

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

BIOPLYN JAKO PALIVO PRO KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

BIOGAS AS A FUEL FOR COGENERATION UNIT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

DAVID DOMANSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. ZDENĚK BEŇO

BRNO 2009

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): David Domanský

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

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

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

Bioplyn jako palivo pro kogenerační jednotky

v anglickém jazyce:

Biogas as a fuel for cogeneration unit

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je věnována popisu vzniku bioplynu, popisu technologie kogenerace a její využití v praxi.

Cíle bakalářské práce:

Seznámení s problematikou využití bioplynu pro kogeneraci.

Seznam odborné literatury:

Straka, F. a kol.: Bioplyn. 2. vyd. GAS s.r.o., Praha 2006. 706 s. ISBN 80-7328-090-6.

Schulz, H., Eder, B.: Bioplyn v praxi. 1. české vyd. HEL, Ostrava 2004. 168 s. ISBN 80-86167-21-6.

Dohányos, M. a kol.: Anaerobní čistírenské technologie. 1. vyd. NOEL 2000 s.r.o., Brno 1998. 345 s. ISBN 80-860020-19-3.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Zdeněk Beňo

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2008/2009.

V Brně, dne 23.10.2008

L.S.

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je popis využití bioplynu jako paliva pro kogenerační jednotky. Úvodní část je zaměřena na vznik bioplynu, jeho využití v praxi a skladování. Hlavní část se zabývá principem kogenerační technologie a od ní odvozené technologie trigenerační. Dále popisuje sloučeniny v bioplynu, které nepříznivě ovlivňují provoz kogeneračních jednotek. Součástí práce je i seznámení s konkrétním příkladem využití kogenerační jednotky pro spalování bioplynu.

ABSTRACT

The objective of this bachelor thesis is a description of biogas as a fuel for cogeneration unit. The exordium is focused on biogas origin, use and storage. The document body deals with principle of cogeneration technology and derived trigeneration technology. In the next part are described the compounds in biogas, which adversely affect the running of cogeneration units. There is also included concrete example of using the cogeneration unit with biogas.

KLÍČOVÁ SLOVA

bioplyn, kogenerace, trigenerace

KEYWORDS

biogas, cogeneration, trigeneration

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DOMANSKÝ, D. *Bioplyn jako palivo pro kogenerační jednotky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 29 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Zdeněk Beňo.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně za použití zdrojů uvedených v přehledu literatury.

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu své bakalářské práce Ing. Zdeňku Beňovi za cenné rady a připomínky a hlavně čas, který mi věnoval při vypracování této práce.

OBSAH

1	ÚVOD	- 7 -
2	VZNIK BIOPLYNU A JEHO VYUŽITÍ	- 8 -
2.1	Vznik bioplynu	- 8 -
2.2	Využití bioplynu	- 10 -
2.3	Skladování bioplynu	- 10 -
3	KOGENERACE	- 12 -
3.1	Princip kogenerace	- 12 -
3.2	Kogenerační jednotka se spalovacím motorem	- 13 -
3.2.1	Princip kogenerační jednotky	- 13 -
3.2.2	Typy motorů v KJ se spalovacím motorem	- 15 -
3.2.3	Škodliviny ve zplodinách	- 16 -
3.3	Využití kogenerace	- 16 -
4	TRIGENERACE	- 18 -
4.1	Princip trigenerace	- 18 -
4.2	Využití trigenerace	- 19 -
5	STÁTNÍ PODPORA KOGENERACE	- 20 -
6	NEŽÁDOUCÍ SLOŽKY V BIOPLYNU	- 21 -
6.1	Síra	- 21 -
6.2	Křemík	- 23 -
7	KOGENERACE V PRAXI	- 24 -
7.1	Čistírna odpadních vod Brno - Modřice	- 24 -
7.2	Bioplynová stanice Schradenbiogas GmbH & Co.KG	- 25 -
7.3	Skládka komunálního odpadu Praha – Ďáblice	- 25 -
7.4	Bioplynová stanice Vejprnice	- 26 -
8	ZÁVĚR	- 27 -
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	- 28 -

1 ÚVOD

Spotřeba energie celosvětově plynule stoupá. Dle studie Mezinárodní energetické agentury jsou současné globální trendy v dodávkách a spotřebě energie dlouhodobě neudržitelné, a to z ekonomického, sociálního i environmentálního hlediska. Fosilní paliva jako je uhlí, zemní plyn nebo ropa se v dohledné době vytěží a spotřebují. Emise CO₂ vznikající spalováním těchto paliv velkou měrou zatěžují životní prostředí, přičemž první příznaky globální změny klimatu jsou stále zřetelnější.

Řešením těchto problémů jsou obnovitelné zdroje, které mohou pokrýt spotřebu energie a zároveň jsou šetrné k životnímu prostředí. Do roku 2020 by měla energie z obnovitelných zdrojů pokrývat alespoň 20 %. Tento cíl je podporován mnoha státy formou dotací na výstavbu zařízení na OZE. Také Česká Republika by měla splnit do roku 2010 svůj závazek Evropské Unii, který stanovuje 8 % podíl OZE na celkové vyrobené elektřině.

Mezi obnovitelné zdroje energie se řadí také bioplyn. Jeho výhodou oproti solárním, větrným a vodním zdrojům energie je to, že není závislý na geografické poloze a lze jej získávat stejně efektivně téměř kdekoli na světě bez ohledu na počasí. Bioplyn vzniká při rozkladu biologických odpadů a lze jej následně využít jako plynné palivo při výrobě elektrické energie a tepla v kogeneračních jednotkách. Kogenerační výroba tepla a elektřiny je významným opatřením při zvyšování efektivity využití energetického obsahu primárního paliva

2 VZNIK BIOPLYNU A JEHO VYUŽITÍ

Bioplyn je směs plynů, skládající se zejména z metanu CH_4 a oxidu uhličitého CO_2 . Jedná se o vysoce hodnotný nositel energie, který lze mnohostranně a velmi účinně využít.

2.1 Vznik bioplynu

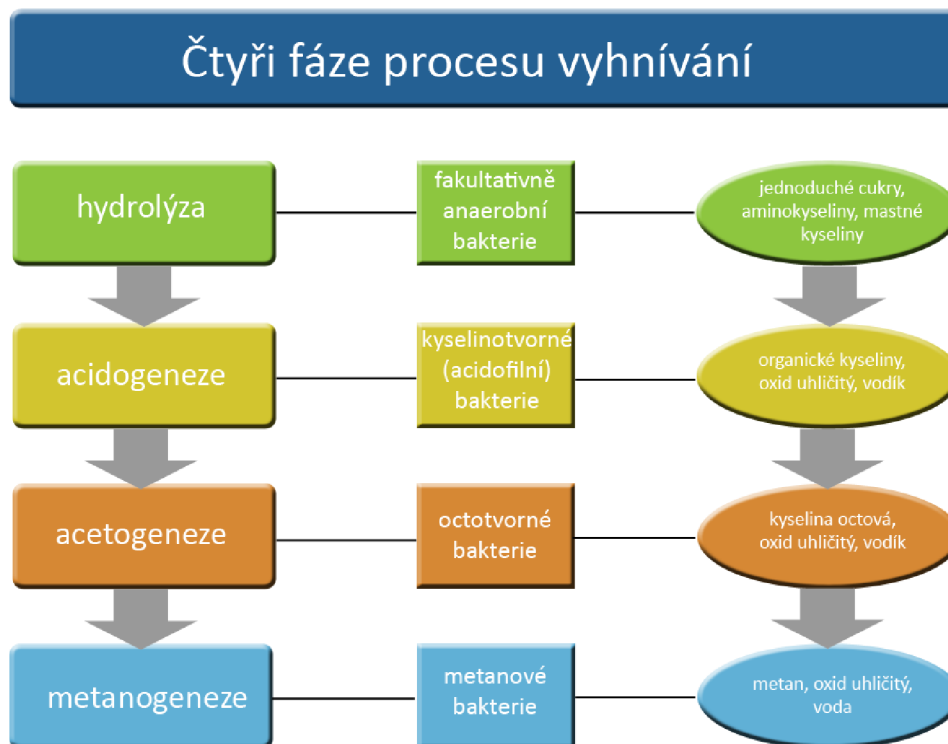
Bioplyn je produktem mikrobiologického rozkladu organických látek probíhajícího za nepřístupu vzduchu, tzv. anaerobní fermentace. Tento děj probíhá za určitých podmínek samovolně v přírodě například v močálech, na dně jezer, v trávicím traktu zvířat a je produktem zejména v čistírnách odpadních vod, na skládkách odpadů, v uskladnění hnojů a kejdl apod. Metanová fermentace je soubor čtyř na sebe navazujících procesů (obr. 1), kde vlastní tvorba metanu probíhá až v posledním z nich. Tyto děje se nazývají hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze.

Hydrolýza – první fáze rozkladu, která není ještě uskutečňována metanovými bakteriemi, ale přítomnými anaerobními bakteriemi. Dochází zde pomocí enzymů k přeměně makromolekulární organické látky (bílkoviny, uhlovodíky, tuky, celulóza) na nízkomolekulární sloučeniny (jednoduché cukry, aminokyseliny, mastné kyseliny, voda). Nízkomolekulární látky jsou na rozdíl od látek makromolekulárních schopny transportu dovnitř buňky. V této fázi ještě není vyžadována nepřítomnost vzduchu.

Acidogeneze – v této fázi, nazývané též jako kyselá, dochází k rozkladu produktů hydrolýzy, nízkomolekulárních sloučenin, na jednodušší organické látky jako jsou kyseliny, alkoholy, CO_2 a H_2 . Z těchto látek se fermentací tvoří řada konečných redukovaných produktů, které jsou závislé na podmínkách prostředí a povaze substrátu. Například při nízkém parciálním tlaku vodíku jsou produkovány hlavně H_2 , CO_2 a kyselina octová, při vyšší koncentraci vodíku jsou produkovány kyseliny vyšší než octová, etanol, kyselina mléčná apod. Tato fáze je uskutečňována bakteriemi, které jsou schopny činnosti i v prostředí zcela bez kyslíku a vytvářejí se podmínky pro rozvoj metanových bakterií.

Acetogeneze – v této fázi probíhá oxidace produktů acidogeneze na kyselinu octovou, H_2 a CO_2 . Acetogenní mikroorganismy jsou v procesu velice důležitou skupinou, protože rozkládají na vodík především kyselinu propionovou, alkoholy a některé aromatické sloučeniny.

Metanogeneze – v závěrečné fázi metanové fermentace rozkládají metanogenní mikroorganismy metanol, kyselinu mravenčí, metylaminy, CO_2 , CO , H_2 a kyselinu octovou na metan a oxid uhličitý.



Obr. 1 Čtyři fáze procesu vyhnívání [4]

Metanové bakterie se mohou efektivně množit a pracovat pouze pokud jsou splněny následující podmínky:

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

Zabránění přístupu vzduchu – metanové bakterie nejsou schopné pracovat za přítomnosti kyslíku, pokud je kyslík přítomný, musí jej nejprve zpracovat bakterie v prvních fázích metanové fermentace a tím se proces zpomaluje.

Zabránění přístupu světla – světlo zpomaluje průběh procesu.

Stálá teplota – pro každé typy kmenů bakterií je charakteristická jiná teplota optimálního růstu, kterou se snažíme zajistit. Tato teplota leží obvykle v intervalu 0 °C až 70 °C, většinou kolem 40 °C. Pod teplotou 0 °C nejsou sice bakterie schopny pracovat, ale přežívají.

Hodnota pH – metanogenní organismy vyžadují pro svůj růst pH v neutrální oblasti 6,5 – 7,5.

Další faktory – optimální činnost bakterií ovlivňuje celé řada dalších faktorů, jako je dostatečný přísun živin, rovnoměrný přísun a odvětrávání substrátu, používání antibiotik apod.

2.2 Využití bioplynu

Bioplyn je díky své vysoké výhřevnosti ($13,7 - 27,4 \text{ MJ/m}^3$) řazen mezi ušlechtilé zdroje energie a je vhodný k těmto využitím:

Spalování v topných systémech – bioplyn je přímo spalován v kotlích na ohřev teplé vody nebo vody k vytápění. V letních měsících při malých požadavcích na teplou vodu se může bioplyn využít jako zdroj tepla k sušení různých produktů.

Kogenerace – kombinovaná výroba elektrické energie a tepla patří mezi nejefektivnější využití bioplynu. Bioplyn může být spalován v upravených zážehových nebo spalovacích motorech, které jsou spojeny s agregátem pro výrobu elektrické energie. Odpadní teplo z chlazení motorů je poté využito k výrobě teplé vody, k vytápění, případně s využitím trigenerace k výrobě chladu.

Dodávky do plynárenské sítě – po vyčištění bioplynu na vysoký obsah CH_4 lze bioplyn dodávat do plynárenské sítě nebo použít jako náplň do tlakových lahví určených pro pohon dopravních prostředků.

2.3 Skladování bioplynu

Výhodou bioplynu oproti jiným nosičům energie je možnost poměrně snadného skladování. Při skladování v plynojemech (obr. 2) nedochází na rozdíl od solární energie nebo energie získané z větru ke ztrátám, které jsou v těchto případech způsobeny například vybíjením akumulátorů a je tedy možné jeho dlouhodobé skladování. Nevýhodou je ovšem malé množství energie vztahované na jednotku objemu. 1 m^3 bioplynu obsahuje stejné množství energie jako $0,6 - 0,7 \text{ l}$ topného oleje. Proto jsou pro beztlaková skladování bioplynu potřebné větší objemy zásobníkových plynojemů.



Obr. 2 Plynojem při čistírně odpadních vod [8]

Bioplynové zásobníky lze rozdělit dle velikosti a typu konstrukce následujícím způsobem:

Nízkotlaké zásobníky - do 5 kPa, jedná se o nejrozšířenější typ zásobníků na plyn. Konstrukce je ocelová s vodním uzávěrem, který udržuje v zásobníku stálý tlak. Tlak plynu je dostatečný pro přímé spalování atmosférickými hořáky nebo jako pohon pro plynové motory. Alternativou k nízkotlakým ocelovým zásobníkům jsou fóliové zásobníky, jejichž pořizovací cena je podstatně nižší. Jejich nevýhodou je nutnost zajištění před povětrnostními vlivy a proti samovolnému poškození.

Středotlaké zásobníky – méně používaný typ zásobníků, jehož rozšíření brání hlavně vysoká cena. Tlak se v těchto zásobnících pohybuje do 2 MPa, přičemž při tlaku 1 MPa lze dosáhnout desetinásobku skladovaného množství než za normálního tlaku. Při použití těchto zásobníků je již nutné použít regulátorů tlaku.

Vysokotlaké zásobníky – jedná se o ocelové lahve, ve kterých je bioplyn stlačen na 20 MPa. Při takovémto tlaku lze skladovat v jedné objemové jednotce o 40 – 50 % více, než za normálního tlaku. Nevýhodou jsou ovšem vyšší náklady na stlačení plynu. Před stlačením je také nutné bioplyn odsířit a odvodnit, aby nedocházelo ke korozi a k zamrznání redukčních ventilů při odběru.

3 KOGENERACE

Kogenerace, z anglického co-generation, česky také teplárenská výroba představuje ekonomicky a ekologicky velice efektivní výrobu tepla a elektrické energie v jednom technologickém řetězci.

3.1 Princip kogenerace

Principem kogenerace je využít teplo, které jinak při výrobě elektřiny odchází bez užitku. Kogenerační technologie poté umožňuje toto teplo využít například k vytápění nebo k ohřevu teplé vody. V důsledku toho dochází k výrazné úspoře paliva a nákladů s tím spojených (obr. 3).

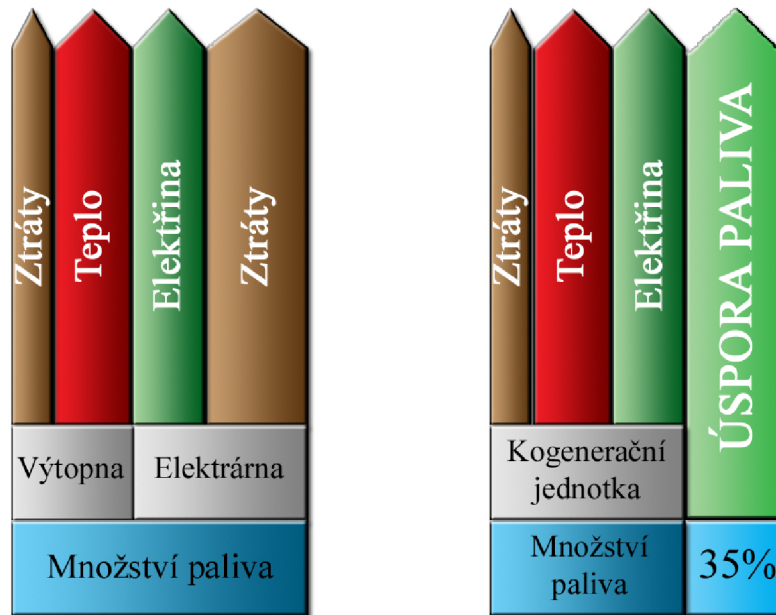
Výhody kogenerace

- ve srovnání s oddělenou výrobou elektrické energie dochází až k 35 % úspoře paliva
- vysoká míra efektivity využití paliva, která dosahuje až k 85 %, z čehož připadá 30 – 35 % na výrobu elektrické energie a 65 – 70 % na teplo
- při využití tepla a energie v místě výroby nedochází k přenosovým ztrátám
- produkce nízkého množství emisí na celkové množství vyrobené energie
- přebytek elektrické energie lze prodat po domluvě s distributorem do rozvodné sítě

Nevýhody kogenerace

- vysoké počáteční náklady
- je nutné zajistit ochranu proti hluku pomocí krytů, zvukovou izolací strojovny apod.
- návratnost vložených finančních prostředků je přímo závislá na využití vyrobeného tepla a elektrické energie

Výhodnost kogenerace lze názorně ukázat porovnáním oddělené výroby tepla a elektřiny a kogenerační výrobou těchto energií.



Obr. 3 Úspora paliva při využití kogenerace [11]

Kogenerační technologii lze realizovat na následujících typech kogeneračních jednotek:

- KJ s parními turbínami a motory
- KJ se spalovacími motory
- KJ se spalovacími turbínami
- paroplynová zařízení
- palivové články

3.2 Kogenerační jednotka se spalovacím motorem

3.2.1 Princip kogenerační jednotky

Spalovací motor je tepelný stroj, který je velice vhodný pro teplárenské využití. V závislosti na typu motoru a velikosti výkonu se jeho účinnost pohybuje v rozsahu 25 – 43 %. Odpadní energie je odváděna do atmosféry vodou nebo výfukovými spalinami. Motory lze velmi dobře použít pro pohon elektrických generátorů a současně je možno využít velkou část odpadního tepla a uplatnit tak kogenerační princip. Nevýhodu drahého paliva lze překonat úpravou motoru, která umožní spalování zemního plynu, bioplynu či dřevního plynu.

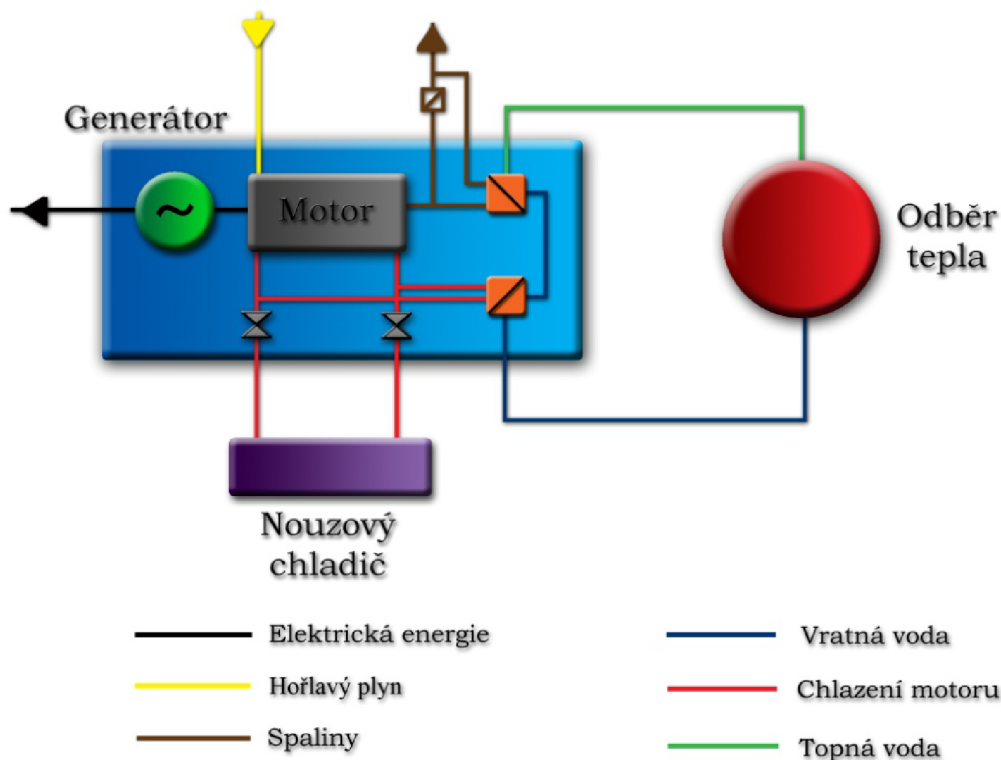


Obr. 4 Kogenerační jednotka se spalovacím motorem

Kogenerační jednotka se spalovacím motorem (obr. 4) se skládá ze spalovacího motoru pohánějící alternátor, který vyrábí elektrickou energii a výměníků pro využití odpadního tepla z motoru. Otáčky motoru jsou voleny s ohledem na to, aby se nemusela mezi motor a alternátor zařazovat převodovka.

Směs plynu se spalovacím vzduchem je do válců dodávána pod tlakem turbokompresorem poháněným spaliny. Kogenerační jednotka tedy nevyžaduje přívod tlakového zemního plynu, dostačuje plyn dodávaný z běžného potrubí s redukováným tlakem.

Odvod tepla z motoru je řešen pomocí dvou výměníků, které pracují na dvou teplotních úrovních. První výměník ochlazuje blok motoru a teplota se pohybuje mezi 80 – 90 °C. Druhý výměník odebírá teplo z odcházejících výfukových spalin o teplotě 400 – 500 °C. Výměníky jsou z hlediska teplotního média zapojeny do série (obr. 5). Většinou jsou kogenerační jednotky navrhovány pro dodávku tepla do teplovodního systému 90/70 °C, méně často 110/85 °C. Ohřívána voda teplovodního okruhu prochází nejprve prvním výměníkem, kde se přehřeje (70 °C) a je vedena do výměníku druhého, kde se dohřeje na požadovanou teplotu (90 °C). Pro možnost provozu kogenerační jednotky bez využití odpadního tepla je vybavena nouzovým chladičem, který teplo odvádí do atmosféry.



Obr. 5 Schéma kogenerační jednotky se spalovacím motorem

3.2.2 Typy motorů v KJ se spalovacím motorem

Motory nízkých výkonů - do několika desítek kW, jsou nejčastěji upravené zážehové motory z automobilů. Úprava je dána zejména výměnou karburátoru za směšovací zařízení, ve kterém dochází k mísení vzduchu s hořlavým plynem v požadovaném poměru. Motor je spolu s výměníky a elektrickým generátorem zabudován do kompaktní skříně s protihlukovou izolací. Účinnost motorů je obvykle pod 30 %.

Motory středních výkonů - do stovek kW jsou upravené mobilní nebo vznětové motory. Účinnost se pohybuje od 32 do 35 %.

Motory vysokých výkonů - v řádech stovek až tisíců kW jsou již složitá soustrojí s vyššími nároky na vybavení pracovního prostoru i na obsluhu a údržbu. Konstrukce motorů je odvozena od lodních, trakčních případně stacionárních motorů. Účinnost těchto motorů je 35 – 39 %. Lze využít i konstrukčního řešení, při kterém se přivádí plyn pro každý válec zvlášť, v tomto případě účinnost vzroste na 39 – 43 %.

3.2.3 Škodliviny ve zplodinách

Zplodiny bioplynových motorů jsou tvořeny hlavně neškodnou vodní párou a oxidem uhličitým, který je lokálně neškodný. Dále jsou ve zplodinách obsaženy látky, které již životnímu prostředí škodí. Jedná se zejména o oxid siřičitý, oxidy dusíku, oxid uhelnatý, uhlovodíky a saze. Omezení těchto látek je problémem ve všech energetických zařízeních. Oxid siřičitý je závislý na množství sirovodíku v bioplynu a jeho množství lze výrazně redukovat. Ostatní hodnoty emisí závisí na kvalitě, druhu a teplotě spalování. Snížení emisí lze dosáhnout konstrukčními úpravami motoru, jako je optimalizace pracovního prostoru válců, odstranění mrtvých koutů apod. Dále provozními opatřeními, např. snížením zatížení motorů, zvýšením přebytku vzduchu a nastavení optimálního zážehu. Snížení emisí lze realizovat také pomocí katalyzátoru.

3.3 Využití kogenerace

Kogenerační jednotky lze využít všude tam, kde jsou celoroční požadavky na odběr tepla, resp. chladu (viz. kap. 4) a elektrické energie. Vhodné je použití zejména v těchto objektech:

Komunální výtopny – skýtají velký potenciál ve využití kogenerace, teplou nebo horkou vodu dodávají do obytných oblastí a veškerou elektrickou energii zpravidla do veřejné sítě.

Obchodní domy – mají velké požadavky na potřebu tepla, nebo chladu během roku, elektřina může být využita např. na osvětlení a pohon ventilátorů.

Bazény, lázně, aquaparky – teplo je použito k ohřevu vody v bazénu, ve sprchách nebo pro vytápění. Elektrická energie se používá pro pohon čerpadel, osvětlení, klimatizaci apod.

Hotely a penziony – mají dostatečně velké požadavky na teplo a elektřinu, které jsou rovnoměrně rozloženy během dne. Často je teplo a elektřina využívána například v saunách, prádelnách a bazénech.

Nemocnice a ústavy sociální péče – poptávka po teple a elektřině je poměrně vysoká a rozložená během celého roku. Provoz o víkendech a svátcích je jen o málo nižší než ve všedních dnech. Veškerou vyrobenou energii lze využít pro pokrytí vlastní potřeby.

Školy, internáty a koleje – mají velkou spotřebu tepla a energie během týdne, nevýhodou je ovšem výpadek v poptávce během prázdnin.

Čistírny odpadních vod, skládky odpadu – využívá se bioplyn produkovaný během technologických procesů a vyrobená energie se může dodat do veřejné sítě, nebo využít pro vlastní potřebu.

Použití v průmyslu – Podmínky pro provoz KJ v průmyslovém prostředí jsou velice různé. Důležitý je dostatečný provoz během týdne, což není vhodné např. u jednosměnných provozů. Ekonomická bilance je již lepší u dvousměnných provozů a tam, kde je vysoká potřeba tepla. KJ nachází velice dobré uplatnění v chemickém, papírenském, potravinářském, keramickém, cihlářském a textilním průmyslu.

4 TRIGENERACE

Trigenerace je i v evropských zemích poměrně novým pojmem. Jedná se o spojení kogenerační jednotky a chladicí jednotky absorpčního typu, za účelem co nejvyššího využití kogenerace a zužitkování části vyrobeného tepla na výrobu chladu. Trigenerace je tedy kombinovaná výroba elektrické energie, tepla a chladu.

4.1 Princip trigenerace

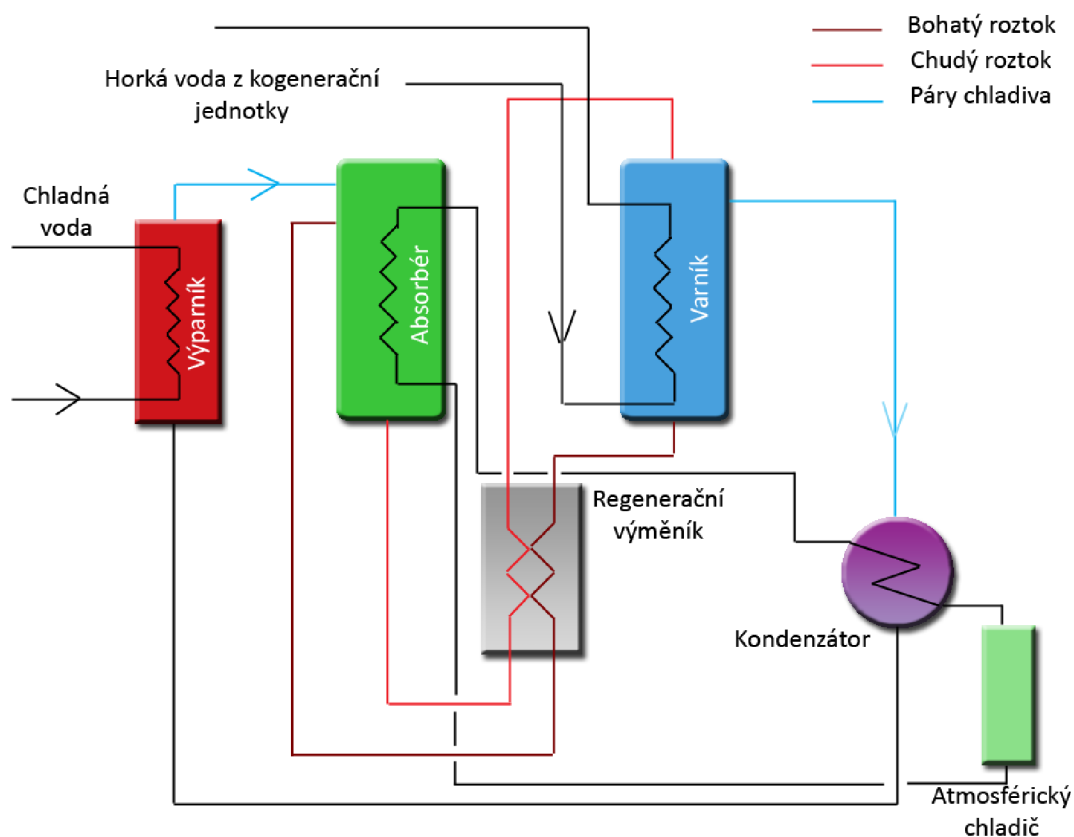
Kogenerační jednotka spolu s absorpční jednotkou má tři okruhy, mezi kterými probíhá tepelná výměna. První okruh je okruh topné vody. Tento okruh je napojen na kogenerační jednotku a ohřátá voda je hnacím médiem vnitřní výměny tepla. Druhý okruh je okruh studené vody, který je přímo napojen na okruh chlazení, tedy klimatizace. Třetí okruh je okruh chladicí vody, který odvádí vodu s teplem k ochlazení, nejčastěji do chladicích věží.

Absorpční chladicí zařízení používá jako chladivo vodu a jako kapalný absorbent lithium bromid. Princip absorpčního oběhu je zřejmý z obr. 6. Do varníku vstupuje bohatý roztok absorbentu a chladiva. V tomto místě se tlak pohybuje kolem 0,1 MPa, při kterém je teplota varu asi 46 °C. Teplem přivedeným z kogenerační jednotky se odpařuje chladivo (voda), které se poté vede do kondenzátoru. Zde předává své výparné teplo chladicí vodě a kondenzuje. Kondenzát protéká přes škrťací ventil do oblasti o tlaku zhruba 1 kPa a jeho teplota je asi 6 °C. Dále postupuje do výparníku, odpařuje se a přitom ochlazuje vodu vracející se z okruhu s klimatizací na 8 °C. Odpařená voda se přivádí do absorbéru, kde je pohlcována absorbentem a je vytvořen znovu bohatý roztok. Při tom vzniká teplo, které se musí odvádět do chladicích věží. Bohatý roztok se poté odvádí do varníku. Chudý roztok, který vzniká při odpařování chladiva ve varníku, je přečerpáván do absorbéru, aby mohl pohlcovat páry chladiva. Oba proudy bohatého a chudého roztoku procházejí regeneračním výměníkem, kde se bohatý roztok přehřívá, čímž se vylepšují termodynamické parametry oběhu.

Při optimalizaci procesu spolupráce kogenerace a absorpčního chlazení je nutné zvážit také to, že jsou kogenerační jednotky navrhovány nejčastěji pro tepelné okruhy 90/70 °C. Absorpční jednotky mají při tom optimum vysoko nad 100 °C. Pro každý jednotlivý případ se proto hledá kompromisní optimum tepelného okruhu, které se pohybuje nejčastěji mezi 100 - 110 °C.

4.2 Využití trigenerace

Z pohledu provozu kogenerační jednotky je tato technologie výhodná z důvodu využití tepla i v létě, mimo topnou sezónu. Tímto se dosáhne prodloužení ročního chodu kogenerační jednotky. Právě nízké využití tepla v letních měsících vede často ke koupi kogeneračních jednotek o nižších výkonech, než by bylo jinak vhodné. Vyrobený chlad je možné využít při klimatizaci nejrůznějších sportovišť, obchodních center, bytových, administrativních, technologických budov apod. Další výhodou je nahrazení ušlechtilé elektrické energie použitou k chlazení, energií tepelnou, která je méně ušlechtilá a hlavně levnější. Nevýhodou trigenerace jsou ovšem vyšší pořizovací náklady absorpčních chladicích jednotek oproti běžnému kompresorovému chlazení zhruba o pětinu, dále větší rozměry a hmotnost.



Obr. 6 Princip zapojení absorpčního chladicího zařízení

5 STÁTNÍ PODPORA KOGENERACE

V České Republice je ve spolupráci s Evropskou Unií nabízeno několik programů, v rámci kterých je možné žádat o podporu kombinované výroby tepla a elektrické energie. Ministerstvem průmyslu a obchodu jsou dotace nabízeny Státním programem na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie – program EFEKT. Dále Ministerstvem životního prostředí v Operačním programu Životního prostředí a nově v programu Zelená úsporám.

Program EFEKT slouží k ovlivnění úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie v ČR. Je zaměřen na osvětovou a informační činnost, investiční akce menšího rozsahu a na pilotní projekty. Podpora kogenerace je zahrnuta v části výroby energie z OZE a je poskytována na instalaci kogenerační jednotky s pístovým motorem na skládkový plyn a plyn z biologicky rozložitelných komunálních odpadů. Motory pro spalování zemědělského bioplynu dotovány nejsou. Program je vypisován každoročně a mohou jej využít podnikatelé, obce a městské části. Podpora je pro rok 2009 udělována do výše 40 % nákladů, maximálně však 3 mil. Kč. Pro přiznání dotace je nutné splnit řadu náležitostí, které jsou v plném znění uvedeny na internetových stránkách www.mpo-efekt.cz.

Operační program Životního prostředí nabízen v letech 2007 – 2013 a finanční prostředky čerpá z evropských fondů – Fondu soudržnosti a Evropského fondu pro regionální rozvoj. Cílem operačního programu je ochrana a zlepšování kvality životního prostředí jako základního principu trvale udržitelného rozvoje a to v sedmi různých oblastech. Kogenerace je zahrnuta v oblasti s názvem Udržitelné využívání zdrojů energie. O dotaci mohou požádat zejména obce a města, kraje, příspěvkové organizace, vysoké školy, neziskové organizace a obchodní společnosti vlastněné obcemi. Maximální výše podpory je stanovena na 85 % z celkových veřejných výdajů. Minimální způsobilé výdaje na projekt jsou 0,5 mil. Kč. Žadatel může získat podporu maximálně tří projektů do celkové částky 200 mil. Kč.

Zelená úsporám je programem podpory využívání energie z obnovitelných zdrojů a úspor energie v oblasti bydlení z výnosů z prodeje povolenek na emise skleníkových plynů, které má Česká republika k dispozici v režimu Kjótského protokolu. Cílem programu je podpořit vybraná opatření úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie, která budou v obytných budovách realizována fyzickými osobami a dalšími subjekty vlastnicemi obytné budovy a které povedou k snížení emisí oxidu uhličitého a emisí dalších znečišťujících látek a k nastolení dlouhodobého trendu trvale udržitelného bydlení. Dotace mohou být čerpány v období od 1. dubna 2009 do 31. prosince 2012. Podpora je poskytnuta v případě výměny zdroje na tuhá a kapalná fosilní paliva nebo elektrického vytápění za KJ. Pro poskytnutí dotace je nutné, aby KJ splňovala zadané parametry. Výše dotace je 60 %, maximálně však 80 tisíc Kč.

6 NEŽÁDOUCÍ SLOŽKY V BIOPLYNU

Bioplyn v závislosti na druhu rozkládaného substrátu obsahuje vedle jeho hlavních složek metanu a oxidu uhličitého i další příměsi, které mohou mít negativní vliv na provoz kogenerační jednotky. Jedná se především o křemík Si a sulfan H_2S . Je doporučeno nepřekračovat stanovené množství příměsí v bioplynu používaném jako palivo ve spalovacích motorech (tab. 1), a proto se bioplyn dále upravuje a čistí.

látka	množství
koncentrace sloučenin chloru	$< 100 \text{ mg/Nm}^3_{CH_4}$
koncentrace sloučenin fluoru	$< 50 \text{ mg/Nm}^3_{CH_4}$
celková koncentrace sloučenin chloru + fluoru	$< 100 \text{ mg/Nm}^3_{CH_4}$
koncentrace sulfanu H_2S	$< 0,1 \%$ objemově
koncentrace křemíku Si	$< 5 \text{ mg/Nm}^3_{CH_4}$
koncentrace amoniaku NH_3	$< 50 \text{ mg/Nm}^3_{CH_4}$
koncentrace olejových par	$< 250 \text{ mg/Nm}^3_{CH_4}$
velikost pevných částic	$< 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$
relativní vlhkost paliva	$< 60 \%$
teplota paliva	$10 - 30 \text{ }^\circ\text{C}$

Tab. 1 Limity škodlivých látek v bioplynu [9]

6.1 Síra

Síra je v bioplynu většinou pouze minoritní složkou. Ve významnějším obsahu se vyskytuje pouze ve formě sloučeniny s vodíkem, sulfanu H_2S . Sulfan je bezbarvý, silně zapáchající plyn, vznikající degradací sirných sloučenin obsažených ve zpracovávané biomase. Při spalování bioplynu je sulfan přeměňován na oxid siřičitý a následně oxid sírový, který se ochotně slučuje s vodní parou za vzniku kyseliny sírové. Kyselina sírová H_2SO_4 je při tom silná žíravina, která rozpouští běžné kovy. Narušuje tedy části motoru a spalinového traktu kogenerační jednotky, se kterými přijde do styku. Bioplyn je tedy velice vhodné před spálením v kogenerační jednotce zbavit sirných látek a tím omezit korozi materiálu.

Hlavním zdrojem síry v bioplynu jsou látky bílkovinné povahy obsažené ve zpracovávané biomase, množství sulfanu je tedy silně závislé na druhu substrátu (tab. 2).

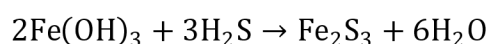
druh substrátu	obsah H_2S v bioplynu mg/m^3
dřevní biomasa, papír, celulóza, rostlinný odpad	do 100
kaly z čištění městských splaškových vod	300 – 1500
živočišné odpady (skot)	500 – 800
živočišné odpady (drůbež, vepř), potravinářské odpady s velkým podílem proteinů	4000 – 6000

Tab. 2 Obsah sulfanu v bioplynu z různých substrátů [1]

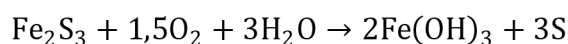
Odstranění sulfanu z bioplynu je z hlediska životnosti kogenerační jednotky nezbytně nutné a provádí se několika různými způsoby:

Přidávání solí železa – do zpracovávaného substrátu se přidávají soli železa, které potom reagují se vznikajícím sulfanem za vzniku nerozpustných sulfidů. Tímto lze dosáhnout hodnot sulfanu v bioplynu 12 – 35 mg/m³. Jako zdroje železa se používají FeCl₃, FeClSO₄ nebo železitě vodárenské kaly.

Odstraňování H₂S na plynárenské hmotě – jedná se o metodu běžně používanou v plynárenství. Její podstatou je adsorpce sulfanu na tzv. suché plynárenské hmotě, jejíž hlavní součástí je hydratovaný oxid železitý. Regenerace se provádí oksyločením.



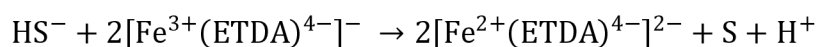
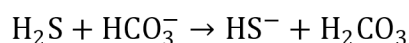
regenerace:



Oxidace hydroxidem železitým – na hydroxid železitý se síra obsažená v sulfanu váže ve formě sirníku železitého, který je poté nutné likvidovat na skládce. Nejčastěji se používají ocelové piliny a hobliny, které se s přísadou vhodných pojidel a chemických látek zpracovávají na porézní čistící hmotu. Tuto hmotu lze oksyločením regenerovat (ze sirníku železitého se získá zpět hydroxid železitý a elementární síra). Tato metoda je využívána na drobných bioplynových zařízeních a malých farmách.

Mokrý vypírání H₂S roztokem chelatonátu železito-sodného - při tomto způsobu se H₂S váže na chelatonát železito-sodný a redukuje se na elementární síru, která se vylučuje z roztoku. Redukovaný prací roztok lze regenerovat vzdušným kyslíkem.

Zachycování sulfanu:



Výsledkem je prakticky okamžité vylučování síry v amorfni formě. Účinnost odsíření dosahuje až 99 %.

Biologický způsob odstranění H₂S – princip metody spočívá v tom, že sirné bakterie ve vodním prostředí za aerobních podmínek oxidují H₂S na elementární síru a sírany v závislosti na teplotě a pH. Do reaktoru s biomasou se přivádí bioplyn spolu se vzduchem (kyslíkem). Množství kyslíku je regulováno tak, aby přesně vystačilo k oxidaci H₂S.

6.2 Křemík

Křemík se do bioplynu dostává v průběhu anaerobní fermentace z organokřemičitých sloučenin. Tyto sloučeniny jsou také známy pod názvy silikony, nebo také siloxany. Jsou široce používány v technice i v komunální spotřební sféře v podobě různých mazacích, čistících, avivážních a leštících přípravků. Svoje uplatnění nacházejí také v kosmetice. A právě komunální odpadní vody a tuhý komunální odpad obsahující tyto látky vstupuje do procesu biometanizace. Měření na různých ČOV a skládkách TKO také prokazují nezanedbatelné množství křemíku neseného ve vyrobeném bioplynu (tab. 3).

Siloxan poskytne při spalení oxid křemičitý, který není toxický, ani nemůže být v této formě považován za jinak zdraví škodlivý. Spaliny z bioplynu obsahují extrémně malé částice oxidu křemičitého, které jsou v porovnání s velikostí nerovností na činných plochách motoru několikanásobně menších rozměrů, takže se neprojeví abrazivní opotřebení. Problémem ovšem je usazování těchto částic a vytváření nánosů v různých částech motoru. Odlomení takového nánosů může být již pro abrazivní efekt významné.

zdroj bioplynu	místo	siloxany mg/m ³
ČOV	Zürich, Švýcarsko	25,1
ČOV	Neuburg, SRN	59,8
ČOV	St. Truiden, Belgie	20,0
skládky TKO	Berlín, SRN	36,3
skládky TKO	Augsburg, SRN	4,8
skládky TKO	Vídeň, Rakousko	9,3

Tab. 3 Koncentrace siloxanů v bioplynu z různých zdrojů [1]

Vyčištění bioplynu od křemíku je velice náročné. Technologie pro odstranění stopových množství křemíku vysoce převyšuje jak investiční, tak provozní náklady než motor samotný. Proto je výhodnější bioplyn těchto nečistot nezbavovat a motor průběžně renovovat.

7 KOGENERACE V PRAXI

Kogenerační jednotky se spalováním bioplynu se nejčastěji využívají v bioplynových stanicích, v čistírnách odpadních vod a na skládkách komunálního odpadu. Následně jsou uvedeny typické příklady použití.

7.1 Čistírna odpadních vod Brno - Modřice

Využití kogeneračních jednotek v ČOV je velice výhodné nejen z důvodu snadného přístupu k palivu, ale také následného využití tepla produkovaného KJ. V KJ se spaluje upravený kalový plyn, který je produktem technologických procesů čištění vody. Teplo motorů se může využívat např. k vyhřívání čistírenského kalu, vytápění, nebo k ohřevu teplotonosných olejů určených k technologickým účelům.

Příkladem ČOV, ve které se KJ s úspěchem využívají je ČOV Brno (obr. 7). Čistírna odpadních vod v Modřicích je určena k čištění odpadních vod přiváděných systémem kanalizačních stok z města Brna. Ve stále větší míře je ale také systémem čerpadel přiváděna odpadní voda ze širokého okolí. ČOV Modřice byla do provozu uvedena v roce 1961 jako klasická dvoustupňová čistírna s anaerobní stabilizací kalu. S rozvojem města přestala čistírna dostačovat a koncem roku 2003 byla dokončena rozsáhlá rekonstrukce.



Obr. 7 ČOV Brno – Modřice [16]

Proces čištění probíhá tak, že je surová odpadní voda vedena do čistírny hlavní stokou, kde začíná mechanický stupeň čištění. V tomto stupni se pomocí česel, lapačů šterku a písku zachycují hrubé nerozpuštěné nečistoty a tuk. Následně je v usazovacích nádržích stírán, pomocí pojezdů se shrabovacím zařízením, kal a plovoucí nečistoty. Zde vzniká tzv. primární kal. Další stupeň je biologický a probíhá v aktivačních nádržích, kde dochází k redukci organického znečištění a množství sloučenin dusíku a fosforu. Přebytečný biologický kal se odčerpává z provzdušňované zóny do flotační jednotky. Zahuštěný primární kal a kal z flotační jednotky je poté smíchán v homogenizační jednotce a čerpán do vyhnívacích nádrží.

Bioplyn, vznikající ve vyhnívacích nádržích, je akumulován ve dvou membránových plynojemech, každý o objemu 1 530 m³. Přebytný bioplyn je spalován dvěma hořáky. Bioplyn z plynojemu je zbavován sulfanu v odsiřovací jednotce a poté využit k výrobě elektrické energie a tepla v KJ. Jedná se o dvě KJ KLASIK TBG 520 od firmy Motorgas s motory WAUKESHA L36 GLD, jejichž elektrický výkon je 520 kW a tepelný výkon 735 kW. Tato instalace je jednou z největších v České Republice. Teplo z KJ je využito k vytápění budov a k doohřevu teplotnosného oleje, který je poté použit k sušení kalu. Elektrinou je pokryta část vlastní spotřeby ČOV. Ročně se v KJ spálí zhruba 4 000 000 m³ bioplynu.

7.2 Bioplynová stanice Schradenbiogas GmbH & Co.KG

Bioplynová stanice v německém městě Gröden zahájila svůj provoz v roce 1995 a patří mezi velkokapacitní zařízení zpracovávající regionální produkci prasečí a hovězí kejdy v množství 80 000 tun/rok a organických odpadů ve výši 30 000 tun/rok. Výsledný produkt je kvasný substrát pro použití v zemědělství.

Organické odpady jsou do zařízení dopravovány v závislosti na své konzistenci různými cestami. Po rozcení jsou podrobeny hygienizaci, přičemž jsou horkem zničeny všechny patogenní zárodky a původci nemocí. Následně jsou organické odpady smíchány s kejdou ve směšovací nádrži a odváděny do dvou reaktorů, každý o objemu 3 000 m³. Zde dochází k vzniku bioplynu, a to v objemu okolo 10 000 m³/den.

Výroba proudu z bioplynu ve třech kogeneračních jednotkách MWM TBG 616, z nichž každá má elektrický výkon 403 kW. Odpadní teplo motorů je využito k výrobě páry a ohřevu teplé vody pro vlastní potřebu stanice a také pro externího odběratele. Vyrobena energie je z 15 – 20 % spotřebována ve stanici pro provoz zařízení. 20 % odebírá externí odběratel a zbývajících 60 % je dodáváno do sítě místního energetického závodu.

7.3 Skládka komunálního odpadu Praha – Ďáblice

Skládka komunálního odpadu, ležící v pražské městské části Ďáblice, byla založena v roce 1993. Od této doby na ni bylo uloženo přes 1,7 mil. tun odpadů. Mocnost vrstvy odpadů dosahuje přes 30 metrů a je velkým zdrojem bioplynu. Ve vzdálenostech 30 metrů jsou rozmístěny studny na jímání plynu, které jsou napojeny na odplynovací systém. Bioplyn ze skládky obsahuje přibližně 60 % metanu, zbytek je zejména dusík a oxid uhličitý. Velkou výhodou je, že neobsahuje síru.

Bioplyn se z počátku spaloval ve dvou kogeneračních jednotkách o celkovém výkonu 1,7 MW a elektřina byla dodávána do rozvodné sítě Pražské energetiky. V současné době je bioplyn ze SKO Praha – Ďáblice spolu s bioplynem ze SKO Praha – Dolní Chabry dopravován systémem potrubí do pět kilometrů vzdáleného podniku Daewoo Avia v Letňanech. Množství bioplynu vytlačovaného čerpadly je přibližně 3000 m³/hod. Bioplynem jsou poháněny kogenerační turbíny, které produkují elektřinu pro vlastní potřebu

továrny a teplo využito pro topení a ohřev teplé užitkové vody. Zbytek je spalován v turbíně s výrobou páry pro vytápění pražského sídliště Letňany. Část bioplynu je také využívána v areálu skládky. Zde je instalována malá KJ o výkonu 375 kW, která je zdrojem energie pro osvětlení a vytápění.

7.4 Bioplynová stanice Vejprnice

Bioplynová stanice ve Vejprnicích u Plzně byla uvedena do provozu na počátku roku 2009. Ve stanici se zpracuje ročně přibližně 6 000 tun kukuřičné siláže, 3 000 tun drůbežího hnoje a asi 1 000 tun chlévské mrvy. Zpracovávání drůbežího trusu je zvláštností této bioplynové stanice, protože má specifické nároky na dávkování, skladování a fermentaci. Drůbeží trus obsahuje vyšší množství organických látek obsahujících síru a vysoké množství nerozpustných anorganických látek. Proto jsou ve stanici umístěny dva fermentory, jeden pro fermentaci drůbežího hnoje, který je vybaven systémem shrabování a odstraňování nerozpustných surovin, a druhý pro kukuřičnou siláž a chlévskou mrvu. Oba fermentory jsou propojeny nerezovým potrubím, které odvádí vyrobený bioplyn do fóliového plynojemu a odtud přes vysokotlaké dmychadlo do kogenerační jednotky. KJ od firmy Duetz má výkon 536 kW, přičemž vlastní spotřeba stanice tvoří 5 % vyrobené elektrické energie.



Obr. 8 Bioplynová stanice Vejprnice [25]

8 ZÁVĚR

Bioplyn je produktem mikrobiologického rozkladu organických materiálů v anaerobním prostředí. Tento proces může probíhat ve speciálních reaktorech bioplynových stanic, ve vyhnívacích nádržích čistíren odpadních vod, nebo přímo v tělesech skládek komunálního odpadu. Mezi organický materiál využívaný při získávání bioplynu patří např. komunální odpad, odpad zemědělské výroby, kaly splaškových vod, dobytčí kejda ale také cíleně pěstované rostliny.

Bioplyn je vhodný pro spalování v upravených zážehových nebo spalovacích motorech. Aby bylo možné bioplyn v těchto motorech spalovat, je nutné zbavit ho látek, které mají negativní vliv na životnost motoru. Zejména se jedná o sloučeninu síry s dusíkem – sulfanem. V praxi se užívá celá řada technologií, které s větší, či menší úspěšností tuto sloučeninu z bioplynu odstraní.

Pro maximální využití energetického potenciálu bioplynu se pro spalování používají kogenerační jednotky. Kogenerace představuje velice efektivní společnou výrobu elektrické energie a tepla. Oproti oddělené výrobě pracuje s vyšší účinností, což znamená šetření paliva a také nižší produkci emisí. Kogenerační jednotky naleznou uplatnění zejména v místech s celoročními požadavky na dodávky tepla. Tuto nevýhodu lze ale zmírnit použitím trigenerace, při které se teplo vyrobené kogenerační jednotkou pomocí absorpčního chladícího zařízení upravuje na chlad a ten použít např. při klimatizaci.

V současné době je v České Republice podíl kogenerace na výrobě elektrické energie zhruba 18 % a na dodávce tepla přibližně 30 %. ČR je v pomyslném žebříčku využití kogenerace při výrobě elektrické energie v EU na čtvrtém místě za Dánskem, Finskem a Nizozemskem. Do budoucna lze očekávat, s přihlédnutím k neustálému vývoji v této oblasti, k dalšímu zvyšování podílu kogenerace na výrobě energie. Vzhledem k tomu, že se neplánuje stavba nových rozsáhlých soustav centralizovaného vytápění, bude vývoj kogenerace směřovat spíše k decentralizaci zdrojů. Stále větší uplatnění bude nalézat zejména v místech s možností spalování bioplynu, jako jsou bioplynové stanice, čistírny odpadních vod a skládky odpadů.

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] STRAKA, František. *Bioplyn*. 1. vyd. Říčany: GAS, 2003. 517 s. ISBN 80-7328-029-9.
- [2] KRBEK, Jaroslav, POLESNÝ, Bohumil. *Kogenerační jednotky - zřizování a provoz*. 1. vyd. Praha: GAS, 2007. 201 s. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [3] DOHÁNYOS, Michal, et al. *Anaerobní čistírenské technologie*. 1. vyd. Brno: NOEL 2000, c1998. 343 s. ISBN 80-86020-19-3.
- [4] SCHULZ, Heinz, EDER, Barbara. *Bioplyn v praxi*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2004. 168 s. ISBN 80-86167-21-6.
- [5] TRNOBRANSKÝ, Karel. *Spalování bioodpadů s použitím fermentačního reaktoru a kogenerační jednotky* [online]. 1998 [cit. 2009-02-15]. Dostupné z WWW: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/98_887.pdf>.
- [6] *Anaerobní technologie* [online]. 2007 [cit. 2009-02-16]. Dostupné z WWW: <http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm>.
- [7] *Kogenerace* [online]. c2008 [cit. 2009-03-05]. Dostupné z WWW: <<http://ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml>>.
- [8] *ČOV Petržalka* [online]. c2000-2009 [cit. 2009-02-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.aplik.sk/sk/Referencie/Cistiarne-odpadovych-vod/COV-Petrzalka.alej>>.
- [9] ŠVAŇA, Vladan. *Specifika spalování bioplynu v kogeneračních jednotkách s plynovými motory* [online]. [cit. 2009-03-19]. Dostupné z WWW: <http://www.energyagency.at/publ/pdf/cz_energietage_motorgas_c.pdf>.
- [10] *Od dýchacích masek k odsíření bioplynu nemusí být daleko* [online]. 2007 [cit. 2009-04-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.spoluprace.org/cz/redakce/moznosti-spoluprace/vybrane-priklady-z-praxe/od-dychacich-masek-k-odsireni-bioplynu-nemusi-byt-daleko/r95>>.
- [11] *Kogenerace* [online]. 1998 [cit. 2009-03-04]. Dostupné z WWW: <http://kogenerace.tedom.cz/download/2/121/kogenerace2007_cz.pdf>.
- [12] ŠVAŇA, Vladan. *Kogenerační a trigenerační výroba energií* [online]. 2001 [cit. 2009-04-28]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/kogeneracni-a-trigeneracni-vyroba-energi>>.
- [13] *Absorpční chlazení* [online]. [cit. 2009-05-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.luwex.cz/ach.html>>.

- [14] MURÁR, Vlado. *Trigenerace? Co to je?* [online]. [cit. 2009-05-01]. Dostupné z WWW: <<http://kogenerace.tedom.cz/magazin-04-1-co-to-je-trigenerace.html>>.
- [15] MALAŤÁK, Jan. *Anaerobní konverze organických substrátů* [online]. 2006 [cit. 2009-05-10]. Dostupné z WWW: <<http://odpady.tf.czu.cz/p/ttbz.pdf>>.
- [16] ČOV BRNO - Modřice [online]. c2005-2009 [cit. 2009-05-12]. Dostupné z WWW: <<http://www.bvk.cz/o-spolecnosti/odvadeni-a-cisteni-odpadnich-vod/cov-brno-modrice/>>.
- [17] Čistírna odpadních vod [online]. 2006 [cit. 2009-05-14]. Dostupné z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8Cist%C3%ADrna_odpadn%C3%ADch_vod>.
- [18] *Bioplyn - ČOV Brno - bioplynová kogenerační jednotka v provozu* [online]. [cit. 2009-05-14]. Dostupné z WWW: <<http://www.motorgas.cz/index.php?disp=aktuality{=0&shw=103>>.
- [19] *Bioplyn - energie budoucnosti* [online]. [cit. 2009-05-19]. Dostupné z WWW: <http://biogas-nord.marcant.net/fileadmin/user_upload/pdf/Imagebrosch%C3%BCren___Flyer/CZ_Brosch%C3%BCre_BIOGAS_NORD.pdf>.
- [20] *Přínos kogenerace - absolutní úspora energií při výrobě elektřiny* [online]. [cit. 2009-05-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.ekobydleni.eu/domy/prinos-kogenerace-absolutni-uspora-energie-pri%C2%A0vyrobe-elektriny>>.
- [21] *EFEKT 2009* [online]. c2008 [cit. 2009-05-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.mpo-efekt.cz/cz/programy-podpory/1416>>.
- [22] *Stručně o OP Životní prostředí* [online]. c2007 [cit. 2009-05-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.opzp.cz/sekce/16/strucne-o-op-zivotni-prostredi/>>.
- [23] *Příručka pro žadatele o podporu* [online]. 2009 [cit. 2009-05-21]. Dostupné z WWW: <http://www.zelenausporam.cz/soubor-ke-stazeni/14/4391-ZU_prirucka01-pro-zadatele_148x210+3_v6.indd.pdf>.
- [24] *Odplynění skládky Ďáblice* [online]. [cit. 2009-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://www.mmspektrum.com/clanek/odplyneni-skladky-dablice>>.
- [25] SLAVÍK, Josef: Bioplynová stanice Vejprnice na drubeží trus. *Biom.cz* [online]. 2009-05-20 [cit. 2009-05-24]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynova-stanice-vejprnice-na-drubezi-trus>>. ISSN: 1801-2655.