



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

**2011 KOGENERACE Z BIOPLYNU**  
BIOGAS COGENERATION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**MARTIN MIČA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.**

BRNO 2011



**SEM VLOŽIT ZADÁNÍ**

---

## **RUB ZADÁNÍ**

---

## **Abstrakt**

Náplní bakalářské práce je kogenerace z bioplynu. Úvodní část pojednává o výrobě bioplynu a jeho úpravě před energetickým využitím. Hlavní část bakalářské práce je zaměřena na způsoby energetického využití bioplynu a zpracování bioplynu na konkrétní bioplynové stanici v Novém Městě na Moravě. Z realizovaných měření byly stanoveny grafy vyrobené, prodané a spotřebované elektrické energie v závislosti na dnech a průměrné denní teplotě. Poslední část bakalářské práce uvádí možnost využití odpadního tepla v sušárně dřeva.

## **Klíčová slova**

bioplyn, kogenerace, odpadní teplo

## **Abstract**

This bachelor's thesis discusses biogas cogeneration. The introductory part deals with biogas production and its treatment before energetic use. The main body of the thesis focuses on various methods of energetic utilization of biogas and biogas processing in particular biogas station in Nové Město na Moravě. From the realised measurements there were created graphs of produced, sold and consumed electrical energy depending on days and average daily temperature. The last part of the thesis gives possibilities of waste heat recovery in wood dryer.

## **Key words**

biogas, cogeneration, waste heat

---

## **Bibliografická citace**

MIČA, M. *Kogenerace z bioplynu*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil Ph.D.

---

## **Prohlášení autora o původnosti práce**

Já, Martin Miča, prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité prameny a literatury.

V Brně dne 17.5. 2011

.....  
Martin Miča

---

## Poděkování

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi Ph.D. za cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Zemědělskému družstvu v Novém Město na Moravě za poskytnuté materiály o bioplynové stanici a Ing. Jiřímu Pastorkovi a Jaroslavu Havlíkovi za konzultaci a pomoc při zpracování materiálů o bioplynové stanici v Novém Městě na Moravě.

Poděkování patří také rodině, která mě podporovala při studiu.

---



---

## OBSAH

1.	Úvod .....	10
2.	Bioplyn .....	11
2.1	Princip tvorby bioplynu.....	11
2.2	Substráty zpracovávané v bioplynových stanicích .....	13
2.3	Bioplynové technologie .....	13
2.4	Skladování plynu .....	15
3.	Energetické využití bioplynu .....	18
3.1	Kogenerace bioplynu .....	18
3.2	Kogenerační využití bioplynu.....	19
4.	Bioplynová stanice Zemědělského družstva Nové Město na Moravě .....	24
4.1	Měření na bioplynové stanici .....	27
4.2	Výpočet účinnosti KJ .....	27
4.3	Vyjádření grafické závislosti el. energie na dnech a průměrných teplotách .....	29
5.	Využívání odpadního tepla .....	34
5.1	Návrh sušárny.....	34
5.2	Stanovení parametrů sušárny.....	36
5.3	Výpočet tepla potřebného pro odpaření vody .....	37
6.	Závěr.....	39
7.	Seznam použitých zkratk a symbolů .....	40
8.	Seznam použité literatury .....	41

## 1.Úvod

V současné době nabývá využívání obnovitelných zdrojů oproti neobnovitelným zdrojům energie velkého rozvoje. Fakt, že neobnovitelné zdroje energie představují zdroj, který může být v nejbližších desetiletích vyčerpán, je motivem nahradit neobnovitelné zdroje energie obnovitelnými.

Využívání obnovitelných zdrojů představuje nevyčerpatelný zdroj energie a omezení dovozu paliv ze zahraničí. Dalším přínosem je snížení spotřeby fosilních paliv a snižování znečištění krajiny oxidem uhličitým (CO<sub>2</sub>).

Obnovitelné zdroje energie představují pro většinu lidí energii získávanou ze sluneční, větrné, geotermální, biomasy a dalších energií, které patří do obnovitelných zdrojů energie. Málokdo však ví, že do obnovitelných zdrojů energie můžeme zařadit i biologické a komunální odpady zpracovávané v bioplynových stanicích. Ty produkují bioplyn, který je využíván především k výrobě tepelné a elektrické energie.

Bioplynové stanice zažívají v České republice v poslední době velký rozvoj a to hlavně u zemědělských družstev, kde tyto stanice zajišťují stabilizaci příjmů, pracovních míst a přispívají k ochraně životního prostředí.

## 2. Bioplyn

Bioplyn je směs plynů, které vznikají biologickým rozkladem organických látek při více stupňovém procesu. Plyny, které se nacházejí ve vzniklém bioplynu můžeme rozdělit do dvou složek :

- 1) *majoritní složky* - metan ( $\text{CH}_4$ ) a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ )
- 2) *minoritní složky* - sirovodík, oxid křemičitý, vodík, kyslík, dusík a čpavek

Hlavní složku představuje  $\text{CH}_4$ , který tvoří největší část v bioplynu (50-85. %). Druhou nejvíce zastoupenou složkou je  $\text{CO}_2$ . V ideálním případě by  $\text{CO}_2$  doplnil zbytkové množství bioplynu do 100%, ale v praxi se v bioplynu vyskytují i minoritní složky, které představují negativní vlivy na průběh vyhnívacího procesu a tvoření nánosů, např. ve spalovacím prostoru motoru. [1]

### **Historie bioplynu**

První doložená zmínka o využívání bioplynu byla zaznamenána na konci 19. století, kdy v uzavřených septických byly shromažďovány kaly odpadních vod. Vzniklý bioplyn byl využíván pro vytápění a svícení v čistírnách odpadních vod.

„Na počátku 20. století vzniká nový design uspořádání „vyhnívacích nádrží“. První významnou nádrží byla dvouplášťová nádrž s odděleným usazovacím a vyhnívacím prostorem. Principem těchto nádrží byla separace toků kalu a vody tak, že zdržení zachycených kalů je vyšší a sedimentované kaly přitom podlehnou anaerobní fermentaci. Provozně úspěšný reaktor pro anaerobní stabilizaci kalů v čistírnách odpadních vod byl navržen roku 1924.“<sup>[1]</sup> Reaktor byl tvořen vyhřívanou nádrží. K ohřevu nádrže byl využíván vznikající bioplyn. Od dvacátých let 20. století se začíná bioplyn využívat pro pohon automobilů a elektrických motorgenerátorů.

Úspěchy bioplynu v čistírnách odpadních vod byly podnětem k tomu, aby se začalo využívat produktů potravinářských a zemědělských odpadů. V 60.-70. letech se začíná rozvíjet zpracování skládkových plynů, které představují nebezpečí samovolného uvolňování pro okolí.

Od 70. let se začíná využívat biologických odpadů. Odpady tvořila záměrně pěstovaná biomasa, mezi kterou patřila dřevní štěpka a „zelená biomasa“ (např. vodní hyacint, krmná kapusta). [1]

### **2.1 Princip tvorby bioplynu**

Tvorba bioplynu prochází čtyřmi fázemi – hydrolýzou, acidogenezí, acetogenezí a poslední fází metanogenezí.

*Hydrolýza* - první fáze, ve které dochází k prvnímu rozkladu lipidů, proteinů a polysacharidů pomocí anaerobních bakterií na mastné kyseliny a jednoduché cukry. Tato fáze často probíhá za přítomnosti kyslíku.

V *Acidogenezi* (často označovaná jako „kyselá fáze“) dochází k přeměně na kyseliny s kratšími řetězci (máslaná, propionová) a oxid uhličitý a vodík. Acitogenní bakterie mohou pracovat i za přítomnosti kyslíku, kdy však vytváří anaerobní podmínky pro metanotvorné bakterie.

Ve třetí fázi *acetogenní*, která je součástí acitogeneze se vytváří hlavní prvky pro vznik metanu - kyselina octová, vodík a CO<sub>2</sub>.

Poslední fáze se nazývá *metanogeneze*. Tuto fázi můžeme rozdělit na acetotrofní a hydrogenní rozklad. V prvním acetotrofním rozkladu vzniká 2/3 metanu rozložením kyseliny octové. Rozložení kyseliny octové zajistí, že se pH bude pohybovat okolo neutrální hodnoty (6,5-7,5 pH). V druhé hydrogenní fázi, která probíhá podstatně rychleji než první fáze, vzniká metan z vodíku (téměř všechny je odstraněn) a CO<sub>2</sub>. [1]

### **Životní podmínky metanotvorných bakterií**

K zajištění spolehlivého procesu tvorby plynu ve fermentační nádrži, popřípadě znemožnění úplného zastavení procesu je nutné :

- 1) zabránit přítomnosti kyslíku v substrátu
- 2) důkladně zalít substrát vodou (alespoň z 50%)
- 3) zajistit neutrální hodnotu pH – v případě nízké hodnoty je ke zvýšení pH přidáváno vápno
- 4) provést důkladné promíchávání
- 5) zajistit požadovanou teplotu

Další problém při vyhánění substrátu jsou inhibitory. Inhibitory jsou prostředky, které jsou podávány zvířatům (antibiotika), používají se jako postřiky na poli, ale také např. k dezinfekci stájí. Tyto prostředky mohou při vyšších koncentracích výrazně ovlivnit nebo i zastavit vyháněcí proces. Existují však i antibiotika, desinfekční prostředky, které i při vysoké koncentraci neovlivňují vyháněcí proces. [2]

*Teplota* také výrazně ovlivňuje průběh fermentačního procesu. V praxi pracují bioplynové stanice ve třech oblastech teplot:

- 1) psychrofilní - teploty do 20 °C
- 2) mezofilní - teploty od 25 do 35 °C
- 3) termofilní - teploty nad 45 °C

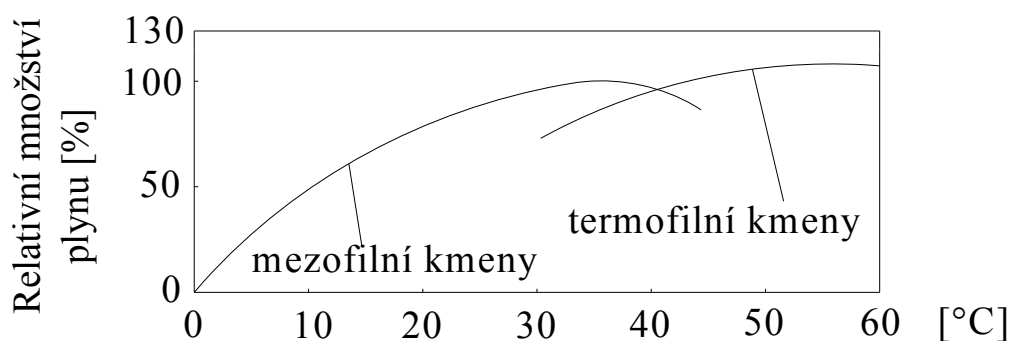
Tyto oblasti teplot jsou v průběhu vyháněcího procesu velmi citlivé na krátkodobé výkyvy teplot, a proto je potřeba, aby se denní výkyvy teploty u mezofilních oblastí pohybovaly v rozmezí 2-3 °C a v termofilní oblasti v rozmezí 1 °C. U psychrofilní oblasti je nutné, aby teploty nepoklesly pod hranici 3 až 4 °C, kdy bakterie přestávají pracovat.

Každá oblast teplot pracuje s tzv. bakteriálními kmeny, které jsou znázorněny na *obr.2. 1*. Jak si můžeme všimnout, čím je vyšší teplota (dochází k rychlejšímu rozkladu vyháněcího substrátu), tím vyšší je výtěžnost relativního množství plynu. S vyššími teplotami dochází také ke kratší době vyhánění, ale dochází ke snižování obsahu metanu v plynu. [2]

## 2.2 Substráty zpracovávané v bioplynových stanicích

V bioplynových stanicích zpracováváme substráty s rozdílným obsahem sušiny. Mokrou anaerobní fermentací (bez přístupu vzduchu) jsou zpracovávány substráty s obsahem sušiny do 15%. Pro substráty s vyšším obsahem sušiny (25% i více) se využívá tzv. suchá anaerobní fermentace.

Třetí možností zpracování substrátu je aerobní technologie (za přístupu vzduchu)-kompostování, kdy optimální obsah sušiny se pohybuje od 40 do 60 %.



Obr.2. 1 Závislost teploty na množství vytěženého plynu [2]

### Zpracovávané substráty můžeme nazvat biomasou :

Biomasa je živočišná a rostlinná hmota organického původu, kterou dělíme na :

- 1) *Záměrně pěstovanou* - např. bioenergetické byliny, krmná řepa, kukuřice
- 2) *Odpadní* - do této skupiny se řadí odpady živočišné výroby ze statků a chovů dobytka - tuhé a nebo kapalné exkrementy z chovu prasat, hovězího dobytka a také drůbeže. Z hlediska největší výtěžnosti plynu jsou nejlepší exkrementy z chovu drůbeže, ale pro vysoký obsah sušiny s následným ředěním (nejčastěji vodou) se využívají jen zřídka. Dále jsou využívány odpady z podniků (pivovary, lihovary, sladovny, hypermarkety), jatek, komunální a odpady ze zemědělské výroby (siláže, zrna). Důležitou vlastností pro tyto skupiny je, aby substrát měl co největší obsah tuků a proteinů. Tyto dvě složky přispívají k vyšší výtěžnosti plynu. [2]

## 2.3 Bioplynové technologie

Bioplynové technologie nám popisují metody vyhnívání substrátu v jednotlivých nádržích. Technologický proces prochází třemi nádržemi, které jsou schématicky znázorněny na obr 2.2.

---

**Metoda dávkovací** - skládá se ze tří nádrží (přípravné, vyhnivací a skladovací) o stejné velikosti. Z přípravné nádrže se nejprve naplní „vyhnivající“ nádrž. Až dojde k vytěžení plynu ze substrátu, dochází k odvodu digestátu do skladovací nádrže. Ve „vyhnivací“ nádrži zůstává 5-10 % vyhnílého substrátu. Substrát, který zůstal v nádrži, slouží k naočkování nového substrátu dodávaného z přípravné nádrže. Tento postup se využívá především pro suchou anaerobní fermentaci a vyznačuje se nestabilní výtěžností plynu.

**Metoda střídání nádrží** - využívá se především pro stabilní výtěžnost plynu při suché anaerobní fermentaci. Skládá se ze čtyř nádrží (přípravné, „dvou vyhnivacích“ a skladovací). Z přípravné nádrže se nejprve naplní prázdná „vyhnivací“ nádrž. Až dojde k naplnění první nádrže, začne probíhat v této nádrži vyhnivací proces, kdy souběžně s procesem vyhnívání se začíná plnit druhá „vyhnivající“ nádrž. V době, kdy je druhá „vyhnivací“ nádrž naplněna, v první nádrži je ukončen vyhnivací proces a začne vyhnívání v druhé nádrži. Obsah digestátu je přesunut do skladovací nádrže až na malé množství, které slouží k naočkování čerstvého substrátu a tato nádrž je znovu naplňována za současného vyhnívání v druhé nádrži.

**Metoda průtoková** - skládá se ze tří nádrží (přípravné, „vyhnivací“ a skladovací). Z menší skladovací nádrže je substrát nejčastěji jednou až dvakrát denně přiváděn do „vyhnivací“ nádrže. Při dodávání substrátu do této nádrže dochází k samovolnému přepadu již vyhnílého digestátu do skladovací nádrže. Tento proces se odehrává za nepřetržitého provozu se stále naplněnou „vyhnivací“ nádrží. Případné odstávky jsou zapříčiněny opravami a odstraňováním usazenin.

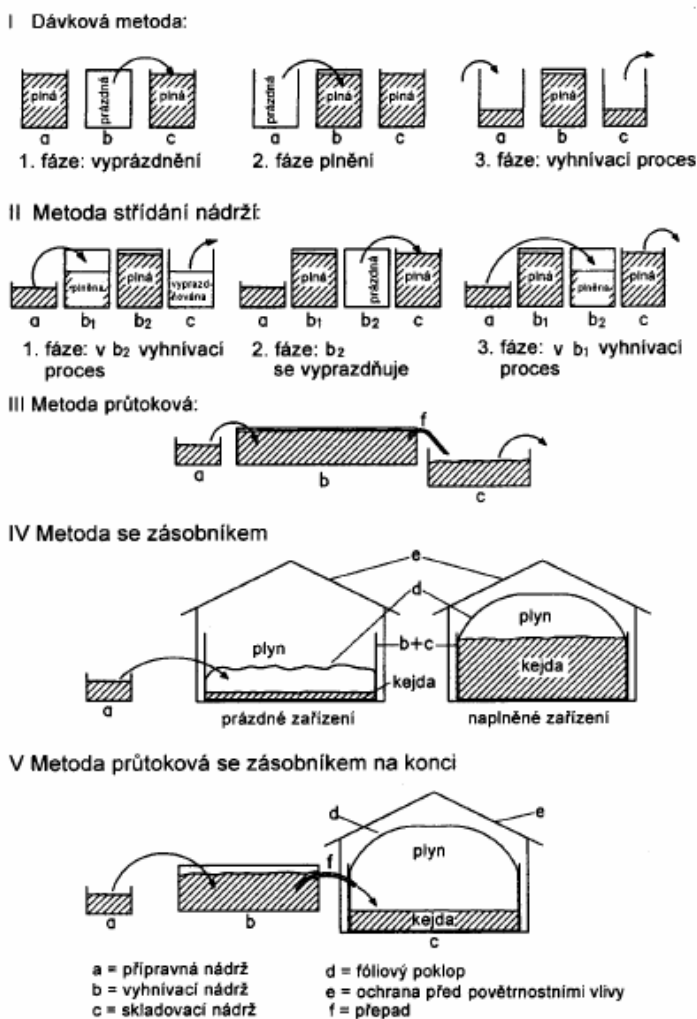
**Metoda se zásobníkem** - skládá se ze dvou nádrží (přípravné a „vyhnivací“ + skladovací). U této metody je „vyhnivací“ a skladovací nádrž spojena dohromady. Spojená „vyhnivací“ a skladovací nádrž je plněna z přípravné nádrže. Po dokončení vyhnivacího procesu se vyhnílý digestát vyveze až na malý zbytek, který slouží k naočkování nového substrátu. Nádrž bývá nejčastěji zastřešena foliovým poklopem. U poklopů je nutné zajistit ochranu před povětrnostními podmínkami pomocí přístřešků a dvojitého foliových krytů.

**Metoda průtoková se zásobníkem na konci** - tato metoda spočívá ve využívání vyhnílého digestátu, který je umístěn ve skladovací nádrži. Vyhnílý digestát, který vznikl průtokovou metodou, je umístěn ve skladovací nádrži. Tato skladovací nádrž je oproti průtokové metodě opatřena foliovým poklopem, který nám umožňuje získat dodatečné množství bioplynu.

„Praxe ukázala, že při dnešních obvyklých dobách skladování, což je zhruba 7 měsíců, pochází 20 až 40 % celkového výnosu plynu ze skladovací nádrže.[2]

**Suchá anaerobní fermentace** – metoda spočívá ve využívání biomasy s vyšším obsahem sušiny. Do fermentoru je navedena biomasa nejčastěji pomocí zemědělských strojů. Po navedení se uzavřou plynotěsná vrata a začne probíhat vyhnivací proces. Důležité je, aby během několika prvních dní došlo k odstranění kyslíku. Fermentační prostor je vytápěn a smáčen kapalinou. Vyhnílý digestát je pak následně odvezen až na zbytek, který zůstává ve fermentoru.

**Digestát** - je konečným produktem fermentačního procesu. Využívá se jako kvalitní hnojivo, pro výrobu kompostu a organických minerálních hnojiv. Hlavní předností digestátu je snížení zápachu, snížení skleníkových plynů při aplikaci na pole a zvýšení využitelnosti živin. Digestát nesmí být vyvážen na přemrzlou a převlhčenou půdu a je nutné, aby bylo zabráněno proniknutí digestátu do povrchových vod a okolních pozemků.



Obr.2. 2 Typické bioplynové technologie [2]

## 2.4 Skladování plynu

Plyn, který získáváme při vyhňivacích procesech je nutné skladovat. Skladování plynu má tu výhodu, že je bezproblémové i při delším skladování a nedochází ke ztrátám. Nevýhodou skladování je menší energetická hustota s porovnáním např. topných olejů, zemního plynu. Proto je nutné pořizování zásobníků větších objemů.

Jak je vidět z *tab.2. 1*, typy zásobníků na bioplyn jsou rozděleny především podle tlaku. V současné době se plynoměry s vodním uzávěrem téměř nevyužívají. Měly tu výhodu, že držely stabilní tlak, ale docházelo k velkým plynovým i tepelným ztrátám a v zimním období docházelo k zamrznutí. Proto v dnešní době jsou nahrazeny nízkotlakými zásobníky

s foliovým krytem (poklopem). Tyto zásobníky tvoří foliový poklop, který může být opatřen krytem, který chrání zásobník proti povětrnostním podmínkám a sněhu. Kryt z foliového poklopu může být přímo umístěn na fermentační nádrži jako kryt fermentoru („vyhřívací“ nádrže), a nebo jako externí foliový plynojem, který je připevněn na vrchní stěnu plynojemu viz. obr.2. 3. Výhodou těchto plynojemů je jednoduchá a rychlá konstrukce a nízká cena. Mezi nevýhody patří kontrola tlaku, který by neměl přesáhnout přetlak 0,5 – 2 mbar, při kterém by mohlo dojít k protrhnutí folie.

Tab.2. 1 Typy zásobníků [2]

Tlakový stupeň	Provozní tlak	Velikost [m <sup>3</sup> ]	Provedení
Nízký tlak	20 - 50 mbar	5 až 200	Plynojem s vodním uzávěrem
	0,05 - 0,5 mbar	10 až 2000	Nádrže s foliovým poklopem
Střední tlak	5 - 20 bar	1 až 100	Ocelové nádrže
Vysoký tlak	200 - 300 bar	0,1 až 0,5	Ocelové láhve

Používání středotlakých a vysokotlakých zásobníků se vyznačuje úsporou místa. Ke stlačení se používají kompresory, které stlačí bioplyn na požadovaný tlak. Pro odběr bioplynu ze zásobníku je však nutné mít regulátor tlaku. Při stlačení bioplynu na 20 barů (středotlak) uvažujeme plyn jako ideální, tzn., že snižuje svůj objem (do zásobníku se vejde více plynu). U vysokotlakých zásobníků dochází k velkému stlačení bioplynu v malém prostoru (o 40-50 % více než u středotlakých). Vzhledem k vysokým tlakům narůstá cena zpracování bioplynu, proto se v bioplynových stanicích využívá pouze v případě pohonu vozidel. [2]



Obr.2. 3 Foliové plynojemy [2]



### **Úprava bioplynu**

Jelikož bioplyn je nasycen vodní párou a obsahuje sirovodík a další prvky, je nutné, abychom pro další zpracování tyto prvky odstranili.

K prvnímu odlučování vodní páry dochází již v zásobníku plynu, kdy se plyn ochlazuje na teplotu okolí. K následnému odstranění vodní páry z bioplynu se poté využívají odlučovače kondenzátu a mokré sušení.

**Odlučovač kondenzátu** - je umístěn na začátku plynového potrubí v nezámezném prostoru. Při tomto způsobu je nutné, aby trubky měly sklon toku kondenzátu do odlučovače kondenzátu. Dalším důležitým faktorem je, abychom udržovali stálý tlak, který je v zásobníku plynu. K udržení tlaku nám slouží normální trubice, která nám pomocí ponoru ve vodním sloupci určuje požadovaný tlak, jelikož při vyšším překročení tlaku by mohlo dojít k porušení zásobníku plynu.

Při kondenzaci dochází k odloučení i jiných látek. Mezi tyto látky patří amoniak, křemík, které také mají vliv na poškození motorů a dalších částí zařízení.[2]

**Mokré sušení** - slouží nám ke zbavení nánosů a silikátu v bioplynu a odstranění zbývající vodní páry. Toto mokré sušení je prováděno pomocí mokré mlhy o teplotě 0 °C.

**Odsíření** – k nejběžnějšímu odstranění dochází biologickou cestou. Do zásobníku s plynem je přiveden vzduch (3 - 5 % množství plynu v zásobníku) a při reakci se vzduchem vzniká síra a voda. Síra se usazuje na substrátu (nažloutlá vrstva) ve „vyhňívající“ nádrži, na stěnách trubek a zásobníků. Síra usazená na stěnách se dá lehce smýt a poté se spolu s vyhnilým substrátem odváží na pole. Tento způsob je snadný a levný, ale nevýhoda této metody spočívá v nepřesnosti stanovení množství sirovodíku a s tím spojeným množstvím vzduchu pro jeho odsíření. Velký přebytek vzduchu by mohl mít za následek zastavení fermentačního (vyhňívacího) procesu. Další nevýhodou tohoto principu odsíření je vznik koroze na konstrukci v zásobníku plynu.

Abychom mohli odstranit nevýhody biologického odsíření uvnitř zásobníku je možné využít odsíření mimo zásobník. V blízkosti fermentoru je umístěno odsířovací zařízení, ve kterém je možné stanovit přesné množství plynu a použít odpovídající množství vzduchu pro odsíření.

Dochází k poklesu koroze a nedochází k přívodu vzduchu do fermentačního procesu. Nevýhodou této metody jsou dražší náklady na odsířovací zařízení mimo fermentor.

Dalším možným způsobem je chemické odsíření. Podobně jako u biologického odsíření může být prováděno uvnitř, a nebo mimo fermentor. Při chemickém odsíření uvnitř fermentoru se využívá chemických látek (např.  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_2$ ), které se přidávají do substrátu a vážou síru. Tím nedochází ke vzniku sirovodíku. Nedochází k nežádoucímu vzniku koroze a přívodu vzduchu do fermentačního procesu. Nevýhodou této metody jsou dražší náklady na nákup chemikálií a podobně jako u biologické metody vznikají problémy se stanovením množství vzniklé síry a potřebného množství chemických látek. Proto je možné využít chemické zařízení mimo fermentor, kdy je možné stanovit přesné množství vzniklého sirovodíku a k tomu odpovídající množství chemické látky. Pro chemické odsíření mimo fermentor využíváme louh (nejčastěji hydroxid sodný), který promýváme plynem. Nevýhodou jsou náklady na zařízení mimo fermentor a chemikálie. [3]

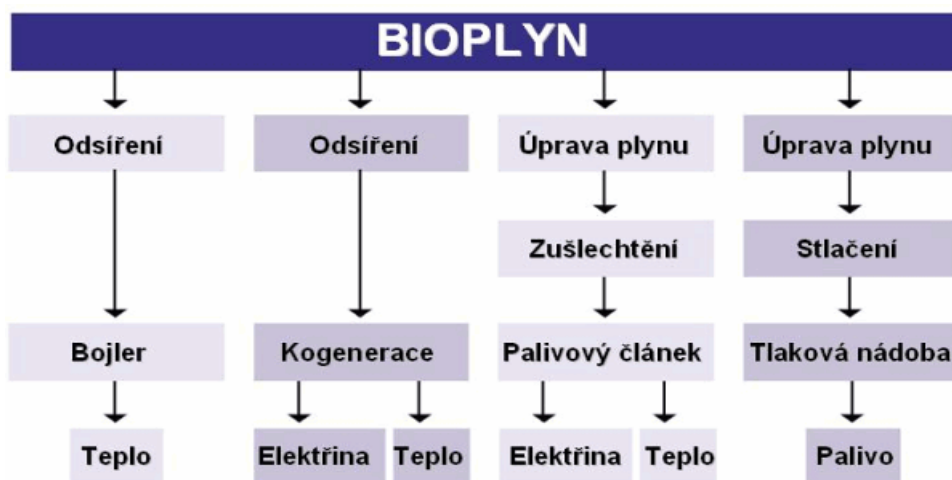
### 3. Energetické využití bioplynu

Energetické využití bioplynu můžeme provádět čtyřmi základními způsoby, které jsou zobrazeny na *obr.3. 1*.

#### **Spalování bioplynu**

Patří mezi nejjednodušší způsoby využití bioplynu v kotlích. Při spalování využíváme atmosférické a dmýchadlové hořáky, kdy je plyn potřeba díky nízkému tlaku v zásobníku stlačit pomocí kompresoru. Nevýhodou spalování bioplynu v kotlích je obsah sirovodíku, který způsobuje korozi a zanášení komínů, a proto je dobré provést odsíření bioplynu před spalováním.

Tento způsob se využívá pro vytápění rodinných domů a ohřev užitkové vody. [3]



*Obr.3. 1* Základní způsoby využití bioplynu [4]

#### 3.1 Kogenerace bioplynu

Kogenerace, neboli kombinovaná výroba tepla a elektřiny (KVET). Prakticky to znamená využívání tepla, které vzniká při výrobě elektřiny, kdy při KVET dochází k úspoře až 30 % primárních zdrojů energie oproti samostatné výrobě stejného množství elektřiny a tepla.

„Jako názorný příklad“<sup>[5]</sup> bychom mohli uvést výrobu 1 MW<sub>el</sub> a 4 MW<sub>tep</sub> (ztráty 0,5MW). Při KVET je zapotřebí 100 % paliva na vstupu.

Množství paliva, které potřebujeme při oddělené výrobě elektřiny v kondenzační elektrárně ( $\eta_{el} = 0,38$ ) a ve výtopně ( $\eta_{tep} = 0,9$ ) zjistíme výpočtem :

$$P_{el} = 1MW = 18\% \text{ } 1 \text{ MW}_{el} = 18 \%$$

$$P_{tep} = 4MW = 72\%$$

$$Q_{paliva} = \frac{P_{el}}{\eta_{el}} + \frac{P_{tep}}{\eta_{tep}} = \frac{18}{0,38} + \frac{72}{0,9} = 127,4\%$$

Úspora paliva [%]

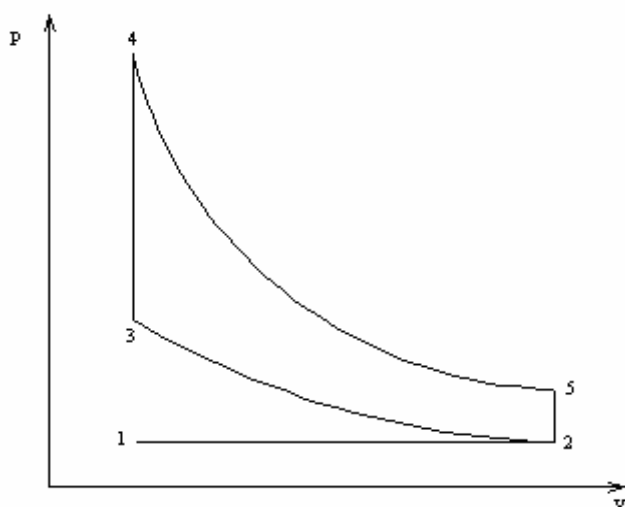
$$\Delta Q_{paliva} = Q_{paliva} - 100 = 127,4 - 100 = 27,4\%$$

### 3.2 Kogenerační využití bioplynu

- spalovací motory
- plynové turbíny
- stirlingův motor
- ORC cyklus
- palivové články

Mezi nejpoužívanější kogenerační jednotky (KJ) v bioplynových stanicích patří spalovací motory, které můžeme rozdělit na zážehové (pracují podle Ottova principu) a vznětové (Diedlův princip). Dalším příslušenstvím KJ je generátor, který je spojen s motorem v protihlukové skříni a výměníky tepla, které odebírají teplo z výfukových plynů, chladicího oleje a chlazení motoru. Z hlediska vyšší účinnosti se u BPS využívají synchronní generátory, které pracují s frekvencí 50 Hz.

**Zážehové motory** - pracují podle Ottova principu, který je zobrazen na obr.3. 2. Palivo je se vzduchem nasáto v sací části (1-2) a co nejlépe promíseno ve směšovači. Poté je smíšené palivo nasáto přes sací ventil a stlačeno pístem, který se pohybuje do horní úvratě (4). Těsně, než se píst dostane do horní úvratě je palivo zapáleno pomocí jiskry, zvýší se teplota, tlak paliva, které expanduje a píst se pohybuje do dolní úvratě a koná práci (4-5). V poslední fázi jde píst do horní úvratě. Otevře se výfukový ventil a spaliny odcházejí do výfukového potrubí.



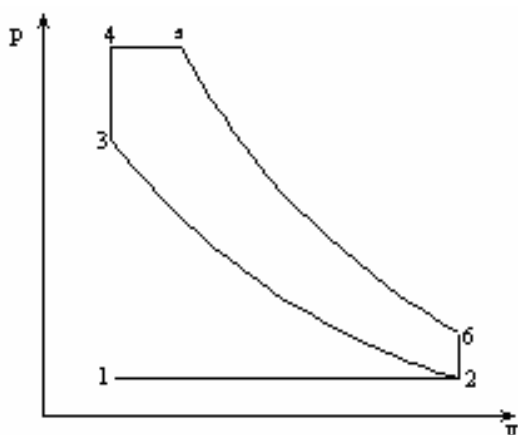
- 1-2 - sání
- 2-3 - adiabatická komprese (slačení)
- 3-4 - izochorické zvýšení tlaku, hoření
- 4-5 - adiabatická expanze (rozpínání)
- 5-2 - izochorický odvod tepla
- 2-1 - výfuk

Obr.3. 2 Ottův cyklus [6]

Kromě směšovače plynu používají zážehové motory *turbodmychadlo*, které stlačuje palivo a tím můžeme do motoru přivést více paliva. Nárůstem paliva dochází ke zvětšení výkonu motoru při stejných otáčkách. Nevýhodou u zážehových motoru je, že při stlačení paliva dochází ke zvýšení teploty paliva a může dojít k samozapálení směsi. Tento problém se nejčastěji řeší mezichladičem paliva.[7]

Dalším možným využitím Ottova principu je *přestavění diesellových motorů na zážehové motory*. Tato přestavba je drahá a pro provoz zemědělských bioplynových stanic se ve většině případů i za předpokladu vyšší účinnosti nevyplatí. Tyto motory se vyznačují velkou a těžkou konstrukcí, kdy vstříkovací zařízení, které se využívá pro zapálení paliva u diesellových motorů je nahrazeno zápalem stlačeného paliva pomocí jiskry. [2]

**Vznětové motory** - pracují podle dieselova principu. K zapálení směsi dochází pomocí vstříknutí paliva. Nejprve dojde ke smíchání bioplynu se vzduchem a vytvoření tzv. chudé směsi. Pro větší množství paliva ve spalovacím prostoru je směs paliva stlačena turbodmychadlem. Po nasátí paliva a uzavření sacího ventilu se píst začne pohybovat do horní úvratě. Dochází k nárůstu tlaku a teploty. Těsně před horní úvratí dochází ke vstříknutí druhého paliva a zapálení směsi. Poté dochází k expanzi, píst se pohybuje směrem do dolní úvratě a koná práci. V poslední fázi se píst pohybuje do horní úvratě, otevře se výfukový ventil a spaliny odchází výfukovým potrubím.



- 1-2 - sání (vzduch)
- 2-3 - adiabatické zvýšení tlaku
- 2-3 - izochorické zvýšení tlaku a přívod tepla
- 4-5 - izobarický přívod tepla a stupeň plnění
- 5-6 - adiabatická expanze
- 6-2 - izochorický odvod tepla
- 2-1 - výfuk

Obr.3. 3 Dieslův cyklus

Jako druhotné palivo se u vznětových motorů využívají topné oleje, rostlinné oleje a mazut, které v případě, kdy nemáme bioplyn můžeme použít jako samostatné palivo. Vznětové motory se vyznačují vyšší účinností v porovnání se zážehovými motory, ale náklady na materiál motoru vlivem vyšších teplot a tlaku jsou vyšší. [3]

### Odpadní teplo

Teplo, které získáváme při KVET z chlazení motoru, oleje a z výfukových spalin bychom často mohli označit jako ztrátové, jelikož většina firem toto teplo nemá kde využít.

Nevyužívání odpadního tepla je nejvíce ztrátové v letních měsících, kdy teplo nemůžeme využít pro vytápění objektů nedaleko KJ (haly, kravíny, budovy), a proto je ve většině případů vypouštěno přes chladič do ovzduší.

Kromě využívání pro vytápění objektu je část odpadního tepla (15 -30 %) využívána pro vytápění fermentoru a ohřev užitkové vody. Pro ohřev se používají deskové a trubkové výměníky (voda – voda, voda – spaliny), které ohřívají vodu nejčastěji na 90 °C, ale i na vyšší teploty ( 110 °C i více). Další možností jak využívat teplo je ohřev napájecí vody v parních kotlích případně pro výrobu páry. Odpadní teplo je také možné využívat ve Stirlingově motoru, ORC cyklu a pro různé typy sušáren (např. na dřevo, zemědělské produkty). Možností jak využívat odpadní teplo je mnoho, ale záleží především na podniku, jak se rozhodne s vyrobeným teplem pracovat a co je pro podnik nejvýhodnější. Hospodárné využívání odpadního tepla znamená pro podnik finanční přínos a snižuje dobu návratnosti investice.

**Stirlingův motor** - jedná se o motor, kde pohyb pístu je zapříčiněn roztahováním plynu (helium, vzduch, dusík, CO<sub>2</sub>) v uzavřeném prostoru. Pracovní prostor je rozdělen na teplou část, která je ohřívána z vnějšího zdroje a část studenou, které je chlazená pomocí okolního vzduchu nebo chladiče.

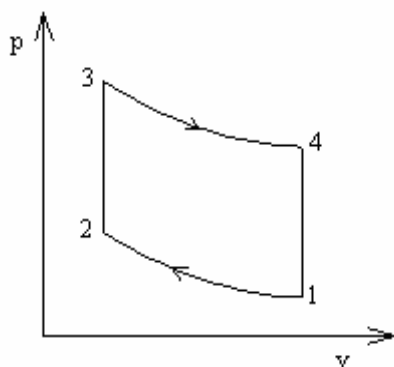
Pro ohřev z vnějšího zdroje můžeme spalovat paliva jak pevná (nejčastěji biomasu), tak i kapalná a plynná. Současně také můžeme využívat odpadní teplo z technologických procesů, nebo teplo získané např. z geotermální a solární energie.

Pro ohřev v teplém prostoru je možné využívat rekuperátory, které odebírají teplo při ochlazování plynu.

Nejprve je v teplém prostoru pracovní plyn ohřán na max. teplotu a tlak a dochází k expanzi. Píst se začne pohybovat směrem k teplému prostoru a pracovní plyn přechází do studené oblasti, kde je ochlazován a klesá tlak. Poté ochlazený plyn přechází do teplé oblasti a cyklus se opakuje.

Výhodou spalování bioplynu ve stirlingově motoru je možnost využít méně hodnotného bioplynu, s menším obsahem metanu a malými nároky na kvalitu vyčištění, jelikož bioplyn je spalován mimo interní prostory motoru.

Další výhodou je tichý chod a dlouhá životnost, ale jejich regulovatelnost a pohotovost v provozu jsou špatné. V současné době je nasazení stirlingových motorů v bioplynové technologii v oblasti výzkumu a zkoumání. [8]

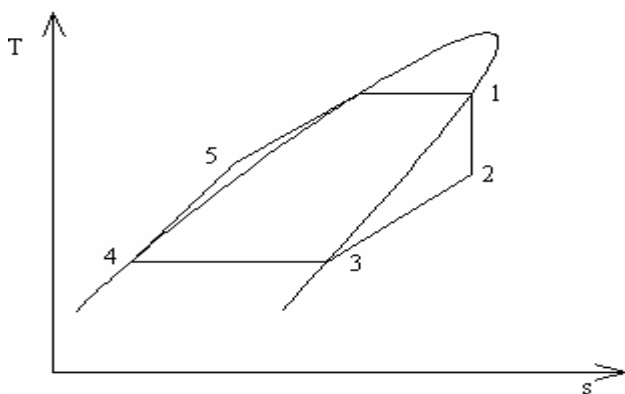


- 1-2 - adiabatická komprese
- 2-3 - izochorické zvýšení tlaku a teploty
- 3-4 - adiabatická expanze
- 4-1 - izochorické snížení tlaku a teploty

Obr.3. 4 Cyklus Stirlingova motoru

**Organický Rankinův cyklus (ORC)** - je v podstatě cyklus parní turbíny, ve kterém jsou pracovní látkou organické sloučeniny. Důvodem využívání organických látek je, že mají vyšší molekulovou hmotnost než voda a vydrží déle v kapalně podobě i při nižších tlacích. ORC cyklus pracuje se dvěma pracovními látkami – termoolej a silikonový olej.

Nejprve je teplo (ze spalování biomasy, geotermální energie, odpadního tepla) předáno termooleji v „olejovém“ kotli, který se ohřeje a přes výparník předává teplo hlavní pracovní látce (silikonovému oleji). Vzniklá sytá pára je vedena do parní turbíny, kde expanduje do oblastí přehřáté páry viz. obr.3. 5. Vzniklá přehřátá pára v kondenzátoru mění své skupenství na kapalně a dopravuje se zpátky přes rekuperátor do výparníku. Vzniklé teplo při kondenzaci se využívá při vytápění, ohřevu užitkové vody atd. Spaliny z „olejového“ kotle se využívají k předehřevu pracovní látky a ke zvýšení parametrů vody. [9]



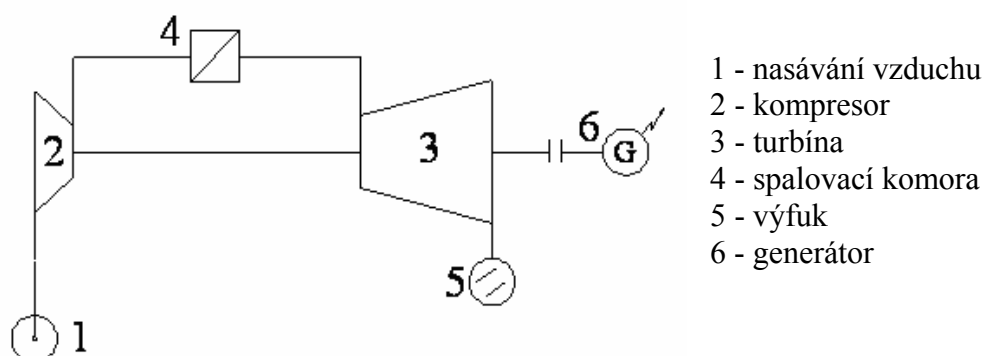
- 1 - sytá pracovní látka
- 2 - přehřátá látka
- 1-2 - expanze v turbíně
- 2-3 - ochlazení přehřáté páry na sytou
- 3-4 - kondenzace pracovní látky
- 4-5 - ohřev pracovní látky v rekuperátoru
- 5-1 - ohřev pracovní látky ve výparníku

Obr.3. 5 Schéma ORC cyklu [9]

**Mikroturbíny** – jsou v podstatě plynové turbíny malých výkonů 30 kW až 350 kW, které pracují na stejném principu jako klasické plynové turbíny, kdy mikroturbíny pracují v porovnání s plynovými turbínami s vyššími otáčkami, nižšími teplotami a tlaky. V mikroturbíně nejprve dochází k nasátí vzduchu z okolí, který se pomocí kompresoru stlačí a následně prochází spalovací komorou, kam dodáváme palivo. Poté dochází k expanzi v turbíně. Vzniklá práce je z 2/3 využívána pro pohon kompresoru (popřípadě čerpadel, ventilátoru) a 1/3 pro pohon generátoru. Po expanzi v turbíně dochází k výfuku spalin, které nejčastěji využíváme pro ohřev užitkové vody.

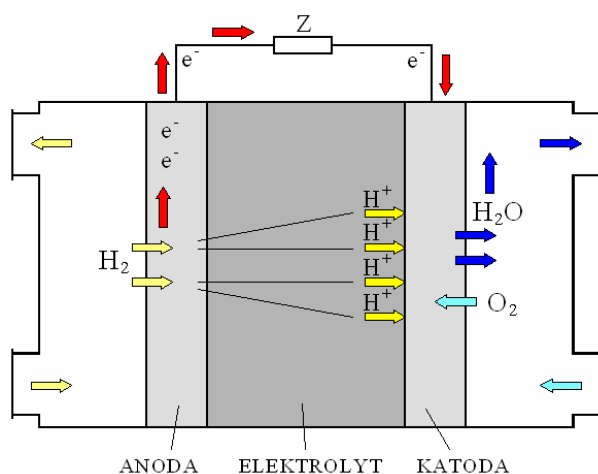
Využívání bioplynu v mikroturbínách představuje nevýhody a výhody, které jsou při volbě KJ bioplynové technologie rozhodující :

- nižší elektrické účinnosti (cca 25-30 %)
- vyšší investiční náklady
- + delší doba provozních hodin nutná na údržbu [3]



Obr.3. 6 Schématické znázornění principu mikroturbíny

**Palivové články** – jsou elektrochemická zařízení, která přeměňují chemickou energii paliva na energii elektrickou a tepelnou. Jejich výhodou je tichý chod, vysoká el. účinnost (50%), žádné anebo velmi malé emise, nízké opotřebení. Mezi nevýhody palivových článků patří vysoká cena a neustálý vývoj. Mezi nejčastější paliva patří vodík, metanol, bioplyn a CO.



Obr.3. 7 Princip palivového článku [10]

Při použití bioplynu jako paliva pro palivové články musíme dbát na důkladné vyčištění bioplynu od sirovodíku a dalších stopových prvků, které bioplyn obsahuje. Poté je metan pomocí parní katalytické hydrolýzy přeměněn na vodík ( $H_2$ ), který narazí na kladnou porézní elektrodu (anodu) a dojde k oxidaci (ztrácí elektrony). Dochází k rozdělení vodíku na dva atomy  $H^+$ . Na zápornou porézní elektrodu je přiváděn kyslík, který přímá elektrony a rozděljuje kyslík na dva atomy  $O^-$ . Atom  $O^-$  se sloučí s dvěma atomy  $H^+$ , které jsou schopny projít elektrolytem a vzniká voda  $H_2O$ . [3]

Bioplyn je také možné využívat jako palivo do automobilů, autobusů a zemědělských dopravních prostředků. Tento trend je především rozšířen ve skandinávských zemích (Švédsko, Švýcarsko), jelikož je nutné, aby bioplyn byl vyčištěn od korozivzdorných látek (sirovodík, křemík apod.) a zbaven oxidu uhličitého a vodní páry. Dále je nutné, aby bioplyn byl stlačen na požadovaný tlak. Tyto úpravy plynu představují vysoké náklady a v současné době jsou především v oblasti zkoušek a vývoje. [3]

#### 4. Bioplynová stanice Zemědělského družstva Nové Město na Moravě

Bioplynová stanice se nachází ve středisku Nová Ves. Vznikla v červnu roku 2010. Bioplyn je vyráběn ve dvoustupňovém fermentoru, který můžeme označit jako tzv. kruh v kruhu. Jak je zřejmé z označení kruh v kruhu, fermentor je tvořen dvěma kruhovými nádržemi o průměru 32,6 a 18 m. Nejprve je naplněn vnější fermentor, ze kterého substrát přechází přepadovým (případně tlakovým) potrubím do vnitřního prostoru. Stejný



princip propojení je mezi vnitřním prostorem fermentoru a skladovací nádrží, kdy přibližně stejné množství substrátu, které přivedeme do vnějšího prostoru nám odchází přepadem z vnitřního prostoru do skladovací nádrže. Celková denní dávka je tvořena 47t substrátu (10,5t kukuřice, 10,5t siláže, 15 t hnoje, 11t kejdy), Substrát je dávkován každou hodinu. Anaerobní rozklad ve

fermentoru probíhá při teplotě 44 °C .

Vytápění je zajištěno pomocí teplovodního oběhového potrubí umístěného ve stěnách vnějšího i vnitřního fermentoru. Teplo, které slouží pro vytápění fermentoru získáváme při kogenerační výrobě a představuje 15-30 % vyrobeného tepla.

Bioplyn, který vzniká ve vnější i vnitřní nádrži průměrně obsahuje 55% metanu (CH<sub>4</sub>). Je skladován v nízkotlakém plynojemu. Plynojem se skládá ze dvou folií, vzduchových polštářků a je připevněn na „strop“ fermentoru.

Před přívodem bioplynu do kogenerační jednotky je nutné z bioplynu odstranit sirovodík a vodní páru. K odstraňování sirovodíku dochází v plynojemu smísením bioplynu se vzduchem (2-3 % přiváděného vzduchu). Odstranění vodní páry probíhá v trubkovém výměníku pomocí proudící vody. Vzniklý kondenzát poté odtéká vypárovanou trubkou do fermentační nádrže.





*Obr.4. 1 Trubkový výměník  
(odstranění vodní páry)*



*Obr.4. 2 Chladicí zařízení*

Kogenerační jednotka je umístěna v tzv. technické budově, která je zvukově izolována. Technická budova je rozdělena na dvě místnosti a půdní prostor.

V první místnosti je umístěna KJ se zážehovým motorem. V místnosti je rovněž připraven prostor pro připojení druhé KJ. Motor je spojen se synchronním generátorem v protihlukové skříni a chlazen vratnou vodou o teplotě 80 °C. V případě, že bychom nemohli použít pro chlazení motoru vratnou vodu, je zapotřebí využít pro chlazení motoru hlavní chladicí zařízení, které je umístěno vedle technické budovy. Parametry KJ - elektrický výkon (výkon generátoru) 537 kW, tepelný výkon 648 kW, otáčky 1500 ot/min, výkon motoru 555 kW.

Vyrobená elektrická energie je vykupována distribuční sítí E.ON za předem stanovených podmínek.

Servis a výměna oleje je prováděna po 1500 provozních hodinách. Místnost je odvětrávána pomocí ventilátorů, které se regulují pomocí teploty. Dále je zde umístěno čidlo pro případ úniku metanu.



*Obr.4. 3 KJ se zážehovým motorem MWM - TCG 2016 V12 C*

Druhou místnost bychom mohli nazvat jako *hlavní – řídicí*. V této místnosti jsou umístěny zařízení, pomocí nichž můžeme obsluhovat a kontrolovat chod bioplynové stanice. Jedná se o hlavní rozvaděče a rozvaděče technologických celků, řídicí skříň agregátů, synchronní skříň, skříň silových elektrorozvodů, terminál pro zařízení a kontrolu.



Obr.4. 4 Znárodnění panelů, které slouží ke kontrole chodu BPS

*Půdní prostor* - v tomto prostoru se nacházejí výměník tepla, výfukové potrubí a chladicí zařízení a tlumiče hluku. Prostor je odvětrávaný pomocí štěrbin umístěných ve zdi. Spaliny (400 - 500°C) po předání tepla otopné vodě (cca 90°C) jsou odváděny výfukovým potrubím do atmosféry.



Obr.4. 5 Spalinový výměník s tlumiči hluku

V případě poruchy KJ je zastaveno dávkování novým substrátem a je nutné, aby byl zpracován bioplyn vyprodukovaný ve fermentační nádrži, jelikož fermentační nádrž se zásobníkem plynu pojme 660m<sup>3</sup> bioplynu (2-3 hodiny produkce plynu). Z tohoto důvodu je v blízké vzdálenosti od zásobníku plynu umístěna fléra, která slouží pro spalování nadbytečného a zbytkového množství plynu.

Vedle budovy s KJ se také nachází kiosková trafostanice, která přeměňuje střídavý proud o nízkém napětí vedených z BPS na požadované napětí, které dopravujeme do sítě.



Obr.4. 6 Trafostanice



Obr.4. 7 Fléra

#### 4.1 Měření na bioplynové stanici

Na bioplynové stanici bylo provedeno měření elektrické energie. Naměřené hodnoty jsou uvedeny tabulce *tab.4. 1*, zbylé hodnoty pro sestavení grafů a výpočtů byly převzaty ze záznamů BPS.

Tab.4. 1 Naměřené hodnoty na bioplynové stanici

Den	Vyrobená el. energie [kW/den]	Vyrobená el. energie [kW/hod]	El. energie prodaná do sítě [kW/den]	Spotřebovaná el. energie na BPS [kW/den]	Spotřebovaná el. energie ve středisku [kW/den]	Celková spotřebovaná el. energie [kW/den]
21.2.2011	9700	404,17	8170	1292	238	1530
9.3.2011	11000	458,33	9190	1476	334	1810
22.3.2011	9800	408,33	7947	1477	376	1853
5.4.2011	10900	454,17	9221	1383	296	1679

#### 4.2 Výpočet účinnosti KJ

Hodnoty KJ -  $P_{el} = 537kW$

-  $P_{tep} = 648kW$

-  $\eta = 90\%$  (10 % ztráty)

*Výpočet výhřevnosti bioplynu* – Výpočet výhřevnosti bioplynu byl převzat z firemních výpočtů firmy Johann Hochreiter s.r.o na základě doporučení Ing. Jiřího Pastorka. Tento výpočet odpovídá hodnotám uvedených v literatuře - při obsahu metanu 50-70% je výhřevnost bioplynu  $18 - 25 \text{ MJ/m}^3$  [11]

- na bioplynové stanici v Novém Městě na Moravě je průměrná obsah  $\text{CH}_4$  v bioplynu 55%
- výhřevnost  $\text{CH}_4 = 35900 \text{ KJ/m}^3$

$$Q_i^r = \text{výhřevnost} \text{CH}_4 \times \% \text{CH}_4 = 35,9 \times 0,55 = 19,7 \text{ MJ/m}^3$$

### *Výpočet množství paliva*

- po spočítání výhřevnosti můžeme vypočítat množství paliva

$$\eta = \frac{P_{el} + P_{tep}}{Q_i^r \times M_{paliva}} \Rightarrow M_{paliva} = \frac{P_{el} + P_{tep}}{Q_i^r \times \eta} = \frac{537 + 648}{19700 \times 0,9} = 0,06684 \text{ m}^3/\text{s} = 240,61 \text{ m}^3/\text{h}$$

### *Výpočet tepla dodaného v palivu*

- z již známé výhřevnosti a množství paliva můžeme spočítat teplo dodané v palivu

$$Q_{paliva} = M_{paliva} \times Q_i^r = 0,06684 \times 19700 = 1316,67 \text{ kJ}$$

### *Výpočet elektrické a tepelné účinnosti*

$$\eta_{el} = \frac{P_{el}}{Q_{paliva}} = \frac{537}{1316,67} = 0,408 = 40,8\%$$

$$\eta_{tep} = \frac{P_{tep}}{Q_{paliva}} = \frac{648}{1316,67} = 0,492 = 49,2\%$$

$$\eta_{celkova} = \frac{P_{el} + P_{tep}}{Q_{paliva}} = \frac{537 + 648}{1316,67} = 0,9 = 90\%$$

### *Výpočet elektrické účinnosti z naměřených hodnot*

- z naměřených hodnot stanovíme el. účinnost, která z hlediska prodeje elektřiny do sítě je pro přehled nejdůležitější

$$P_{1el} = 404,17 \text{ kW}, P_{2el} = 458,33 \text{ kW}, P_{3el} = 408,33 \text{ kW}, P_{4el} = 454,17 \text{ kW}$$

$$Q_{paliva}' = 1316 \text{ kJ}$$

$$\eta_{el} = \frac{P_{1el}}{Q_{paliva}} = \frac{404,17}{1316,67} = 0,307 = 30,7\%$$

$$\eta_{el} = \frac{P_{2el}}{Q_{paliva}} = \frac{458,33}{1316,67} = 0,348 = 34,8\%$$

$$\eta_{el} = \frac{P_{3el}}{Q_{paliva}} = \frac{408,33}{1316,67} = 0,310 = 31\%$$

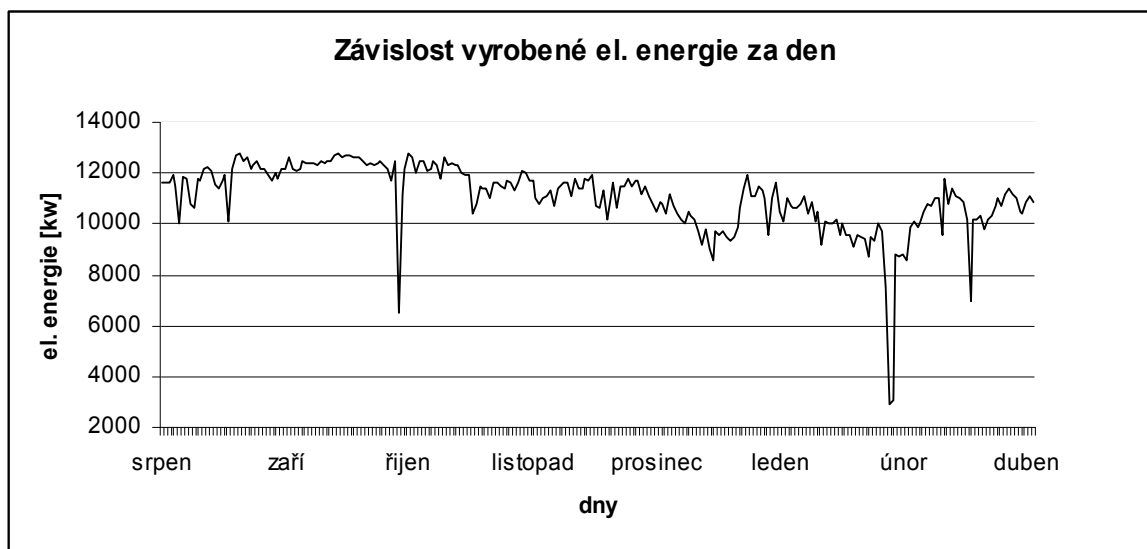
$$\eta_{el} = \frac{P_{4el}}{Q_{paliva}} = \frac{454,17}{1316,67} = 0,345 = 34,5\%$$

### 4.3 Vyjádření grafické závislosti el. energie na dnech a průměrných teplotách

Z dostupným materiálů byly sestaveny grafy elektrické energie v závislosti na dnech a průměrných denních teplotách. V *tab.4. 2* jsou znázorněny měsíční hodnoty elektrické energie v BPS v Novém Městě na Moravě.

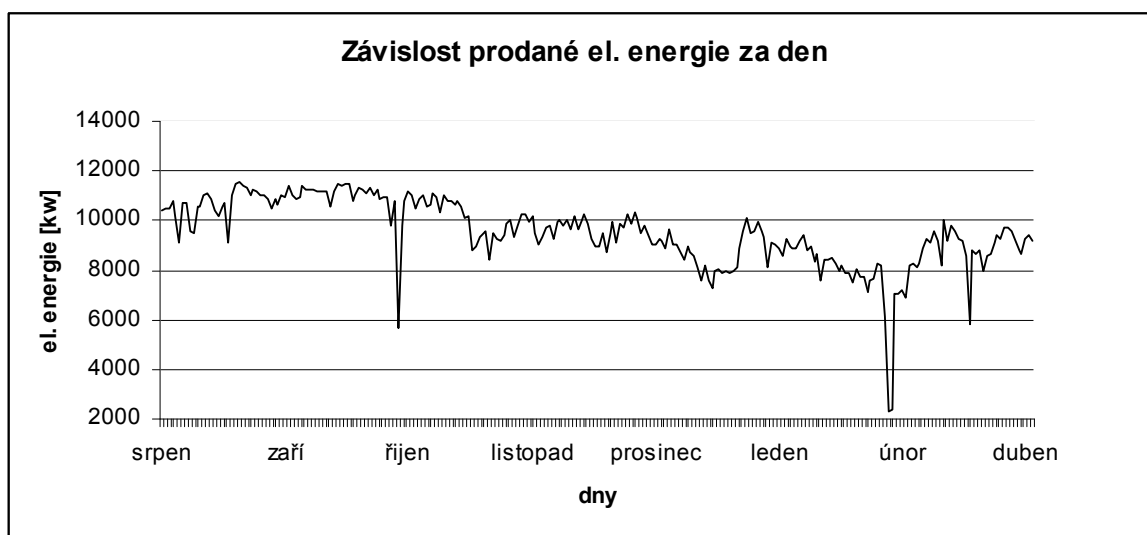
*Tab.4. 2 Přehled o výrobě, prodeji a spotřebě elektrické energie*

Měsíce	Vyrobená el. energie za [kW/měsíc]	Průměrná el. energie [kW/den]	Prodaná el. energie [kW/měsíc]	Spotřebovaná el. energie [kW/měsíc]
<b>srpen</b>	366217	11813,5	330056	36161
<b>září</b>	371700	12390	333505	38195
<b>říjen</b>	368600	11890,3	320221	48379
<b>listopad</b>	343400	11446,7	291016	52384
<b>prosinec</b>	337100	10874,2	287389	49711
<b>leden</b>	320700	10345,2	269855	50845
<b>únor</b>	253000	9035,7	207893	45107
<b>březen</b>	325900	10512,9	275824	50076
<b>duben (do 5.4.2011)</b>	53800	10760,0	45380	8420
$\Sigma$	2740417		2361139	379278



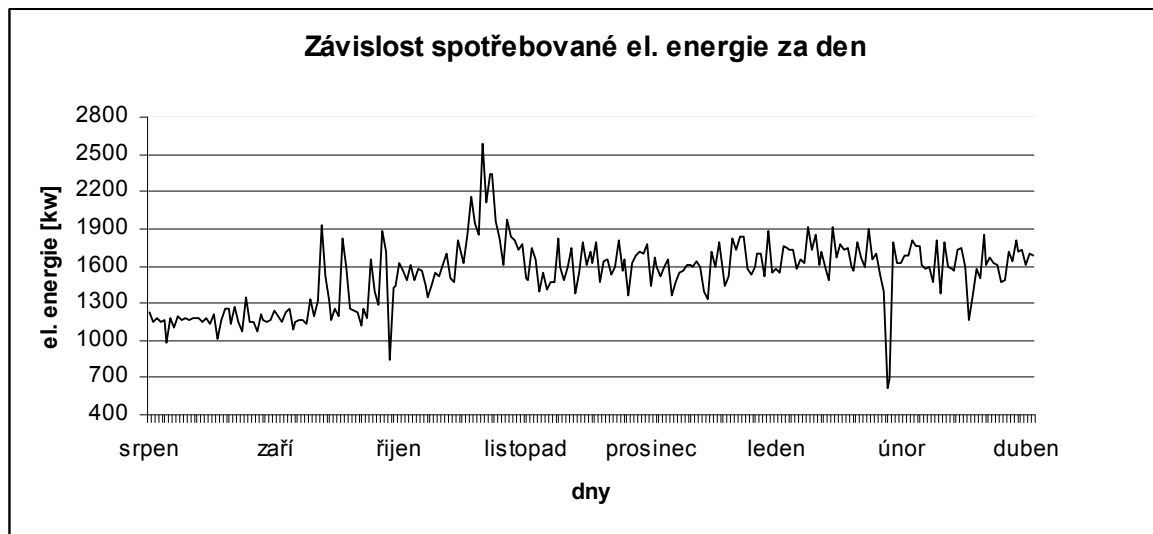
Graf 1 - Závislost vyrobené el. energie za den

Jak je vidět z *grafu 1*, největší množství vyrobené energie bylo v období prvních měsíců. Z následujících měsíců je poté zřejmé, že el. energie poklesla. Největší pokles byl v období měsíce února. Tento pokles byl zapříčiněn zhoršenou kvalitou vstupujícího substrátu (kukuřice).



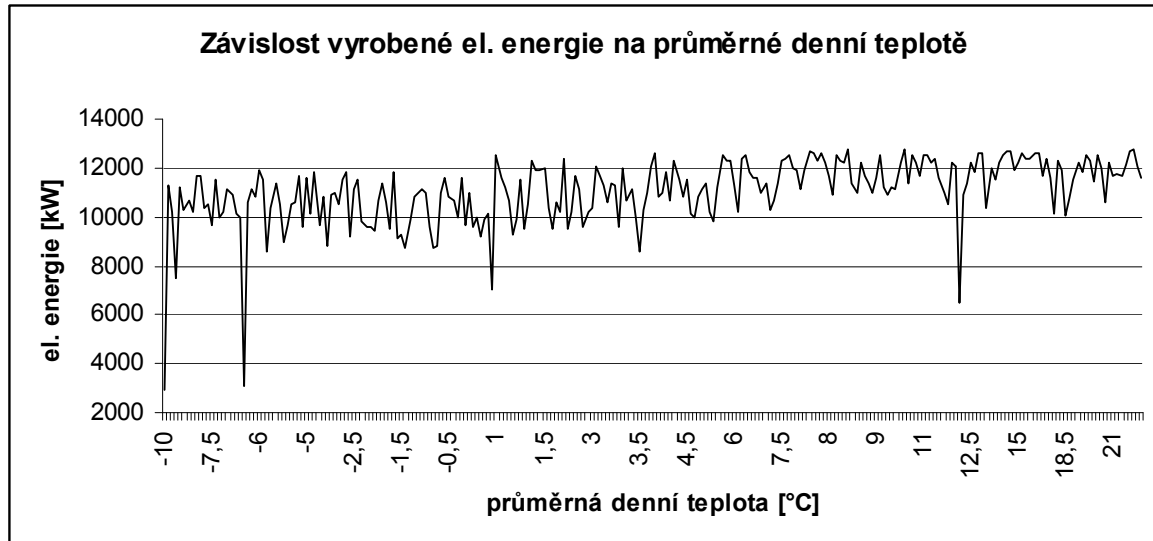
Graf 2 - Závislost prodané el. energie za den

Při srovnání *grafu 2* a *grafu 1* je zřejmé, že křivka má téměř stejný průběh. Odlišnosti křivky jsou zapříčiněny množstvím spotřebované energie viz. *graf 3*.

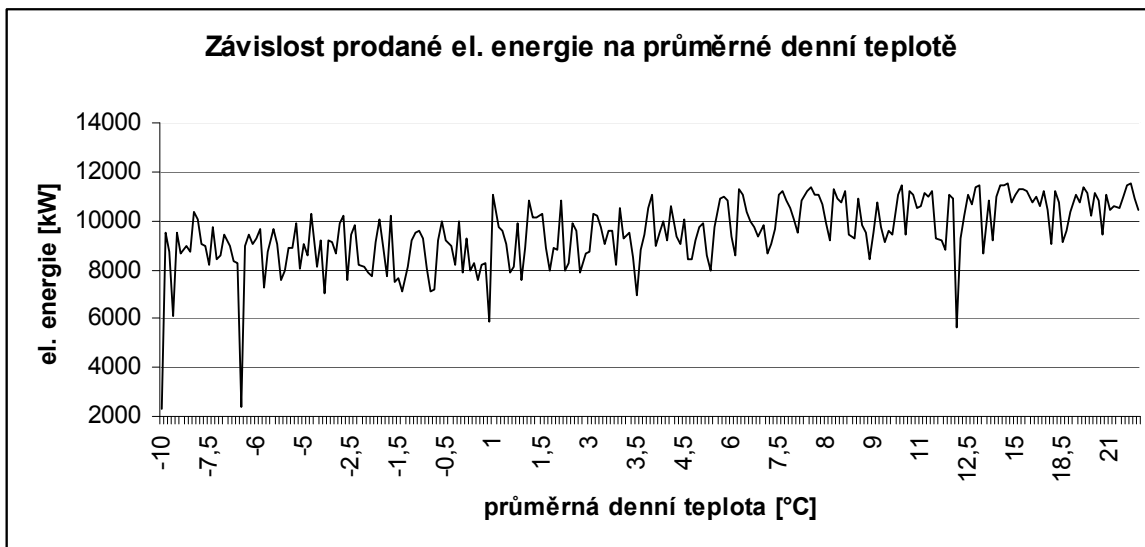


Graf 3 - Závislost spotřebované elektrické energie

Z grafu 3 je patrné, že spotřeba el. energie v prvních měsících byla velmi rozdílná, oproti posledním měsícům, kdy došlo k „částečné“ stabilizaci spotřeby el. energie.

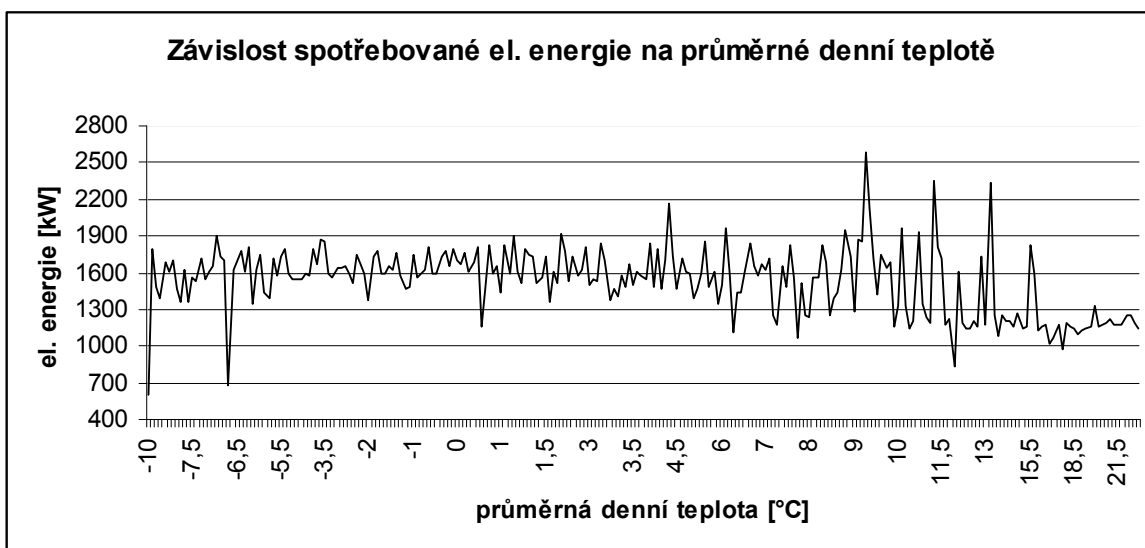


Graf 4 - Závislost vyrobené el. energie na průměrné denní teplotě



Graf 5 – Závislost prodané el. energie na průměrné denní teplotě

Z grafu 4 a grafu 5 je vidět, že se zvyšující teplotou roste i množství vyrobené a prodané el. energie.

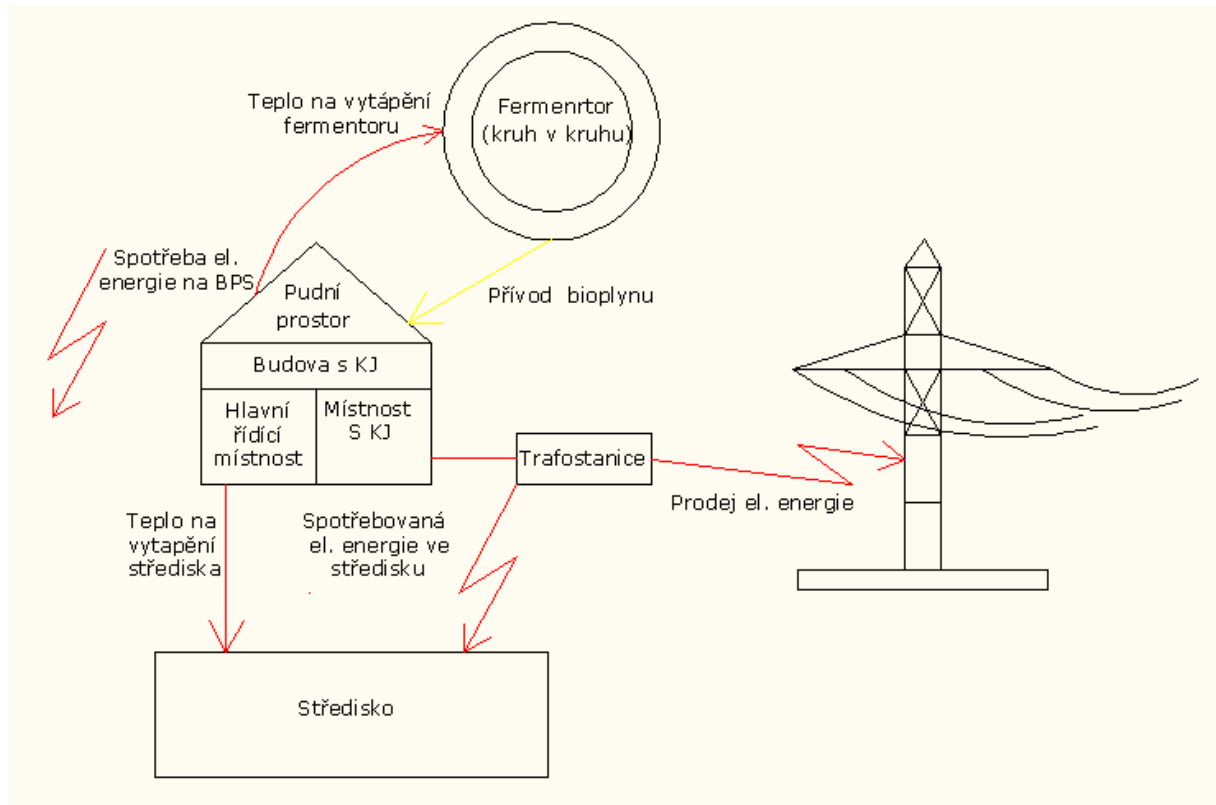


Graf 6 – Závislost spotřebované el. energie na průměrné denní teplotě

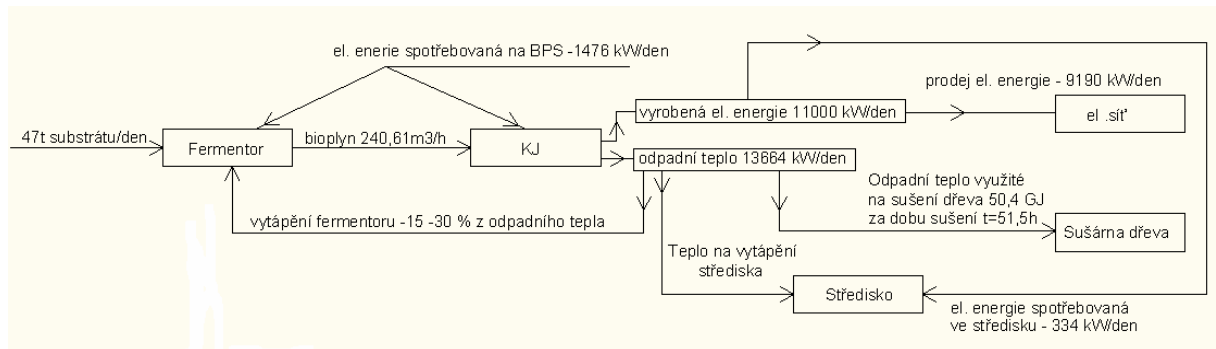
Z grafu 6 je vidět, že se zvyšující teplotou klesá i množství spotřebované energie. Dále jsi můžeme všimnout oblasti s vyššími teplotami (9-16 °C), kde dosahujeme vyšších hodnot spotřebované energie než v chladných dnech



## Kogenerace z bioplynu



Obr.4. 8 Schéma bioplynové stanice



Obr.4. 9 Schéma bioplynové stanice se znázorněnými vstupními a výstupními hodnotami

Na obr.4.8 je znázorněno schéma bioplynové stanice s hlavními budovami. Dále je zde znázorněno využití odpadního tepla a el. energie.

Na obr.4.9 je znázorněna bioplynová stanice se vstupujícími a vystupujícími hodnotami. Na začátku procesu je znázorněno množství vstupujícího substrátu do fermentoru a dále množství bioplynu, které vstupuje do KJ. Elektrická a tepelná energie, která je vyprodukována je využita pro prodej do sítě, provoz BPS, sušárnu dřeva a středisko. Uvedené hodnoty jsou převzaty z měření ze dne 9.3.2011.

## 5. Využívání odpadního tepla

V současně době je odpadní teplo BPS v Novém Městě na Moravě využíváno především k vytápění fermentoru. V zimních a chladných letních měsících je také využito pro vytápění dílen ve středisku.

I s využitím tepla pro vytápění dílen, které však není pravidelné, nám zbývá velké množství tepla, které nevyužijeme.

Jedním z možných způsobů, jak využít zbylé odpadní teplo je postavení sušárny dřeva.

Sušárna dřeva by pro BPS představovala využití zbylého odpadního tepla a rychlejší návrat investic.

### 5.1 Návrh sušárny

Sušárna bude využívána pro vysoušení dřeva a bude vytápěna odpadním teplem, které nebude využito pro ohřev fermentoru.

#### *Množství tepla, které je možno využít pro sušící proces*

Pro vytápění fermentoru budeme uvažovat o teoretické horní hranici 30 % odpadního tepla. Nebudeme uvažovat o teple pro vytápění dílen, jelikož množství tepla se neustále mění a toto teplo nelze z dostupných měření zjistit.

Pro výpočet množství vyrobeného tepla jsem vybral měsíc prosinec, kdy průměrná měsíční hodinová hodnota vyrobeného tepla byla  $P_{tep} = 563 \text{ kW}$  ( $\eta_{celková} = 77,1\%$ )

*Množství tepla pro vytápění fermentoru :*

$$Q_{fermentor} = P_{tep} \times 0,3 = 563 \times 0,3 = 169 \text{ kW}$$

*Množství tepla pro sušení dřeva*

$$Q_{sušící} = P_{tep} - Q_{fermentor} = 563 - 169 = 394 \text{ kW}$$

**Volba typu sušárny** - zvolil jsem kombinaci dvou komorových sušáren viz. *tab.5. 1*, kdy v případě vysokého využití odpadního tepla pro vytápění střediska může být menší sušárna odstavena. Dalším důvodem využití pouze jedné sušárny může být pokles účinnosti.

**Sušící proces** můžeme rozdělit na čtyři oblasti. V první oblasti probíhá ohřev na požadovanou teplotu. Doba ohřevu se zpravidla stanovuje v závislosti na síle dřeva  $1 \text{ cm} = 1 \text{ hodina}$ . V druhé oblasti probíhá samotné sušení, kdy dobu určíme z *tab.5. 2* pro jednotlivý druh a typ dřeva. Tepelný příkon pro sušení je o 40 % menší než tepelný příkon při ohřevu. Třetí oblast sušení má za úkol konečné ošetření dřeva - vyrovnání tlakových a tahových napětí a vysoušení na požadovanou vlhkost. Doba ošetření určíme z *tab.5. 3*. Nakonec musíme sušárnu ochladit na teplotu, která je max. o 30-40 °C vyšší než je teplota okolí, jelikož v případě velkého teplotního rozdílu by mohlo dojít k poškození dřeva. Důležitou vlastností také je, aby dřevo mělo stejnou sílu a vlhkost.[5]

Tab.5. 1 Parametry sušárny [12]

Druh sušárny	KSRT 1 1200	KSRT 1 1200
Objem dřeva [m <sup>3</sup> ]	60	30
Šířka [mm]	4960	4960
Hloubka [mm]	13080	6500
Výška meziprostoru [mm]	2970	2970
Tepelný příkon [kW]	308	154
Elektrický příkon [kW]	15	8



Obr.5. 1 Znárodnění komorové sušárny [12]

Tab.5. 2 Základní doba sušení pro smrkové dřevu[5]

Síla [mm]	Konečná vlhkost %	Počáteční vlhkost %							
		10	15	20	25	30	35	40	50
		Doba sušení [h]							
15	8	1,5	4	6	7,5	8,5	9,5	10,5	12
28	8	4	15	19	21,5	24,5	27	29,5	33,5
38	8	6	17	25	31	36	40,5	44	50
50	8	8,5	24,5	35,5	44,5	51,5	58	63	72

- z tabulky stanovíme pro příslušnou sílu a vlhkost dřeva doporučenou dobu sušení

Tab.5. 3 Doporučené časy pro ošetření řeziva [5]

síla dřeva [mm]								
15-18	22-24	28-32	38	45-50	60	75-80	90	100
doba ošetření dřeva [h]								
8	10	12	14	16	20	24	28	32

- z tabulky stanovíme dobu pro konečné ošetření řeziva

## 5.2 Stanovení parametrů sušárny

- z tab.5. 2 a tab.5. 3 vybereme parametry dřeva a poté stanovíme dobu sušení.

Tab.5. 4 Použité dřevo v sušárně

Druh	smrkové
Počáteční vlhkost	50 %
Konečná vlhkost	8 %
Síla	28mm

### Čas sušení dřeva [h]

doba ohřevu	3
doba sušení	33,5
doba ošetření	12
doba chlazení	4
doba manipulace	4
celková doba	$\Sigma = 56,5$

### Výpočet tepelného příkonu pro sušení a ošetření dřeva

$$1)V = 60m_3$$

$$\text{potřebný tepelný příkon } Q_{oh} = 308kW$$

$$\text{tepelný příkon pro sušení } Q_{sus} = Q_{oh} \times 0,6 = 308 \times 0,6 = 185kW$$

$$2)V = 30m_3$$

$$\text{potřebný tepelný příkon } Q_{oh} = 154kW$$

$$\text{tepelný příkon pro sušení } Q_{sus} = Q_{oh} \times 0,6 = 154 \times 0,6 = 92kW$$

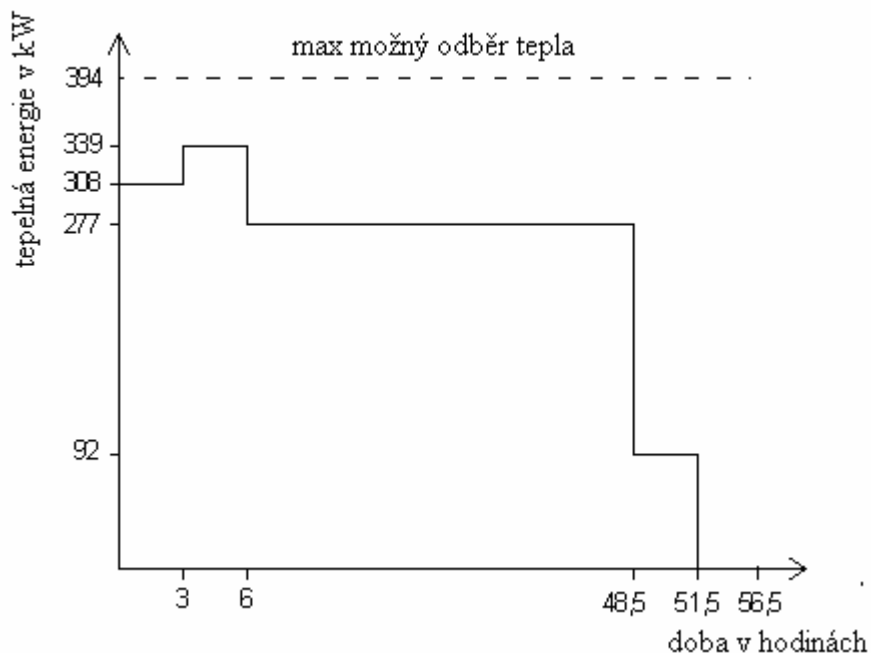
### Potřebný tepelný příkon na vysušení dřeva

- pomocí známých tepelných příkonů za danou dobu jsme vypočítali potřebné množství tepla

$$Q_{celkove} = 3 \times 308 + (6 - 3) \times 339 + (48,5 - 6) \times 277 + (51,5 - 48,5) \times 92 = 13989,5kW = 50,4GJ$$

### Grafické znázornění průběhu sušení

- pomocí známých tepelných příkonů jsme znázornily průběh sušícího procesu viz. obr. 5. 2.



Obr.5. 2 Grafické znázornění průběhu sušení

Jak je vidět z grafického znázornění průběhu sušení, mohli bychom použít i větší sušárnu s vyšším tepelným příkonem, abychom mohly využít maximální možnou tepelnou energii. Tento návrh jsem však volil s ohledem na změnu poklesu účinnosti a případné možné vytápění areálu (dílenn), kdy bychom mohly využívat obě sušárny.

### 5.3 Výpočet tepla potřebného pro odpaření vody

Ze známých hodnot vypočteme množství tepla, které nám vznikne při odpařování vody na konečnou vlhkost 8%.

- počáteční vlhkost  $w_1 = 50 \%$
- konečná vlhkost  $w_2 = 8 \%$
- objem řeziva  $V = 90 \text{ m}^3$
- hustota dřeva<sup>[13]</sup>  $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$
- výparné teplo vody  $l_{23 \text{ } 100^\circ\text{C}} = 2,257 \text{ MJ/kg}$

- počáteční sušina  $s_1 = 50 \%$
- konečná sušina  $s_2 = 92 \%$

**Výpočet hmotnosti vlhkého dřeva**

- nejprve jsi vypočteme hmotnost vlhkého dřeva, které poté budeme muset odpařit na požadovanou vlhkost

$$m = V \times \rho = 90 \times 800 = 72000 \text{ kg} = 72 \text{ t}$$

**Výpočet množství vody z 1kg vlhkého materiálu [14]**

$$m_{\text{vody}} = 1 - \frac{s_1}{s_2} = 1 - \frac{50}{92} = 0,457 \quad - \text{kolik kg vody je potřeba odsušit z 1kg vlhkého materiálu}$$

**Celkové výpočtené množství vody**

$$m_{c\text{-vody}} = m_{\text{vody}} \times m = 0,457 \times 72000 = 32904 \text{ kg}$$

**Výpočet tepla potřebného pro odpaření vody**

$$Q_c = m_{c\text{-vody}} \times l_{23\text{vody}} = 32904 \times 2,257 = 74,3 \text{ GJ}$$

Hodnota potřebného tepla pro odpaření vody vyšla vyšší než teplo, které přivedeme ve formě odpadního tepla do sušárny. Z toho vyplývá, že v letních měsících budeme moci využít celou kapacitu sušárny, oproti zimním měsícům, kdy musíme snížit max. množství řeziva na cca 66 % kapacity sušárny.

## 6. Závěr

V bakalářské práci byla zpracována problematika tvorby bioplynu, jeho zpracování a skladování. Následně byl popsán princip odsíření a odloučení kondenzátu. Poté byly znázorněny možnosti energetického využití bioplynu a možnost využití odpadního tepla. Dále byla popsána bioplynová stanice v Novém Městě na Moravě a názorný příklad využití odpadního tepla.

Na konkrétní bioplynové stanici v Novém Městě na Moravě byly provedeny měření vyrobené, prodané a spotřebované elektrické energie. Z naměřených hodnot byla vypočtena elektrická účinnost, která byla o 6-10 % menší než max. možná elektrická účinnost. Z naměřených hodnot a záznamů bioplynové stanice byly sestaveny grafy závislosti vyrobené, prodané a spotřebované elektrické energie na dnech a průměrných denních teplotách. Při srovnání grafů v závislosti na dnech je zřejmé, že největší množství vyrobené el. energie bylo v prvních měsících. V těchto měsících byla však i nejmenší hodnota spotřebované elektrické energie. Naproti tomu v posledních měsících došlo k poklesu vyrobené elektrické energie. Následek poklesu byl zapříčiněn kvalitou vstupujícího substrátu. Množství prodané elektrické energie bylo ovlivněno hodnotou vyrobené a spotřebované el. energie. Z grafu vyrobené a prodané el. energie je však zřejmé, že křivka má téměř stejný průběh. V závislosti vyrobené, prodané a spotřebované elektrické energie je vidět, že se zvyšující teplotou roste i množství vyrobené a prodané el. energie.

Pro optimalizaci bioplynové stanice byla navržena sušárna dřeva. Tato sušárna by měla využívat odpadní teplo, které v současné době je nevyužité. Toto řešení by pro bioplynovou stanici mohlo být perspektivní. Samotná bioplynová stanice by mohla vystavět sušárnu dřeva a prodávat již vysušené dřevo, a nebo prodávat odpadní teplo jiné společnosti, která by vlastnila sušárnu. Výstavba bioplynové stanice je podle mého názoru velmi dobrým krokem do budoucna jak z hlediska podpory obnovitelných zdrojů, tak stabilizaci příjmů zemědělských družstev.

## 7. Seznam použitých zkratk a symbolů

Veličina	Název	Jednotky
BPS	Bioplynová stanice	-
KJ	Kogenerační jednotka	-
KVET	Kogenerace, neboli kombinovaná výroba elektriny a tepla	-
$l_{23}$	Výparné teplo vody	kJ/kg
$m$	Hmotnost vlhkého dřeva	kg
$m_{c-vody}$	Celkový výpočet množství vody	kg
$m_{vody}$	Množství vody z 1 kg vlhkého materiálu	kg
$M_{paliva}$	Množství paliva	m <sup>3</sup> /h
ORC	Organický Rankinův cyklus	-
$P_{el}$	Elektrický výkon	kW
$P_{tep}$	Teplený výkon	kW
$Q_c$	Teplo vzniklé při odpaření vody	J
$Q_{celkove}$	Tepelný příkon na vysušení dřeva	kW
$Q_{fermentor}$	Množství tepla pro vytápění fermentoru	kW
$Q_i^f$	Výhřevnost	kJ/m <sup>3</sup>
$Q_{oh}$	Potřebný tepelný příkon	kW
$Q_{paliva}$	Množství paliva	kJ
$Q_{sus}$	Tepelný příkon pro sušení	kW
$Q_{sušící}$	Množství tepla pro sušení dřeva	kW
$\Delta Q_{paliva}$	Úspora paliva	%
$s_1$	Počáteční sušina	%
$s_2$	Konečná sušina	%
$V$	Objem řeziva	m <sup>3</sup>
$w_1$	Počáteční vlhkost	%
$w_2$	Konečná vlhkost	%
$\eta$	Účinnost	-
$\eta_{el}$	Elektrická účinnost	-
$\eta_{tep}$	Tepelná účinnost	-
$\eta_{celkova}$	Celková účinnost	-
$\rho$	Hustota	kg/m <sup>3</sup>



---

## 8. Seznam použité literatury

- [1] František Straka a autorský kolektiv; Kniha Bioplyn - příručka pro projekci a provoz bioplynových systémů; Praha 2006; ISBN 80-7328-090-6
- [2] Heinz Schulz, Barbara Eder; Bioplyn v praxi Teorie – projektování – stavba zařízení – příklady; Hel, Ostrava 2004; ISBN 80-86167-21-6
- [3] Průvodce výrobou a využitím bioplynu; vydal CZ Biom – České sdružení pro biomasu 2009. [cit. 5.4.2011] Dostupné z <[http://www.mpo-efekt.cz/dokument/99\\_8062.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/dokument/99_8062.pdf)>
- [4] Historie a perspektivy OZE - bioplyn. Zveřejněno dne : 4.5.2009 [cit. 23.4.2011] Dostupné z <<http://energie.tzb-info.cz/biomasa/5610-historie-a-perspektivy-oze-bioplyn>>
- [5] Zlepšení ekonomie provozu kogeneračních jednotek využitím doprovodných technologií pro zrovnoměnění ročního odběru tepla – vydala Česká energetická agentura Praha 2. [cit. 15.4.2011]. Dostupné z <[http://www.mpo-efekt.cz/dokument/99\\_8062.pdf](http://www.mpo-efekt.cz/dokument/99_8062.pdf)>
- [6] Čtyřdobý zážehový motor. [cit. 18.4.2011]. Dostupné z [http://dragon.web2001.cz/fyzika/tepelnestroje/ctyrdoby\\_zazehovy\\_01.htm](http://dragon.web2001.cz/fyzika/tepelnestroje/ctyrdoby_zazehovy_01.htm)
- [7] Turbodmychadlo. [cit. 18.4.2011]. Dostupné z <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Turbodmychadlo>>
- [8] Stirlingův motor. [cit. 23.4.2011]. Dostupné z <<http://stirlinguv-motor.navajo.cz/>>
- [9] Biomasa - efektivní palivo pro ORC technologii. Zveřejněno dne 11.4.2005 [cit. 23.4.2011]. Dostupné z <<http://www.tzb-info.cz/2455-biomasa-efektivni-palivo-pro-orc-technologie>>
- [10] Palivové články. [cit. 23.4.2011]. Dostupné z <[http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env\\_fyzika/EF\\_15.pdf](http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_15.pdf)>
- [11] Bioplyn.zde.cz. [cit. 24.4.2011]. Dostupné z <<http://stary.biom.cz/publikace/bioplyn.html>>
- [12] Kartes – Komorové sušárny. [cit. 28.4.2011]. Dostupné z <<http://www.katres.cz/produkty/susarny-reziva/komorove-susarny>>
- [13] Dřevo – přehled základních vlastností [cit. 28.4.2011]. Dostupné z <[http://stary.biom.cz/clen/jso/a\\_drevo.html](http://stary.biom.cz/clen/jso/a_drevo.html)>
- [14] PAWLICA, Petr: Sušení odpadním teplem z bioplynové stanice. *Biom.cz* [online]. Zveřejněno dne 24.5.2010 [cit. 28.4.2011]. Dostupné z : <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/suseni-odpadnim-teplem-z-bioplynovy-stance>>. ISSN: 1801-2655.