

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Bakalářská práce

Motory kogeneračních jednotek bioplynových stanic

Veronika Paulusová

© 2017 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Veronika Paulusová

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Motory kogeneračních jednotek bioplynových stanic

Název anglicky

Engines CHP units of biogas plants

Cíle práce

Zmapovat plynové spalovací motory používané v kogeneračních jednotkách bioplynových stanic v České republice. Vypracovat přehled používaných motorů, přehled jejich technických parametrů a přehled jejich předepisované údržby.

Metodika

Osnova práce:

- 1) Úvod
- 2) Cíl a metodika práce
- 3) Bioplynové stanice v ČR
- 4) Kogenerační jednotky bioplynových stanic
- 5) Plynové spalovací motory používané v kogeneračních jednotkách
- 6) Technické parametry, provozní manuály a předpisy pro údržbu motorů
- 7) Technicko-ekonomické hodnocení provozu kogeneračních jednotek
- 8) Závěry
- 9) Literatura

Rámcová metodika:

Na základě literární rešerše formou výkladu popsat konstrukci, funkci a technické parametry plynových spalovacích motorů. Na vybraných bioplynových stanicích získat poznatky a zkušenosti provozovatelů s provozem a údržbou motorů. Podle technických parametrů porovnat provozní vlastnosti jednotlivých typů motorů.

Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

Klíčová slova

bioplynová stanice, kogenerační jednotka, plynový spalovací motor, údržba

Doporučené zdroje informací

Katalog: Dávkovací zařízení pro bioplyn. Dostupné na <http://www.preciz.cz/produkty/bioplyn>
Manuály výrobců motorů

Matějka, J.: Projekt TA03020421 Technologická jednotka pro omezenou lokální výrobu biometanu nahrazujícího fosilní paliva především v dopravě a zemědělství. TAČR, program ALFA

MPO: Bioodpad-bioplyn-energie. České ekologické manažerské centrum, 2009, dostupné na http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595e1fa66875530f33e8a/Bioplyn_sesit.pdf

Smatanová, M.: Bioplynové stanice. ÚKZÚZ, Dostupné na http://eagri.cz/public/web/file/214721/_2_BPS.pdf

Straka, F.: Bioplyn: příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]. 3., zkrác. vyd. Praha: GAS, 2010, 305 s. ISBN 978-80-7328-235-6

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Josef Pošta, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 18. 3. 2016

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 3. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 27. 03. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Motory kogeneračních jednotek bioplynových stanic vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědoma, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědoma že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze 30. 3. 2017

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala prof. Ing. Josefu Poštovi, CSc. za pomoc a rady při zpracování této práce. Dále chci poděkovat provozovatelům vybraných bioplynových stanic, za poskytnutí informací.

Motory kogeneračních jednotek bioplynových stanic

Engines CHP units of biogas plants

Anotace

V této bakalářské práci jsou zmapovány plynové spalovací motory používané v kogeneračních jednotkách zemědělských bioplynových stanic v České republice. Je zde stručně popsána výroba bioplynu včetně procesů, význam kogenerace, seznámení s pohony používaných v kogeneračních jednotkách. Dále se práce zaměřuje ve větší míře na plynové spalovací motory zážehové a vznětové a na jejich technické parametry, funkci, údržbu a základní rozdělení.

V závěru je popsáno technicko-ekonomické hodnocení zemědělské bioplynové stanice Skalsko a Valovice, které se nacházejí ve Středočeském kraji.

Příloha obsahuje tabulkové zpracování technických parametrů plynových spalovacích motorů, které se vyskytují v kogeneračních jednotkách zemědělských bioplynových stanicích v České republice.

Klíčová slova: bioplynová stanice, kogenerace, kogenerační jednotka, plynový spalovací motor, údržba

Annotation

This bachelor thesis deals with gas combustion engines used in CHP units of agricultural biogas plants in the Czech Republic. It briefly describes biogas production including production processes, cog significance and drives used in CHP units. The thesis also pays a considerable attention to gas combustion engines both petrol and diesel and their technical parameters, function, maintenance and basic classifications.

The conclusion of the thesis describes the technical and economic evaluation of agricultural biogas plants in Skalsko and Valovice, which are situated in Central Bohemia.

The appendix brings a table with technical parameters of gas combustion engines in CHP units of agricultural biogas plants in the Czech Republic.

Keywords: biogas plant, cogeneration, CHP unit, gas combustion engine, maintenanc

Obsah

1.	ÚVOD	1
2.	CÍL PRÁCE	2
3.	BIOPLYNOVÉ STANICE V ČESKÉ REPUBLICE	3
3.1	Bioplynové stanice	3
3.2	Technologický proces bioplynové stanice	4
4.	ANAEROBNÍ TECHNOLOGIE	6
4.1	Procesní stupně	8
5.	BIOPLYN	8
5.1	Suroviny pro výrobu bioplynu	8
6.	KOGENERACE	9
7.	KOGENERAČNÍ JEDNOTKA	9
7.1	Rozdělení kogeneračních jednotek	10
7.2	Kogenerace a životní prostředí	10
7.3	Výhody a nevýhody kogenerační jednotky	11
7.4	Druhy kogeneračních technologií	11
8.	POHONY KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK	12
8.1	Spalovací motory	13
8.2	Parní turbíny	14
8.3	Spalovací turbína	15
8.4	Paroplynová zařízení	16
8.5	Stirlingovy motory	17

8.6	Mikroturbíny	18
8.7	Organický Rankinův cyklus	18
8.8	Palivové články	19
9.	PLYNOVÉ SPALOVACÍ MOTORY POUŽÍVANÉ V KOGENERAČNÍCH JEDNOTKÁCH	20
9.1	Rozdělení spalovacích motorů podle výkonů	20
10.	SPALOVACÍ MOTORY	21
10.1	Vznětové motory	23
10.2	Zážehové motory	23
10.3	Rekonstrukce plynového motoru spalující bioplyn	24
10.3.1	Zapalovací soustava	25
10.3.2	Palivová soustava	26
11.	ÚDRŽBA SPALOVACÍCH MOTORŮ	27
11.1	Popel	28
12.	VÝROBCI PLYNOVÝCH SPALOVACÍCH MOTORŮ	29
12.1	Jenbacher	30
12.2	Tedom	30
12.3	MAN	30
12.4	Waukesha	31
12.5	MWM	32
12.6	SCHNELL/SCANIA	32

13.	TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	33
13.1	Bioplynová stanice Skalsko	33
13.1.1	Technologie.....	33
13.1.2	Substrát.....	33
13.1.3	Technické parametry	34
13.1.4	Údržba	35
13.1.5	Výkony	35
13.1.6	Náklady	35
13.1.7	Výkupní cena	36
13.2	Bioplynová stanice Valovice	37
13.2.1	Technologie.....	37
13.2.2	Substrát.....	37
13.2.3	Technické parametry	38
13.2.4	Údržba	39
13.2.5	Výkon.....	39
13.2.6	Náklady	39
13.2.7	Výkupní cena	39
14.	ZÁVĚR	40
15.	SEZNAM LITERATURY	41
16.	SEZNAM OBRÁZKŮ	44
17.	SEZNAM TABULEK	44
18.	SEZNAM PŘÍLOHY	44

1. Úvod

Globální oteplování spolu s rostoucí cenou energií nutí svět přizpůsobovat strategii výroby a spotřeby energie. Ceny fosilních paliv rostou, jejich zásoby klesají, a proto se výrobci energie snaží najít ekologicky vhodné řešení. Významnou pozici má v tomto směru využívání obnovitelných zdrojů energie s malými nebo žádnými emisemi. (1)

Biomasa patří mezi největší zdroj obnovitelné energie pro budoucnost. Získává se z cíleně pěstovaných rostlin nebo z rostlinného, živočišného a městského odpadu. Za pomoci anaerobní digesce, což je biologický proces rozkladu organické hmoty, probíhající za nepřístupu vzduchu, vzniká jako hlavní produkt bioplyn. Vedlejším produktem je digestát, který se používá jako organické hnojivo.

V kogenerační jednotce probíhá spalování nejčastěji za pomoci spalovacího motoru, kde se mechanická práce pomocí generátoru mění na elektrickou energii a teplo. Pístové spalovací motory jsou speciálně upraveny podle specifických požadavků, aby mohli dosáhnout technických a ekonomických úspěchů v energetice. Vyrobena elektrická energie je poté dodávána do rozvodné sítě a odpadní teplo je využito např. k ohřevu vody, sušení obilí nebo k vytápění přilehlých subjektů.

Rozvoj výstavby bioplynových stanic nastal při přijetí zákona 180/2005 Sb. na podporu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů. Bioplynové stanice v České republice dosáhly v roce 2015 počtu 507 stanic. (2)

2. Cíl práce

Cílem této práce je zmapovat plynové spalovací motory používané v kogeneračních jednotkách bioplynových stanic na území České republiky. Vypracovat přehled používaných motorů a jejich technických parametrů. Na vybraných bioplynových stanicích získat poznatky a zkušenosti provozovatelů s provozem a údržbou motorů.

3. Bioplynové stanice v České republice

V posledních letech je velký zájem podnikat v oboru, který se týká výroby a energetickým využitím bioplynu z nejrůznějších organických odpadů.

Bioplynové stanice jsou v současné době jedním z největších obnovitelných zdrojů elektrické energie v ČR. K velkému rozvoji výstavby bioplynových stanic napomáhá Evropská unie dotačními programy, jako jsou např.: Program rozvoje venkova, Operační program životního prostředí, Operační program podnikání a inovace.

Na území České republiky lze najít jak bioplynové stanice zemědělské, tak i průmyslové, komunální nebo bioplynové stanice používané v čistírnách odpadních vod.

V lednu 2016 vydalo Ministerstvo průmyslu a obchodu výsledky průzkumu z roku 2014, který se zabývá obnovitelnými zdroji energie. V České republice za rok 2014 vyrobily bioplynové stanice celkem 2 583 362,5 MWh elektrické energie. Z toho pro svou vlastní spotřebu vč. ztrát bylo spotřebováno 394 453,7 MWh. Za rok 2014 tedy dodaly do sítě celkem 2 188 908,8 MWh. Co se týče tepla, tak bioplynové stanice vyrobily 3 964 548,0 GJ tepla a pro vlastní spotřebu vč. ztrát spotřebovaly většinu a to 3 456 702,4 GJ. (3)

3.1 Bioplynové stanice

Bioplynové stanice jsou moderní a ekologická zařízení, která jsou provozována po celém světě. Zpracovávají biomasu, což je materiál nebo odpad organického původu. Ke zpracování dochází prostřednictvím procesu anaerobní digesce, to je proces, kdy jsou organické materiály rozkládány v uzavřených reaktorech tzv. fermentorech bez přístupu vzduchu. Hlavním produktem bioplynových stanic je bioplyn, který pomocí kogenerační jednotky používáme k výrobě elektrické energie a tepla. Dále také vzniká digestát, což jsou zbytky z organických materiálů a odpadů po procesu, které lze použít jako kvalitní organické hnojivo. (4)

Dle použitých vstupních surovin dělíme bioplynové stanice na:

- Zemědělské – jsou nejrozšířenější, jako vstupní suroviny se používají cíleně pěstované plodiny, jako jsou např. kukuřice, luční tráva a doplňují se o vedlejší zemědělské produkty jako je kejda a hnůj. Vstupní surovina je homogenní, takže se nemusí žádným způsobem před vstupem upravovat.
- Čistírenské – jsou nepostradatelnou součástí čistíren. Zpracovávají kaly z čistíren odpadních vod. Vstupními surovinami jsou kaly z ČOV, žump, septiků a odpadní voda.
- Ostatní – vstupní suroviny jsou biologicky rozložitelné odpady a vedlejší živočišné produkty. Jelikož je vstupní materiál nesourodý, může obsahovat nečistoty a choroboplodné zárodky. Z tohoto důvodu musí materiál před procesem projít třídící linkou, kde se materiál rozdrtí a zahřeje na stanovenou teplotu, abychom zlikvidovali choroboplodné zárodky (4)

3.2 Technologický proces bioplynové stanice

Biomasa je dopravena do vzduchotěsného fermentoru, kde je zahřívána na provozní teplotu po pevně stanovenou dobu. Bioplyn vznikající ve fermentoru je odváděn do zásobníku a dále je upravován buď spalováním na teplo, nebo za pomoci kogenerační jednotky na teplo a elektrickou energii.

Zemědělské farmy jsou většinou vybaveny skladovacími prostory, kde jsou uskladněny suroviny před vstupem do procesu. Dále je také základem přípravná nádrž, ve které se substrát připravuje před vstupem do fermentoru, zde se mísí, drtí a ohřívá. Nádrž je dále vybavena čerpadlem nebo dopravníkem, pro přečerpání připraveného substrátu do fermentoru.

Fermentor je hlavní částí bioplynové stanice. Je to velká železobetonová kruhová jímka, která je zakrytá. Zde probíhá anaerobní digesce a dále výroba bioplynu. Vytápění fermentoru většinou zajišťuje teplo, vyprodukované v kogeneračních jednotkách. Substrát, který je čerpán do fermentoru je třeba pravidelně promíchávat. Bez promíchávání by se na hladině vytvořila kůra, která by přestala propouštět tvořící se bioplyn. Proto jsou v jímkách nainstalována míchadla. Vzniklý bioplyn se hromadí v horní části fermentoru, kde je potom odváděn k dalšímu využití. (5)

Všechna zařízení a technologické procesy stanice jsou napojeny na skříňový rozvaděč, odkud jsou monitorována a řízena. Stanice je tak maximálně automatizována a může běžet na téměř bezobslužný provoz. Každý skříňový rozvaděč obsahuje čidla, která hlídají např. zaplnění hladiny v jímce, teplotu atd. Dále rozvaděč, který řídí čerpadla, kompresory, míchadla a vkládací zařízení pro vstupní materiál.

Zbylí digestát je odveden do skladovací jímky. Jímka musí stačit na uskladnění po dobu, kdy platí zákaz hnojení. Skladovací jímky se zpravidla nezakrývají, protože už jsou zbavena bioplynu, a proto také nezapáchají. Jejich obsah je jednou za čas promícháván, hlavně tehdy, kdy má dojít k vypouštění. Digestát se přečerpá do cisteren a dále je použit k hnojení polí.
(6) (5)

Dělení bioplynových stanic podle dávkování:

- Kontinuálně – v této technologii se zásadně používá pro zpracování metoda mokré fermentace. Zpracovává se zde biomasa s obsahem <12% sušiny. Zde se biomasa doplňuje do fermentoru nepřetržitě.
- Semikontinuálně – zde se převážně používá také metoda mokré fermentace. Tato technologie je hojně používána pro plnění fermentorů. Zde se biomasa doplňuje do fermentoru v různých časových intervalech v malých dávkách. K plnění dochází většinou jednou až čtyřikrát denně.
- Diskontinuálně – tato technologie pracuje s metodou suché fermentace. Jedná se o biomasu s obsahem sušiny 20% až 60%. Intervaly mezi dodávkami odpovídají době držení materiálu ve fermentoru. Nevýhodou je jak kvalita bioplynu, tak i množství. K reaktorům se proto musí zapojovat baterie s provozním režimem v určitém časovém intervalu, aby nedošlo k nerovnoměrné dodávce bioplynu. Tato technologie je velice komplikovaná a časově náročná. (4) (7) (8) (9)

4. Anaerobní technologie

Anaerobní digesce neboli také fermentace je biologický proces rozkladu organické hmoty, který probíhá ve vlhkém prostředí za nepřístupu vzduchu. Tento proces probíhá také běžně v přírodě. Např. v bažinách, na dně jezer nebo na skládkách komunálního odpadu.

Anaerobní fermentace vytváří za posloupných fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických procesů bioplyn. Ten je konečnou fází celého procesu, spolu se zbytkovým fermentovaným materiálem. Proces probíhá za teplot od 0 °C do 70 °C, na rozdíl od dalších procesů nevzniká při anaerobní fermentaci teplo, ale vzniká hořlavý plyn – metan. Společně s ním se vytváří také oxid uhličitý a voda. (10)

Obecně můžeme tento proces rozdělit do čtyř hlavních fází:

Hydrolýza, je to první fáze, při které se anaerobní mikroorganismy, (organismy, které pro svůj život a množení nepotřebují kyslík), štěpí na makromolekulární látky, jako jsou např. tuky, bílkoviny, uhlohydráty pomocí bakterií na jednodušší sloučeniny – mastné kyseliny, jednoduché cukry a aminokyseliny. Při tomto procesu se uvolňuje vodík a oxid uhličitý.

Acidogeneze, neboli tvorba kyselin je druhá fáze, ve které probíhá další štěpení jako v předchozí fázi za pomoci acidogenních bakterií na jednoduché kyseliny a alkoholy. V této fázi je odstraněn všechen zbytek vzdušného kyslíku a je vytvořeno anaerobní prostředí. Při tomto procesu vznikají další produkty a těmi jsou amoniak, sulfan, oxid uhličitý a další.

Acetogeneze je předposlední fáze, ve které dochází k dalšímu rozkladu kyselin a alkoholů za pomoci acetogenních bakterií. Výsledkem je kyselina octová, vodík a oxid uhličitý.

Methanogeneze je poslední fáze, která je velice citlivá. Trvá asi 5x pomaleji než předchozí fáze a organismy jsou velice citlivé na změny teplot a pH. Za pomoci methanogenních bakterií se rozkládá hlavně kyselina octová ale také vodík a oxid uhličitý na metan – CH₄ (11)

Z hlediska druhu anaerobních mikroorganismů se v praxi můžeme nejčastěji setkat s těmito procesy:

- - mezofilní (35 °C až 40 °C) - např. při zpracování prasečí a hovězí kejdy v zemědělství
- - termofilní (55 °C) - např. zpracování kalů na ČOV (vyšší teplota je z hygienických důvodů)

Anaerobní rozklad organických látek je ovlivněn velkým množstvím faktorů, které mění životní prostředí mikroorganismů a mají velký vliv na průběh procesu.

Jedná se o tyto faktory:

- vlhkost prostředí – methanogenní bakterie se mohou množit pouze ve vlhkém prostředí (min. 50%)
- anaerobní prostředí – methanogenní bakterie nemohou žít za přítomnosti vzduchu
- přítomnost světla – světlo zpomaluje množení bakterií
- teplota prostředí – tvorba methanu probíhá v rozmezí teplot (4 - 90°C), proto je nutné zajistit konstantní teplotu
- hodnota pH - pro růst metanogenních mikroorganismů je optimální pH 6,5 - 7,5
- Přísun živin – buněčná stavba methanogenní bakterie se neobejde bez rozpustné dusíkaté sloučeniny, minerální látky a stopové prvky
- přítomnost toxických a inhibujících látek – za toxické nebo inhibující látky považujeme látky, které ovlivňují nepříznivě biologický proces, jako jsou např. mastné kyseliny nebo amoniak
- zatížení vyhnívacího prostoru – udává, jaké maximální množství organické sušiny na den může být dodáváno do fermentoru, aby nedošlo k jeho přetížení,
- rovnoměrný přísun substrátu – aby nedocházelo k zatížení fermentoru, zajišťuje se rovnoměrný přísun substrátu
- odplynování substrátu – plyn z vyhnívací nádrže musí být nějakým způsobem odváděn, aby nedošlo k velkému nárůstu tlaku plynu. (4) (11)

4.1 Procesní stupně

Procesní stupně se dělí na jednostupňový a dvoustupňový.

U jednostupňových zařízení nedochází k žádnému oddělování určitých fází fermentace, jako jsou hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze, methanogeneze, všechny probíhají v jedné nádrži.

Při dvoustupňové metodě dochází k oddělení fází do jednotlivých nádrží. Např. hydrolýza a acidogeneze jsou prováděny v jedné nádrži. (4) (7)

5. Bioplyn

Bioplyn je plyn, který vzniká kvašením (fermentací) bez přístupu vzduchu z organické hmoty. Jeho hlavní složkou je metan (55-70%) a oxid uhličitý (cca 40%) dále obsahuje malé množství amoniaku, molekulárního dusíku, vodíku a kyslíku v podílu 6 až 8 %. (11)

5.1 Suroviny pro výrobu bioplynu

Pro výrobu bioplynu se využívají určité druhy biomasy rostlinného a živočišného původu. Ze živočišných produktů jsou to zejména kejda, hnůj, podestýlka a z rostlinných např. různé kořeny a zbytky rostlin nebo také cíleně pěstovaná biomasa jako je kukuřice, která je pěstovaná z důvodu obsahu vysoké energetické hodnoty.

Dále se mohou využívat kaly z čistíren odpadních vod, biologicky rozložitelný odpad a také vedlejší živočišné odpady což jsou např. části poražených zvířat, kopyta, krev, kůže, skořápky.

Evropský parlamenty tyto vedlejší živočišné odpady přísně kontroluje a upravuje nařízení, kterým se musí bioplynové stanice řídit, když zpracovávají tento odpad. Při tomto zpracování se zvyšují hygienické nároky na provoz a proto je potřeba vybavit bioplynovou stanicí dalšími technickými prvky pro zpracování toho odpadu. (11)

6. Kogenerace

Kogenerace je označována jako kombinace tepelné a elektrické energie. Jedná se o přeměnu vstupního paliva na elektrickou energii nebo teplo. Jedná se ekologický způsob výroby elektřiny, který je velice účinný a dále také dokáže využít i zbytkové teplo na další účely.

Při přeměně energie z paliva se nejprve využije vysokopotenciální tepelná energie k vykonání práce. Poté ze zbytku pracovní látky, která už nemá tak vysokou teplotu, ji využijeme na pokrytí potřebného tepla. (12)

7. Kogenerační jednotka

Kogenerační jednotka je důležitým článkem bioplynové stanice. Je to technologické zařízení určené ke kombinované výrobě elektrické energie a tepla, která je tvořena spalovacím motorem, nebo spalovací turbínou, elektrickým generátorem, výměníkem tepla a regulačními prvky.

Klasické spalovací motory se upravují tak, aby mohli spalovat levnější plynná paliva (zemní plyn, různé druhy bioplynu s vysokým obsahem metanu, kalové plyny z čistíren odpadních vod, skládkové plyny) a zároveň, aby výroba energie byla co nejvíce ekonomicky výhodná. (13)

To že se kogenerační jednotka nachází v těsné blízkosti, kde se energie vyrábí, má velkou výhodu. Ztráty jsou minimální, protože nedochází ke ztrátám při dodávkách a dále také splňují přísné emisní normy a snižují emise CO, SO₂ i CO₂. (12) Princip kogenerační jednotky

Do kogenerační jednotky je přiváděn bioplyn, který je odsířený a zbaven vody. Odsíření je důležité, jelikož sirovodík, má velice korozivní následky. Důsledkem koroze je např. časté měnění zapalovacích svíček ve spalovacím motoru kogenerační jednotky. Čistý plyn je poté veden do kompresoru, kde se stlačí a dále putuje do válců spalovacího motoru, kde se spaluje. Energie uvolněná během spalování pohání generátor a vzniká elektřina. Teplo vzniká při chlazení motoru, mazacího oleje a výfukových plynů. (12) (5) (13)

7.1 Rozdělení kogeneračních jednotek

Kogenerační jednotky můžeme dělit podle mnoha hledisek např. podle velikosti výkonu, použité technologie, podle uplatnění, rozměrů, účinnosti, ceny a druhu paliva.

Základní rozdělení podle použitého paliva

- bioplyn
- zemní plyn

Rozdělení dle oblastí, kde se kogenerační jednotky uplatňují

- Malá kogenerační zařízení – slouží převážně pro vytápění jednotlivých budov nebo pro menší skupiny budov. Zde se používají zejména spalovací motory, mikroturbíny, Stirlingovy motory, palivové články
- Kogenerační zařízení menších průmyslových podniků používají spalovací motory.
- Velká kogenerační zařízení – jsou spojena s výrobou vodní páry s vyššími parametry, užívána ve velkých komplexních budovách a v průmyslových aplikacích. Používají se zde parní a spalovací turbíny a velkovýkonové spalovací motory.
- Velká zařízení spojena s teplárnami nebo se spalovnami, které zajišťují dodávky tepla do centralizovaného zásobování teplem. Nejčastěji se používají spalovací turbíny v paroplynovém zapojení a parní turbíny se středním a vysokým výkonem.
- Kogenerační zařízení, které využívají obnovitelné palivové zdroje. Používají parní a spalovací turbíny ale nejčastěji spalovací motory. (2) (12) (13)

7.2 Kogenerace a životní prostředí

Kogenerační jednotky nynější vývojové generace splňují z pohledu emisí určité normy. Oproti dělenému způsobu výroby elektřiny a tepla zřetelně snižují celkovou velikost emisí CO, SO₂, NO_x, prachu ale také CO₂ a to v důsledku nižší spotřeby primárních energetických zdrojů a zavádění plynu pro výrobu elektřiny. Snížení emisí oxidu uhličitého v kogeneračních jednotkách závisí na použité technologii (14)

7.3 Výhody a nevýhody kogenerační jednotky

Jako každá technologie, tak i kogenerace má své klady a zápory.

Výhody

- efektivně využívá primární palivo ve srovnání s oddělenou výrobou elektřiny a tepla
- snižuje emise, které jsou vypouštěny do okolního prostředí např. CO₂ při spalování zemního plynu
- nachází se v těsné blízkosti, tím nevznikají ztráty při dodávkách
- nenáročná obsluha, vše je řízeno počítačem
- podle použité technologie je možné použít různorodou škálu paliv

Nevýhody

Mezi hlavní nevýhodu kogenerační jednotky patří velké investiční náklady, které jsou spojené jak s pořízením, tak i s návratností a jsou primárně závislé na využití tepla. Pro většinu lidí, je důležitým faktorem určit přesnou návratnost investice, proto musíme mít dobrou představu o spotřebě energií. (12)

7.4 Druhy kogeneračních technologií

Za poslední léta dosáhl vývoj značného pokroku a vytvořil pro nás velký výběr kogeneračních zařízení, který nám umožňuje instalaci zařízení podle požadavků odběratelů energií. Legislativa nám oproti dřívějším dobám usnadnila, jak investici do kogenerační výroby, tak i její provozování. (12)

Každý kogenerační zdroj je obsahuje:

- Motor (pohonná jednotka)
- Kotel nebo výměník tepla
- El. alternátor vč. zařízení pro připojení do veřejné či spotřebitelné sítě
- Kontrolní a řídicí systém

8. Pohony kogeneračních jednotek

Nejčastěji používané pohony v kogeneračních jednotkách:

- Parní turbíny
- Spalovací turbíny
- Spalovací motory
- Paroplynová (kombinovaná) zařízení

Nové druhy pohonných jednotek

- Stirlingovy motory
- Mikroturbíny
- Zařízení využívající organický cyklus
- Parní motory

Nový princip kogeneračního zařízení

- Palivové články

8.1 Spalovací motory

Spalovací motor je tepelný stroj, který je vhodný k teplotěnskému využití. Motor pohání elektrický generátor, který současně produkuje i odpadní teplo. Teplo pochází z chlazení motoru (hlava motoru a blok válců), chlazení mazacího oleje a z výfukových plynů. Chlazení oleje se provádí za pomoci chladicího vodního okruhu, kde je teplo odváděno topnou vodou. Tato voda může být ohřata maximálně na teplotu kolem 80 °C. Jestliže se použije zvláštní výměník chladicího tepla, který chladí hlavy válců a blok motoru, je výstupní teplota topné vody 100 až 110 °C a to v případě že primární okruh je tvořen jako tlakový. Kvůli tlakovým poměrům v primárním okruhu motoru je vhodnější, aby teplota topné vody měla 90 až 100 °C. Ve výměníku, kde se využívá teplo z výfukových plynů, je teplota ohřáté vody větší než 110 °C nebo vzniká pára. (5)

Spalovací plynové motory mohou být jako tepelný zdroj využívány pro:

- výrobu páry s nižším tlakem
- chladicí zařízení
- předehřev napájecí vody pro parní kotle a zároveň pro ohřev oxidizačního média hořáků u zmiňovaných kotlů
- ohřev primární vody na teplotu 110 až 130 °C
- ohřev sekundární vody s nejčastějšími teplotami topné vody (90 °C) a vratné vody (70°C).

Tabulka 1: Vlastnosti spalovacích motorů (14)

Výhody	Nevýhody
- malé prostorové nároky, malé prostorové nároky	- hlučnost a vibrace
- možnost rychlého najetí a odstávky	- spotřeba mazacích olejů
- vysoká účinnost v jakémkoliv výkonovém rozmezí	- častější servis
- možnost bezobslužného nebo dálkového řízení provozu	

Použití:

- skládky komunálního odpadu
- čistírny odpadních vod
- bioprovozy

8.2 Parní turbíny

Parní turbíny patří do nejčastěji používané skupiny pohonů v kogeneračních jednotkách. Používají se u velkých zdrojů. Nezávisí na tom, co se v kotli spaluje ať je to uhlí, plyn, odpad nebo biomasa. Oproti jednotkám se spalovacím motorem, jsou parní turbíny méně náročné na kvalitu paliva. Nezávisí na tom, co se v kotli spaluje ať je to uhlí, plyn, odpad nebo biomasa. U parních turbín můžeme použít jakýkoliv zdroj tepla, podmínkou je, že musí generovat páru. (14) (5)

Princip činnosti

Parní turbína je točivý stroj, který přeměňuje část energie vstupní páry na mechanickou práci. Parní turbína se skládá z tělesa statoru s rozváděcími koly, které usměřují tok přiváděné páry a následně jsou ofukovány lopatky rotoru umístěného v ose turbíny. Tlaková energie páry působí na lopatky a díky tomu je rotor roztočen a ten následně pohání generátor.

Vysokotlaká pára, která je vyprodukována v kotli postupně prochází turbínou, kde expanduje a produkuje mechanickou energii, která je použita k pohonu elektrického alternátoru. Pára na výstupu z turbíny je dále využita jako tepelný zdroj.

Turbíny dělíme na kondenzační a protitlakové. Výkon turbíny závisí na množství expandující páry a také na požadované kvalitě dodávaného tepla, která je dána tlakem páry vystupující z turbíny. Pracovní pára vstupující do turbíny musí mít vysoké parametry tj. tlak i teplotu. Na výstupu z turbíny je obvykle pára s nízkou potenciální energií odpovídající požadavkům odběratelů. (14)

Tabulka 2: Vlastnosti parní turbíny (14)

Výhody	Nevýhody
- lze použít libovolné palivo	- pomalý rozjezd ze studeného stavu
- velký rozsah jednotlivých výkonů	- složitá konstrukce
- velká životnost	- nízký teplotní modul

Použití: teplárny a elektrárny

8.3 Spalovací turbína

Spalovací turbíny se v poslední době stávají velice vyhledávanými pohonnými motory v nově vybudovaných kogeneračních zařízeních o výkonu 5 až 100 MW. Oproti parním zařízením se lépe instalují, lépe se uvádějí do provozu, mají menší hmotnost a také nižší investiční náklady.

Spalovací turbína se skládá ze spalovací komory, kompresoru, plynové turbíny, elektrického generátoru a dalších zařízení. (14) (5)

Princip činnosti

Kompresor nasává vzduch, poté ho stlačí na požadovaný tlak a dále ho přivádí do spalovací komory, kam je přiváděn i zemní plyn. Po tomto smísení vznikají spaliny o vysoké teplotě a vysokém tlaku, které pak v plynové turbíně expandují a svůj energetický potenciál přemění na mechanickou práci. Ta se v generátoru přemění na elektrickou energii. Spaliny, které vystupují z plynové turbíny, mají dostatečnou teplotu k tomu, abychom mohli předehřívat vzduch před spalovací komorou, nebo jsou vedeny do spalínového kotle pro výrobu tepla ve formě páry nebo horké či teplé vody. Kompresor je přímo poháněn plynovou turbínou. Nadbytek výkonu se používá pro pohon elektrického generátoru. (14)

Tabulka 3: Vlastnosti spalovací turbíny (14)

Výhody	Nevýhody
- rychlý rozjezd a odstavení	- vysoké nároky na kvalitu údržby a obsluhy
- nízká cena	- hlučnost
- rychlá výstavba	- potřeba kvalitního a čistého paliva

Použití: velké průmyslové objekty s neustálým odběrem tepla a elektřiny

8.4 Paroplynová zařízení

V poslední době se toto zařízení velice rozšířilo v celém světě. Paroplynové zařízení se používá u nově vystavených nebo z větší části rekonstruovaných plynových tepláren. Paroplynové zařízení je spojením spalovací turbíny a pracovního okruhu parní turbíny. Toto zařízení můžeme použít jak k samostatné výrobě elektřiny, tak v kogeneračním zapojení. (14) (5)

Princip činnosti

Plynová turbína pohání elektrický generátor. Do spalínového kotle, který se nachází za plynovou turbínou, vypouští spaliny. V kotli je vyráběna vysokotlaká pára, která je dále vedena parní turbínou a ta pohání další generátor výroby elektrické energie. Pára z parní turbíny se používá jako zdroj tepla. Spalovací turbínu lze nahradit plynovým spalovacím motorem velkého výkonu, kde k výrobě páry pro pohon parní turbíny můžeme využít jeho výfukové plyny. (14)

Tabulka 4: Vlastnosti paroplynového zařízení (14)

Výhody	Nevýhody
- snadná optimalizace provozu	- lze spalovat pouze ušlechtilá paliva
- malé množství emisí	- omezená provozní pružnost
- možné dodávky tepla v páře i v horké vodě	- vysoké nároky na kvalitu obsluhy a údržby

Použití: ve velkých průmyslových závodech s nepřetržitým odběrem elektřiny a páry

8.5 Stirlingovy motory

Stirlingův motor patří do skupiny méně rozšířených pístových motorů. Jedná se o motory s vnějším spalováním, které se oproti ostatním pístovým motorům liší tím, že mají dva trvale oboustranně připojené zdvihové prostory s rozdílnou teplotou. Pracují s uzavřeným oběhem pracovní látky, což obvykle bývá interní plyn, který je střídavě ohříván a ochlazován a nemění se. U Stirlingova motoru je teplo přiváděno k pracovnímu plynu z vnější strany, proto tedy motor s vnějším spalováním. Konstrukce je ale velice náročná. Do kanálu mezi studenou a teplou komorou se zařazuje regenerátor z toho důvodu, aby se zvětšil rozdíl mezi teplotami přívodu a odvodu tepla. (14) (5)

Princip činnosti

Motor se skládá z horké a studené komory, které tvoří pracovní prostory pravého a levého válce. Během práce motoru se pracovní látka nemění, pouze je přemístěna z jednoho válce do druhého. Oba válce se otáčejí současně, avšak kliky jsou pootočené o 90 °. Leví píst se nachází v dolní poloze a pracovní objem levého válce je téměř zaplněn chladnou pracovní látkou. Pravý píst se nachází v polovině zdvihu a pravý válec je tedy zaplněn horkou pracovní látkou téměř do poloviny. Pracovní látka je téměř z větší části chladná. Při změně pohybu se látka přetlačuje pravým pístem přes regenerátor a chladič do válce levého a z pracovní látky se tedy odvádí teplo. Přitom dochází ke kompresi, jelikož je objem látky v této poloze nejmenší. Tato komprese je optimálně izotermická. Při dalším pohybu do další polohy je látka přetlačena do pravé komory a je jí v ohříváku přidáváno teplo. Od této polohy do konečné polohy se pracovní objem výrazně zvětší a probíhá tedy expanze a větší část látky přechází do pravého válce přes ohřívák, kde jí je opět přiváděno teplo. Tento děj v této poloze skončí a látka zaujímá stejný objem, jako na začátku. Celý cyklus je zakončen tím, že pracovní látka je přetlačena do levého válce za pomoci otáčení hřídelů optimálně při stálém objemu a obvodu tepla v chladiči. (14)

Tabulka 5: Vlastnosti Stirlingova motoru (14)

Výhody	Nevýhody
- různé druhy paliv	- vysoká cena
- malá hlučnost	- namáhavá regulace výkonu
- nízké emise	

Použití: místa, kde se spaluje biomasa

8.6 Mikroturbíny

Mikroturbína je často označována jako vysokootáčková plynová turbína o elektrickém výkonu 10 - 100 kW. Pokud je toto zařízení vybaveno tepelným výměníkem využívající teplo v odcházejících spalínách pro výrobu páry nebo pro ohřev vody, tak se stává mikroturbína zdrojem kogenerace.

Nejčastěji používané turbíny mají na společné hřídeli jednostupňový radiální kompresor, jednostupňovou radiální turbínu a generátor elektrického proudu. K přehřátí vstupujícího vzduchu do spalovací komory a pro ohřev vody, která je využita pro topné účely, jsou použity výfukové spaliny. (14) (5)

Tabulka 6: Vlastnosti mikroturbíny (14)

Výhody	Nevýhody
- vysoká spolehlivost	- vysoká cena
- malá hlučnost	- nízká elektrická účinnost
- rychlý rozjezd	

8.7 Organický Rankinův cyklus

Organický Rankinův cyklus využívá místo vodní páry organické látky. Jejich výhodou je, že se odpařují při nižších teplotách resp. tlaku a poskytují vyšší účinnost cyklu. Pracovní látkou může být silikonový olej, propan, toluen nebo čpavek. V kotli je ohřívána pracovní látka, která je odváděna do výparníku, kde se z ní vyvíjí plyn. Plyn je veden do turbíny, dále do regenerátoru a kondenzátoru, kde ochlazením zkapalní. Tím je cyklus uzavřen a teplo se získává z ekonomizéru (výměník využívající teplo spalino nízké teplotě k přehřívání napájecí vody), který se nachází za kotlem. (14) (5)

Tabulka 7: Vlastnosti Organického Rankinova cyklu (14)

Výhody	Nevýhody
- dlouhá doba životnosti	- vysoká cena
- využití biomasy	- dlouhá startovací doba

Použití: objekty, kde se vyrábí elektřina ze spalováním biomasy

8.8 Palivové články

Palivové články jsou galvanické články, které mohou energii obsaženou v palivu přímo přeměňovat na elektrickou energii. Zdrojem energie je nejčastěji používán vodík, který spolu s kyslíkem může exotermním procesem vyrábět elektrickou energii pomocí elektrolytu za vzniku vodní páry nebo vody. (14) (5)

Princip činnosti

Na porézní anodě, která je pokryta vrstvou katalyzátoru, dochází ke štěpení vodíku na elektrony a protony. Protony, které procházejí elektrolytem ke katodě, reagují s adsorbovanými kyslíkovými atomy na vodní páru, a elektrony protékají v uzavřeném okruhu elektricky vodivou anodou jako elektrický proud. Nejlepším palivem palivových článků by byl přímo vodík, ale v současné době se počítá pouze se zemním plynem, který je tvořen metanem. Zemní plyn musí být před vstupem do palivového článku rozložen na oxid uhlíku a vodík. (14)

Tabulka 8: Vlastnosti palivových článků (14)

Výhody	Nevýhody
- bezhlučný provoz	- vysoká cena
- vysoká účinnost	- úprava paliva (čistý vodík)
- nízké emise	- dlouhá startovací doba

Použití: rodinné domy a velké objekty

9. Plynové spalovací motory používané v kogeneračních jednotkách

Zdrojem kogenerační jednotky se stává spalovací pístový motor tehdy, kdy se jeho mechanická práce využije s pomocí generátoru na výrobu elektrické energie a pokud je zbylé neboli odpadní teplo využito k teplotně technickým účelům. Zde nastává rozdíl, kdy u automobilových motorů je teplo odváděno do okolí chladičem a výfukovými plyny. Proto musí být pístové spalovací motory speciálně upraveny podle specifických požadavků, aby mohli dosáhnout technických a ekonomických úspěchů v energetice. Na druhou stranu mají vyšší nárok na pravidelnou údržbu. (5)

U těchto motorů lze spalovat levnější palivo jako je např. zemní plyn nebo skládkové plyny, které mají nižší výhřevnost, a proto musí motor využívat systém zapalování směsí. Výhodou těchto motorů je dlouhá doba životnosti a spolehlivost, nízké pořizovací náklady a proto jsou konstruovány jako nízko otáčkové. Snahou je využít co nejvíce odpadního tepla, kterými jsou výfukové plyny, blok motoru nebo mazací olej. (5)

9.1 Rozdělení spalovacích motorů podle výkonů

Motory nízkých výkonů

Používají se především pro objekty rodinných domů. Elektrický výkon stroje se pohybuje do několika desítek kW. Nejčastěji se používají upravené zážehové vznětové motory. Karburátor je nahrazen směšovací zařízením, kde se mísí plyn a vzduch v určitém poměru. Účinnost motorů se pohybuje pod 30%.

Motory středních výkonů

Používá se zde jako tepelný stroj upravený mobilní nebo vznětový motor. Elektrický výkon stroje se zde pohybuje v řádech stovek kW. Účinnost se pohybuje mezi 32 - 35%.

Motory vysokých výkonů

Jako tepelný stroj se zde používají motory, jejich konstrukce je odvozena od lodních motorů. Tepelný výkon se pohybuje ve stovkách MW. Účinnost těchto motorů se pohybuje okolo 35 - 39%. Účinnost lze u těchto motorů zvýšit až na 39 - 43% pomocí konstrukčního řešení, kdy každý válec bude pracovat se svým vlastním přivedeným plynem.

10. Spalovací motory

Jestliže jsou spalovací motory použity pro kogeneraci, musí být konstruovaný pro spalování plynu. Tuto úpravu lze provést jak u zážehových, tak u vznětových motorů. Rekonstrukce zasahuje ve větší míře do palivového systému a spalovacího prostoru. V palivovém systému se připravuje směs vzduchu a plynu v požadovaném množství. Nacházejí se i takové případy, kdy u motorů o velkém výkonu je použit dvoupalivový systém, kdy je k dosažení zapálení s plynem vstříkováno malé množství motorové nafty cca 5%.

S provozem spalovacích motorů vznikají nevyvážené síly, a proto tyto motory potřebují speciálně navržené uložení pro absorpci vzniklé vibrace. Velkým problémem je také hluk, např. nízkofrekvenční složky mají špatný vliv na lidský sluch, proto jsou motory vybaveny dobrou hlukovou izolací. (15)

Největšího výkonu a účinnosti motoru lze dosáhnou při spalování v oblasti mírného přebytku vzduchu. Zde je však vyprodukováno větší množství NO_x . Při použití velkého přebytku vzduchu se emise NO_x sníží, ale zvýší se obsah CO. Nespálené uhlovodíky ve spalínách vedou ke spalovací nestabilitě.

Spalovací motory můžeme dělit dále podle:

- způsobu zapalování paliva
- použitého paliva
- počtu válců a jejich řazení
- způsoby úpravy spalovacího vzduchu
- rychlost otáčení hřídele

Spalovací motory můžeme dělit i podle počtu posuvů pístu za jeden cyklus tepelného oběhu na:

- dvoutaktní
- čtyřtaktní

Kogenerační jednotky využívají čtyřtaktní motory, protože spalují lépe a vznik emisí je menší než u dvoutaktních motorů. Větší počet válců a jejich uspořádání zaručuje lepší průběh krouticího momentu na hřídeli.

Podle rychlosti otáčení hřídele se spalovací motory rozdělují na:

- pomaloběžné (50-270 ot/min)
- se střídavými otáčkami (270-1000 ot/min)
- rychloběžné (1000-3600 ot/min)

Princip funkce spalovacího motoru v kogeneračních jednotkách je v podstatě stejný, jako u pístových motorů používaných u automobilů, lodí či jiných zdrojů elektrické energie. Spalovací pístové motory pracují v opakovaném cyklu, kdy se nasátý vzduch stlačí, po vstřiku a zažehnutí se zahřeje, zvýší se jeho objem neboli tlak a následuje expanze, při které se tlaková energie přeměňuje na mechanickou práci.

Podle způsobu zapálení směsi paliva a vzduchu ve válci rozdělujeme motory do dvou skupin:

- zážehové
- vznětové

10.1 Vznětové motory

U vznětových motorů dochází k zapálení paliva samovznícením, kdy je do horkého stlačeného vzduchu vstříknuto palivo. Tyto motory se také nazývají dieselovými motory. Jejich účinnost se pohybuje mezi 35% až 45% a maximální výkon až do 25 MW. Moderní vznětové motory používají zpožděné zapalování a hoření k dosahu snížení emisí NO_x . Vysoký výkon a účinnost zůstávají zachovány. Tyto motory mají vysoký kompresní poměr. Proto zde záleží na dokonalém provedení vstřiku paliva a řídicího systému motoru. (15)

10.2 Zážehové motory

U zážehového motoru se směs paliva a vzduchu zapálí pomocí elektrické jiskry. Jejich práce spočívá na principu Ottova cyklu. Oproti vznětovým motorům mají menší účinnost 27%-43% a menší výkon. Nové zážehové motory, které mají výkon větší než 3MW používají předkomůrku, kde má směs stechiometrické složení. Tyto motory s předkomůrkou mají stejnou účinnost jako velké vznětové motory až 43%. (15)

Motory s otevřenou spalovací komorou

Ve spalovací komoře probíhá zapálení. Tento způsob je vhodný pro motory, které pracují s určitým poměrem paliva k vzduchu, aby se zabránilo tomu, že ve spalínách nebude žádné nevyužitě palivo ani vzduch.

Motory s předkomůrkou

V hlavě válce se nachází malá komora, kde dojde k zapálení bohaté spalovací směsi, která dosáhne dostatečné energie k zapálení chudé směsi v hlavní spalovací komoře

10.3 Rekonstrukce plynového motoru spalující bioplyn

Jak bylo zmíněno na začátku této kapitoly, rozdělují se plynové spalovací motory na zážehové a vznětové. Pracují na stejném principu jako např. automobilové motory.

Úprava zážehového motoru spočívá v tom, že se v motoru spaluje pouze bioplyn. Bioplyn a vzduch je přes přídavný směšovač přiveden do spalovacího prostoru a pomocí sací trubice dále putuje do spalovacího motoru. Tato směs bioplynu a vzduchu je pomocí zapalovací svíčky zapálena. Jelikož se zde spaluje pouze plynné palivo, je to z pohledu ekonomického i technického velice výhodné, protože není nutné spalovat další jiná paliva. V tomto případě se nevyskytuje problém s další palivovou soustavou. Motor používá jen jednu palivovou soustavu a to, pro spalování bioplynu. (16)

Úprava vznětového motoru je na začátku stejná jako u zážehového, akorát se mění způsob zapálení. Plyn smísený se vzduchem se přivádí do spalovacího prostoru. Smísení plynu a vzduchu zajišťuje směšovač, který se nachází na přívodu vzduchu do spalovacího prostoru. Do spalovacího prostoru se v určitý okamžik vstříkne malé množství nafty, které je ovlivněno vysokým tlakem a vyšší teplotou ve spalovacím prostoru a samovznítí se. Důsledkem toho dojde k zapálení směsi plynu a vzduchu. V tomto případě už je to méně ekonomicky výhodné, protože se zde pracuje s kombinací plynného paliva a motorové nafty. (16)

Vznětový motor se dá upravit i takovým způsobem, že se pomocí vhodných prostředků přestaví na zážehový motor. Pomocí zařízení, které využívá kvantitativní regulaci plynu, se plyn přivádí do sacího potrubí a dále je směs plynu a vzduchu nasáta do spalovacího prostoru. Tato směs je pomocí jiskry zapalovací svíčky zapálena. Svíčka a další komponenty k vytvoření zapalovací jiskry jsou nutné do systému přidat. Tato úprava je ekonomicky výhodná. Spaluje se zde pouze plynné palivo a tím pádem nepotřebujeme zajišťovat další palivovou soustavu.

Běžná hodnota kompresního poměru ve vznětových motorech je mezi 15:1 až 22:1. Při přestavbě vznětového motoru na zážehový se velikost kompresního poměru sníží na hodnoty v rozpětí 10:1 až 12:1. Je to způsobeno tím, že zde nevznikne samovznícení, jak je tomu u motorové nafty, ale použije se k zapálení směsi zapalovací svíčka. Výhodou menšího kompresního poměru prodloužíme životnost některých motorových součástí. Např. na pístní soustavu nejsou vyvinuty tak velké kompresní tlaky, jak tomu bývá u klasických vznětových motorů. (16)

10.3.1 Zapalovací soustava

Akumulátor

Co se týče akumulátoru, není nutné na něj klást nezbytně nutnou pozornost.

Prívodní a silové vodiče

Zde je výhodné použít zapalovací soustavu zážehového motoru.

Zařízení pro vytvoření vysokého napětí

Zapalovací soustava zážehového motoru se dělí na dva základní okruhy. Každý z okruhů plní v soustavě odlišnou funkci.

První okruh nazýván primární okruh má za úkol dodat potřebnou elektrickou energii pro vznik zapalovací jiskry do indukční cívky nebo do vysokonapěťového kondenzátoru.

Druhý okruh nazýván sekundární okruh vytváří v indukční cívkce nebo ve vysokonapěťovém kondenzátoru elektrický impulz. Tento impulz je vyslán přes vodiče, rozdělovač a svíčku do spalovacího prostoru, kde je jeho úkolem zapálit směs. (16)

Rozdělovač zapalování

Při úpravě motoru se musí přidat rozdělovač zapalování, který slouží k rozdělení zapalovacích impulzů od indukční cívky k zapalovací svíčke. Rozdělovač zapalování se umísťuje místo vstřikovacího čerpadla, které již nevyužijeme.

Přerušovací okruh zapalování

Zapalovací soustava motoru musí obsahovat přerušovač, ten slouží k přerušení elektrického proudu. Přerušovač je namáhán elektrickým obloukem ale i mechanickým namáháním. Přerušovač instalujeme do rozdělovače. (16)

Zapalovací svíčky

Hlava válců vznětového motoru není přizpůsobena k umístění spalovací svíčky, proto jsou demontovány vstřikovače motorové nafty a žhavicí svíčky, které už nejsou potřeba, a tento prostor je nahrazen zapalovací svíčkou. Při výběru vhodné zapalovací svíčky je brán ohled na její teplotní rozsah a to v případě při spalování bioplynu se zápalná teplota pohybuje mezi 650 - 750 °C. (16)

10.3.2 Palivová soustava

Jelikož se palivová soustava vznětového motoru, který spaluje motorovou naftu, výrazně liší od soustavy vznětového motoru pro pohon na bioplyn, je nutné vytvořit jinou konstrukci palivové soustavy pro správný chod motoru. (16)

Palivová soustava se skládá z komponentů:

- zásobník bioplynu
- plynová potrubí
- ventily a tlakoměry
- čistič bioplynu

11. Údržba spalovacích motorů

Kogenerační jednotky se spalovacími motory pracují bezobslužně. V dnešní době je vše řízeno pomocí počítače, který je umístěn v okolí. Např. ve vedlejší budově, která se nachází vedle kogenerační jednotky nebo přes vzdálený počítač.

Spalovací motory se skládají z mnoha součástí s posuvným pohybem vyskytujících se ve vysokých teplotách. Důsledkem častého opotřebení součástí je obtížné mazání jejich třecích ploch. Tím vznikají vysoké požadavky na údržbu a časté odstavení z provozu. Stroje pracující při nižších otáčkách se dožadují menších intervalů údržby. (12)

Základní údržba se skládá z následujících činností:

Tabulka 9: Údržba motorů dle činnosti a intervalu (12)

Druh činnosti	Interval (provozní hodiny)
výměna mazacích olejů (interval dle druhu oleje)	1 000 až 4 000
výměna zapalovacích svíček	1 000 až 4 000
čištění a seřízení kontaktů	3 000
nastavení ventilů	8 00 až 2 000
čištění výměníku tepla výfukových spalin	1 x ročně

Činnosti plánovaných oprav:

Druh činnosti	Interval (provozní hodiny)
běžné prohlídky	700 až 1 000
střední opravy	6 000 až 8 000
generální opravy	20 000 až 50 000

Při používání kogenerační jednotky, která spaluje bioplyn, je nutné provádět určitá opatření. Jedním z nejdůležitějších je, aby byl bioplyn dostatečně odsířen před vstupem do motoru, protože obsahuje velkou koncentraci H_2S a to cca $5g/m^3$. Neodsířený bioplyn má špatný vliv na životnost a spolehlivost motoru. Dále je také důležité zvolit vhodný typ mazacího oleje. Olej je vybírán podle typu spalovaného plynu a největší důraz je kladen na obsah síry v plynu. Je také důležitý vyvážený obsah popela v oleji. Obsah popela v oleji musí být správně vybalancovaný. (12)

11.1 Popel

Vzniká hořením kovových prvků. Používá se pro neutralizaci kyselých produktů spalování, chrání proti korozi, slouží jako čistící přísada a proti-otěrová ochrana. Vysoký obsah popela ale může škodit např. u zapalovacích svíček a turbodmychadla může dojít k selhání. (17)

12. Výrobci plynových spalovacích motorů

Spalovací pístové motory s výměníky tepla se vyrábí v relativně rozsáhlém výkonovém rozsahu, desítky kW až po několik MW elektrického výkonu. Nejmenší stroje se dělí na dvou, tři a čtyřválcové, které jsou provedeny spolu s výměníky v kontejnerech. Největší stroje jsou dvanácti, šestnácti až dvacetiválcové, které vyžadují protihlukové prostory, samostatné příslušenství, speciální uložení atd. Výměníky tepla se nacházejí samostatně v sousedních prostorech. U menších strojů se používají asynchronní generátory, u větších pak synchronní generátory.

Na trhu v oblasti kogeneračních technologií se nachází mnoho tuzemských i zahraničních společností. Výrobci se specializují na průmyslové a komerční stacionární plynové motory. V nabídce lze nalézt i doplňková zařízení.

Někteří výrobci nabízejí plynové motory čistě pro bioplynovou instalaci. V České republice se můžeme setkat s těmito výrobci: Jedná se o firmy jako je SCHNELL/SCANIA, Jenbacher, MWM, Waukesha, Tedom a MAN.

V příloze jsou přiloženy tabulky s technickými parametry motorů zmíněných výrobců, které spalují bioplyn převážně v zemědělských bioplynových stanicích.

12.1 Jenbacher

Motory Jenbacher z řady 3, 4 a 6 se řadí mezi nejmodernější technologie. Jejich výkon se pohybuje od 400 kW - 4 MW. S frekvencí 1 500 otáček za minutu dosahují vysokých výkonů a zároveň nízkým nákladům na instalaci. Dosahují maximální účinnosti s nízkými emisemi. Výrobce uvádí, že osvědčený desing a optimalizované komponenty umožňují životnost 60 000 provozních hodin před první generální opravou. (18)

Tabulka 10: Základní technické údaje motorů Jenbacher (18)

Typ motoru	Výkon (kW)		Účinnost (%)	
	Elektrický	Tepelný	Elektrická	Tepelná
J312	635	709	40,4	45,1
J316	847	935	41,0	45,0
J412	901	912	42,3	42,8
J416	999	1 029	42,2	43,4
J320	1 067	1 179	40,9	45,2
J420	1 500	1 515	42,4	42,8
J612	1 820	1 668	44,0	40,3
J616	2 435	2 225	44,1	40,3
J620	3 047	2 782	44,1	40,3

12.2 Tedom

Firma Tedom vyrábí stacionární motory, které jsou provozovány na mnoho různých typů plynových paliv jako je např. zemní plyn, bioplyn, LPG, důlní plyn atd. Jedná se o vysoce kvalitní a spolehlivé motory s prověřenou koncepcí. Dlouhé servisní intervaly a snadná údržba přispívají k nízké spotřebě oleje a paliva. (20)

Tabulka 11: Základní technické parametry motorů Tedom (20)

Typ motoru	Výkon (kW)		Účinnost (%)	
	Elektrický	Tepelný	Elektrická	Tepelná
TB 170 G5V TW 86	175	207	39,8	49,5
TB 190 G5V TW 86	191	211	39,1	45,3
TB 210 G5V TW 86	213	230	39,2	48,1

12.3 MAN

Firma MAN zastává na trhu značnou část. Motory od firmy MAN mají za úkol spolehlivě fungovat 24 hodin denně, 7 dní v týdnu. Díky maximálnímu využití primární energie a nízkým provozním nákladům dosahují vysoké účinnosti s nízkým obsahem emisí. Výkon motorů spalujících bioplyn se pohybuje od 110 kW do 550 kW. (19)

Tabulka 12: Základní technické parametry motorů MAN (19)

Typ motoru	Výkon (kW)		Účinnost (%)	
	Elektrický	Tepelný	Elektrická	Tepelná
E0836-LE202	110	124	40.5	49.6
E2876TE302	130	166	38.0	52.8
E2876-LE202	220	242	40.4	44.7
E2848-LE322	265	294	40.2	49.6
E2842-LE202	420	488	40.0	50.2
E2676-le212	220	226	42.2	44.1
E3262-LE202	500	525	41.0	48.1
E3262-LE212	550	573	41.9	47.0

12.4 Waukesha

Robustní motory od firmy Waukesha jsou schopné provozu na vysokou škálu paliv. Vynikají tím, že tolerují různě proměnlivou kvalitu paliva a také tím, že se přizpůsobí jakémukoliv prostředí např. ve vyšších nadmořských výškách nebo v odlehlých lokalitách a zároveň dosahují nízkých emisí. (21)

Tabulka 13: Základní technické parametry motorů Waukesha (21)

Typ motoru	Výkon (kW)		Účinnost (%)	
	Elektrický	Tepelný	Elektrická	Tepelná
F18GL/GLD	275	353	35,6	48,9
VGfH24/GLD	346	471	35,9	48,8
L36GLD	500	674	36,0	48,5
P48GL/GLD	685	960	-	-
12V220GL	2 100	-	-	-
18V221GL	3 200	-	-	-

12.5 MWM

Plynové motory MWM řady TCG 2016, TCG2020 a TCG2032 jsou dokonale přizpůsobeny výzvám dynamického tržního prostředí. Motory ve výkonovém rozsahu 400 - 4500 kW splňují vysoké požadavky a jsou spolehlivé. Dosahují vysoké účinnosti. Nízká spotřeba mazadla přispívá k nízkým nákladům životního cyklu motoru. (22)

Tabulka 14: Základní technické parametry motorů MWM (22)

Typ motoru	Výkon (kW)		Účinnost (%)	
	Elektrický	Tepelný	Elektrická	Tepelná
TCG 2016 V08 C	400	393	42.8	42.0
TCG 2016 V12 C	600	593	42.7	42.2
VTCG 2016 V16 C	800	788	42.8	42.2
TCG 2020 V12	1 200	1 194	43.0	42.8
TCG 2020 V16	1 560	1 577	42.6	43.1
TCG 2020 V20	2 000	2 012	43.0	43.3

12.6 SCHNELL/SCANIA

Jejich vysoký poměr komprese se využívá pro účinnou výrobu energie z chudých plynů, jako je např. bioplyn. Mezi hlavní přednosti těchto motorů patří vysoká účinnost, spolehlivý provoz, dlouhá životnost, nízká spotřeba zapalovacího oleje a nízké emise odpadních plynů. (23)

Tabulka 15: Základní technické parametry motorů Schnell (23)

Typ motoru	Výkon (kW)		Účinnost (%)	
	Elektrický	Tepelný	Elektrická	Tepelná
5R18.1BO	160	147	41,5	38,0
6R20.1BO	250	220	45,5	40,0
8V20.1BO	340	301	44,0	39,0
6R41.1BO	460	400	44,9	39,0
6R41.1BO	530	457	45,2	39,0
6R41.1BO	600	511	45,8	39,0
12R41.1BO	960	777	44,5	36,0
12R41.1BO	1 040	832	44,0	36,0

13. Technicko – ekonomické hodnocení

V této kapitole jsou popsány dvě zemědělské bioplynové stanice. Je zde popsána použitá technologie, vstupní suroviny, technické parametry motorů a jejich údržba.

13.1 Bioplynová stanice Skalsko

Tato bioplynová stanice se nachází ve Středočeském kraji v okrese Mladá Boleslav. Vlastníkem je Zemědělská společnost Skalsko, která svou bioplynovou stanici postavila v roce 2011. Motor byl spuštěn 11. 1. 2012. Na výstavbu byla využita dotace ze Státního zemědělského investičního fondu, z Programu rozvoje venkova.

13.1.1 Technologie

Bioplynová stanice pracuje s principem dvoustupňové fermentace. Skládá se ze dvou fermentorů. Jeden fermentor je uložen uvnitř toho druhého „kruh v kruhu“. Tato technologie má velkou výhodu v tom, že tato bioplynová stanice může zpracovávat téměř vše.

13.1.2 Substrát

Vstupní suroviny:

- kukuřičná siláž 52%
- řepné řízky 6%
- slamnatý hnůj 25%
- zbytky krmiva 2%
- zbylých 15 % se skládá ze zbytků senáže, která se zkazí, tím pádem ji nemohou podávat ke krmení. Dále posekaná tráva v podniku, kejda skotu a skrejvky, což jsou zbytky ze siláže a senáže, které vznikají při uskladnění např. pod plachtou.

Podle kvality použitého vstupního materiálu se určuje poměrná dávka. Přibližně se denní dávka pohybuje okolo 25 tun.

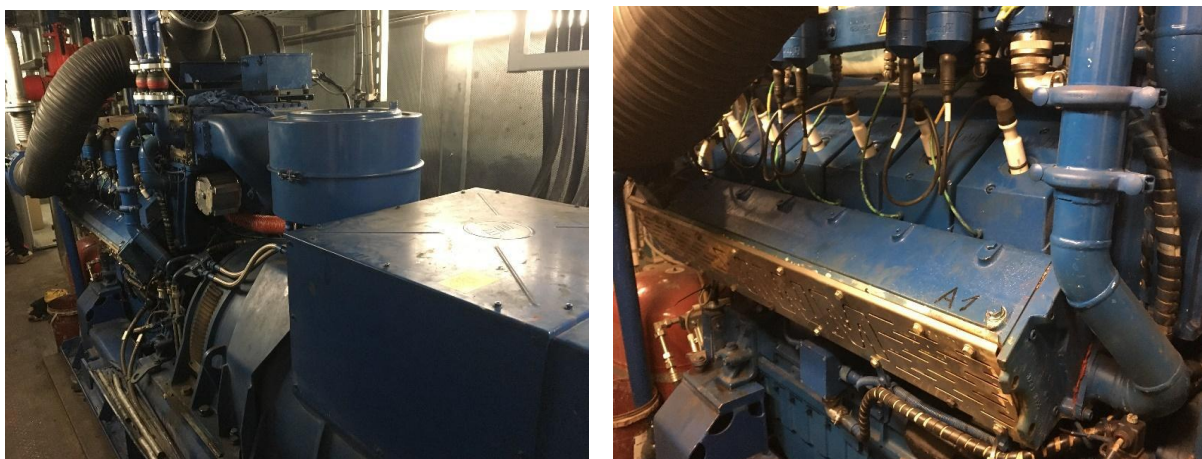
13.1.3 Technické parametry

K výrobě elektrické energie a tepla je použita kogenerační jednotka s instalovaným elektrickým výkonem 558 kW a tepelným výkonem 526 kW.

Plynový zážehový čtyřtaktní motor MWM TCG 2016 V12 C

Tabulka 16: Technické parametry motoru MWM TCG 2016 V12 C

Počet válců	12
Uspořádání válců	V
Jmenovité otáčky (ot/min)	1 500
Vrtání x Zdvih (mm)	132 x 160
Celkový objem válců (l)	26,3
Kompresní poměr	12
Hmotnost (kg)	3 320
Délka x Šířka x Výška (mm)	3 690 x 1 490 x 2 190



Obrázek 1: Kogenerační jednotka MWM

13.1.4 Údržba

U této bioplynové stanice záleží na kvalitě bioplynu, podle kvality se pak provádí údržba.

1 500 mth - provádí se výměna oleje, filtru a seřízení ventilů

cca 12 000 mth - provádí se větší údržba. Mění se písty a vložky a hlavně hlavy, probíhá repas turbodmyčadla a další menší opravy. Tato větší údržba probíhá z důvodů mnoha okolností.

48 000 mth - měla by proběhnout výměna motoru. Podle servisního technika stačí vyměnit hlavní části, jako jsou ložiska ojníc a klikové hřídele. Výměna motoru by měla proběhnout tedy až při 70 000 mth.

Hlavním problémem, se kterým se motor této bioplynové stanice potýká, jsou zapalovací svíčky. Jejich cena je vysoká a kvůli výměně je potřeba zastavit motor. Každá zapalovací svíčka vydrží jinak, a proto probíhá výměna po jedné svíčce. Některá nevydrží ani do 500 mth a některá vydrží i 4000 mth.

13.1.5 Výkony

Celkem tato bioplynová stanice denně vyrobí 12 450 kW a z toho 11 500kW prodá. Zbylá část je spotřebována na vlastní technologie. Měsíčně prodá cca 351 000kW.

Vyprodukované teplo cca 500 kW se používá pro vytápění přílehlých subjektů. To jsou: kravín, kanceláře, jídelna, 4 byty a dílna. Z důvodu na dosažení dotace, musí být spotřebováno 50% vyrobeného tepla. V zimě je spotřebováno i více než 50%. Zbylé teplo je přes chladiče odváděno do vzduchu. V letním období se teplo používá pouze pro ohřev vody a k sušení sena a obilí v sušárně.

13.1.6 Náklady

Náklady představují spotřebu ekonomického zdroje, které je spojeno se souběžným nebo budoucím výdajem peněz.

Do nákladů bioplynové stanice patří např.:

- náklady na obsluhu zařízení
- náklady na vstupní materiál
- náklady na servis a údržbu

13.1.7 Výkupní cena

Zelený bonus, je tzv. příplatek k tržní ceně elektřiny, na který má nárok výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů. Systém zelených bonusů je zahrnut v zákoně č.180/2005 SB., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie. Výši zeleného bonusu v Kč/MWh udává Energetický regulační úřad, který každý rok cenu upravuje. Záleží, o jaký druh obnovitelného zdroje jde, např. vodní elektrárna, solární elektrárna nebo bioplynová stanice spalující bioplyn. Zelený bonus se může vztahovat i na teplo. Částka je vyplacená jednou ročně.

(24)

Tím, že bioplynová stanice Skalsko splňuje podmínky Zeleného bonusu, tím že spotřebovává 50% vyrobeného tepla, má na něj nárok. V tomto případě se jedná o částku 3 460 Kč/MWh, která je stanovena Energetickým regulačním úřadem pro rok 2017.

Zemědělská společnost Skalsko má uzavřenu rámcovou smlouvu o dodávce elektrické energie do sítě s NANO energies, a.s. Tím má zaručenu cenu za dodávané množství energie ve výši 4,35 Kč za kW.

13.2 Bioplynová stanice Valovice

Tato bioplynová stanice se také nachází ve Středočeském kraji v okrese Mladá Boleslav. Stanice byla postavena v roce 2008. První spuštění motoru proběhlo dne 13. 12. 2008 na LPG. Výroba bioplynu začala v březnu roku 2009. Na výstavbu byla využita dotace ze Státního zemědělského investičního fondu, také z Programu rozvoje venkova. Patří mezi bioplynové stanice s výkonem nad 500 kW.

13.2.1 Technologie

V tomto případě je využíván systém tzv. průtokové mezofilní fermentace organické hmoty při teplotě okolo 35° C až 40° C, který se vyznačuje poměrně značnou stabilitou procesu. Součástí technologie je i Organický Rankinův cyklus, který z odpadního tepla spalin vyrábí další elektrickou energii.

13.2.2 Substrát

Vstupní suroviny:

- kukuřičná siláž 875 kg (16,2 %)
- řepné řízky 162 kg (3 %)
- vepřová kejda 653 kg (12,1 %)
- recirkulát 3710 kg (68,7%)

Celkem tedy jedna denní dávka do jednoho fermentoru činí 5 400 kg. Stanice Valovice má dva fermentory, takže denně spotřebuje 10 800 kg. Velikost dávky se mění v závislosti na kvalitě vstupních surovin. Při nekvalitní kukuřici se může denní dávka zvýšit až na 7 500 kg do jednoho fermentoru. Dávka se vždy upravuje tak, aby motor běžel na plný výkon.

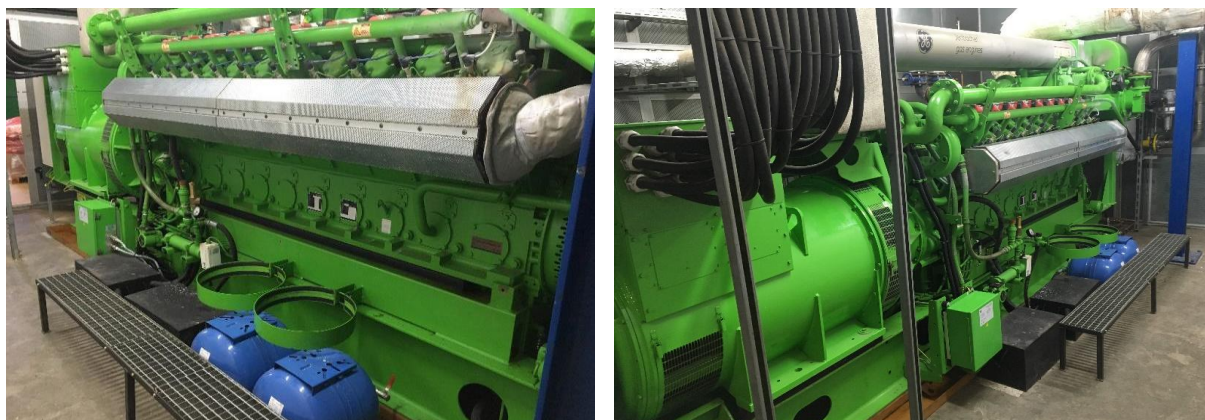
13.2.3 Technické parametry

Instalovaný elektrický výkon kogenerační jednotky je 1063 kW a tepelný výkon 1088kW. Organický Rankinův cyklus produkuje elektrický proud cca 75 kWh, což umožňuje dodatečnou výrobu dalších cca 740 000 kWh/rok.

Benzínový přepínávaný čtyřtaktní motor od firmy Jenbacher, typ JGS 320 GS-B/P.L.

Tabulka 17: Technické parametry motoru Jenbacher JGS 320 GS-B/P.L.

Počet válců	20
Uspořádání válců	70° V
Jmenovité otáčky (ot/min)	1 500
Vrtání x Zdvih (mm)	135 x 170
Celkový objem válců (l)	48,667
Kompresní poměr	12,5
Hmotnost (kg)	5 420
Objem motorového oleje (l)	370
Délka x Šířka x Výška (mm)	3 320 x 1 340 x 1 800



Obrázek 2: Kogenerační jednotka Jenbacher

13.2.4 Údržba

Údržba se provádí dle vzorků oleje, které se dělají cca jednou za měsíc.

1 000 mth - provádí se výměna oleje, filtrů a svíček

2 000 mth - provádí se jak výměna oleje, filtrů a svíček, tak se měří ventilová vůle, zaklepávají se ventily, maže se škrticí klapka a generátor

10 000 mth - provádí se opět výměna oleje, filtrů a svíček, měří se ventilová vůle, zaklepávají se ventily, maže se škrticí klapka a generátor a navíc se provádí výměna vodní pumpy, startéru a probíhá kontrola turbodmýhadla a chladiče palivové směsi

20 000 mth - provádí se vše jako u údržby při 10 000 mth, ale zde navíc probíhá i kontrola opotřebení hlav válců, podle opotřebení možná výměna.

60 000 mth - výměna motoru

13.2.5 Výkon

Vyprodukovaná elektřina je přes transformaci dodávána do vysokonapěťové sítě společnosti ČEZ. Měsíčně tato bioplynová stanice prodá cca 700 000 kW.

13.2.6 Náklady

Náklady na měsíční provoz se pohybují mezi 1 125 000 až 2 500 000 Kč. Záleží na poruchách, údržbě a opravách, které se vyskytnou v daném měsíci.

13.2.7 Výkupní cena

Výkupní cen se pohybuje okolo 4,21 Kč za kW. Bioplynová stanice Valovice splňuje také podmínky zelného bonusu a pro rok 2017 je stanovena cena bonusu 3 240 Kč/MWh.

14. Závěr

Bioplyn, který vzniká rozkladem organického materiálu za nepřístupu vzduchu, je produktem bioplynových stanic. Jeho hlavními složkami jsou metan a oxid uhličitý. Mezi organické materiály patří např. cíleně pěstované rostliny, odpad zemědělské výroby, dobytčí kejda nebo komunální odpad.

Bioplyn se spaluje v kogenerační jednotce. Kogenerací se rozumí ekologický způsob výroby elektřiny a tepla. Kogenerace pracuje s vyšší účinností, tím pádem šetří palivo a snižuje produkci emisí. Pohonnů kogeneračních jednotek je spousta. V zemědělských bioplynových stanicích se nejčastěji používají pro spalování bioplynu spalovací motory.

Bioplyn se spaluje v upravených spalovacích zážehových nebo vznětových motorech. Aby bylo možné v těchto motorech spalovat bioplyn, musí být konstruovány pro spalování plynu. Princip funkce těchto motorů je v podstatě stejný jako u pístových spalovacích motorů používaných např. u automobilů nebo lodí. Největší zásah rekonstrukce připadá na palivovou a zapalovací soustavu.

Plyn musí projít dostatečnou úpravou, než dojde k samotnému spalování. Velkým problémem je vysoký obsah síry, který má negativní vliv na životnost motoru. Existuje řada technologií, které tento problém s odstraněním síry vyřeší. Dále se potýkají také s častým opotřebením, které je zapříčiněno obtížným mazáním třecích ploch. Proto je kladen velký důraz na kvalitu oleje.

V zemědělských bioplynových stanicích se nejčastěji používají motory o výkonu 250 až 1000 kW. V České republice lze narazit na plynové motory těchto výrobců: Jenbacher, MAN, Tedom, MWM, SCHNELL/SCANIA, Waukesha.

15. Seznam literatury

1. **Vokurková Kateřina.** Ekonomika, Energie budoucnosti? Svět spoléhá na Slunce a úspory. *www.zpravy.aktualne.cz.* [Online] 2016. [Citace: 20. 3. 2017.] Dostupný z <<https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/energie-budoucnosti-svet-spoleha-na-slunce-a-uspory/r~a899e35486b411e49bec0025900fea04/>>.
2. **Česká bioplynová asociace z.s.** Bioplynové stanice. *http://www.czba.cz/.* [Online] 31. 12. 2015. [Citace: 2. 5. 2016.] Dostupné z <<http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic/>>.
3. **MPO, Česká republika.** Zpráva o využívání obnovitelných zdrojů energie v roce 2014, Obnovitelné zdroje energie. *www.mpo.cz.* [Online] 2016. [Citace: 23. 3. 2016.] Dostupný z <<http://www.mpo.cz/dokument168452.html>>.
4. **MUŽÍK Oldřich, KÁRA Jaroslav.** Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. *Biom.cz.* [Online] 4.3.2009. [Citace: 26. 3. 2016.] Dostupný z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>>.
5. **CZ Biom – České sdružení pro biomasu.** *Průvodce výrobou a využitím bioplynu.* 1. vyd. Praha : CZ Biom, 2009. ISBN 978-80-903777-5-2.
6. **agriKomp Bohemia s.r.o.** *agrikomp.cz. Naučná stezka zemědělskou bioplynovou stanicí Bořetice.* [Online] [Citace: 25. 4. 2016.] Dostupný z <www.agrikomp.com/images/cs-CZ/pdf/Nauna_stezka_Boetice_I.pdf>.
7. **Mendelova univerzita v Brně.** Agronomická fakulta - Bioplynové stanice. *www.mendelu.cz.* [Online] [Citace: 7. 5. 2016.] Dostupný z <http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/211/17223.pdf>.
8. **PASTOREK Z., KÁRA J., JEVIČ P.** *Biomasa – obnovitelný zdroj energie.* Praha : FCC PUBLIC, 2004. ISBN 80-86534-06-5.

- 9. KARAFIÁT Zbyšek, VÍTĚZ Tomáš, POSPÍŠIL Lukáš.** Bioplynové stanice na „suchou“ fermentaci – šance pro energetické využití biologicky rozložitelných odpadů (BRO). *www.biom.cz*. [Online] 31. 8. 2009. [Citace: 6. 5. 2016.] Dostupný z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovy-stanice-na-suchou-fermentaci-sance-pro-energeticke-vyuziti-biologicky-rozlozitelnych-odpadu-bro>>.
- 10. BIOPROFIT s.r.o.** Anaerobní technologie. *www.bioplyn.cz*. [Online] 2007. [Citace: 23. 3. 2016.] Dostupný z <http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm>.
- 11. SCHULZ Heinz.** *Bioplyn v praxi: teorie - projektování - stavba zařízení - příklady*. 1. české vyd. Ostrava : HEL, 2004. ISBN 80-86167-21-6.
- 12. KRBEK J., POLESNÝ B.** *Kogenerační jednotky - Zřízení a provoz*. 1. vyd. Praha : GAS s.r.o., 2007. ISBN 978-80-7328-151-9.
- 13. KRBEK Jaroslav a Bohumil POLESNÝ.** *Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích*. Brno : VUT, 1997. ISBN 80-214-0889-0.
- 14. KARAFIÁT J. a kolektiv.** Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou. *www.mpo-efekt.cz*. [Online] [Citace: 4. 11. 2016.] Dostupný z <<http://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>>.
- 15. JAN Z., ŽDÁNSKÝ B.** *Automobily 3: Motory*. 1. vydání. Brno : Avid s.r.o., 2000.
- 16. Vondruška Michal.** *Prověřte možnosti a navrhnete případné úpravy spalovacího motoru pro hybridní pohon bioplynem a dřevoplynem*. České Budějovice, 2011. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Fakulta zemědělská : Vedoucí práce Ing. Josef Frolík, CSc.
- 17. Švarc Martin.** MAZÁNÍ MOTORŮ SPALUJÍCÍCH BIOPLYN. *www.czbiom.cz*. [Online] 2015. [Citace: 5. 2. 2017.] Dostupný z <http://czbiom.cz/wp-content/uploads/1_Shell_oleje-pro-motory-spaluj%C3%ADc%C3%AD-bioplyn.pdf>.
- 18. Power GE.** Reciprocating Engines, Jenbacher. *www.gepower.com*. [Online] 2017. [Citace: 21. 2. 2017.] Dostupný z <<https://powergen.gepower.com/products/reciprocating-engines.html>>.

19. MAN Diesel & Turbo. GAS POWER GENERATION. *www.engines.man.eu*.

[Online] 2017. [Citace: 2. 2. 2017.]

Dostupný z <<http://www.engines.man.eu/global/en/power/gas-power-generation/overview/Overview.html>>.

20. Tedom a.s. Stacionární motory. *www.tedomengines.com*. [Online] 2017. [Citace: 23. 2

. 2017.] Dostupný z <<http://en.tedomengines.com/fuel-biogas.html>>.

21. Power GE. Reciprocating Engines, Waukesha. *www.gepower.com*. [Online] 2017.

[Citace: 23. 2. 2017.] Dostupný z <<https://powergen.gepower.com/products/reciprocating-engines.html>>.

22. Caterpillar Energy Solutions GmbH. Gasmotoren / Stromaggregate. *www.mwm.net*.

[Online] 2017. [Citace: 23. 2 .2017.] Dostupný z <<https://www.mwm.net/mwm-kwk-bhkw/gasmotoren-stromaggregate/>>.

23. SCHNELL Motoren GmbH. Produkte, BIOGAS. *http://www.schnellmotoren.de/*

[Online] 2017. [Citace: 23. 2. 2017.]

Dostupný z <<http://www.schnellmotoren.de/produkte/biogas/>>.

24. Energetický regulační úřad. Ceny paliv a energií, Výše výkupních cen a zelených

bonusů. *www.eru.cz/cs/*. [Online] 1. 1. 2017. [Citace: 24. 2. 2017.] Dostupný z

<<http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energi/91-vyse-vykupnich-cen-a-zelenych-bonusu>>.

25. DVORSKÝ Emil, HEJTMÁNKOVÁ Pavla. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha : BEN - technická literatura, 2006. ISBN 8073001187.

16. Seznam obrázků

Obrázek 1: Kogenerační jednotka MWM	34
Obrázek 2: Kogenerační jednotka Jenbacher	38

17. Seznam tabulek

Tabulka 1: Vlastnosti spalovacích motorů (12).....	13
Tabulka 2: Vlastnosti parní turbíny (12)	14
Tabulka 3: Vlastnosti spalovací turbíny (12)	15
Tabulka 4: Vlastnosti paroplynového zařízení (12)	16
Tabulka 5: Vlastnosti Stirlingova motoru (12).....	17
Tabulka 6: Vlastnosti mikroturbíny (12).....	18
Tabulka 7: Vlastnosti Organického Rankinova cyklu (12)	18
Tabulka 8: Vlastnosti palivových článků (12).....	19
Tabulka 9: Údržba motorů dle činnosti a intervalu	27
Tabulka 10: Základní technické údaje motorů Jenbacher	30
Tabulka 11: Základní technické parametry motorů MAN	31
Tabulka 12: Základní technické parametry motorů Tedom	30
Tabulka 14: Základní technické parametry motorů Waukesha	31
Tabulka 13: Základní technické parametry motorů MWM.....	32
Tabulka 15: Základní technické parametry motorů Schnell.....	32
Tabulka 16: Technické parametry motoru MWM TCG 2016 V12 C	34
Tabulka 17: Technické parametry motoru Jenbacher JGS 320 GS-B/P.L.	38

18. Seznam příloh

Příloha č. 1: Technické parametry motorů Jenbacher
Příloha č. 2: Technické parametry motorů Waukesha
Příloha č. 3: Technické parametry motorů MAN
Příloha č. 4: Technické parametry motorů MWM
Příloha č. 5: Technické parametry motorů SCHNELL/SCANIA
Příloha č. 6: Technické parametry motorů Tedom

Příloha č. 1 – Technické parametry motorů Jenbacher

Typ motoru	Výkon (kW)	Počet válců	Uspořádání válců	Jmenovité otáčky (ot/min)	Vrtání/Zdvih (mm)	Celkový objem válců (l)	Hmotnost (kg)	Rychlost pístů (m/s)	Délka/Šířka/Výška (mm)
J312	635	12	V 70°	1 500	135/170	29,2	3 500	8,5	4700/1800/2300
J316	846	16	V 70°	1 500	135/170	38,9	4 000	8,5	5200/1800/2300
J320	1 067	20	V 70°	1 500	135/170	48,7	5 420	8,5	5700/1700/2300
J412	901	12	V 70°	1 500	145/185	36,7	4 265	9,3	5400/1800/2200
J416	999	16	V 70°	1 500	145/185	48,9	5 400	9,3	6200/1800/2200
J420	1 500	20	V 70°	1 500	145/185	61,1	6 600	9,3	7100/1900/2200
J612	1 820	12	V 60°	1 500	190/220	74,9	7 800	11	7600/2200/2800
J616	2 435	16	V 60°	1 500	190/220	99,8	10 000	11	8300/2200/2800
J620	3 047	20	V 60°	1 500	190/220	124,8	12 000	11	8900/2200/2800

Zdroj: www.powergen.gepower.com

Příloha č. 2 – Technické parametry motorů Waukesha

Typ motoru	Výkon (kW)	Počet válců	Uspořádání válců	Jmenovité otáčky (ot/min)	Vrtání/Zdvih (mm)	Celkový objem válců (l)	Kompresní poměr	Hmotnost (kg)	Délka/šířka/výška (mm)
H24 GLD	340	8	in-line	1 500	152/165	24	11:1	3 573	2270/1370/2000
F18GL / GLD	250	18	in-line	1 500	152/165	18	11:1	5 300	3350/1370/2000
L36GLD	515	12	V	1 500	152/165	36	11:1	7 260	2454/1559/2025
P48GL/GLD	860	16	V	1 500	152/165	48	11:1	9 530	5280/1720/2440
16V150LTD	1 100	16	V	1 500	152/165	48	11:1	7 730	5105/2143/2215
12V220GL	2 100	12	V	1 500	220/240	109.5	11:1	14 900	-
18V221GL	3 200	18	V	1 500	220/240	164.2	11:1	19 800	-

Zdroj: www.powergen.gepower.com

Příloha č. 3 – Technické parametry motorů MAN

Typ motoru	Výkon (kW)	Počet válců	Uspořádání válců	Jmenovité otáčky (ot/min)	Vrtání/Zdvih (mm)	Celkový objem válců (l)	Kompresní poměr	Hmotnost (kg)	Délka/Šířka/Výška (mm)
E0836-LE202	110	6	in-line	1 500	108/125	6,9	1,4	605	1300/470/1030
E2876TE302	130	6	in-line	1 500	128/166	12,8	1,4	920	1545/835/1226
E2876-LE202	220	6	in-line	1 500	128/166	12,8	1,4	985	1520/830/1226
E2676-le212	220	6	in-line	1 500	126/166	12,4	1,62	985	1589/808/1206
E2848-LE322	265	8	V 90°	1 500	128/142	14,6	1,45	1 200	1210/1172/1340
E2842-LE202	420	12	V 90°	1 500	132/157	21,9	1,45	1 420	1570/1142/1155
E3262-LE202	550	12	V 90°	1 500	132/157	25,8	1,55	1 849	1748/1243/1500
E3262-LE212	550	12	V 90°	1 500	132/157	25,8	1,6	1 849	1748/1243/1500

Zdroj: www.engines.man.eu

Příloha č. 4 – Technické parametry motorů MWM

Typ motoru	Výkon (kW)	Počet válců	Uspořádání válců	Jmenovité otáčky (ot/min)	Vrtání/Zdvih (mm)	Kompresní poměr	Hmotnost (kg)	Délka/Šířka/Výška (mm)
TCG 2016 V08 C	400	8	V	1 500	132/160	12:1	2 980	3090/1490/2190
TCG 2016 V12 C	600	12	V	1 500	132/160	12:1	3 320	3690/1490/2190
VTCG 2016 V16 C	800	16	v	1 500	132/160	12:1	4 450	4090/1590/2190
TCG 2020 V12	1 200	12	V	1 500	170/195	12:1	9 490	4790/1810/2210
TCG 2020 V16	1 560	16	V	1 500	170/195	12:1	12 810	5430/1810/2210
TCG 2020 V20	2 000	20	V	1 500	170/195	12:1	17 090	6200/1710/2190

Zdroj: www.mwm.net

Příloha č. 5 – Technické parametry motorů SCHNELL/SCANIA

Typ motoru	Výkon (kW)	Počet válců	Uspořádání válců	Jmenovité otáčky (ot/min)	Vrtání/Zdvih (mm)	Celkový objem válců (l)	Hmotnost (kg)	Délka/Šířka/Výška (mm)
5R18.1BO	160	10	in-line	1 500	170/190	8,9	950	3770/1500/2130
6R20.1BO	250	12	in-line	1 500	170/190	11,7	1 200	3770/1500/2130
8V20.1BO	340	16	V	1 500	170/190	15,6	1 510	3700/1700/2350
6R41.1BO	460	12	in-line	1 500	170/190	24,5	1 450	3600/1450/2300
6R41.1BO	530	12	in-line	1 500	170/190	24,5	1 850	3600/1450/2300
6R41.1BO	600	12	in-line	1 500	170/190	24,5	1 970	3602/1450/2300
12R41.1BO	960	12	V	1 500	170/190	49	2 269	4550/1940/2300
12R41.1BO	1 040	12	V	1 500	170/190	49	2 870	4550/1940/2300

Zdroj: www.schnellmotoren.de

Příloha č. 6 – Technické parametry motorů Tedom

Typ motoru	Výkon (kW)	Počet válců	Uspořádání válců	Jmenovité otáčky (ot/min)	Vrtání/Zdvih (mm)	Celkový objem válců (l)	Kompresní poměr	Hmotnost (kg)	Délka/Šířka/Výška (mm)
TB 170 G5V TW 86	175	6	in-line	1 500	130/150	11,9	12:1	890	1270/820/1226
TB 190 G5V TW 86	191	6	in-line	1 500	130/150	11,9	12:1	965	1545/835/1226
TB 210 G5V TW 86	213	6	in-line	1 500	130/150	11,9	12:1	985	1520/830/1226

Zdroj: cz.tedomengines.com