniku, což znamená, že jej neuvádí na trh, nemusí se řídit legislativními usnanoveními zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech ve znění pozdějších předpisů týkající se povinnosti registrovat hnojiva uváděná na trh.

Doplňkový zdroj energie

V současné době je stále výhodné využívat vzniklý bioplyn pro vlastní potřebu, buďto přímo pro ohřev teplé užitkové vody, nebo se jeví jako výhodnější varianta výroba elektrické, tepelné energie, popř. chladu pomocí kogenerační jednotky. Využití médií pro vlastní spotřebu je nejvýhodnější varianta, jelikož výkupní ceny elektrické energie dodávané do distribučních sítí jsou stále relativně nízké.

Zlepšení pracovního a životního prostředí

Při rozhodování o výstavbě bioplynových stanic bude brán tento faktor čím dál víc na zřetel. Příčinou je stále se stupňující tlak ekologické legislativy jako je např. zákon o odpadech, o integrované prevenci před znečištěním ovzduší a registraci znečišťovatelů. Energetické využití biomasy, do čehož se započítává i výroba z ní, má příznivý vliv na omezení koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře. Při produkci biomasy je oxid uhličitý spotřebováván při fotosyntéze a následně uvolněn při energetickém využití biomasy zpět do atmosféry, je tzv. CO₂ neutrální a tím se uzavírá časově krátký koloběh oxidu uhličitého, [6].

2.5 Pozice obnovitelných zdrojů energie v energetické bilanci ČR

Evropská unie si klade v oblasti obnovitelných zdrojů energie (OZE) ambiciózní cíle. Do roku 2020 by měla energie z obnovitelných zdrojů představovat 20% z celkové spotřeby energie, z toho biopaliva by měla mít 10% podíl na celkové spotřebě paliv v dopravě. Významný surovinový podíl v této oblasti by měla představovat zemědělská biomasa (včetně odpadů z prvotního zpracování biomasy v zemědělských podnicích).

Obnovitelné zdroje energie (OZE) jsou v podmínkách ČR nefosilní přírodní zdroje energie, tj.:

- energie vody
- energie větru
- energie slunečního záření
- energie pevné biomasy
- energie bioplynu
- energie okolního prostředí
- geotermální energie
- energie kapalných paliv.

2.5.1 Výroba elektřiny z OZE

Hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů se v roce 2009 podílela na tuzemské hrubé spotřebě elektřiny 6,8%. Národní indikativní cíl tohoto podílu je pro Českou republiku stanoven na 8% v roce 2010. Na celkové tuzemské hrubé výrobě elektřiny se výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů podílela 5,7%. Číselně to znamená, že v roce 2009 činila výroba elektřiny z OZE celkem 4 655 GWh, přičemž v předchozím roce bylo vyrobeno 3 731 GWh, jde tedy o meziroční nárůst 24,77%, což odpovídá 924 GWh.

Tabulka 2.7: Výroba elektřiny z OZE v roce 2009, [17].

	Hrubá výroba elektřiny	Dodávka do sítě/netto výroba	Podíl na zelené elektřině	Podíl na hrubé dom. spotřebě elektřiny	Podíl na hrubé výrobě elektřiny
	MWh	MWh	%	%	%
Vodní elektrárny	2 429 620,0	2 419 300,0	52,19	3,54	2,95
Biomasa	1 396 261,1	768 684,0	30,00	2,04	1,70
Bioplyn	441 266,1	329 102,1	9,48	0,64	0,54
Tuhé komunální odpady (BRKO)	10 937,4	4 897,3	0,23	0,02	0,01
Větrné elektrárny	288 067,0	286 867,0	6,19	0,42	0,35
Fotovoltaické elektrárny	88 807,0	88 407,0	1,91	0,13	0,11
Kapalná biopaliva	10,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Celkem	4 654 968,6	3 897 257,4	100,00	6,79	5,66

2.5.2 Výroba tepelné energie z OZE

V následující Tabulce 2.8¹ jsou prezentována data týkající se výroby tepelné energie z obnovitelných zdrojů energie v roce 2009. Při celkovém odhadu výroby tepelné energie z OZE je nutno zdůraznit, že rozhodujícím faktorem je spotřeba biomasy v domácnostech. Vzhledem k objemu jejího předpokládaného využití, činí odhad 28 PJ. V celkovém odhadovaném množství není dosud započítána biomasa využívaná v malých zdrojích mimo domácnosti a biomasa spotřebovaná k otopu při individuální rekreaci obyvatelstva. Podíl OZE na celkové výrobě tepelné energie se pohybuje okolo 7%.

Tabulka 2.8: Výroba tepla z OZE v roce 2009, [17].

	Hrubá výroba	Vlastní spotřeba vč. ztrát	Dodávka	Podíl na tepla z OZE
	GJ	GJ	GJ	%
Biomasa celkem	43 007 154,1	41 280 228,2	1 726 925,9	88,09
Biomasa mimo domácnosti	15 497 695,1	13 770 769,2	1 726 925,9	31,74
Biomasa domácností	27 509 459,0	27 509 459,0	0,0	56,35
Bioplyn celkem	1 210 968,6	1 047 173,6	163 795,0	2,48
Biologicky rozložitelná část TKO	1 646 017,8	279 820,2	1 366 197,6	3,37
Biologicky rozložitelná část PRO a ATP	1 128 047,1	1 128 047,1	0,0	2,31
Tepelná čerp. (teplo prostředí)	1 600 000,0	1 600 000,0	nezjišťováno	3,28
Solární termální kolektory	230 000,0	230 000,0	nezjišťováno	0,47
Kapalná biopaliva	0,0	0,0	0,0	0,00
Celkem	48 822 187,6	45 565 269,1	3 256 918,5	100,00

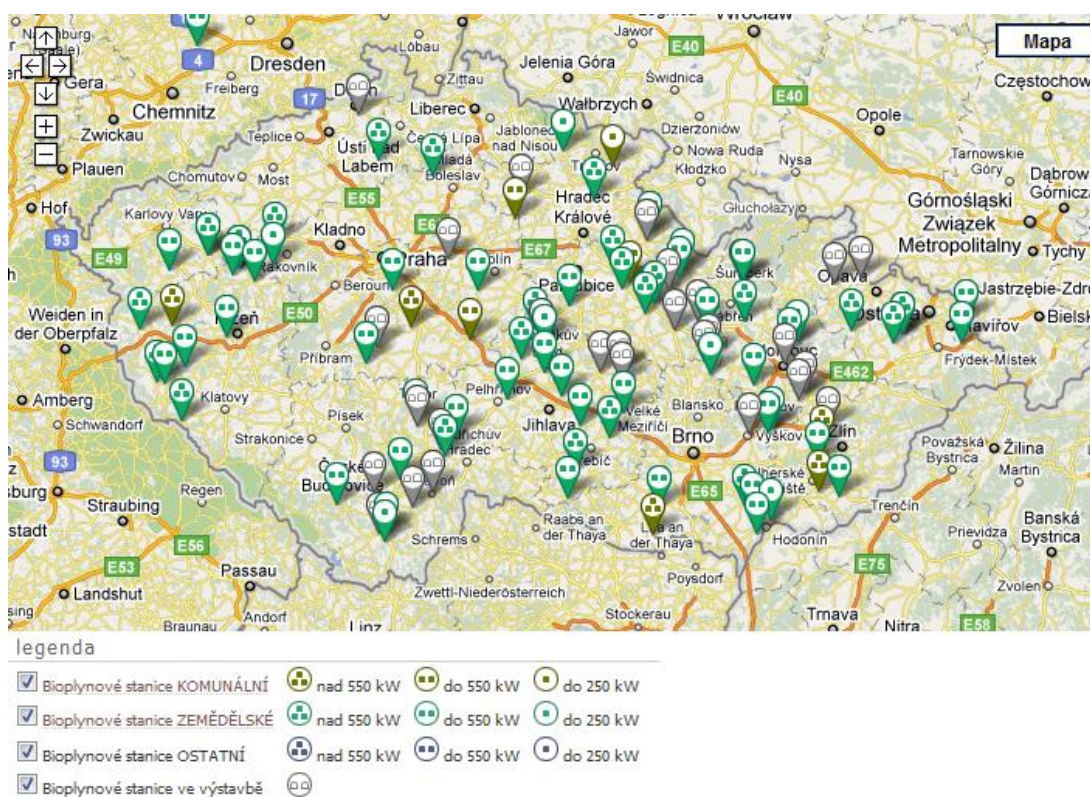
Nejvyšší podíl na výrobě tepelné energie z OZE vykazuje pevná biomasa, téměř 90%. Mimo domácnosti bylo v roce 2009 vyrobeno z biomasy 15 498 TJ tepelné energie. Energetický přínos ostatních obnovitelných zdrojů při výrobě tepelné energie následuje ve značném odstupu za pevnou biomasou. Biologicky rozložitelná část spalovaných komunálních odpadů přispívá 1 646 TJ, což dělá asi 3,4%. V současné době se malým podílem na výrobě tepla podílí i bioplyn, přibližně 1 211 TJ, tedy 2,5% a to i přes rostoucí počet zemědělských bioplynových stanic.

¹Pozn: TKO - tuhý komunální odpad, PRO - průmyslové odpady, ATP - alternativní paliva

Toto nízké procento je dáno tím, že většina vyprodukovaného tepla se nedostane mimo areál bioplynové stanice. Oproti tomu výrazně roste podíl tepelných čerpadel. Odhad hodnot tepla prostředí využitého v tepelných čerpadlech činí 1 600 TJ (3,3%). Zcela zanedbatelný význam mají solární kolektory, jejich podíl činí pouze 0,5% veškerého "obnovitelného" tepla, [17].

2.5.3 Energetické využívání bioplynu

V České republice je ve velké míře využívána anaerobní fermentace jako součást technologie komunálních ČOV. Tento bioplyn je především použit pro vlastní potřebu provozů jako je vyhřívání reaktorů, vytápění objektů, ohřev teplé vody. V současné době dochází k velkému nárůstu výstavby bioplynových stanic. Na následující mapě (Obrázek 2.4) je zakresleno umístění jednotlivých bioplynových stanic (zemědělských a komunálních) v rámci ČR.



Obrázek 2.4: Mapa bioplynových stanic, CZ Biom 2009, www.biom.cz , [18].

Na Mapě bioplynových stanic je vidět nejen rozmístění, ale též instalovaný výkon. Z této mapy je patrné, že v České republice převažují zemědělské BPS o výkonu nad 550 kW. Mapa bioplynových stanic je aktualizována k roku 2009, což znamená, že zde nejsou zakresleny nové BPS z roku 2010 a 2011.

Nyní je v provozu 235 bioplynových elektráren (zemědělských, komunálních, ČOV, skládek) s celkovým instalovaným výkonem 120,12 MW, [18, 35].

V následující energetické statistice je porovnáváno energetické využití bioplynu jímáného nejen při anaerobní fermentaci na bioplynových stanicích, ale též na komunálních a průmyslových ČOV a na skládkách. Na řadě bioplynových stanic je prováděná kofermentace různých typů odpadů, a proto zde bylo provedeno rozdělení do kategorií na základě hlavní vsázky:

- Bioplynové hospodářství na komunálních ČOV
- Bioplynové hospodářství na průmyslových ČOV
- Bioplynové stanice (zemědělské, na průmyslový a komunální odpad, jiná kofermentace)
- Energetické využívání skládkového plynu

V roce 2009 bylo k energetickým účelům využito 259,6 mil. m³ bioplynu, což je mnohem více než v roce 2008, kdy bylo využito pouhých 175,6 mil. m³ bioplynu. Nejvíce se na tomto nárůstu podílela produkce z bioplynových stanic, kde objem vyrobeného bioplynu vzrostl z 51 na 132 mil. m³, viz. Tabulka 2.9.

Tabulka 2.9: Spotřeba bioplynu k energetickým účelům v roce 2008 a 2009, [17].

	Rok 2008		Rok 2009	
	Počet lokalit (ČOV, SK, BPS)	Spotřeba bioplynu (m ³)	Počet lokalit (ČOV, SK, BPS)	Spotřeba bioplynu (m ³)
Komunální ČOV	96	57 857 277	95	58 451 483
Průmyslové ČOV	13	3 624 054	12	4 068 474
Bioplynové stanice	49	51 382 715	86	132 287 587
Skládkový plyn	58	62 705 698	61	64 758 982
Celkem	216	175 569 744	254	259 566 526

Tabulka 2.10: Výroba elektřiny z bioplynu v roce 2009 a 2008 , [17].

	Počet zařízení na výrobu elektřiny	Instalovaný elektrický výkon [kW]	Výroba elektřiny [MWh]	Vlastní spotřeba vč. ztrát [MWh]	Dodávka do sítě [MWh]	Přímé dodávky [MWh]
Komunální ČOV	74 (72)	17 532 (17 206)	79 191 (74 036)	65 198 (59 313)	13 993 (14 724)	0 (-)
Průmyslové ČOV	9 (-)	1 499 (1 029)	3 616 (4 016)	2 717 (3 176)	899 (840)	0 (-)
BPS	151 (99)	53 579 (28 946)	262 622 (91 580)	32 485 (15 608)	227 374 (72 240)	2 764 (3 732)
Skládkový plyn	83 (80)	23 156 (23 850)	95 838 (97 236)	8 948 (8 325)	86 836 (88 911)	54 (-)
Celkem	317 (260)	95 766 (71 031)	441 266 (266 868)	109 347 (88 422)	329 102 (176 714)	2 817 (3 817)

Tabulka 2.11: Výroba tepla z bioplynu v roce 2009 a 2008, [17].

	Počet zařízení na výrobu tepla	Instalovaný tepelný výkon [kW]	Výroba tepla [GJ]	Vlastní spotřeba vč. ztrát [GJ]	Přímé dodávky [GJ]
Komunální ČOV	209 (194)	89 796 (89 691)	678 139 (690 252)	678 140 (690 252)	0 (-)
Průmyslové ČOV	19 (20)	10 421 (9 174)	58 679 (62 232)	43 182 (58 232)	15 497 (4 000)
BPS	148 (96)	55 485 (28 812)	397 616 (226 452)	299 363 (149 592)	98 254 (76 860)
Skládkový plyn	22 (19)	11 074 (7 541)	76 534 (86 454)	26 450 (24 630)	50 044 (61 824)
Celkem	398 (329)	166 776 (135 218)	1 210 969 (1 065 390)	1 047 174 (329 102)	163 795 (142 684)

Vyrobená tepelná energie je z velké části využívána pro vlastní potřebu provozů, což je dáno především umístěním jednotlivých zdrojů mimo hlavní zástavbu obce a vlastní technologií provozu. V datech o instalovaném tepelném výkonu nebyl započten výkon ve velkých zdrojích při spoluspalování s jiným palivem jako je například zemní plyn.

Z Tabulek 2.10 a 2.11 je patrný poměrně velký nárůst jak bioplynových stanic, tak došlo k navýšení instalovaného výkonu o více jak 85% oproti roku 2008. Výroba elektřiny zaznamenala největší meziroční nárůst a to o 187% v poměru s předchozím rokem a u tepla došlo k nárůstu produkce o více jak 75%.

Any sufficiently advanced technology is indistinguishable from magic.

Arthur C. Clarke

3

Popis současné technologie na výrobu, úpravu a využití bioplynu

3.1 Zařízení na výrobu bioplynu

V současné době existuje mnoho druhů zařízení k výrobě bioplynu. Možnosti kombinací jsou téměř neomezené. Výroba bioplynu anaerobní fermentací je prováděna v různých variantách, nejtýpější jsou znázorněny v Tabulce 3.1. Jednotlivé položky jsou více rozepsány v následující části práce.

Tabulka 3.1: Postupy výroby bioplynu dle jednotlivých kritérií, [14].

Kritérium	Rozdílové znaky
Počet procesních stupňů	Jednostupňový Dvoustupňový Třístupňový
Procesní teplota	Psychrofilní Mezofilní Termofilní
Způsob pohybu substrátu	Přerušovaný Poloplynulý Plynulý
Podíl sušiny v substrátu	Mokrý proces Suchý proces

3.1.1 Počet procesních stupňů

U zemědělských bioplynových stanic jsou používány většinou jednostupňové nebo dvoustupňové metody.

U jednostupňových zařízení nedochází k oddělování procesních fází fermentace (hydrolyza, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze), všechny probíhají v jedné nádrži.

V případě dvoustupňové nebo vícešupňové metody, se fáze oddělují do jednotlivých nádrží. Při dvoustupňových procesech probíhá první a druhá fáze v jednom reaktoru, [14].

3.1.2 Procesní teplota

Z hlediska reakčních teplot se rozdělují anaerobní procesy, dle optimální teploty pro mikroorganismy na psychrofilní (5-30°C), mezofilní (30-40°C), termofilní (45-60°C) a extrémně termofilní (nad 60°C). Výhodou procesů prováděných za vyšších teplot je především vyšší účinnost hygienizace materiálu. Nejběžnější aplikací jsou zatím procesy mezofilní při teplotě kolem 38°C, [19].

3.1.3 Způsob pohybu substrátu

Rozlišují se tři druhy dávkování vstupního materiálu - kontinuální (plynulé), semikontinuální a diskontinuální.

Diskontinuální (s přerušovaným provozem, cyklické, dávkové)

U diskontinuální metody odpovídá doba jednoho pracovního cyklu době zdržení materiálu ve fermentoru. Tato metoda se používá při suché fermentaci tuhých organických materiálů. Při diskontinuálním dávkování je produkce bioplynu pomalá a způsob manipulace s materiálem je náročný na obsluhu.

Semikontinuální

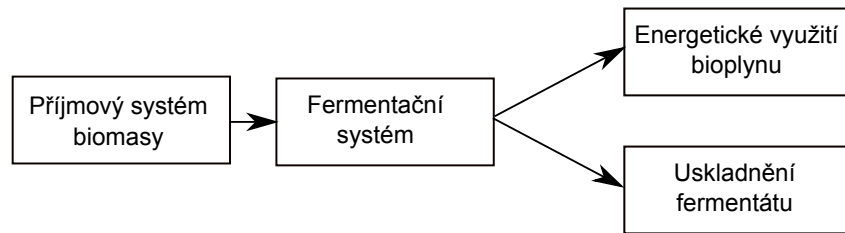
U semikontinuálního dávkování je doba mezi jednotlivými dávkami kratší než doba zdržení materiálu ve fermentoru. Jedná se o nejpoužívanější způsob plnění fermentorů při zpracování tekutých organických materiálů. Materiál se dává 1x až 4x za den, přičemž materiál vstupující do fermentoru má jen nepatrný vliv na změnu pracovních parametrů fermentoru (teplota, homogenita). Technologický proces lze snadno automatizovat, a proto neklade vysoké nároky na obsluhu.

Kontinuální

Tato metoda dávkování se používá při plnění fermentorů, které jsou určeny pro zpracování tekutých organických odpadů s velmi nízkým obsahem sušiny, [6].

3.1.4 Obsah sušiny

Konzistence substrátů je závislá na jejich obsahu sušiny. Dle množství sušiny jsou rozeznávány dvě metody fermentace - mokrá a suchá, popřípadě kombinace suché a mokré. Při mokré fermentaci se využívají jak pevné, tak kapalné substráty, reakční směs je ale kapalná. U suchého procesu jsou používány výhradně pevné substráty. V dnešní době se u zemědělských bioplynových stanic používá téměř výlučně mokrá fermentace. V případě suchých fermentačních celků se jedná z větší části o pokusná, popřípadě pilotní zařízení.



Obrázek 3.1: Blokové schéma technologie mokré fermentace, [19].

Metoda mokré fermentace

Nejpoužívanější technologií výroby bioplynu je tzv. mokrá fermentace, která zpracovává substráty s výsledným obsahem sušiny menším než 12%. Mokrá anaerobní fermentace probíhá v uzavřených velkoobjemových nádobách (fermentorech/reaktorech). Pro tuto metodu mohou být používány různé druhy reaktorů a to jednak reaktory s pístovým tokem materiálu, kdy každá částice vstupního materiálu zůstává v reakční směsi po konstantní dobu, či míchané reaktory, tzv. směšovací, kde část hmoty odchází z reaktoru nezreagována a část zůstává v reaktoru po velmi dlouhou dobu. Reaktory jsou vyhřívány na provozní teplotu, která je běžně 35 až 55°C. Na Obrázku 3.1 je znázorněna technologická linka, která je tvořena základními stavebně-technologickými celky.

Příjmový systém slouží pro přípravu čerstvého substrátu před vstupem do fermentoru (úprava velikosti částic, míchání, homogenizace, úprava TS, ředění, atd.) a jeho optimální dávkování do anaerobního procesu. Podle zpracovávané biomasy se skládá z příjmového zásobníku tuhé biomasy (TS>20%) a příjmové jímky kapalné biomasy (TS<12%).

Fermentační systém je oblast, kde probíhá vlastní anaerobní vyhnívání v čistě anaerobním prostředí. V současné době se používá několik koncepcí fermentačního systému. Jako jsou:

- Fermentor s integrovaným plynojemem
- Fermentor + samostatný plynojem
- Fermentor typu "kruh v kruhu" + samostatný plynojem
- Fermentor + dohňovací nádrž s integrovaným plynojemem, apod.

Dále lze fermentory koncipovat jako nadzemní, podzemní či částečně zapuštěné do terénu. Případné částečné nebo úplné zapuštění do terénu nezáleží jen na přání investora, ale i na dalších okolnostech jako je např. potřeba úprav podloží z důvodů jeho snížené únosnosti, nutnost potlačení vlivu stavby na charakter krajiny, atd.

V zemědělství se nejčastěji využívá železobetonových plynotěsných fermentorů. Fermentor je vybaven odpovídajícím příslušenstvím podle konstrukce a druhu substrátu. Jde o topný a míchací systém, v případě potřeby je možné provádět odsíření bioplynu např. dávkováním malého množství vzduchu do bioplynu.

Uskladňovací systém slouží k uložení stabilizovaného materiálu po fermentaci tzv. fermentačního zbytku, neboli digestátu. V případě, že je digestát separován na tuhou frakci (sušina 25 až 35%) a kapalnou fázi/fugát (sušina 1%) je nutné koncipovat uskladnění pro obě frakce. Fermentační zbytek musí být uskladněn v souladu se zásadami správné zemědělské praxe. Správná velikost uskladňovacího systému u zemědělských BPS je volena na dobu 120 až 210 dnů, [19].



Obrázek 3.2: Výstavba fermentoru „kruh v kruh“, [19].



Obrázek 3.3: Blokové schéma technologie mokré fermentace, [19].

Metoda suché fermentace

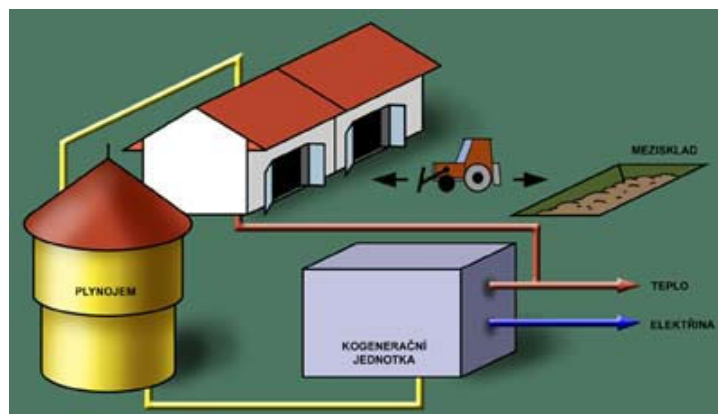
Technologie suché fermentace zpracovává substráty o sušíně 30 až 35%. Zpravidla jde o aplikace mezofilního anaerobního procesu, rozsah používaných reakčních teplot je 32 až 38°C. Optimální pH se pohybuje mezi 6,5 - 7,5. Technologie pro suchou fermentaci se mohou rozdělit na diskontinuální (vsázkové) a kontinuální.

Diskontinuální technologie suché fermentace se skládá z několika reakčních komor (kovový kontejner nebo zděná komora s plynotěsnými vraty) a meziskladu. Doprava zpracovávaného materiálu do komor je a z nich většinou prováděna běžnou manipulační technikou (např. traktor s radlicí). Anaerobní proces je řízen dávkováním procesní tekutiny. Proces se nazývá diskontinuální, jelikož dochází k vyprázdnění a novému naplnění komory, start reakce trvá 3 dny, poté následuje vlastní reakce a produkce bioplynu, která trvá 24 -27 dní.

Podle druhu výstavby lze BPS rozdělit na výstavbové (na zelené louce) a vestavbové, které využívají stávajících objektů jako jsou např. seníky, ocelokolny, kravíny, apod.. Při vestavbovém provedení se používají instalace lehčích fermentačních komor.

V zásadě lze technologii navrhovat jako jedno nebo vícestupňovou, která je investičně i provozně náročnější. Na Obrázku 3.4 je znázorněn princip diskontinuální technologie s využitím stávajících objektů.

Určitou alternativou suchého systému je sucho-mokrý garážový fermentace. Jedná se o systém, který vzešel ze suchého garážového systému, tím že se začalo používat skrápění perkolátem (což je látka s obsahem vhodných kultur anaerobních mikroorganismů) pro vyšší výtěžnost bioplynu a to byl jen krůček ke kombinovanému sucho-mokrému systému. Tento systém se používá ke zpracování tuhého komunálního odpadu. Obrázek 3.5 znázorňuje schéma suchého a sucho-mokrýho systému.

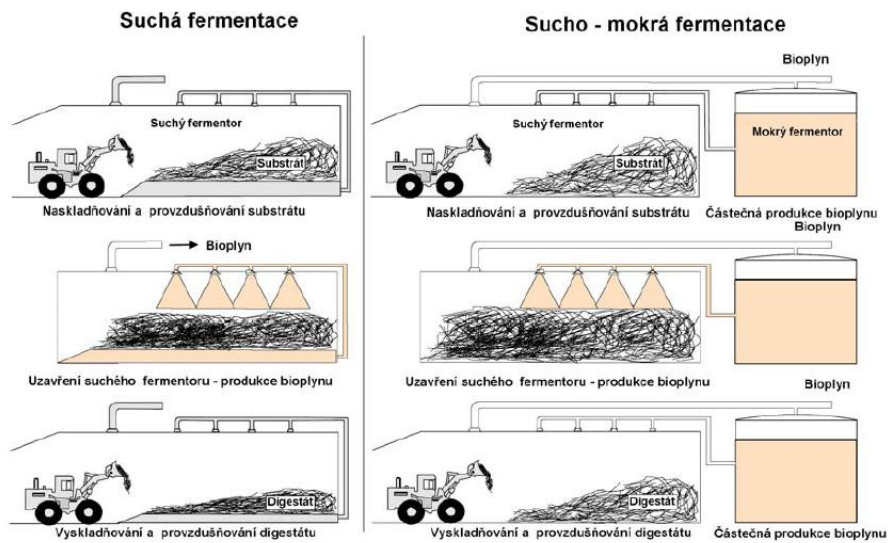


Obrázek 3.4: Princip diskontinuální technologie, [19].

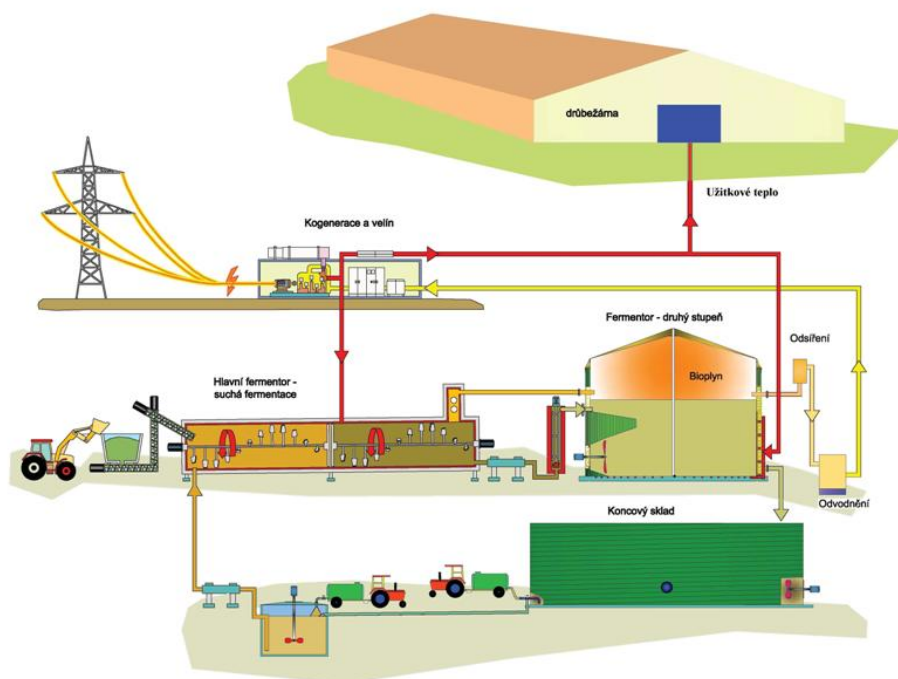
Kontinuální technologie suché fermentace jsou doprovázeny vysokou investiční a provozní náročností a jsou zpravidla využívány pro zpracovávání komunálních a tříděných domovních odpadů. Většinou se volí fermentory buďto válcové nebo komorové s jedním pomaloběžným míchacím zařízením, uloženým napříč celým fermentorem. Průřez válcového fermentoru je možno vidět na Obrázku 3.6.

3.1.5 Porovnání technologií suché a mokré fermentace

Mokré technologie mají širší uplatnění, jsou historicky nejrozšířenější, technicky propracovanější a jsou dobře provozně prověřené. Z hlediska četnosti lze konstatovat, že silně převažují aplikace mokré fermentace nad suchou. Většina BPS je stavěna u intenzivních chovů zvířat. V současné době pořád existuje určitá nedůvěra k suchým technologiím. Literární prameny uvádějí, že stávající suché technologie mívají ve srovnání s mokřými, nižší specifické výtěžnosti bioplynu. Naopak výhodou suché metody je to, že dokáže zpracovat biomasu jako jsou podestýlky na bázi pilin, které při mokřém procesu vytvářejí krusty, ucpávají čerpadla. Dále umí zpracovat nedokonalé vytríděné bioodpady, které obsahují příměsi plastů, dřeva, kovů, zeminy, atd., [19,6].



Obrázek 3.5: Garážový systém fermentorů na tuhý organický materiál suchý a sucho-mokrý proces, [6].



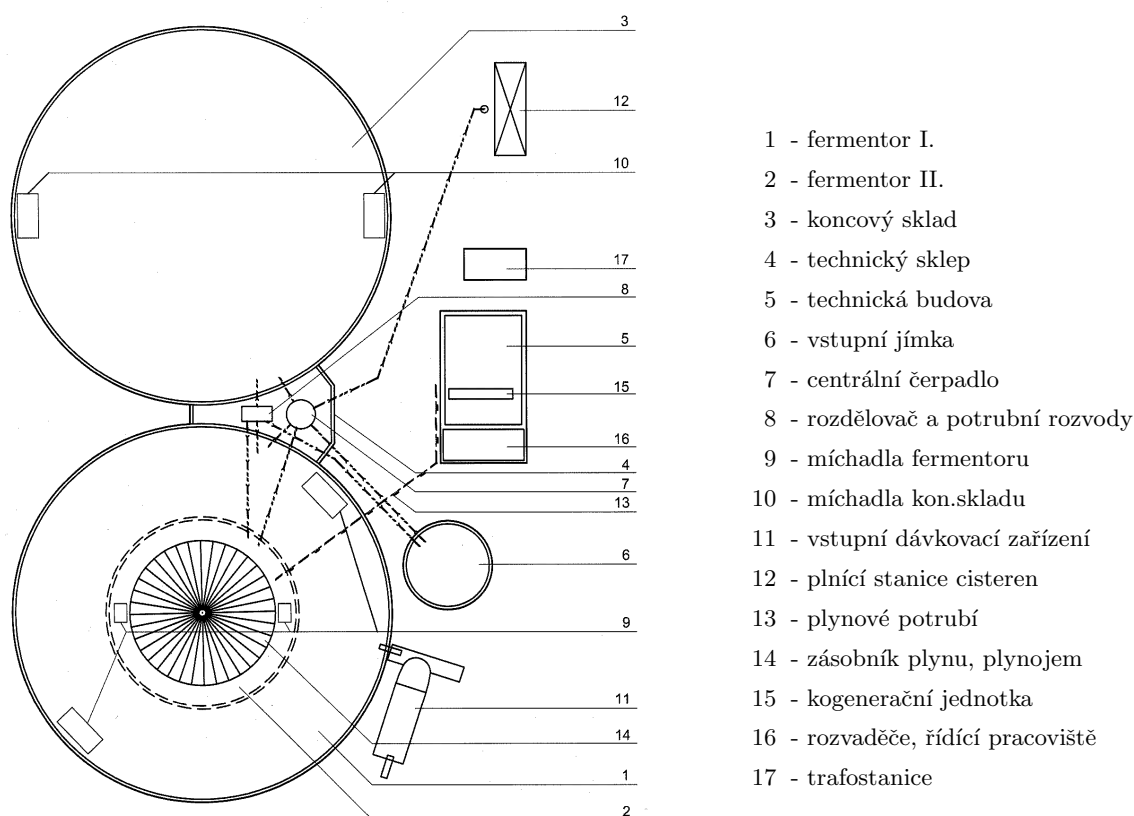
Obrázek 3.6: Schéma bioplynové stanice se sucho-mokrou fermentací, [22].

3.2 Funkční popis technologie bioplynové stanice „kruh v kruhu”

Jak bylo v předchozí kapitole zmíněno, existuje mnoho konceptů bioplynových stanic. Pro názorný popis, jak funguje bioplynová stanice, byla vybrána technologie Hochreiter. Jedná se o technologii, která byla vyvinuta v Německu a našla si své místo i na českém trhu. Využívá koncepci železobetonových nádrží s fermentorem uspořádaným ”kruh v kruhu” a otevřeným, popř. zastřešeným koncovým skladem.

Názorné schéma bioplynové stanice je zobrazeno na Obrázku 3.7. Z tohoto obrázku je patrné půdorysné uspořádání jednotlivých částí náležících bioplynové stanici. Výhodou této technologie je, že se snaží minimalizovat vlastní spotřebu energie. Proto jsou mezi jednotlivými nádržemi instalovány tzv. přepady a materiál tedy není nutno přecerpávat. Dávkování vstupních surovin probíhá přímo do nádrže a není zapotřebí jak homogenizace, tak ani drcení.

Tato technologie umožňuje zpracovávat buď samotnou kejdu, kejdu s biomasou, nebo jen čistou biomasu.



Obrázek 3.7: Koncepte bioplynové stanice „kruh v kruhu” firmy Johann Hochreiter, [20]

Budova kogenerace

(viz Obrázek, 3.7, č. 5, 15, 16) Kogenerační zařízení včetně všech rozvodů je vestavěno v jedné budově. Objekt se skládá ze tří samostatných místností. První místnost slouží pro kogenerační



Obrázek 3.8: Vstupní dávkovací zařízení - firma Fliegel, [23].

jednotku, druhá pro hlavní elektrický rozvaděč - řídicí místnost. Z první místnosti je přístup do třetí části, což je prostor pro uskladnění hořlavého materiálu - motorového oleje. Uvnitř kogenerační místnosti je umístěn výměník tepla, zatímco tlumič hluku výfukového potrubí je umístěn vně budovy. Chladicí zařízení je též umístěno mimo budovu kogenerace.

Kogenerační jednotka

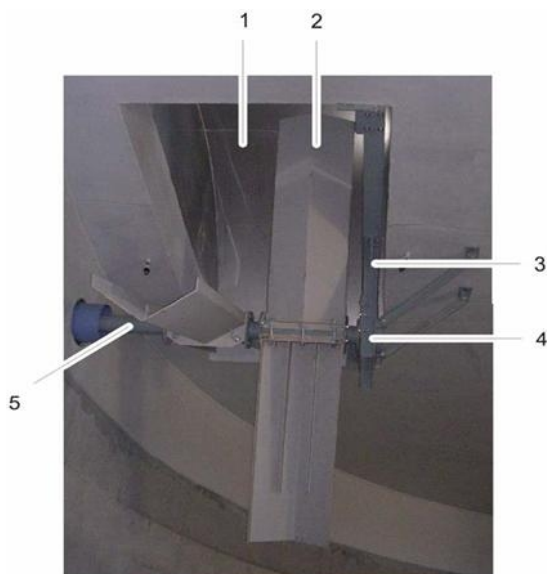
(viz Obrázek 3.7, č. 15) Slouží k výrobě elektrické energie a tepla. Jedná se o plynový motor, resp. turbínu a generátor elektrické energie. Jako palivo slouží vzniklý bioplyn v přesně dávkované směsi se vzduchem. Pro BPS existuje řada kogeneračních jednotek, většinou od zahraničních firem. KJ se vyrábějí v různých velikostech. V ČR má největší zastoupení firma TEDOM a německý Deutz Energy.

Dávkovací zařízení

(viz Obrázek 3.7, č. 11) Bioplynová stanice je vybavena dávkovacím zařízením na tuhou složku sloužící k zásobování fermentoru nečerpateľnými surovinami v požadované kvalitě a skladbě. Dávkovací zařízení je kompaktní jednotka složená z nakládacího zásobníku, výtláčného čela a elektricky poháněného míchacího šneku, viz Obrázek 3.8. Suroviny jsou dopravovány dopravními šneky do fermentoru. Zařízení je několikrát denně doplňováno v určitých časových intervalech a je vybaveno elektronickou váhou, která je propojena s ovládním ve velině budovy kogenerace.

Fermentor

(viz Obrázek 3.7, č. 1, 2, 3, 7, 9, 11, 14) Fermentor, jinak řečeno reaktor je hlavní část bioplynové stanice. Jedná se o železobetonové nádrže, varianta "kruh v kruhu". Na Obrázku 3.7 je znázorněn dvoustupňový fermentor s integrovaným nízkotlakým zásobníkem plynu a vstupním dávkovacím zařízením(11). Kruhy fermentorů(1,2) jsou mezi sebou a koncovým skladem(3) propojeny přepadovým a tlakovým potrubím. Dopravuje-li se vstupní surovina do fermentoru, odtéká přepadovým potrubím stejné množství do koncového skladu(3). Vnitřní fermentor(2) je plynotěsně uzavřen kuželovitou fólií - zásobníkem plynu(14). Plynojem je vybaven ukazatelem naplnění. V případě, že dojde k výpadku motoru, je možné bioplyn skladovat v plynojemu, do té doby než se aktivuje zařízení na snížení přetlaku tzv. fléra, což je zařízení pro spalování



Obrázek 3.9: Horizontální pádlové míchadlo; 1- kryt s pádlem, 2- pádla (4x), 3- závěs ložiska, 4- kluzné ložisko, 5- míchací hřídel, [23].



Obrázek 3.10: Vertikální pádlové míchadlo, [23].

zbytkového bioplynu. Nádrže jsou pro osazeny horizontálními a vertikálními ponornými míchadly kvůli eliminaci plovoucích vrstev, homogenizaci substrátu a jeho promíchávání. Pro představu jsou míchadla zobrazeny na Obrázcích 3.9 a 3.10.

Fermentory jsou osazeny teplovodním oběhovým topením kvůli řízení teploty procesu. Všechny nádrže jsou mezi sebou propojeny potrubím přes centrální čerpadlo tzv. Pumpenbox(7), pomocí kterého je možné přečerpávat materiál z jakékoliv nádrže do jakékoliv nádrže. Centrální čerpadlo se především používá k vyprazdňování koncového skladu přes výdejní místo digestátu přímo do kejdovacího vozu.

Plynojem

(viz Obrázek 3.7, č.14) Zásobník plynu je umístěn na střeše vnitřního kruhu fermentoru. Plynojem je krytý kuželovitou vnější fólií. Pod touto fólií je volně ložená další fólie, která jímá vzniklý bioplyn. Do prostoru mezi vnější krycí a vnitřní fólií plynojemu je vháněn dmychadlem vzduch, který udržuje vnější krycí fólii stále napnutou, a proto drží správný tvar. Vnitřní fólie se naplňuje podle momentálního množství vytvářeného plynu.

Plynovod

(viz Obrázek 3.7, č.13) Od fermentorů vede nadzemní plynovod ke kogenerační jednotce. Plynové zařízení začíná hlavním uzávěrem plynu ovládaným vně budovy kogenerace. Plynovod je odvodněn, má chlazení plynu a je zejištěn před blesky a nebezpečným dotykovým napětím. Z tohoto plynovodu je zřízena odbočka ke fléře, nouzovému hořáku, který spaluje přebytečný bioplyn, [9].



Obrázek 3.11: Boční vrtulové míchadlo, [23].



Obrázek 3.12: Centrální čerpadlo, [23].

Koncový sklad

(viz Obrázek 3.7, č. 3) Jedná se o otevřenou železobetonovou nádrž, která je osazena třemi ponornými vrtulovými míchadly. Koncový sklad má po separaci skladovací kapacitu na šesti měsíční produkci digestátu.

Odsíření bioplynu

Vznikající plyn obsahuje určitý podíl sulfanu, který má negativní vliv na snižování životnosti částí kogenerační jednotky a vede k častější výměně oleje v motoru. Koncentrace sulfanu je snižována mikroaerofilní oxidací řízenou dodávkou vzduchu do prostoru bioplynu. Při tomto procesu se v nízkých koncentracích kyslíku aktivují bakterie, které za daných podmínek oxidují sulfan na elementární síru, která je zdrojem síry při hnojení a částečně se usazuje ve fermentoru.

Odvodnění bioplynu

Obsah vodní páry v bioplynu je snižován v chladiči BP na plynovém potrubí. Snížením teploty se vodní pára vysráží a vzniklá voda ve vyspádovaném potrubí stéká zpět do fermentoru. Významné množství vody se taktéž vysráží v plynojemu.

3.3 Technologie na úpravu bioplynu

Výroba bioplynu je prověřenou technologií, která je poměrně široce rozšířena především v Evropě. Neustále se řeší problém, jak využít, co největší množství energie. V dnešní době se téměř výlučně používá spalování bioplynu v kogeneračních jednotkách. Toto zpracování bioplynu je poměrně účinné - kombinovaná elektrická a tepelná účinnost dosahuje hodnot okolo 85%, ale podíl skutečně použitého tepelného výkonu je především v letních měsících velmi nízký.

Proto se začíná hovořit o čištění bioplynu. Úpravou bioplynu na biometan lze efektivně využít větší část primární energie v něm obsažené.

Existuje celá řada technologií umožňujících zvýšit v produkovaném bioplynu podíl energeticky hodnotného metanu, tj. oddělit z něj nežádoucí příměsi. Zejména se jedná o odstranění oxidu uhličitého (CO_2), který je v bioplynu zastoupen v rozmezí 25-55%, a dále vodní páry (H_2O), sulfanu (H_2S), amoniaku (NH_3), vodíku a vzduchu, tj. dusíku a kyslíku, které jsou v bioplynu obsaženy v malých množstvích.

Jednotlivé technologie se od sebe liší v principu separace, komplexnosti, což znamená, že odstraňují jen některé nežádoucí složky obsažené v bioplynu a v robustnosti. Veškeré techniky, které vedou k vylepšení technologických vlastností bioplynu, lze rozdělit na dvě základní skupiny.

1. Čištění (Cleaning)
2. Zušlechťování (Upgrading)¹

Čištění bioplynu je potřebné i ve většině případů určených pro spalování bioplynu v kogeneračních jednotkách. Jedná se především o odstranění vlhkosti, H_2S a dalších minoritních složek, aby dlouhodobým spalováním nedocházelo k poruchám, především korozi kogenerační jednotky.

Zušlechťování představuje oddělování CO_2 z bioplynu za účelem navýšení energetického obsahu. Při spalování v kogeneračních jednotkách oxid uhličitý není škodlivý, ale v případě jiného využití, jako je např. vtláčení do sítí zemního plynu, je CO_2 nežádoucí.

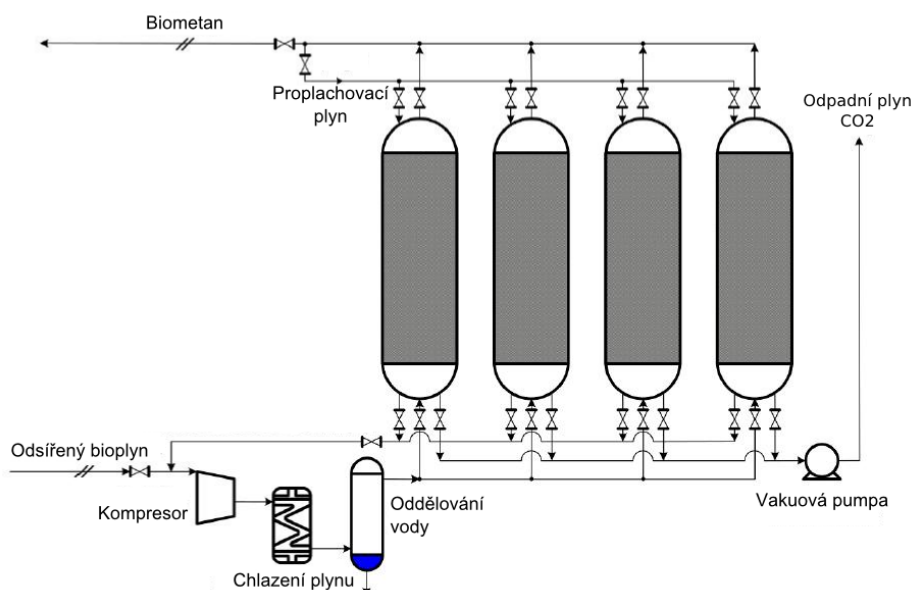
V mnoha případech jsou obě skupiny úprav navzájem provázány, záleží na výběru použité technologie pro úpravu bioplynu. V současnosti je několik postupů oddělování metanu a oxidu uhličitého. Tyto postupy lze rozdělit do čtyř hlavních skupin, jež se liší principem činnosti a technologickým řešením:

1. Adsorpce - technologie PSA (Pressure Swing Adsorption)
2. Absorpce
 - (a) vodní vypírka
 - (b) fyziosorpce
 - (c) chemisorpce
3. Membránová separace
4. Nízkoteplotní rektifikace - kryotechnologie

3.3.1 PSA (Pressure Swing Adsorption)

Tato metoda nazývaná též tlaková adsorpce se již v dnešní době uplatňuje v reálném provozu. Metoda je založena na separaci oxidu uhličitého pomocí Van der Waalových sil, které vážou molekuly CO_2 na povrch vysoce porézní pevné látky, zpravidla se jedná o aktivní uhlí. Adsorpce probíhá za zvýšeného tlaku a desorpce - regenerace adsorbentu při sníženém tlaku (vakuu).

¹V současné době není určen český výraz pro upgrading, proto jsem si zvolila termín zušlechťování, což odpovídá českému předkladu slova upgrading a vystihuje to i procesy vedoucí k získání téměř čistého biometanu z bioplynu.



Obrázek 3.13: Procesní schéma úpravy bioplynu technologií PSA

V adsorbéru se tak opakovaně mění tlakové podmínky podle čehož se proces nazývá Pressure Swing Adsorption, „Adsorpce tlakovým skokem“.

Pro zajištění kontinuity procesu, bývá instalováno vždy několik adsorbérů (typický počet je 4), ve kterých se střídají jednotlivé fáze procesu. Na Obrázku 3.13 je znázorněno procesní schéma úpravy bioplynu technologií PSA. Odsířený bioplyn na vstupu do zařízení je stlačen na cca 0,4-0,7 MPa, a následně zchlazen na teplotu 10 až 20°C a tím dojde k odloučení zkondenzované vody. Takto vyčištěný plyn se přivádí zespolu do adsorbéru, který obsahuje tzv. molekulární síto tvořené velmi jemně rozemletým uhlíkem v extrudované podobě. Na tomto adsorbentu dochází k záchytu CO₂, zbytkového množství vody a H₂S a malého množství metanu (což jsou ztráty). Z horní části filtru vychází metan o koncentraci 95 - 98%. Po nasycení adsorbéru se přítok vstupního bioplynu přepne na druhou sadu regenerovaných filtrů.

Nevýhodou procesu je nutnost komprese plynu na poměrně vysoký tlak. V případě vtlačení SNG (Substitute Natur Gas) do sítě zemního plynu, při kterém je nutno tlak v plynu výrazně zvýšit, je tato nevýhoda irelevantní.

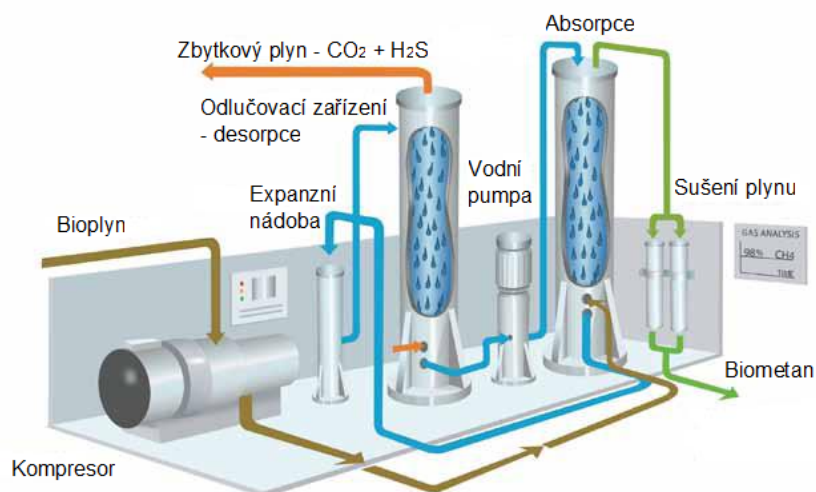
Proces PSA se používá již v zemích Evropy například ve Švýcarsku, Švédsku, Německu, [1, 24].

3.3.2 Metoda absorpce

Absorpce vodní vypírkou

Všechny absorpční procesy využívají jako absorbentů látky, ve kterých je rozpustnost separovaných složek, především oxidu uhličitého, sulfanu a amoniaku výrazně odlišná. Využívá se pravidla, že rozpustnost plynů v kapalinách roste se zvyšujícím se tlakem a klesajícím teplotou. Z tohoto důvodu probíhá absorpční fáze za zvýšeného tlaku a regenerace (desorpce) za sníženého tlaku nebo zahřátím, popřípadě kombinací obou stupňů.

Nejčastěji je jako pracovní médium (rozpuštědlo) využívána voda, poté se tento proces nazývá v angličtině „Water Scrubbing“, či v němčině „Druckwasser Wäsche“. Na Obrázku 3.14 je



Obrázek 3.14: Procesní schéma úpravy bioplynu vodní absorpcí

znázorněno procesní schéma úpravy bioplynu vodní absorpcí. Voda jakožto pracovní médium je přiváděna vrchem do absorpční kolony, do které je spodem (v protiproudém uspořádání) přiváděn pod tlakem (cca 8 bar) upravovaný bioplyn. Z vrchu kolony následně odchází plyn o obsahu metanu 95 - 98%, který je saturován vodní parou a musí být proto vysušen. Tento proces neodstraní zbytkový obsah vzduchu, tj. N_2 a O_2 . Pro vyšší účinnost je kolona uvnitř vyplněna vysoce porézním materiálem s velkou vnitřní plochou. Voda ze spodní části kolony je čerpána do expanzní nádoby a odtud po uvolnění na atmosférický tlak do desorpční kolony, kde se rozpouštěné plyny uvolní za pomoci protiproudů vzduchu a spolu s ním odchází do atmosféry. Regenerovaná voda je zpravidla čerpána zpět do absorbéru.

Výhodou této metody je, že dokáže odstraňovat H_2S z bioplynu, ale i přesto se doporučuje sulfan odstranit ještě před vstupem do zařízení a to z toho důvodu, že síra může poškozovat potrubí např. zanášením.

Jak bylo řečeno výše, tato metoda může využívat regeneraci vody, což vede k úspoře pracovního média. Dalším možným uspořádáním je vodní vypírka bez regenerace vody. Výhodou jsou nižší investiční náklady, nevýhodou výrazně vyšší spotřeba vody. Proto se tento proces používá v těch aplikacích, kde je k dispozici velké množství levné procesní vody, tedy především v čistírnách odpadních vod (ČOV). Spotřeba vody v tomto případě činí až 150 litrů na m^3 bioplynu oproti cca o dva řády menší spotřebě pro proces s recirkulací. Absorpční vodní vypírka se nejvíce využívá ve Švédsku. V současné době je instalována v cca 24 úpravárnách bioplynu, [1, 24].

Fyzisorpce

Proces je založen na stejném principu jako vodní vypírka. Rozdíl mezi těmito procesy je v tom, že při fyzisorpci se využívá jako absorpční materiál organické rozpouštědlo - nejčastěji se jedná o polyethylen glykol, známý pod obchodním názvem Selexol či Genosorb. K absorpci dochází opět za zvýšeného tlaku cca 8 bar.

Výhodou fyzisorpce oproti vodní vypírce je výrazně vyšší rozpustnost CO_2 v daném absorpčním materiálu, což znamená, že je možné použít výrazně menší zařízení a menší množství absorbentu

pro stejné množství upravovaného bioplynu jako je tomu u vodní vypírky. Mezi další výhody patří absorpce vody, což znamená, že není nutné vysušování plynu.

Nevýhodou metody je používání dražšího absorbentu a nutnost pracovat za zvýšeného tlaku, což tento proces prodražuje, [1, 24].

Chemisorpce (chemická vypírka)

Chemisorpce je proces obdobný fyzisorpci a vodní vypírce. Na rozdíl od těchto procesů však nedochází k čisté fyzikální absorpci, ale k navázání CO_2 vratnou chemickou reakcí. Desorpce pak probíhá za zvýšené teploty či ve vakuu formou zpětné chemické reakce. Jako absorbéry se používají organické aminy (např. monoethanol amin, diethanol amin).

Procesní schéma je velmi podobné jako u vodní vypírky, liší se jen ve způsobu absorpce a pracovními podmínkami. Vstupní surový bioplyn je stlačován na cca 50kPa (k překování odporu vodní sprchy) a vychlazen na teplotu cca 10°C. Sorbent je ředěn vodou na koncentraci 10 - 20% a na rozdíl od fyzikální vypírky váže nežádoucí plyny chemicky. Obohacený biometan odchází s koncentrací 96 - 99%. Regenerace sorbentu se provádí opět v desorpční koloně po zahřátí roztoku, v její spodní třetině až na teplotu přes 100°C. Část vody se při tom odpaří.

Nevýhodou procesu je obecně dražší absorbent, který navíc může být i toxický. Na druhou stranu je možno dosáhnout koncentrací metanu ve vystupujícím SNG až 99%, [1, 24].

V následující Tabulce 3.2² jsou shrnuté absorpční metody a jejich pracovní parametry.

3.3.3 Membránová separace

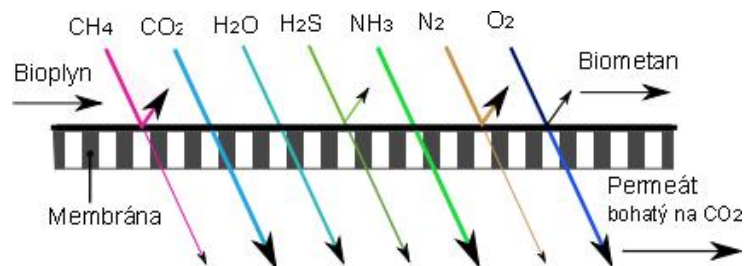
Membránová separace využívá rozdílné průchodnosti jednotlivých složek ve směsi bioplynu speciální tenkou membránou o tloušťce méně než 1 mm. Tento proces oddělování nežádoucích složek lze rozdělit do dvou kategorií a to „vysokotlaké (suché)” a „nízkotlaké (mokré)” procesy.

Ve vysokotlakém procesu zůstávají obě složky v plynném skupenství. Z jedné strany membrány (např. z organické acetát-celulózy) se přivádí bioplyn pod vysokým tlakem (25-40 bar). Oxid uhličitý a sulfan procházejí membránou a nepolární molekuly CH_4 zůstávají na nástřikové straně. Při tomto procesu dochází k relativně velkým ztrátám metanu. Čím vyšší tlak, tím více se bioplynu vyčistí, ale zároveň tím více metanu projde membránou. Tento problém se řeší instalací několika membrán do série a recyklací prošlého plynu tzv. permeátu nebo popřípadě spalováním odpadního plynu ve speciálních hořácích za využití tepla na ohřev fermentoru. Tento proces je zobrazen na Obrázku 3.15.

V nízkotlakém procesu se jedná o absorpci na rozhraní plyn - kapalina. Z jedné strany je přiváděn bioplyn za atmosférického tlaku a za membránou se nachází kapalina (aminy pro odstranění CO_2 , roztok NaOH pro odstranění H_2S), do které difundují separované složky. Můžeme říci, že se jedná o určitou kombinaci membránové separace a chemisorpce. Výhodou tohoto procesu je nízký pracovní tlak a vyšší účinnost separace. Na výstupu může dosahovat koncentrace metanu až 96%. Nevýhodou je nutnost regenerace absorpční kapaliny.

Membránové procesy patří mezi nové technologie na úpravu bioplynu a jejich využívání je zatím minimální. Jde tedy o poměrně neprověřenou technologii, což ale neznamená, že je nevýhodná, [1, 24].

²Obsah síry v plynu před použitím musí být menší než 500mg/m³. Při vyšším obsahu sulfanu nutno zařadit primární odsíření.



Obrázek 3.15: Schéma membránové separace

3.3.4 Nízkoteplotní rektifikace - kryotechnologie

Nízkoteplotní rektifikace se může přirovnat v podstatě k destilačnímu procesu. Jedná se o proces založený na rozdílných bodech varu jednotlivých složek. Metan má za atmosférického tlaku bod varu -161°C , zatímco oxid uhličitý -78°C . Této skutečnosti lze využít a kryogenní cestou, tj. ochlazením bioplynu na velmi nízkou teplotu (minimálně -80°C), oddělit CO_2 a popřípadě další nežádoucí složky od metanu jejich zkapalněním popřípadě rovnou desublimací.

Výhodou tohoto postupu je velmi vysoká čistota výsledného plynu, více jak 99% CH_4 a také možnost dále zhodnotit zkapalněný oxid uhličitý. Při ještě nižších teplotách může být zkapalněn i biometan, čímž se pak může stát náhradou za LNG. Zatím uplatnění této technologie nedoznalo v komerční praxi uplatnění, a to především díky své kapitálové a energetické náročnosti, [1, 24].

3.3.5 Porovnání technologií čištění bioplynu

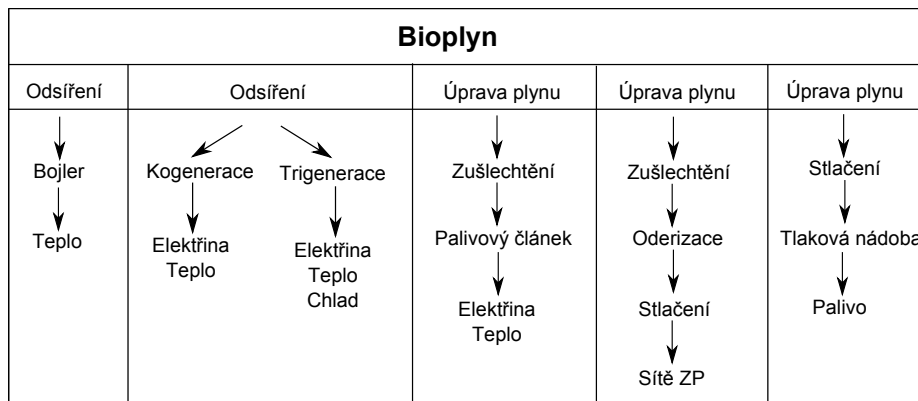
Každá z metod úpravy bioplynu má určité své výhody a nevýhody. V dnešní době se dá říci, že jsou pořád tyto technologie ve stádiu vývoje. Mezi parametry, které je potřeba brát v úvahu při konkrétní volbě, jsou především investiční a provozní náklady, kapacita (průtok) upraveného bioplynu a jeho vlastnosti, požadované vlastnosti SNG, popřípadě přípojny bod do sítě zemního plynu, kde rozhoduje především tlak, ale také například prověřenost jednotlivých technologií a mnoho dalších specifických vlivů.

Tabulka 3.2: Srovnávání parametrů jednotlivých absorpčních procesů, [25].

Parametry	PSA	PWA	MEA
Absorpční proces	-	fyzikální	chemický
Předčištění ¹	ano	ne	ano
Pracovní tlak [bar]	4 – 7	4 – 7	atmosférický
Ztráty metanu	3 – 10%	< 1%	< 0,1%
Obsah metanu v plynu	> 96%	> 97%	> 99%
Spotřeba elektřiny [kWh/m^3]	0,25	< 0,25	< 0,15
Teplota [$^{\circ}\text{C}$]	-	-	160
Regulovatelnost v % jmen. výkonu	+/- 10 – 15%	50 – 100%	50 – 100%

3.4 Možnosti využití bioplynu

Bioplyn je možné používat všude tam, kde se používají i jiná plynná paliva. V současné době existuje šest základní způsobů využití bioplynu vzniklého anaerobní fermentací v bioplynových stanicích. Na Obrázku 3.16 je grafické znázornění jednotlivých možností s postupem úpravy.



Obrázek 3.16: Způsoby využití bioplynu

Mezi způsoby energetického využití bioplynu patří:

1. Přímé spalování
2. Kogenerace
3. Trigenerace
4. Palivové články
5. Palivo pro dopravu
6. Vtláčení bioplynu do sítí zemního plynu

Nejjednodušším použitím bioplynu je jeho přímé spalování pro výrobu tepla. Účelnějším využitím je kombinovaná výroba elektrické energie a tepla, tzv. kogenerace, popřípadě ještě výroba chladu, tzv. trigenerace. Použití bioplynu do palivových článků je ve stádiu vývoje. Velký potenciál by se dal vidět ve využití bioplynu jako pohonné hmoty pro motorová vozidla nebo vtláčení plynu do sítí zemního plynu. Tyto aplikace vyžadují vyčištění bioplynu na téměř čistý biometan a jeho následné stlačení na požadovanou tlakovou úroveň. Následující bod se zabývá jednotlivými možnostmi využití bioplynu.

3.4.1 Spalování v kotlích

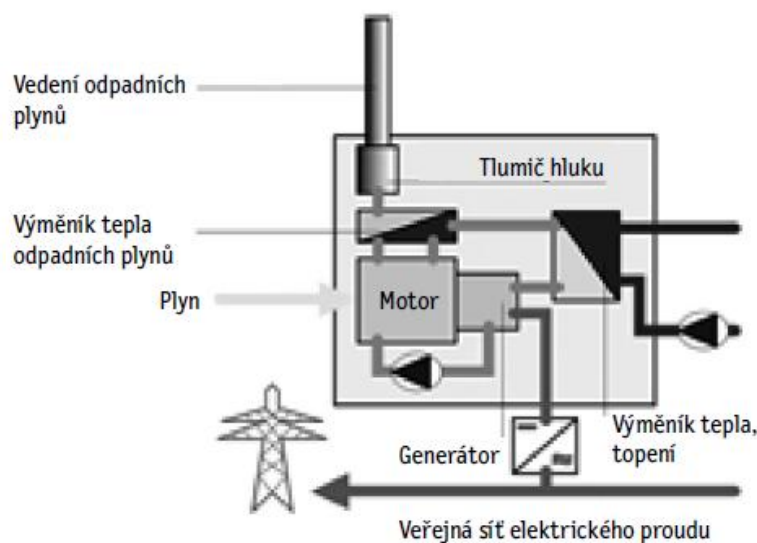
Spalování v kotlích je nejjednodušší možností využití bioplynu za účelem ohřevu teplé vody nebo vody k vytápění. V letních měsících, při malých požadavcích na teplou vodu, se může bioplyn využít jako zdroj tepla k sušení různých produktů. Tato možnost nevyžaduje žádné speciální nároky na kvalitu bioplynu. Ke spalování jsou zapotřebí jen modifikované hořáky určené na spalování bioplynu. Běžné typy kotlů žádné speciální úpravy nepotřebují.

V případě, že bioplyn obsahuje vysoký obsah sirnatých sloučenin, především sulfanu (H_2S), je třeba je odstranit nebo provádět častější kontrolu a čištění teplotných ploch kotle a komínů.

Pouhé spalování bioplynu není příliš výhodné, proto se pro efektivnější využití bioplynu používají kogenerační jednotky, které umožňují jak výrobu tepla, tak i výrobu elektrické energie.

3.4.2 Kogenerace

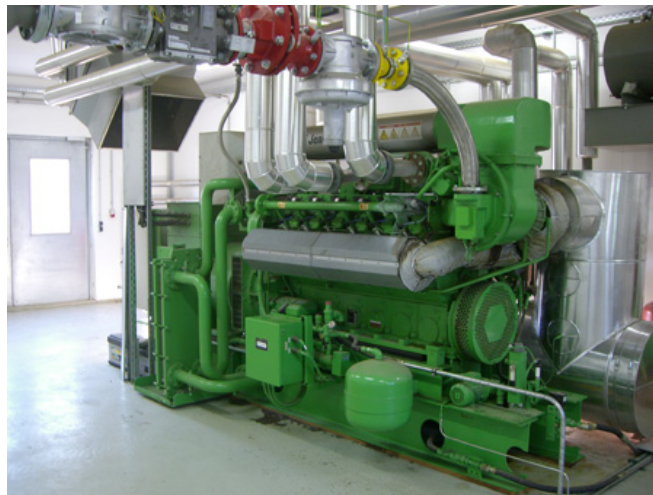
Kogenerací se nazývá současná výroba elektrické energie a tepla. Nejčastěji jsou k tomuto účelu využívány kogenerační jednotky (KJ) s pístovými spalovacími motory, která jsou spojena s generátorem. Na Obrázku 3.17 je znázorněna schématická výstavba kogenerační jednotky.



Obrázek 3.17: Schématická výstavba kogenerační jednotky, schéma ASUE, [14].

Celková účinnost se skládá ze součtu účinností elektrické a tepelné a bývá obvykle v rozmezí 80 až 90 %, přičemž elektrická účinnost tvoří 30 až 50 % z celkové účinnosti a tepelná účinnost dosahuje hodnoty kolem 40%. Vyrobené teplo je využíváno pro produkci teplé užitkové vody, pro ohřev fermentorů či pro vytápění provozních budov. I přesto, že možnosti využití tepla jsou velké, nebývá veškeré množství zúžitkováno, a tak dochází po většinu roku ke ztrátám energie. Po odečtení nákladů na výrobu bioplynu a ztrát způsobených kogenerační jednotkou při přeměně bioplynu na teplo a elektřinu, lze využít téměř 65% energie z bioplynu při plném využití tepla. V případě, že není zajištěno využití odpadního tepla, využije se pouze 35% energie, [6, 14, 25].

Příklad: Na výrobu $1 kWh_e$ je třeba přivést do kogenerační jednotky $0,6 - 0,7 m^3$ bioplynu s průměrným obsahem metanu (CH_4) 60%. V praktickém provozu lze s velmi hrubým odhadem počítat, že na výrobu $1 kWh_e$ a $1,27 kWh_t$ je zapotřebí asi 5 - 7kg odpadní biomasy, 5 - 15kg komunálních odpadů nebo 8 - 12kg chlévské mrvy, [6].



Obrázek 3.18: Kogenerační jednotka, [26].

Výhody kogenerace

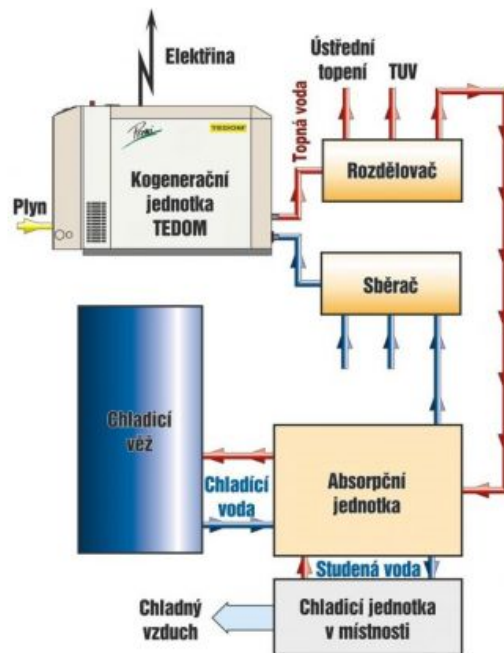
- + Ve srovnání s oddělenou výrobou elektrické energie dochází až k 35% úspoře paliva
- + Vysoká míra efektivity využití paliva
- + Kogenerační jednotky lze plynule regulovat prostřednictvím řídicího systému jednotky
- + Při využití tepla a energie v místě výroby nedochází k přenosovým ztrátám
- + Produkce nízkého množství emisí na celkové množství vyrobené energie
- + Přebytek elektrické energie lze prodat po domluvě s distributorem do rozvodné sítě

Nevýhody kogenerace

- Vysoké počáteční náklady
- Je nutné zajistit ochranu proti hluku pomocí krytů, zvukovou izolaci strojovny apod.
- návratnost vložených finančních prostředků je přímo závislá na využití vyrobeného tepla a elektrické energie, [27].

3.4.3 Trigenerace

Trigenerace je v evropských zemích relativně novým pojmem. Jedná se o spojení kogenerační jednotky a chladicí jednotky absorpčního typu, za účelem co nejvyššího využití kogenerace a zuzitkování části vyrobeného tepla na výrobu chladu. Trigenerace proto představuje kombinovanou výrobu elektrické energie, tepla a chladu. Toto spojení je výhodné zejména z pohledu kogenerační jednotky, jelikož umožňuje využít teplo i v létě, mimo topnou sezónu. Právě snížení možnosti využití tepla z kogeneračních jednotek v letních měsících vedou často k nasazení menších jednotek, než by bylo vhodné. Pokud tedy lze přeměnit teplo na chlad, je možné ho využít např. pro klimatizaci.



Obrázek 3.19: Schéma zapojení absorpčního chlazení, firma TEDOM, [28].

Na Obrázku 3.19 je znázorněno funkční schéma absorpčního chlazení. Toto chlazení má tři okruhy, mezi kterými probíhá výměna tepla. První okruh je napojen na zdroj tepla tzn. kogenerační jednotku. Druhý je okruh studené vody, který je napojen na okruh chlazení a třetí je okruh chladicí vody. Na velikost chladicího zařízení, a tím i cenu, má rozhodující vliv teplota okruhu otopné vody. Platí, že čím vyšší teplota teplé vody, tím menší a levnější je i chladicí zařízení.

Výhody trigenerace:

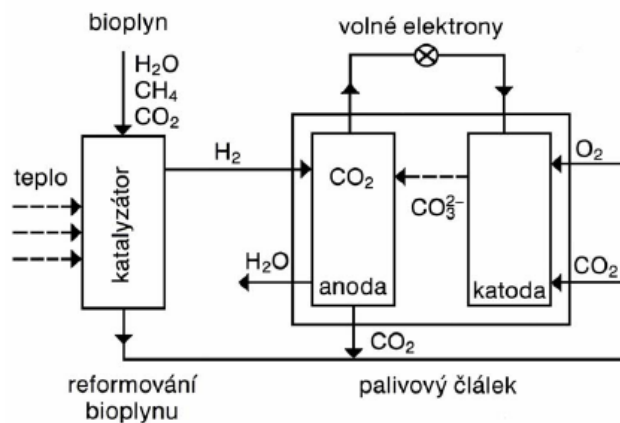
- + Prodloužení efektivního ročního chodu kogenerační jednotky
- + Přeměna tepla na chlad, využití např. pro klimatizaci
- + Minimální hlučnost, jednoduchost a spolehlivost

Nevýhody trigenerace:

- Investiční náročnost
- Větší rozměry
- Hmotnost technologie

3.4.4 Palivové články

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.



Obrázek 3.20: Princip palivového článku (MVFC) na bioplyn, [6].

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 sulfanu (H_2S) z bioplynu a poté dochází k obohacování metanu. Pro úpravu bioplynu jsou využívány technologie popsané v Kapitole 3.3. V případě bioplynu není k dispozici čistý vodík (H_2), a proto je zapotřebí jej z bioplynu oddělit společně z oxidem uhličitým, procesem zvaným reforming. Na Obrázku 3.20 je znázorněn princip činnosti palivového článku na bioplyn.

Podle provozní teploty se palivové články rozdělují na:

- nízkoteplotní ($60 - 80^\circ\text{C}$)
- středněteplotní ($180 - 220^\circ\text{C}$)
- vysokoteplotní ($800 - 1000^\circ\text{C}$)

Výhody palivových článků:

- + vysoká elektrická účinnost
- + nepatrné emise (minimální emise SO_x a NO_x)
- + produkce energie v místě spotřeby
- + možnost kogenerace
- + pružná změna výkonu (0,025 až 50 MW)
- + minimální emise hluku

Nevýhody palivových článků:

- nízká a stále nejistá doba životnosti

- vysoké specifické investiční náklady
- nízký stupeň vývoje

Palivovým článkům je předpokládán rychlý technický pokrok, o který se v současné době starají firmy v USA, Kanadě, Německu a Japonsku. Velký zájem projevují firmy vyrábějící motorová vozidla. Palivové články jsou zařízení velmi perspektivní, ale s výhledem praktického využití v období 10 a více let, [6, 14, 29].

3.4.5 Biometan jako palivo pro motorová vozidla

V Kapitole 3.3 jsou popsány známé metody úpravy bioplynu na tzv. *biometan*. To znamená, že výsledný plyn po vyčištění obsahuje více než 95% metanu. Po této úpravě je možné využít vzniklý bioplyn, tzv. *biometan* jako plnohodnotnou náhradu zemního plynu, mj. i jako motorové palivo v dopravě ve formě CNG (stlačený zemní plyn) nebo LNG (zkapalněný zemní plyn).

V současné době se v České republice bioplyn jako palivo pro motorová vozidla nepoužívá. 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. Biometan je na rozdíl od bionafty a bioetanolu palivem plynným. Pokud by se v České republice uvažovalo o používání biometanu jako paliva, hovořili bychom spíše o možnosti CNG. Jelikož v současné době u nás existuje již vozový park a malá síť plnicích stanic na zemní plyn.

V současné době, vztaženo k roku 2010, v České republice zemní plyn jako pohonou hmotu využívá cca 1 800 vozidel, z toho:

- 1 500 osobních a dodávkových automobilů
- 270 autobusů
- 20 komunálních vozidel
- 40 ostatních (vysokozdvížené vozíky, rolby ledu)

Počet veřejných CNG plnicích stanic je 25. Průměrná cena CNG je přibližně 22 Kč/kg nebo 17 Kč/m³. Převodní vztah z m³ na litry je následující:

- 1 m³ CNG odpovídá přibližně 1 litru benzínu
- 1 kg CNG se rovná 1,4 m³ CNG

Další možností využití biometanu vedle CNG je LNG, tzv. zkapalněný zemní plyn. Tato varianta se používá v menší míře než dříve zmíněný CNG popřípadě jiná alternativní paliva. Na LNG dnes ve světě jezdí přibližně několik tisíc vozidel, nejvíce v USA.

Zkapalněný zemní plyn je 90 - 100% metan (biometan), který je zchlazen na -162°C při atmosférickém tlaku. Jedná se o průzračnou, namodralou kapalinu bez zápachu, nekorozivní, netoxická, s malou viskozitou. Zkapalněný zemní plyn zaujímá cca 600x menší objem než plynný zemní plyn.

Výhody LNG

- + větší dojezd vozidla na LNG oproti CNG (jedna z hlavních nevýhod CNG), na dojezdovou úroveň s klasickými pohonnými hmotami
- + vysoce čisté palivo s minimálním množstvím škodlivých emisí
- + doba plnění srovnatelná s klasickými palivy
- + bezpečnější provoz (vyšší zápalná teplota LNG oproti benzínu)
- + oproti CNG zmenšení objemu palivových nádrží

Nevýhody LNG

- uchovávání za velmi nízkých teplot
- odpar z nádrže při delší odstávce vozidla
- složitější a nákladnější technologie v porovnání se stlačeným zemním plynem
- jiná technologie při plnění vozidla a nová rizika při tankování

Jak už bylo dříve zmíněno, jakékoliv jiné využití bioplynu než v kogenerační jednotce, není zatím ekonomicky výhodné. Mezi překážky vstupu biometanu na trh patří legislativní a ekonomické podmínky, které musí být předem splněny. Prozatímní vývoj ukazuje, že se staví bioplynové stanice o stále vyšších výkonech 500 kW_e až 1 MW_e. U takto velkých stanic se již dá uvažovat o úpravě bioplynu.

Příklady ze zahraničí: *Biometan je jako motorové palivo dnes využíván v několika evropských velkoměstech - Stockholm (Švédsko), Lille (Francie), Bern (Švýcarsko), Berlín (Německo), Madrid (Španělsko) a Margarethen am Moos (Rakousko). V zahraničí se používá biometan převážně jako motorové palivo ve veřejné dopravě jako jsou např. autobusy městské hromadné dopravy, vozy úklidové služby, taxíky a dokonce i v železniční dopravě. Od roku 2005 je ve švédském městě Linköping v provozu motorový vlak na bioplyn (Obrázek 3.21), který obsluhuje trať mezi městy Linköping a Västervik. Jedná se o první motorový vlak na bioplyn s dojezdem 600 km. Úprava vlaku byla levnější alternativou k elektrifikaci celé trati, kterou by bylo nutno provést pro snížení emisí. Nový motor splňuje emisní limity Euro 5. Produkce skleníkových plynů byla snížena na nulu.*

3.4.6 Biometan v porovnání s jinými palivy

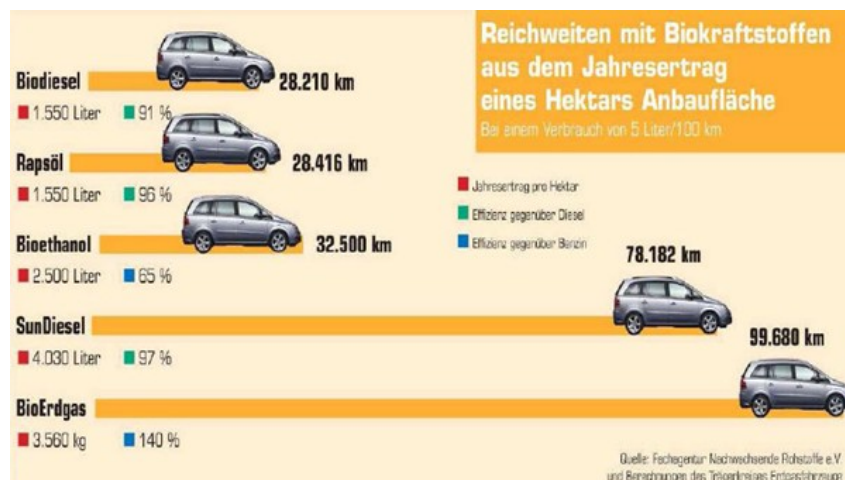
V současné době jsou nejrozšířenějšími a státem podporovanými biopalivy bionafta a bioethanol. Bionafta se vyrábí především z řepky olejné pomocí chemického procesu. Bioethanol je produktem alkoholového kvašení a v našich podmínkách se nejčastěji vyrábí z obilovin a cukrové řepy. v obou případech se jedná o kapalná paliva, která je možné přimíchávat do konvenčních paliv. V případě porovnání biometanu s ostatními konvenčními palivy, je při spalování biometanu do ovzduší vypouštěno nejméně emisí skleníkových plynů. Výroba biometanu je účinnější než výroba biopaliv 1. generace. Biopaliva 2. generace nazývaná Btl (" Biomass to liquid") představují kapalná biopaliva vyrobená z rostlinné biomasy.



Obrázek 3.21: Motorový vlak ve švédském Linköpingu, [1].

Druhá generace bude dosahovat podobných účinností jako při produkci biometanu, avšak technologie k jejich produkci jsou stále ve vývoji.

Ve srovnání s bioplynem a Btl poskytují bionafta a bioetanol v našich podmínkách se srovnatelnými náklady na vyrobený GJ energie asi třikrát nižší energetický výnos z hektaru půdy. Na Obrázku 3.22 jsou znázorněny dojezdové vzdálenosti kapalných biopaliv na 1 hektar pěstební plochy za rok a při spotřebě 5 litrů paliva na 100 km, [1, 11, 30, 31].



Obrázek 3.22: Porovnání produkce, efektivitu a dojezdové vzdálenosti kapalných biopaliv na 1 hektar pěstební plochy za rok, [30].

Výhody biometanu v dopravě

- + široká škála plodin pro výrobu biometanu
- + možnost výroby biometanu z bioodpadů
- + vysoká energetická výtěžnost
- + decentralizace výroby bioplynu
- + napojení bioplynových stanic na rozvodnou síť zemního plynu

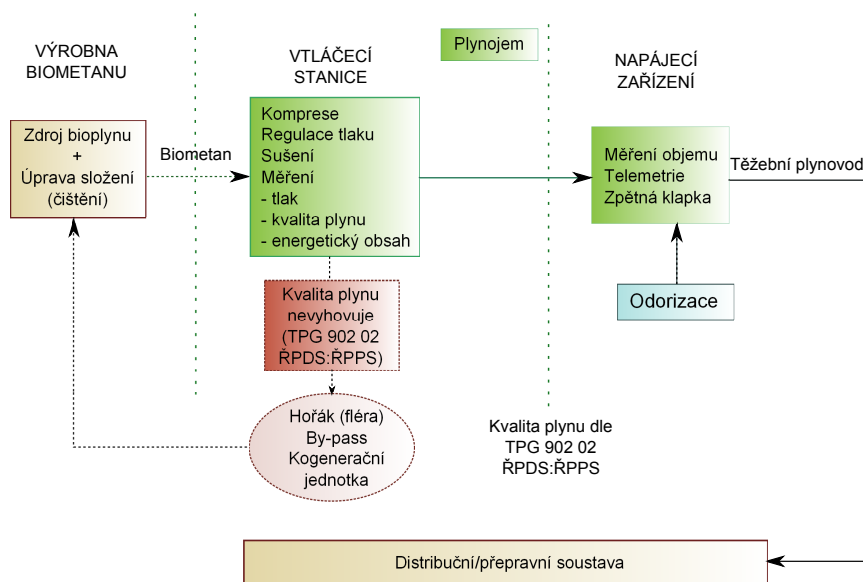
Nevýhody bioplynu v dopravě

- nutnost vytvoření infrastruktury a trhu
- legislativní a ekonomické podmínky
- prozatím drahé technologie
- biometan zatím není atraktivní pro zemědělce

Podle studie Lipského institutu pro energetiku a životní prostředí je možné na zemědělských plochách EU-28 dnes vypěstovat biomasu k výrobě 300 mld. Nm³ biometanu za rok při současném zachování potravinové soběstačnosti jednotlivých zemí. Do roku 2020 má tento potenciál vzrůst na 500 mld. Nm³ biometanu za rok. Toto množství se rovná současné spotřebě veškerého zemního plynu v EU-28. Do tohoto počtu nejsou zahrnuty bioodpady, které představují dodatečný potenciál, [11].

3.4.7 Napájení sítě zemního plynu

Napájení sítě zemního plynu upraveným bioplynem by do budoucna mohlo představovat efektivní možnost využití bioplynu. V tomto případě je zapotřebí, aby byl bioplyn upraven na plyn srovnatelný kvalitou a čistotou se zemním plynem, který lze poté využívat jako ZP. Jednou z hlavních výhod biometanu je možnost vyskladnění do stávajících plynodrodních sítí a následná distribuce až k místům efektivnějšího využití, např. plnicím stanicím na CNG, čímž by došlo k plnému využití odpadního tepla a vzrostla by i energetická účinnost. Na Obrázku 3.23 je znázorněno schéma uspořádání technologií pro vtláčení biometanu do plynárenských sítí, [25].



Obrázek 3.23: Schéma uspořádání technologií pro vtláčení biometanu do plynárenských sítí.

Dříve než lze vyrobený bioplyn použít jako náhradní zemní plyn, musí být zbaven nežádoucích složek, kterými jsou především sulfan, oxid uhličitý a voda. Pro úpravu složení bioplynu na

kvalitu vhodnou pro vtláčení do plynovodní sítě lze použít jakoukoli komerčně dostupnou technologii, která zajistí požadované odstranění nežádoucích složek. Všechny dosud známé metody úpravy bioplynu jsou popsány v Kapitole 3.3. V reálném provozu jsou ověřeny a používány metody založené zejména na absorpčním a adsorpčním principu (viz Odstavec 3.3.1 a 3.3.2). Další perspektivní metodou se jeví membránová separace (viz Odstavec 3.3.3), která má již první komerční nasazení, [25, 32].

3.4.8 Požadavky na kvalitu vtláčeného biometanu

Technická pravidla TPG 902 02 udávají minimální požadavky na kvalitu vtláčeného biometanu do distribučních sítí. V Tabulce 3.3³ jsou stanoveny minimální a maximální hodnoty jednotlivých složek, které mohou být přítomny v biometanu určeného pro vtláčení. Definované parametry jsou pouhým doporučením, provozovatel příslušné distribuční sítě zemního plynu může při sjednávání připojování výroben biometanu do místní plynárenské sítě požadovat i jiné (přísnější) hodnoty, [1, 32].

Tabulka 3.3: Požadavky na kvalitu bioplynu dle TPG 902 02, [32].

Požadavky na kvalitu biometanu pro možnost jeho dodávky do plynárenských sítí v ČR dle TPG 902 02	
Parametr	Hodnota
Obsah metanu	min. 95,0% mol.
Obsah vody	max. -10°C
(Vyjádřený jako teplota rosného bodu vody)	při předávacím tlaku
Obsah kyslíku	max. 0,5 % mol.
Obsah oxidu uhličitého	max. 5,0 % mol.
Obsah dusíku	max. 2,0 % mol.
Obsah vodíku	max. 0,2 % mol.
Celkový obsah síry (bez odorantů)	max. 30 mg.m ⁻³
Obsah merkaptanové síry (bez odorantů)	max. 5 mg.m ⁻³
Obsah sulfanu (bez odorantů)	max. 7 mg.m ⁻³
Obsah amoniaku	nepřítomen
Halogenové sloučeniny	max. 1,5 mg(Cl+F).m ⁻³
Organické sloučeniny křemíku	max. 6 mg(Si).m ⁻³
Mlha, prach, kondenzáty	nepřítomny

Stěžejní parametry jako např. obsah metanu, oxidu uhličitého, vody, síry, atd.) by měly být sledovány kontinuálním měřícím zařízením předepsaným distributorem. Je-li biometan vtláčen do plynovodní sítě s odorizovaným plynem, musí být před vstupem do sítě odorizován. Odorizaci, následné kontroly a měření zajišťuje provozovatel soustavy, [32].

V případě, že biometan splňuje veškeré požadavky na něj kladené, je možné ho vtláčet do plynárenské sítě.

³ Způsoby a rozsah měření jednotlivých parametrů závisí na dohodě mezi provozovatelem příslušné distribuční soustavy resp. přepravní soustavy a výrobcem plynu.

Rozdělení plynovodů podle tlaku

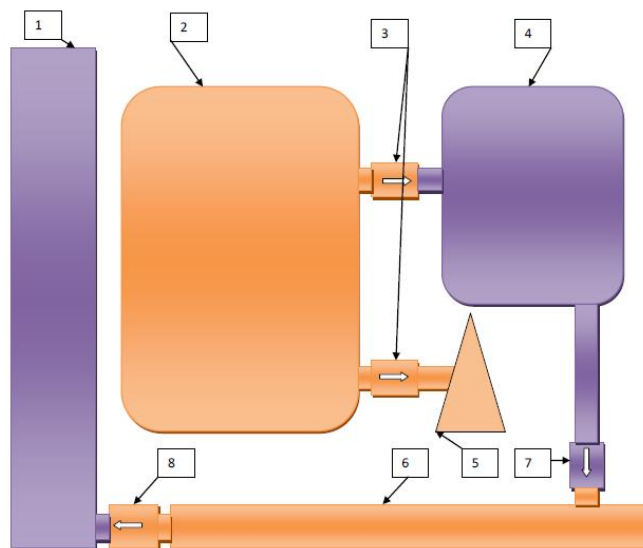
- nízký tlak (NTL) - max. 5kPa
- střední tlak (STL) - 5kPa - 0,4MPa
- vysoký tlak (VTL) - 0,4 - 4MPa
- velmi vysoký tlak (VVTL) - 4 - 10MPa

Vhodně se jeví zejména vtláčení do středotlaké (STL) nebo vysokotlaké (VTL) plynárenské sítě, kde výstupní tlak plynu z čistícího zařízení je dostatečný a nebývá nutná další komprese plynu a náklady spojené s kompresí a distribucí jsou nižší.

Bariéry pro vtláčení bioplynu do sítí zemního plynu

Na českém trhu se objevuje řada bariér, které brání vzniku BPS s úpravou a následným vtláčením bioplynu do sítí ZP. Jednou z těchto bariér jsou zatím nevyjasněné vlastnické vztahy k zařízení připojovacího místa a financování nákladů na jeho instalaci a provoz. Na Obrázku 3.24 je navrženo blokové schéma vlastnictví zařízení, které vypracovala společnost RWE. Návrh vlastnictví je znázorněn v Tabulce 3.4.

Vlastník resp. žadatel o připojení do sítě ZP hradí v plné výši náklady na výstavbu propojovacího plynovodu do předávacího místa, dále hradí stavební část předávacího místa a náklady na vybavení technologickým zařízením s výjimkou měření množství a kvality plynu⁴, odorizace a zařízení na úpravu spalného tepla plynu.



Obrázek 3.24: Blokové schéma vlastnictví zařízení, [37].

Zatímco provozovatel distribuční či přenosové soustavy hradí náklady na měření množství a kvality plynu, případnou odorizaci a veškeré ostatní náklady spojené s provozem předávacího místa.

Tabulka 3.4: Návrh vlastnictví zařízení pro úpravu a vtláčení biometanu do sítí zemního plynu, [37].

Pozice	Zařízení	Vlastnictví
1	Plynovod distribuční soustavy	Provozovatel distribuční soustavy
2	Výrobní biometanu	Vlastník výroby
3	Výstupní armatura výroby	Vlastník výroby
4	Napájecí zařízení	Provozovatel distribuční soustavy
5	Hořák pro spálení nestandardního biometanu	Vlastník výroby
6	Těžební plynovod	Vlastník výroby
7	Výstupní armatura standardního biometanu	Provozovatel distribuční soustavy
8	Výstupní armatura těžebního plynovodu	Vlastník výroby

Součástí předávacího místa je měření množství a kvality plynu, které slouží pro určení množství energie dodané do sítě, úprava tlaku plynu na požadovaný předávací tlak, odorizační stanice (je-li plyn dodáván do nižších tlakových hladin), zařízení na úpravu spalného tepla a stavební část.

Náklady na výstavbu a provoz předávacího místa navrhlo Středisko pro efektivní využívání energie, o.p.s (SEVEN), [1, 37, 38].

Příklad ze zahraničí *Bioplynová stanice Pliening byla prvním zařízením s napojením biometanu do sítě zemního plynu. Zařízení patří k nejmodernějším výrobním stanicím bioplynu v Evropě. Výkon BPS je 920 Nm³/h surového bioplynu, 347 kW elektrických, 423 kW tepelných a z toho vznikne 485 Nm³/h biometanu. Roční kapacita úpravy je přibližně 3,9 mil. Nm³ biometanu v kvalitě zemního plynu a roční kapacita napájení je cca 43 mil. kWh, což odpovídá potřebě tepla asi 1 300 rodinných domků. Biometan je napájen do sítě zemního plynu Městských podniků veřejných služeb města Mnichov.*

Vstupní materiál do BPS je cca 35 000 t kukuřičné siláže, Kukuřičný Corn-Crop-Mix (CCM), siláž celých rostlin (GPS) a obilí (zrní).

V zařízení Pliening se používá pro úpravu plynu proces adsorpce se změnou tlaku (PSA). Vzniklý bioplyn musí obsahovat více než 96% metanu dle požadavků směrnice DVGW plynového hospodářství. Po vyčištění plynu probíhá měření plynu, zvýšení tlaku na síťový tlak, odorizace a napojení biometanu do plynovodu Městských podniků veřejných služeb Mnichova, [34].

Výhody vtláčení bioplynu do sítí zemního plynu

- + Biometan je CO₂ neutrální
- + Biometan lze napájet do stávajících sítí zemního plynu a lze jej přepravovat na dlouhé vzdálenosti
- + Větší nezávislost na dovozech zemního plynu
- + Biometan je celoročně k dispozici a lze ho využít pro základní zatížení
- + Biometan patří k regulovatelným obnovitelným zdrojům energie - zatížení ve špičkách

⁴Jak definuje §1 odst. 4, vyhlášky 251/2001 Sb., v platném znění.



Obrázek 3.25: Bioplynová stanice Pliening v Německu, [33].

- + Biometan je díky použití v palivových člancích nebo jako palivo obzvláště perspektivní
- + Posílení regionálního zemědělství otevřením nových zdrojů příjmů jako dodavatele energie

Nevýhody vtlačení bioplynu do sítí zemního plynu

- Vysoké pořizovací náklady na čistící zařízení
- Potřeba výstavby bioplynových stanic o vyšších výkonech
- Vybudování připojovacích plynovodů

3.4.9 Závěr

V ČR nebylo dosud instalováno žádné čistící zařízení. Neustále u nás převažují výhody využívání kogenerace a to především finanční, před jiným využitím bioplynu a to i přesto, že úprava bioplynu, jak pro účely vtlačení, tak pro pohon motorových vozidel je mnohem efektivnější. V ČR je zatím nedostatečné legislativní prostředí pro nové technologie a nulová podpora ze strany státu.

*Každá lidská činnost se nakonec
musí nějak projevit v číslech.*

Tomáš Baťa

4

Návrh bioplynové stanice s ohledem na využití biometanu

Bioplynové stanice mají řadu pozitivních přínosů pro společnost. Jedná se o projekty multi-oborové, které se tématicky prolínají napříč mnoha odvětvími, jakým jsou například ochrana ovzduší, odpady, hnojiva, energetika aj. Z čehož vyplývá, že proces jejich přípravy a realizace je poměrně náročný z hlediska administrativy a naplnění požadavků různých zákonů. V této kapitole jsou popsány důležité aspekty přípravy a realizace bioplynových stanic. Je zde navržen model BPS, který slouží k ekonomickému zhodnocení efektivnosti bioplynové stanice.

4.1 Postup při realizaci projektů bioplynových stanic v ČR

Přípravu projektů bioplynových stanic lze rozdělit do několika následujících kroků:

1. Úvodní posouzení záměru, resp. nabídka dodavatele
2. Studie proveditelnosti
3. Zpracování žádostí o investiční podporu a zajištění financování projektu
4. Projektová dokumentace pro územní řízení (PD a ÚŘ), řízení EIA
5. Projektová dokumentace pro stavební řízení (PD a SŘ)
6. Realizace projektu
7. Monitorování provozu BPS

Úvodní posouzení záměru

Slouží pro základní orientaci zájemce v problematice a předkládá základní rysy technického řešení, hrubý odhad investice a ekonomiky záměru. Rozsah závisí na podkladech, které jsou k dispozici. Na základě této studie se zájemce rozhoduje, zda bude v potenciálním záměru pokračovat či nikoli.

Studie proveditelnosti

Studie proveditelnosti volně navazuje na úvodní posouzení záměru. V této části se již podrobně popisuje zamýšlené technické řešení, rozpočet, způsob provozu, řešení látkových koncovek, energetická bilance, využití produkovaných energií, legislativní dopady atd. Studie se provádí většinou v několika variantách. Bývá prováděna většinou v souladu s metodikou předběžně vybraných dotačních titulů. Slouží jako základní rozhodovací dokument zákazníka a dále jako podklad pro zpracování podnikatelského záměru, jednání s bankami, zadání pro projektanty, zpracovatele doplňkové dokumentace (EIA, energetický audit, rozptylová studie, odborné posudky, atd.)

Zpracování žádosti o investiční podpory

Druh žádosti o investiční podporu vyplývá z typu investora a konkrétního připravovaného projektu, na jehož základě je nutné volit dotační strategii (vhodný dotační program). Mezi nejvhodnější zdroje podpor pro realizaci projektu patří operační programy a iniciativy Evropské unie, ale též může jít o tuzemské dotační tituly a granty. Vhodné programy pro realizaci BPS jsou:

OPPI - Operační program Podnikání a inovace

OPŽP - Operační program Životní prostředí

PRV - Program rozvoje venkova

ROP - Regionální operační program

POV - Program rozvoje venkova

Státní fond životního prostředí

Grantové programy v rámci jednotlivých krajů

V poslední době je výše podpor mezirezortně sjednocována na úroveň 30%, což je míra vyhovující většině realizovaných BPS. Součástí zpracování žádostí o podporu je i řešení finančního cash flow všech fází projektu, včetně řešení bankovních úvěrů.

Projektová dokumentace pro územní a stavební řízení

Rozsah a zpracování dokumentace pro územní řízení podléhá režimu stavebního zákona. Jednotlivé dokumentace k ÚŘ a SŘ se od sebe v určitých částech mírně liší na základě požadavků příslušných stavebních úřadů. Součástí dokumentace k územnímu řízení je jednoduchý inženýrsko-geologický průzkum v místě založení fermentoru a geologické zaměření stanoviště, odborný posudek o umístění středního (velkého) zdroje znečištění ovzduší, včetně rozptylové studie a vydání příslušného rozhodnutí Krajského úřada. Samostatnou kapitolou v této předrealizační části je zpracování dokumentace o posouzení EIA. V současné době je prakticky vždy nutno předkládat posouzení projektu z hlediska vlivů na životní prostředí. Tato skutečnost vyplynula z několika nepovedených realizací BPS v minulosti, které negativně ovlivnily mínění veřejnosti a orgánů státní správy. Zpracování EIA požadovaného stupně je nutné svěřit odborníkům s příslušnou autorizací MŽP. Výsledné rozhodnutí příslušného orgánu je pro další postup realizace projektu zcela zásadní.

Realizace projektu

Realizace stavby musí probíhat dle platné legislativy a je zapotřebí přihlížet k platným místním specifickým podmínkám, které mohou mít značný vliv na technické řešení a celkovou dobu realizace projektu. V Tabulce 4.1 jsou časově rozvrženy jednotlivé etapy výstavby bioplynové stanice.

Tabulka 4.1: Etapy výstavby bioplynové stanice, [19].

Úvodní posouzení záměru, studie proveditelnosti, kontrola možnosti připojení na rozvodnou síť	do 1 měsíce
IG průzkum Zpracování oznámení nebo dokumentace EIA Zpracování dokumentace pro územní řízení Rozptylová studie, odborný posudek o zdroji znečištění ovzduší Zpracování energetického auditu a žádosti o dotaci	3-10 měsíců
Projekt pro stavební povolení	2,5 měsíce
Realizace stavby	6-8 měsíců
Zkušební provoz	1,5 měsíce

Doby v Tabulce 4.1 jsou pouze orientační, jelikož skutečný celkový čas realizace projektu může být ovlivněn mnoha okolnostmi jako je např.:

- potřeba vyřešení majetko-právních vztahů
- potřeba změny územně-plánovací dokumentace obce (min. 10 měsíců)
- nestandardní druhy biomasy a posouzení možných inhibičních vlivů (min. 2-3 měsíce)
- možný negativní postoj obce nebo veřejnosti k projektu v dané lokalitě (např. nutnost podstoupit úplné řízení EIA - min. 6-10 měsíců)

Provoz a monitorování bioplynové stanice

Tato fáze nastává po úspěšném dokončení výstavby BPS. Provoz BPS podléhá poměrně složité legislativě. Na bioplynových stanicích se provádějí pravidelné kontroly dle předem stanoveného plánu, [19, 36].

4.2 Zemědělská bioplynová stanice z hlediska legislativy

Provoz bioplynové stanice se dotýká řady legislativních odvětví jako je například ochrana ovzduší, odpadové hospodářství, hnojiva, obnovitelné zdroje energie, veterinární správa atd. Tyto legislativní předpisy mohou ovlivňovat možnost zpracování některých substrátů a odpadů na bioplynových stanicích. V následujícím sloupci jsou vypsány aktuální zákony dotýkající se provozu BPS.

- Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech
- Vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady

- Zákon č. 458/2000 Sb., energetický zákon
- Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření s energií
- Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší
- Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na ŽP (EIA)
- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách
- Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech
- Směrnice EU č. 91/676/EEC nitratová směrnice

Kategorie bioplynových stanic

Zemědělské bioplynové stanice se dělí do dvou kategorií dle druhu zpracovávaných vstupních surovin. Zařazení do skupiny má významný vliv na výši výkupní ceny elektrické energie.

Do kategorie AF1 patří bioplynové stanice zpracovávající pouze cíleně pěstované energetické plodiny a jejich oddělené části s původem v zemědělské výrobě, které jsou primárně určeny k energetickému využití a neprošly technologickou úpravou. Do této kategorie spadají dle vyhlášky č. 482/2005 Sb. BPS, které v daném kalendářním měsíci zpracují více než polovinu hmotnostního podílu v sušině cíleně pěstované energetické plodiny a zbytek mohou tvořit vybrané substráty spadající do kategorie AF2. Konkrétně se jedná o substráty pod písmeny a) až g) skupiny AF2, což je biomasa s původem v zemědělství nebo bezprostředně navazujícím zpracovatelském průmyslu. V Příloze 3 je vypsán seznam jednotlivých druhů biomasy spadající do jednotlivých kategorií AF1 a AF2.

Do kategorie AF2 spadají bioplynové stanice zpracovávající biologicky rozložitelné odpady, které nemohou zpracovávat zemědělské bioplynové stanice spadající do kategorie AF1. Jedná se například o různé kaly z potravinářského průmyslu, z čistíren odpadních vod, rostlinné oleje a živočišné tuky, odpady z jatek, masokostní moučka, zbytky z kuchyní a stravoven a biologicky rozložitelný komunální odpad. Do AF1 patří také zemědělské BPS, jejichž vsázka cíleně pěstovaných energetických plodin v daném kalendářním měsíci tvoří méně než 50% celkové vsázky v sušině a nesplňuje tak podmínky pro zařazení do kategorie AF1.

Digestát z bioplynových stanic

Legislativa hnojiv usměrňuje použití digestátů a kategorizuje bioplynové stanice. V případě, že je digestát vyroben pouze ze statkových hnojiv jako je hnůj, kejda aj., nebo z objemových krmiv (siláž, senáž, seno, atd.) je digestát považován za statkové hnojivo a může být pro vlastní potřebu využit bez jakékoli registrace nebo ohlášení.

Další případ je ten, kdy je digestát vyroben ze statkových hnojiv nebo objemových krmiv a je šířen do oběhu prodejen nebo předáván dalšímu objektu. V tomto případě je nezbytná ohlašovací povinnost u Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského v Brně.

Třetí možnost představuje digestát vyroben za použití jiných substrátů. Takovýto digestát je nutné registrovat jako hnojivo u Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského v Praze (registrace hnojiv).

Většina provozovatelů zemědělských bioplynových stanic využívá digestát pro vlastní potřebu, a proto nepodléhají žádné registraci, [9].

4.3 Koncepce bioplynové stanice 1 MW

Pro účely porovnání využití bioplynu a následného ekonomického vyhodnocení, byla zvolena zemědělská bioplynová stanice o výkonu 1000 kW. Pro tento model je navržena technologie firmy Johann Hochreiter, která si zakládá na uspořádání fermentorů kruh v kruhu, (viz. Kapitola 2.2 Funkční popis technologie BPS).

Tabulka 4.2: Bilanční výpočet bioplynové stanice 1000 kW_e

Vstupní suroviny	množství [t/rok]	množství [t/den]	podíl na celkovém množství [%]	podíl sušiny [%]	mn. plynu ze vst. surovin [m ³ /rok]	výkon [kWe]
Kejda hovězí	7 000	19,2	25	9	204 120	56
Kejda prasat	500	1,4	2	7	12 758	3
Hovězí hnůj	5 000	13,7	18	17	317 475	87
Kukuřičná siláž	10 000	27,4	35	32	2 304 000	631
Travní siláž	3 000	8,2	11	33	534 600	146
Jetelová siláž	2 000	5,5	7	32	391 680	107
Digestát – recykl	1 000	2,7	4	3	0	0
Celkem	28 500	78,1	100	22,4	3 764 633	1 000

Data poskytla firma Johann Hochreiter s.r.o.

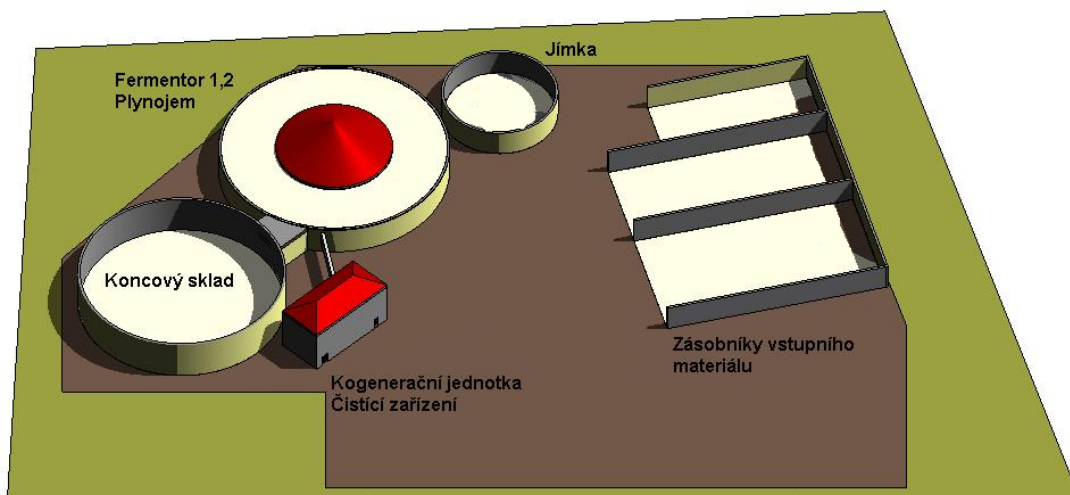
Jako vstupní surovina byla zvolena hovězí a prasečí kejda, hovězí hnůj, kukuřičná, travní a jetelová siláž a recyklovaný digestát. Tuhá část vstupních surovin bude dopravována přímo z dávkovacího zařízení do prvního stupně fermentoru, kde proběhne homogenizace. Ředící složka je dávkována do fermentoru pomocí centrálního čerpadla. Dávkované množství vstupních surovin je podrobně rozepsáno v Tabulce 4.2.

Největší podíl na celkovém množství vstupní suroviny tvoří kukuřičná siláž a následně hovězí kejda. Přičemž největším nositelem bioplynu je právě kukuřičná siláž. Pro další zpracování nás zajímá celkové množství plynu ze vstupních surovin za rok, což je 3 764 633 m³ a to odpovídá přibližně 470 m³ vyprodukovaného množství bioplynu za hodinu. Tento údaj je důležitý pro návrh čistící jednotky bioplynu.

Návrh koncepce technologických nádrží

Na základě vstupních parametrů a výkonu bioplynové stanice byly navrženy rozměry technických nádrží a doba zdržení materiálu ve fermentorech. Vzhledem k tomu, že se jedná pouze o model BPS, můžeme si vybrat, zda budou jednotlivé nádrže zapuštěny do země či nikoli. Pro kalkulaci nákladů na výstavbu byla zvolena levnější varianta nadzemních nádrží. Jednotlivé technické parametry jsou vypsány v Tabulce 4.3.

Bioplynová stanice se skládá ze dvou fermentorů o průměru 40 a 20 m, přičemž menší z nich je umístěn uvnitř většího. Celková doba zdržení materiálu ve fermentoru je 92 dní. Koncový sklad je dimenzován na uskladnění digestátu po dobu 120 dní.



Obrázek 4.1: Grafické znázornění uspořádání objektů v areálu BPS.

Tabulka 4.3: Parametry technologických nádrží

Fermentor	průměr F1	40 m	Objem celkový doba	7540 m ³
	průměr F2	20 m		
	výška	6 m	Objem celkový účinný	6 911 m ³
	účinná výška	5,5 m	Doba zdržení	92 dní
Vnější kruh	průměr F1	40 m	Objem	5 655 m ³
	výška	6 m	Objem účinný	5 183 m ³
	účinná výška	5,5 m	Doba zdržení	66 dní
	/rok	/den		
Organická sušina na vstupu	5 591	15,32 t		
Odbouraná org. sušina po prvním ferm.	4 277	11,72 t		
Anorganická sušina	784	2,15 t		
Sušina v prvním stupni teoretická		0		
Vnitřní kruh	průměr F2	20 m	Objem	1 885 m ³
	výška	6 m	Objem účinný	1 728 m ³
	účinná výška	5,5 m	Doba zdržení	26 dní
	/rok	/den		
Organická sušina na vstupu	1 314	3,6 t		
Odbouraná org. sušina po prvním ferm.	755	2,07 t		
Anorganická sušina	784	2,15 t		
Sušina v druhém stupni teoretická		0		
Koncový sklad	průměr	36 m		
	výška	8,0 m	Objem	8 143 m ³
	účinná výška	7,5 m	Účinný objem	7 634 m ³

Data poskytl firma Johann Hochreiter s.r.o.

Na Obrázku 4.1 je grafické znázornění prostorového uspořádání zemědělské bioplynové stanice. V tomto případě je budova určena pro kogenerační jednotku dimenzována i pro umístění čistícího zařízení, které bude sloužit k vyčištění vzniklého bioplynu, jehož množství se pohybuje zhruba 500 m³ za hodinu. Čistící technologie je umístěna v kovových kontejnerech, přičemž velikost a množství kontejnerů závisí na množství vstupního plynu.

4.4 Finanční náročnost bioplynové stanice

Následující část práce se zaměřuje na finanční náročnost výstavby zemědělské bioplynové stanice o výkonu 1 MW, které spadá do kategorie AF1. Zároveň je proveden odborný odhad nákladů na pořízení čistící jednotky umístěné v areálu bioplynové stanice. Vzhledem k tomu, že dosud nebylo v České republice instalováno žádné čistící zařízení, nelze vycházet z konkrétního příkladu. Pro český trh zatím nejsou stanoveny ceny čistícího zařízení a ani náklady na jeho provoz, proto jsou data převzata od zahraničních firem. Cenová kalkulace nákladů pro BPS s kogenerační jednotkou byla provedena firmou Johann Hochreiter s.r.o.

4.4.1 Kalkulace nákladů stavební části a technologie

V Tabulce 4.4 je rozepsána cenová rozvaha nákladů na stavbu bioplynové stanice o výkonu 1 MW včetně ceny technologie. Tento návrh zahrnuje dodávku bioplynové stanice v rozsahu projekční a inženýrské činnosti, technické stavby, dodávku a montáž technologického zařízení a cenu uvedení do provozu.

Položka technologie komplet v Tabulce 4.4 zahrnuje dodávku a instalaci technologie Hochreiter, jmenovitě se jedná o tato zařízení:

- kogenerační jednotku a její příslušenství
- míchání vnějšího kruhu fermentoru
- míchání vnějšího kruhu fermentoru
- míchání koncového skladu
- centrální čerpadlo, potrubí, příslušenství
- rozdělovač, tlakové potrubí, příslušenství
- plynovod
- výdejní místo digestátu
- vytápění fermentorů apod.

Do celkových nákladů není započtena cena na úpravu území, přípojku vysokého napětí, teplovod, kanalizaci, vodovod a v případě čištění bioplynu na biometan ani plynovod a další nutná zařízení k distribuci. Vstupní materiály též nejsou zahrnuty do nákladů.

V Tabulce 4.4 je podrobný přehled nákladů na výstavbu BPS. Ceny jsou platné k únoru 2011. Tato kalkulace ukazuje, že výstavba bioplynové stanice o výkonu 1 MW by stála přes 83 milionů Kč. V tomto případě by se jednalo o klasickou bioplynovou stanici, která by využívala bioplyn v kogenerační jednotce pro výrobu tepla a elektrické energie. Přičemž část elektrické energie by byla spotřebována v areálu BPS a ta větší část je prodána distributorovi.

Pokud bychom se podívali na druhý případ, kdy by byl vyrobený bioplyn dále upravován v čistící jednotce na kvalitu zemního plynu a následně část ZP by byla využita v kogenerační jednotce pro pokrytí vlastní spotřeby BPS a čistícího zařízení, vychází náklady na pořízení jen o něco málo vyšší. Bohužel se jedná jen o odhad nákladů, přičemž nejsou dosud známy náklady na výdejní místo a přípojku VN, což odpovídá položce 6 a 8 v Tabulce 4.4. Odborným odhadem bylo připočteno k celkovým nákladům 10% z odhadnuté ceny BPS. Po této úvaze se situace změní a

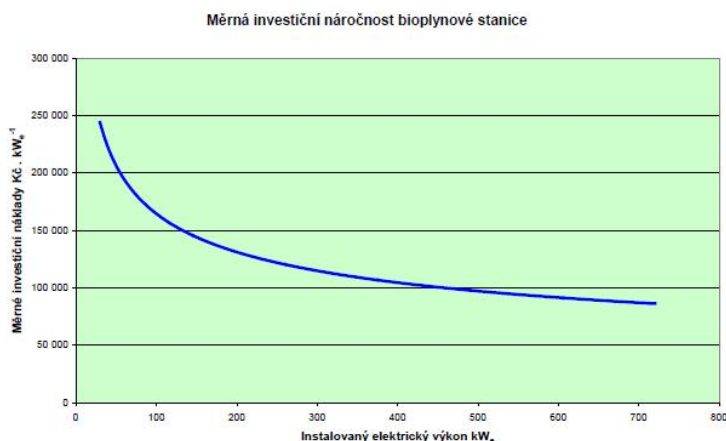
Tabulka 4.4: Náklady stavební a technologické části BPS 1 MW.

Bioplynová stanice 1 MW		Bez čištění bioplynu	S čištěním bioplynu
		Cena s DPH [Kč]	Cena s DPH [Kč]
1	Fermentor	19 248 000	19 248 000
2	Koncový sklad	9 079 000	9 079 000
3	Technický sklep	992 500	992 500
4	Technická budova kogenerace	1 620 000	1 620 000
5	Podklad pro dávkovací zařízení	231 000	231 000
6	Výdejní místo	105 900	neznámý údaj ²⁾
7	Plynovod fléra	225 700	225 700
8	Přípojka VN+trafostanice, hromosvod, uzemnění, stavební elektroinstalace, venkovní osvětlení	4 782 000	neznámý údaj ²⁾
9	Technologie komplet	43 320 000	25 368 000
10	Projektová dokumentace, kolaudace, apod.	864 000	864 000
11	Čistící zařízení	-	24 435 000
12	Servis a údržba	2 800 000	1 500 000
13	Doprava a manipulace	200 000	100 000
BPS celkem		83 468 100	83 663 200

Data poskytl firma Johann Hochreiter s.r.o

cena na pořízení bioplynové stanice s čistící technologií by se pohybovala kolem 92 milionu Kč. Tato celková odhadnutá cena se může více blížit realitě.

Celkové náklady bioplynové stanice jsou značně ovlivněny velikostí kogenerační jednotky a čistícího zařízení. S rostoucím instalovaným výkonem a s rostoucím množstvím vyčištěného plynu klesají i měrné investiční náklady bioplynové stanice. Na Obrázku 4.2 je znázorněna závislost měrných investičních nákladů na instalovaném elektrickém výkonu BPS. Tato křivka je pouze orientační, jelikož celkové náklady BPS jsou závislé na mnoha dalších faktorech.



Obrázek 4.2: Měrná investiční náročnost bioplynové stanice, [6].

Z Obrázku 4.2 lze vyčíst určitý pokles nákladů s rostoucím instalovaným výkonem a je zde vidět, že je vhodné stavět bioplynové stanice o instalovaném elektrickém výkonu nad 400 kW_e . V současné době neexistuje žádný podobný graf, který by porovnával závislost investičních nákladů na velikosti čistící technologie. Obecně lze říci, že křivka této závislosti bude velmi

podobná, jelikož je snaha stavět, co větší BPS, pro které by se už vyplatila technologie na čištění bioplynu.

4.4.2 Ekonomická bilance produkce bioplynu

V následující části práce je provedeno porovnání dvou variant využití bioplynu. První z nich je standardní využití vyrobeného bioplynu v kogenerační jednotce o elektrickém výkonu 1000 kW_e a tepelném výkonu 1040 kW_t. V další variantě bude bioplyn vyčištěn na biometan a následně využit jako zemní plyn v sítích zemního plynu.

1. Varianta

Bioplyn je zcela přeměněn na elektrickou energii a teplo v kogenerační jednotce o velikosti 1 MW, přičemž je uvažována vlastní spotřeba BPS přibližně 5% z celkového elektrického výkonu a 30% z tepelného výkonu KJ. Vyrobená elektrická energie bude dále prodávána distributorovi za výkupní ceny energie stanoveny pro rok 2011. Tepelná energie se nebude započítávat do celkových výnosů, jelikož na většině bioplynových stanic je využití tepla problematické a je považováno spíše za odpadní produkt.

Údaje pro variantu 1

Využití kapacity kogenerační jednotky	8000 hodin/rok
Cena elektrické energie pro rok 2011	4,12 Kč/kWh
Celkový elektrický výkon BPE	1000 kW _e
Celkový tepelný výkon BPE	1040 kW _t

Tabulka 4.5: Tržby z energií vyrobených na BPS kategorie AF1.

	Výkon [kW]	Energie za rok [kWh]	Skutečná – 90% [kWh]	Tržby při 4,12 Kč/kWh
Celkový el. výkon BPE	1 000	8 000 000	-	-
El. výkon – vlastní spotřeba (cca 5%)	50	400 000	-	-
El. výkon - k dodání do sítě	950	7 600 000	6 840 000	28 180 800

	Výkon [kW]	Energie za rok [kWh]	Skutečná – 60% [kWh]	Tržby při 300 Kč/GJ
Celkový tepelný výkon BPE	1 040	8 320 000	-	-
Tep. výkon – vlastní spotřeba (30%)	312	2 496 000	-	-
Tep. výkon – využitelný mimo BPE	728	5 824 000	3 494 400	3 774 000

Z Tabulky 4.5 vyplývá, že při prodeji elektrické energie činí tržby za rok přes 28 mil. Kč. V případě, že by se provozovateli BPS podařilo prodat i část vyrobeného tepla, vzrostla by tržba na téměř 32 mil. Kč.

2. Varianta

V druhé variantě je výpočet tržeb o něco složitější, jelikož část vstupních údajů byla odhadnuta z dostupných zdrojů. Pro modelovou BPS je instalována menší kogenerační jednotka firmy TEDOM typ CAT 260 o elektrickém výkonu 255 kWh_e a tepelným výkonem 419 kWh_t. Přičemž KJ zpracuje každou hodinu provozu 82 m³ zemního plynu. Pro výpočet byl zaměněn zemní plyn za vyčištěný bioplyn (biometan), který svou kvalitou odpovídá zemnímu plynu. Navržen KJ slouží pro výrobu elektrické energie a tepla pro vlastní spotřebu BPS a zároveň i čistící technologie. Přesná spotřeba energie čistícího zařízení není přesně známa, jelikož se jedná o interní informaci firem dodávající tyto technologie a pro publikaci v diplomové práci nebyly poskytnuty žádné konkrétní hodnoty. Z tohoto důvodu je uvažováno obecné zařízení na čištění bioplynu. Rozdíly v pořizovací ceně jednotlivých technologií na čištění BP jsou nepatrné a spotřeba energie není příliš vysoká. Ve výpočtech se vždy část energie počítá na provoz čistícího zařízení.

Údaje pro variantu 2

Využití kapacity kogenerační jednotky	8000 hodin/rok
Cena elektrické energie pro rok 2011	4,12 Kč/kWh
Cena zemního plynu pro rok 2011	13 Kč/Nm ³
Celkový elektrický výkon BPE	255 kW _e
Celkový tepelný výkon BPE	419 kW _t

Tabulka 4.6: Tržby z prodeje biometanu (zemního plynu)

	Výkon [kW]	Energie za rok [kWh]	Skutečná – 90% [kWh]	Tržby při 4,12 Kč/kWh
Celkový el. výkon BPE	255	2 039 400	-	-
El. výkon – vlastní spotřeba BPS + čištění ¹⁾	100	800 000	-	-
El. výkon - k dodání do sítě	155	1 239 400	1 115 460	4 595 600

	Výkon [kW]	Energie za rok [kWh]
Celkový tepelný výkon BPE	419	3 351 100
Tep. výkon – vlastní spotřeba BPS+čištění	419	3 351 100

Množství vyrobeného biometanu (ZP)	2 000 000	m ³ /rok
Spotřeba v kogenerační jednotce	656 000	m ³ /rok
Množství biometanu (ZP) do sítě ZP	1 344 000	m ³ /rok
Tržby z prodeje biometanu (ZP)	17 472 000	Kč/rok

Z Tabulky 4.6 vyplývají následující závěry. Navržená kogenerační jednotka vyrobí větší množství elektrické energie než je vlastní spotřeba BPS, proto část elektřiny může být prodávána. Hlavní položku ve výnosech tvoří tržby z prodeje zemního plynu (biometanu). Při uvažované ceně zemního plynu 13 Kč za m³ a vyrobeného množství biometanu se tržby z prodeje ZP pohybují 17 milionu Kč. Po sečtení těchto dvou položek se celková tržba pohybuje kolem 22 milionů Kč.

Z porovnání těchto dvou variant vychází, že v současné době je výhodnější využít bioplyn v kogenerační jednotce a získanou elektrickou energii prodávat za státem garantované ceny.

Z navrženého modelu je zřejmé, že celkové náklady na pořízení BPS s čistící technologií jsou výrazně vyšší a výnosy z prodeje ZP a elektrické energie celkově nižší. Určitým řešením by byla změna dotační politiky státu a Evropské unie, tak aby nebyla zvýhodněna pouze elektrická energie, ale též i biometan.

*It is time for a sustainable energy policy
which puts consumers, the environment,
human health, and peace first.*

Dennis Kucinich

5

Porovnání bioplynu z hlediska ekonomické a environmentální přijatelnosti

Tato kapitola je věnována hodnocení výroby bioplynu na bioplynových stanicích z hlediska ekonomické a environmentální přijatelnosti. Bioplynové stanice mají celou řadu celospolečenských přínosů, mezi které patří stabilní produkce obnovitelné energie, přispívají k energetické nezávislosti, omezování skleníkových plynů, podporují lokální ekonomiku, zachovávají živiny a napomáhají k jejich návratu do půdy.

5.1 SWOT analýza výstavby BPS

Následující část se zabývá SWOT analýzou bioplynových stanic. Jsou zde prezentovány silné a slabé stránky BPS a možné příležitosti a hrozby, které mohou vyplynout z realizace a provozu bioplynové stanice. V Tabulce 5.1 jsou jednotlivé části SWOT analýzy podrobně vypracovány.

Z provedené analýzy je vyplývá, že silné stránky realizace BPS převažují nad slabými. Nejsilnější stránkou je energetická soběstačnost zemědělského podniku, zisk kvalitního hnojiva a relativně krátká doba návratnosti, která se pohybuje v rozmezí 6 až 8 let s poskytnutou dotací, která tvoří většinou 30% ceny BPS.

Naopak mezi jednu ze slabých stránek, která má značný vliv na rozhodování o přidělení dotace na výstavbu bioplynové stanice, patří nedostatečné využití tepla z kogenerace. V dnešní době se teplo využívá v rámci bioplynové stanice na vyhřívání fermentorů, popřípadě na vyhřívání přilehlých objektů zemědělského podniku. Ve většině případů je teplo neprodejná, jelikož bioplynové stanice leží mimo obytnou oblast a dodávka do přilehlého města (místa odběru) by byla příliš finančně nákladná.

Druhou část SWOT analýzy tvoří příležitosti a hrozby. Jednou z významných příležitostí výstavby a provozu BPS je stabilizace a diverzifikace činností zemědělského podniku. V případě dobře fungující BPS dojde ke stabilizaci a možnosti vyšších příjmů podniku a to převážně z prodeje elektrické energie. Zemědělský podnik už nebude závislý pouze na prodeji zemědělských produktů. Mezi pozitivní přínosy BPS patří též zlepšení životního prostředí v okolí zemědělského areálu, jelikož dojde k omezení úniku metanu do ovzduší a dojde ke snížení zápachu.

Tabulka 5.1: SWOT analýza

SILNÉ STRÁNKY	SLABÉ STRÁNKY
<ul style="list-style-type: none"> - Energetická soběstačnost zemědělského podniku - Bioplyn jako obnovitelný zdroj energie - Zisk z prodeje elektrické energie, popřípadě tepla, a do budoucna i biometanu - Podpora výstavby bioplynových stanic - dotační programy - Garantované výkupní ceny elektrické energie - Zelené bonusy za výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie - Získání kvalitního organického hnojiva - Relativně krátká doba návratnosti investice - Snížení zápachu z velkochovů prasat a skotu 	<ul style="list-style-type: none"> - Vysoké pořizovací náklady - Nutnost zajištění kvalitního vstupního materiálu - Nedostatečné využití tepla z kogenerace - V případě špatně fungující BPS spíše zátěž pro podnik
PŘÍLEŽITOSTI	HROZBY
<ul style="list-style-type: none"> - Zvýšení podílu výroby energie z obnovitelných zdrojů - Stabilizace zemědělského podniku - Diverzifikace činností v zemědělském podnikání - Zlepšení životního prostředí - Dobré vyhlídky pro budoucí využívání bioplynu (vtlačení do sítí ZP, palivo pro motorová vozidla) 	<ul style="list-style-type: none"> - Zhoršující se připojovací podmínky do distribuční sítě - Velká finanční zátěž - Změny v podmínkách výkupních cen elektrické energie - Nedostatečné množství vstupního materiálu - Nezískání dotace na výstavbu BPS - Riziko výbuchu (metan patří mezi výbušné plyny)

Poslední část analýzy tvoří hrozby. Stejně tak, jako může dojít ke stabilizaci zemědělského podniku, může taktéž vést špatný provoz BPS k zadlužení a nevládní plnit závazky vůči bance. Toto riziko zde existuje, ale je snahou bank a firem, zabývajících se dodávkou BPS, toto riziko podchytit hned v začátku projektového záměru. Jednou z dalších hrozeb je nezískání dotace, což samozřejmě způsobí prodražení výstavby BPS a dojde k prodloužení doby návratnosti investice.

5.2 Ekonomické aspekty

Mezi nejdůležitější ekonomické aspekty při rozhodování o realizaci výstavby bioplynové stanice patří ekonomická efektivnost investice a garance výkupních cen. V následující části jsou jednotlivé aspekty vysvětleny.

5.2.1 Ekonomická efektivnost investice

Ekonomická efektivnost se měří penězi, a proto její výpočet musí obsahovat pouze penězi měřitelné veličiny. Abychom byli schopni vypočítat ekonomickou výhodnost a efektivnost bioplynové stanice, je zapotřebí znát konkrétní vstupní údaje, mezi které patří:

- Investiční náklady, které zahrnují veškeré jednorázové výdaje na přípravu stavby, projekt, dodávky technologického zařízení, montáž, stavební úpravy apod.
- Doba životnosti zařízení, tj. doba po kterou bude možno využívat zařízení bez vynakládání investičních výdajů na obnovu zařízení.
- Provozní náklady na obsluhu zařízení, jeho pravidelnou údržbu, plánované opravy, pojištění.

- Velikost úspor energie, roční produkce elektřiny a tepla.

Na ekonomiku OZE mají vliv i parametry financování stavby, tj. velikost, doba splácení, úroková sazba poskytnutého úvěru a také cena vlastních peněz investora. Ekonomický efekt pro investora ovlivňuje i daň z příjmů, daňové úlevy, aj.

Pro zjednodušený výpočet ekonomické efektivnosti lze provést porovnání dosažených ročních přínosů z úspor energie s vynaloženými investičními náklady. Návratnost vynaložené investice lze vypočítat následovně:

$$T_s = \frac{IN}{CF}, \quad \text{kde} \quad IN = N - D, \quad \begin{array}{l} T_s \text{ prostá návratnost (roky)} \\ N \text{ jednorázové náklady na realizaci projektu (Kč)} \\ D \text{ výše poskytnuté dotace (Kč)} \end{array}$$

$$CF = V_r - N_{pr} \quad \begin{array}{l} V_r \text{ průměrné roční výnosy (Kč)} \\ N_{pr} \text{ průměrné roční provozní náklady (Kč)} \end{array}$$

Varianta 1: BPS s kogenerační jednotkou a prodejem elektrické energie

Celkové náklady na pořízení investice: 83 468 000 Kč

Dotace (30%) : 24 000 000 Kč

$IN = 83\,468\,000 - 24\,000\,000 = 59\,468\,000$ Kč

Výnosy z prodeje elektrické energie: 28 180 800 Kč

Provozní náklady zahrnují:

servis a údržba	2 800 000 Kč
osobní (pracovník)	250 000 Kč
doprava a manipulace	200 000 Kč
pojištění	3 350 000 Kč
kukuřičná siláž 600 Kč/t	6 000 000 Kč
travní siláž 500 Kč/t	1 500 000 Kč
Celkem	14 100 000 Kč

$CF = 28\,180\,800 - 14\,100\,000 = 14\,080\,800$ Kč

Návratnost investice s využitím dotace: $T_s = \frac{IN}{CF} = \frac{59\,468\,000}{14\,080\,800} = \mathbf{4,2 \text{ roku}}$

Návratnost investice bez využití dotace: $T_s = \frac{N}{CF} = \frac{83\,468\,000}{14\,080\,800} = \mathbf{5,9 \text{ roku}}$

Varianta 2: BPS s čistícím zařízením a prodejem biometanu jako náhrada zemního plynu

Celkové náklady na pořízení investice: 92 000 000 Kč

Výnosy z prodeje elektrické energie a zemního plynu: 22 067 600 Kč

Provozní náklady zahrnují:

servis a údržba	1 500 000 Kč
osobní (pracovník)	250 000 Kč
doprava a manipulace	100 000 Kč
pojištění	3 350 000 Kč
kukuřičná siláž 600 Kč/t	6 000 000 Kč
travní siláž 500 Kč/t	1 500 000 Kč
<hr/> Celkem	<hr/> 12 700 000 Kč

$$CF = 22\,067\,600 - 12\,700\,000 = 9\,367\,600 \text{ Kč}$$

$$T_s = \frac{N}{CF} = \frac{92\,000\,000}{9\,367\,600} = \mathbf{9,8 \text{ roku.}}$$

Tento výpočet udává pouze statický pohled na investici. Neuvažuje se v něm ani s faktorem času, ani s časovou hodnotou peněz, a předpokládá konstantní průběh cash flow. Obecně lze říci, že pro bioplynové stanice platí, že doba návratnosti investice do 5 let je velmi dobrá a do 10 let přijatelná. Po 15 letech provozu dosáhne většina hlavních prvků bioplynové stanice své životnosti a je potřeba počítat s vyššími náklady na opravu a údržbu zařízení.

Pro přesnější výpočty ekonomického hodnocení projektů lze použít dynamické metody, které pracují s faktorem času (používají diskontní sazbu), [38].

Zhodnocení 1. a 2. varianty

V první variantě vychází prostá doba návratnosti velmi zajímavě. V případě získání dotace na výstavbu bioplynové stanice vyšla prostá doba návratnosti něco málo přes 4 roky. V případě nezapočítání dotace dojde k prodloužení doby na 6 let. V obou výpočtech nejsou započteny úroky, které musí investor platit bance. Tím dochází k dalšímu nárůstu nákladů. Ze zkušeností provozovatelů vyplývá, že přibližně celá výše dotace je srovnatelná s výší úroků, které získá banka. Proto přesnější doba návratnosti se pohybuje od 6 let a výše.

Při zhodnocení 2. varianty, kdy nelze počítat s dotací vyšla prostá doba návratnosti téměř 10 let. Pokud by byly započteny úroky z půjčky, protáhla by se návratnosti na více jak 12 let. Druhá výpočet je velmi orientační, jelikož náklady na pořízení bioplynové stanice s čistící jednotkou, provozní náklady a výnosy z prodeje ZP, byly odhadnuty pomocí dostupných zdrojů.

Pro vlastní konstrukci výpočtu bylo nutné ohodnotit alespoň část vstupních surovin. Proto byla zvolena cena vstupů následující. Jedna tuna kukuřičné siláže byla odhadnuta na 600 Kč a cena travní siláže na 500 Kč za tunu. Ve výpočtu byla zanedbána cena ostatních materiálů, jelikož v případě kejdy se jedná o odpadní produkt.

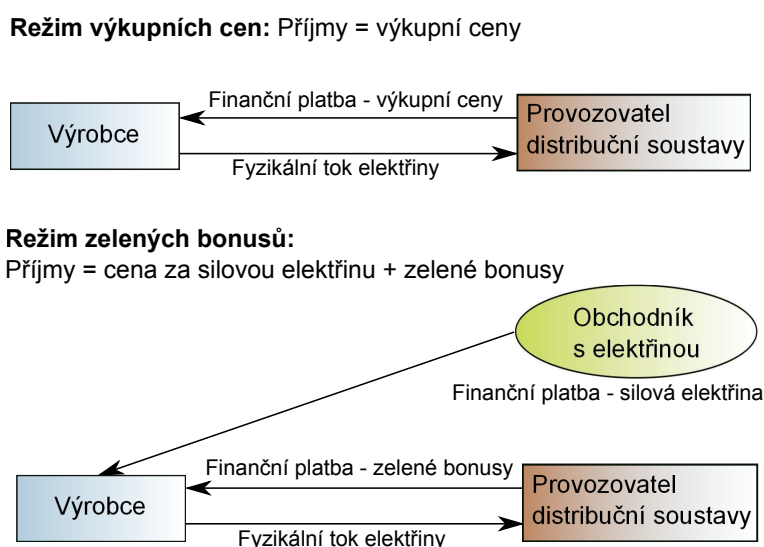
5.2.2 Výkupní cena energie

Elektrická energie je prodávána za státem garantovanou výkupní cenu ze zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie. Výkupní ceny elektřiny jsou stanoveny Energetickým regulačním úřadem (ERÚ). Pro rok 2011 jsou ceny uvedené v Tabulce 5.2.

Tabulka 5.2: Výkupní ceny a zelené bonusy pro elektřinu vyrobenou z bioplynu.

Druh obnovitelného zdroje	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Spalování bioplynu v BPS kategorie AF1	4 120	3 150
Spalování bioplynu v BPS kategorie AF2	3 350	2 580

Ve schématu na Obrázku 5.1 je znázorněn fyzikální tok elektrické energie a následné finanční platby. Provozovatel bioplynové stanice má možnost si vybrat v jakém režimu bude prodávat vyrobenou elektrickou energii, tak aby byly jeho výnosy z prodej co největší.



Obrázek 5.1: Schéma režimu výkupních cena zelených bonusů, [39].

Režim výkupních cen

V případě, že si provozovatel vybere režim výkupních cen, pak to znamená, že bude vyrobenou elektrickou energii prodávat distributorovi, který je povinen tuto energii odebírat. V okamžiku, kdy provozovatel BPS obdrží licenci jako výrobce zelené elektřiny, jsou aktuální výkupní ceny elektrické energie zafixovány na dvacet let (15 let zákonem, 5 let vyhláškou).

Režim zelených bonusů

Další možností je využití režimu zelených bonusů. Jedná se o dotační program, kdy vyprodukovanou energii spotřebovává sám výrobce nebo ji poskytuje dál, ale již ne přes distributory. Od distributorů energie získává provozovatel tzv. Zelený bonus, což je příplatek k tržní ceně elektrické energie. Výši zelených bonusů stanovuje každoročně Energetický regulační úřad. Výhodou zeleného bonusu je možnost vyššího výtěžku v případě, že výrobce energie dokáže spotřebovat větší část vyrobené energie. Nevýhodou je, že podmínky zeleného bonusu nejsou fixovány na dlouhou dobu.

Jednou v roce je možné přejít z výkupu energie na zelený bonus a naopak.

5.2.3 Diverzifikace příjmů

Výstavbou a provozem bioplynové stanice v rámci zemědělského podniku dojde k diverzifikaci příjmů investora. Státem garantované výkupní ceny elektrické energie zajišťují rovnoměrné příjmy pro investora a zároveň dlouholetou jistotu odbytu vyrobené energie. Provoz bioplynové stanice dále napomáhá eliminovat výkyvy v odbytu zemědělských produktů.

5.3 Environmentální aspekty

Bioplynové stanice jsou obecně považovány za moderní technologii, která svým provozem přispívá k ochraně životního prostředí v daném regionu. Mezi environmentální aspekty lze řadit problematiku zápachu v okolí zemědělského podniku potažmo bioplynové stanice a vzniklé emise ze spalování bioplynu. Bioplynová stanice je považovaná za obnovitelný zdroj energie ačkoli je kategorizovaná jako zdroj znečišťování ovzduší dle (REZZO). Z tohoto důvodu je zapotřebí vypracování posouzení vlivů na životní prostředí (EIA).

5.3.1 Problematika zápachu

Správně navržená a provozovaná bioplynová stanice není a nesmí být zdrojem zápachu pro své okolí. Bohužel se v ČR objevila řada špatně navržených BPS, které se staly zdrojem zápachu. V současné době se řada lidí staví k výstavbě BPS ve svém okolí negativně. Ale v mnoha případech je právě BPS jedním ze způsobů, jak snížit zápach ze zemědělského provozu. Dochází ke snížení pachových látek z chovu zvířat, přesněji ze skladování kejdy a z hnojení zemědělských pozemků v blízkosti obytných území. Vzniklý digestát je již bez zápachu a je dále využit jako kvalitní hnojivo.

V zásadě lze zdroje zápachu na bioplynové stanici rozdělit na dvě skupiny:

- Zápach vstupních surovin
- Zápach ze zpracovaných substrátů

Zápach vstupních surovin

Není-li zdroj zápachu vstupních surovin způsoben technologickou nekázní v provozu jako např. rozlité substráty a jejich neuklizené zbytky, pak je třeba vinu hledat ve špatném projektovém zpracování. V případě, že vstupní substráty páchnou, musí být ukládány v uzavřených jímkách, z nichž je vzdušina odsávána ke zneškodňování.

Zápach ze zpracovaných substrátů

V případě dostatečného biologického rozkladu jsou zbytkové substráty již zcela bez zápachu. Není-li rozklad dostatečně hluboký, pak v nádržích na zbytkový substrát mohou dobíhat jak anaerobní, tak i aerobní rozkladné procesy a koncové produkty (fugát, digestát) stále ještě páchnou. Příčiny neúplného rozkladu jsou vždy stejné - nedokončený rozklad. Tyto příčiny se dají přikládat k:

- příliš krátké době zdržení v reaktoru - doba je nedostatečná k úplnému odbourání nositelů pachu

- přetížení reaktoru, což může být zcela identické s předchozím bodem, ale taktéž může být kultura metanogenů negativně ovlivněna
 - stresem z vysokého zatížení
 - přítomností jiných inhibitorů (antibiotika, desinfekční prostředky, apod.)
 - nevhodným teplotním režimem reaktoru

Pro odstranění zápachu z BPS lze provést řadu opatření jako je např. zakrytí a odsávání zásobníků surovin, zlepšení podmínek skladování zbytků před jejich využitím jako hnojiva. V případě zápachu ze zpracování substrátů je zapotřebí upravit anaerobní proces, [3].

5.3.2 Zdroj emisí

Bioplynová stanice o výkonu 1 MW je považována za střední bodový zdroj znečišťování ovzduší, a proto musí splňovat požadavky platné legislativy. Vyráběný bioplyn je zcela nebo částečně využíván ve spalovacích motorech při kogenerační výrobě elektriny a tepla. Vzniklé emise jsou několikrát nižší než vznik metanu a oxidu uhličitého při přirozeném rozkladu tohoto množství surovin. Při kogenerační výrobě je spotřebováno na vstupu o 35 - 40% méně primární energie, než při teplárenském provozu. Což znamená snížení emisí o 30 - 40%.

Na bioplynové stanici je prováděno jednorázové měření emisí autorizovanou osobou dle vyhlášky č. 205/2009. Toto autorizované měření emisí zdroje se provádí jedenkrát za pět let. Mezi sledované znečišťující látky patří:

- Oxid uhelnatý (CO)
- Oxidy dusíku (NO_x)
- Tuhé znečišťující látky (TZL)
- Uhlovodíky (TOC)

Pro tyto látky jsou stanoveny limitní hodnoty, které jsou uvedeny v Tabulce 5.3.

Tabulka 5.3: Limitní hodnoty znečišťujících látek, [40].

Znečišťující látka	Limitní hodnoty [mg.m ⁻³]
Oxid uhelnatý (CO)	1300
Oxidy dusíku (NO _x)	500
Tuhé znečišťující látky (TZL)	130
Organické látky (suma bez CH ₄)	150

Provozovatel BPS je povinen každoročně platit poplatek za znečišťování ovzduší, který vypočítá vždy autorizovaná osoba.

5.3.3 Nezávislý obnovitelný zdroj energie

Bioplynové stanice je nezávislým zdrojem elektrické energie, který je možné využívat taktéž jako špičkový zdroj v době nejvyšší spotřeby. V případě krizové události a velkého výpadku elektrické energie může bioplynová stanice zapojená v ostrovním systému zásobovat energií zařízení nutná pro fungování obce. Sice pravděpodobnost, že se tato výhoda za dobu životnosti bioplynové stanice projeví není velká, ale o to je v takovém případě závažnější, [41].

6

Závěr

Výroba bioplynu je dnes prověřenou technologií, která je poměrně široce rozšířena především v Evropě, ale i v České republice si našla své místo. V současné době se téměř výlučně využívá vzniklý bioplyn ke spalování v kogeneračních jednotkách za účelem kombinované výroby elektrické energie a tepla. Jednou z motivací výroby elektrické energie v kogeneračních jednotkách, jsou právě státem garantované výkupní ceny elektřiny. Určitým problémem neustále zůstává vzniklé teplo, pro které není především v letních měsících dostatečné využití.

Proto se v poslední letech začíná stále častěji hovořit o technologiích, které dokáží vyčistit vzniklý bioplyn na kvalitu zemního plynu (biometan). Tyto technologie jsou založeny na fyzikálních a chemických principech. Mezi dosud nejrozšířenější metodu patří tlaková adsorpce a absorpce vodní vypírkou. Vzniklý biometan lze dále vtlačovat do sítí zemního plynu nebo ho lze využívat jako palivo pro pohon motorových vozidel (CNG, LNG). Výsledkem je spalování BM v zařízeních s vyšší účinností, vyšším podílem využití tepla a snížení energetické závislosti na dovozu zemního plynu z cizích zemí a také odstranění komplikovaného připojování do sítě elektrické energie při výrobě elektřiny v kogeneračních jednotkách.

S technologií na čištění bioplynu je spojeno i navýšení investičních a provozních nákladů. V případě porovnání nákladů na výstavbu bioplynové stanice s běžnou kogenerační jednotkou a bioplynové stanice s čistícím zařízením, vycházejí náklady pro druhou variantu přibližně o 10% vyšší, což má negativní vliv na dobu návratnosti investice. V současné době je jednou z dalších bariér nepřipravenost legislativního prostředí a neexistence státní podpory pro tuto technologii. Pro tato zařízení dosahuje doba návratnosti přes 10 let.

Na základě ekonomického porovnání se zatím nevyplatí investovat do čistící technologie, jelikož výnosy z prodeje zemního plynu (biometanu) jsou nižší než výnosy z prodeje elektrické energie. Jednou z dalších možností, jak využít biometan je doprava. Zde by byl určitý potenciál, což ukazuje řada zahraničních studií. Biometan je v zahraničí využíván pro pohon především vozidel městské hromadné dopravy. V České republice se s tímto využitím objevuje řada nových překážek bránících vstupu biometanu na trh s pohonnými hmotami. Mezi ně patří nedostatečná síť čerpacích stanic na zemní plyn a vyšší náklady na pořízení vozidel s pohonem na CNG.

Dále se lze podívat na výstavbu a provoz bioplynových stanic z pohledu environmentální přijatelnosti. Bioplynové stanice jsou obecně považovány za moderní technologie, která mají řadu pozitivních vlastností. Do výčtu kladů patří:

- Energetická soběstačnost zemědělského podniku
- Tržby z prodeje elektrické energie
- Získání kvalitního organického hnojiva
- Snížení zápachu z velkochovů zvířete
- Stabilizace zemědělského podniku
- Diverzifikace činností v zemědělském podnikání

V případě, že se vyjasní legislativní prostředí, majetkové poměry a bude zde vůle ze strany státu a distribučních společností se zemním plynem, mohly se v budoucnu začít stavět bioplynové stanice za účelem produkce biometanu (zemního plynu). Mezi společenské přínosy takto vyčištěného plynu patří například:

- Možnost distribuce biometanu na větší vzdálenosti
- Plyn k pohonu motorových vozidel
- Snížení energetické závislosti na dodávkách z ciziny
- Regulovatelný zdroj energie, lze ho využít jako špičkový zdroj
- Stabilizace zemědělského podniku
- Posílení regionálního zemědělství otevřením nových zdrojů příjmů jako dodavatele energie.

Výhodou České republiky je fakt, že řada firem zabývajících se realizací bioplynových stanic pracuje s léty prověřenými zahraničními technologiemi. Tomu by mohlo být i v případě čištění bioplynu, kdy by byla možnost převzít zkušenosti ze zahraničí. Mezi nejpokročilejší státy v oblasti bioplynových technologií patří právě Německo, které s technologií na čištění bioplynu má již několik let dobré zkušenosti.

Literatura

- [1] SEVEN, o.p.s., *Projekt MADAGASCAR – Využití bioplynu v dopravě*, www.svn.cz.
- [2] E. Brandejsová, Z. Příbyla, *Bioplynové stanice (Zásady zřizování a provozu plynového hospodářství)*, GAS s.r.o., Praha 2010.
- [3] Kolektiv autorů, *Bioplyn – Informační servis GAS s.r.o.*, Gasinfo Praha 2008, ISBN 978-80-86832-49-4.
- [4] M. Žídek, *Energie z biomasy III*, VŠB – Výzkumné energetické centrum Brno 2004.
- [5] Kolektiv autorů, *Výstavba a provoz bioplynových stanic*, Sborník referátů z konference v Třeboni 2008, ISBN 978-80-254-2827-6.
- [6] J. Kára, Z. Pastorek, E. Příbyl a kol. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*, VÚZT, v.v.i. Praha 2007, ISBN 978-80-86884-28-8
- [7] TIRSO a.s., *Bioplynové stanice*, http://www.tirso.cz/02_bioplynovestanice.htm
- [8] M. Žídek, *Alternativní využití bioplynu*, Energie z biomasy – seminář 2003, VŠB – Výzkumné energetické centrum Brno, 2003.
- [9] J. Švec, J. Kára, J. Váňa, J. Pastorek, E. Machálek, *Využití obnovitelných zdrojů energie v zemědělství – zemědělské bioplynové stanice*, Vodní zdroje Ekomonitor spol.s.r.o., Chrudim 2010, ISBN 978-80-86832-49-4.
- [10] J. Váňa, *Bioplynové stanice na využití bioodpadů*, Biom.cz, 2010, <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-na-vyuziti-bioodpadu>, ISSN: 1801-2655.
- [11] P. Novotný, *Ekonomická analýza alternativních využití bioplynu v České republice a ve Finsku*, diplomová práce, Masarykova univerzita, Brno 2009.
- [12] *TDG 983 01 Vtláčení bioplynu do plynárenských sítí*, Technická doporučení, Praha 2010.
- [13] LNG, LPG, CNG, www.wikipedia.org.
- [14] Z. Kratochvílová, J. Habart, a kol., *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*, CZ Biom, 2009, ISBN 978-80-903777-5-2.
- [15] Kolektiv autorů, *Trvale udržitelná lokální energetická soběstačnost (TULES)*, MŽP 2008, <http://www.britishcouncil.org/czechrepublic-projects-challenge-europe-tules.pdf>.
- [16] O. Mužík, A. Slejška, *Možnosti využití anaerobní fermentace pro zpracování zbytkové biomasy*, Biom.cz, ISSN: 1801-2655, <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy>.
- [17] *Obnovitelné zdroje energie v roce 2009 – Výsledky statistického zjišťování*, Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2010.

- [18] P. Michal, *Bioplyn – Energie ze zemědělství*, Informační přehledy ÚZPI, Praha 2005, <http://www.agronavigator.cz/attachments/Studie.bioplyn.pdf>.
- [19] Bioplyn CS, *Popis anaerobní technologie*, http://bioplyn.cs.cz/popis_anaerobni_technologie.
- [20] Agrifair, *Technologie Hochreiter – fermentory*, <http://www.agrifair.cz/component.php?cocode=section&seid=407>.
- [21] Johann Hochreiter s.r.o., *Koncepce bioplynové stanice „kruh v kruhu“*.
- [22] JmA Bioplynové stanice, *Schéma mokré a suché fermentace*, http://www.bioplynove-stanice.com/cze/index.php?action=page_detail&id=2.
- [23] Agrifair.cz, *Bioplynové stanice*, <http://www.agrifair.cz/component.php?cocode=section&seid=406>.
- [24] ATELIER 111 architekti s.r.o., *Úprava bioplynu na kvalitu splňující požadavky na vtláčení do rozvodné sítě zemního plynu*, Praha 2009.
- [25] J. Čermáková, *Nové trendy ve využití bioplynu*, Sborník příspěvků ze semináře „Energie z biomasy X“, VUT v Brně, 2009, ISBN 978-80-214-4027-2.
- [26] ENSERV Energieservice, Gas-Wärme GmbH, *Využití bioplynu*, <http://www.vamed.eu/index.php?id=86&L=4>.
- [27] D. Domanský, *Bioplyn jako palivo pro kogenerační jednotky*, bakalářská práce, VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního a ekologického inženýrství, 2009.
- [28] Tedom a.s., <http://kogenerace.tedom.cz/trigenerace-dalsi-informace.html>.
- [29] M. Schauhübergerová, *Česká plynárenská unie*, časopis Energetik (plyn 11/2006), http://www.energetik.cz/hlavni3.html?m1=/clanky/pl_2006_11.html.
- [30] T. Voříšek, *Resuscitace biopaliv – biometanem*, Biom.cz, <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/resuscitace-biopaliv-biometanem>, ISSN 1801-2655.
- [31] RWE Plynoprojekt, s.r.o., CNG, LNG, http://www.cng.cz/cs/zemni_plyn/plnicistanice/.
- [32] *Technická doporučení TDG 983 01*, Vtláčení bioplynu do plynárenských sítí, Požadavky na kvalitu a měření, Český plynárenský svaz, 2010.
- [33] Biogaspartner, Pliening, <http://www.biogaspartner.de/index.php?id=11072>.
- [34] Aufwind Schmack GmbH, *Bioplynová stanice v obci Pliening*, Sborník konference Výstavba a provoz bioplynových stanic, Třeboň 2008.
- [35] Česká bioplynová asociace (CzBA), *Aktuální informace o BPS*, <http://www.czba.cz/>.
- [36] Kolektiv autorů, *Praktické zkušenosti z přípravy projektů bioplynových stanic v ČR*, podpora energetických projektů ze strukturálních fondů EU, Informační servis GAS – Bioplyn, GAS s.r.o. 2008.
- [37] J. Kára, *Úvod do problematiky obnovitelných zdrojů - „Bioplynové stanice“*, Sborník Seminář – Obnovitelné zdroje energie, Reg.č. 09/008/3310a/164/002169, Horšovský Týn, 2010.

-
- [38] J. Vašíček, *Zásady ekonomického hodnocení energetických projektů*, <http://www.tzb-info.cz/2565-zasady-ekonomickeho-hodnoceni-energetickyh-projektu>.
- [39] J. Kára, *Bioplynové stanice*, prezentace ze Semináře – Obnovitelné zdroje energie, Reg.č. 09/008/3310a/164/002169, Horšovský Týn, 2010.
- [40] Johann Hochreiter s.r.o., *Provozní řád zemědělské bioplynové stanice*, Horšovský Týn, 2010.
- [41] Enviton s.r.o., *Přínosy bioplynových stanic*, <http://www.bioplynovestanice.cz/prinosy/>.

7

Přílohy

V této přílohové části jsou jako první uvedeny požárně technické charakteristiky metanu dle vyhlášky Ministerstva vnitra č. 21/1996 a další technické údaje a vlastnosti metanu.

Další přílohu tvoří schéma stavební a technické části bioplynové stanice uspořádání „kruh v kruhu“ firmy Johann Hochreiter s.r.o. Znáznorňuje přesné uspořádání BPS a detailní vykreslení jednotlivých částí.

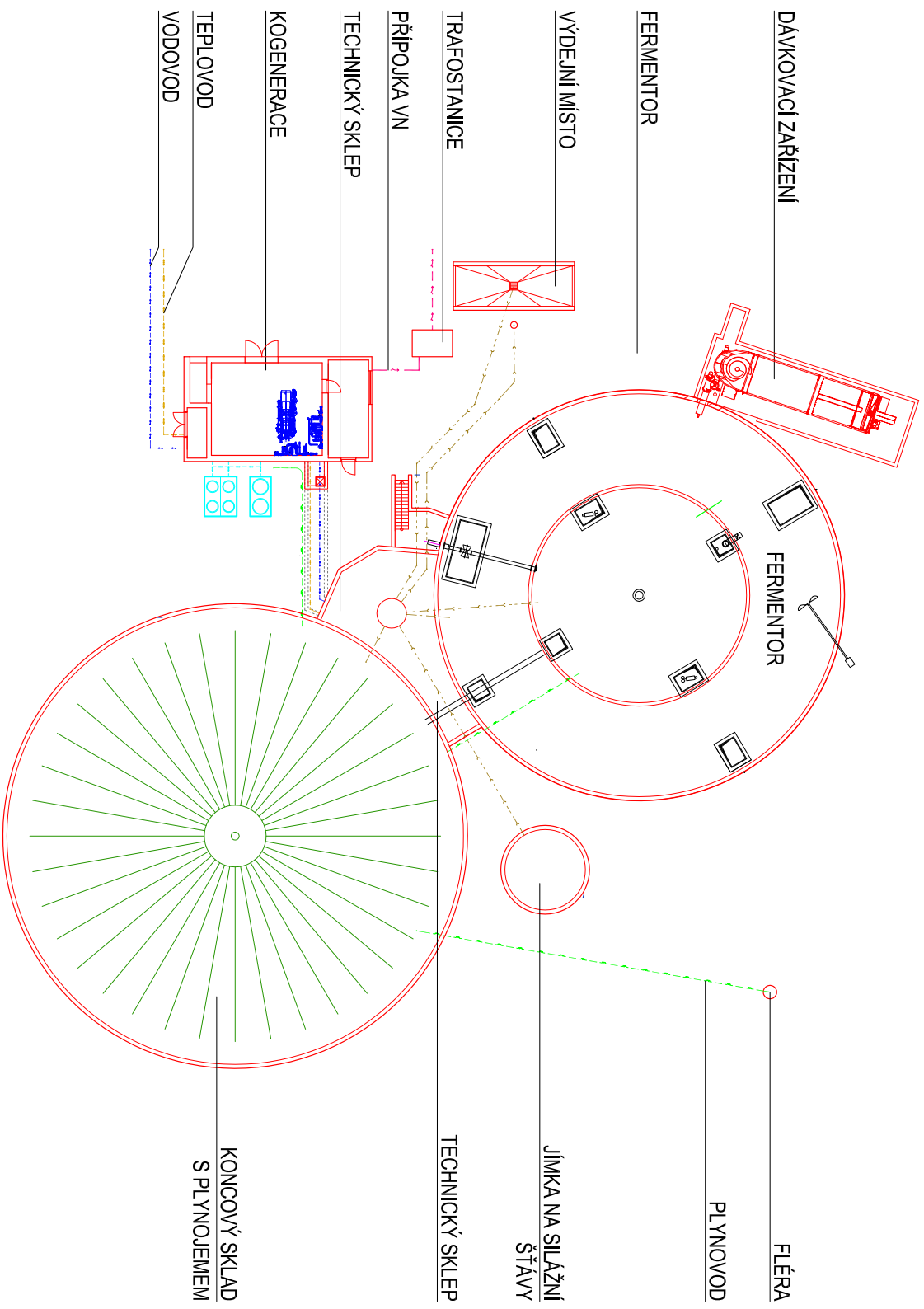
V tabulce přílohy 3 je výčet využitelných druhů biomasy pro bioplynové stanice kategorie AF1 a AF2. Rozdělení biomasy do těchto kategorií jsou stanoveny vyhláškou č. 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy, ve znění vyhlášky č. 5/2007 Sb., jejíž úprava vstoupila v platnost v září 2008.

1. Vybrané fyzikální a chemické vlastnosti metanu
2. Schéma části bioplynové stanice
3. Vyhláška č. 5/2007 Sb., Proces anaerobní fermentace

Vlastnosti metanu

1. Teplota vznícení	537°C
2. Teplotní třída	T 1
3. Mez výbušnosti	4,4 – 17 % objm. 29 – 113 mg.l ⁻¹
4. Skupina výbušnosti	II A
5. Mezní experim. bezpečná spára	1,14 mm
6. Relativní hustota (ve vztahu ke vzduchu) Výhřevnost objemová (ref. teplota spal. 15°C ref. podm. měření objemu 15°C, 101, 325 kPa)	0,55 34,016 MJ.m ⁻³
Vybrané fyzikální vlastnosti metanu:	
1. průměr molekuly	4.10 ⁻¹⁰ m
2. Molární hmotnost	16,043 g.mol ⁻¹
3. Relativní molekulová hmotnost	16.04
4. Reálný molární objem	22,3518 m ³ .kmol ⁻¹
5. Hustota plynu (-161,52°C; 101,325 kPa)	1,819 kg.m ⁻³
6. Hustota plynu (15°C; 101,325 kPa)	0,7049 kg.m ⁻³
7. Kritický tlak	45,96 bar
8. Kritický teplota	190,53 K
9. Kritický měrný objem	0,0061 m ³ .kg ⁻¹
10. Trojný bod – teplota - tlak - skupenské teplo tání	90,68 K 0,117 bar 58,720 kJ.kg ⁻¹
11. Bod varu	- 161,52 °C
12. Skupenské teplo varu (-161,52°C; 101,325 kPa)	510,20 kJ.kg ⁻¹
13. Množství plynu z 1 m ³ kapaliny (15°C, 1bar)	630 m ³
14. Výhřevnost (ref. teplota spal. 15°C; 101,325 kPa) - objemová - molární	34,016 MJ.m ⁻³ 802,69 kJ.mol ⁻¹
15. Spalné teplo (ref. teplota spal. 15°C; 101,325kPa) - objemové - molární	37,782 MJ.m ⁻³ 891,56 kJ.mol ⁻¹
16. Měrná tepelná kapacita c _p ideálního plynu	2,195 kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹
17. Měrná tepelná kapacita c _v ideálního plynu	1,686 kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹
18. Poměr c _p : c _v ideálního plynu (15°C, 101,325 kPa)	1.301
19. Mez výbušnosti s kyslíkem	555 °C
20. Minimální zápalná energie (vzduch +8,5% CH ₄)	0,28 mJ

21. Koncentrace s nejvyšším nebezpečím vznícení	8,2% objem.
22. Teor. množství spal. vzduchu (vzd.: real. plyn)	9,563 m ³ .m ⁻³ 17,233 kg.kg ⁻¹
23. Stechiometrické spalování směsi se vzduchem (20°C, 101,325 kPa) - teplota plamene - max. spal. rychlost	1957 °C 0,4 m.s ⁻¹
24. Wobbeho číslo ideálního plynu (0°C, 101,325 kPa)	53,3781 MJ. m ⁻³
25. Wobbeho číslo reálného plynu (0°C, 101,325 kPa)	53,4568 MJ. m ⁻³



Příloha č.1 Vyhlášky č. 5/2007 Sb, Proces anaerobní fermentace

Skupina	Popis druhu biomasy	Kategorie anaerobní fermentace
1	cíleně pěstované energetické plodiny (jednoleté, dvouleté a víceleté byliny a zemědělské plodiny), tj. plodiny, jejichž hlavní produkt (z nich vyrobený) je primárně určen k energetickým účelům a jejich části	AF 1
2	<ul style="list-style-type: none"> a) znehodnocené zrno potravinářských obilovin a semeno olejnin, včetně vedlejších a zbytkových produktů z jejich zpracování, b) ostatní rostlinná pleťva, rostliny a části rostlin, jejich vedlejší a zbytkové produkty ze zemědělských a potravinářských výrob, c) rostliny uvedené v příloze č. 2 této vyhlášky, avšak pouze v případě, pokud se jedná výlučně o využití biomasy vzniklé odstraněním těchto rostlin na jejich stávajících stanovištích, d) travní hmota z údržby trvalých travních porostů a z biomasy z údržby veřejné i soukromé zeleně, včetně údržby tratí, vodotečí, ochranných pásem, apod., e) výpalky z lihovarů vyrábějících kvasný líh pro potravinářské účely a z pěstitelských pálenic, f) zemědělské meziprodukty z živočišné výroby vznikající při chovu hospodářských zvířat, včetně tuhých a kapalných exkrementů s původem z živočišné výroby – kejda a hnůj, g) nepoužité oleje z olejnatých rostlin a pokrutiny vzniklé při lisování rostlinného oleje, h) ostatní zbytková biomasa v podobě kalů z praní, čištění, extrakce, loupání, odstředování a separace, včetně zbytkové biomasy ze zpracování ovoce, zeleniny, obilovin, jedlých olejů, kaka, kávy a tabáku, z mlékárenského, konzervářského, cukrovarnického, pivovarského a tabákového průmyslu, z výroby droždí a kvasničného extraktu, z přípravy a kvašení melasy, z pekáren a výroby cukrovinek, výroby alkoholických a nealkoholických nápojů a další obdobná biomasa, i) nestabilizované kaly z čistíren odpadních vod nebo při biologickém procesu čištění výlučně z čistíren vybavených pouze aerobním stupněm čištění, s vyloučením ostatních kalů a usazenin z vodních těles, j) rostlinné oleje a živočišné tuky s výjimkou živočišných tuků podle přímo použitelného předpisu Evropských společenství¹⁾ k) zbytkový jedlý olej a tuk, směs tuků a olejů z odlučovače tuků obsahující pouze jedlé oleje a jedlé tuky, l) alkoholy vyráběné z biomasy, m) zbytkové produkty z destilace lihu (bioethanolu pro účely přimíchávání do PHM), n) v případě těchto materiálů kategorie 2 podle přímo použitelného předpisu Evropských společenství¹⁾, tj. pouze předem tepelně zpracovány (hygienizovány), o) masokostní moučkapouze kategorie 2 a 3 podle přímo použitelného předpisu Evropských společenství¹⁾, p) kafilerní tuk pouze kategorie 2 a 3 podle přímo použitelného předpisu Evropských společenství¹⁾, q) biologicky rozložitelné zbytky z kuchyní a stravoven, r) biologicky rozložitelná část vytríděného průmyslového a komunálního odpadu pocházející z odděleného sběru nebo z procesu mechanicko-biologické úpravy, s vyloučením biomasy zpracované v procesu čištění odpadních vod 	AF2

¹⁾ Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1774/2002, o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu, které nejsou určeny pro lidskou spotřebu, ve znění pozdějších předpisů.

Poznámky k tabulce č.1 Vyhlášky č. 5/2007 Sb, Proces anaerobní fermentace

- Sloupce pro proces anaerobní fermentace obsahuje kategorie biomasy pro využití prostřednictvím vývinu bioplynu pro následné energetické využití .
- Jednotlivé druhy biomasy jsou systematicky zařazeny do skupiny 2 následujícím způsobem:
 - skupina 1 zahrnuje energetické plodiny
 - skupina 2
 - písmena a) až g) zahrnuje biomasu s původem v zemědělství nebo v bezprostředně navazujícím zpracovatelském průmyslu
 - písmena h) až r) zahrnuje veškerou ostatní biomasu vhodnou pro zpracování pomocí anaerobní fermentace s tvorbou bioplynu, [37].