

UNIVERZITA PARDUBICE

Dopravní fakulta Jana Pernera

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2010

Jiří Staněk

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Katedra dopravních prostředků

Bioplyn – alternativní plynné palivo pro zážehové motory

Bakalářská práce

AUTOR PRÁCE: Jiří Staněk

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Jaromír Folvarčný

2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří STANĚK**

Studijní program: **B3709 Dopravní technologie a spoje**

Studijní obor: **Dopravní prostředky-Silniční vozidla**

Název tématu: **Bioplyn - alternativní plynné palivo pro zážehové motory.**

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

1. Přehled alternativních plynných motorových paliv a jejich prognóza uplatnění na trhu EU.
2. Principy tvorby bioplynu, chemické složení bioplynu, fyzikální a chemické vlastnosti bioplynů.
3. Technologie výroby bioplynu.
4. Bioplyn - alternativní plynné palivo pro pístové spalovací motory.
5. Konverze vznětového motoru MAN na zážehový pro spalování bioplynu.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

- [1] MATĚJOVSKÝ, V. Automobilová paliva. Nakladatelství Grada Publishing a.s., Praha 2005, ISBN 80-247-0350-5. [2] VLK, F. : Alternativní pohony motorových vozidel. Brno : Nakladatelství VLK, 2004, ISBN 80-239-1602-5. [3] STRAKA, F. : Bioplyn. Vydal : GAS s.r.o, Říčany 2003, ISBN 80-7328-029-9.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jaromír Folvarčný

Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: **20. února 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce: **1. června 2009**



prof. Ing. Bohumil Culek, CSc.

děkan

L.S.



doc. Ing. Miroslav Tesař, CSc.

vedoucí katedry

dne

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Jaromíru Folvarčnému za odborné vedení bakalářské práce a věcné připomínky. Dále bych chtěl poděkovat řediteli Obchodního družstva Soběšice panu Ing. Františku Trnkovi za jeho cenné informace a umožnění přístupu k technologii bioplynové stanice v Soběšicích.

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 20. 5. 2010

Jiří Staněk

SOUHRN

Bakalářská práce se věnuje aplikacím ve využívání alternativních plynných paliv ve spalovacích motorech, přičemž hlavní pozornost je soustředěna na bioplyn, a to z hlediska jeho výroby, fyzikálních a chemických vlastností a jeho použitím v pístových spalovacích motorech kogeneračních jednotek a dopravních prostředků. V bakalářské práci jsou popsány úpravy zážehových a vznětových pístových spalovacích motorů pro spalování bioplynu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Alternativní paliva, biopaliva, bioplyn, fermentor, kogenerační jednotka, anaerobní fermentace, plynojem.

TITLE

Biogas – an alternative gaseous fuel for spark ignition engines.

ABSTRACT

Bachelor thesis deals with applications in the use of alternative gaseous fuels in internal combustion engines, the main attention is focused on biogas and in terms of production, physical and chemical properties and its use in reciprocating internal combustion engine cogeneration units and vehicles. The work describes modifications of gasoline and diesel reciprocating internal combustion engines burning biogas.

KEYWORDS

Alternative fuels, biofuels, biogas, fermentor, cogeneration unit, anaerobic fermentation, gasholder.

OBSAH

ÚVOD	7
1 Přehled alternativních motorových paliv a jejich prognóza uplatnění na trhu Evropské unie.....	8
1.1 Zkapalněný ropný plyn LPG (Liquified Petroleum Gas)	12
1.2 Pohon zemním plynem CNG a LNG.....	12
1.2.1 Stlačený zemní plyn CNG (Compressed Natural Gas)	12
1.2.2 Zkapalněný zemní plyn LNG (Liquified Natural Gas)	12
1.3 Vodík	13
1.4 Peroxid vodíku.....	13
1.5 Dřevoplyn	13
1.6 Bioplyn	13
2 Principy tvorby bioplynu, chemické složení bioplynu, fyzikální a chemické vlastnosti bioplynu	14
2.1 Principy tvorby bioplynu	14
2.2 Chemické složení bioplynu.....	17
2.3 Fyzikální a chemické vlastnosti bioplynu.....	19
3 Technologie výroby bioplynu.....	20
3.1 Historické kořeny.....	20
3.2 Technologické systémy a jejich součásti.....	21
3.3 Konstrukční typy fermentorů.....	22
3.4 Plynojem.....	23
3.5 Přípravné a skladovací nádrže, přímé plnění fermentoru	23
3.6 Potrubí, čerpadla, armatury.....	24
3.7 Míchadla	25
3.8 Topná zařízení fermentorů.....	25
3.9 Kontrolní, ovládací a měřicí zařízení.....	26
3.10 Čištění bioplynu.....	26
3.11 Skladování bioplynu	27
3.12 Kogenerační jednotky.....	28
3.12.1 Parní turbíny	28
3.12.2 Parní motor	29
3.12.3 Spalovací turbína	30

3.12.4	Mikroturbíny.....	30
3.12.5	Spalovací motory.....	30
3.12.6	Kogenerační zařízení využívající palivové články.....	31
3.12.7	Stirlingův motor.....	32
3.12.8	Generátory elektrické energie.....	33
4	Bioplyn – alternativní plynné palivo pro pístové spalovací motory dopravních prostředků	33
4.1	Využití bioplynu v pístových spalovacích motorech v ČR a v zahraničí.....	37
4.1.1	Švýcarsko	39
4.1.2	Německo.....	39
4.1.3	Švédsko.....	40
5	Konverze vznětových motorů na bioplyn	40
5.1	Konverze vznětového motoru MAN na zážehový pro spalování bioplynu.....	40
5.2	Konverze vznětového motoru na traktoru Steyr 6195 CVT	51
	Závěr	56
	Seznam použité literatury	59
	Seznam obrázků.....	60
	Seznam tabulek.....	61

ÚVOD

Výroba bioplynu je jednou z forem získávání energií z obnovitelných zdrojů energie, biomasy. Z důvodu nedostatku primárních zdrojů energie v EU nabývá výroba bioplynu v současnosti stále většího významu. Bioplyn byl již znám ve středověku, kde byl rozváděn bambusovým potrubím a využíval se na svícení a otop. Velký experimentátor a vědec Alexandro Volta již v roce 1776 provozoval laboratorní anaerobní fermentor a konal pokusy se spalováním bioplynu. Rovněž anglický fyzik Faraday experimentoval s bioplynem. První velké využití bioplynu se datuje rokem 1897, kdy se bioplyn z čističky odpadních vod využil k vytápění nemocnice v Bombaji. Další vývoj byl přibrzděn v důsledku „ropné vlny“. Ropa byla levná a vývoj směřoval k jejímu celosvětovému průmyslovému využití. Až následky první ropné krize v roce 1973 zvedly druhou vlnu zájmu o bioplyn.

Základ bioplynových technologií vznikl z procesů čištění odpadních vod. Zde dosažené výsledky motivovaly rozšířit technologie na nejrůznější potravinářské a zemědělské odpady. Také je snaha využít jak nové tak stávající skládky komunálního odpadu, kde vzniká samovolná tvorba bioplynu. Dnešní výroba bioplynu se nezaměřuje jen na zpracování odpadů, ale jsou zde cíleně pěstované plodiny (tzv. energetické biomasy), ať se jedná o zelenou biomasu (krmná kapusta, kukuřice, obilí), a nebo také o rychle rostoucí dřeviny – dřevní biomasa.

O bioplyn a jeho získávání a využití je v současnosti velký zájem, zejména proto, že většina odpadu končí na skládkách, přestože by se dal energeticky zpracovat. Největší zájem o využití bioplynu se projevuje v zemědělství. Zde má technologie výroby bioplynu velký význam z mnoha důvodů. Například využitím bioplynu lze snížit vlastní náklady při provozu zemědělských podniků a družstev (za elektřinu a za motorové palivo pro pohon traktorů a zemědělské techniky), ale také výroba bioplynu se stává důležitým zdrojem příjmů prodejem elektrické energie vyrobené v kogeneračních jednotkách a využitím odpadního tepla z kogeneračních jednotek pro vytápění rozsáhlých zemědělských objektů v zimním období.

Slovo bioplyn přinesla až praxe anaerobních postupů pro čištění odpadních vod, i když se takto získaný plyn označoval jako „kalový plyn“. Za bioplyn se považuje také tzv. „bahenní plyn“, který se tvoří v močálech, rašeliništích, atd. „Současná technická praxe shrnula pod pojmem bioplyn výlučně plynný produkt anaerobní methanové fermentace organických látek uváděné též pod pojmy anaerobní digesce, biomethanizace, biogasifikace

a nebo vyhnívání (u čistírenských kalů). Název bioplyn je míněna plynná směs methanu a oxidu uhličitého.“ [3]

Bioplyn jako alternativní palivo se pro automobily v České republice v současnosti nepoužívá. Využívá se ve větší míře k vytápění (přímé spalování bioplynu) nebo jako plynné palivo pro kogenerační jednotky. Lze očekávat, že upravený bioplyn – biometan, bude mít v nedaleké budoucnosti větší uplatnění. Může být rovnocennou náhradou za zemní plyn. Motory na zemní plyn jsou tišší, jejich provoz je bezpečnější. Při havárii nedochází ke kontaminaci půdy palivem. Může se déle skladovat než ropa, aniž by se změnilo jeho složení. Mezi nevýhody patří určitá omezení (zákaz parkování v podzemních garážích, častější revize plynového zařízení, nedostatečná síť čerpacích stanic). Tyto nevýhody byly v zahraničí již překonány.

1 Přehled alternativních motorových paliv a jejich prognóza uplatnění na trhu Evropské unie

Dokument Komise evropských společenství KOM (2006) 105 z 8. 3. 2006, tzv. „Zelená kniha“, je výstižně charakterizován svým podtitulem „Evropská strategie pro udržitelnou, konkurenceschopnou a bezpečnou energii“. Energetické využívání biomasy se týká tří oblastí: výroby elektřiny, použití při vytápění a výroby biopaliv pro dopravu. Program rozvoje výroby biopaliv pro dopravu je stanoven směrnicí 2003/30/ES z 8. 5. 2003 a předpokládá dosažení 2% tržního podílu biopaliva v roce 2005 a 5,75% tržního podílu v roce 2010.

Kapalná biopaliva mohou být dostupná v těchto formách:

- jako čisté biopalivo nebo ve vysokých koncentracích ve směsi s ropnými komponenty pro motorová paliva, splňující kvalitativní požadavky pro využití v dopravě,
- jako směsi biopaliva a ropných komponentů pro motorová paliva, splňující kvalitativní požadavky pro využití v dopravě (evropské normy EN 228 a EN 590),
- jako kapaliny pocházející z biopaliv.

Podle „Směrnice 2003/30/ES“ byly stanoveny definice pojmů v oblasti alternativních paliv, resp. biopaliv takto:

a) Biopaliva jsou kapalná nebo plynná motorová paliva pro dopravu nebo i pro energetiku (kogenerační technologie – společná výroba elektrické energie a tepla, trigenerace – společná výroba elektrické energie, tepla a chladu) vyrobená z biomasy.

b) Biomasa je biologicky degradovatelná frakce produktů, odpadů a zbytků ze zemědělské produkce (včetně rostlinných a živočišných látek), lesnictví a příbuzných odvětví a rovněž také biologicky degradovatelná frakce průmyslového a komunálního odpadu.

Za biopaliva se považují tyto výrobky:

1. Bioetanol – je to kvasný líh, vyrobený ze surovin rostlinného původu (cukrová řepa, obilí, brambory, škrob, cukrová třtina, biomasa atd.) nebo z biologicky odbouratelného podílu odpadu. Jeho kvalita musí vyhovovat platné legislativě a technické normě (EN 15376, ČSN 65 6511). Ve výhledu je používání i etylesteru.
2. Biodiesel – je to metylester, který je označován jako bionafta, vyrobená z rostlinného nebo živočišného oleje (mastných kyselin), která má kvalitu nafty, a která se používá jako biopalivo. Čisté FAME odpovídá normě EN 14214. FAME pochází z anglického „Fatty acid methylesters“ – metylestery mastných kyselin. Získávají se reesterifikací rostlinných olejů metanolem.
3. E85 – palivo pro zážehové motory obsahující až 85 objemových procent bioetanolu.
4. E95 – palivo pro vznětové motory obsahující až 95 objemových procent bionafty.
5. Bioplyn – palivový plyn vyrobený mikrobiální fermentací z biomasy nebo z biologicky odbouratelného podílu odpadu. Čištěním lze dosáhnout kvality zemního plynu, využívaného jako biopalivo pro dopravní prostředky. To se vztahuje i na dřevný (generátorový) plyn vyrobený gazifikací nebo pyrolýzou biomasy.
6. Biometanol vyrobený z biomasy a využívaný jako biopalivo.

7. Biodimetyleter je dimetyléter vyrobený z biomasy a využíváný jako biopalivo.
8. Bio-ETBE (etyl-tri-butyl-éter) je vyrobený na bázi bioetanolu. Procentuální objemový zlomek bio-ETBE, který je považován za biopalivo, je 47 %.
9. Bio-MTBE (metyl-tri-butyl-éter) je MTBE vyrobený na bázi biometanolu. Procentuální objemový zlomek bio-MTBE, který je považován za biopalivo je 36 %.
10. Syntetizovaná biopaliva jsou syntetizované uhlovodíky nebo jejich směsi vyrobené z biomasy.
11. Biovodík je vodík vyrobený z biomasy anebo z biologicky odbouratelného podílu odpadu, využívaného jako biopalivo.
12. Čistý rostlinný olej je olej vyrobený z olejnatých rostlin lisováním, extrakcí nebo podobnými postupy, surový nebo rafinovaný, ale chemicky nemodifikovaný, je-li jeho využití vhodné v příslušném typu motoru a zároveň odpovídá emisním požadavkům.
13. Minerální oleje jsou uhlíková paliva, získaná ze zpracování ropy. Mohou se dodávat jako čisté nebo s přídavkem biosložky.

Zpráva Observatoře pro obnovitelné zdroje energie (Observatory of Renewable Energie – EurObserv'ER) uvádí, že spotřeba biopaliv v EU dosáhla v roce 2006 celkem 5,38 mil. tun (v ekvivalentu nafty) ve srovnání s 2,99 mil. tun v roce 2005. Celková spotřeba biopaliv v EU uvedená v citované zprávě představuje 1,8 % podílu v celkové spotřebě pohonných hmot, což je méně než stanovený střednědobý cíl 2 % pro rok 2005 v kontextu se Směrnicí EU o biopalivech (2003/30/ES). V ČR se pod biopalivy rozumí především bioetanol a metylestery mastných kyselin, zejména řepkového oleje (MEŘO). Na trhu motorových paliv může být nabízeno i čisté biopalivo, kterým je metylester řepkového oleje (FAME/MEŘO) kvalitou odpovídající EN 14214. Motorová vozidla používající čistá biopaliva nebo směsná biopaliva musí mít povolení k provozování na tento druh pohonné hmoty schválené výrobcem vozidla.

Směrnice 2009/28/ES stanoví společný rámec pro podporu využívání energie z obnovitelných zdrojů a rovněž stanoví národní cíle určující podíl energie z obnovitelných zdrojů. Cílová hodnota ČR pro rok 2020 je 13 %. Každý členský stát musí stanovit svůj národní alokační plán pro energii z obnovitelných zdrojů a do 30. 6. 2010 ho oznámit Komisi. Každý členský stát musí zajistit, aby podíl energie z obnovitelných zdrojů ve všech druzích dopravy činil alespoň 10 % z celkové spotřeby energie v dopravě. Směrnice stanovuje základní pravidla a postupy pro plnění této povinnosti. Až jedna čtvrtina paliv v dopravě by měla být do roku 2030 v zemích EU nahrazena biopalivy. Podstatná část má být zajištěna vývojem v konkurenčním evropském průmyslu biopaliv, založeným na trvalých a inovačních technologiích. Z biomasy získávaná energie je v současné době stále ještě dražší než fosilní pohonné hmoty, dokonce i při ceně ropy 70 USD za barel. Aby se výtěžnost energie a efektivnost technologií z biomasy zvýšila, musí se pozornost cíleně zaměřit na další výzkum a vývoj alternativních paliv.

Probíhající výzkum ukázal, že využívání biomasy pro kogeneraci (produkce tepla a elektrické energie) v porovnání s biopalivy využívaných v dopravě je lepším řešením pro omezování emisí skleníkových plynů.

V České republice brání rozvoji alternativních plyných paliv v dopravě nedostatečná infrastruktura plnicích stanic. Ke dni 1. 5. 2010 je v ČR 25 plnicích stanic na CNG. Tento problém se ale postupně řeší a v budoucnu by měla být plnicí stanice CNG v každém větším městě. Ten kdo chce jezdit na CNG a má možnost se připojit na plynárenskou síť, může si koupit domácí plnicí zařízení. Tyto plničky dotankují automobil přímo v garáži. Rychlost plnění je závislá na typu plničky. Doba plnění se pohybuje od několika minut až po několik hodin. Čím výkonnější plnicí stanice, tím je zařízení dražší. Tyto velké vstupní náklady zpřechňují pomalé rozšiřování automobilů na zemní plyn. V roce 2004 byla zpracována analýza, z které vyplývá, že v roce 2020 by počet automobilů v České republice, jezdící na zemní plyn mohl dosáhnout 400 až 450 tisíc, z toho přibližně 10 tisíc autobusů a nákladních automobilů. Pro tento počet vozidel je odhadováno 285 plnicích stanic. V současnosti se plynofikuje městská a příměstská hromadná doprava. Zatím jezdí na zemní plyn v České republice přes 2 000 vozidel. Do tohoto čísla jsou započítány osobní, užitková a nákladní vozidla, autobusy, vysokozdvížné vozíky a rolby. Do konce roku 2013 má přejít čtvrtina aut státní správy na alternativní paliva.

1.1 Zkapalněný ropný plyn LPG (Liquified Petroleum Gas)

LPG je směs zkapalněných rafinérských plynů, které převážně obsahují propan a butan a menší množství uhlovodíků. Za normálních atmosférických podmínek je propan butan plynný. Na kapalný se převede stlačením nebo ochlazením. LPG je zatím nejrozšířenější alternativní palivo. Je zde výhoda, že motor může pracovat se dvěma palivy. Spalování LPG je šetrnější k přírodě, levnější provozní ekonomické náklady, nedochází k detonačnímu spalování, chod spalovacího motoru je tišší. Toto palivo má ale také nevýhody, např. zmenšení zavazadlového prostoru, zkrácení intervalů při výměně motorového oleje (pokud se nepoužívá předepsaný olej pro LPG), zmenšení výkonu spalovacího motoru. Pokud se použije u nových motorů kapalný přímý vstřík, tak se výkon motoru může i mírně zvýšit nebo zůstane stejný.

1.2 Pohon zemním plynem CNG a LNG

1.2.1 Stlačený zemní plyn CNG (Compressed Natural Gas)

CNG není pro pohon automobilů v České republice dostatečně rozšířený, protože je zde málo čerpacích stanic. Je to běžný zemní plyn a pro použití ve spalovacím motoru se nemusí upravovat, na rozdíl od ropy. Zásoby zemního plynu jsou větší než zásoby ropy. Výhřevnost 1 m³ zemního plynu je za běžných podmínek stejná jako výhřevnost 1 litru benzínu. Z toho plyne, že musí být zemní plyn v automobilu dostatečně silně stlačen do tlakových nádob, které ale mají velkou hmotnost. Někteří výrobci už vyrábějí sériově auta na CNG. Výhody pohonu tímto palivem jsou tyto: vysoké oktanové číslo (130), plní současné i budoucí emisní limity, je levný, prodloužené servisní intervaly pro výměnu motorového oleje. Nevýhody: zvětšení hmotnosti vozidla, pravidelné revize, zákaz parkování v podzemních garážích. V zahraničí nejsou tak přísná kritéria pro automobily jezdící na CNG jako v České republice. To také může být jedním z důvodů, který brání rozvoji těchto automobilů v ČR.

1.2.2 Zkapalněný zemní plyn LNG (Liquified Natural Gas)

LNG je zkapalněná forma zemního plynu při teplotě -162 °C, má obsah metanu vyšší než 75 % a obsah dusíku nižší než 5 %. LNG je namodralá, průzračná kapalina bez zápachu, netoxická, nekorozivní s malou viskozitou. Zápalná hodnota je 540 °C. Zkapalněný zemní plyn se tankuje pod tlakem 2 MPa. Hrdla nádrží jsou konstruována tak, aby se nezaměnil plynný a kapalný zemní plyn. LPG má také jinou konstrukci tankovacího hrdla. Mezi výhody patří – nepříliš těžká nádrž, doba plnění srovnatelná s ropnými látkami. Až dvojnásobný

dojezd oproti CNG. Musí být uchováván za velmi nízkých hodnot, k dalším nevýhodám patří – odpar z nádrže při delším stání, složitější technologie než u CNG.

1.3 Vodík

Vodík je jedním z možných paliv budoucnosti, které má velké možnosti využití. Vodík je nejhojnějším prvkem ve vesmíru. Může se použít přímo ve spalovacích motorech, nebo pomocí palivových článků, kde se přeměňuje energie vodíku na elektrickou energii. Vyžaduje velmi těsný prostor na základě malých molekul. Skladovat lze jak v plynné, tak v kapalně fázi. Skladování v plynné fázi vyžaduje velké stlačení a to na 400 – 700 bar. Kapalná fáze zase vyžaduje ochlazení, a to až na -252 °C. Nádoby se používají vícevrstvé, s dobrou tepelnou izolací a přetlakovým ventilem. Zkapalňování a stlačování je zatím velmi energeticky náročné. Vodík tvoří se vzduchem hořlavou a výbušnou směs v širokém rozsahu koncentrací.

1.4 Peroxid vodíku

Peroxid vodíku, tzv. paroplyn, vzniká prudkým rozkladem H_2O_2 za přítomnosti katalyzátoru (burel) v reaktoru. Reakce probíhá za nízkých teplot. Plyny vzniklé rozkladem peroxidu vodíku mohou pohánět spalovací motor. Peroxid se lépe uchovává než vodík, proto by mohl mít v budoucnu velké použití.

1.5 Dřevoplyn

Dřevoplyn měl největší rozšíření za druhé světové války, kdy byla ropa určena jen pro armádní účely. Ze suché biomasy (např. dřevo) se za působení vysokých teplot uvolňují hořlavé plynné složky – dřevoplyn. Při tvorbě dřevoplynu vzniká přibližně 20 % vodíku, 20 % kyslíčnicku uhelnatého, malé množství metanu a zbytek dotváří dusík. Pokud je přítomen vzduch, jedná se o spalování. Pokud jde o zahřívání bez přístupu vzduchu, jedná se o zplyňování, zde se dřevoplyn odvádí do jiného spalovacího prostoru (např. pístový spalovací motor). Spalovací motor na dřevoplyn má o více než 20 % menší výkon než na benzín. K další nevýhodě patří velká váha generátoru na dřevoplyn, velké nároky na skladování paliva. Toto plynné palivo se hodí spíše pro stacionární motory, kde nám nevadí velká hmotnost a velké rozměry.

1.6 Bioplyn

V České republice se bioplyn v současnosti nepoužívá jako motorové palivo v dopravních prostředcích. Velmi rozšířený je však způsob využití bioplynu ve stacionárních

spalovacích motorech kogeneračních jednotek. O jeho složení, výrobě a uplatnění pojednávají následující kapitoly.

2 Principy tvorby bioplynu, chemické složení bioplynu, fyzikální a chemické vlastnosti bioplynu

2.1 Principy tvorby bioplynu

Bioplyn vzniká, když metanové bakterie rozkládají organickou hmotu. Organickou hmotou se rozumí: např. dřevo, kompost, zemní plyn, ovoce, atd. Tento proces rozkladu se rozděluje na čtyři fáze.

Prvá fáze rozkladu organické hmoty není rozkládána metanovými bakteriemi, ale začíná velice často ještě za přítomnosti kyslíku. První fáze může probíhat jak za přítomnosti nebo i v nepřítomnosti vzduchu. Zde přeměňují přítomné bakterie makromolekulární organické látky (uhlovodíky, tuk, celulózu, bílkoviny) pomocí enzymů na nízkomolekulární sloučeniny (např. jednoduché cukry, aminokyseliny vodu, mastné kyseliny). Tato mikrobiální společenstva jsou již schopna žít v bezkyslíkatém prostředí, a proto si už vytvářejí podmínky pro rozvoj methanogenů, které se pak realizují v plně anaerobních podmínkách (bez přístupu vzduchu). Při této fázi se také uvolňuje vodík (H_2) a oxid uhličitý (CO_2). Tato první fáze se nazývá hydrolýza.

Druhá fáze rozkladu se nazývá acidogeneze (acidogeneze = proces enzymatické přeměny organických sloučenin na organické látky). Acidogeny přitom produkují dvě hlavní suroviny pro tvorbu metanu. Těmito substráty je kyselina octová, která se v další fázi zpracovává na metan a jednak směs vodíku a oxidu uhličitého. Zde se také ještě uvolňuje vodík a oxid uhličitý. Zároveň zde dochází vlivem přeměny proteinů, které sice mají dobrou přeměnu na bioplyn, ale obsahují síru, která zůstává v bioplynu jako sulfan (dříve sirovodík H_2S) a ten může být pak zdrojem problémů. Proto se provádí odsíření bioplynu, ale o tom pojednávají další části práce.

Acetogeneze je třetí fáze rozkladu, při které dochází za produkce kyseliny octové k dalšímu rozkladu kyselin a alkoholů. Při této fázi se velmi rychle generují hydrogenotrofy, které způsobují vymizení vodíku z tvořeného bioplynu. Pokud se v bioplynu objeví vodík, svědčí to o narušení rovnováhy během procesu. Toto narušení se může stát například nevhodnou skladbou substrátu nebo chybějícími hydrogenotrofními bakteriemi.

Ve čtvrté fázi vzniká metan. Tato fáze se nazývá methanogeneze. Nevzniká čistý metan, ale vlivem jednotlivých fází jsou v bioplynu zastoupeny další plyny. Obsah metanu se může pohybovat v rozmezí 50 – 85 %. Zbytek složení výlučně tvoří oxid uhličitý, malé zlomky procenta dusíku, žádný vodík a ani žádný kyslík.

Tyto čtyři fáze probíhají neodděleně, ani místně ani časově, probíhají najednou. Jenom při rozběhu bioplynové stanice probíhají nejprve jednotlivé procesy, proto může zahájení provozu trvat několik týdnů až měsíců, než začne probíhat methanogeneze. Všechny tyto fáze potřebují následující životní podmínky:

- a) **Vlhké prostředí:** aby mohli metanové bakterie pracovat a množit se, musejí mít vlhké prostředí. Metanové bakterie na rozdíl od hub a kvasinek nemohou působit v pevném substrátu.
- b) **Zabránění přístupu vzduchu:** kyslík je pro metanové bakterie toxický plyn. Je-li v substrátu přítomen kyslík, musí ho aerobní bakterie nejdříve zpracovat. Toto zpracování nastává v první fázi bioplynového procesu. Malé množství vzduchu, které se používá na odsíření bioplynu, ale bakteriím nevadí.
- c) **Zabránění přístupu světla:** světlo bakterie neničí, ale brzdí jejich proces. Proto je kvasné prostředí vybaveno jen malým průhledem, např. pro kontrolu hladiny, atd.
- d) **Stálá teplota a tlak:** metanové bakterie mohou pracovat při teplotě 0 °C – 70 °C. Pokud teplota klesne pod bod mrazu bakterie přežívají, ale nepracují. Naopak při vysoké teplotě nad 90 °C metanové bakterie hynou. Teplota má vliv na rychlost procesu vyhnívání. V zásadě platí: čím vyšší je teplota, tím rychleji nastává rozklad, a tím vyšší je produkce plynu, a tím je kratší doba vyhnívání, a tak je nižší obsah metanu. Praxe ukázala tři teplotní oblasti, které jednotlivým bakteriím prospívají. Psychrofilním kmenům vyhovuje teplota pod 20 °C, mezofilním kmenům teplota od 25 °C do 35 °C a teplotu nad 45 °C potřebují termofilní kmeny. Platí, že čím vyšší je teplota, tím jsou bakterie náchylnější na změnu teploty, zejména jedná-li se o krátkodobé změny. V mezofilní oblasti mohou denní teploty kolísat o 2 °C až 3 °C kolem střední oblasti. Toto kolísání se ještě neprojeví na tvorbě bioplynu. V termofilní oblasti nesmí výkyvy být větší než 1 °C. Bakterie se přizpůsobují nové teplotě asi jeden měsíc. Vlivy tlaku na procesy vyhnívání nebyly zatím více prozkoumány. První výsledky ukazují, že bakterie jsou vůči tlaku tolerantní.

- e) **Hodnota pH:** bakterie produkující metan mají svá optima v oblasti pH 6,2 – 7,8 (u kejdy a hnoje tento stav nastává většinou samovolně). Pokles pH pod 6,0 je doprovázen inhibicí díky vzniku neionizovaných kyselin a nárůst nad pH 7,6 zase procesy zpomaluje vlivem nárůstu volného amoniaku.
- f) **Přísun živin:** metanové bakterie potřebují pro svou buněčnou stavbu rozpustné dusíkaté sloučeniny, minerální látky a také stopové prvky. V hnoji a kejdě jsou tyto látky dostatečně zastoupeny. Tyto látky jsou také zastoupené v trávě, kuchyňských odpadech, zbytkách jídla, v mlátu. V praxi je ale nutné použít kejdu, jakožto stálého základního substrátu, aby se dosáhlo vyrovnaného poměru kyselosti a zásaditosti.
- g) **Velké kontaktní plochy:** organické látky, které nejsou rozpustné ve vodě, se musí rozdrtit nebo nasekat, aby se vytvořily velké styčné plochy. Velké části organických látek jinak velmi dlouho vyhnívají a vytvářejí plovoucí příkrov (kalový strop).
- h) **Inhibitory:** antibiotika, chemoterapeutika, organické kyseliny a desinfekční prostředky mohou vyhnívací proces zbrzdit nebo i úplně zastavit. To se týká toho, když jsou ošetřována všechna zvířata najednou. Ošetřování jednotlivých zvířat nemá žádné negativní účinky.
- i) **Zatížení vyhnívacího prostoru:** udává, jaké maximální množství organické sušiny na m^3 a den může být dodáno do fermentoru, aniž dojde k „překrmění“ bakterií, a tím k zastavení vyhnívacího procesu. Obvyklé zatížení při teplotě 35 °C leží mezi 0,5 až 1,5 $kg\ os/m^3*d$, to znamená, že na 1 m^3 obsahu fermentoru je denně dodáno a zpracováno 0,5 až 1,5 kg organické sušiny. Zatížení lze zvýšit na 3 $kg\ os/m^3*d$, absolutní hranice je dosaženo při 5 $kg\ os/m^3*d$.
- j) **Rovnoměrný přísun substrátu:** má význam pro to, aby nedošlo k nadměrnému zatížení plnicí zóny fermentoru a také se rovnoměrným přísunem substrátu zabrání nadměrnému poklesu teplot v plnicí zóně fermentoru. Plnění by mělo probíhat v pravidelných intervalech, to platí jak pro základní surovinu (kejda), tak i pro další kofermentáty.
- k) **Odplynování substrátu:** metanové bakterie mohou vykazovat vysoký rozkladný výkon jen, když může plyn ze substrátu průběžně odcházet. Zemědělské substráty, které obsahují, více než 5 % sušiny musí být dostatečně odplynovány. Toto odplynování se uskutečňuje promícháváním substrátu.

2.2 Chemické složení bioplynu

Má vliv na kvalitu plynu, a to především poměrem hořlavého metanu (CH_4) k poměru oxidu uhličitému (CO_2). Dále bioplyn obsahuje zbytkové množství plynů. Metan a oxid uhličitý jsou dvě majoritní složky bioplynu, ostatní plyny jsou zastoupeny v řádech desetin procenta. U chemického složení se liší bioplyn vyrobený na skládkách (tzv. skládkový plyn), vyrobený v čistírnách odpadních vod (tzv. kalový plyn) a tzv. reaktorový plyn, který vzniká anaerobní metanovou fermentací.

Skládkové bioplyny se tvoří samovolně ve skládkách odpadů, které obsahují biologicky rozložitelné suroviny. Principiálně jde o stejné procesy jako u reaktorové fermentace, ale složení skládkových plynů bývá mnohem proměnlivější. Skládkový bioplyn obsahuje ve většině případů navíc kyslík. Chemické složení skládkového plynu se v průběhu procesu mění. Zde záleží jak je skládka stará, jaké suroviny mají nejpočetnější zastoupení. Pro skládkový plyn se dnes začíná používat zkratka, kterou vytvořila Anglosaská literatura, LFG = Landfill Gas (skládkový plyn). Skládkový plyn obsahuje 50 – 62 % výjimečně 45 – 75 % metanu (CH_4). Oxid uhličitý (CO_2) se podílí i více jak 50 %. U kvalitního skládkového plynu je přítomnost kyslíku (O_2) pod 0,1 %, ale ve většině případů je to 0,5 – 2,0 %. Dusík (N) zde má zastoupení mezi 3 – 10 %, někdy až 30 %. Sulfan (H_2S) se vyskytuje běžně 0,5 – 2 mg/m^3 . Obsahy jednotlivých plynů se radikálně mění, zde záleží, jak je skládka řešená. Pokud se omezí přísun vody, může se proces ve skládce zbrzdit popřípadě i zastavit. To platí i o přítomnosti vzduchu, proto skládka musí být dobře zhutněna.

Reaktorový plyn už nemá tak proměnné složení plynu jako skládkový plyn. To je dáno jednak přibližně stejným přísunem sušiny, kejdy, teplotou procesu, plynotěsností, atd. Jednotlivé fáze na sebe navazují a překrývají se, což má vliv na dobrou tvorbu bioplynu. Na skládkách se procesy většinou nepřekrývají a trvají mnohem déle. Ke čtvrté fázi rozkladu (methanogenezi) může dojít na skládkách až za dva roky. Chemické složení bioplynu ukazuje tabulka 1.

Tabulka 1 - Chemické složení bioplynu

Charakteristika	Metan (CH ₄)	Oxid uhličitý (CO ₂)	Vodík (H ₂)	Sulfan (H ₂ S)	Bioplyn (CH ₄ 60 % ,CO ₂ 40 %)
Objemový podíl [%]	55 - 85	27 - 47	1	3	100
Výhřevnost [MJ.m ⁻³]	35,8	–	10,8	22,8	21,5
Zápalná teplota [°C]	650 - 750	–	585	–	650 - 750
Hustota [kg.m ⁻³]	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2

Zdroj: Straka, František. Bioplyn

Tabulka 1 udává základní složení bioplynu při reaktorové fermentaci. Bioplyn obsahuje spousty prvků, které v tabulce nejsou uvedeny. Tyto prvky jsou ale pro praktické účely svým zastoupením téměř bezcenné. Je zjevné, že určení přesné hranice obsahů metanu a oxidu uhličitého v bioplynu podle použitého substrátu je nereálné, protože proces je ovlivněn mnoha dalšími parametry. Je to například skladba a stav bakteriálních kultur, teplota, pH, typ reaktoru a jeho zatížení a mnoho dalších vlivů. Na těchto parametrech závisí výtěžnost metanu vztažená na hmotnostní jednotku dodané sušiny. Jak je vidět z tabulky 1, je dána výhřevnost bioplynu obsahem metanu.

Sulfan je po metanu a oxidu uhličitém nejdůležitější složkou v obsahu bioplynu. Podíl sulfanu, který v bioplynu nalezneme, je určován přednostně složením substrátu. Vstupním zdrojem síry mohou být proteiny, anorganický síran, ale hlavně látky bílkovinné povahy. Bioplyn obsahuje tedy síru úměrně tomu, kolik jí je obsaženo v substrátu v biologicky zpracovatelné formě. Sulfan je plyn jedovatý, je rozpoznatelný podle typického zápachu „po zkažených vejcích“. Odsířený bioplyn téměř není cítit. Pokud je obsah sulfanu vyšší než 1 %, tak brzdí proces vyhnívání. Tato látka by se měla v plynu kontrolovat při každé změně vstupní suroviny. Kontrola se provádí pomocí Dragerovi trubice. Sulfan je jedinou formou síry vyskytující se v bioplynu. Síra způsobuje korozi a je velmi agresivní, což vyvolává

problémy v plynoměrech, spalovacích motorech, armaturách, proto je její zvýšený obsah nežádoucí.

Vodík by se v bioplynu měl vyskytovat do 1 % objemu. Vodík se tvoří v prvních dvou fázích. Acetogeneze je třetí fáze, při které se spotřebovává vodík. Pokud se vodík objeví v bioplynu, svědčí to o narušení procesu.

Čerstvý bioplyn z bioplynové stanice je nasycen vodní párou. Zde je možné, že vodní pára obsahuje dosud neprobádané nebo málo probádané látky, které mohou způsobovat problémy při spalování v pístových motorech. Vodní pára se z bioplynu odstraňuje kondenzací. Tento proces je důležitý, neboť se při této úpravě spolu s kondenzovanou vodou odstraní velká část v plynu obsaženého čpavku. Čpavek poškozuje motory, zvláště jejich díly z barevných kovů.

V bioplynu se dále nachází stopové množství amoniaku (NH_3), molekulárního dusíku, kyslíku, siloxanu (křemík). Jejich podíl ale činí celkem 6 až 8 %, proto neovlivní vlastnosti bioplynu.

2.3 Fyzikální a chemické vlastnosti bioplynu

Pro fyzikální a chemické vlastnosti se uvažuje pět složek: metan (CH_4), oxid uhličitý (CO_2), dusík (N_2), kyslík (O_2) a voda (H_2O). Ostatní složky jsou pro fyzikální a chemické vlastnosti pro jejich malý obsah ve směsi zanedbatelné. Pro spalování bioplynu v pístových motorech jsou nejdůležitější tyto vlastnosti:

Metanové číslo je důležitým požadavkem na plyn při jeho spalování v pístovém spalovacím motoru proti tzv. klepání motoru. U kapalných paliv je udávána odolnost proti klepání u naftových motorů cetanovým číslem. Oktanové číslo udává odolnost proti klepání u benzínů. Odolnost plynného paliva proti klepání je určována metanovým číslem (MN). Metan není náchylný ke klepání (jeho oktanové číslo je přibližně 140) oproti vodíku, ten je velmi náchylný ke klepání. Plynné palivo, které obsahuje jiné složky než metan a vodík, se přeměřuje ve zkušebním spalovacím motoru a porovnává se s definovanou směsí metanu a vodíku. „Metanové číslo (MN) u plynného paliva určuje obsah metanu spalované binární směsi metanu a vodíku ve zkušebním spalovacím motoru. Metanu je definičně přiřazeno metanové číslo 100 a vodíku metanové číslo 0.“ [3]

Spalovací rychlost hořlaviny je rychlost šíření plamene v plynné směsi hořlaviny a oxidovadla. Plynná směs má před zážehem teplotu (T), tlak (p) a definované složení.

Největší spalovací rychlost má vodík. Jeho přítomnost v plynu rozhodujícím způsobem zvyšuje spalovací rychlost. Spalovací rychlost se určuje experimentálně, nedá se vypočítat. Rychlost spalování závisí na tlaku. Při spalování za konstantního tlaku je rychlost spalování menší, při zvyšování tlaku se rychlost zvětšuje. Při spalování v kyslíku je rychlost hoření větší než při spalování ve vzduchu, protože proces hoření „není brzděn“ přítomností molekul dusíku a argonu, které se nacházejí ve vzduchu.

Dále zde můžeme zařadit transportní vlastnosti bioplynu. Mezi transportní jevy patří viskozita, tepelná vodivost a difúze v plynech. Viskozita plynu je veličina, která charakterizuje odpor plynu proti proudění. Viskozita je závislá na teplotě a tlaku. U čistých plynů se viskozita na tlaku projeví jen velmi málo. Tepelná vodivost – teplo se přenáší třemi způsoby: prouděním, sáláním, vedením. Musíme zde znát součinitel (koeficient) tepelné vodivosti (λ). „Koeficient tepelné vodivosti je množství tepla, které projde jednotkovou plochou za jednotku času, při jednotkovém spádu. Čím vyšší hodnota λ , tím rychleji se v systému vyrovnají teploty, resp. tím rychleji dané prostředí vede teplo.“ [3] Difúze je proces, při kterém v koncentračně nehomogenním systému dochází k samovolnému vyrovnání koncentrace. Samovolná difúze nastává jen u těch plynů, které mají rozdílnou koncentraci plynné směsi. Při samovolné difúzi se tlak v systému nemění. U plynů se zvětšuje difúzní koeficient s teplotou a klesá s tlakem.

3 Technologie výroby bioplynu

3.1 Historické kořeny

Metanové bakterie sice patří mezi nejstarší organismy na světě, ale až na počátku 20. století vznikaly technologie anaerobní fermentace. Základním odvětvím pro technologii výroby bioplynu byly čističky odpadních vod. Přestože kanalizace je starý vynález, trvalo století, než čistírenské technologie přinesly poznatky o anaerobních procesech a vyrobily při tom bioplyn.

V roce 1907 v Německu kalový technik Imhoff vystavěl dvoustupňové čističky odpadních vod, které označoval jako „emšerské nádrže.“ Emscher je jméno, které kdysi patřilo řece, která odváděla vodu z bažinaté oblasti Emscherbruch. První skutečně fermentační systém, který zpracovával čistírenský kal, vzniknul v Anglii v roce 1910. Dalších dvacet let se systém rozvíjel jen pro potřeby čištění odpadních vod. Prvním účelem nebylo vyrábět energii,

ale čistit vodu a odbourávat z ní biologické znečištění. Vzniklý bioplyn se používal na otop čistírenských budov. Až na konci dvacátých let se začínají objevovat automobily poháněné bioplynem. Rozšíření bioplynu do praxe nejvíce pomohla hospodářská krize.

V padesátých letech začal další krok rozvoje anaerobní fermentace. Nezůstalo se už jen u čištění čistírenských kalů, ale začíná se uplatňovat na široké škále odpadů, včetně odpadů tuhých a také na pěstované biomase. V dnešní době se cíleně pěstují energetické biomasy a rozvíjí se anaerobní fermentace pro čistě energetické účely. Současný stav poznání dokládá, že se v těchto procesech může použít téměř libovolná směs odpadů a biomasy. V současnosti se nejvíce rozvíjí bioplynové stanice v zemědělství, a to proto, že v zemědělství při chovu dobytka vzniká vstupní surovina nutná pro provoz bioplynové stanice. Dále je zde získání elektrické energie, která je po prodeji nezanedbatelným příjmem. Bioplynové stanice přispívají aktivně k čistotě životního prostředí. Rovněž se snižují ztráty na živinách. Při výstavbě stanice lze využít stávající jámy na kejdu, tím klesnou vstupní náklady na stavbu bioplynové stanice. A v neposlední řadě využití odpadního tepla ze spalovacích motorů pro vytápění zemědělského podniku.

3.2 Technologické systémy a jejich součásti

Systémy, které vyrábějí bioplyn, se mohou lišit podle toho jaký odpad zpracovávají a při jaké teplotě pracují. Velký počet řešení lze zredukovat na několik typických systémů. V zásadě lze postupy rozlišovat podle plnění (dávkový nebo průtokový způsob), dále podle počtu stupňů procesu a nakonec podle substrátu (kapalný, pevný).

Dávkový způsob označuje plnění (zavádění, dávka) vyhnívací nádrže najednou. Dávka pak vyhnívá najednou, aniž by se další substrát přidával nebo odnímal. Při tomto způsobu produkce plynu po naplnění pomalu roste, dosáhne maxima a začne klesat. Po skončení vyhnívací doby se nádrž z 90 % vyprázdní. Zbylé procento vyhnílého kalu se ponechává, aby se nově naplněná dávka zaočkovala bakteriemi, aby se mohl proces opakovat. Tato metoda má tu nevýhodu, že musí být k vyhnívací nádrži ještě přípravná a skladovací nádrž, do které se vypustí obsah vyhnívací nádrže. Další nevýhoda je, že není konstantní tvorba bioplynu.

Metoda střídání nádrží pracuje se dvěma vyhnívacími nádržemi. Z přídatné nádrže, která pojímá substrát za 1 až 2 dny, se prázdná vyhnívací nádrž pomalu ale rovnoměrně plní, mezitím v druhé nádrži probíhá vyhnívací proces. Po naplnění první nádrže se obsah druhé nádrže najednou přesune do skladovací nádrže a následně se začne vyprázdňovaná nádrž plnit

z přípravné nádrže. Ze skladovací nádrže se vyhnílý kal vyváží na vhodné plochy, takže se tato nádrž průběžně vyprazdňuje. Tato technologie se vyznačuje plynulou tvorbou bioplynu. Zde se také jako v prvním případě musí nádrž při vyprazdňování zavzdušňovat, pokud není dostatečně velký a naplněný zásobník plynu, který by naplnil prostor po odebraném substrátu.

Průtokový způsob má většina bioplynových stanic na světě, a to buď v čisté formě, nebo v kombinaci se zásobníkovým způsobem. Zde je odlišnost ta, že vyhnívací nádrž je stále naplněna. Vyprázdnění se provádí jenom při opravách nebo odstranění usazenin. Zde je z přípravné nádrže dodáván několikrát denně substrát do vyhnívací nádrže, zároveň automaticky odchází vyhnílý substrát do skladovací nádrže. Zde je také plynulá výroba plynu, dobré vyřízení vyhnívacího procesu, nízké tepelné ztráty. Zde je nevýhoda oproti dvěma předchozím metodám, že se může přiváděný substrát smíchat s vyhnílým substrátem, a tím se znehodnotí.

Metoda se zásobníkem je taková, kde je fermentor a skladovací nádrž spojeny do jedné nádrže. Při vyvážení vyhnílého substrátu se vyprázdní zásobník až na malý zbytek, který slouží k naočkování nové náplně. Poté se kombinovaná nádrž pomalu plní, většinou přirozeným přepadem kejdy. Zde je výhoda nízkých pořizovacích nákladů (přestavění stávající jímky na kejdu). Mezi nevýhody patří velké tepelné ztráty.

Kombinovaná průtoková metoda se zásobníkem je nejvyšší současný vývojový stupeň. Vznikla tak, že k průtokovému fermentoru byly dříve připojené otevřené skladovací nádrže dodatečně opatřeny poklopem (např. fóliovým), aby se zabránilo ztrátám na dusíku způsobeným aerobními rozkladnými procesy a mohl být získán dodatečný bioplyn.

Výrobu bioplynu lze z výrobního procesu provádět jednostupňově nebo vícestupňově. Při jednostupňovém procesu probíhají čtyři fáze najednou a v jednom vyhnívacím prostoru. Pro zemědělce připadají v úvahu dvoustupňové procesy. Například se čerstvá kejda předehřívá ve vnitřní první komoře a probíhá zde první, kyselá fáze. Druhá, alkalická fáze nastává pak v hlavním vyhřívacím prostoru.

3.3 Konstrukční typy fermentorů

Horizontální konstrukční typ má tu výhodu, že se zde může instalovat výkonné a úsporné míchadlo. Tím se dosáhne dobrého promíchání napříč směrem průtoku. Vzniká zde žádoucí, tzv. píستové proudění (díky délkovým rozměrům proti výšce). Píستové proudění označuje jev, kdy je jedna dávka kejdy posunuta rourou jako píst. Tím nedochází ke smíchání

čerstvého a vyhnílého substrátu. Nevýhodou je velká náročnost na stavební prostor a velké tepelné ztráty.

Vertikální konstrukční typy vyhnívacích nádrží jsou konstruovány ze statických důvodů jako kruhové. Oproti horizontálnímu provedení mají tu přednost, že se zde snadno dosáhne lepšího poměru mezi objemem a povrchem. To má za následek snížení tepelných a materiálových ztrát. Jako nevýhoda je zde nedosažení pístového efektu.

Nadzemní umístění se volí, pokud je vysoká spodní voda. K vnější izolaci lze použít méně kvalitní materiály. Mezi hlavní nevýhody patří velké tepelné ztráty, hlavně v zimě, protože jsou nádrže vystaveny povětrnostním vlivům. Zcela pod zemní nádrže nezabírají místo, po jejich stropě se dá přímo jezdit. Nedochozí zde k tepelným ztrátám, ale jsou zde vysoké pořizovací náklady. Dříve se často na stavbu používali nádrže z cisteren, které se opatrovali vnitřním protikorozním nátěrem. V dnešní době se často uplatňuje železobetonová konstrukce nádrží, kde jsou stěny a dno provedeny z monolitického betonu. Zde se musí dodržet zrnitosti přísad, aby byly vodotěsné a plynotěsné. Druhým nejznámějším stavebním materiálem jsou ocelové plechy. Zde se musí udělat dobrý protikorozní nátěr. Praxe ukázala, že nejvíce jsou napadána místa koroze mezi hladinou kejdy a plynem. Jako nejlepší, ale také nejdražší, je použití nerezových plechů, zde k žádné korozi nedochází.

3.4 Plynojem

V bioplynových stanicích, kde vzniká plyn anaerobní fermentací, se používají pouze nízkotlaké plynojemy. Plynojem má za úkol shromažďovat plyn, oddělovat plynnou a kapalnou část. Měl by být opatřen skleněným nebo plexisklovým otvorem, aby do něj bylo možno nahlídnout. Zároveň tento otvor plní funkci pojistné přetlakové pojistky. To kdyby se stal neprůchozí odvod plynu a přetlaková pojistka se porouchala, tak praskne skleněná tabulka v otvoru a nedojde k vážnějšímu poškození. Tento otvor by měl mít vnitřní čištění, protože často na něm kondenzuje vodní pára nebo vlivem míchání kejdy se sklo zašpiní. Toto čištění zabezpečuje tryska, která na vnitřní stranu nastříká vodu a tou je sklo čištěno.

3.5 Přípravné a skladovací nádrže, přímé plnění fermentoru

Kejda ze stájí odtéká přirozeným způsobem do přípravné nádrže, a poté se čerpá do fermentoru. Přípravná nádrž se dále dá využít na přimísení, ředění nebo rozmělnování. Přípravná nádrž by měla mít objem, aby byla schopna pojmout množství kejdy na jeden až dva dny. Plynotěsnost u této nádrže není nutná, protože přístup vzduchu příznivě působí na

započetí první kyselé fáze procesu kvašení. Kejda z přípravné nádrže není nasávána přímo ze dna, ale je zde prostor pro sedimentaci. Je praktické, když je přiveden odvod usazenin z fermentoru, zde se může smíchat s vodou nebo s řídkou vyhnílou kejdou. Skladovací nádrže, zvané také jako koncový sklad slouží k jímání vyhnílé kejdy. Velikost koncového skladu by měla být taková, aby v době vegetačního klidu, kdy rostliny nepřijímají živiny, zde mohla být kejda skladována obvykle 6 až 7 měsíců. U většiny nových bioplynových stanic je koncový sklad krytý, aby nedocházelo ke ztrátám na dusíku. Také se zde zachycuje plyn, který vzniká při dokvašování.

3.6 Potrubí, čerpadla, armatury

Tyto věci jsou nutné k transportu nové a vyhnílé kejdy. Potrubí je dvojího druhu tlakové a přepadové vratné beztlakové.

Tlakové potrubí se používá pro plnění fermentoru, mělo by mít minimální průměr 125 mm, u delších tras 150 mm a výše, aby se zabránilo ucpávání. Toto potrubí bývá provedeno z ocelových nebo plastových rour. Plastové potrubí musí být tlakové, spojuje se lepením, šroubováním nebo svařováním. Přepadové vratné beztlakové potrubí musí mít podstatně větší průměr. Minimum je 200 mm pro průtok řídké kejdy. Pro hovězí kejdou se doporučuje potrubí o průměru minimálně 300 mm. Pro toto potrubí se používají plastové kanalizační roury. Potrubí by měla být uložena v nezámrazné hloubce, a pokud jím protéká teplý substrát, tak by měla být tepelně izolována. Mírný spád k vyústění zabraňuje usazování sedimentu v rourách.

Čerpadla jsou nutná k překonání výškových rozdílů mezi nádržemi. Pro bioplynové stanice se nejčastěji používají rotační (odstředivá) čerpadla. Tyto čerpadla jsou konstrukčně jednoduchá. Nejvíce se hodí pro čerpání řídké kejdy s malým obsahem sušiny. Dělají se i závěsná, která se zavěsí přímo do kejdy a při náběhu tudíž nemusí nasávat na prázdno. Břítová čerpadla patří do skupiny rotačních čerpadel. Tyto čerpadla mají na oběžném kole tvrzené břity a na skříní protilehlý břit. Při čerpání jsou schopny rozsekat vláknité látky v kejdě (např. slámu). Objemová (plunžrová) čerpadla se používají tam, kde kejda obsahuje vysoké procento sušiny. Tyto čerpadla mohou čerpat oběma směry. Mezi objemová čerpadla patří i šnekové. Šneková čerpadla se vyznačují samonasávací schopností, v řádu několika metrů. Jsou ale citlivá na přítomnost cizích těles. Další skupinou čerpadel používaných v bioplynových stanicích jsou čerpadla s rotujícími písty. Tyto čerpadla mohou čerpat materiály, které obsahují i větší cizí tělesa. Nejdůležitější armatury v potrubním systému jsou spojky, šoupátka, zpětné klapky, čistící otvory, manometry, atd.

3.7 Míchadla

Substrát se ve fermentoru musí promíchávat, aby se dosáhlo těchto efektů:

- smíchání čerstvého substrátu s již vyhnílym substrátem (aby došlo k naočkování),
- míchání pomáhá udržovat ve fermentoru co nejrovnoměrnější teplotu,
- zabraňovat tvoření plovoucího příkrovu,
- dobré odplyňování a zlepšení látkové výměny bakterií.

Mechanická lopatková míchadla se nejčastěji používají v horizontálních fermentorech. Tyto míchadla zasáhnou celý prostor. Hřídel míchadla je poháněn motorem, který je umístěn na venkovní stěně fermentoru. Často se v bioplynových stanicích při použití vertikálních nádrží, používají ponorná míchadla. Vrtuli pohání vodotěsně zapouzďřený motor. Míchadla mohou být připevněna pevně nebo otočně. Výkon elektromotoru pro ponorná míchadla se pohybuje od 2,5 kW do 30 kW podle velikosti vyhnívací nádrže. Podobnou funkci jako ponorná míchadla mají otočné tyčové mixéry, které mají motor umístěný mimo fermentor. Tyto míchadla mohou i řezat a rozmělnovat vláknité látky. Tyto tyčová míchadla mají do 40 ot./min. a mohou pracovat trvale. Lopatky těchto míchadel mají velké rozpětí (přes metr). Důležité je aby se udržovala homogenita substrátu, potom stačí i malý výkon míchadla. Poslední řadou míchadel používaných v bioplynových stanicích jsou hydraulická míchadla. Hydraulické míchadlo je vlastně výkonné čerpadlo, požadovaná funkce se nastavuje přesměrováním dopravního proudu. Nasávání substrátu a plnění vyhnívací nádrže musí probíhat tak, aby se celý obsah fermentoru promíchával.

3.8 Topná zařízení fermentorů

Plynové stanice musejí být vytápěny, aby docházelo k dobrému vyhnívání a bakterie se mohly dobře množit.

Podlahové vytápění se častěji používá u vertikálních fermentorů. V podlahové desce jsou umístěny plastové trubky, ve kterých proudí teplá voda. Pokud se trubky ukládají do železobetonové podlahy, je zde nutno použít výkonné míchadlo, aby se netvořila vrstva usazenin, která by zhoršovala přestup tepla. Stěnové topení má výhodu levnější montáže. Důležité je, aby trubky byly omývány substrátem, aby se zabránilo vzniku mrtvých zón, ve kterých nedochází k přestupu tepla. U ocelových nádrží se často topné trubky ovinou zvenka nádrže. V tomto případě je ale přenesený topný výkon daleko menší, než když topení může

omývat vnitřní náplň fermentoru. Dále se používá topení na hřídeli míchadla. Na hřídeli je nasazená topná spirála, kterou protéká horká voda. Zde postačí malé přestupné plochy, protože při otáčení míchadla dochází k dobrému přestupu tepla.

3.9 Kontrolní, ovládací a měřicí zařízení

Pro úspěšný provoz bioplynové stanice, je nutné mít přehled o složení plynu a každodenní kontrolu nejdůležitějších částí technologického zařízení. Mezi sledovanými hodnotami je například množství substrátu. Se znalostí průměrné spotřeby substrátu lze posoudit dostatečnost nebo nedostatečnost výnosu bioplynu. Dále lze stanovit obsah sušiny, který je důležitý pro posouzení výnosu bioplynu. Pro toto stanovení se používají sušičky, kde se ze ztráty hmotnosti, vypočítá obsah sušiny. Teploměry se měří teplota uvnitř fermentoru. Krátkodobé změny ve fermentoru se těžko zaznamenávají. Pokud se zabuduje vodoměr teplé vody, lze s kombinací teploměru na přítoku a odtoku vody vypočítat otopný výkon a energetickou spotřebu. Další důležitou veličinou je hodnota pH čerstvé a vyhnilé kejdy. Hodnota pH by měla u čerstvé kejdy ležet ve slabě kyselé oblasti, u vyhnilé ve slabě alkalické oblasti. Měření se provádí elektronickými měřiči pH nebo pomocí lakmusového papírku. Asi nejvíce žádaným parametrem je měření množství výroby a spotřeby plynu. Množství se měří suchými plynoměry, které se odečítají denně a pokud možno ve stejnou dobu. Plynoměr by měl být nainstalovaný v nezámrzném prostředí, protože v něm dochází ke kondenzaci vody. Nejčastěji se používají použité plynoměry od plynářů. Měření složení bioplynu je asi nejdůležitějším ukazatelem. Hlavně se zde stanovuje množství sulfanu a vodíku. Tyto přístroje pro měření existují, ale jsou poměrně drahé. Proto se v praxi měří obsah oxidu uhličitého a obsah metanu se vypočítává. Obsah sulfanu se zjistí pomocí Dragerových trubiček. Bioplyn je čerpán přes skleněné trubičky, které jsou na vnitřní stěně potaženy indikační vrstvou. Obsah H₂S se odečítá ze zbarvení této vrstvy. Trubičky se vyrábí na jedno použití. Dále se měří spotřeba a vyrobená elektrická energie.

3.10 Čištění bioplynu

Pro spotřebování bioplynu v kogeneračních jednotkách se nemusí plyn složitě čistit, zde se provádí odsiřování a vysoušení. Bioplyn, který vychází z fermentorů, je přibližně ze 100 % nasycen vodní párou. K prvnímu odlučování vody dochází při ochlazení bioplynu na teplotu okolí, proto by mělo mít plynové vedení sklon zpátky do fermentoru, aby mohla voda odtékat. Plynové potrubí má být dobře izolované. Odlučovač vody se většinou nachází na začátku tzv. plynové trasy. Většinou je tvořen barelem, z něhož může kondenzát odtékat přes sifon.

Odlučovač vody by se měl nacházet v nezámrazné hloubce, nebo musí být dobře izolován. Hloubka ponoru trubky, odpovídá přípustnému přetlaku bioplynu ve fermentoru.

Odsiřování je nejdůležitějším opatřením proti korozi. Dříve se odsiřovalo pomocí nádob, které byly naplněné hydroxidem železa ($\text{Fe}(\text{OH})_2$). Při průchodu bioplynu těmito nádobami se tvořil siřík železitý (Fe_2S_3). Tato metoda se dnes nepoužívá, protože se látka na odsiřování musela regenerovat nafoukáním vzduchu a při tom se vytvářela síra. Dále zde byly problémy s odklizením nádob, které už nešly regenerovat. V dnešní době převažuje systém cíleného nafoukávání vzduchu do fermentoru. Zde dochází k přeměně sulfanu na elementární síru. Při tom se síra usazuje na kejdě a slouží jako výživa rostlin. Přítomnost síry nám odhaluje nažloutlá vrstva na přepadu z fermentoru nebo přímo na kejdě. Vzduch se do fermentoru nafoukává malým kompresorem. Kompresor by měl pracovat plynule a po celý den. Při správné dávce vzduchu se dosáhne odsiřování 95 %. Tato metoda je levná a účinná, její objevení významně přispělo k rozvoji bioplynových stanic.

Pro další využití bioplynu (např. pro výrobu metanu) se používají keramická molekulární síta. Tyto síta umožní odfiltrování oxidu uhličitého, sulfanu a také vodní páry. Síta se čistí profouknutím. Tato metoda se zatím moc nepoužívá. Další způsob je ochlazení bioplynu, které odstraní vodní páru, ale také další nežádoucí plyny obsažené v bioplynu. Teplota ochlazení bioplynu se pohybuje od 0 do 5 °C. Toto čištění stačí pro dobrou životnost spalovacích motorů kogeneračních jednotek. Dříve, když se bioplyn neochlazoval, tak docházelo k poruchám spalovacích motorů na bioplyn již za několik týdnů provozu. Tyto poruchy byly způsobeny většinou poškozením kluzných ložisek klikové hřídele, ojníc a pístních čepů. Tyto součásti jsou vyrobeny z barevných kovů a jsou napadány látkami, které bioplyn obsahuje ve stopovém množství. Tyto látky jsou ale dosud málo probádané.

3.11 Skladování bioplynu

Bioplyn má tu výhodu, že ho lze skladovat na rozdíl od sluneční nebo větrné energie. Dlouhodobým skladováním se složení bioplynu nemění. Plynojemy vyrovnávají rozdíl mezi spotřebovaným a vyrobeným plynem. Bioplynové zásobníky se dělí na nízkotlaké, středotlaké a vysokotlaké.

Nízkotlaké zásobníky jsou hodně rozšířené. Do nízkotlakých zásobníků se řadí plynojem s vodním uzávěrem (mokrý plynojem). Ten je tvořen zvonem, který je ponořen do vody nebo přímo do substrátu. Hloubka ponoření závisí na naplnění zvonu plynem.

Při velkých rozměrech je zvon veden pomocí obvodových kladek. Výhodou tohoto provedení je skladování bioplynu poměrně pod stálým tlakem. Na materiál zvonů se často používá fólie, která je přímo na fermentoru. Přes plynový zásobník musí být instalována další fólie, která chrání plynojem proti povětrnostním vlivům. Je zde výhoda pokud je plynojem prázdný, motor si nemůže nasát vzduch. V těchto plynojemech je tlak 0,05 až 0,1 mbar (hmotnost plachty).

Středotlaké zásobníky mají tlak 5 až 20 barů. Tyto zásobníky se používají tam, kde není možné použít nízkotlaký plynojem. Zde lze skladovat mnohem větší množství bioplynu než za normálního tlaku. U těchto zásobníků musí být pro odběr bioplynu instalován regulátor tlaku.

Ve vysokotlakých zásobnících je bioplyn stlačen na více než 200 barů. Skladuje se v ocelových lahvích. Stlačování se děje pomocí kompresoru. Toto skladování je nejideálnější, ale při stlačování dochází k velkým ztrátám. Stlačením bioplynem lze pohánět automobily a traktory. Před stlačováním musí být bioplyn vyčištěný.

Ke zkvalitnění bioplynu za normálního tlaku dochází až při teplotě $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$, což je velmi nákladné, a proto se zatím moc nevyužívá.

3.12 Kogenerační jednotky

Jsou srdcem celé bioplynové stanice, zde se vyrobený bioplyn spaluje, např. v pístovém motoru. Plynový motor, který vyrábí současně elektrickou a tepelnou energii, nazýváme kogenerační jednotkou. Motor roztáčí elektrický generátor a při práci motoru vzniká odpadní teplo, kterým lze vytápět. Teplo se získává jednak z kapalinového chlazení motoru a dále z výfukového vedení, kolem kterého se nachází kapalina, která mu odebírá teplo.

3.12.1 Parní turbíny

Použití parních turbín v kogeneračních jednotkách není nic nového. Nejjednodušší je použití s protitlakovou turbínou. Vysokotlaká pára expanduje v turbíně a tím produkuje mechanickou energii, která roztáčí elektrický generátor. Pracovní pára má vysoký vstupní tlak (3 až 16 Mpa). Na výstupu má pára nízkopotenciální energii, která odpovídá potřebám uživatelů. Používají se jednostupňové, dvoustupňové a více stupňové turbíny.

Jednostupňové a dvoustupňové parní turbíny se používají tam, kde jsou menší průtoky páry. Tyto turbíny se nejčastěji spojují s generátorem elektrického proudu pomocí

převodovky. Mají většinou silnou konstrukci, jsou zde malé požadavky na obsluhu. Mají ale menší termodynamickou účinnost. Tyto turbíny se vyrábějí jako vysokootáčkové (až 800 ot./s). Pokud se použije vysokootáčková turbína spojená přímo s generátorem, má soustrojí vysokou účinnost. Axiální turbína může pracovat i s vlhkou párou, ale je zde více obsluhy.

Vícestupňové turbíny mají vyšší termodynamickou účinnost. Připojují se ke generátoru pomocí převodovky. Mají vyšší termodynamickou účinnost. Výhodou parních turbín je, že mají velký rozsah výkonů, vysokou účinnost kogeneračního zdroje a velkou životnost.

3.12.2 Parní motor

Je objemový parní stroj – obrázek 1 – který se skládá z bloku, válců, pístů a šoupátkového rozvodu. Spojuje se většinou napřímo s generátorem. Může pracovat s menším množstvím páry, oproti parním turbínám. Parnímu motoru stačí sytá pára. Jeho provoz je pomalu bezobslužný. Hodí se i do malých provozů. U parního motoru nedochází k znečišťování páry mazacím olejem.

Obrázek 1 – Parní motor



Zdroj: PolyComp.cz

3.12.3 Spalovací turbína

Spalovací turbína se skládá z kompresoru, spalovací komory, plynové turbíny a elektrického generátoru. Kompresor vede stlačený vzduch z atmosféry do spalovací komory, kde se vzduch smíchá s palivem (např. bioplynem) a shoří. Vzniklé spaliny, které mají vysokou teplotu a tlak, pak expandují v plynové turbíně. Spalovací turbíny v kogeneračních jednotkách dosahují výkonového rozsahu 5 až 100 MW. Stačí jim menší zastavěná plocha než parním turbínám s vysokotlakými kotli. Jsou vhodné jak pro dodávky teplé vody tak páry, protože teplota spalin na výstupu turbíny dosahuje 500 °C.

3.12.4 Mikroturbíny

Mají rozsah elektrického výkonu od 25 do 250 kW. Jejich použití je převážně na zemní plyn, ale probíhá jejich vývoj na bioplyn. Jsou to malé, ale vysokootáčkové stroje, které obsahují kompresor, spalovací komoru, regenerační výměník, turbínu a nakonec generátor. Mikroturbíny mají pouze jednu rotační část, proto nepotřebují mazací olej. Používají se zde vzduchem chlazená ložiska. Jsou zde i nižší emise než u spalovacích motorů stejného výkonu. Je zde rychlý nárůst výkonu po odstávce. Malá spotřeba vody a malé rozměry kogenerační jednotky. Mezi nevýhody patří velká hlučnost o vysokém kmitočtu a nižší účinnost ve srovnání se spalovacími motory.

3.12.5 Spalovací motory

Jsou nejrozšířenější v kogeneračních jednotkách pro spalování bioplynu. Používají se buď vznětové nebo zážehové motory. Motory pro bioplynový provoz by měly mít dlouhou životnost při plné zátěži a stálém provozu otáček (1500 ot./min.). Dobrou mechanickou účinnost, jednoduchou údržbu, kapalinové chlazení pro využití odpadního tepla, malou hlučnost a malé emise výfukových plynů.

V zážehových motorech se směs zapaluje elektrickou jiskrou, což je výhodné také pro plyné palivo. Při přestavbě zážehového motoru na bioplyn se musí počítat se ztrátou na výkonu 10 až 15 %. Bioplyn má vyšší odolnost proti „klepání“ než benzín, tak zde nedochází k detonačnímu spalování. Nejdůležitější při přestavbě je dobrý směšovač, aby se bioplyn co nejrovnoměrněji promísil se vzduchem. Motor musí být opatřen tvrzenými sedly ventilů, to proto, že bioplyn nemá žádný chladicí ani mazací účinek. Opatření se týkalo motorů, které spalovaly olovnatý benzín. Zážehové motory mají menší účinnost než motory vznětové. Účinnost se pohybuje mezi 27 % až 43 %. V Německu si často přestavovali zážehové motory z osobních automobilů sami zemědělci. V České republice se upravoval motor ze Škody

Favorit, který poháněl generátor o výkonu 22 KW. Moderní zážehové motory s výkonem nad 3 MW užívají předkomůrku, ve které je stechiometrické složení směsi. Tyto motory dosahují účinnosti až 43 %.

Vznětové motory se používají častěji pro svoji robustní konstrukci a jejich kompresní poměr. Účinnost vznětových motorů je 35 % až 45 %. Jednotkový výkon může dosáhnout až 25 MW. U vznětového motoru se nabízí hned několik variant zapálení bioplynu. Jedna z možností zapálení bioplynu je pomocí zapalovacího vstříku. Jako zapalovací médium se používá např. olej. Jeho podíl by neměl přesáhnout 10 % z celkové spotřeby pohonných hmot. Kromě instalace přídavného směšovače se na motoru nemusí nic upravovat. Nevýhodou je zde stálá spotřeba topného oleje, ale je diskutabilní, jestli je elektřina vyrobená z obnovitelných zdrojů. Další nevýhodou je zanášení vstřikovacích trysek při malém průtoku zapalovacího oleje. Nověji se nahrazuje vstřikovací zařízení vznětových motorů zapalováním pomocí elektrické jiskry. Tato metoda je pro přestavbu finančně i technicky náročnější, ale pak se spaluje jenom samotný bioplyn.

Výfukové zplodiny bioplynových motorů tvoří hlavně vodní pára a oxid uhličitý. Dále jsou zde zastoupeny oxid siřičitý (SO_2), oxidy dusíku (NO_x), oxid uhelnatý (CO), uhlovodíky a saze. Jednotlivé podíly jsou závislé na složení bioplynu.

Pístové spalovací motory jsou vhodné k teplotěnskému využití. Jejich produkcí odpadního tepla. Toto teplo se odebírá z bloku, hlavy válců, oleje, výfuku. Teplo se používá pro vytápění fermentorů, dalších objektů a teplé vody. Při chodu motoru vznikají vibrace a hluk. Kogenerační jednotky proto při umístění musí mít dobré uložení a odhlučnění. Často se také kogenerační jednotky umísťují do speciálních kontejnerů, které jsou dobře zvukově izolovány. Kontejnerové provedení má výhodu rychlé výstavby, stačí jen zpevněná plocha.

3.12.6 Kogenerační zařízení využívající palivové články

Palivové články přeměňují energii obsaženou v palivu přímo na elektrickou energii. Nejčastějším zdrojem energie je vodík. V současné době se využívá jako palivo pro palivové články zemní plyn. Zemní plyn se před použitím do palivového článku musí rozložit na oxidy uhlíku a vodík. Tento rozklad se děje v konvertoru, kde metan reaguje s vodní párou. Plyn musí být dokonale vyčištěn a odsířen. Sírné sloučeniny by mohly zničit katalyzátory, které se nachází v parním reformingu. Kogenerační zařízení s palivovými články je šetrné k životnímu

prostředí, je vhodné pro trvalý provoz. V dnešní době nahrazuje nouzové zdroje, je to nehlučné zařízení s minimálními náklady na provoz. Palivové články mají velkou účinnost.

3.12.7 Stirlingův motor

Robert Stirling si nechal v roce 1816 patentovat tento motor. Teplovzdušný motor se zatím neuplatnil v mobilních zařízeních, ale ve stacionárních zařízeních si našel své místo, a to zejména v kogeneračních jednotkách. Schéma Stirlingova motoru – obrázek 2. Motor má dvě komory, horkou a studenou, tvořené pracovními prostory levého a pravého válce. Pracovní látka se nevyměňuje během práce motoru, nýbrž se přemísťuje z jednoho do druhého válce. Oba hřídele se otáčejí stejně, jenom s tím rozdílem, že jsou písty pootočený o 90°. Teplo je přiváděno k pracovnímu plynu u Stirlingova motoru z vnějšku. Jedná se o motor s vnějším spalováním. Maximální tlak se pohybuje mezi 15 až 20 MPa, teplota plynu 630 °C až 730 °C. Moderní Stirlingův motor má dobrou účinnost, tichý chod, dlouhou životnost. K nevýhodám patří velká hmotnost na jednotku výkonu, technická náročnost těsnění a vyšší cena pro náročnost technických montáží a materiálů. V české republice se zkouší Stirlingův motor o elektrickém výkonu 7,5 kW.

Obrázek 2 – Stirlingův motor



Zdroj: stirling.cz

3.12.8 Generátory elektrické energie

K výrobě elektrického proudu se nejčastěji používají asynchronní generátory, méně často generátory synchronní.

Asynchronní generátor je trojfázový motor s kotvou nakrátko. Pokud motor roztáčíme (např. pomocí spalovacího motoru) většími otáčkami, než jsou jmenovité otáčky motoru, začne motor vyrábět elektrický proud, který je dodáván do sítě. Zároveň odebírá ze sítě jalový proud, který potřebuje pro magnetické buzení. Toto buzení zároveň stabilizuje počet otáček v určitých mezích, závislých na výkonu generátoru. Říká se, že asynchronní generátor sleduje síť. Asynchronní generátory jsou robustní. Pokud vypadne síť, tak generátor nemůže dodávat elektrický proud. Bioplynový motor kromě toho nevyžaduje žádnou regulaci. Ta se provede jenom přívodem plynu, aby motor dával požadovaný výkon.

Synchronní generátor může pracovat nezávisle na síti. Proud potřebný k buzení si sami vyrábí pomocí malého generátoru, který je umístěn na hřídeli kotvi. U těchto generátorů se musí synchronizovat otáčky se sítovou frekvencí. Bioplynový motor proto musí mít regulátor otáček a regulátor množství plynu. U velkých výkonů jsou ceny pořízení stejné, jak u asynchronního, tak synchronního generátoru. Pokud vypadne distribuční síť, tak musí dojít k odpojení generátoru od této sítě.

4 Bioplyn – alternativní plynné palivo pro pístové spalovací motory dopravních prostředků

Aby se mohl bioplyn používat jako plynné palivo pro pístové spalovací motory dopravních prostředků musí se upravit na tzv. biometan. V České republice se zatím bioplyn používá výhradně jako palivo pro kogenerační jednotky. Velký vliv zde má zavedená podpora na výrobu elektrické energie z obnovitelných zdrojů. V zahraničí se proto u bioplynových stanic dodává úprava bioplynu, která bioplyn upravuje na biometan. Biometan, který se dodává do distribuční sítě, musí mít stejné složení a výhřevnost jako zemní plyn. Jako palivo pro spalovací motory je biometan šetrnější k životnímu prostředí v porovnání s benzinem či naftou. Ani přísady jako bioetanol nebo biodiesel, které se vyrábí z cíleně pěstovaných plodin, se nevyrovnají hektarovým energetickým ziskem plodinám pěstovaným pro biometan.

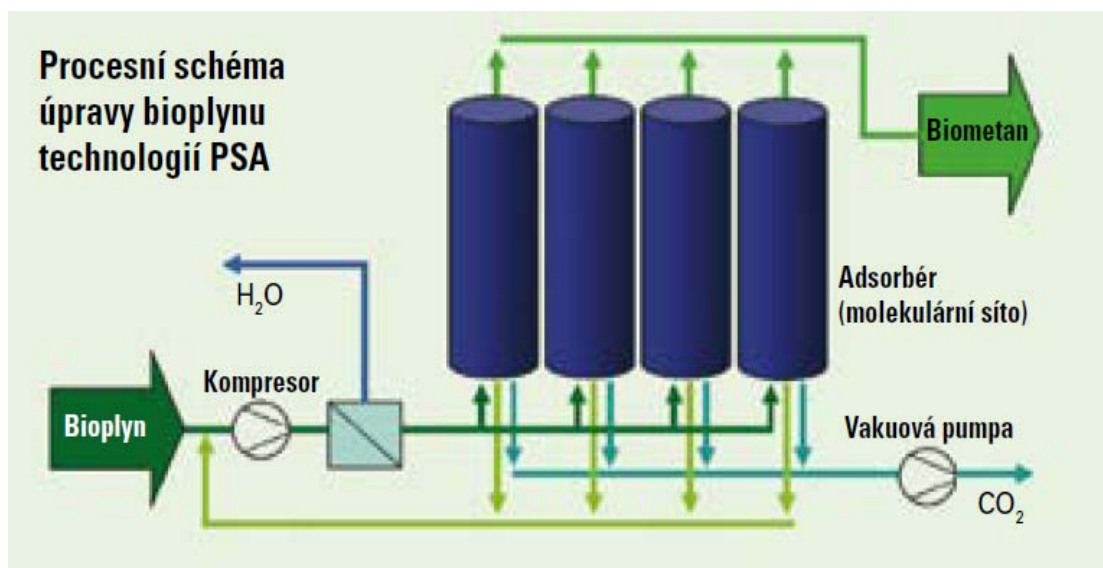
Také energetická bilance vstupů a výstupů při výrobě biopaliv je pro bioplyn pozitivnější. „V případě výroby bioplynu z kukuřice jsou energetické vstupy, jenž je nutné

vložit do vypěstování kukuřice, v porovnání s výnosem v podobě dále využitelné zelené hmoty asi v poměru 1:3. Po odečtu vlastní technologické spotřeby bioplynové stanice (v závislosti na použité technologii anaerobní fermentace představuje zpravidla 15-20 % energie obsažené ve vyráběném bioplynu) tento poměr klesá na přibližně 1:2,5 a po odečtu vlastní spotřeby případného čištění bioplynu na kvalitu zemního plynu (opět ve výši 15-20 % v závislosti na typu technologie a finální tlakové úrovni plynu při konečném využití) pak následných asi 1:2.“ [3]

Zdrojem pro výrobu bioplynu jsou ale také nejrůznější organické odpady. Například z jedné tuny bioodpadu z kuchyně se může vyrobit palivo, na které se dá ujet 200 a více kilometrů. Aby se z bioplynu stal biometan musí se z něho oddělit oxid uhličitý a další nežádoucí látky. Toto oddělování (čištění) se provádí jednou z níže uvedených metod.

Adsorpce – technologie PSA (Pressure Swing Adsorption) našla zatím v reálném provozu největší uplatnění. Pro separaci oxidu uhličitého se využívá tzv. Van der Waalsových sil, které vážou molekuly oxidu uhličitého na povrch vysoce porézní pevné látky (např. aktivní uhlí). Adsorpce je děj, který probíhá za zvýšeného tlaku, desorpce děj, který probíhá ve vakuu. V adsorbéru se tak opakovaně mění tlakové podmínky. Aby byla produkce biometanu nepřerušovaná, musí se instalovat několik adsorbérů (nejčastěji čtyři). Ty pak pracují paralelně a nacházejí se každý v jiné fázi procesu. Procesní schéma úpravy bioplynu – obrázek 3. Bioplyn, který je zbavený síry se stlačuje na 0,4 – 0,7 MPa, ochlazuje se na teplotu 10 až 20 °C a odloučí se voda, která během procesu zkondenzovala. Takto vyčištěný bioplyn se přivede zespoda do adsorbéru, ve kterém je molekulární síto, které tvoří velmi jemně rozemletý uhlík v extrudované podobě. Zde se zachycuje oxid uhličitý, zbytkový obsah vody a sulfanu. Z horní části se odebírá metan o koncentraci 95 – 98 %.

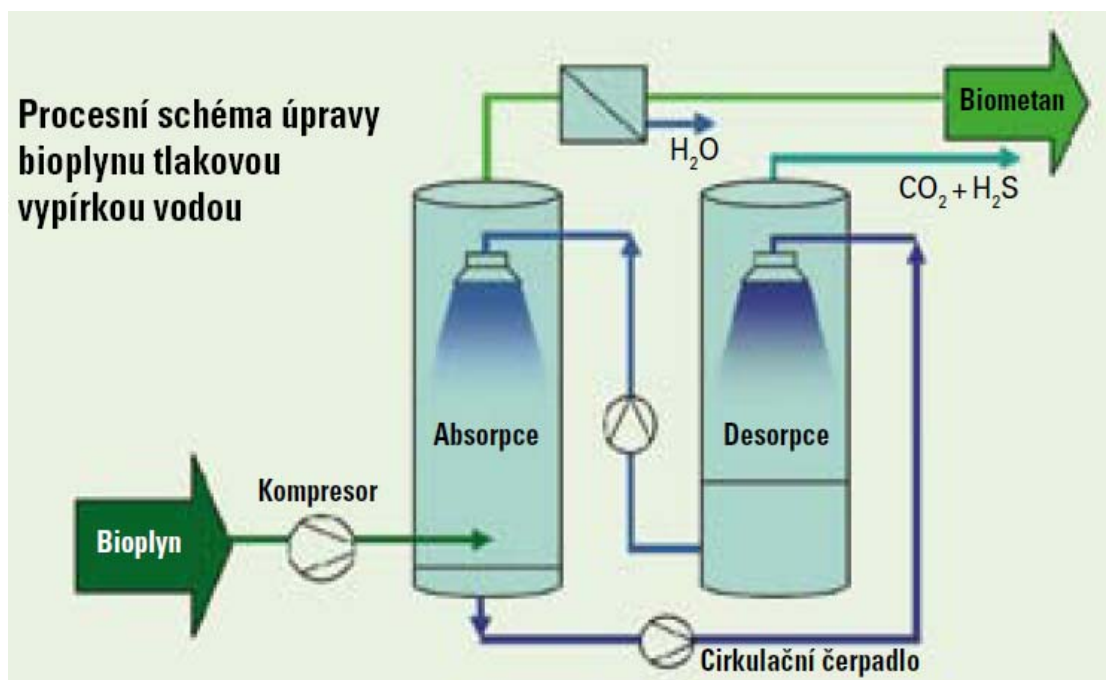
Obrázek 3 – Procesní schéma úpravy bioplynu technologií PSA



Zdroj: madegascar.eu

Tlaková vypírka využívá odlišné rozpustnosti nežádoucích látek v bioplynu. Jako pracovní médium se nejčastěji používá voda. Bioplyn se dvoustupňově stlačuje s mezichlazením a při teplotě 15 °C a tlaku 0,3 – 0,7 MPa vstupuje zespoda do absorpční kolony – obrázek 4. Do horní části se vstříkuje voda, která zachycuje svým proudem nežádoucí příměsi stoupajícího bioplynu. Voda ze spodní části kolony se odčerpává do expanzní nádoby a po uvolnění na atmosférický tlak do desorpční kolony, ve které se rozpuštěné plyny uvolní za pomoci vzduchu do atmosféry. Pro vyšší účinnost procesu je kolona uvnitř vybavena porézním materiálem, aby se dosáhla co největší plocha. Větší účinnosti čištění se také dosáhne, pokud se voda nahradí organickými rozpouštědly (Selexol, Genosorb).

Obrázek 4 – Procesní schéma úpravy bioplynu tlakovou vypírkou vodou

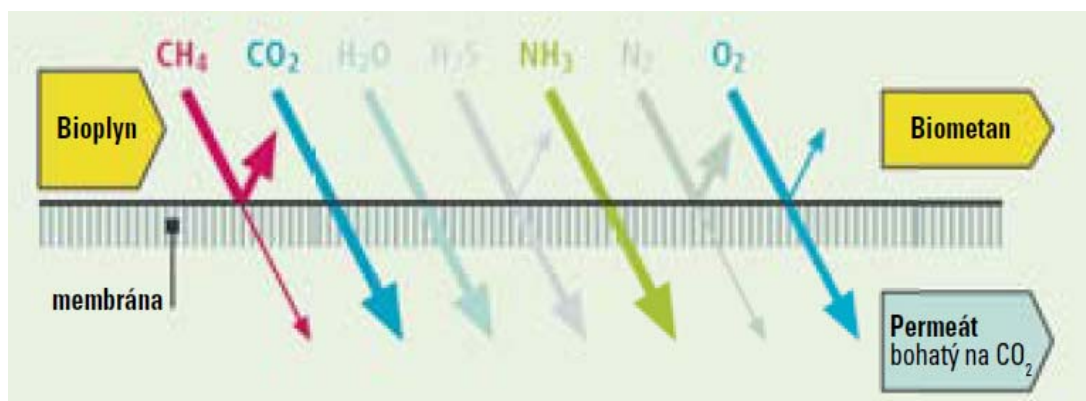


Zdroj: madagascar.eu

Dále do této skupiny patří chemická vypírka. Chemická vypírka má tu výhodu oproti tlakové vypírce, že je zde vyšší schopnost a rozpustnost nežádoucích plynů při atmosférickém tlaku. Proces chemické vypírky je velmi podobný jako u tlakové vypírky. Liší se způsobem absorpce a pracovními podmínkami. Bioplyn se stlačuje na 50 kPa (aby se překonal odpor vodní sprchy) o teplotě 10 °C. Sorbent se ředí vodou a nežádoucí plyny jsou vázány chemicky. Aby se mohl sorbent obsahující nežádoucí plyny znovu použít, provádí se jeho regenerace, a to zahřátím na teplotu přes 100 °C.

Membránová separace – obrázek 5 – využívá rozdílné průchodnosti složek bioplynu tenkou polymerovou membránou. Všechny složky membránou projdou, zatímco metan zůstane před membránou. Závislost vyčištění a obsahu metanu závisí na materiálu a stáří membrány.

Obrázek 5 – Membránová separace



Zdroj: madagascar.eu

Nízkoteplotní rektifikace využívá rozdílné teploty bodu varu oxidu uhličitého (-78 °C) a metanu (-161 °C). Bioplyn se ochladí (min. -80 °C), tím se nežádoucí složky zkapalní. Tato metoda produkuje velmi čistý plyn (více než 99 % metanu) a dále se dá použít zkapalněný oxid uhličitý. Pokud se zkapalní i biometan, tak se může stát náhradou za LNG. Tato metoda má ale velké vstupní a energetické náklady a zatím se nejméně využívá.

4.1 Využití bioplynu v pístových spalovacích motorech v ČR a v zahraničí

V České republice se bioplyn používá jako motorové palivo pro kogenerační jednotky. Jako plynné palivo pro automobily si biometan nenašel v ČR zatím své místo. Kolem roku 1990 byly v Československu prováděny přestavby automobilů na bioplyn, ale zůstalo jen u několika prototypů. Některé z nich čekají na svoje znovuobjevení a zdokonalení.

Aby biometan mohl být v ČR používán jako motorové palivo dopravních prostředků, musí splňovat pravidla TPG 902 02 – viz tabulka 2. Tyto požadavky vstoupily v platnost 1. 3. 2009. Dané hodnoty jsou doporučením a provozovatel místní plynárenské sítě může požadovat i jiné složení. Pro přímé využití bioplynu jako motorového paliva (bez dopravy plynárenskou sítí) jsou hodnoty definovány ve vyhlášce ČSN 65 6514. Tato norma, která vstoupila v platnost 1. 1. 2008 je českým překladem švédského standartu SS 15 54 38. V České republice nejsou zatím řešeny majetkoprávní vztahy, kde by se řešilo, kdo bude platit připojení na distribuční síť, kvalitu měření vykupovaného biometanu, atd. Tyto otázky by měla řešit vláda v letošním roce, kdy má dojít ke změně předpisů k energetickému zákonu č. 458/2000 Sb. Další neznámou věcí je cena biometanu, za kterou by ho bylo možno

prodávat na českém trhu. V zahraničí se prosazuje, aby byla cena stejná jako u zemního plynu. V dnešní době je podporována výroba elektřiny z bioplynu, jakožto z obnovitelného zdroje. Výkupní cena elektrické energie ke dni 5. 5. 2010 byla 4,348 Kč. V této ceně jsou zahrnuté čtyři položky (zelený bonus, decentralizace, vyžití tepla, výkup společnosti E.ON).

Tabulka 2 - Požadavky na biometan podle TPG 902 02

Parametr	Hodnota
Wobbeho číslo	12,7 – 14,5 kWh/m ³
Spálené teplo	9,4 – 11,8 kWh/m ³
Obsah metanu	Min. 95 % mol.
Obsah vody (vyjádřený jako teplota rosného bodu vody)	Max. -10 °C 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. 5,0 mg.m ⁻³
Obsah sulfanu (bez odorantů)	Max. 7,0 mg.m ⁻³
Obsah amoniaku	nepřítomen
Halogenové sloučeniny	Max. 1,5 mg(Cl+F).m ⁻³
Organické sloučeniny křemíku	Max. 6,0 mg(Si).m ⁻³
Mlha, prach, kondenzáty	nepřítomny

Zdroj: madagascar.eu

Biometan se dnes požívá v některých evropských městech (Rakousko, Francie, Španělsko, Švédsko, Švýcarsko, Německo) jako palivo pro automobily a především pro autobusy. Tato automobilová doprava je ekologičtější, má přijatelné ekonomické náklady a je nezávislá na konvenčních motorových palivech. V následujících řádcích jsou zmíněny nejzajímavější zahraniční projekty.

4.1.1 Švýcarsko

Ve městě Bern hromadná doprava jezdí na zemní plyn a od roku 2007 se začíná CNG nahrazovat biometanem. Bioplyn se vyrábí v místní čistírně odpadních vod. Tato čistírna je v provozu od roku 1967 a zpracovává odpad asi od 190 000 domácností. Dále se využívá odpad z místního potravinářského průmyslu a stravovacích provozů. Od roku 2007 se bioplyn čistí pomocí tlakové adsorbce PSA. Biometan se pak dodává do místní plynárenské sítě. Produkce biometanu je asi 25 % (1,5 mil. Nm³ biometanu) z celkové produkce bioplynu. Vyrobený biometan se primárně využívá pro městské CNG autobusy. Tyto autobusy zahájily provoz v roce 2006. Studie ukázala, že provoz na biometan je nejvýhodnější ekologická alternativa, která zajistí redukci emisí (CO, NO_x, CO₂). Díky budovaným plnicím stanicím pro městskou hromadnou dopravu se zvýšil i počet (v roce 2008 na 950) osobních vozidel na biometan. Další využití bioplynu (75 %) je na výrobu elektrické energie (30 % vlastní spotřeba), výrobu tepla (více než 20 % vlastní spotřeba). Vysušený kal se používá jako palivo v cementářské výrobě.

4.1.2 Německo

Od počátku devadesátých let se v Berlíně snaží snižovat emise škodlivin z dopravy. Proto se budují plnicí stanice na zemní plyn. V roce 2009 byla uvedena do provozu první bioplynová stanice na biometan. Zařízení má zpracovávat více než 40 tisíc tun organické hmoty. Roční produkce by měla být cca 10 mil. Nm³ bioplynu. Vyrobený plyn z velké části zásobuje plynárenské sítě. Suroviny pro bioplynovou stanici se získávají z plochy cca jeden tisíc hektarů. Vedlejší produkt bude hnojivo. Do roku 2020 je cílem zvýšit podíl biometanu na 10 % celkové spotřeby zemního plynu ve městě. K tomu by mělo být vybudováno celkem 15 bioplynových stanic. Bioplyn se na kvalitu biometanu upravuje pomocí víceetapové technologie čištění. Využívá se zde technologie absorpce oxidu uhličitého, nikoliv za použití vody, ale za pomoci organického rozpouštědla. Zde je výhoda, že rozpouštědlo jímá vodu, tak se biometan nemusí dosušet, splňuje-li rosný bod vody. Stanice upraví 1 000 Nm³/hod. bioplynu, což je asi 520 Nm³/hod. biometanu. Biometan se poté stlačuje na 11 barů a dodává

se do distribuční sítě. V Berlíně začínají jezdit na biometan vozy svážející odpad, kde je cílem zajistit pro ně vlastní palivo.

4.1.3 Švédsko

Město Stockholm chce do roku 2050 být nezávislé na fosilních palivech. Ve městě jezdí už přes čtyři tisíce vozidel na biometan. Zdrojem bioplynu jsou dvě čistící stanice odpadních vod. První stanice zpracovává denně 130 000 m³ vod. Roční výroba bioplynu je 21 000 MWh. Druhá čistička odpadních vod patří k největším na světě. Vedle kalů zpracovává také tuky z lapačů tuků (25 000 tun/rok) a malé množství bioodpadu (2 000 tun/rok). Vyhnílý kal je využíván materiálově, a to pro rekultivaci bývalých dolů. Výroba biometanu se poprvé uskutečnila v roce 1996. Úprava bioplynu na biometan využívá technologii PSA a první čistička využívá technologii tlakové vodní vypírky. Toto čištění o kapacitě 1 200 Nm³/hod. patří zatím k největším na světě. Zatím ale nepracuje na stoprocentní výkon. V budoucnu se počítá s vybudováním dvou dalších čistíček odpadních vod a jedné bioplynové stanice pro zemědělské produkty. Ve městě není rozvod zemního plynu, takže plnicí stanice jsou zásobovány jen biometanem. Dvě stanice jsou přímo spojeny s výrobnou biometanu potrubím, ostatním stanicím se biometan dováží kontejnerovou dopravou. Další využití bioplynu je pro domácnosti, které je využívají na vaření. Pro větší počet uživatelů se musí udělat plynárenské sítě. Vozidla jezdící na alternativní paliva jsou zohledňována na daních, mají menší mýtné, bezplatné parkování v centru.

5 Konverze vznětových motorů na bioplyn

Vznětové motory mohou být přestavěny jako jednopalivové (palivo bioplyn), anebo jako dvoupalivové (nafta + bioplyn).

5.1 Konverze vznětového motoru MAN na zážehový pro spalování bioplynu

Motor MAN E 2848 LE 322 je na obrázku 6. Tímto typem motoru jsou osazeny dvě kogenerační jednotky Obchodního družstva Soběšice – obrázek 7. Plynové motory pohánějí elektrické generátory o celkovém výkonu 498 kW. Bioplynová stanice se začala budovat 1. 5. 2008 v místním obchodním družstvu a byla uvedena do provozu 14. 11. téhož roku. Bioplynová stanice – obrázek 8 – zpracovává biologicky rozložitelné odpady. Hlavním nosičem je hovězí kejda, dále kukuřičná siláž a travní senáž. Technologie bioplynové stanice se sestává z fermentoru, dofermentoru o objemech 1 856 m³ a koncovém skladu, který pojme

4 000 m³. Bioplyn se zde vyrábí dvoustupňovou fermentací s dobou zdržení substrátu 32 dní. Aby se mohl bioplyn spalovat v kogeneračních jednotkách, provádí se jeho odsiřování pomocí nafoukávání vzduchu do fermentoru, kde vzduch ještě napomáhá odvádět obsah fermentoru do dofermentoru a pak ke koncovému skladu. Další čištění se provádí ochlazením bioplynu na 5 °C. Takto upravený bioplyn slouží jako palivo pro kogenerační jednotky.

Obrázek 6 – Plynový motor MAN E 2848 LE 322



Zdroj: biogas-hagl.de

Obrázek 7 - Kogenerační jednotky



Obrázek 8 - Bioplynová stanice Soběšice



Technické parametry motoru MAN E 2848 LE 322 uvádí následující tabulky. Výkonové parametry platí při složení bioplynu (60 % metanu a 40 % oxidu uhličitém). Výhřevnost bioplynu 6 kWh/Nm³.

Podmínky měření: absolutní tlak 100 kPa,

teplota vzduchu..... 25 °C,

vlhkost vzduchu..... 30 %.

Tabulka 3 - Technické parametry motoru MAN E 2848 LE 322

Počet válců	8 do V
Jmenovité otáčky	1500ot./min
Výkon podle ISO	265KW
λ	1,45
Vrtání	128 mm
Zdvih	142 mm
Zdvihový objem válců	14,62 dm ³ (litru)
Směr otáčení klikového hřídele	Vlevo
Kompresní poměr	12:1
Střední efektivní tlak pracovního oběhu	14,5 baru
Střední rychlost pístu	7,10 m/s
Spotřeba mazacího oleje	0,08 kg/h
Množství mazacího oleje min./max.	30/70 litrů
Max. tlak chladicí kapaliny	3 bary
Šířka motoru	1172 mm
Délka motoru	1210 mm
Výška motoru	1340 mm
Váha motoru	1200 kg

Tabulka 4 - Výkonové parametry motoru MAN E 2848 LE 322

	$\lambda = 1,45$	$\lambda = 1,42$	$\lambda = 1,39$
Zatížení	100 %	75 %	50 %
Předstih	18°	18°	18°
Výkon	265 KW	199 KW	132KW
Tepelný výkon	152 KW	130 KW	105 KW
Tepelný výkon druhého stupně okruhu chlazení směsi	22 KW	9 KW	0 KW
Tepelný výkon prvního stupně	17 KW	12 KW	11 KW
Tepelný výkon výfukových spalin	152 KW	117 KW	79 KW
Max. vyzařované teplo	19 KW	15 KW	11 KW
Příkon v palivu	657 KW	510 KW	350 KW
Spotřeba paliva	8,9 MJ/KWh	9,2 MJ/KWh	9,5 MJ/KWh

Tabulka 5 - Účinnost motoru MAN E 2848 LE 322

Mechanická	40,5 %	39,0 %	37,7 %
Tepelná	49,6 %	50,2 %	52,5 %
Celková	90,1 %	89,3 %	90,2 %

Tabulka 6 - Spotřeba a emise motoru MAN E 2848 LE 322

Vzduchu	1177 kg/h	895 kg/h	601 kg/h
Bioplynu	134 kg/h	104 kg/h	71 kg/h
Množství spalin	1311 kg/h	999 kg/h	673 kg/h
Teplota spalin	470 °C	475 °C	474 °C
Emisní hodnoty			
NO _x	< 500 mg/Nm ³	při 5 % zbytkového kyslíku	
CO	< 1000 mg/Nm ³	při 5 % zbytkového kyslíku	
HCHO	< 60 mg/Nm ³	při 5 % zbytkového kyslíku	

Motor kogenerační jednotky je odvozen ze vznětového lodního motoru. Tento motor se upravil, aby se v něm mohl spalovat bioplyn. Největší úprava se týkala kompresního poměru. Původní vznětový motor má kompresní poměr 13,5:1. Plynový motor má sníženou kompresi na 12:1. Úprava hlavy válců spočívala v nahrazení vstřikovače zapalovací svíčkou. Tento motor je osazen zapalovacími svíčkami zn. Denso. Svíčky mají elektrody ze speciální iridiové slitiny. Tyto zapalovací svíčky mají na centrální elektrodě příčné drážkování – obrázek 9 – které vyvolá snížení zapalovacího napětí (až o 4 kV) – obrázek 10 – to umožňuje spolehlivé zapálení směsi a dlouhé servisní intervaly.

Obrázek 9 - Příčné drážkování na střední elektrodě zapalovací svíčky



Zdroj: motortech.de

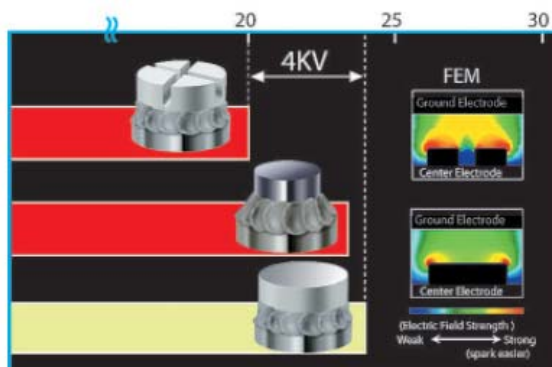
Obrázek 10 - Snížení zapalovacího napětí způsobené drážkováním na elektrodě

Required Voltage

IRIDIUM SAVER PERFORMER

IRIDIUM SAVER

Conventional Plug



Zdroj: motortech.de

Na každou zapalovací svíčku přísluší jeden zapalovací transformátor – obrázek 11. Zapalování je plně elektronické. Řídící jednotka vyhodnocuje údaje snímačů (otáčky motoru, polohu škrtkové klapky) a na základě jejich vyhodnocení nastavuje předstih 18° .

Obrázek 11 - Zapalovací transformátor



Bioplyn do kogenerační jednotky vhání dmychadlo – obrázek 12. Toto dmychadlo se automaticky zapíná před spuštěním motoru a po vypnutí motoru je ještě krátce v činnosti.

Obrázek 12 - Dmychadlo

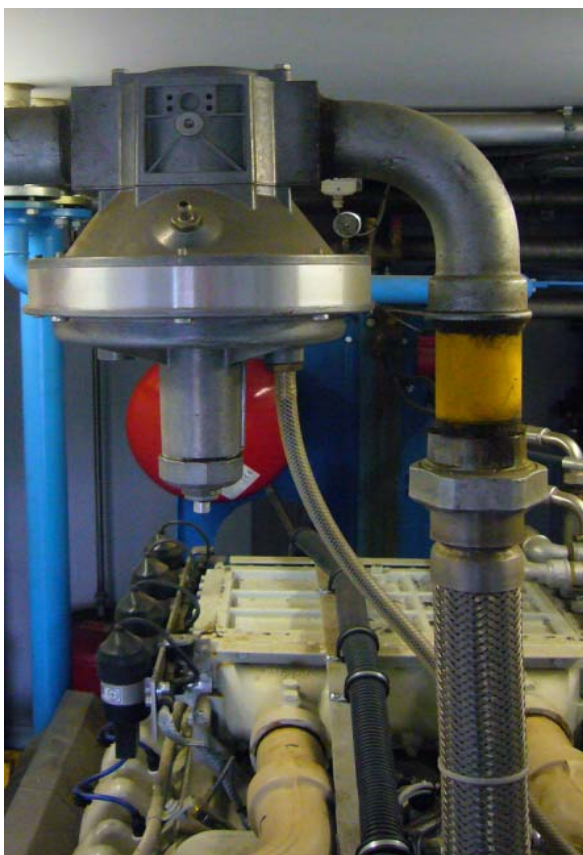


Bioplyn je vháněn přes filtr – obrázek 13. Z filtru přes uzavírací ventil proudí do regulátoru tlaku – obrázek 14.

Obrázek 13 - Filtr bioplynu



Obrázek 14 - Regulátor tlaku bioplynu

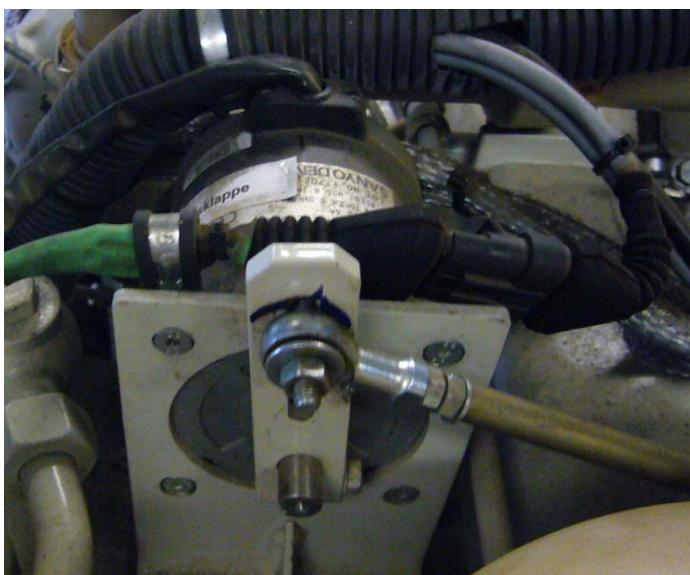


Regulátor tlaku upravuje bioplyn na hodnotu 0,4 mbar. Na obrázku 15 je směšovač, kde se bioplyn mísí se vzduchem. Takto vytvořená směs proudí přes dvě turbodmychadla, která přes dvoustupňový chladič plnicího vzduchu vhání směs přes škrťací klapku do spalovacího prostoru. Škrťací klapka je ovládána krokovým motorem – obrázek 16 – z kterého se také odebírá signál, který určuje polohu škrťací klapky.

Obrázek 15 - Směšovač



Obrázek 16 - Krokový motor



Na motoru se nacházejí další snímače, které mají bezpečnostní vliv. Jsou zde snímače chladicí kapaliny (teplota, tlak, hladinový spínač), dále teplota a tlak nasávané směsi, snímač tlaku a teploty oleje. Dále je zde lambda sonda, která určuje bohatost směsi. Motor je chlazen

přes výměník do okruhu topení. Pro větší tepelné využití mohou výfukové spaliny procházet také přes svůj tepelný výměník.

Motory byly ke dni 5. 5. 2010 v provozu 10 380 motohodin. Servisní intervaly jsou zde po 400 motohodinách. Tento servis obsahuje výměnu motorového oleje a olejových filtrů. Vzduchový filtr se podle stavu buď vymění, nebo se vyfouká stlačeným vzduchem. Dále se při servisu kontrolují zapalovací svíčky. Na těchto svíčkách se nastavuje vzdálenost elektrod na 0,3 mm, která se provozem zvětšuje. Pokud zapalovací svíčka vykazuje viditelné závady, tak se nahrazuje novou. I přes seřízení odtrhu může vykazovat zapalovací svíčka špatné spalování (nejpřesnější stav zapalovací svíčky se dá zjistit pomocí osciloskopu, kde je vidět velikost zapalovacího napětí, průběh a čas hoření). Špatné spalování se projevuje nepravidelným chodem spalovacího motoru. Dále se vizuálně kontroluje stav motoru, spojů, generátoru, elektrického vedení. Při velkém servisu se navíc seřizují ventily a mění plynový filtr. Na motorech se vyskytla během provozu závada, a to havárie turbodmychadel, na kterých prasklo těleso turbodmychadla a začala unikat chladicí kapalina. Tato závada se vyskytla na obou motorech a byla způsobena špatně zvolenou chladicí kapalinou, která zapříčinila neprůchodnost chladicího vedení k turbodmychadlům.

5.2 Konverze vznětového motoru na traktoru Steyr 6195 CVT

Tento projekt ukazuje na možnosti využití bioplynu jako motorového paliva především pro majitele bioplynových stanic, kteří chtějí využít vyrobený bioplyn jiným způsobem než je kogenerace, anebo mají velký přebytek bioplynu. Je ověřeno, že motory spalující biometan produkují méně škodlivých emisí než motory spalující naftu. Motor traktoru je šestiválcový vznětový o objemu 6,6 dm³. Motor dosahuje maximálního výkonu 141 kW při 2 100 ot./min. Nafta se vstříkuje pomocí moderního vstřikování Common Rail. Traktor Steyr – obrázek 17 – je vybaven tzv. duálním palivovým systémem, což znamená provoz na naftu, a nebo nafta plus biometan. Kapalné palivo přitom slouží ke vznícení plynného paliva. Přímé použití biometanu není možné, protože má nulovou hodnotu cetanového čísla a vysokou teplotu vznícení.

Obrázek 17 -Traktor Steyr 6195 CVT



Zdroj: landtechnikmagazin.de

Tlakové nádoby na biometan mohou být na traktoru umístěné na čtyřech místech. Jedna nádoba je vždy umístěna na traktoru trvale. Tato nádoba bývá umístěná na střeše traktoru nebo pod traktorem. Má vodní objem 16 litrů. Dalších devět tlakových nádob o jednotlivém objemu 22 litrů jsou přídatné nádrže, které se umísťují místo závěsného nářadí do zadního nebo do předního nosiče nářadí – obrázek 18. Podle práce, kterou traktor bude konat, se zavěsí nádoby dopředu, nebo dozadu (zde je výhoda, že zásobníky slouží zároveň jako závaží) a tím se zvyšuje dojezd vozidla. Poslední výhodou je rychlá výměna prázdné nádoby za plnou (nemusí se čekat, než se plyn přečerpá). Nevýhoda je investice do dvou nádob, které se mezi sebou vyměňují. Biometan je stlačen v nádržích na hodnotu 200 MPa.

Obrázek 18 - Nádrž biometanu na předním nosiči nářadí

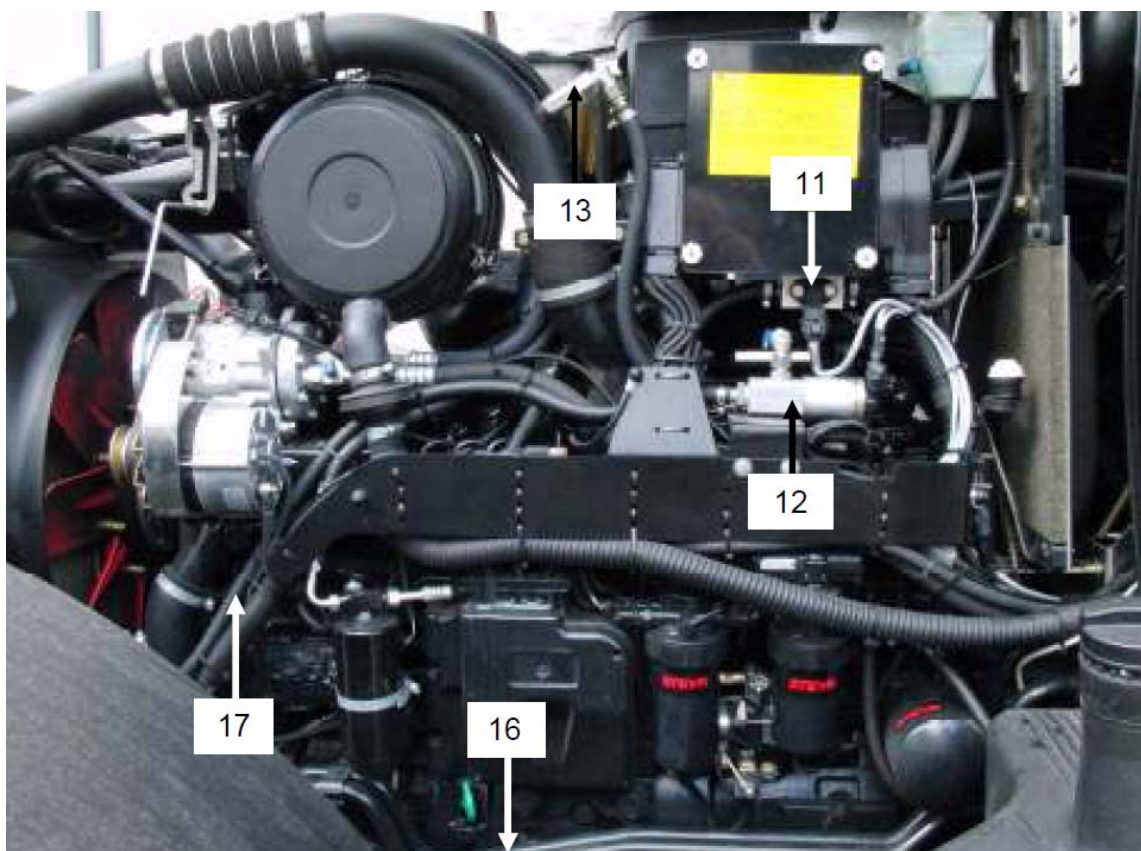


Zdroj: landtechnikmagazin.de

Bioplyn musí být před plněním do traktoru vyčištěn, aby obsahoval 95 až 97 % metanu. Z tlakových zásobníků se plyn vede přes zpětný ventil do regulátoru tlaku, který sníží tlak na hodnotu 3,8 baru. Snížený tlak plynu se vede k dávkovacímu ventilu, který je umístěný v sacím potrubí a je společný pro všechny válce. Dále palivová soustava obsahuje snímače (otáček motoru, teploty výfukových plynů, tlaku plynu, snímač nasávaného vzduchu). Palivová soustava je znázorněna na obrázku 19. Schematické znázornění duální soustavy je na obrázku 20. Řídící jednotka zajišťuje funkci výkonnostního regulátoru. Běžný palivový systém je doplněn o druhou palivovou soustavu, která dává biometan do sání a tím zvyšuje obsah energií paliv přiváděných do spalovacího prostoru. Řídící jednotka Common Rail pozná, že pro udržení stávajících otáček může snížit množství vstříkované nafty. Množství přiváděného plynu vychází z úplné charakteristiky motoru s rozbořem vstříkovaného množství paliva v závislosti na otáčkách a velikosti točivého momentu. Charakteristika byla změřena v laboratorních podmínkách a uložena do řídicí jednotky plynové soustavy.

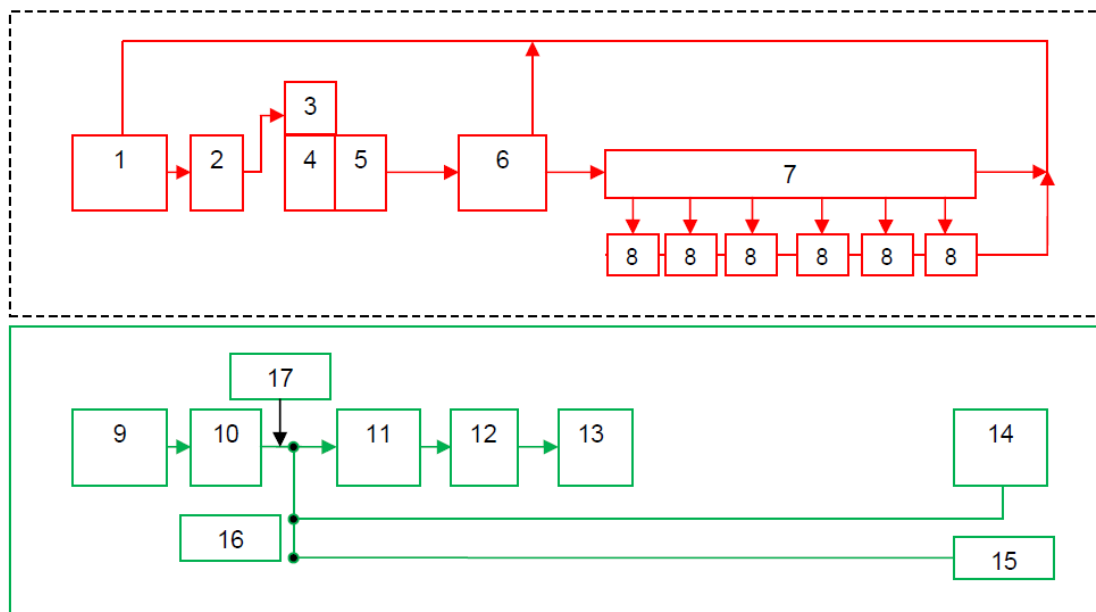
Z ekologického hlediska je plyné palivo přínosné, protože obsahuje malé množství uhlíku. Biometan obsahuje vysokou koncentraci metanu a ten obsahuje jeden atom uhlíku, přičemž motorová nafta jich obsahuje přibližně 15. Tím při dokonalém spalování klesá CO_2 o 20 až 25 %. Podíl motorové nafty může klesnout až o 40 %.

Obrázek 19 - Palivová soustava traktoru Steyr



Zdroj: landtechnikmagazin.de

Obrázek 20 - Schéma palivové soustavy na duální provoz



Zdroj: landtechnikmagazin.de

Palivový okruh pro naftu: 1) palivová nádrž, 2) hrubý filtr, 3) podávací čerpadlo, 4) hrubý filtr, 5) jemný filtr, 6) vysokotlaké čerpadlo, 7) tlakový zásobník, 8) vstřikovače.

Palivový okruh pro biometan: 9) tlakové lahve, 10) zpětný ventil, 11) regulátor tlaku, 12) dávkovací ventil, 13) připojení k sacímu potrubí, 14) tlakové lahve ve spodní části traktoru, 15) připojení tlakových lahví z nosiče nářadí, 16) vedení k tlakovým lahvím ve spodní části traktoru a připojení tlakových lahví z nosiče nářadí, 17) vedení od tlakových lahví.

Mezi výhody patří malé emise škodlivin a nedochází k ředění motorového oleje palivem. Hlavní nevýhody jsou: vysoké vstupní náklady (cena přestavby traktoru 15 000 euro), a to jak na přestavbu motoru, tak na čištění bioplynu.

Závěr

Evropská komise vypracovala a přijala 7. 11. 2001 program pro využití alternativních pohonných hmot v dopravě a současně vypracovala i opatření, jež by měla splnění tohoto programu zajistit. Program předpokládá, že do roku 2020 by mělo být nahrazeno 20 % motorových paliv vyráběných na bázi ropné suroviny alternativními palivy, biopalivy, zemním plynem a vodíkem. S ohledem na menší výhřevnost některých typů biopaliv je jejich podíl definován na bázi celkového energetického obsahu (e.o) automobilového benzínu a motorové nafty spotřebovaných pro dopravní účely v daném kalendářním roce. Pro tuto problematiku využití biopaliv v dopravě přijaly Evropský parlament a Evropská rada tzv. Akční plán a dvě směrnice. Jednou z těchto dvou směrnic je směrnice 2003/30/EC o podpoře využívání biopaliv a jiných obnovitelných zdrojů v dopravě a druhou pak směrnice 2003/96/EC týkající se zdanění energetických produktů. Tyto směrnice obsahují regulační a fiskální rámec podpory biopaliv. V akčním plánu je definována strategie pro dosažení plánované náhrady 20 % klasických kapalných motorových paliv alternativními palivy do roku 2020.

Směrnice 2003/30/EC vybízí členské země k zajištění minimálního podílu biopaliv a jiných alternativních pohonných paliv na jejich národních trzích a v tomto ohledu stanoví národní indikativní cíle (priority). Jako referenční hodnota pro tyto cíle byla navržena pro rok 2005 hodnota 2 % (e.o.), v roce 2010 by mělo být dosaženo hodnoty podílu 5,75 % (e.o.) a do roku 2020 by se měl tento podíl zvětšit na 8 % (e.o.).

Většina evropských států věnuje požadavkům vyplývajícím ze směrnice 2003/30/EC velkou pozornost. Příklady uvedené v této bakalářské práci s využitím biometanu jako motorového paliva v dopravních prostředcích tento fakt potvrzují. Česká republika nesplnila v roce 2005 stanovený minimální indikativní cíl spotřeby biopaliv v dopravě 2 % (e.o.). V roce 2005 bylo dosaženo pouze 0,046 % (e.o.) náhrady fosilních motorových paliv. Ani v roce 2010 není reálný předpoklad, že Česká republika splní minimální indikativní cíl spotřeby biopaliv v dopravě 5,75 % (e.o.).

Podle příkladu s využitím biometanu v Rakousku, Francii, Španělsku, Švédsku, Švýcarsku, Německu jako paliva pro automobily a pro autobusy se nabízí možnost využití biometanu pro pohon dopravních prostředků i v ČR. Absence využívání biometanu jako

alternativního paliva pro dopravní prostředky v České republice mě vedla k tomu, abych se problematikou využívání bioplynu jako alternativního plynného paliva pro pístové spalovací motory podrobně zabýval.

Ze studie Evropské environmentální agentury vyplývá, že v EU existuje adekvátní potenciál biomasy na to, aby mohly být podporovány ambiciózní cíle produkce energie z obnovitelných zdrojů. Podle této studie bude biomasa z domácností v roce 2030 k dispozici v objemu 243 až 316 Mt. Vychází-li se z tohoto předpokladu a z průměrného konverzního faktoru, který je při současných technologiích 40 %, pak by se dosáhlo zisku přibližně 97 Mt biopaliva. Za předpokladu hodnoty konverzního faktoru 55 %, vzniklého využitím budoucích technologií, by se mohlo dosáhnout výnosu až 174 Mt biopaliva. V roce 2030 by biomasa z domácností v Evropské unii představovala technický potenciál pokrývající 27 až 48 % potřeby paliva v dopravě (360 Mt). Pro významné snížení nákladů na výrobní proces by bylo potřebné transformovat technický potenciál do ekonomického potenciálu. Snížení nákladů o 20 až 30 % se zdá pravděpodobné při použití budoucích technologií. Za předpokladu, že by polovina dodávek biopaliva v EU v roce 2030 mohla být pokryta produkty z domácností a druhá polovina importem, tak se jeví realistické, aby jedna čtvrtina potřeby paliva na dopravu v EU byla pokryta biopalivy.

Nejistý vývoj cen ropy a náklady na produkci biopaliv ztěžují možnosti stanovení předpovědi ceny, kterou to bude společnost v roce 2030 stát. Podle Vision Report (založené na tržních cenách v roce 2005) by u 25 % biopaliv v dopravě v roce 2030 mohlo dojít ke zvýšení nákladů o 31 bilionů EUR ročně, což představuje ekvivalentní zvýšení ceny za litr benzínu o 6,6 procentu a ceny nafty o 8,2 procentu za litr. V této souvislosti zvýšené náklady na používání biopaliv musí být vyváženy finanční hodnotou výhod, jako je omezení skleníkových plynů, pestrostí nabídek energie, zvýšenou bezpečností zásobování a vytvářením pracovních příležitostí ve venkovských oblastech. Z uvedených studií vyplývá, že je reálné, aby v roce 2030 tvořila v EU biopaliva 25% podílu na spotřebě paliv v dopravě.

V souvislosti s cíli EU v oblasti využívání alternativních paliv v blízké i vzdálenější budoucnosti jsem se ve své bakalářské práci zaměřil na možnosti využití bioplynu spalováním v pístových spalovacích motorech, a to v kogeneračních jednotkách a v dopravních prostředcích. V bakalářské práci uvádím principy tvorby bioplynu, chemické složení bioplynu, fyzikální a chemické vlastnosti bioplynu, technologii výroby bioplynu. Vzhledem k tomu, že se v současnosti využívá v ČR bioplyn jako motorové palivo v pístových

spalovacích motorech pouze v kogeneračních jednotkách, popisují na příkladu dvou kogeneračních jednotek instalovaných v Obchodním družstvu Soběšice konverzi vznětových motorů MAN E 2848 LE 322 na zážehové pro spalování bioplynu. Na příkladu ze zahraničí s traktorem Steyr 6195 CVT ukazují, že duální provoz vznětového motoru na naftu a na biometan je technicky zcela zvládnutý a je ověřen v dlouhodobém provozu. V BP jsem podrobně popsal palivovou soustavu traktoru Steyr 6195 CVT na dvojí palivo. Aby bylo možné používat bioplyn jako motorové palivo dopravních prostředků, je nutné upravit bioplyn na tzv. biometan. Pro tuto úpravu se používají různé technologie. V BP popisují technologii Pressure Swing Adsorption (PSA), která v reálném provozu dosáhla největšího uplatnění. Pro použití biometanu jako motorového paliva dopravních prostředků musí biometan splňovat požadavky TPG 902 02. Biometan této kvality má pak fyzikální a chemické vlastnosti podobné jako zemní plyn, který našel již své uplatnění jako alternativní palivo v dopravě České republiky. Ve své bakalářské práci jsem na příkladech ze zahraničí s používáním biometanu jako motorového paliva dopravních prostředků ukázal, že i pro ČR je to do budoucna jedna z cest, jak zajistit splnění indikativního cíle pro používání biopaliv ve výši 8 % (e.o.) v dopravě v roce 2020.

Seznam použité literatury

- [1] MATĚJOVSKÝ, V. *Automobilová paliva*. Nakladatelství Grada Publishing a. s., Praha 2005. ISBN 80-2470350-5.
- [2] VLK, F. *Alternativní pohony motorových vozidel*. Brno: Nakladatelství VLK, 2004. ISBN 80-239-1602-5.
- [3] STRAKA, F. *Bioplyn*. Vydal: GAS s. r. o., Říčany 2003. ISBN 80-7328-029-9.
- [4] BRANDEJSOVÁ, Eliška; PŘIBYLA, Zdeněk. *Bioplynové stanice (Zásady zřizování a provozu plynového hospodářství)*. Vydal GAS s. r. o., Praha 2009. ISBN 978-80-7328-192-2
- [5] KRBEK, J.; POLESNÝ, B. *Kogenerační jednotky zřizování a provoz*. 1. vydání: Vydal GAS s. r. o., Praha 2007. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [6] SCHULZ, H.; EDER, B. *Bioplyn v praxi, Teorie-projektování-stavba zařízení-příklady*. 1. České vydání: Ostrava: HEL, 2004. ISBN 80-86167-21-6.
- [7] KÁRA, J. *Hlavní formy využití biomasy. Stavební a energetické využití slámy*. 3/2003, VÚZT. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky a Ministerstvo zemědělství ČR, 2003. ISBN 80-903271-3-3.
- [8] *Kogenerační jednotky na bioplyn* [online]. 2010 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW: <http://kogenerace.tedom.cz/popis-jednotky-bioplyn.html>
- [9] *Využití bioplynu v dopravě* [online]. 2010 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW: http://www.madagascar.eu/fileadmin/dam/madagascar/downloads/czech_republic/MadeGasCar-desky-final.pdf
- [10] SLADKÝ, V. Zajímavá provedení bioplynových stanic v zahraničí. *Biom.cz*. [online]. 2009-12-21. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zajimava-provedeni-bioplynovych-stanic-v-zahranici>
- [11] *TEDOM vyvíjí vlastní Stirlingův motor* [online]. 2007-02-06 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW: <http://www.enviweb.cz/clanek/obecne/62085/tedom-vyvi-ji-vlastni-stirlinguv-motor>
- [12] *Technologie (CNG/LPG/BOIGAS/H2)* [online]. 2009 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW: <http://www.bonett.cz/index.asp?menu=743>
- [13] *Plnicí stanice firemní/veřejné* [online]. 2010 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW: http://www.cngcompany.cz/57-plnici_stanice_cng_firemni/_verejne
- [14] *O bioplynu* [online]. 2009 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW: http://bioplyn.cz/popis_anaerobni_technologie
- [15] *Jak využít bioplyn* [online]. 2007 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW: http://www.bioplyn.cz/at_bioplyn.htm
- [16] *Kogenerační jednotky* [online]. 2009-12-23 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW: <http://www.motorgas.cz/index.php?lang=0&disp=kogenerace>
- [17] *Steyr CVT – první evropský traktor poháněný bioplynem* [online]. 2009 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW: <http://www.casefan.cz/steyr-cvt-prvni-evropsky-dieselovy-traktor-pohaneny-bioplynem-1>
- [18] *Využití bioplynu* [online]. 2008 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW: <http://www.bioplanet.cz/jine/blog/vyuziti-bioplynu/>
- [19] *Zapalování, řízení zapalování*. 2010 [cit. 2010-05-01]. Dostupné z WWW: http://www.motortech.de/ignition_and_ignition_control.html

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Parní motor	29
Obrázek 2 – Stirlingův motor.....	32
Obrázek 3 – Procesní schéma úpravy bioplynu technologií PSA.....	35
Obrázek 4 – Procesní schéma úpravy bioplynu tlakovou vypírkou vodou.....	36
Obrázek 5 – Membránová separace	37
Obrázek 6 – Plynový motor MAN E 2848 LE 322.....	42
Obrázek 7 - Kogenerační jednotky	42
Obrázek 8 - Bioplynová stanice Soběšice.....	43
Obrázek 9 - Příčné drážkování na střední elektrodě zapalovací svíčky.....	46
Obrázek 10 - Snížení zapalovacího napětí způsobené drážkováním na elektrodě.....	47
Obrázek 11 - Zapalovací transformátor	47
Obrázek 12 - Dmychadlo	48
Obrázek 13 - Filtr bioplynu.....	48
Obrázek 14 - Regulátor tlaku bioplynu.....	49
Obrázek 15 - Směšovač.....	50
Obrázek 16 - Krokový motor	50
Obrázek 17 -Traktor Steyr 6195 CVT	52
Obrázek 18 - Nádrž biometanu na předním nosiči nářadí.....	53
Obrázek 19 - Palivová soustava traktoru Steyr	54
Obrázek 20 - Schéma palivové soustavy na duální provoz.....	55

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Chemické složení bioplynu	18
Tabulka 2 - Požadavky na biometan podle TPG 902 02.....	38
Tabulka 3 - Technické parametry motoru MAN E 2848 LE 322	44
Tabulka 4 - Výkonové parametry motoru MAN E 2848 LE 322	45
Tabulka 5 - Účinnost motoru MAN E 2848 LE 322.....	45
Tabulka 6 - Spotřeba a emise motoru MAN E 2848 LE 322.....	46