

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Plynové motory malých kogeneračních jednotek**

**bioplynových stanic**

bakalářská práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Josef Pošta, CSc.

Autor práce: David Sitte

PRAHA 2017

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

David Sitte

Technologická zařízení staveb

Název práce

**Plynové motory malých kogeneračních jednotek bioplynových stanic**

Název anglicky

**Gas engines for small cogeneration units biogas**

---

### Cíle práce

Zmapovat plynové spalovací motory používané v malých kogeneračních jednotkách bioplynových stanic v České republice. Popsat specifika jejich provozu ve srovnání s provozem motorů pracujících s běžnými palivy. 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. Pro vybrané provedení motorů popsat poznatky a zkušenosti s jejich provozem a údržbou. Porovnat provozní vlastnosti jednotlivých typů motorů.

## Doporučený rozsah práce

40 – 50 stran

## Klíčová slova

bioplynová stanice, kogenerační jednotka, spalovací motor, bioplyn

---

## 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/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Bioplyn\\_sesit.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Bioplyn_sesit.pdf)

Smatanová, M.: Bioplynové stanice. ÚKZÚZ, Dostupné na [http://eagri.cz/public/web/file/214721/\\_2\\_BPS.pdf](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

2015/16 LS – TF

## Vedoucí práce

prof. Ing. Josef Pošta, CSc.

## Garantující pracoviště

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2016

**doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2016

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 30. 10. 2016

*„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Plynové motory malých kogeneračních jednotek bioplynových stanic vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.*

*Jsem si vědom, 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 vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.*

*Jsem si vědom 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 dne 31. 3. 2017

.....

podpis

Na tomto místě bych rád poděkoval především vedoucímu mé bakalářské práce panu prof. Ing. Josefu Poštovi, CSc. za informace, které mi během konzultací ochotně poskytl a firmě Tedom a.s. za cenné podklady a vřelou vstřícnost. Dále bych rád poděkoval své rodině a blízkým za morální podporu při psaní této práce i během celého studia.

**Abstrakt:** Tato práce se zabývá motory malých kogeneračních jednotek bioplynových stanic do 200 kW elektrického výkonu. V úvodu práce jsou popsány vlastnosti a složení bioplynu, možnosti jeho výroby a využití bioplynu jako obnovitelného zdroje energie. Práce dále obsahuje popis kogenerační technologie, popis používaných bioplynových motorů včetně jejich úprav a specifik provozu. Popsány jsou zejména specifické nároky na paliva, emise výfukových plynů, olejové hospodářství a údržba. V závěru je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení investičního záměru.

**Klíčová slova:** bioplynová stanice, kogenerační jednotka, spalovací motor, bioplyn

## **Gas engines for small cogeneration units biogas**

**Summary:** This work deals with the engines of small cogeneration units of biogas power plants up to 200kW of electric power. The introduction describes the properties and the composition of biogas, the possibilities of its manufacturing and its uses as a renewable energy source. Further on this work describes the cogeneration technologies, the currently used biogas engines including their modifications and specificities of use. The descriptions focus on their specific fuel requirements, exhaust-gas emissions, oil management and maintenance. In its conclusion this work evaluates the technical and the economic aspects of the investment project.

**Key words:** biogas power plant, cogeneration unit, combustion engine, biogas

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíl a metodika práce.....	2
3. Bioplynové stanice v ČR.....	3
3.1. Suchá fermentace.....	6
3.2. Mokrý fermentace.....	6
3.2.1. Zemědělské bioplynové stanice .....	6
3.2.2. Odpadové bioplynové stanice .....	7
3.3. Provoz bioplynových stanic a vliv na okolí.....	8
4. Bioplyn.....	10
5. Kogenerační jednotky bioplynových stanic .....	16
6. Plynové spalovací motory používané v kogeneračních jednotkách.....	25
7. Technické parametry, provozní manuály a předpisy pro údržbu motorů .....	34
7.1. Provozní podmínky.....	34
7.2. Elektrický výkon.....	34
7.3. Tepelný výkon .....	34
7.4. Emise škodlivých látek .....	34
7.5. Topný systém.....	35
7.5.1. Sekundární okruh .....	36
7.5.2. Technologický okruh.....	36
7.6. Plynná paliva.....	37
7.7. Mazací oleje.....	39
7.8. Plán údržby .....	40
8. Technicko-ekonomické hodnocení provozu kogenerační jednotky.....	41
9. Závěr.....	44
Seznam obrázků.....	45
Seznam tabulek.....	46
Použitá literatura.....	47

## 1. Úvod

Poptávka po energiích potřebných pro chod a rozvoj naší společnosti stále stoupá. Na druhé straně se neustále zmenšuje zásoba fosilních paliv, ze kterých je tato energie tradičně získávána. Množství fosilních paliv na Zemi je konečné, a proto je třeba za ně hledat náhradu, zejména v podobě energie z obnovitelných zdrojů. Čím dál častěji se objevuje i společenský tlak, aby energie byla získávána šetrným a racionálním způsobem. Tyto požadavky splňují například bioplynové stanice, které oproti solárním nebo větrným elektrárnám vykazují stabilní produkci energie s regulovatelným výkonem, což zajišťuje plynulý chod celé energetické soustavy.

Předkládaná práce se zaměřuje na kogenerační jednotky v bioplynových stanicích a jejich motory. Kogenerace, jako společná výroba elektrické energie a tepla, je smysluplný způsob využití energie uložené v primárních zdrojích paliv. Nejenom, že ji lze považovat za ekologicky šetrný způsob získávání energií, ale díky malým jednotkám je možné výrobu energií decentralizovat. To znamená přesunout ji do cílových lokalit, kde lze energie využít efektivněji, navíc bez ztrát při dálkové dopravě. Tento fakt významně přispívá k soběstačnosti dané lokality



## **2. Cíl a metodika práce**

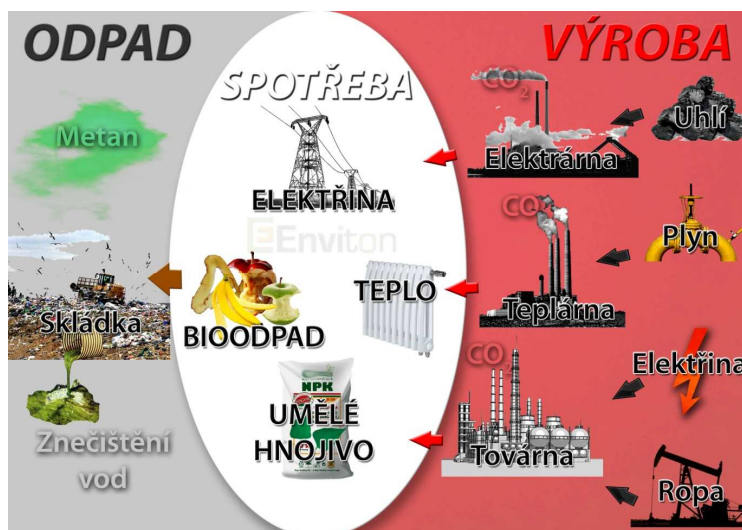
Cílem práce je zmapovat technické požadavky a provedení plynových motorů používaných v malých kogeneračních jednotkách bioplynových stanic do 200 kW instalovaného elektrického výkonu v České republice. Popsat specifika jejich provozu ve srovnání s provozem motorů pracujících na běžná paliva a vypracovat přehled předepisované údržby vybraných typů motorů.

Metodika práce je v úvodu založena zejména na důkladné literární rešerši. Formou výkladu jsou popsány parametry plynových spalovacích motorů v malých kogeneračních jednotkách. Na základě zkušeností s vývojem kogeneračních jednotek jsou metodou komparace, respektive analogie porovnány specifika plynových spalovacích motorů v těchto jednotkách s motory na běžná paliva (zemní plyn). V závěru je provedeno technicko-ekonomické hodnocení investičního záměru a provozu bioplynové stanice s kogenerační jednotkou.

### 3. Bioplynové stanice v ČR

Bioplynové stanice jsou zařízení na výrobu produktů obnovitelné energie z primárních zdrojů. V kombinaci s kogenerační jednotkou s motor-generátorovým soustrojím vyrábějí ušlechtilou elektrickou energii a teplo.

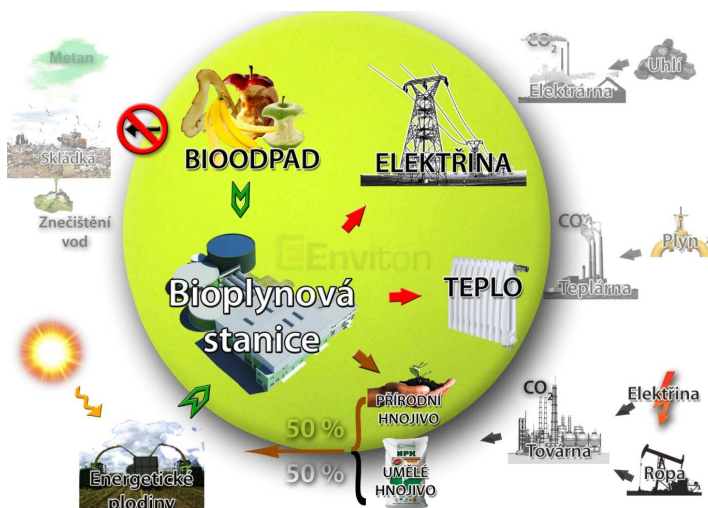
Pro porovnání vezměme v úvahu tradiční hospodaření bez využití obnovitelných zdrojů energie. Elektrickou energii vyrábíme převážně z uhelných zdrojů, teplo v lepším případě ze zemního plynu. Pro výrobu například umělého hnojiva je spotřebováno velké množství materiálu a energie. Veškerý neseperovaný odpad je skladován na skládkách. Dochází tak ke kontaminaci podzemních vod a znečišťování ovzduší methanem, který je považován za nebezpečný skleníkový plyn, 20x nebezpečnější pro životní prostředí než CO<sub>2</sub>. Tato popisovaná a nechvalně užívaná situace je schematicky zobrazena na Obr. 1.



Obr. 1 Hospodaření bez použití obnovitelných zdrojů [11]

Alternativním řešením je varianta s bioplynovou stanicí, která v kombinaci s kogenerační technologií vyrábí elektrickou energii a teplo z obnovitelných zdrojů jako jsou cíleně pěstované plodiny nebo separovaný bioodpad. Vedlejším produktem bioplynové stanice je digestát neboli fermentační zbytek. Digestát je velice kvalitní přírodní hnojivo, které má potenciál napravovat negativní vlivy intenzivního zemědělství obohacováním půd přírodními živinami a humusem. Má řadu příznivých vlastností. Nepůsobí tak agresivně na prostředí jako kejda a mrva, a proto se toto hnojivo dá aplikovat téměř kdykoli bez nutnosti dlouhého skladování, viz Obr. 2

Provozování bioplynových stanic s kombinací s kogenerační technologií má celou řadu ekologických a společenských přínosů. Decentralizovaná výroba elektrické energie a tepla, případně chladu, umožňuje využití přirozených zdrojů v místě vzniku. Není potřeba mít velké elektrárny na bázi Rankin-Clausioiva cyklu, které tepelnou energii často maří a abnormálně zatěžují životní prostředí v jejich okolí.



Obr. 2 Hospodaření při použití obnovitelných zdrojů [1]

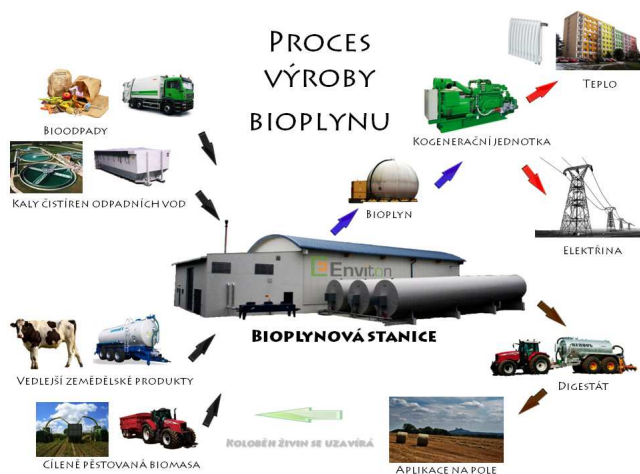
Elektrická energie tak nemusí být několikrát transformována a dopravována na dlouhé vzdálenosti, což způsobuje ztráty v řádu cca 7% z celkové vyrobené energie. Výpadek malého zdroje je snadno nahrazen jiným, naproti tomu výpadek velké elektrárny může způsobit výpadek celé sítě. Využíváním lokálních obnovitelných zdrojů lze omezit dovoz drahých surovin ze zahraničí a zvýšit svoji energetickou nezávislost. V sekundární sféře najdou uplatnění také dodavatelé zemědělských produktů, což je velice příznivý vliv pro rozvoj venkova. Obce mají možnost efektivně využívat biologicky rozložitelný odpad vznikající například při údržbě zeleně a naplňovat literu zákona o odpadech, navíc mohou levně získávat teplo například pro vytápění. [1]

Bioplynové stanice lze v zásadě členit podle zpracovávaného materiálu na zemědělské, odpadové a stanice čistíren odpadních vod, nebo také podle fermentační technologie na suché a mokré. Skládkový bioplyn a jeho čerpací stanice jsou v bioplynářské praxi považovány za odlišnou technologii a proto není předmětem této práce. Na základě studie proveditelnosti se investor rozhodne, jakou technologii použije. Na Obr. 3 jsou zobrazeny počty a rozmístění bioplynových stanic do 200 kW elektrického výkonu instalovaných v České Republice, s udělenými licencemi od roku 1995 do roku 2013. [2], [3]



Obr. 3 Mapa bioplynových stanic 200kW<sub>e</sub> [3]

Produkty po rozkladu biomasy jsou pouze bioplyn a digestát. Na Obr. 4 je znázorněn proces výroby bioplynu ve spolupráci s kogenerační jednotkou.



Obr. 4 Proces výroby bioplynu [6]

### 3.1. Suchá fermentace

Technologie vychází z diskontinuálního provozu s použitím několika speciálních hermeticky uzavíratelných kontejnerů, které jsou střídavě naváženy nejčastěji bioodpadem. Vsázka je zkrápěna roztokem kultur bioorganismů a zahřívána tepelným okruhem z kogenerační jednotky jedoucí v první fázi na propan-butan z lahví. Proces fermentace je nastartován a u vyvíjeného bioplynu stoupá koncentrace methanu. V této fázi je spalován flérou. Při dosažení požadované koncentrace je bioplyn jímán do obřího elastického vaku v samostatném kontejneru. Při dosažení potřebného množství a tlaku kogenerační jednotka přejde do provozu na bioplyn. Tento druh technologie není oproti mokré fermentaci příliš rozšířen a proto je zmíněn pouze rámcově.

### 3.2. Mokrý fermentace

Je zastoupena zemědělskými a odpadovými bioplynovými stanicemi. Většinou s vertikální osou nadzemní, podzemní nebo částečně zapuštěné.

#### 3.2.1. Zemědělské bioplynové stanice

Tyto systémy jsou určeny ke zpracování cíleně pěstovaných energetických plodin, například cukrové řepy, kukuřice a luční trávy, které lze pěstovat nebo nakupovat. Zpracovávají se též vedlejší produkty jako je hnůj a kejda, většinou zdarma za odvoz. Vsázka je homogenní a před vstupem ji do fermentoru není potřeba nijak upravovat. Jedná se o relativně jednoduchou technologii, nenáročnou na provoz viz Obr. 5.



Obr. 5 Zemědělská bioplynová stanice [2]

Kvalita produktu je přímo závislá na kvalitě vsádky. Lze získat investiční dotace až do výše 30% na pořízení stanice. Výkupní cena elektrické energie bývá nižší než při použití odpadové bioplynové stanice, pořizovací náklady naopak přibližně poloviční oproti technologii odpadových bioplynových stanic.

Nevýhodami mohou být kolísající ceny vstupních surovin, závislost na partnerských dodavatelích a nenalezení odbytu pro vyrobené teplo.

Výše popsaná technologie je vhodná pro zemědělce, municipality a investory. V Evropě je vybudováno tisíce instalací.

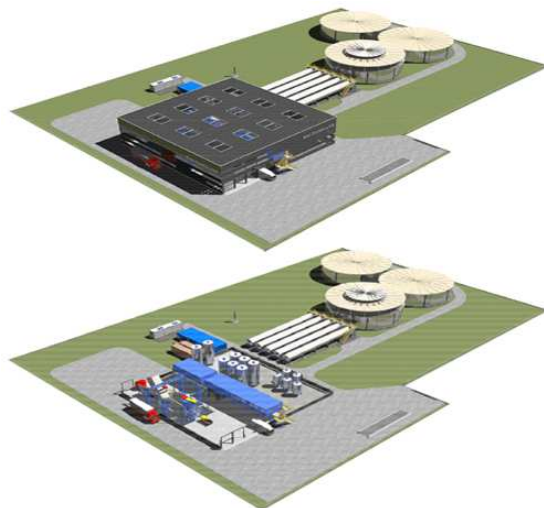
### **3.2.2. Odpadové bioplynové stanice**

Zpracovávají biologicky rozložitelné odpady, které by s největší pravděpodobností skončily na skládce, což je ekonomicky relativně náročná záležitost. Stanice zpracovávají biologicky rozložitelný komunální odpad, odpady z potravinářského průmyslu, prošlé potraviny, zemědělské odpady, kaly z čistíren odpadních vod a další. Vstupní materiál je nesourodý, obsahuje často nevhodné příměsi. Před vlastní fermentací je zařazen proces na odstranění nečistot a provedena homogenizace. Vzhledem k tomu, že vsádka obsahuje materiál nejen rostlinného původu, je zde legislativně zařazena hygienizace zahřátím na určitou teplotu po stanovenou dobu. Vsázka bývá značně rozmanitá a je vyžadováno sofistikované řízení celého procesu. Produktem fermentace jsou opět bioplyn a digestát použitelný v zemědělství a pro zahrádkáře.

Odpadová bioplynová stanice je dvojnásobně až třínásobně investičně dražší oproti zemědělské bioplynové stanici. Úroveň dotace může být až 60% z pořizovací ceny. Výhodami jsou vyšší výkupní cena vyrobené elektrické energie a to, že provozovatel za zpracování odpadů inkasuje peníze. Tato technologie je vhodná především pro municipality, svozové společnosti, producenty bioodpadu a investory. Na Obr. 6 je vizualizace odpadové bioplynové stanice ve fázi studie.

Nevýhodami mohou být složitější povolovací proces z pohledu občanské vstřícnosti, vyšší investiční náklady a zajištění kontinuální dodávky surovin.

Výhodami jsou příznivá situace na trhu, vzhledem ke zvyšující se ceně za skládkování a plně automatizovaný proces moderních stanic. Dále pak návratnost investice v řádu 5 – 7 let. [2]



Obr. 6 Odpadová bioplynová stanice [30]

### 3.3. Provoz bioplynových stanic a vliv na okolí

U většiny stanic je provoz takřka automatický. Potřebné je zajistit pravidelnou dodávku vsádky, obsluha má pouze kontrolní funkci. Dvakrát ročně se vyváží digestát. U zemědělských stanic je dodávka surovin po celý rok zajišťována skladováním. Pro odpadové stanice není skladování možné a materiál se zpracovává průběžně. Bioplynová stanice pro vlastní provoz spotřebuje přibližně 7% vyrobené elektrické energie a přibližně 30% vyrobeného tepla, především na míchání a zahřívání vsádky fermentoru.

Anaerobní kontinuální nebo semikontinuální proces fermentace v nádobě bez přístupu vzduchu je ryze přírodní proces bez důsledků na životní prostředí v případě havárie. Probíhá při teplotě 38°C za normálního tlaku v hermeticky uzavřeném prostoru. Bioplyn je kontinuálně odváděn z fermentoru. Zdrojem hluku bývá kogenerační jednotka s pístovým spalovacím motorem, většinou umístěná v kotelně nebo kontejneru. Odhlučnění se zpravidla zajišťuje kapotou stroje, tlumiči sání a výfuku, případně zvukovou izolací objektu aby byly dodrženy potřebné zvukové limity. Obávaný zápach z provozu bioplynové stanice není oprávněný. Zemědělské stanice zpracovávají zpravidla senáž a siláž. Vstupní suroviny jsou skladovány už ze své podstaty bez přístupu vzduchu, aby



nedocházelo k jejich znehodnocování. Únik zápachu neboli odorantu při dopravě hnoje a kejdy lze procesně zabezpečit. Fermentováním surovin je zápach odstraněn.

Odpadové stanice mají vyšší riziko zápachu, proto jsou procesně zabezpečeny mnohem lépe, viz Obr. 7.



Obr. 7 Proces zpracování bioodpadu [4]

Používají se speciálně upravené vozy. Oddělené přijímací prostory s odsáváním a následným spálením kontaminovaného vzduchu v kogenerační jednotce nebo jeho čištění přes biofiltry s účinností v řádu 95%.

Bioplynová stanice je řízena přísným provozním řádem a je zabezpečena proti úniku zápachu viz Obr. 8, pokud nějaký zápach uniká, je to pravděpodobně způsobeno obsluhou při nedodržení provozního řádu nebo nesprávně fungující technologií. [4]

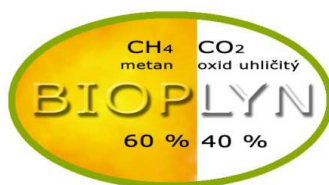


Obr. 8 Návoz biomasy [4]



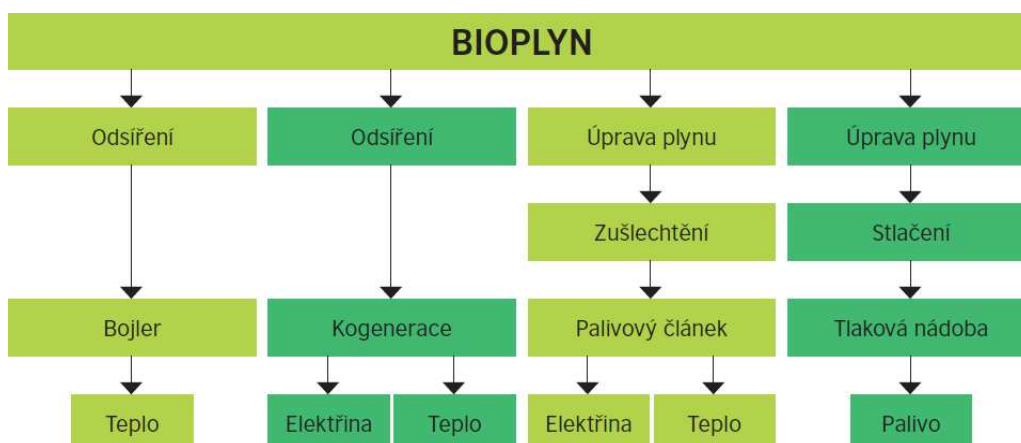
## 4. Bioplyn

Produktem anaerobního fermentačního procesu neboli bakteriálního rozkladu organické hmoty je bioplyn. Bezbarvý, energeticky bohatý plyn složený z 50 až 70% methanu, 25 až 50% oxidu uhličitého a dalších příměsí. *Mohou to být zbytky vzdušných plynů ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $Ar$ ), neúplně spotřebované produkty acidogeneze ( $H_2$ , přebytek  $CO_2$ ) anebo další minoritní a stopové příměsi z předcházejících anebo simultánních reakcí organické hmoty  $H_2S$ ,  $N_2O$ ,  $HCN$ , uhlovodíky a jejich deriváty většinou kyslíkaté i sirné.* [5] Energeticky využitelnou složkou je pouze methan, viz Obr. 9. Ostatní složky jsou balast.



Obr. 9 Bioplyn složení [6]

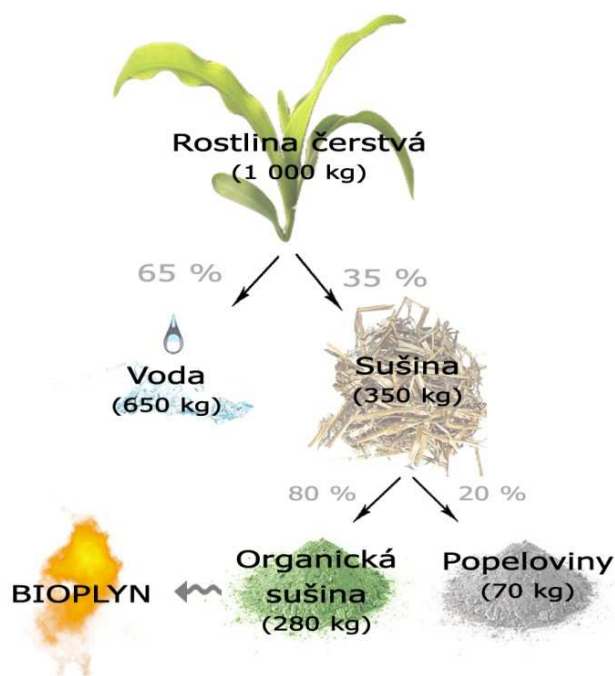
Methan separovaný z bioplynu je přímým příbuzným zemního plynu. Bioplyn lze využít ke spalování v kotli. Lze ho také po úpravě viz Obr. 10 použít jako palivo automobilů nebo kogeneračních jednotek. Kogenerací získáváme velice kvalitní a tvrdý zdroj elektrické a tepelné energie.



Obr. 10 Použití bioplynu [6]

Rizika exploze při výrobě bioplynu jsou při dosažení dolní nebo horní meze výbušnosti. Pro methan je dolní mez výbušnosti na úrovni 5 % objemu v kyslíku nebo vzduchu a horní mez výbušnosti na hranici 15% objemu v kyslíku nebo vzduchu. Po iniciaci této směsi počátečním impulsem dojde k zapálení často také k výbuchu. Inicie je zahřátí směsi na autoiniciační teplotu, stačí zahřát nepatrný objem; exotermická reakce se nastartuje a rychle šíří. Aktivní zdroje iniciace dle ČSN EN 1149-1 jsou elektrická jiskra, mechanická jiskra, statická elektřina a samovznícení. [5]

Bakterie rozkládající biomasu a produkující bioplyn nejnáze zpracovávají polysacharidy, tuky a bílkoviny. Méně využitelná je celulóza. Nerozložitelný je lignin, proto není vhodné se pokoušet fermentovat dřevo a slámu. Bakterie jsou schopny rozložit na bioplyn pouze organickou sušinu, ostatní složky tvoří digestát. Abychom mohli stanovit, ze kterých plodin se dá získat nejvíce bioplynu, vycházejme z předpokladu, že biomasa je tvořena značným podílem vody a sušiny. Sušinu lze rozdělit na organické látky, které nazýváme též organickou sušinou neboli potravu bakterií a anorganické, nerozložitelné popeloviny. Znázorněno na Obr. 11 níže. V tabulce Tab. 1. lze odečíst objem bioplynu získatelný z jednotlivých druhů substrátů.



Obr. 11 Objem bioplynu [6]

Tab. 1 Produkce bioplynu (BP) z organické sušiny (OS) vybraných substrátů [6]

substrát	BP m <sup>3</sup> /1kg OS
kejda	0,60
kukuřičná siláž	0,80
žitná siláž	0,86
řepná siláž	1,00

Složení a vlastnosti vybraných druhů bioplynů jsou uvedeny v Tab. 2 níže.

Tab. 2 Srovnání základních vlastností různých bioplynů[7]

Parametr	Skládkový plyn	Bioplyn (ČOV)	Bioplyn (prasečí kejda)
<sup>1)</sup> Výhřevnost (MJ/m <sup>3</sup> )	16,9	21,1	24,0
H <sub>2</sub> (%)	1	1	-
CO (%)	1	-	-
O <sub>2</sub> (%)	3	-	-
N <sub>2</sub> (%)	-	-	-
Cl <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> (mg/m <sup>3</sup> )	-	-	-
NH <sub>3</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	-	-	40
CO <sub>2</sub> (%)	46	38	31
CH <sub>4</sub> (%)	49	61	69
H <sub>2</sub> S (mg/m <sup>3</sup> )	350	1 000	<sup>2)</sup> 2 300
<sup>1)</sup> vztaženo na 15°C, 101 325 Pa.		<sup>2)</sup> na vstupu do odsiřovacího zařízení.	

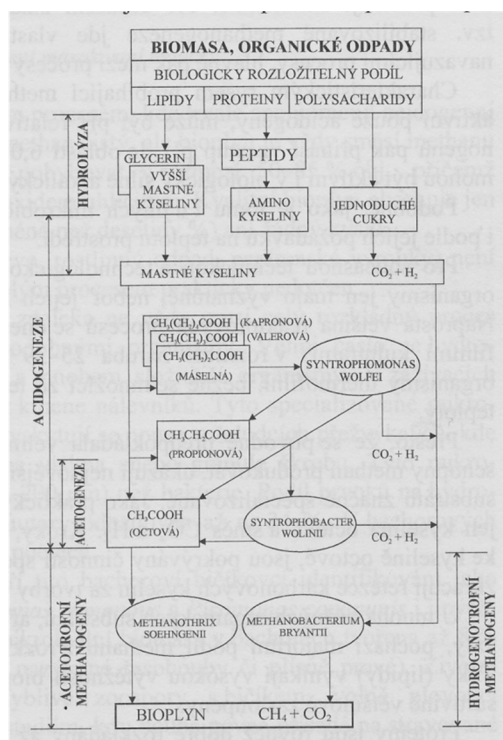
Vzhledem k tomu, že vsádka bývá tvořena různými surovinami, které obsahují různé množství sušiny a tím pádem i různé množství organické sušiny, jsou výnosy bioplynu značně rozdílné.

*Kukuřice na siláž v našich podmínkách dosahuje výnosů okolo 30 t čerstvé hmoty na 1 ha, což je při 35 % obsahu sušiny 10,5 t sušiny/ha. Výnos bioplynu z 1 t sušiny může být přibližně 450 m<sup>3</sup>/1t sušiny (empiricky). To je 4 725 m<sup>3</sup> bioplynu/ha, tedy 2 835 m<sup>3</sup> biomethanu/ha, což je 10 773 kWh elektřiny/ha (s výkupní cenou 4,12 Kč/kWh to je celkem 44 385 Kč/ha) a 12 758 kWh tepla/ha. Uvedené hodnoty jsou teoretické, v praxi se můžou výsledné hodnoty lišit v závislosti na efektivnosti jednotlivých procesních kroků od zasetí energetické plodiny po distribuci vyrobené energie. [6]*

Na fermentační proces se lze dívat i z jiného úhlu, kdy směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá biomasu, produkt jedné skupiny mikroorganismů je pak potravou další skupiny. Soubor procesů tak můžeme rozdělit do několika fází:

- *hydrolýza: působením extracelulárních enzymů dochází mimo buňky k hydrolytickému štěpení makromolekulárních látek na jednodušší sloučeniny, především mastné kyseliny a alkoholy. Při tomto procesu se uvolňuje rovněž vodík ( $H_2$ ) a oxid uhličitý ( $CO_2$ ).*
- *acidogeneze: působením extracelulárních enzymů dochází mimo buňky k hydrolytickému štěpení makromolekulárních látek na jednodušší sloučeniny, především mastné kyseliny a alkoholy. Při tomto procesu se uvolňuje rovněž vodík ( $H_2$ ) a oxid uhličitý ( $CO_2$ ).*
- *acetogeneze: dochází k dalšímu rozkladu kyselin a alkoholů za produkce kyseliny octové.*
- *methanogeneze: závěrečný krok anaerobního rozkladu, kdy z kyseliny octové,  $H_2$  a  $CO_2$  vzniká methan -  $CH_4$ , tento krok provádějí methanogenní bakterie, což jsou striktně anaerobní organismy, podobné nejstarším organismům na Zemi. Tyto bakterie jsou citlivé především na náhlé změny teplot, pH, oxidačního potenciálu a další inhibiční vlivy. [7]*

Schematicky znázorněno na obrázku Obr. 12.



Obr. 12 Schéma vzniku bioplynu z biologicky rozložitelných odpadů [5]

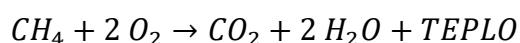
Různým druhům mikroorganismů svědčí různé teploty prostředí. Rozdělujeme na psychrofilní 5 až 30 °C, mezofilní 30 až 40 °C, termofilní 45 až 60 °C a extrémně termofilní nad 60 °C. Nejčastěji se setkáváme s mezofilními kulturami při 38 °C, pH ≈ 6,5 až 7,5 a hydraulickou dobou zdržení 35 až 110 dnů při jednostupňovém nebo dvoustupňovém procesu. Vyšší teplota procesu napomáhá lepší hygienizaci .

Důležitým faktorem bioplynu je obsah síry a dusíku. Oba prvky se dostávají do procesu prostřednictvím biomasy. Vyšší koncentrace dusíku mají neblahý inhibiční vliv na anaerobní proces fermentace. Při recirkulaci digestátu za účelem ředění substrátu se může množství dusíku násobit. Významný je obsah volné nebo amoniakální formy již od 3g/l.

Síra významným způsobem ovlivňuje životnost plynových zařízení, spalínovodů a komínů. Zásadní je pro provoz kogeneračních jednotek s pístovými spalovacími motory, kdy urychluje degradaci oleje a opotřebení elektrod zapalovacích svíček. Pro spalínovou trať obsahující spalínový výměník, tlumič, vlnovec, potrubí a další komponenty se v zásadě používá jakostní materiály, blíže v dalších kapitolách. Obsah síry v bioplynu je limitován zákonem o ochraně ovzduší a musí se pravidelně sledovat.

Bioplyn získávaný z odpadové čistírenské biomasy často také vykazuje vyšší koncentrace siloxanů, které se po spálení v motoru přeměňují křemík (SiO<sub>2</sub>). Křemík se usazuje na stěnách a úlomky mohou způsobit vyšší opotřebení.

Jedinou hořlavou složkou v bioplynu je methan CH<sub>4</sub> a hoření neboli oxidace, probíhá podle vzorce:



Spálené teplo rovno standardně spálené entalpii, kde voda vzniká spálením látky.

Proti tomu výhřevnost je rovna standardně spálené entalpii, kde voda je v plynném stavu. Výhřevnost je hodnota zmenšená o výparné teplo vody, vzniklé anebo v palivu obsažené. Hodnoty výhřevností a spalných tepel jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3 Příklady výhřevností a spalných tepel [5]

	Spálené teplo Q <sub>s</sub>		Výhřevnost Q <sub>i</sub>	
	(MJ/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> )	(MJ/kg)	(MJ/m <sup>3</sup> <sub>N</sub> )	(MJ/kg)
vodík	12,791	142,443	10,752	119,742
methan	39,888	55,759	35,847	50,116
H <sub>2</sub> S	25,707	16,705	23,697	15,407

Příkon v palivu se počítá z výhřevnosti, proto účinnost ve výpočtech při využití kondenzační technologie bývá paradoxně vyšší než 100%.

Výhřevnost methanu bez významných příměsí H<sub>2</sub> nebo H<sub>2</sub>S se určuje přímo z koncentrace methanu.

$$Q_i^{BP} = \frac{C_M}{100} \times Q_i^M \left( \frac{MJ}{m_N^3} \right)$$

Bioplyn obsahující 55% objemového množství methanu má výhřevnost:

$$Q_i = \frac{55}{100} \times 35.847 = 19,716 \left( \frac{MJ}{m_N^3} \right)$$

Bude-li tentýž bioplyn obsahovat navíc ještě 0,1% objemového množství H<sub>2</sub>S (1539 mg H<sub>2</sub>S/m<sup>3</sup><sub>N</sub>), bude jeho výhřevnost:

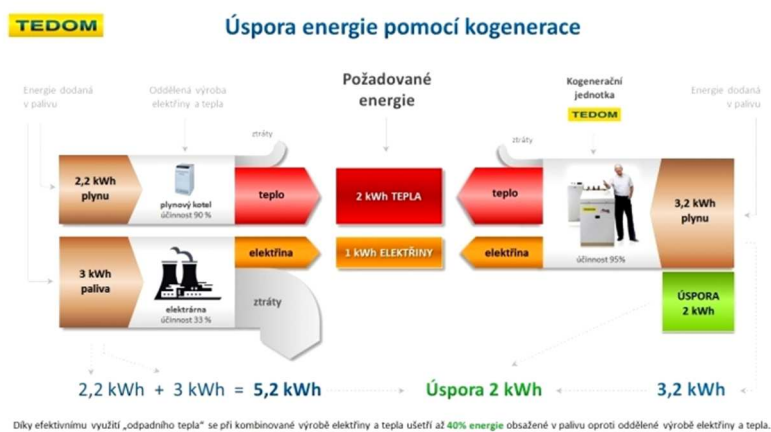
$$Q_i = \frac{55}{100} \times 35.847 + 0,001 \times 23,697 = 19,740 \left( \frac{MJ}{m_N^3} \right)$$

Charakteristickou veličinou plynného paliva určeného pro spalování v pístovém motoru je methanové číslo, značíme MČ. Důležité je nezaměňovat s obsahem methanu. Methanové číslo vyjadřuje odolnost paliva vůči tzv. klepání motoru. Určuje obsah methanu v objemových % spalované binární směsi methanu a vodíku, kdy je methanu přiděleno číslo 100 a vodíku methanové číslo 0. Většina bioplynu obsahuje i jiné složky než methan a vodík, proto se MČ měří experimentálně definovaným postupem na zkušebním spalovacím motoru. Přídavky dusíku a oxidu uhličitého na jednu stranu zvyšují MČ a tím odolnost vůči klepání, ale na druhou stranu snižují energetickou hodnotu paliva.

Každý výrobce motorů, případně kogeneračních jednotek určuje ve svých specifikacích, jaké vlastnosti musí bioplyn splňovat, aby mohl být použit jako palivo, viz dále.

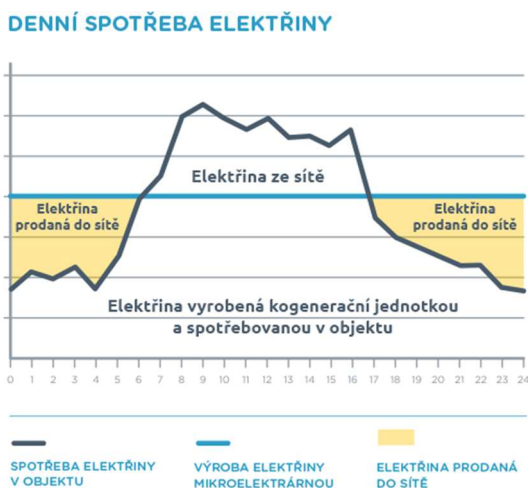
## 5. Kogenerační jednotky bioplynových stanic

Kogenerace je kombinovaná výroba elektrické energie a tepla. Umožňuje až 95% využití energetického potenciálu paliva a díky smysluplnému využití tepla vznikajícího při výrobě elektrické energie, nemusí být toto teplo vyráběno jiným zdrojem. Kogenerace je též nazývána KVET nebo KV. Na Obr. 14 je znázorněn oddělený způsob výroby elektrické energie a tepla ve srovnání s možnými úsporami při kombinované výrobě. Pokud se část tepelné energie využítá k odebrání tepla jinému médiu, například pomocí absorpčního chladiče, nazýváme tento proces trigenerací. Trigeneraci lze také definovat jako kombinovanou výrobu elektrické energie, tepla a chladu. Výroba chladu bývá dražší komoditou oproti teplu.



Obr. 14 Úspora energie pomocí kogenerace [26]

Elektrická energie vyrobená v kogenerační jednotce se používá pro vlastní spotřebu objektu v němž je jednotka umístěna, nebo se distribuuje do sítě, zobrazeno na Obr. 13.



Obr. 13 Denní spotřeba elektřiny [27]

Teplu z kogenerační jednotky se využívá k vytápění a chlazení budov, přípravě teplé užitkové vody nebo technologického tepla. Kogenerační jednotky se také používají jako nouzové zdroje elektrické energie v místech její nepřetržité potřeby.

Výhody kogenerační výroby jsou zvýšení účinnosti využití primárního paliva při produkci více druhů energií. Dalšími výhodami je mít výrobu energií v místě jejich přímé spotřeby s úsporami na straně transformací a distribuce, nezávislost na dodavatelích energií, snadná napojitelnost na stávající a plánované systémy, stabilizace energetické soustavy při řízení výkonu kogenerační jednotky podle potřeb sítě, zvýšení podílu výroby a spotřeby z obnovitelných zdrojů oproti neobnovitelným a omezení znečišťování životního prostředí, možnost transformací vyrobených energií do jiných forem, zvyšování konkurence na energetickém trhu.

Nevýhodami mohou být vyšší pořizovací náklady, náklady na údržbu a změny legislativních podmínek provozování, nemožnost plného využití vyrobeného energetického potenciálu v místě výroby a nutnost energii mařit, nedostatečná legislativní podpora obnovitelných zdrojů a nedostatečná informovanost občanů o technologických možnostech a podpory ze strany státu.

Bioplynová mikro kogenerační jednotka je zobrazena na Obr. 15, její schematické uspořádání na Obr. 16 a technické specifikace viz Příloha IV. Kogenerační jednotky s použitím spalovacího neboli objemového motoru jsou motor generátorová soustrojí. V modulovém, kapotovaném nebo kontejnerovém provedení. U modulového způsobu jsou technologie kotveny na ocelových rámech a umístěny zpravidla do kotelen vybavených k tomuto účelu, především z pohledu zvukových a vibračních izolací a přívodů jednotlivých médií. Kontejnerové provedení bývá zcela autonomní, umístěné ve venkovním prostředí. Technologie jsou umístěny v izolovaných kontejnerech nebo kotveny na stěnách budov a jejich střechách. Mohou obsahovat i prostory pro skladování materiálu a velín obsluhy. Kapotované provedení bývá instalováno do kotelen. Může být s provětrávanou nebo s izolovaným protihlukovým krytem. Kryt je dělen na teplou sekci s motorgenerátorem, výměníky, přídavnou olejovou nádrží a dalšími prvky a na chladné části elektronickým zapalováním, řídicí jednotkou, expanzní nádobou, plynovými ventily, vzduchovým filtrem a další elektronikou. Provětrávaná kapota bývá s nucenou ventilací od lopatek generátoru nebo s přídavným ventilátorem. Cílem je diagonální odvedení sálavého tepla z bloku motoru, generátoru a úniků přes izolace potrubních cest napříč jednotkou.



Nevýhodou je vyšší akustická zátěž v okolí jednotky. Do proudu vzduchu se mohou dostávat výpary z odkapů provozních náplní a úniky případných netěsností spalínovodů. Nezanedbatelnými ztrátami provětrávaného provedení jsou příkon při použití přídavného ventilátoru a také mařené teplo ventilací, které musí být dále odváděno ventilátorem kotelny. Lze také použít sofistikovanější způsob nabízený například u mikro kogeneračních jednotek firmy Tedom a.s., kdy se jedná o neprovětrávanou zvukově a tepelně izolovanou kapotu pracující s vyšší vnitřní teplotou. Výhody jsou především ve vhodném uspořádání jednotlivých prvků z pohledu eliminace délek potrubních cest a uspořádáním pro lepší využití teplotních spádů. Použitím vodou chlazeného generátoru, který přijímá vlastní teplo a teplo vysálané motorem. Nadimenzováním prvků, jako jsou například zapalovací cívky, kabely, těsnění a ložiska, aby byly schopny odolávat zvýšenému teplotnímu zatížení. Tento způsob zvyšuje tepelnou účinnost jednotky omezováním ztrát a snižuje akustickou zátěž okolí. Nad motorem bývá umístěno teplotní čidlo.

Ocelový rám má nosnou úlohu pro veškeré technologie, je též izolovaný a plní funkci záchytné a odkapové vany provozních náplní pro případ havárie. Dále umožňuje transport jednotky pomocí jeřábu nebo vysokozdvizného vozíku.

Na patkách rámu jsou umístěny gumové silentbloky. Počet silentbloků a jejich naladění odpovídá konkrétnímu typu soustrojí pro dané frekvence vibrací.

Plynový motor, jehož palivem je bioplyn je při startu roztáčen elektrickým generátorem v motorovém režimu, případně startérem. Motor po nastartování přebírá hnací úlohu a při dosazení potřebných otáček je generátor připojen k síti a vyrábí elektrickou energii. Celý proces je plně automaticky zajištěn pomocí řídicí jednotky ovládané místně nebo vzdáleně.

Elektrický generátor přeměňuje vyrobenou mechanickou energii na elektrickou. Generátory mohou být stejnosměrné nebo střídavé. Stejnosměrné dodávají elektrickou energii samostatně do elektrické zátěže spotřebitele bez návaznosti na distribuční síť. Střídavé mohou spolupracovat s distribuční sítí a jsou asynchronního nebo synchronního typu. Asynchronní generátory jsou určeny pouze pro paralelní provoz se sítí, odebírají ze sítě jalovou složku pro vytvoření magnetického pole. Nevyžadují synchronizační zařízení, jsou jednodušší a levnější. Používají se u jednotek menších výkonů řádově do 100 kW<sub>e</sub>. Synchronní generátory mohou pracovat nejen paralelně se sítí ale i nezávisle na ní. Při paralelním provozu se změnou velikosti budicího napětí je možno regulovat účinník  $\cos \varphi$ .

Mají vyšší účinnost a používají se u vyšších výkonových řad nad 400 kW<sub>e</sub>. Připojují se do sítě pomocí synchronizačního zařízení. [8], [9] Generátory umožňují tři základní druhy provozu kogenerační jednotky a některé jejich vzájemné kombinace. Základní druhy provozu jsou:

Paralelní provoz se sítí - kogenerační jednotka dodává elektřinu do nadřazené distribuční soustavy.

Ostrovní provoz - kogenerační jednotka pracuje autonomně bez připojení na nadřazenou distribuční soustavu, dodává elektřinu pro vlastní spotřebu odběratele.

Nouzový provoz - v nouzovém provozu plní jednotka funkci záložního zdroje.

Vyrobená elektřina je převážně vyráběna na úrovni nízkého napětí a podle místních podmínek je připojena buď do distribuční sítě nízkého napětí nebo přes transformátor do distribuční sítě vysokého napětí.

Plynový motor a elektrický generátor jsou staticky spojeny litinovým nebo svařovaným muzikusem, který bývá osazen čidly pro zapalování. Krouticí moment je přenášen spojkou. Ta může být mechanická se silentbloky nebo pružiny, elektromagnetická nebo plechová. Zajišťuje vyrovnávání rázů, nesouosostí, axiální dilatace a posuny.

Palivová soustava je tvořena dvěma větvemi, které se spojují ve směšovači. První větev představuje sání motoru a je tvořena velkokapacitním vzduchovým filtrem a flexibilním potrubím. Společně zajišťují přívod čistého, čerstvého a chladného vzduchu do motoru. Při vhodných tlakových poměrech a množstvích. Dále plní funkci akustického tlumiče sání. Druhá větev je bioplynová trasa tvořena filtrem plynu, rychlo uzavíratelnými ventily, nulovým regulátorem, servomotorem Woodward pro řízení bohatosti směsi, tělesem manuální regulace směsi pro regulaci volnoběžných otáček, opancéřovanými hadicemi a potrubím. Difuzorový směšovač upravuje přiváděný vzduch a bioplyn na palivovou směs motoru, která je přes výkonovou klapku a rozváděcí potrubí přiváděna do jednotlivých válců motoru. Všechny prvky bioplynové trasy bývají hliníková tělesa s nerezovými prvky, bez použití mědi, s kterou by bioplyn nepříznivě reagoval. Bioplynová soustava se od soustavy na zemní plyn liší pouze většími světlostmi průřezů, což je dáno charakterem paliva. Jinak mohou být shodné.

Jednotky s vyššími výkony bývají vybaveny turbodmychadlem ke zvýšení výkonu při současném zdvihovém objemu. Turbodmychadlo je poháněno proudem spalin a má za úkol zmenšování objemu palivové směsi. Směs se stlačováním zahřívá. K dosažení co nejlepšího efektu se zařazuje chladič plnicí směsi. Technologický okruh chladiče bývá samostatným okruhem nezávislým na sekundárním okruhu.

Primární okruh slouží k chlazení bloku motoru a je tvořen externím oběhovým čerpadlem, termostatem, expanzní nádobou případně doplňovací nádržkou s hladinovým čidlem, pojistným ventilem, čidlem teploty na výstupu z motoru, snímačem tlaku, potrubím, chladičem oleje a výměníkem voda – voda, předávajícím teplo do sekundárního okruhu. Teplovodným médiem bývá chladicí kapalina s obsahem ethylén-glykolu a antikoročních inhibitorů. Při provozu je teplota chladicí kapaliny udržována v rozmezí 90 až 100 °C.

Sekundární okruh začíná přírubou a teplotním čidlem na vstupu do jednotky, což bývá zákaznické rozhraní dodávky. Okruh pokračuje potrubím s dalším teplotním čidlem do vodou chlazeného generátoru, přes výměník voda – voda pro odvod tepla z primárního okruhu. Dále pokračuje do trubkového spalínového výměníku, kde v protiproudu se spalinami přijímá teplo a končí výstupní přírubou s teplotním čidlem nad kapotou jednotky. Teplovodným médiem bývá chladicí kapalina s obsahem ethylén-glykolu a antikoročních inhibitorů případně zákaznická kapalina splňující specifikace výrobce kogenerační jednotky. Teplotní režim bývá 70/90 °C na vstupu a výstupu. Přídavný modul sekundárního okruhu je tvořen oběžným čerpadlem a řízeným trojcestným ventilem.

*V teplovodních topných systémech pracujících s teplotami shodnými jako zařízení je možné sekundární okruh zařízení připojit do rozdělovače a sběrače paralelně s jinými zdroji tepla. Na vstup a výstup zařízení je nutné instalovat uzavírací armatury, pro odpojení zařízení od topného systému při provádění servisních prací, na výstup zařízení instalovat pojistný ventil o hodnotě tlaku odpovídající jmenovitému tlaku v okruhu. Na potrubí vratné vody do zařízení musí být namontován filtr pro zamezení vniknutí mechanických nečistot do jednotky. Expanzní nádrž pro vyrovnání teplotní roztažnosti kapaliny a pojistný ventil okruhu musí být řešeny mimo kogenerační jednotku.[10]*

Spalinová trasa začíná sběracím potrubím na bloku motoru opatřeným termočládky pro měření teplot spalin jednotlivých válců. Teplota spalin bývá v rozmezí 450 až 650 °C. Spalinová trasa pokračuje do katalyzátoru, je-li potřeba. Vstupuje do trubkového

spalinového výměníku, ten bývá oproti aplikaci na zemí plyn v nerezovém provedení s větší světlostí trubek pro snazší čištění a zvětšenými plochami pro usazování sazí. Výměník bývá délkově kratší. Menší délka zaručí vychlazení spalin na vyšší teplotu a zabránění případné kondenzaci spalin. Spaliny pokračují přes dilatační vlnovec do výfukového tlumiče s vývodem na odvod kondenzátu a pak hadicí na přírubu do komína. Spalinový výměník bývá osazen termočládky před a za katalyzátorem, lambda sondou a spínačem tlaku pro signalizaci zvýšeného protitlaku spalin z důvodu zanesení spalinové cesty nebo komína. Potrubí je realizováno v nerezovém provedení.

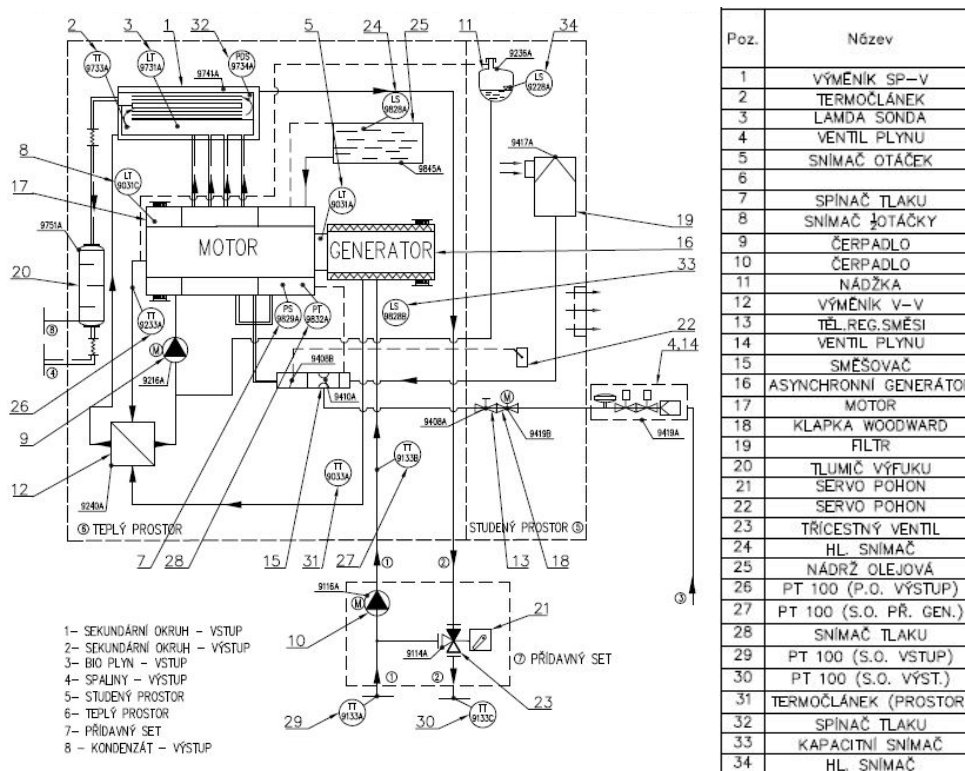
Olejové hospodářství slouží k mazání a chlazení motoru. Olej je honěn zubovým čerpadlem integrovaným v motoru, které je poháněno od kliky motoru. Blok motoru je osazen tlakovým snímačem a chladičem oleje. Vana motoru je zvětšována a používá se navíc přídatná nádrž s hladinovým snímačem pro zvětšení objemu olejové náplně a prodloužení servisních intervalů. Olejová trasa bývá tvořena opacněrovanými hadicemi.

Zapalovací soustava je tvořena zapalováním neboli jednotkou zapalování, která je napojena na řídicí jednotku, zapalovacími svíčkami, cívkami a kabely. Ke svému provozu používá signály čidel polovičních otáček snímající značku na vačkovém hřídeli motoru a čidel otáček umístěných na mezikusu pro snímání počtu zubů setrvačníku a resetovacích značek. Zajištění správného pálení při nahodilém výpadku nebo špatném signálu čidla je vyhodnocování prováděno pomocí Grayova kódu. Současné typy elektronických zapalování pro aplikace na zemní plyn jsou natolik silné, že se běžně používají i pro bioplynové motory.



*Obr. 15 Kogenerační jednotka Micro T30 Bio [10]*

Kogenerační jednotka je vybavena řídicím systémem a rozvaděčem s hlavním třífázovým jističem neboli deonem. Svorkovnice deonu bývá hranicí mezi kogenerační jednotkou a zákaznickou stranou. Rozvaděč je také vybaven jističi, relátky, případně kondenzátorem pro kompenzaci účinníku, kabely a další elektroniku. Vyspělé řídicí systémy jsou vybaveny barevným, dotykovým ovládacím panelem a slouží k řízení celé kogenerační jednotky jako je startování, zapalování, přifázování, řízení provozu podle různých režimů, zaznamenávání celé provozní historie, vyhodnocování a náhradu vadných čidel pomocí paměťových tabulek a map, vyhodnocování servisních intervalů podle způsobu provozu. Řídí vzdálenou oboustrannou komunikaci se zákazníkem a servisem, spolupráci s dalšími kogeneračními jednotkami, plynovými kotli, ekvitermní regulací a mnoho dalšího.



Obr. 16 Schéma micro kogenerační jednotky [11]

Na trhu je celá řada výrobců a dodavatelů bioplynových kogeneračních jednotek. Za všechny lze jmenovat Motorgas s.r.o., Dagger CZ a.s. Jedním z největších tuzemských výrobců kogeneračních jednotek je firma Tedom a.s. s mnohaletými zkušenostmi vývoje, výroby, servisu, řízení a prodeje. V Tab. 4 jsou uvedeny nabízené malé bioplynové kogenerační jednotky. Soubor reálných instalací těchto jednotek s podrobnějšími informacemi je viz Příloha I. Celý sortiment základních typů kogeneračních jednotek firmy Tedom a.s. je uveden viz Příloha II. Technické specifikace jednotek jsou pro mikro jednotky viz Příloha IV a pro vyšší výkony viz Příloha V .

Tab. 4 Malé bioplynové kogenerační jednotky firmy Tedom a.s. [17]

Typ jednotky	Elektrický výkon (kW)	Tepelný výkon (kW)	Elektrická účinnost (%)	Tepelná účinnost (%)	Celková účinnost (%)	Příkon v palivu (kW)
Micro T30 <sup>2</sup>	25	47,5	31,6	60	91,6	79,1
Micro T30 <sup>2,4</sup>	30	61	30,7	62,4	93,1	97,7
Cento T80	83	121	35,0	50,9	85,9	237
Cento T100	106	143	36,4	49,2	85,6	291
Cento T120	124	165	36,9	49,2	86,1	336
Cento T160	166	217	37,8	49,5	87,3	439
Cento T180	182	224	39,1	48,1	87,2	465
Cento T200	200	245	39,2	48,1	87,3	510

Poznámky k údajům v tabulce:

2. Jednotka zařazena do třídy sezónní energetické účinnosti A++.

4. Provoz na stechiometrickou směs.


Firma Motorgas s.r.o. nabízí bioplynové kogenerační jednotky s motory MAN. Přehled výkonové řady malých jednotek v Tab. 5.

Tab. 5 Malé bioplynové kogenerační jednotky firmy Motorgas s.r.o.[28]

MGM - bioplyn 500 NOx			
Typ KJ	Motor	Elektrický výkon [kWe]	Tepelný výkon [kWt]
MGM 50	MAN E0834 E302	42	59
MGM 70	MAN E0836 E302	60	83
MGM 65	MAN E0834 LE302	64	87
MGM 90	MAN E0836 LE302	90	114
MGM 100	MAN E0836 LE302	99	120
MGM 105	MAN E0836 LE302	105	124
MGM 125	MAN E2876 TE302	123	166
MGM 160	MAN E2876 LE302	160	182
MGM 180	MAN E2876 LE302	180	203
MGM 200	MAN E2676 LE302	200	208

Firma Dagger CZ a.s. nabízí bioplynové kogenerační jednotky s motory MAN. Přehled výkonové řady malých jednotek v Tab. 6.

Tab. 6 Malé bioplynové kogenerační jednotky firmy Dagger CZ a.s. [29]



typ KJ DAGGER	plynové motory		tepl. chlaz.	el.výkon	topný výkon	spotřeba plynu	
	typ	palivo	směsi [°C]	[kWe]	[kWt]	[Nm <sup>3</sup> /h]	
	motory MAN Nutzfahrzeuge					ZP	BP, SP
<b>CMG 70</b>	E0836 E302	ZP	-	<b>70</b>	<b>109</b>	21	-
<b>CMG 100</b>		BP, SP	50	<b>103</b>	<b>138</b>	-	46
<b>CMG 100</b>	E0836 LE302	ZP	50	<b>103</b>	<b>138</b>	28	-
<b>CMG 100</b>		ZP	80	<b>103</b>	<b>151</b>	29	-
<b>CMG 120</b>		BP, SP	-	<b>123</b>	<b>181</b>	-	58
<b>CMG 140</b>	E2876 TE302	ZP	-	<b>141</b>	<b>211</b>	40	-
<b>CMG 190</b>		BP, SP	50	<b>190</b>	<b>244</b>	-	83
<b>CMG 200</b>	E2876 LE302	ZP	50	<b>200</b>	<b>263</b>	54	-
<b>CMG 200</b>		ZP	80	<b>200</b>	<b>293</b>	56	-

Poznámky k údajům v tabulce:

BP – bioplyn, ZP – zemní plyn, SP – skládkový plyn

Firma Viessmann s.r.o. nabízí bioplynové kogenerační jednotky s motory MAN. Přehled výkonové řady malých jednotek v Tab. 7. Data specifikace výkonové řady Vitobloc 200 je uvedena v Příloha III.

Tab. 7 Malé bioplynové kogenerační jednotky firmy Viessmann s.r.o. [18]

Blockheizkraftwerk Vitobloc 200 Modul	Zylinder- anzahl	Leistungen <sup>1)</sup> [kW] elektrisch <sup>2)</sup> thermisch <sup>3)</sup> cos φ = 1,0    ± 7 %		Gaseinsatz [kW] DIN ISO 3046 ± 5 %	Verfahren
BM-36/66	R4	36	66	122	Lambda > 1 <sup>4)</sup>
BM-55/88	R6	55	88	165	Lambda > 1 <sup>4)</sup>
BM-190/238	R6	190	238 + 16	493	Mager-Turbo mit Gemischkühler <sup>5)</sup>

<sup>1)</sup> Leistungsangaben entsprechend DIN ISO 3046 Teil 1

(bei Luftdruck 1000 mbar, Lufttemperatur 25 °C, relativer Luftfeuchtigkeit 30 %, cos φ = 1)

<sup>2)</sup> Elektrische Leistung an den Generatorklemmen bei cos φ = 1

<sup>3)</sup> Thermische Nutzleistungen aus dem Kühlwasser, dem Schmieröl und aus dem Abgas bei Abkühlung auf 120 °C (Erdgas) beziehungsweise 150 °C (Biogas)

<sup>4)</sup> Motoren mit Magergemischverbrennung ohne Aufladung und Betrieb bei Luftverhältnissen Lambda > 1

<sup>5)</sup> Motoren mit Magergemischverbrennung, Gemischaufladung und externer Gemischkühlung

## 6. Plynové spalovací motory používané v kogeneračních jednotkách

Pro kogenerační jednotky na zemí plyn nebo bioplyn se spalovacími motory, jsou vzhledem k ekonomickému aspektu a technicky dlouhodobě ověřené a zvládnuté disciplíně nejčastěji používány pístové zážehové motory.

Motory malých bioplynových kogeneračních jednotek lze dále členit do dvou podkategorií podle elektrických výkonů jednotek. Na motory do 50 kW<sub>e</sub> označované jako mikro. A na jednotky s výkony od 51 do 200 kW. Důvodem tvoření podkategorie v již specifickém spektru výkonů je přehlednost, která je dána výraznými odlišnostmi ve velikosti, provedení a uspořádání jednotek s nejmenšími motory oproti jednotkám s výkony vyššími.

Konkurenční technologie pro bioplynové aplikace se spalovacími motory jsou bioplynové mikroturbíny a Stirlingův motor.

Bioplynové mikro turbíny ve srovnání s pístovými motory mají vysoké pořizovací náklady spojené s náklady na rekuperaci a řízení. Oproti kogeneracím s pístovými motory se při změně výkonu mikro turbíny projevuje výrazně nižší účinnost. Celková účinnost mikro turbín bývá také nižší. Palivový plyn pro mikro turbíny musí být stlačen minimálně na 7 bar a musí být sušen na teplotu o 10°C vyšší než je rosný bod a dále musí být zbaven siloxanů. Požadavky na čistotu paliva jsou u turbín řádově vyšší, nežli požadavky u pístových motorů.

Stirlingův motor je motor s vnějším spalováním, což je pro spalování bioplynu celkem vhodným řešením. V současnosti je zatížen příliš vysokými pořizovací náklady. Také jsou zde minimální zkušenosti s reálným komerčním provozem spojené s problematikou spolehlivosti a utěsněním pracovní látky mezi těsněním pístu a válcem motoru, která je dána přímou závislostí mezi výkonem a tlakem pracovního média, například hélia. [12]

O segment trhu mikro kogenerace nemají výrobci plynových a především bioplynových motorů přílišný zájem. Výrobci kogenerací se setkávají s tím, že výrobci motorů dodávají jen svým smluvním partnerům a ostatním je dodávat nemohou anebo jen za nereálné ceny. Výrobce nedokáže nastavit výhodné obchodní podmínky vzhledem k zanedbatelným počtům kusů v bioplynové verzi oproti počtům sériově vyráběným. Tento



aspekt souvisí s rozsahem dodávky, z pohledu příslušenství motoru a také z pohledu záruk. Dále motory dostupné na trhu nespĺňují potřebné parametry.

Plynová mikro kogenerační jednotka může být vybavena bioplynový zážehovým motorem, upraveným Ottovým zážehovým motorem nebo přestavěným Dieselovým vznětovým motorem.

Úprava zážehového motoru na bioplynový v nejjednodušší formě představuje pouze výměnu vstřikovacího anebo karburátorového systému směšovačem.

Mnohem častější je pro mikro kogenerace celková přestavba robustnějšího původně trakčního vznětového motoru na zážehový bioplynový. Je to sice nákladnější varianta, ale za to umožňuje vytvoření v podstatě nového motoru. Přestavba začíná odstrojením nepotřebného příslušenství a celkovou demontáží. Pokračuje změnou kompresního poměru a cirkulace směsi ve válci úpravou koruny pístu. Následuje úprava hlavy motoru zaslepením otvorů po původních žhavicích svíčkách, implantace zážehových zapalovacích svíček včetně prostupů pro zapalovací kabely a jejich snadnou výměnu bez demontáže ostatních dílů. Výměnou sacích a výfukových ventilů včetně změny geometrie a návarového materiálu a výměnou sacích a výfukových sedel se změnou geometrie a materiálu. Výměnu ventilových pružin, úpravou ventilové vůle a štelování zdvihátek pro prodloužení a zjednodušení servisních intervalů vlivem zaklepání ventilů. Musí též dojít ke vhodnému utěsnění spalovacího prostoru, chladicích a olejových kanálů, pokud jsou při úpravách hlavy perforovány. Následuje úprava setrvačníku pro instalaci spojky a vytvoření resetovacích značek zapalování s následným statickým vyvážením. Úprava mezikusu pro montáž spojky a generátoru, osazením mezikusu čidly otáček zapalování. Vytvořením značky na vačce a osazením čidlem polovičních otáček pro zapalování. Vytvořením kotvících patek na bloku motoru. Zvětšením objemu olejové vany včetně příprav pro tažení olejového hospodářství. Přípravou přírub pro vedení kapalin. Dále osazením bloku motoru čidlem klepání, teplotním čidlem na výstupu chladicí kapaliny, spínačem tlaku chladicí kapaliny, spínačem tlaku oleje a dalšími. Na závěr je vytvořena stupnice na řemenici pro nastavení předstihu stroboskopem. Přestavba končí celkovou montáží včetně kabelových svazků a odzkoušením.

Bioplynová kogenerační jednotka Micro T30 AP firmy Tedom a.s. je vybavena motorem s výše popsanou přestavbou. Po úpravě má označení Tedom V3800. Technická data motoru jsou uvedena v Tab. 8 a technická specifikace jednotky je viz Příloha IV.

Tab. 8 Motor Tedom V3800 pro KJ Mikro T30 Bio [19]

počet válců	4
uspořádání válců	v řadě
vrtání × zdvih	100x 120 mm
zdvihový objem	3769 cm <sup>3</sup>
kompresní poměr	13 : 1
otáčky	1500 min <sup>-1</sup>
spotřeba oleje normal/max	0,3/0,6 g/kWh
max. výkon motoru	33 kW

Pro malé bioplynové kogenerační jednotky vyšších výkonů než jsou mikro kogenerační, řádově od 51 do 200kW<sub>e</sub> jsou používány zásadně stacionární zážehové bioplynové motory vyráběné pro tento účel.

Firma Tedom a.s. používá pro bioplynové aplikace vlastní motory. V Tab. 4 jsou uvedeny parametry bioplynových kogeneračních jednotek T80, T100, T120, T160, T180 a T200. Základní technická data motorů jednotlivých typů jsou uvedeny v následujících tabulkách Tab. 9 až Tab. 14. Technické specifikace kogeneračních jednotek jsou přiloženy viz Příloha V. Detailní informace motorů jsou uvedeny v technických specifikacích viz Příloha VI.

Tab. 9 Motor Tedom TB 90 G5V NX 86 pro KJ Cento T80 Bio[20]

typ	TB 90 G5V NX 86	
výrobce	TEDOM	
počet válců	6	
uspořádání válců	v řadě	
vrtání × zdvih	130/150	mm
zdvihový objem	11946	cm <sup>3</sup>
kompresní poměr	12 : 1	
otáčky	1500	min <sup>-1</sup>
spotřeba oleje normál / max.	0,3 / 0,5	g/kWh
max. výkon motoru	88,2	kW

Tab. 10 Motor Tedom TB 110 G5V TX 86 pro KJ Cento T100 Bio[23]

typ	TB 110 G5V TX 86	
výrobce	TEDOM	
počet válců	6	
uspořádání válců	v řadě	
vrtání × zdvih	130/150	mm
zdvihový objem	11946	cm <sup>3</sup>
kompresní poměr	12 : 1	
otáčky	1500	min <sup>-1</sup>
spotřeba oleje normál / max.	0,3 / 0,5	g/kWh
max. výkon motoru	112,5	kW

Tab. 11 Motor Tedom TB 130 G5V TX 86 pro KJ Cento T120 Bio [21]

typ	TB 130 G5V TX 86	
výrobce	TEDOM	
počet válců	6	
uspořádání válců	v řadě	
vrtání × zdvih	130/150	mm
zdvihový objem	11946	cm <sup>3</sup>
kompresní poměr	12 : 1	
otáčky	1500	min <sup>-1</sup>
spotřeba oleje normál / max.	0,3 / 0,5	g/kWh
max. výkon motoru		

Tab. 12 Motor Tedom TB 170 G5V TW 86 pro KJ Cento T160 Bio [22]

typ	TB 170 G5V TW 86	
výrobce	TEDOM	
počet válců	6	
uspořádání válců	v řadě	
vrtání × zdvih	130/150	mm
zdvihový objem	11946	cm <sup>3</sup>
kompresní poměr	12 : 1	
otáčky	1500	min <sup>-1</sup>
spotřeba oleje normál / max.	0,3 / 0,5	g/kWh
max. výkon motoru	175,9	kW

Tab. 13 Motor Tedom TB 190 G5V TW 86 pro KJ Cento T180 Bio [25]

typ	TB 190 G5V TW 86	
výrobce	TEDOM	
počet válců	6	
uspořádání válců	v řadě	
vrtání × zdvih	130/150	mm
zdvihový objem	11946	cm <sup>3</sup>
kompresní poměr	12 : 1	
otáčky	1500	min <sup>-1</sup>
spotřeba oleje normál / max.	0,3 / 0,5	g/kWh
max. výkon motoru	191,3	kW

Tab. 14 Motor Tedom Motor Tedom TB 210 G5V TW 86 pro KJ Cento T200 [24]

typ	TB 210 G5V TW 86	
výrobce	TEDOM	
počet válců	6	
uspořádání válců	v řadě	
vrtání × zdvih	130/150	mm
zdvihový objem	11946	cm <sup>3</sup>
kompresní poměr	12 : 1	
otáčky	1500	min <sup>-1</sup>
spotřeba oleje normál / max.	0,3 / 0,5	g/kWh
max. výkon motoru	213	kW

Ostatní tuzemští výrobci bioplynových kogeneračních jednotek používají nejčastěji motory od firmy MAN Truck & Bus AG viz Tab. 5, Tab. 6 a Tab. 7 v různých výkonových řadách. Základní technická data motorů jednotlivých typů jsou uvedena v následujících tabulkách Tab. 15 až Tab. 17. Technické specifikace kogeneračních jednotek s těmito motory jsou přiloženy viz Příloha III. Detailní informace motorů jsou uvedeny v technických specifikacích viz Příloha VI.

Tab. 15 Motor MAN E0834 [13]

Mode of operation		COP with natural gas						COP with special gas	
at engine speed	rpm (Hz)	1 500 (50)			1 800 (60)			1 500 (50)	1 800 (60)
Engine version		E 312	E 302	LE 202	E 312	E 302	LE 202	LE 202	LE 202
Bore	mm	108	108	108	108	108	108	108	108
Stroke	mm	125	125	125	125	125	125	125	125
Displacement	l	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
ISO standard power <sup>4)</sup>	kW	56	75	110	64	85	110	110	110
Air-fuel ratio	λ	1.5	1.0	1.6	1.5	1.0	1.6	1.4	1.4
Coolant heat <sup>1)</sup>	kW	41	63	68	58	70	74	68	77
Exhaust heat based on 120 °C <sup>1)</sup>	kW	37	46	64	48	55	69	59	67
Efficiency <sup>1)</sup>									
– mechanical <sup>4)</sup>	%	34.4	36.7	39.0	33.3	36.4	37.0	40.5	38.6
– thermal	%	47.9	53.3	49.1	55.2	53.6	50.7	49.6	53.7
– total	%	82.2	90.1	88.1	88.5	90.0	87.7	90.1	92.3
Emissions status NO <sub>x</sub> <sup>2)</sup> mg/Nm <sup>3</sup>		< 500	< 7 000	< 500	< 500	< 7 000	< 500	< 500	< 500
Combustion <sup>3)</sup>		m	st	m	m	st	m	m	m

1) at 100 % load 2) with 5 % exhaust-gas oxygen 3) m = lean, st = stoichiometric  
4) in accordance with German Industrial Standard DIN ISO 3046, Part 1

Technical data is based on a calorific fuel value of 10 kWh/Nm<sup>3</sup> for natural gas and 6 kWh/Nm<sup>3</sup> for special gas.  
The values are provided for information purposes only and are non-binding.

Tab. 16 Motor MAN E0836 [13]

Mode of operation		COP with natural gas						COP with special gas		
at engine speed	rpm (Hz)	1 500 (50)			1 800 (60)			1 500 (50)	1 800 (60)	
Engine version		E 312	LE 212	LE 302	E 312 <sup>4)</sup>	LE 302	TE 302	LE 202	TE 302	LE 302
Bore	mm	128	128	128	128	128	128	128	128	128
Stroke	mm	166	166	166	166	166	166	166	166	166
Displacement	l	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
ISO standard power <sup>5)</sup>	kW	150	220	210	170	210	130	220	130	200
Air-fuel ratio	λ	1.0	1.6	1.6	1.0	1.6	1.4	1.4	1.4	1.4
Coolant heat <sup>1)</sup>	kW	128	110	99	145	106	124	103	132	106
Exhaust heat based on 120 °C <sup>1)</sup>	kW	79	118	143	98	157	57	127	60	137
Efficiency <sup>1)</sup>										
– mechanical <sup>5)</sup>	%	38.4	41.0	39.0	38.0	37.0	38.0	40.4	36.6	38.5
– thermal	%	52.8	46.0	48.9	54.1	50.7	52.8	44.7	54.0	50.8
– total	%	91.2	87.0	87.9	92.1	87.7	90.8	85.1	90.6	89.3
Emissions status NO <sub>x</sub> <sup>2)</sup> mg/Nm <sup>3</sup>		< 4 500	< 500	< 500	< 4 250	< 500	< 500	< 500	< 500	< 500
Combustion <sup>3)</sup>		st	m	m	st	m	m	m	m	m

1) at 100 % load 2) with 5 % exhaust-gas oxygen 3) m = lean, st = stoichiometric 4) Data conditional and on request  
5) in accordance with German Industrial Standard DIN ISO 3046, Part 1

Technical data is based on a calorific fuel value of 10 kWh/Nm<sup>3</sup> for natural gas and 6 kWh/Nm<sup>3</sup> for special gas.  
The values are provided for information purposes only and are non-binding.

Tab. 17 Motor MAN E2876 [13]

Mode of operation		COP with natural gas					COP with special gas	
at engine speed	rpm (Hz)	1 500 (50)			1 800 (60)		1 500 (50)	1 800 (60)
Engine version		E 312	E 302	LE 302	E 312	E 302	LE 302 <sup>4)</sup>	LE 302 <sup>4)</sup>
Bore	mm	108	108	108	108	108	108	108
Stroke	mm	125	125	125	125	125	125	125
Displacement	l	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6	4.6
ISO standard power <sup>5)</sup>	kW	37	54	68	45	62	68	68
Air-fuel ratio	λ	1.5	1.0	1.6	1.5	1.0	1.6	1.45
Coolant heat <sup>1)</sup>	kW	29	46	54	31	51	54	55
Exhaust heat based on 120 °C <sup>1)</sup>	kW	26	33	33	35	40	37	38
Efficiency <sup>1)</sup>								
– mechanical <sup>5)</sup>	%	33.0	36.5	38.4	31.9	36.5	37.6	38.3
– thermal	%	49.1	53.5	53.1	46.8	53.7	51.9	52.0
– total	%	82.1	90.0	91.5	78.7	90.2	89.5	90.2
Emissions status NO <sub>x</sub> <sup>2)</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	< 500	< 6 500	< 500	< 500	< 7 000	< 500	< 500
Combustion <sup>3)</sup>		m	st	m	m	st	m	m

1) at 100 % load 2) with 5 % exhaust-gas oxygen 3) m = lean, st = stoichiometric 4) Data conditional and on request

5) in accordance with German Industrial Standard DIN ISO 3046, Part 1

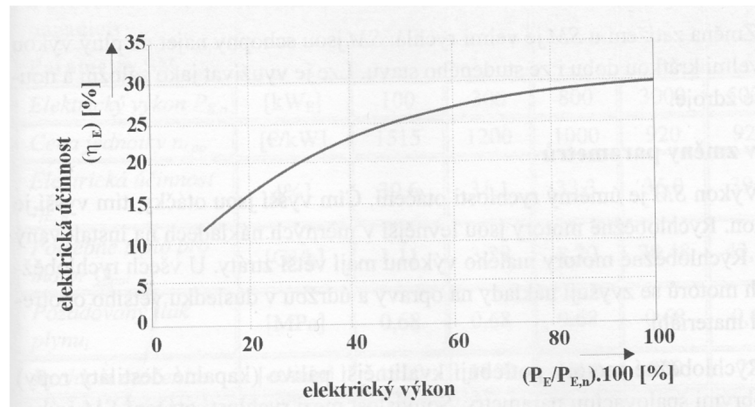
Technical data is based on a calorific fuel value of 10 kWh/Nm<sup>3</sup> for natural gas and 6 kWh/Nm<sup>3</sup> for special gas. The values are provided for information purposes only and are non-binding.

V zážehovém motoru je stechiometrická nebo chudá směs vzduchu a paliva zapalována přímo ve válci pomocí elektrické jiskry.

Kogenerační technologie používají čtyřtákní motory, které vykazují lepší emise spalin, než motory dvoutákní. Pro nižší výkony se nejčastěji používají řadové čtyř válcové motory s pořadím pálení jednotlivých válců 1-3-4-2. Pro vyšší výkony nejčastěji šesti válcové je pořadí pálení 1-5-3-6-2-4. Válce jsou číslovány při pohledu na řemenici motoru. Víceválcové motory a jejich uspořádání mají příznivý vliv na zrovnoměnění průběhu krouticího momentu na hřídeli.

Jmenovité otáčky jsou vzhledem k přímému spojení motoru a generátoru vztaženy k počtu párů pólů elektrického generátoru. Bývají buď 1500 ot/min. nebo 3000 ot/min. Obecně platí, že čím vyšší otáčky tím větší opotřebením a zvyšování nákladů na opravy a údržbu. Motory s vyššími otáčkami bývají sice obecně levnější, ale vykazují menší těsnosti a s tím spojenou nižší účinností.[12]

Provozní charakteristika zážehového motoru je zobrazena na Obr. 17.



Obr. 17 Vliv změny zatížení zážehového motoru na účinnost generátoru [12]

Plynná paliva jsou pro spalování v motorech výhodnější než paliva kapalná. Nesmývají olejový film se stěn válců. Jsou lépe mísitelná se vzduchem, ze dvou látek vzniká jedno skupenství. Sloučení má příznivý vliv na emise výfukových plynů. [14]

Bioplynové motory vyžadují ložiska odpovídající agresivnějšímu prostředí oproti motorům na zemní plyn. Toto prostředí bývá způsobené profukem spalin a prostřednictvím stíraného oleje se stěn válců do prostoru klikového hřídele a olejové vany. Výrobci motorů často ložiska sjednocují pro různá paliva. Dalším důležitým opatřením pro minimalizaci důsledků sirné agresivity bioplynových paliv oproti běžným palivům, je takzvané odvětrání skříně motoru. Realizace probíhá tak, že se vyvede potrubí z olejové vany nad hladinou oleje do sání motoru. Podtlak způsobený sáním odsává výpary a zabraňuje tak rychlé degradaci motorového oleje. Odsávání může být navíc vybaveno separátorem kondenzátu, aby se do motoru vracel relativně čistý vzduch.

Provoz motorů pro bioplynová ale i běžná paliva bývá seřízen na jeden ze dvou základních režimů. Motory se spalováním při malém přebytku vzduchu 1,2 až 1,35 se nazývají stechiometrické. A motory v oblasti chudé směsi jsou s přebytkem vzduchu 1,6 až 2,0 a nazývají se chudými a mývají nižší emise  $\text{NO}_2$ . [8]

Motory na bioplynová paliva mají vyšší kompresní poměr oproti motorům na zemní plyn. Důvodem je snížení rizika detonací z důvodu předčasného samovznícení směsi.

Duální motory pracují současně s plynným i kapalným palivem. Plynné palivo je v tomto případě hlavním palivem až do výše 85 % a sekundárním palivem bývá nafta

zastoupena do výše 15 %. Nafta slouží k zapálení směsi. Tepelné okruh motoru vycházejí z Dieselova okruhu. V bioplynové praxi se tato varianta nepoužívá.

Rozdílný kompresní poměr je hlavní odlišností bioplynových motorů oproti motorům na zemní plyn. V ostatních pohledech jsou z konstrukčního hlediska v podstatě stejné.



## **7. Technické parametry, provozní manuály a předpisy pro údržbu motorů**

Vzhledem k tomu, že kogenerační jednotka je tvořena motor–generátorovým soustrojím s navazujícími okruhy pro přívod paliva do motoru, chlazení motoru, odvodu spalin z motoru, lze provozní předpisy a předpisy údržby motorů vzájemně propojit s předpisy pro kogenerační jednotky. Dále uváděná data jsou vztahena k zařízením firmy Tedom a.s.

### **7.1. Provozní podmínky**

Provozní podmínky jsou předepsány specifikací zařízení a technickou normou ISO 3046.

Jedná se o prostředí, ve kterém jednotka pracuje. Sledovanými parametry vzduchu jsou teplota do 25 °C, tlak 100 kPa a relativní vlhkost do 30 %. Při jejich nedodržení je třeba provést přehodnocení parametrů zařízení, především elektrického výkonu. Vhodné je také kontaktovat výrobce zařízení protože například velikost tlaku vzduchu je výrazně ovlivněna nadmořskou výškou.

### **7.2. Elektrický výkon**

Elektrický výkon je nekorigovaná hodnota činného výkonu měřená na svorkách generátoru. Při účinníku  $\cos \varphi = 1$  u SP provedení, napětí sítě 400 V a frekvenci 50 Hz.

### **7.3. Tepelný výkon**

Tepelný výkon je součtem všech výkonů kapalinových okruhů vyvedených na přírubách zařízení při jmenovitém elektrickém výkonu a pro jmenovité teploty vody sekundárního okruhu 70 / 90 °C.

### **7.4. Emise škodlivých látek**

Emise škodlivých látek ve výfukových plynech jsou stanoveny v technické specifikaci kogenerační jednotky a jejich měření se provádí při podmínkách touto specifikací. Pro ustálený provozní stav bez prudkých změn výkonu.

Na Obr. 18 jsou uvedeny emisní výfukových plynů pro spalovací motory do 31. 12. 2017

Tabulka 2.2 - Specifické emisní limity platné do 31. prosince 2017

Druh pístového spalovacího motoru	Druh paliva	Specifické emisní limity [mg.m <sup>-3</sup> ]								
		> 0,3 - 1 MW			> 1 - 5 MW			> 5 MW		
		NO <sub>x</sub>	TZL	CO	NO <sub>x</sub>	TZL	CO	NO <sub>x</sub>	TZL	CO
Plynový motor	Kapalné palivo	500	-	650	500	130	650	500	130	650
	Zemní plyn a degazační plyn	500	-	650	500	-	650	500	-	650
	Plynné palivo obecně	1000	-	1300	500	130	1300	500	130	650
Dieselový motor	Kapalné palivo	4000	-	650	500	130	650	500	130	650
					600 <sup>2)</sup>			600 <sup>2)</sup>		
					4000 <sup>2)</sup>			2000 <sup>2)</sup>		
	Zemní plyn a degazační plyn <sup>1)</sup>	4000	-	650	500	-	650	500	-	650
Plynné palivo obecně	4000	-	1300	500	130	1300	500	130	650	
					4000 <sup>2)</sup>			2000 <sup>2)</sup>		

Vysvětlivky:  
 1) Se vstřikovacím zapalováním.  
 2) Platí pro těžký topný olej.  
 3) Platí pouze pro pístové spalovací motory, jejichž stavba či přestavba byla zahájena před 17. květnem 2006.

Obr. 18 Emisní limity do 31.12.2017 [31]

Na Obr. 19 jsou uvedeny emisní výfukových plynů pro spalovací motory od 1. 1. 2018

2. Specifické emisní limity pro pístové spalovací motory

Tabulka 2.1 - Specifické emisní limity platné od 1. ledna 2018

Druh paliva	Specifické emisní limity [mg.m <sup>-3</sup> ]								
	> 0,3-1 MW			> 1-5 MW			> 5-50 MW		
	NO <sub>x</sub>	TZL	CO	NO <sub>x</sub>	TZL	CO	NO <sub>x</sub>	TZL	CO
Kapalné palivo	400	-	450	400	50	450	400	20	450
Plynné palivo a zkapalněný plyn	500	-	650	500	-	650	500	-	650

Obr. 19 Emisní limity od 1.1.2018 [31]

Nová směrnice bude platit pro všechny provozované motory. Motory, které nedosáhnou limitu budou muset být doplněny o katalyzátory.

## 7.5. Topný systém

Vodní okruhy jsou tvořeny sekundárním okruhem a případně technologickým oběhem, jestliže je užito chlazení plnicí směsí.

Požadované chemicko-fyzikální vlastnosti vody topných okruhů jsou specifikovány v Tab. 18.

Voda pro první naplnění i voda doplňovací musí být v chemicky rovnovážném stavu, čirá a bezbarvá, bez suspendovaných látek, oleje a chemicky agresivních látek. Dále uvedené požadavky na kvalitu topné vody jsou stanoveny s ohledem na specifické režimy provozu některých částí zařízení. Nutností je pečlivě a průběžně dávkování ochranných chemikálií a především kontrola přídavné a oběhové vody. [11]

Tab. 18 Požadované vlastnosti vody topných okruhů [10]

ukazatel	měrná jednotka	množství
hodnota pH při 25°C	-	minimálně 8,5 při přítomnosti mědi a její sloučenin max. 10
konduktivita při 25°C	μS/cm	≤2000
alkalita zjevná (p- hodnota)	mmol/l	0,5 ÷ 1,5
přebytek siřičitanu sodného	mg/l	10 ÷ 25
chlor a jeho sloučeniny	mg/l	≤40
rozpuštěný P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/l	5 ÷ 15
tvrdost	mmol/l	≤0,02
	mval/l	≤0,04
	dH(°N)	≤0,11

Ve vodním okruhu nesmí být používán hliník a jeho sloučeniny, cín a zinek. Pro převod hodnot tvrdosti je použit vztah: 1 mmol/l = 2 mval/l = 5,6 °N. Veškeré změny musí být odsouhlaseny dodavatelem i odběratelem zařízení. [11]

### 7.5.1. Sekundární okruh

Sekundární okruh kogenerační jednotky standardně pracuje s teplotním spádem kapaliny 70 / 90 °C. Rychlost změny teploty kapaliny vracející se ze zákaznického okruhu nesmí být vyšší než 1 K/ 60 s.

Topné okruhy jsou navrženy na pracovní přetlak 600 kPa, přičemž by tlak neměl za provozu klesnout pod hladinu 100 kPa.

Jmenovitý průtok topným okruhem je uveden ve specifikaci zařízení, změna průtoku by se měla pohybovat od – 20 % až po +50 %.

### 7.5.2. Technologický okruh

Technologický okruh vzhledem k nutně nízkým teplotám vratné vody bývá zapojen samostatně a řízen trojcestným ventilem. Maximální tlak okruhu je stanoven na 300kPa.

## 7.6. Plynná paliva

Plynným palivem pro pístový motor může být zemní plyn, bioplyn nebo paliva na bázi vyšších uhlovodíků (propan, butan...).

Vlastnosti zemního plynu jsou uvedeny v Tab. 18.

Tab. 19 Zemní plyn –vlastnosti [10]

min. obsah metanu (obj.)	%	95
min. metanové číslo	-	80

Předmětem této práce je bioplyn vzniklý pouze anaerobní fermentací. Aby mohl být bioplyn použit, jako palivo v motoru kogenerační jednotky musí splňovat požadavky, které jsou uvedeny v Tab. 20.

Tab. 20 Bioplyn vlastnosti pro Kogenerační jednotky řady Micro T7 až T30 [10]

parametr	měrná jednotka	
nejméně přípustný obsah metanu (obj.)	%	> 50
dovolený podíl CO <sub>2</sub> (obj.)	%	nestanoví-li hranici technická specifikace daného zařízení, viz <sup>1)</sup>
výhřevnost (LHV)	MJ/Nm <sup>3</sup> kWh/Nm <sup>3</sup>	> 18 > 5
chlor <sup>2)</sup>	mg/MJ mg/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	< 2,8 < 100
fluor <sup>2)</sup>	mg/MJ mg/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	< 1,38 < 50
chlor a fluor <sup>2)</sup>	mg/MJ mg/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	< 2,8 < 100
síra celkem <sup>2)</sup>	mg/MJ mg/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	< 20 < 720
sirovodík H <sub>2</sub> S	obj.% Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	<0,047
křemík <sup>2)</sup>	mg/MJ mg/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	< 0,27 < 10
čpavek	mg/MJ mg/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	< 0,83 < 30

Tab. 21 Bioplyn vlastnosti pro Kogenerační jednotky řady Cento T80 až T200 [10]

parametr	měrná jednotka	
nejméně přípustný obsah metanu (obj.)	%	> 40
dovolený podíl CO <sub>2</sub> (obj.)	%	nestanoví-li hranici technická specifikace daného zařízení, viz <sup>2)</sup>
výhřevnost (LHV)	MJ/Nm <sup>3</sup> kWh/Nm <sup>3</sup>	> 18 > 5
chlor <sup>2)</sup>	mg/MJ mg/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	< 2,8 < 100
fluor <sup>2)</sup>	mg/MJ mg/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	< 1,38 < 50
chlor a fluor <sup>2)</sup>	mg/MJ mg/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	< 2,8 < 100
síra celkem <sup>2)</sup>	mg/MJ mg/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	< 60 < 2200
sirovodík H <sub>2</sub> S	obj.% Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	<0,15
křemík <sup>2)</sup>	mg/MJ mg/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	< 0,27 < 10
čpavek	mg/MJ mg/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	< 0,83 < 30

Spotřeba plynu je stanovena pro:

- Zemní plyn s minimálním obsahem metanu 98 % a výhřevností 34 MJ/m<sup>3</sup> (při fakturačních podmínkách).
- Bioplyn s obsahem metanu 65 % a výhřevností 23,4 MJ/Nm<sup>3</sup> (při normálních podmínkách).

Spotřeba zemního plynu je stanovena pro fakturační podmínky, tj.:

- teplota plynu 15 °C
- absolutní tlak plynu 101,325 kPa

Spotřeba bioplynu je stanovena pro normální podmínky, tj.:

- teplota plynu 0 °C
- absolutní tlak plynu 101,325 kPa

Tolerance spotřeby plynu je +5 % pro 100 % jmenovitého elektrického výkonu\*, +8 % pro 75 a 50 % jmenovitého elektrického výkonu. Je-li zařízení určeno k provozu na jiná paliva než zemní plyn, jsou podmínky spotřeby paliva stanoveny s ohledem na vlastnosti paliva v příslušné technické specifikaci. \* podle ISO 3046 -1. [11]

Není-li technickou specifikací stanoveno jinak, platí pro plynná paliva

Tab. 22 Požadavky na plynná paliva [10]

přetlak plynu <sup>1)</sup>		viz TS
max. změna obsahu metanu <sup>4)</sup>	%	± 2
max. rychlost změny výhřevnosti	%min <sup>-1</sup>	0,2
změna met. čísla	% min	≤ 5
teplota plynu	°C	10 - 35
pevné částice(max. rozměr)	mg/MJ	< 0,279 (<3÷10µm)
	mg/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	< 10(< 3÷10µm)
olej	mg/MJ	< 6,94 <sup>2)</sup>
	mg/Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	< 250 <sup>2)</sup>
relativní vlhkost	%	≤80

1) Hodnota přetlaku plynu je optimalizována dle velikosti zařízení a druhu plynu, musí být pro konkrétní instalaci upřesněna před objednáním zařízení u společnosti TEDOM

2) Koncentrace olejových sloučenin C<sub>5</sub>÷C<sub>10</sub> dle uvedené hodnoty. Pro C<sub>1</sub>÷C<sub>5</sub> koncentrace olej. par < 83 mg/MJ (3000 mg / Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>)

3) Nesmí být v kapalně formě

4) Toto omezení neplatí, pokud je KJ vybavena měřením koncentrace metanu

Plynová trasa musí být vybavena vhodným filtrem na čištění plynu.

Regulační plynová řada zajišťuje nekolísání tlaku plynu. Změny tlaku plynu výrazně ovlivňují emise, výkon zařízení a jeho chod. Dovolené odchylky tlaku jsou v Tab. 23.

Tab. 23 Stabilita přetlaku plynu [10]

max. změna přetlaku plynu při pozvolné změně výkonu z 0 na 100% *	10%
max. změna přetlaku plynu (kolísání) při ustáleném stavu *	2,5%
rychlost změny přetlaku plynu *	1% sec <sup>-1</sup>

\* údaj v % je vztážen k hodnotě přetlaku plynu, na který bylo zařízení seřizeno

## 7.7. Mazací oleje

Technická specifikace daného zařízení předepisuje doporučené a schválené mazací oleje. Pro bioplynové aplikace je nutné používat vhodné mazací oleje, které jsou předpokladem správné funkce zařízení a dlouhé životnosti.

Schválené oleje jsou vhodné pro daný typ spalovacího motoru z pohledu jeho aplikaci v zařízeních firmou Tedom a.s. (DELVAC XHP Extra)

Doporučené oleje jsou schválené oleje, jejichž vlastnosti a kvality jsou ověřeny dlouhodobými provozními zkušenostmi a jsou doporučovány k provozu firmou Tedom a.s.

(Mobil Mobilgard 450).

## 7.8. Plán údržby

Pro zajištění spolehlivého a bezpečného provozu kogenerační jednotky je nutno provádět pravidelnou údržbu a opravy v následujícím členění:

Vykonávané provozovatelem (obsluhou kogenerační jednotky)

Vykonávané servisní organizací s autorizací činností (dále jen servisní organizace)

Činnosti se do několika základních skupin viz Obr. 31.

Tab. 24 Základní údržbové práce [31]

Základní údržbové práce	Interval						
	v případě potřeby	deně	tydne	měsíčně	po 4 měsících	půlročně	ročně
odběr vzorků a zajištění analýzy mazacího oleje - dle samostatné instrukce	X						
čištění motoru a prostorů v KJ	X						
KJ spalující bioplyn - zajišťování rozboru složení bioplynu dle dokumentu – „technická instrukce – plynná paliva“(dokument je součástí garančních podmínek – viz průvodní dokumentace KJ)					X		
přezkoušení funkce snímačů úniku plynu (pokud jsou umístěny mimo kontejner nebo protihlukový kryt KJ)				X			
zkušební provoz v případě že nebyl motor měsíc provozován				X			
kontrola stavu startovacích akumulátorů (dobití) v případě, že KJ nebyla 30 dní zapnuta (pokud jsou použity)				X			

Tab. 25 Základní údržbové práce [31]

Základní údržbové práce	Interval						
	v případě potřeby	deně	tydne	měsíčně	po 4 měsících	půlročně	ročně
kontrola tlaku plynu na vstupu do kogenerační jednotky,		X					
vizuální kontrola kogenerační jednotky a kontrola jejího provozu.		X					
evidence provozních dat do provozní knihy, kontrola chodu motoru a generátoru		X					
kontrola čistoty chladících jednotek (pokud jsou)			X				
analýzátor složení plynu (pokud je použit) - kontrola činnosti		X					
rozbor složení náplně sekundárního okruhu							X
KJ určené pro „provoz E“ – provedení provozní zkoušky provozu E (provádět za účasti provozovatele).						X	
vedení evidence doplňkové údržby M 6, M 12, M 24 při, naplnění lhůty zajistit provedení servisní organizací						X	X
výměna oleje	dle výsledku analýzy olejového vzorku						

Dle druhu zařízení jsou detailně plánovány další druhy údržby:

- Údržba 1 (TO 1)
- Údržba 2 (TO 2)
- Údržba 3 (TO 3)
- Výměna hlav válců (HV)
- Střední oprava (SO)
- Generální oprava (GO)
- Doplnková údržba po 6 měsících (M 6)
- Doplnková údržba po 12 měsících (M 12)
- Doplnková údržba po 24 měsících (M 24)

Výměna oleje pro motory spalující zemní plyn jsou plánovány přibližně po 500 motohodinách, pro bioplyn po 150 motohodinách, dle vzorkování oleje.

## **8. Technicko-ekonomické hodnocení provozu kogenerační jednotky**

Vezměme v úvahu příkladovou studii investičního záměru velkostatkáře, podnikajícího v oblastech chovu drůbeže, prasat a ustájení koní. Primární potřebou je nezávislost a zajištění dodávky elektrické energie při výpadku rozvodné sítě pro zajištění chodu důležitých chovných technologií, jako jsou ventilace a osvětlení. Sekundární potřebou je ekonomické využití velkoobjemových odpadních produktů z chovů. Především hnoje, mrvy a kejdy v místě jejich vzniku, Ušetří se stávající náklady na transport a skladování. Renovace vybavení stávající kotelny s kotli na zemní plyn a finanční úspora za tepelnou energii. Investor uvažuje o pořízení bioplynové stanice a kogenerační technologie na vlastních pozemcích. Bere v úvahu možnost získání dotace z evropských strukturálních fondů na výstavbu zemědělské bioplynové stanice až do výše 30% pořizovací ceny. Dále by rád využil možností garantované výkupní ceny elektrické energie z obnovitelných zdrojů, buď formou dotací a nižší výkupní ceny nebo bez dotace ale s vyšší výkupní cenou v případě přebytku elektrické energie. Dotační pobídky budou v projektu kalkulovány pouze pro urychlení návratnosti investice. V přípravné fázi osloví projekční firmy, výrobce bioplynových a kogeneračních technologií. Pro získání návrhů kapacit, výkonů, přehledu potřebné dokumentace, dotačních možností, právních vztahů, výše investice a její ziskovosti, proveditelnosti a časového harmonogramu. V následné fázi oslovená firma bioplynové technologie nabídne posouzení uvažované vsádky ve zkušebním reaktoru, pro získání přesných informací o vyráběném bioplynu. Výrobce kogenerační technologie na



základě potřeb provozu, podkladů o bioplynu, možnostech využití elektrické energie, tepla a zástavby vypracuje dva návrhy možných řešení. S kogenerační pracující na bázi motor-generátorového soustrojí s bio plynovým motorem. První návrh obsahuje jednu kogenerační jednotkou s vyšším výkonem. Druhý návrh počítá se dvěma jednotkami s polovičním výkonem. Obě varianty počítají s možností provozu paralelně s elektrickou distribuční sítí anebo jako záložní zdroj (SP+E). Druhá varianta je sice investičně nákladnější ale nabízí širší spektrum provozních výkonů dle produkce bioplynu. Při nižších výkonech s vyšší účinností výroby elektrické energie. Možnost provozu při odstávce druhé z jednotek. Dále nabízí zařízení na odsíření a odvlhčení bioplynu (TGS). Toto zařízení přispívá ke zvýšení účinnosti paliva a prodloužení servisních intervalů a snížení nákladů a olej a další materiál. Firma také nabízí navazující trigenerační technologii, která z tepla kogenerační jednotky vyrábí chlad pro použití v klimatizaci.

Investor vypracuje rozvalu možných technologických variant. Na jedné straně souhrn investičních nákladů na vybudování bioplynové a trikogenerační technologie, s náklady na projekt a smluvní zajištění, posouzení vlivu na životní prostředí (EIA), soulad s územním plánem, územním řízením, stavebním řízením, žádostí o dotaci, podporu obce, obyvatel, dostupnost distribuční sítě a rezervaci kapacit, náklady na úvěr. Dále zahrne náklady na servis a provoz. Obsahující mzdu obsluhy, smluvní servisy a potřebný materiál. Náklady na přípravu vsázky fermentoru. Náklady na pravidelné rozbory bioplynu a motorového oleje. Na druhé straně souhrn zisků a přínosů. Za úspory elektrické a tepelné energie, nezávislost na dodavatelích, zisk z prodeje fugátu, zisk z vykoupené elektrické energie a případně dotací, přínos rozšíření portfolia a přínosy z obnovy stávajících technologií.

Investor zváží nabídky firem jako je například ČEZ Energo s.r.o., které nabízejí různá řešení pro pronájem prostor kotlen, spolufinancování investičních záměrů, zajištění provozu a servisu. Jedna z možných variant na Obr. 20.



Obr. 20 Výhody spolupráce [15]

Na základě získaných informací se investor rozhodl pro optimální variantu se zemědělskou bioplynovou stanicí částečně zapuštěnou do terénu, dvěma kogeneračními jednotkami, zařízením na úpravu bioplynu a trigenerační technologií. Pro efektivnější návratnost investice se investor rozhodl pro financování z vlastních zdrojů a realizaci ve spolupráci s firmou ČEZ Energo s.r.o. [16]

## 9. Závěr

Bakalářská práce se zabývá problematikou motorů kogeneračních jednotek bioplynových stanic. V úvodu jsou popsány vlastnosti a složení bioplynu a rozebrány různé typy bioplynových stanic. Výroba bioplynu je popsána s ohledem na svá specifika a jsou uvedeny výhody a nevýhody konkrétního způsobu výroby. Hlavní náplní práce byl popis technických a technologických parametrů kogeneračních jednotek, popis plynových spalovacích motorů a jejich specifika vzhledem k motorům na běžná paliva. Dále jsou zmíněni hlavní výrobci kogenerační technologie a představen jejich sortiment v této oblasti. V práci je též uvedeno technicko ekonomické hodnocení, které formou případové studie pokládá otázky, jimiž je vhodné se zabývat ve fázi záměru realizace bioplynové stanice s kogenerační jednotkou.

Na závěr lze konstatovat, že celospolečenské přínosy výroby bioplynu rozkladem organických hmot v kombinaci s kogeneračními jednotkami na principu pístových motorů, jsou nezpochybnitelné. Jedná se o vyspělé technologie s širokou možností uplatnění a dlouhodobě ověřitelným výsledkem. Vzhledem ke společenským tlakům na trvale udržitelný rozvoj a šetrný přístup k životnímu prostředí, je tyto technologie nutné podporovat především ze strany legislativy. Do diskuze je třeba smysluplně zapojit odborníky, kteří budou o této problematice uvažovat v širších měřítkách, a jejich názor nebude ovlivňován lobbistickými skupinami. Klíčovým požadavkem je vytvářet přirozeně příznivé prostředí pro výrobce i odběratele energie, zamezit zneužívání a zaměřit se na edukaci společnosti o přínosech vybraného řešení pro danou lokalitu.

## Seznam obrázků

Obr. 1 Hospodaření bez použití obnovitelných zdrojů [1] .....	3
Obr. 2 Hospodaření při použití obnovitelných zdrojů [1] .....	4
Obr. 3 Mapa bioplynových stanic 200kW <sub>e</sub> [3] .....	5
Obr. 4 Proces výroby bioplynu [6] .....	5
Obr. 5 Zemědělská bioplynová stanice [2] .....	6
Obr. 6 Odpadová bioplynová stanice [30] .....	8
Obr. 7 Proces zpracování bioodpadu [4] .....	9
Obr. 8 Návoz biomasy [4] .....	9
Obr. 9 Bioplyn složení [6] .....	10
Obr. 10 Použití bioplynu [6] .....	10
Obr. 11 Objem bioplynu [6] .....	11
Obr. 12 Schéma vzniku bioplynu z biologicky rozložitelných odpadů [5] .....	13
Obr. 13 Denní spotřeba elektřiny [27] .....	16
Obr. 14 Úspora energie pomocí kogenerace [26] .....	16
Obr. 15 Kogenerační jednotka Micro T30 Bio [10] .....	21
Obr. 16 Schéma micro kogenerační jednotky [11] .....	22
Obr. 17 Vliv změny zatížení zážehového motoru na účinnost generátoru [12] .....	32
Obr. 18 Emisní limity do 31.12.2017 [31] .....	35
Obr. 19 Emisní limity od 1.1.2018 [31] .....	35
Obr. 20 Výhody spolupráce [15] .....	42

## Seznam tabulek

Tab. 1	Produkce bioplynu (BP) z organické sušiny (OS) vybraných substrátů [6].....	12
Tab. 2	Srovnání základních vlastností různých bioplynů[7] .....	12
Tab. 3	Příklady výhřevností a spalných tepel [5] .....	14
Tab. 4	Malé bioplynové kogenerační jednotky firmy Tedom a.s. [17].....	23
Tab. 5	Malé bioplynové kogenerační jednotky firmy Motorgas s.r.o.[28] .....	23
Tab. 6	Malé bioplynové kogenerační jednotky firmy Dagger CZ a.s. [29] .....	24
Tab. 7	Malé bioplynové kogenerační jednotky firmy Viessmann s.r.o. [18].....	24
Tab. 8	Motor Tedom V3800 pro KJ Mikro T30 Bio [19].....	27
Tab. 9	Motor Tedom TB 90 G5V NX 86 pro KJ Cento T80 Bio[20].....	27
Tab. 10	Motor Tedom TB 110 G5V TX 86 pro KJ Cento T100 Bio[23] .....	28
Tab. 11	Motor Tedom TB 130 G5V TX 86 pro KJ Cento T120 Bio [21] .....	28
Tab. 12	Motor Tedom TB 170 G5V TW 86 pro KJ Cento T160 Bio [22] .....	28
Tab. 13	Motor Tedom TB 190 G5V TW 86 pro KJ Cento T180 Bio [25] .....	29
Tab. 14	Motor Tedom Motor Tedom TB 210 G5V TW 86 pro KJ Cento T200 [24].....	29
Tab. 16	Motor MAN E0836 [13] .....	30
Tab. 15	Motor MAN E0834 [13] .....	30
Tab. 17	Motor MAN E2876 [13] .....	31
Tab. 18	Požadované vlastnosti vody topných okruhů [10] .....	36
Tab. 19	Zemní plyn –vlastnosti [10] .....	37
Tab. 20	Bioplyn vlastnosti pro Kogenerační jednotky řady Micro T7 až T30 [10].....	37
Tab. 21	Bioplyn vlastnosti pro Kogenerační jednotky řady Cento T80 až T200 [10] .....	38
Tab. 22	Požadavky na plynná paliva [10] .....	39
Tab. 23	Stabilita přetlaku plynu [10].....	39
Tab. 24	Základní údržbové práce [31].....	40
Tab. 25	Základní údržbové práce [31].....	40

## Použitá literatura

- [1] Bioplynové stanice: Celospolečenské přínosy. [Http://www.bioplynovestanice.cz:](http://www.bioplynovestanice.cz:) Celospolečenské přínosy [online]. nevedeno: nevedeno, 2008 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/celospolecenske/>
- [2] Bioplynové stanice: Členění bioplynových stanic. ENVITON s.r.o [online]. 2008 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/cleneni-bps/>
- [3] Mapa bioplynových stanic. Česká bioplynová asociace z.s. [online]. České Budějovice: Česká bioplynová asociace z.s., 2013 [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic/>
- [4] Bioplynové stanice: Provoz. ENVITON s.r.o [online]. 2008 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/provoz/>
- [5] STRAKA, František a Karel CIAHOTNÝ. Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]. 3., zkrác. vyd. Praha: GAS, 2010. ISBN 9788073282356.
- [6] Bioplynové stanice: Technologie bioplynových stanic. ENVITON s.r.o [online]. 2008 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.bioplynovestanice.cz/technologie-bps/>
- [7] Anaerobní technologie. Bioprofit s.r.o [online]. Líšov, 2007 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: [http://www.bioplyn.cz/at\\_popis.htm](http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm)
- [8] KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. Malé kogenerační jednotky v komunální a průmyslové energetice. 1. vyd. Brno: PC-DIR Real, 1999. ISBN 8085895234.
- [9] ŠVEC, Jan. Využití obnovitelných zdrojů energie v zemědělství - zemědělské bioplynové stanice. Vyd. 1. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2010. ISBN 9788086832494.
- [10] TEDOM A.S. Technické instrukce KJ TEDOM. TI\_H06. Výčapy, 2015. Dostupné také z: neuvdeno
- [11] Projekční podklady KJ: KJ TEDOM řady Micro. Hořovice, 2016. P\_Micro\_i08.

- [12] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 8073001187.
- [13] MAN TRUCK & BUS AG. Power: Gas engines for CHP units and gensets. Nuremberg, 2017. GroupD 114.575/e · mu 10132.
- [14] MACEK, Jan. Spalovací motory I. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 9788001036181.
- [15] Výhody spolupráce. ČEZ Energo, s.r.o. [online]. Praha: ČEZ Energo, s.r.o., 2016 [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.cezenergo.cz/cs/nase-nabidka/vyhody-spoluprace.html>
- [16] Pro Investory. ENVITON s.r.o. [online]. ENVITON s.r.o., 2008 [cit. 2017-03-29]. Dostupné z: <http://www.bioplynvestanice.cz/pro-investory/>
- [17] Kogenerační jednotky - bioplyn: Přehled vyráběných typů. Tedom a.s. [online]. Výčapy: Tedom a.s., 2017 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/tedom-kogeneracni-jednotky-bioplyn.html>
- [18] Vitobloc 200. Viessmann s.r.o. [online]. Viessmann s.r.o.: Viessmann s.r.o., 2016 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.viessmann.cz/cs/obce/kogeneracni-jednotky/provoz-na-bioplyn/vitobloc-200-bm-36-66.html>
- [19] Technická specifikace M30: Micro\_T30\_AP\_BIO. Hořovice, 2016. TS\_Micro\_T30\_AP\_BIO\_SE\_i06.
- [20] TEDOM A.S. Technická specifikace T80: Cento T80, bioplyn, protihlukový kryt. Hořovice, 2016. TS\_Cento T80\_BIO\_SE\_H09.
- [21] TEDOM A.S. Technická specifikace T120: Cento T120, bioplyn, protihlukový kryt. Hořovice, 2016. TS\_Cento T120\_BIO\_SE\_H09.
- [22] TEDOM A.S. Technická specifikace T160: Cento T160, bioplyn, protihlukový kryt. Hořovice, 2016. TS\_Cento T160\_BIO\_SE.
- [23] TEDOM A.S. Technická specifikace T100: Cento T100, bioplyn, protihlukový kryt. Hořovice, 2014. TB 110 G5V TX 86\_850;.

- [24] TEDOM A.S. Technická specifikace T200: Cento T200, bioplyn, protihlukový kryt. Hořovice, 2014. TS\_Cento T200\_BIO\_SE\_i04.
- [25] TEDOM A.S. Technická specifikace T180: Cento T180, bioplyn, protihlukový kryt. Hořovice, 2014. TS\_Cento T180\_BIO\_SE\_i04.
- [26] Jak funguje kogenerace. Tedom a.s. [online]. neuváděno: Tedom a.s., 2016 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/jak-funguje-kogenerace.html>
- [27] Co s vyrobenou energií?. OnSite Power Holding a.s. [online]. b.r. [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.onsite.cz/detaily-reseni/>
- [28] Kogenerační jednotky. Motorgas s.r.o. [online]. Praha: Motorgas s.r.o., 2011 [cit. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.motorgas.cz/cz/vyrobky/kogeneracni-jednotky/man-motory/>
- [29] Plynové kogenerační jednotky. Dagger CZ a.s. [online]. Praha: Dagger CZ a.s., 2005 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: [http://www.daggercz.com/index.php?sekce=kogr\\_sous#man](http://www.daggercz.com/index.php?sekce=kogr_sous#man)
- [30] Přípravovaný záměr výstavby: Zařízení na ekologické a energetické využití biologicky rozložitelného odpadu. Plzeňská Bio Odpadová a.s. [online]. Plzeň – Líně: Plzeňská Bio Odpadová a.s., 2017 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.pboas.cz/>
- [31] TEDOM A.S. Plán údržby pro KJ TEDOM s motory TEDOM řady TG. Hořovice, 2016. PU\_Cento\_T100\_120\_2016\_05 03.
- [32] TEDOM A.S. Technická specifikace motoru TB 210 G5V TW 86. Jablonec nad Nisou, 2016.
- [33] TEDOM A.S. Technická specifikace motoru TB 90 G5V NX 86. Jablonec nad Nisou, 2016.
- [34] TEDOM A.S. Technická specifikace motoru TB 190 G5V TW 86. Jablonec nad Nisou, 2016.
- [35] TEDOM A.S. Technická specifikace motoru TB 170 G5V TW 86. Jablonec nad Nisou, 2016.



- [36] TEDOM A.S. Technická specifikace motoru TB 130 G5V TX 86. Jablonec nad Nisou, 2016.
- [37] TEDOM A.S. Technická specifikace motoru TB 110 G5V TX 86. Jablonec nad Nisou, 2016.

## **Seznam příloh**

Příloha I. – Tedom - Malé bioplynové kogenerační jednotky v ČR

Příloha II. – Tedom – Přehled jednotek [17]

Příloha III. – Viessmann - Vitobloc\_200 [18]

Příloha IV. – Tedom – Technické specifikace KJ Miro T30 Bio [19]

Příloha V. – Tedom - Technické specifikace KJ Cento T80 až T200 Bio[20], [21], [22],  
[23], [24], [25]

Příloha VI. – Tedom – Technické specifikace motorů TB90 až TB210 [32], [33], [34],  
[35], [36], [37]

Příloha VII. – MAN Truck & Bus AG - Power Gas engines for CHP units and gensets [13]