

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Kombinovaná výroba elektřiny a tepla**

**vedoucí: Prof. Ing. Jan Mühlbacher, CSc.**

**autor: Bc. Ondřej Najman**

**2012**



## **Anotace**

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na kogenerační jednotky využívající pro výrobu elektrické a tepelné energie plyných paliv.

Dále se práce zabývá bioplynovou elektrárnou s návrhem na využití jejího odpadního tepla.

## **Klíčová slova**

Kogenerace, elektrická energie, tepelná energie, účinnost, bioplyn, bioplynová elektrárna, fermentor, odpadní teplo.

## **Abstract**

The diploma thesis presents combined heat and power systems which use gas fuels for production of these two forms of energy.

Then it deals with bio-gas power station and focuses on its waste heat utilization.

## **Key words**

Cogeneration, electrical energy, thermal energy, biogas, bio-gas power station, fermenter, efficiency, waste heat.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

V Plzni dne 9.5.2012

Ondřej Najman

.....

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu Prof. Ing. Janu Mühlbacherovi, CSc. a konzultantovi Ing. Františku Vitákovi za metodické vedení práce, cenné profesionální rady, ochotu a čas strávený při konzultacích.

Dále bych chtěl poděkovat pracovníkům bioplynové elektrárny ve Vejprnicích a Plzeňské teplárenské za jejich čas, poskytnuté informace a umožnění praktického náhledu na danou problematiku.

# Obsah

<b>OBSAH.....</b>	<b>7</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>10</b>
<b>1 KOMBINOVANÁ VÝROBA ELEKTŘINY A TEPLA .....</b>	<b>12</b>
1.1 VÝHODY .....	13
1.2 POUŽITÍ RŮZNÝCH DRUHŮ PLYNŮ .....	14
<b>2 VELKÉ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY .....</b>	<b>15</b>
2.1 KJ SE SPALOVACÍ TURBÍNOU.....	15
2.1.1 <i>Vliv na životní prostředí</i> .....	16
2.1.2 <i>Spolehlivost</i> .....	16
2.1.3 <i>Účinnost:</i> .....	16
2.1.4 <i>Částečné zatížení</i> .....	17
2.2 PAROPLYNOVÁ KJ .....	17
2.2.1 <i>Účinnost</i> .....	18
<b>3 MALÉ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY .....</b>	<b>19</b>
3.1 MIKROTURBÍNY .....	19
3.1.1 <i>Vliv na životní prostředí</i> .....	19
3.1.2 <i>Spolehlivost</i> .....	19
3.1.3 <i>Účinnost</i> .....	20
3.1.4 <i>Částečné zatížení</i> .....	20
3.2 KJ SE SPALOVACÍMI MOTORY .....	20
3.2.1 <i>Vliv na životní prostředí</i> .....	21
3.2.2 <i>Spolehlivost</i> .....	22
3.2.3 <i>Účinnost:</i> .....	22
3.2.4 <i>Částečné zatížení</i> .....	22
3.3 STIRLINGŮV MOTOR .....	23
3.3.1 <i>Vliv na životní prostředí</i> .....	24
3.3.2 <i>Spolehlivost</i> .....	24
3.3.3 <i>Účinnost:</i> .....	24
3.3.4 <i>Částečné zatížení</i> .....	25
3.4 PALIVOVÉ ČLÁNKY .....	26
3.4.1 <i>Vliv na životní prostředí</i> .....	26
3.4.2 <i>Spolehlivost</i> .....	27
3.4.3 <i>Účinnost</i> .....	27
3.4.4 <i>Částečné zatížení</i> .....	27
<b>4 POROVNÁNÍ KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK.....</b>	<b>28</b>
<b>5 BIOPLYNOVÁ STANICE VEJPRNICE .....</b>	<b>30</b>
5.1 BIOPLYNOVÉ STANICE - PŘEHLED .....	30
5.1.1 <i>Zemědělské bioplynové stanice</i> .....	31
5.1.2 <i>Průmyslové bioplynové stanice</i> .....	31
5.1.3 <i>Komunální bioplynové stanice</i> .....	32
5.2 BIOPLYNOVÁ ELEKTRÁRNA VEJPRNICE .....	32
5.2.1 <i>Uspořádání</i> .....	32
5.2.2 <i>Dávkování</i> .....	33
5.2.3 <i>Odsíření</i> .....	34
5.2.4 <i>Spalovací proces</i> .....	34

---

5.2.5	<i>Velín</i> .....	34
<b>6</b>	<b>MOŽNOSTI VYUŽITÍ ODPADNÍHO TEPLA</b> .....	<b>35</b>
6.1	VYTÁPĚNÍ, OHŘEV TEPLÉ UŽITKOVÉ VODY .....	35
6.2	SUŠIČKY .....	36
6.2.1	<i>Sušení digestátu</i> .....	36
6.2.2	<i>Sušení rostlinných výrobků</i> .....	37
6.2.3	<i>Sušení dřevní štěpky a pilin</i> .....	38
6.2.4	<i>Sušení dřeva</i> .....	38
6.3	ABSORPČNÍ CHLAZENÍ .....	38
6.4	ORC .....	40
<b>7</b>	<b>NÁVRH KONKRÉTNÍHO ŘEŠENÍ</b> .....	<b>41</b>
7.1	VYTÁPĚNÍ.....	41
7.2	CHLAD.....	42
7.3	SUŠIČKY .....	42
7.4	ORC .....	43
7.5	TEPELNÝ VÝMĚNÍK.....	44
	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>45</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>46</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>47</b>
	<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>48</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>48</b>



## **Úvod**

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na kogenerační výrobu. V první části práce je uveden přehled a popis možností kogenerace s ohledem na použitý druh plynu.

Dále se práce zabývá bioplynovou elektrárnou ve Vejprnicích a možnostmi využití odpadního tepla.

V poslední části je návrh konkrétního řešení s investičními náklady a dobou návratnosti.

## Seznam použitých symbolů a zkratek

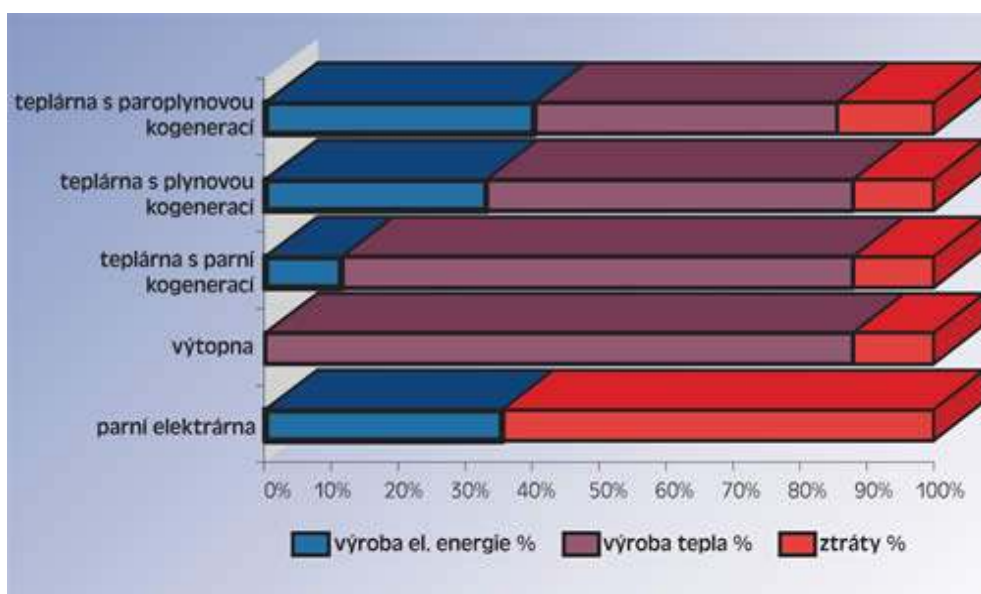
$e [-]$ .....	teplárenský modul
$E [W]$ .....	vyrobená elektrická energie
$Q_d [W]$ .....	využitá tepelná energie
$Q_{pal} [W]$ .....	energie přivedená v palivu.
$\eta_{tep} [-]$ .....	teplárenská účinnost
$\eta_{PPZ} [-]$ .....	celková tepelná účinnost tepelného zdroje
$\eta_{kot} [-]$ .....	účinnost kotle na odpadní teplo
$\eta_{ST} [-]$ .....	účinnost spalovací turbíny nebo spalovacího motoru
$\eta_{upal} [-]$ .....	účinnost úpravy paliva
$\eta_{vpal} [-]$ .....	účinnost využití paliva
$\eta_E^{PJ} [-]$ .....	účinnost primární jednotky
$\eta_{uE} [-]$ .....	účinnost úpravy elektrického proudu
$e_{PPZ} [-]$ .....	modul teplárenské výroby elektrické energie tepelného zdroje
$e_{PT} [-]$ .....	modul teplárenské výroby elektrické energie parní turbíny
$\varphi [-]$ .....	poměr teplot v kompresním a expanzním prostoru
$\varepsilon [-]$ .....	kompresní poměr
$\chi [-]$ .....	Poissonova konstanta
$M_1, M_2 [kg/s]$ .....	hmotnostní průtok ohřívající a ohřívané látky
$c_1, c_2 [kJ/kgK]$ .....	měrná tepelná kapacita ohřívající a ohřívané látky
$t_{11}, t_{12} [^{\circ}C]$ .....	teplota ohřívající látky na vstupu a výstupu
$t_{21}, t_{22} [^{\circ}C]$ .....	teplota ohřívané látky na vstupu a výstupu
ERÚ.....	Energetický regulační úřad
StM.....	Stirlingův motor
BPS.....	bioplynová stanice
BPE.....	bioplynová elektrárna
KJ.....	kogenerační jednotka
NO <sub>x</sub> .....	oxid dusíku
CO.....	oxid uhelnatý
CO <sub>2</sub> .....	oxid uhličitý
TUV.....	teplá užitková voda
ORC.....	Organický Rankinův cyklus

CH <sub>4</sub> .....	metan
H <sub>2</sub> S.....	sirovodík
O <sub>2</sub> .....	kyslík

## 1 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla se též nazývá kogenerace (z anglického výrazu co-generation). Je to velice účinný způsob ve využívání tepla z primárního zdroje, který by při samotné výrobě elektřiny zůstal nevyužito.

Ve velkých elektrárnách se využije cca 30% (u moderních až 42%) energie, kterou obsahuje palivo. Zbýlý podíl je pomocí chladících věží odváděn bez veškerého užitku do ovzduší. Naopak ve výtopnách a kotelnách se produkuje pouze teplo, byť by se daly využít i k výrobě elektrické energie. Teplárny na rozdíl od klasických elektráren odpadní teplo využívají a jsou jím vytápěny blízké i vzdálené objekty. Pokud je to potřeba, lze vyrábět vedle elektrické energie a tepla též chlad. Systémy, které vyrábějí tyto tři různé formy energií se nazývají trigenerace.



Obr. 1.1 srovnání tepláren, výtopny a elektrárny

Základní účely využití energií jsou technologické procesy a zlepšení životních podmínek. Ty mohou být využity v podnikání či pro vlastní potřebu. Nejvíce se kogenerační jednotky instalují v městských a průmyslových teplárnách, bioplynových stanicích, spalovnách odpadu, někdy i v nemocnicích, hotelech apod.

Dle velikosti výkonu, možnosti finančních prostředků a účelu zařízení se v kogeneračních jednotkách používá pro pohon generátorů nejčastěji spalovací motory na zemní plyn, méně často pak parní či spalovací turbíny.

Vymezím některé základní pojmy, které jsou používány dále v popisu některých kogeneračních jednotek:

- Teplárenský modul

Tato veličina vyjadřuje poměr mezi vyrobenou elektrickou energií a tepelnou. Vzhledem k tomu, že elektřina je snadno transformovatelný druh energie a je snadno dopravitelná i na velkou vzdálenost, je snaha o co nejvyšší hodnotu teplárenského modulu.

$$e = \frac{E}{Q_d} [-] \quad (1.1)$$

Kde:

$E$  – vyrobená elektrická energie

$Q_d$  – využitá tepelná energie

- Účinnost

Účinnost je podíl energie vyrobené ku energii obsažené v palivu.

$$\eta_{tep} = \frac{E + Q_d}{Q_{pal}} [-] \quad (2.2)$$

Kde:

$E$  – vyrobená elektrická energie

$Q_d$  – využitá tepelná energie

$Q_{pal}$  – energie přivedená v palivu

## 1.1 Výhody

Jak již bylo řečeno, kogenerační jednotky využívají odpadní teplo, které v elektrárnách jde nazmar a na rozdíl od výtopen zase vyrábějí elektrickou energii. Dospějeme tím k výraznému zvýšení účinnosti, než je tomu při oddělené výrobě těchto energií. Na obrázku 1.1 je ukázáno porovnání účinnosti tepláren, elektráren a výtopen. Vzhledem k tomu, že je palivo daleko lépe využito, použijeme ho méně a tudíž i snížíme emise škodlivých látek. S tím souvisí i ekonomické hledisko. Další výhodou je přispění kogeneračních jednotek k decentralizaci výroby elektřiny a tím i ke zvýšení bezpečnosti dodávky. V případě vlastní spotřeby elektřiny a tepla se také vyhneme ztrátám přenosem.

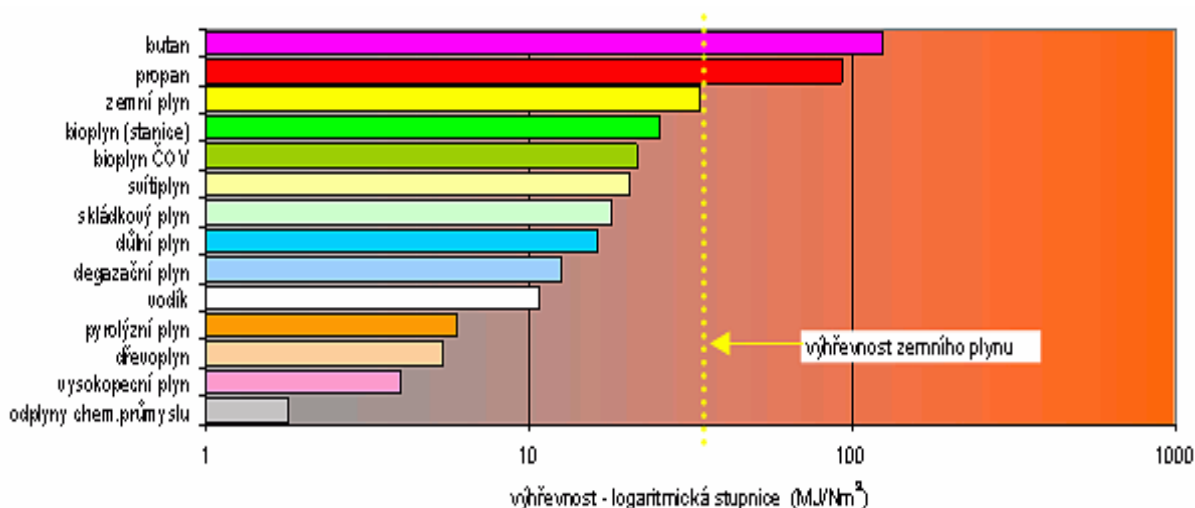
Shrnutí výhod kombinované výroby elektřiny a tepla:

- Úspora primárních zdrojů – paliva se ušetří cca o 40% oproti oddělené výrobě. Z ekonomického hlediska jsou náklady uživatele za stejné množství energie jen 60%.
- Menší náklady na nákup – ze stejného objemu primárních zdrojů se vyrobí téměř dvojnásobek energie. Část se může prodávat a opět tím snižovat náklady.
- Úspora při distribuci – Kogenerační jednotky jsou většinou stavěny přímo u spotřebitelů, tudíž není nutné vynakládat velké finanční prostředky, které by byly způsobeny při rozvodu na velké vzdálenosti. Tepelná energie je využita na ohřev teplé užitkové vody, vytápění nebo v technologické výrobě
- Ekologie provozu – při 40% úspoře primárních zdrojů, vzniká podobně méně spalin a nezatěžuje se tolik životní prostředí.
- Trigenerace – v některých systémech je možné teplo použít i na výrobu chladu pomocí absorpčního výměníku. Chlad je možné využít v technologických odvětvích nebo pro klimatizování objektů

## 1.2 Použití různých druhů plynů

Nyní se zaměřím na plyny, používané v kogeneračních jednotkách. Nejvíce se využívá pro tyto účely plyn zemního. V dnešní době je však podíl výroby ze zvláštních plynů (především bioplyn) daleko vyšší než v minulosti, a to zejména díky zákonu o obnovitelných zdrojích a státní podpoře.

Tento zákon (180/2005 Sb) podporuje využívání prostředků z obnovitelných zdrojů v závislosti na ochranně životního prostředí. Plyn se dá získat jak v přírodě, tak i v průmyslových odvětvích. Nejdůležitější vlastností plynu při použití v energetice je jeho výhřevnost. Ta je nejnižší u plynů pocházejících z chemické výroby. Výhřevnost jednotlivých plynů je znázorněna na následujícím obrázku (1.2). Obecně lze ale říci, že se pohybuje ve velkém rozsahu, dle chemického složení a způsobu výroby, a výrazně se zvyšuje v závislosti na obsahu uhlíku. U zemního plynu činí tato hodnota cca  $34 \text{ MJ/m}^3$  (zhruba  $10 \text{ kWh/m}^3$ ) a jelikož je nejčastější, jsou s ním ostatní druhy srovnávány. Kapalné plyny (propan a butan) se příliš v kogeneraci nevyužívají.



Obr. 1.2 porovnání výhřevnosti plynů

Důležité postavení mezi spalovanými plyny zaujímá bioplyn a to jak kvůli zmiňovanému zákonu o obnovitelných zdrojích, tak kvůli dobré výhřevnosti a častému výskytu.

Je to z 60-70% metan, ze 30-40% oxid uhličitý, 0,1-1 % jsou příměsi dalších plynů (vodík a sirovodík) a vytváří se pomocí metanogenních bakterií. Tyto bakterie negativně reagují na přítomnost kyslíku a proto musí být zajištěno anaerobní prostředí (bez přístupu vzduchu). Bioplyn vzniká například v bažinách, skládkách odpadů, ve stokách a podobně. Bioplyn má zhruba 65% procentní výhřevnost oproti čistému metanu a proto může fungovat jako dobrá náhrada za fosilní paliva.

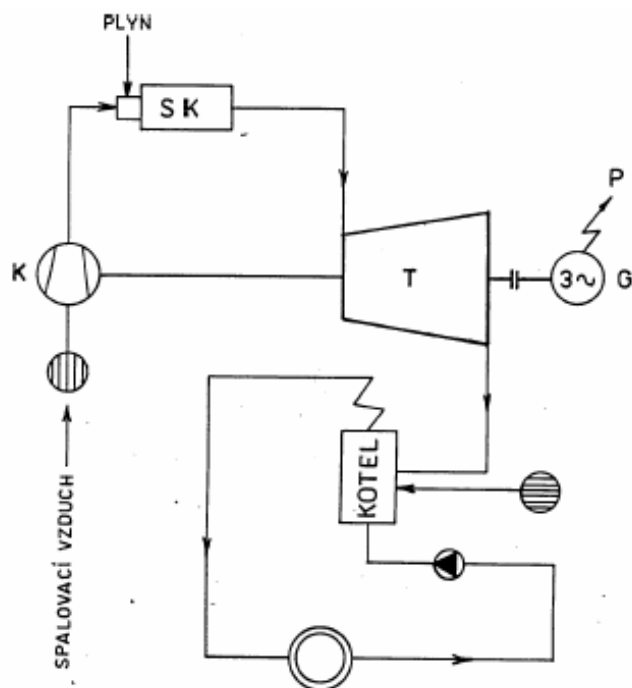
## 2 Velké kogenerační jednotky

Velké kogenerační jednotky jsou využívány převážně u měst a v průmyslových podnicích. Výkon těchto systémů se pohybuje od stovek kW až několika MW.

### 2.1 KJ se spalovací turbínou

Tento systém je vhodný při výkonu nad 10 MW. Výrobu elektrické energie zajišťuje soustrojí spalovací turbína – generátor. Z turbíny proudí spaliny do spalínového kotle. Kotel pak využívá odpadní teplo ve formě páry, horké či teplé vody. Někdy se dají spaliny využít přímo v průmyslu, například na vytápění rotačních pecí. Do spalovací komory je ještě potřeba dodávat vzduch. To je zajištěno kompresorem zapojeným na společné hřídeli s turbínou.

Plyn ústící do spalovací komory má vstupní přetlak 1,5-2,5 Mpa. Spaliny vystupující z turbíny mají teplotu 450-600 °C a mohou se dále využít o těchto parametrech, nebo jsou ještě ohřívány v plynovém hořáku až na teplotu 900 °C. Systém je ještě vybaven výfukem spalin, který se otevírá pouze při najíždění či při dočasném snížení odběru tepelné energie.



Obr. 2.1 schéma uspořádání KJ se spalovací turbínou

### 2.1.1 Vliv na životní prostředí

Tato zařízení produkují emise  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  a  $\text{CO}_2$ . Turbíny jsou velice hlučné a je tedy nutné použít protihlukové bariéry. Přesto se plynové turbíny řadí z energetických zařízení využívající přírodní suroviny k nejšetrnějším k životnímu prostředí.

### 2.1.2 Spolehlivost

Kontrola parametrů turbíny se provádí cca po 4 tis. hodinách provozu. Sleduje se stav ložisek, rotoru a lopatek. Generální servis se provádí po 25 – 50 tis. hodinách provozu. Životnost plynových turbín se odvíjí od kvality lopatek a jejich pravidelné výměny.

### 2.1.3 Účinnost:

Vzorec pro výpočet tepelné účinnosti vychází ze stavové rovnice pro ideální plyny a vypadá následovně:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\chi-1}} [-] \quad (2.1)$$

$\varepsilon$  - kompresní poměr [-]

$\chi$  - poissonova konstanta [-]

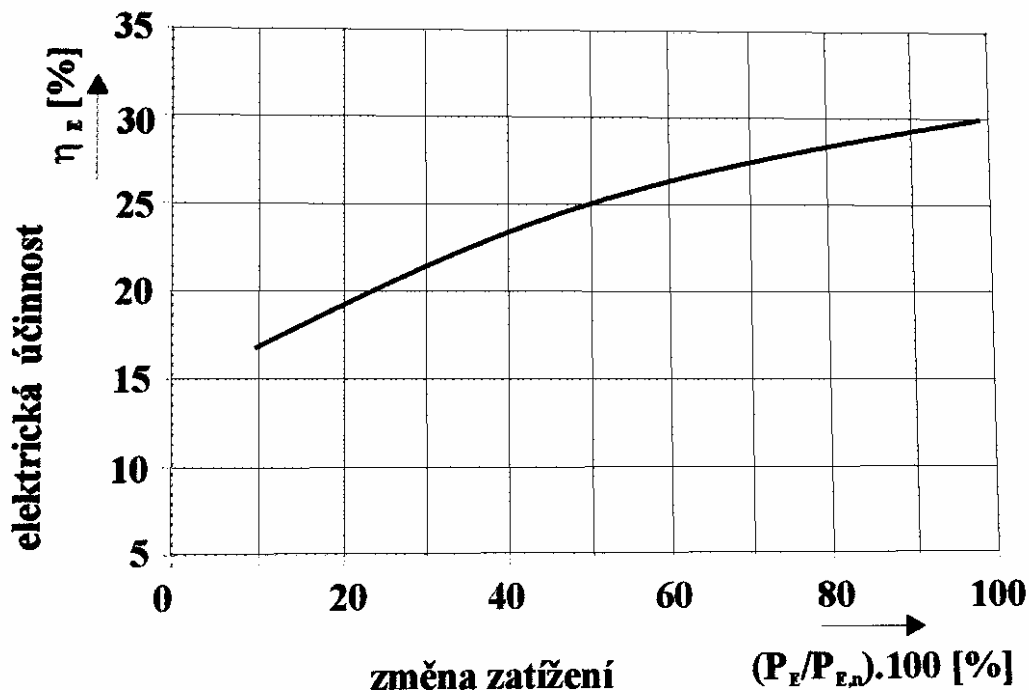
Elektrická účinnost u systémů se spalovací turbínou se pohybuje mezi 25 a 48 %. Tepelná účinnost činí 40-60 %. Účinnost celková má pak hodnotu mezi 75-90 %.



### 2.1.4 Částečné zatížení

Regulace výkonu plynové turbíny se provádí množstvím přiváděného plynu. Při nižším zatížení klesá elektrická účinnost.

Pokles účinnosti v závislosti na snížení zatížení je téměř lineární.

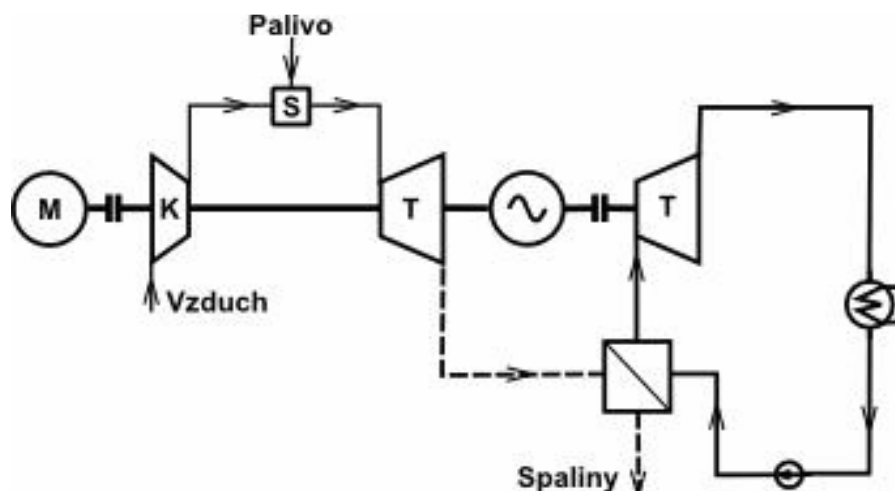


Obr. 2.2 Vliv změny zatížení na účinnost plynové turbíny [4]

## 2.2 Paroplynová KJ

Tento typ tepláren i elektráren je v dnešní době nejdokonalejším systémem pro energetické účely. Transformace energie tepelné na mechanickou je prováděno ve dvou okruzích řazených za sebou. Palivo je nejprve spalováno ve spalovací komoře turbosoustrojí. Část energie se přemění tímto na elektrickou a poté není odpadní teplo vypouštěno do okolí, ale je použito v parním okruhu. Parní okruh používá nižší teplotu a proto je energie ze spalin ještě dostačující pro opětovnou výrobu elektřiny. Tepelná energie, nevyužitá v parním okruhu slouží jako užitková (ohřev TUV, vytápění).

Nejmodernější plynové turbíny mají ve spalovací komoře teplotu až 1400°C. Při vyšších výkonech se parní oběh dělá ve dvou i třech stupních, protože by jinak vznikaly výrazné ztráty tepelným sdílením při značném teplotním spádu na kotli.



Obr. 2.3 schéma uspořádání paroplynové KJ

### 2.2.1 Účinnost

Paroplynový zdroj si klade za cíle dosáhnout co největší účinnosti a co největší výroby elektrické energie.

Výpočet účinnosti a modulu teplotěnské výroby:

$$\eta_{PPZ} = (1 - \eta_{ST})\eta_{KOT} + \eta_{ST} [-] \quad (2.2)$$

$$e_{PPZ} = (1 - e_{PT}) \frac{\eta_{ST}}{(1 - \eta_{ST})\eta_{KOT}} + e_{PT} [-] \quad (2.3)$$

Kde:

$\eta_{PPZ}$  - celková tepelná účinnost tepelného zdroje

$\eta_{kot}$  - účinnost kotle na odpadní teplo

$\eta_{ST}$  - účinnost spalovací turbíny nebo spalovacího motoru

$e_{PPZ}$  - modul teplotěnské výroby elektrické energie tepelného zdroje

$e_{PT}$  - modul teplotěnské výroby elektrické energie parní turbíny

Modul teplotěnské výroby dosahuje hodnoty 0,8 při dodávání tepla v podobě páry a až 1,4 při dodávání horké vody. Elektrická účinnost se pohybuje mezi 35-60%, celková tepelná potom 85-90%.

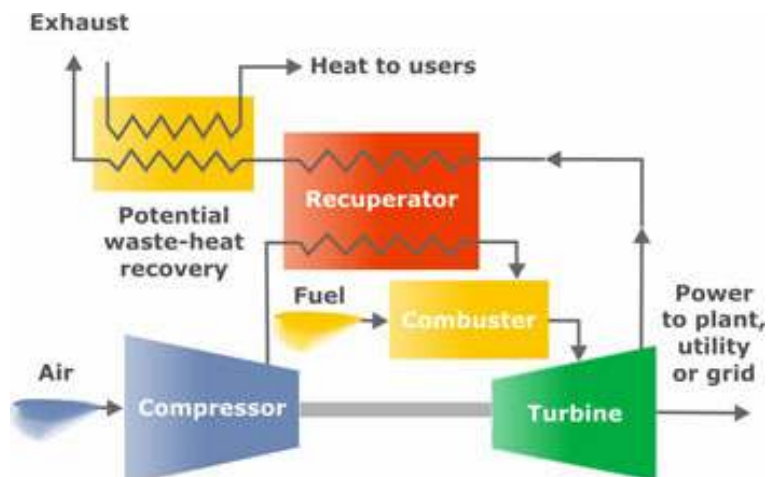
### 3 Malé kogenerační jednotky

Nejčastěji se používají jednotky o relativně nízkém výkonu o desítkách až stovkách kW. Běžně se používají primární jednotky s pístovým spalovacím motorem.

#### 3.1 Mikroturbíny

Podle ekonomických rozborů se v minulosti považovaly mikroturbíny (turbíny o výkonu menším než 1MW) za neekonomické. V dnešní době šel však vývoj velmi kupředu především v materiálové oblasti a jsou vyrobeny mikroturbíny i o výkonu 25KW. Jedná se o malé kompaktní stroje s vysokými otáčkami, které obsahují spalovací komoru, regenerační výměník, kompresor, generátor a turbínu. Dodávají energii do sítě prostřednictvím frekvenčního měniče.

Kogenerační jednotky s mikroturbínami se zapojují podobně jako spalovací turbíny. V porovnání se spalovacími motory jsou menší a jejich provozní a pořizovací náklady jsou nižší.



Obr. 3.1 schéma uspořádání KJ s mikroturbínou

##### 3.1.1 Vliv na životní prostředí

Mikroturbíny produkují emise  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$  a  $\text{CO}_2$  a nespálené uhlovodíky. Hlučnost je u těchto zařízení výrazně nižší než u plynových turbín.

##### 3.1.2 Spolehlivost

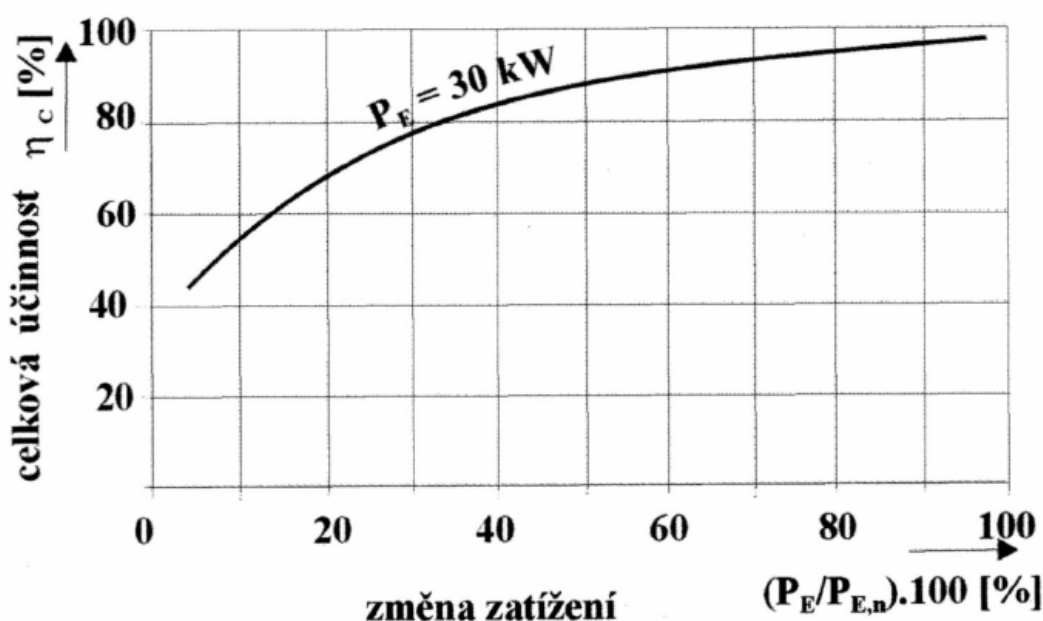
Při provádění údržby mikroturbín se vyměňují hlavně vzduchové filtry. Generální servis probíhá po 20 – 40 tis hodinách provozu. Životnost těchto zařízení je 40 – 80 tis hodin provozu.

### 3.1.3 Účinnost

Účinnost se vypočítá podobně jako u velkých spalovacích turbín. Mikroturbíny mají nižší jmenovité výkony a elektrická účinnost se u nich pohybuje kolem 20-30%, celková pak mezi 65-80%.

### 3.1.4 Částečné zatížení

Výkon mikroturbíny se reguluje množstvím protékající pracovní látky (kompresorem) v kombinaci se změnou teploty vstupních spalin. Rychlost změny zatížení je u těchto zařízení rychlá. U výkonově menších mikroturbín je u menšího zatížení patrnější větší pokles účinnosti, proto je výhodnější používat mikroturbíny alespoň na poloviční zatížení.



Obr. 3.2 Vliv změny zatížení na elektrickou účinnost mikroturbíny [4]

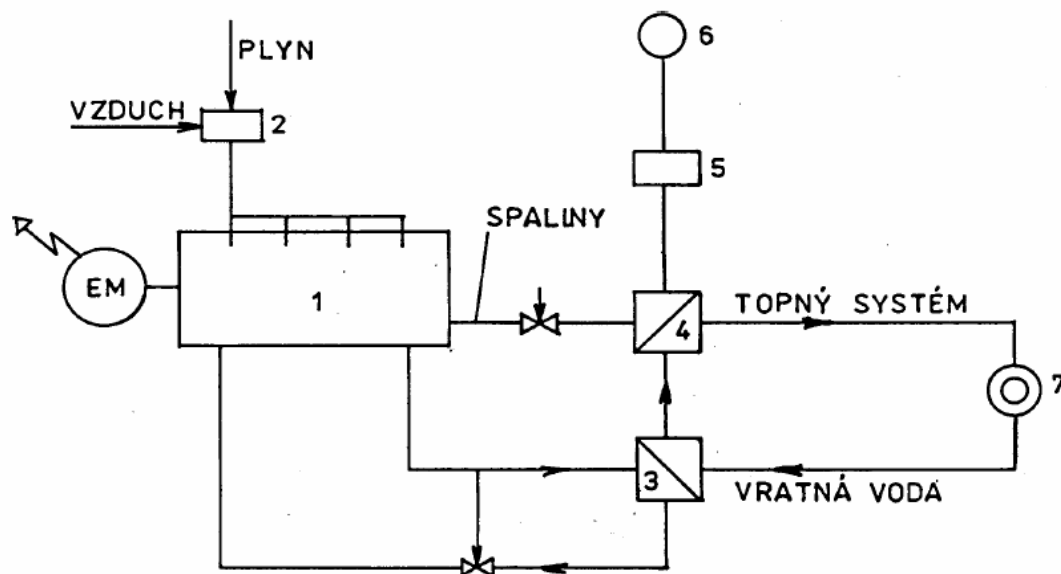
## 3.2 KJ se spalovacími motory

Transformace energie paliva z tepelné na mechanickou je provedena pomocí spalovacího motoru, který pohání generátor vyrábějící elektrickou energii.

Využívá se tepla ze spalin, z chladící vody motoru, chlazení oleje a chlazení kompresoru spalovacího vzduchu. Dodávané teplo může být formou :

- Teplé vody
- Horké vody
- (Páry)

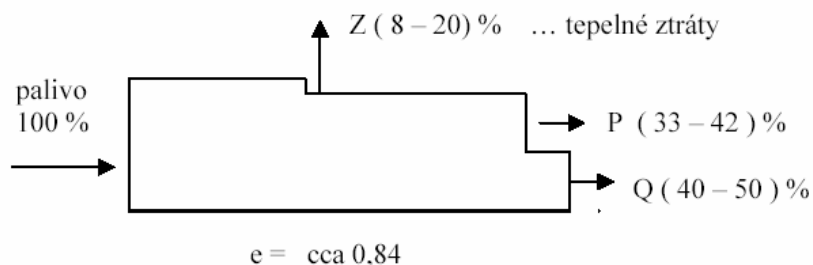
Odpadní teplo o hodnotě 80-90°C je vedeno do tepelného výměníku, odkud se bere k dalšímu využití. Spaliny mají samostatný výměník, nebo výměníky.



Obr. 3.3 chéma kogenerační jednotky s plynovým spalovacím motorem

- 1 - spalovací motor s el. generátorem, 2 - směšovací zařízení plyn/vzduch,  
 3 - výměník voda/voda pro chlazení válců motoru, 4 - výměník spaliny/voda  
 5 - katalyzátor NO<sub>x</sub>, 6 – komín, 7 – spotřebič tepla.

Na následujícím obrázku je schematicky vyobrazen tok energie, podíl výroby elektřiny, tepla a ztráty.



Obr. 3.4 podíl výroby elektřiny, tepla a ztráty

Výkonově se pohybují kogenerační jednotky se zážehovými spalovacími motory mezi 20-5000 kW. Při potřebě výkonu nad 5 MW je lepší instalovat plynovou spalovací turbínu.

Oproti spalovacím turbínám má KJ se spalovacím motorem vyšší emise NO<sub>x</sub>.

### 3.2.1 Vliv na životní prostředí

Mezi emisní látky produkované spalovacími motory patří NO<sub>x</sub>, CO, CO<sub>2</sub>. Ostatními produkty mohou být oxidy síry, což je však závislé na kvalitě použitého paliva. Negativní vlastností spalovacích motorů je hlučnost, proto je k nim nutné doplnit protihlukovou zábranu.

### 3.2.2 Spolehlivost

K obvyklé údržbě dochází po 500 – 2000 provozních hodinách, kdy se vyměňuje olej, chladicí kapalina a filtry. Generální servis nastává po 30 – 70 tis hodinách, přičemž se kontroluje stav ložisek a hřídele a probíhá výměna pístů.

### 3.2.3 Účinnost:

Velikost účinnosti se odvíjí od kompresního poměru  $\varepsilon$  a závisí též na Poissonově konstantě. Vzorec pro výpočet tepelné účinnosti vypadá následovně:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\chi-1}} [-] \quad (3.1)$$

Kde:

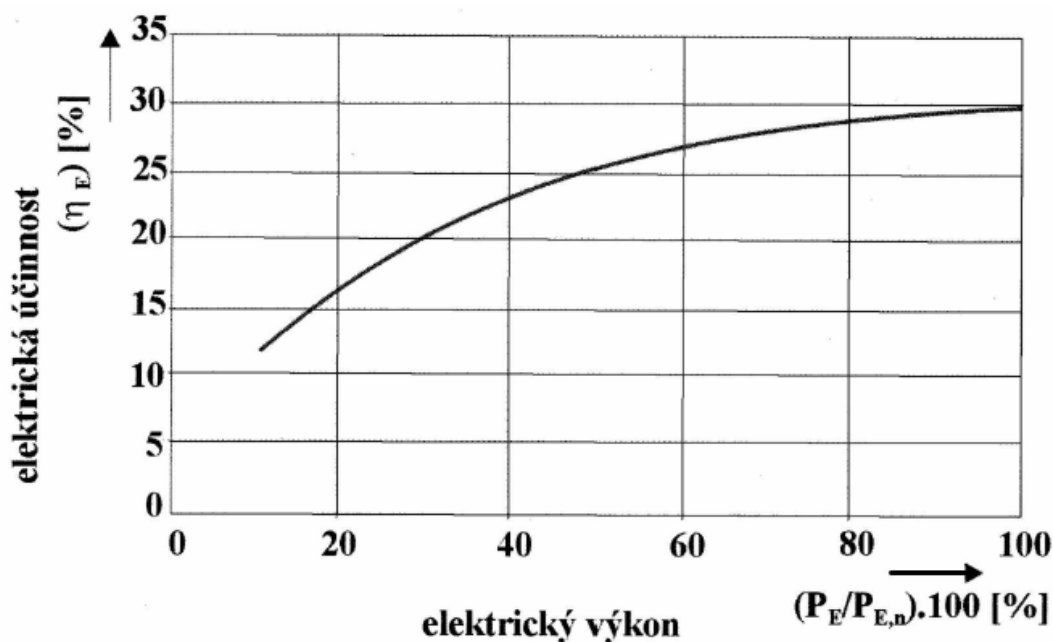
$\varepsilon$  - kompresní poměr [-]

$\chi$  - poissonova konstanta [-]

Kogenerační jednotky se spalovacími motory mají elektrickou účinnost 25-45%, podle velikosti výkonu, celkovou účinnost pak 75-92%.

### 3.2.4 Částečné zatížení

Změna zatížení je proveditelná množstvím paliva, což má vliv na spalovací teplotou. Rychlost změny zatížení je vysoká i ze studeného stavu.

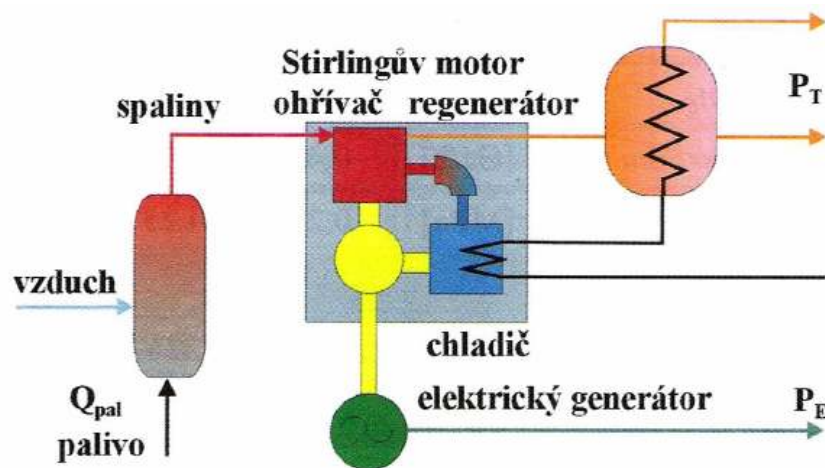


Obr. 3.5 Vliv změny zatížení na elektrickou účinnost vznětového motoru [4]

### 3.3 Stirlingův motor

Pracovní látkou stirlingova motoru může být vzduch,  $\text{CO}_2$ , helium nebo například dusík. Této látce se předává energie získaná spalováním paliva. Stirlingův motor se skládá ze dvou komor oddělených od sebe dvěma písty. V komorách má pracovní látka stejný tlak, avšak rozdílnou teplotu. Plyn v komorách je chlazen a zahříván externím chladičem a ohřívákem. Mezi ně se instaluje regenerátor, který hromadí tepelnou energii jdoucí z chladiče do ohříváče a obráceně. Pohybující píst a generátor zajišťují výrobu elektřiny.

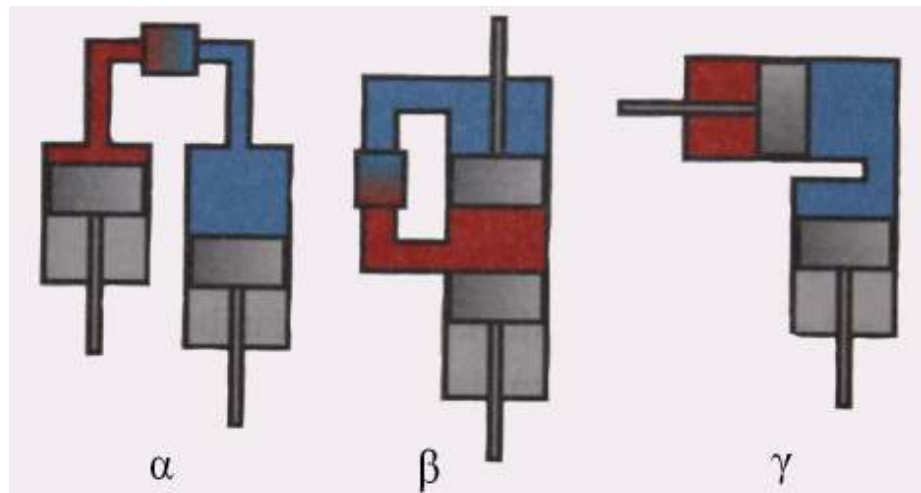
Tyto kogenerační jednotky mají velkou nevýhodu v jejich náročném konstrukčním provedení a z toho vyplývající vysoké pořizovací ceně.



Obr. 3.6 schéma KJ se stirlingovo motorem

Stirlingův motor není potřeba vybavovat zapalovacím systémem, jelikož v něm neprobíhá explozivní spalování. Existují tři modifikace z hlediska provedení pístů:

- Alfa – každý píst v jednom válci. Jeden je zahříván, druhý chlazen. Je nejpoužívanější v praxi
- Beta – oba písty ve společném válci. Zahřívána je spodní část, horní chlazená. Téměř se v praxi nepoužívá.
- Gama – podobné jako beta, avšak ve dvou válcích. Ohřívána je jen část válce přeháněcího. Pracovní válec a zbylá část přeháněcího se chladí.



Obr. 3.7 provedení pístů Stirlingova motoru

### 3.3.1 Vliv na životní prostředí

Emisními produkty stirlingova motoru jsou  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$  a  $\text{CO}$ . Obecně lze ale říci, že množství emisí produkovaných StM je velice malé. Též hlučnost se u těchto zařízení příliš neprojevuje a proto není zapotřebí zvláštních protihlukových opatření.

### 3.3.2 Spolehlivost

Vzhledem k tomu, že KJ se stirlingovými motory je mladá záležitost a zatím ne příliš rozšířená, nejsou dostupné bližší informace. Dá se ale předpokládat, že jejich spolehlivost je velice vysoká. Životnost se odhaduje na 20 – 30 let.

### 3.3.3 Účinnost:

Je závislá na poměru teplot v kompresním a expanzním prostoru  $\varphi$  dále na druhu pracovního plynu a na kompresním poměru  $\varepsilon$ . Vzorec pro výpočet tepelné účinnosti vypadá následovně:

$$\eta_t = \frac{\ln \varepsilon (\varphi - 1)}{\frac{1}{\chi - 1} (\varphi - 1) + \varphi \ln \varepsilon} [-] \quad (3.3)$$

Kde:

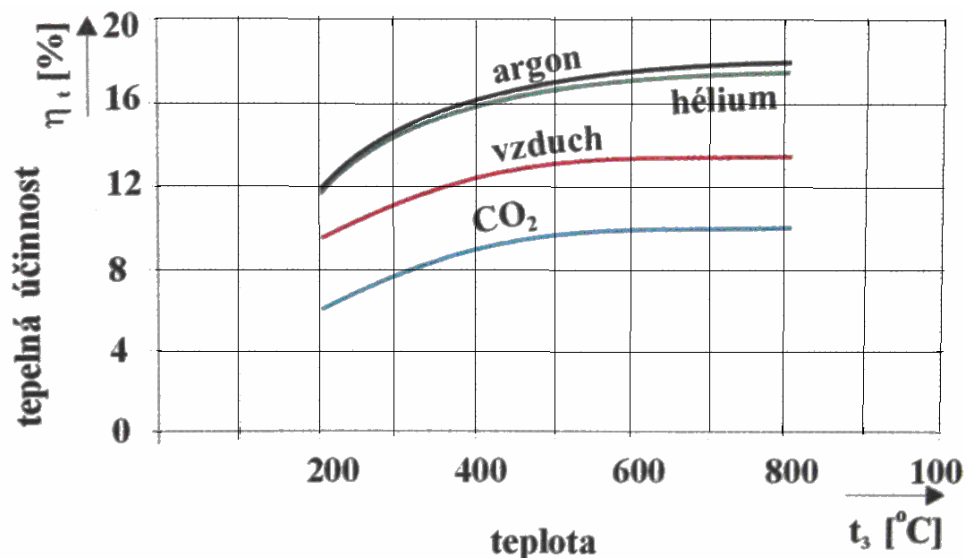
$\varphi = T_3/T_2$ - poměr teplot v kompresním a expanzním prostoru [-]

$\varepsilon = V_1/V_2$ - kompresní poměr [-]

$\chi$  - poissonova konstanta [-]



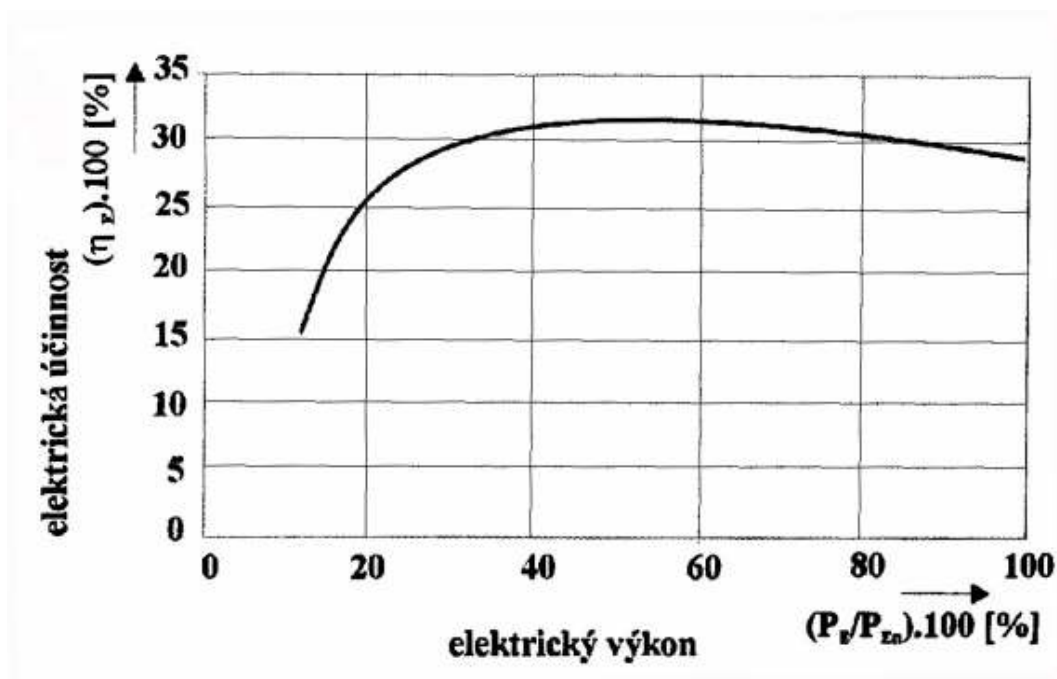
Dnešní systémy mají elektrickou účinnost cca 30%. Na následujícím grafu je znázorněna účinnost v závislosti na teplotě při použití jiných pracovních látek.



Obr. 3.8 účinnost StM při různých pracovních látkách [4]

### 3.3.4 Částečné zatížení

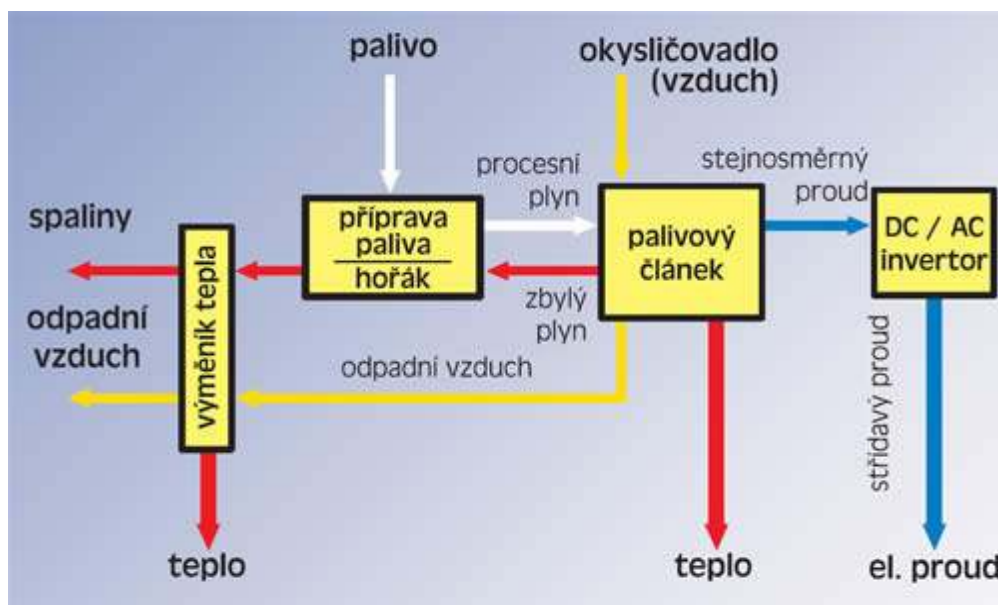
Regulace výkonu je prováděna tlakem pracovní látky. Nevýhodou je pomalá rychlost najetí na plný výkon, díky přestupu tepla výměníkem ze spalovací komory do motoru. Pro nižší zatížení prudce klesá účinnost motoru.



Obr. 3.9 Vliv změny zatížení na účinnost Stirlingova motoru [4]

### 3.4 Palivové články

Tento systém pracuje pomocí chemických procesů. V článku, který je složen z elektrod a elektrolytu probíhá reakce vzduchu a paliva. Plyn se vzduchem ionizují, ionty procházejí lázní k další elektrodě. Elektrický proud produkují uvolňující se elektrony. Tento proces není omežován stejnými termodynamickými principy jako u spalovacích motorů (Carnotův cyklus) a je možné dosáhnout větší účinnosti. Kladnými vlastnostmi palivových článků je velmi tichý chod a mizivá produkce škodlivých látek. Nejlepším primárním zdrojem pro palivové články je vodík, ten však je velice drahý, komplikovaně se vyrábí a přepravuje. Používá se však pro tyto účely i zemní plyn. Palivové články vyrábějí vodu protože pracují na opačném systému než elektrolyza. Ke článku je potřeba připojit střídač, jelikož produkují proud stejnosměrný. Bohužel se této technologii příliš nevyužívá neboť je velice nákladná.



Obr. 3.10 KJ s palivovým článkem

#### 3.4.1 Vliv na životní prostředí

Výhodou palivových článků je velmi nízká produkce škodlivých látek, jelikož výroba elektřiny není zajišťována oxidací paliva. Produkce emisí vzniká hlavně v reformátoru, kde dochází k využití tepla vzniklého katalytickým spalováním vodíku. Jelikož teplota nepřekračuje 1000 °C, nevznikají oxidy dusíku. Dochází však ke tvorbě CO a prchavých organických látek.

I přes nepřítomnost rotačních článků může být hlučnost palivových článků až 60 dB.

### 3.4.2 Spolehlivost

Při provozní kontrole se sledují parametry provozních látek a mění se zapalovací svíčky, těsnění, filtry paliva a vzduchu. K tomu dochází po 2 – 4 tis provozních hodin. Jelikož jsou palivové články bez pohyblivých částí (kromě pomocných zařízení), je jejich životnost vysoká. U zkušebních zařízení se dosáhlo až 75 tis hodin provozu.

### 3.4.3 Účinnost

Pro výpočet elektrické účinnosti kogenerační jednotky se vyjde ze vztahu:

$$\eta_E^{KJ} = \eta_E^{PJ} \cdot \eta_{upal} \cdot \eta_{vpal} \cdot \eta_{uE} [-] \quad (3.2)$$

Kde:

$\eta_E^{PJ}$  - účinnost primární jednotky

$\eta_{upal}$  - účinnost úpravy paliva

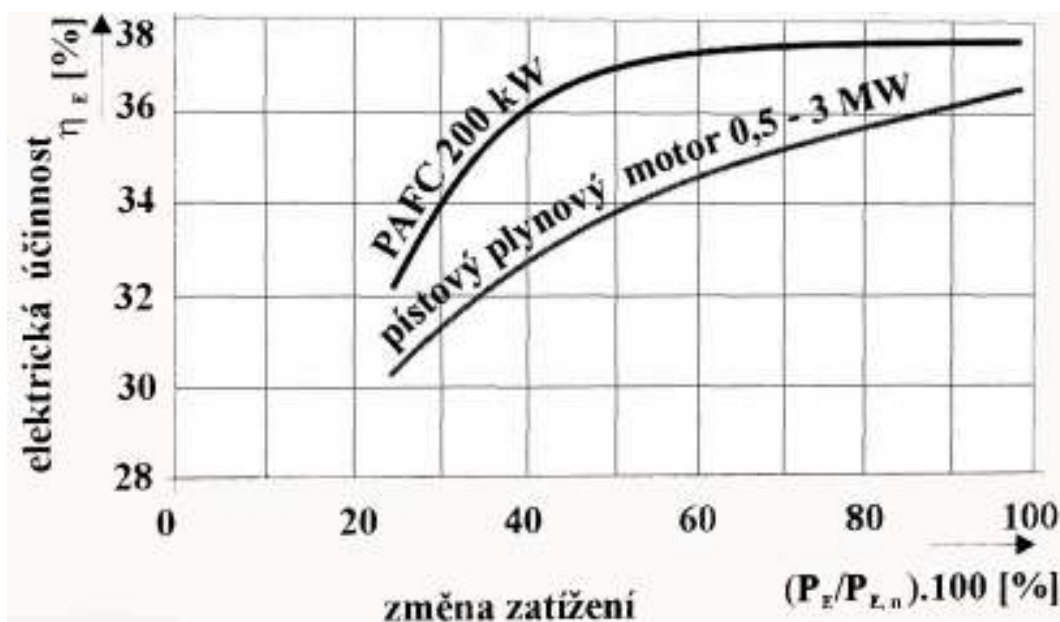
$\eta_{vpal}$  - účinnost využití paliva

$\eta_{uE}$  - účinnost úpravy elektrického proudu

Podle typu článku dosahuje elektrická účinnost 30-50%.

### 3.4.4 Částečné zatížení

Při polovičním zatížení dochází k velmi malému poklesu účinnosti oproti jmenovitému zatížení. Při menším zatížení je pokles výrazný, což způsobuje snížení účinnosti palivového reformátoru a vzduchového ventilátoru.



Obr. 3.11 Vliv změny zatížení na účinnost palivových článků [4]

## 4 Porovnání kogeneračních jednotek

### Plynové turbíny

klady:

- jsou vysoce spolehlivé i při dlouhodobém a nepřerušovaném provozu
- není nutná chladicí voda
- relativně malé pořizovací náklady
- široký rozsah použitelných paliv (nafta, zemní plyn, odpadový plyn)
- možnost kombinace paliv
- nízká produkce emisí

zápory:

- menší mechanická účinnost na rozdíl od spalovacích motorů
- spalování plynu je prováděno při vysokém tlaku
- vysoká hlučnost
- při malém zatížení nízká účinnost
- nutnost čistého a suchého paliva
- delší doba oprav
- delší doba najíždění (0,5 - 2 hod.)

### Mikroturbíny

klady:

- z důvodu nízkého množství pohybujících se částí jsou velmi spolehlivé
- jejich instalace je poměrně jednoduchá
- náklady na údržbu jsou nízké
- mají malou velikost a váhu

zápory:

- vysoké pořizovací náklady

**Spalovací motory**

klady:

- poměrně nízké investiční náklady
- velký výběr výkonů od 3 kWe
- široké pásmo zatížení při vysoké účinnosti
- možnost použití v ostrovním provozu
- rychlá doba najeť na plné zatížení (15s)
- možnost použití více druhů paliv

zápory:

- nutnost chlazení
- vysoká hlučnost
- vysoké náklady na údržbu

**Stirlingův motor**

klady:

- nízké množství třecích pohyblivých částí a tudíž vysoká spolehlivost
- nemá vnitřní spalovací komoru
- velmi vysoká účinnost
- malá produkce emisí

zápory:

- velmi vysoké pořizovací náklady

**Palivové články:**

klady:

- velmi malá produkce emisí
- nízká hodnota hluku
- krátká doba instalace
- v celém rozsahu zatížení vysoká účinnost
- lze využít několik druhů paliv

zápory:

- vysoké pořizovací náklady
- poměrně krátká doba životnosti
- dlouhá doba najeť

**Tab. 1 porovnání nejpoužívanějších kogeneračních jednotek**

Pohonná jednotka	používané palivo	rozsah výkonů (MWe)	modul teplotní výroby elektřiny	elektrická účinnost	celková účinnost	forma tepla
Spalovací turbína	zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn, produkty zplyňování	1*) – 250	0,4 - 1,2	25 - 48%	75 - 90%	teplá voda horká voda pára NT,
Paroplynové zařízení	zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn, produkty zplyňování	10 – 400	0,8 - 2,0	35 - 60%	85 - 90%	teplá voda horká voda pára NT, VT
Spalovací motor	zemní plyn, lehký topný olej, bioplyn, produkty zplyňování	0,01 – 10	0,5 - 1,1	25 - 45%	75 - 92%	teplá voda horká voda pára NT, VT
Stirlingův motor	zemní plyn biopalivo	0,001 – 0,03	0,3 - 0,7	20 - 40%	70 - 85%	teplá voda

\*) U mikroturbín 25-250 kW

## 5 Bioplynová stanice Vejprnice

### 5.1 Bioplynové stanice - přehled

Zařízení, která zpracovávají bioplyn existují ve velké míře u nás i ve světě. Tyto ekologické a moderní stanice využívají různé druhy materiálů či přírodní odpady. Pomocí anaerobní digesce (bez přístupu vzduchu) vzniká v uzavřených reaktorech plyn, který je díky vysokému podílu metanu využíván k výrobě elektrické nebo tepelné energie. Dalšími produkty jsou tzv. digestát - tuhé zbytky po vyhnutí, které se dají dále využít jako hodnotné hnojivo, a fugát – ten je tekutý a putuje do čističek odpadních vod.

Vznik bioplynu je komplexní a velice citlivý proces. Pro tvorbu plynu jsou základem organické látky obsažené v substrátech, například tuky či uhlohydráty – těmi se živí různé mikroorganismy. Tyto bakterie potřebují pro svůj život konkrétní podmínky, proto procesy probíhají po přesně stanovenou dobu ve vzduchotěsných fermentorech a jsou zahřívány na požadovanou teplotu. Za stálého promíchávání biomasy se dostává plyn pomalu nahoru. Jelikož vzniklý plyn obsahuje kromě metanu oxid uhličitý, vodní páru, vodík a sirovodík, musí se před samotným spalováním upravit.

Dle druhu zpracovávané biomasy rozeznáváme elektrárny zemědělské, využívající vedlejší zemědělské produkty, komunální a průmyslové, které zpracovávají další bioodpady, jejichž kombinace pak má vliv na kvalitu bioplynu. Do skupiny bioplynu se řadí i skládkový plyn, který je kontrolovaně jímán na skládkách.

V České republice jsou nejčastější stanice zemědělské, další typy se tu vyskytují velice málo. Komunální stanice můžeme vidět ve větším měřítku např. v sousedním Německu.

### **5.1.1 Zemědělské bioplynové stanice**

Jak bylo již uvedeno, tento typ je u nás nejčastější. Vstupními surovinami, nazývanými též substráty jsou statková hnojiva (kejda, hnůj) a energetické plodiny (např. kukuřice).

Uvedení do provozu není tolik náročné, jelikož se jedná z hlediska koncepce o jednodušší variantu oproti ostatním bioplynovým stanicím. Problémy mohou nastat při míchání substrátu ve fermentorech, proto je třeba použít odpovídající technologie. Pokud by míchání bylo provedeno nesprávně, mohlo by docházet k usazeninám, ucpávání potrubí a komplikovat fermentaci.

Českým sdružením pro biomasu byly pro potřeby Ministerstva zemědělství shrnuty důležité body pro realizaci a provoz kvalitní stanice [9]:

- Precizní příprava projektů
- Dostatek kvalitních surovin
- Výtěžnost bioplynu
- Spolupráce s místní samosprávou
- Spolehlivá a ověřená technologie
- Optimalizace investičních nákladů
- Volba kogenerační jednotky
- Využití odpadního tepla
- Nakládání s digestátem
- Další možnosti využití

### **5.1.2 Průmyslové bioplynové stanice**

V těchto typech jsou využívány především nebezpečné suroviny, jako jsou například jateční odpady nebo kaly z různých odvětví (čističky). Proto je požadována vyšší spolehlivost v oblasti technologie i provozu. Zvláště se pak musí plnit přísné hygienické normy.

### 5.1.3 Komunální bioplynové stanice

Jde o zařízení využívající odpady z údržby přírodních ploch, přírodní odpady z domácností a stravovacích objektů. V těchto stanicích je potíž hlavně se silným zápachem, který je nutné snížit na minimum, aby nezatěžoval své okolí. Pro tento účel slouží uzavíratelné stavby s ventilací vzduchu.

Bohužel velice často dochází k porušení norem, při pokusu uspořit a okolí je tak nepřiměřeně zatěžováno. V takovém případě se však spoření nevyplácí, jelikož sankce a napravení celkové náklady naopak navýší.

## 5.2 Bioplynová elektrárna Vejprnice

Stanice byla vybudována v roce 2008 společností Agri Fair, s.r.o. ze Stodu u Plzně. Najetí kogenerační jednotky o výkonu 536 kW se uskutečnilo zkraje roku 2009.

Elektrárna je poněkud specifická tím, že zpracovává ne zcela běžný substrát – slepičí trus. Drůbeží kejda má zvláštní rysy a pro její zpracování je třeba využití neobvyklých technologií a úpravy provozu. Je nutné zvolit správný způsob dávkování, uskladnění a digesce tohoto substrátu, protože co se týče biologie, obsahuje více organických látek a síry. Z toho vyplývá i větší míra nerozpustných látek, které mohou způsobovat určité problémy.



Obr. 4.1 bioplynová stanice Vejprnice

### 5.2.1 Uspořádání

V objektu elektrárny jsou dominantní dvě železobetonové nádrže. Jedna z těchto nádrží je tzv. předfermentor, ve kterém se připravuje pouze slepičí trus. Aby nedocházelo k usazování dna nádrže, je předfermentor o průměru 14 m a hloubce 6 m vybaven shrabovacím a odpískovacím zařízením, zbavujícím substrátu nerozpustných látek, a speciálním míchadlem. Usazeniny obsahující především dusík se vyvázejí jednou týdně.



Hlavní fermentor, koncepčně řešený jako „kruh v kruhu“, je hluboký 6 m a v průměru měří 36 m. Kruh v kruhu znamená, že jde vlastně o dva oddělené fermentory v sobě. Do vnějšího prstence samovolně přepadává z předfermentoru drůbeží kejda, která je smíchávána s kukuřičnou siláží. Zde dochází při teplotě cca 40°C k anaerobní digesci. Ve vnitřním kruhu je pak jímán bioplyn.

Vyhořelé palivo, tzv. digestát, je jímán v koncovém skladu umístěném v blízkosti hlavního fermentoru. Vyvážení digestátu probíhá 2krát ročně a používá se k hnojení kukuřičných polí.



Obr. 5.2 shrabovací zařízení



Obr. 5.3 digestát

### 5.2.2 Dávkování

Přísun materiálu je zajištěn zařízením od firmy Fliegel. Systém je vybaven posunovací podlahou a míchacím šnekem Rondomat o výkonu 7,5 kW, který dokáže správně pracovat i s materiálem obsahujícím dlouhá stébla.



Obr. 5.4 dávkovací zařízení

Jedno dávkovací zařízení se stará o dodávku slepičího hnoje, kterého přepraví 8 tun denně (hodinově 200-300 kg). Druhý systém dopravuje do hlavního bioreaktoru denně 20-22 tun kukuřičného substrátu (cca 900 kg za hodinu). Dávkování probíhá pomocí automatiky, která je ovládána pomocí dotykového displeje.

Jak již bylo uvedeno, mezi jednotlivými jímkami probíhá tok substrátu díky

přepadům, je zde však instalováno i centrální čerpadlo napojené na všechny nádrže. Čerpadlo o výkonu 18,5 kW zpracuje až 3 m<sup>3</sup> materiálu/min a používá se hlavně k přečerpání vyhořelého paliva z koncového skladu.

### 5.2.3 Odsíření

Bioplyn spalovaný v kogenerační jednotce je nutné zbavit látek obsahujících síru, především sulfanu. Sulfan je totiž při spalování přeměněn na oxid siřičitý a zároveň na oxid siřový, který způsobí vznik kyseliny sírové při sloučení s vodní parou. Výskyt kyseliny sírové je silně nežádoucí, jelikož rozleptává části motoru se kterými přichází do styku.

Odsíření je zde prováděno tzv. mikroareací, což je přidávání malého množství vzduchu do fermentoru, který způsobí oxidaci H<sub>2</sub>S, ale nenaruší tvorbu metanu.

### 5.2.4 Spalovací proces

Vytvořený bioplyn je veden nerezovým potrubím přes chladič, filtr a následně vysokotlakým turbodmychadlem do 537 kW spalovacího motoru Deutz. Pokud dojde k nadprodukci bioplynu, musí být k dispozici plynová fléra, protože unikání nespáleného metanu škodí životnímu prostředí.



Obr. 5.5 Plynová fléra



Obr. 5.6 Kogenerační jednotka Deutz

Jelikož je využitelné teplo (cca 300-400 kW tepelných) vypouštěno prostřednictvím ventilátoru do ovzduší, nejedná se o kogeneraci. Tepelná energie měla být původně využita k vytápění asi 20 domů v obci, avšak díky neshodám obyvatel se toto nepodařilo realizovat.

### 5.2.5 Velín

Z velína je nejen řízeno dávkování substrátů, ale též zde probíhá kontrola dalších funkcí stanice. Sledují se zde údaje o bioplynu, například obsah metanu (CH<sub>4</sub>), sirovodíku (H<sub>2</sub>S) nebo kyslíku (O<sub>2</sub>). Dále se prostřednictvím dotykové obrazovky kontroluje teplota ve fermentorech, naplnění zásobníku plynu a popřípadě údaje o poruchách. Při běžném chodu

elektrárny nejsou kladeny velké požadavky na obsluhu, proto se v bioplynové stanici ve Vejprnicích střídají dva zaměstnanci.



Obr. 5.7 Dotyková obrazovka



Obr. 5.8 kontrola provozních parametrů

Zajímavosti související s BPS ve Vejprnicích

- Drůbežárna vlastní cca 60 tisíc slepic a 15-20 tisíc kuřat
- Kukuřici používanou pro fermentaci pěstují na vlastních polích o výměře 400 ha
- Stavba elektrárny trvala 210 dní a použilo se při ní 2 300 m<sup>3</sup> betonu a 140 t železa
- Nejvyšší výkon za rok činí 3 816 MWh

## 6 Možnosti využití odpadního tepla

V bioplynové elektrárně Vejprnice je využíváno odpadní teplo pouze pro ohřev substrátu a to pouze cca 30 % celkové výroby tepelné energie. Zbytek tepla je nevyužit, což je velice neekonomické a v budoucnu k tomu bude nejspíše i přihlédnuto z hlediska státních příspěvků. Proto jsem se rozhodl najít několik možností využití tohoto tepla.

### 6.1 Vytápění, ohřev teplé užitkové vody

Nejlepším a nejefektivnějším způsobem využití odpadního tepla z elektrárny, je vytápění a ohřev teplé užitkové vody. Tato varianta je ekonomicky výhodná pro obě strany – výrobce i spotřebitele tepelné energie. Nezanedbatelným přínosem je též ekologie, jelikož přebytečné teplo nebude vypouštěno do ovzduší. Navíc je toto řešení výhodnější, než výroba teplé vody z fosilních paliv.

Návrh soustavy spočívá ve volbě jednotlivých parametrů z hlediska minimálních provozních a investičních nákladů. Podmínkou však zůstává výběr a dosažitelnost vhodného odběratele.

### Volba potrubí:

Všechny materiály mají své výhody a nevýhody. Potrubí by mělo splňovat několik požadavků:

- Odolnost vůči korozi
- Snadnou a rychlou montáž
- Neagresivita vůči vodě
- Zamezení vniku kyslíku do vody

Ocel je tradiční materiál, využívaný pro teplovodní vytápění. Jeho nevýhoda je malá odolnost vůči korozi. Proto by mělo být potrubí natřeno po celé délce antikorozním nátěrem.

Dnes nacházejí uplatnění i potrubí plastová. Jejich výraznými výhodami jsou lehkost, pevnost, odolnost proti korozi, neagresivita vůči topné vodě a snadná montáž. K nevýhodám patří rychlost stárnutí, která se odvíjí od maximální teploty a rozměrů (průměr x délka). Dalším problémem je teplotní délková roztažnost dosahující až desetkrát vyšší hodnoty, než u potrubí z oceli.

### Volba izolace:

Tepelná odolnost izolace musí být odpovídající k maximálním teplotám, které se můžou vyskytnout v systému. Dále musí být pláštěm chráněná proti vnějším mechanickým poškozením. Materiál izolace musí být chemicky neutrální a nesmí napadat potrubí.

## **6.2 Sušičky**

### **6.2.1 Sušení digestátu**

Odpadní teplo lze využít například pro sušení digestátu („vyhořelého paliva“), který lze dále využít například na výrobu pelet pro vytápění, nebo jako hnojivo.

Nejprve je nutné digestát pro sušení připravit. Na síťových či bubnových separátorech se provede separace tuhých částí. Tím vznikne tzv. separát, který obsahuje cca 30 % sušiny, a fugát obsahující sušiny necelých 5 %. Fugát se dále používá jako tekuté hnojivo.

Na výrobu briket nebo pelet je nutné separát vysušit na koncovou vlhkost 10 až 15 %, neboli obsah sušiny 85 – 90 %. Nejideálnější hodnota sušiny z energetického pohledu je 88%, jelikož nedochází ke zbytečnému přesoušení a zároveň k problémům při skladování. Pro výrobu briket a pelet by byl nejlepší obsah sušiny 85%, ale už nastávají komplikace při skladování a také hrozí tvorba plísní.

Pro vysoušení digestátu se využívá sušiček pásových, kdy regulace sušení je

prováděna pomocí rychlosti posunu pásu. Sušičky se stavějí na míru podle výkonu bioplynových elektráren.



Obr. 6.1 vysušený digestát

Dle umístění lze též použít sušičku věžovou, která využívá přehřátý vstupní vzduch. Při využití odpadního tepla z bioplynové stanice k sušení se ušetří až 30 % nákladů na paliva fosilní a vedle ekonomického efektu to přináší i kladný vliv na životní prostředí.

### 6.2.2 Sušení rostlinných výrobků

Nejčastějšími rostlinnými produkty určenými pro sušení jsou kukuřice, ječmen, pšenice, senáž a řepka. Sušení těchto komodit se odvíjí od doby sklizně a provozuje se od července do listopadu. Pokud jsou k dispozici odpovídající skladovací prostory, lze teoreticky sušit během celého roku. Sušící doba a objem usušeného materiálu závisí také na vlhkosti komodity na počátku a požadované výstupní. Požadavky některých dodavatelů na vstupní vlhkost jsou maximálně kolem 50%. Vlhkost výstupní bývá dle druhu sušeného materiálu a požadavcích odběratele 10 – 25 %. Pro účely sušení zemědělských produktů se používají sušárny žlabové. Žlabové sušky mají pevný vysoušecí rošt. Přesun materiálu po roštu obstarává hrabičkový mechanismus.

### 6.2.3 Sušení dřevní štěpky a pilin

Oproti vysoušení zemědělských produktů, je kladnou vlastností dřevní štěpky, že ji lze sušit po celý rok. Usušenou dřevní štěpku a piliny lze použít na výrobu pelet. Peletování je výhodná doprovodná činnost při sušení. Na zpracování dřevní štěpky se používají stejně jako u rostlinných produktů žlabové sušičky.



Obr. 6.2 Pásová sušička

### 6.2.4 Sušení dřeva

Pracovní proces vysoušení kusového dřeva je provozně i logisticky obtížnější, ve srovnání s vysoušením štěpky či rostlinných plodin. Nelze zde totiž použít kontinuální sušení jako u sypkých komodit. Při sušení dřeva nelze odebírat teplo z bioplynové stanice průběžně, jelikož tento proces probíhá v opakujících se cyklech. Pokud by bylo k dispozici dostatečné množství řeziva, lze navrhnout optimální velikost a počet jednotek pro využití co nejvíce tepla z kogenerační jednotky. Veškerá energie ale reálně využitelná není. Pro sušení kusového dříví se využívá teplý vzduch v komorových sušičkách.

## 6.3 Absorpční chlazení

Pro zajištění odběru odpadního tepla je možné doplnit soustavu o výrobu chladu, který je použitelný pro klimatizaci objektů, či chlazení. Oproti kompresorovému chlazení, kde pro výrobu chladu je zapotřebí elektrická energie, se do absorpčních jednotek dodává teplo a malé množství elektřiny pro oběhové čerpadlo. Výroba chladu za pomoci tepla jde absorpcí a adsorpcí lišící se v teplotě topné vody a dosažené úrovně chladu. Pro naše účely je vhodný absorpční systém.

Absorpční chlazení má dva okruhy, první je chladivo (chemicky upravená voda) a druhým okruhem je roztok schopný pohlcovat vodní páru. Existuje několik látek, které pohlcovací schopnost mají, jsou to například bromid lithný (LiBr), hydroxid sodný (NaOH) nebo amoniak ( $\text{NH}_3$ ). Při výběru vhodné absorpční látky se musí brát v úvahu její dostupnost,

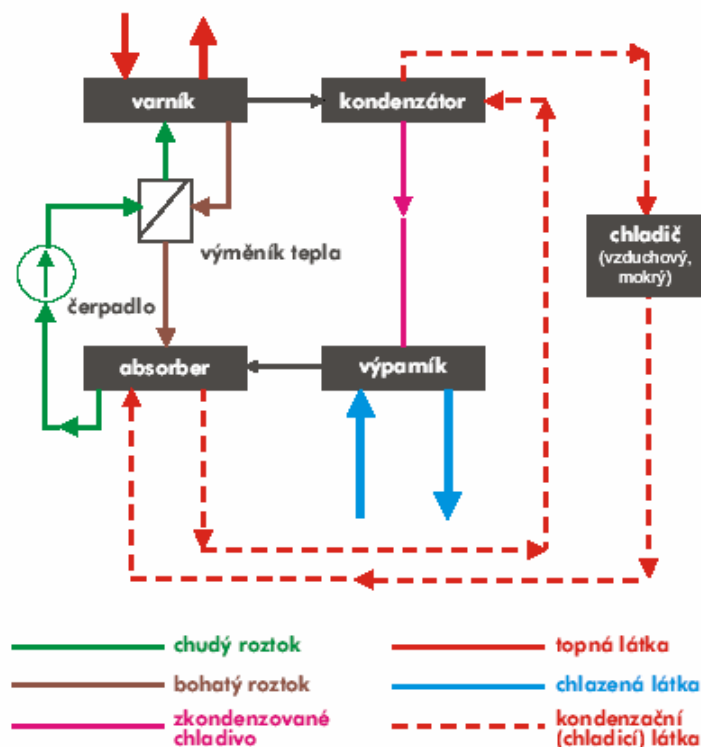
vliv na životní prostředí a v neposlední řadě cena. V systémech s bromidem lithným lze dosáhnout teploty vody až  $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , při použití amoniaku až  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nevýhodou amoniakových systémů je požadavek daleko vyšší teploty desorpce (nad  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

V chladiči je vakuum, které umožňuje var vody za velmi nízké teploty ( $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Voda pohlcuje teplo, přivedené z kogenerační jednotky a tím dochází k jejímu odpařování. Vodní páry jsou pak absorbovány bohatým roztokem (například LiBr). Rozředěný roztok je oběhovým čerpadlem převeden do desorbéru, kde je už vyšší tlak. Při dodání tepla je z této směsi odpařena absorbovaná voda. Tyto páry přecházejí do kondenzátoru, kde se ochlazují a tím kondenzují zpět na vodu. Poté prochází tato voda přes výparník, kde dochází opět k varu při sníženém tlaku a odebírání tepla ochlazované látky čímž se cyklus opakuje a znovu dochází k absorpci vodních par roztokem bromidu lithného.

K výhodám těchto systémů patří:

- Neobsahují freon, či jiné příměsi ohrožující životní prostředí
- Jejich provoz je velmi tichý
- Nemají pohyblivé části a proto jsou téměř bezúdržbové

Pro potřeby klimatizace kancelářských prostor o výměře  $1000\text{ m}^2$  je zapotřebí cca  $150 - 170\text{ kW}$  chladicího výkonu.



Obr. 6.3 Blokové schéma absorpčního chlazení

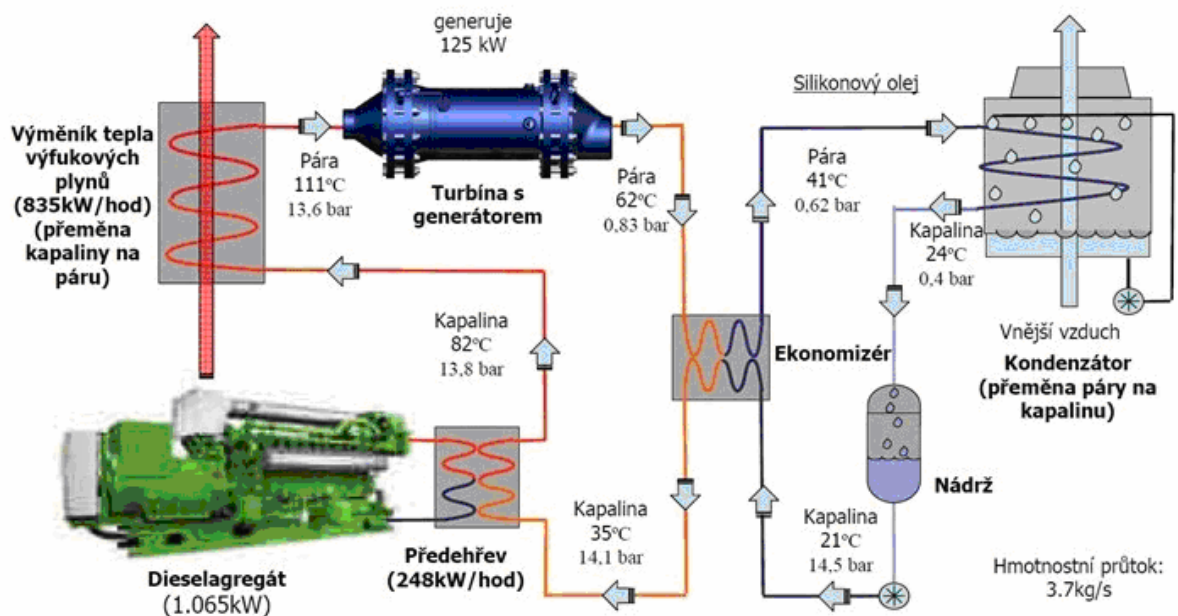
## 6.4 ORC

Jedním ze způsobů využití odpadního tepla jsou systémy ORC. Zkratka ORC znamená Organický Rankinův Cyklus a je to zařízení, které využívá nízkopotenciální tepelnou energii k výrobě elektřiny. Tato technologie je modifikace Rankine Clausiova cyklu s rozdílem v pracovním médiu. V těchto systémech se totiž nepoužívá voda respektive pára, ale organická kapalina - silikonový olej.

Nejprve se olej nachází v kapalném stavu v nádrži, odkud je přepravena pomocí čerpadla do ekonomizéru, kde dojde k jeho předehřátí, a následně je převedena do výparníku. Ve výparníku dojde k vývinu silikonových par, které procházejí přes cyklónový odlučovač, v němž se páry proudící do turbíny zbaví drobných kapiček. Z turbíny putuje pára přes ekonomizér do kondenzátoru odkud se dostane zpět do nádrže. Minimální požadavky pro výrobu elektrické energie systémem ORC je voda o teplotě 88 °C.

Výhody ORC jsou:

- Zlepšení účinnosti až o 10 %
- Rychlá montáž
- Nízké servisní a provozní nároky
- Více než 20-ti letá životnost



Obr. 6.4 Schéma zapojení ORC na spalínový výměník kogenerační jednotky



## 7 Návrh konkrétního řešení

### 7.1 Vytápění

Jak již bylo uvedeno, podmínkou vyvedení tepla je zajištění odběrného místa. V tomto případě přichází v úvahu nedaleká firma. Jelikož v budoucnu se počítá s jejím rozšířením, budu předpokládat, že spotřebuje veškeré teplo vyvedené z elektrárny.

Pro naše účely vyvedení 400 kWt v podobě horké vody o teplotě 90 °C použiji ocelové potrubí DN 80. Uložení v zemi by vyžadovalo dodatečnou investici, proto zvolím uložení nad zemí s dostatečnou tepelnou izolací. Cena potrubí se bude pohybovat kolem 2000 Kč/m. K tomu je třeba připočítat náklady na uchycení, které činí 1000 Kč/konzole. Spotřebitel je od elektrárny vzdálen cca 400 m.

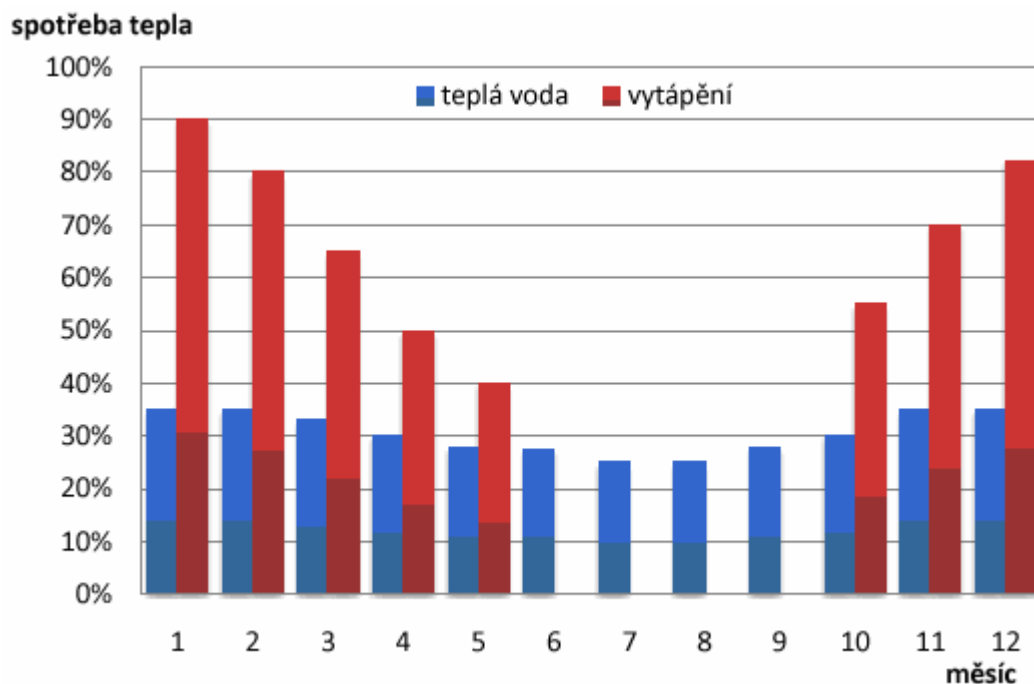
Celkové investiční náklady potom budou 1 100 – 1 300 tisíc Kč. Pokud připočteme určité stavební úpravy a ponecháme nějakou rezervu, můžeme náklady zaokrouhlit na 2 miliony Kč. Alternativou je potrubí plastové Flexalen (příloha C). V tomto případě budou náklady asi o třetinu nižší.

Další výpočet se týká zisku za dodanou tepelnou energii. Za stávajících podmínek, by při potřebě 400 kWt za topnou sezonu (2750 hod/rok), spotřebovala firma zhruba 3 500 GJ tepla. Za předpokladu vytápění zemním plynem zaplatí při současných cenách 500 Kč/GJ celkem 1 750 000 Kč ročně. V případě vytápění odpadním teplem z bioplynové stanice mohou být ceny daleko nižší, záleží na dohodě obou stran.

Při cenové nabídce 400 Kč/GJ, by zisk pro dodavatele (bioplynovou stanici) činil 1 400 000 Kč ročně. Zároveň ušetří spotřebitel nezanedbatelných 350 tisíc korun za rok.

Prostá návratnost investice do horkovodní sítě by při této nabídce trvala necelé dva roky.

Stojí však na zvážení, zda by nebyla vhodná spoluúčast investice spotřebitele při nižších výkupních cenách. Například pokud by každá ze stran investovala polovinu a dohodnutá cena by byla 300 Kč/GJ, vydělala by bioplynová stanice 1 050 000 Kč. Spotřebitel by ušetřil místo 350 tisíc až dvojnásobek, tudíž 700 tisíc Kč. Prostá návratnost pro elektrárnu by trvala necelý rok, druhému investorovi by se vklad vrátil za 1,5 roku.



Obr. 7.1 ilustrační odběrový diagram vytápění a ohřevu TUV

## 7.2 Chlad

Je logické, že odběr tepla není celoroční záležitostí, což je patrné i z předešlého grafu (Obr. 7.1). Vzhledem k této skutečnosti, lze doplnit topnou soustavu o absorpční chlazení. Musí se však zvýšit teplota topné vody alespoň na 100-105 °C. Absorpční chlazení pracuje s účinností kolem 70 %, což znamená, že při tepelném výkonu 400 kW lze dosáhnout až 300 kW chladu. Dle praktických zkušeností je ale tato hodnota příliš vysoká a ani zdaleka by nebyla využita. Pro výrobní halu by byla postačující jednotka o výkonu 100 kW. Náklady na pořízení chladicí jednotky se velmi těžko určují, jelikož se každá instalace odvíjí od požadavků a od konkrétních podmínek v dané lokalitě. Lze však odhadnout cenu jednotky o výkonu 300 kW na hodnotu 7 milionů korun. V našem případě navrhuji chladič 100 kW, u kterého je odhadovaná cena vyčíslena na 4,5 milionu korun. Uvedené ceny jsou včetně příslušenství (chladicí věž). Tyto náklady jsou na horní hranici, tudíž výsledná investice může vyjít daleko nižší. Základem je ovšem dobrý návrh chladicí jednotky, nemá smysl ponechávat rezervy, jelikož by zařízení pracovalo zbytečně nevyužitě.

Obecně je chlazení využíváno pouze přes letní období asi 1000 hodin ročně. Investice do těchto zařízení je dlouhodobá a pohybuje se mezi 12 – 15 lety.

## 7.3 Sušičky

V případě bioplynových stanic je sušení komodit dobrou alternativou na využití tepla z kogenerační jednotky. Tato aplikace je už u několika stanic využívána s dobrými výsledky.

Výhodou sušiček je možnost jejich celoročního provozu a lze tedy sušit i během letního období, kdy odběr tepla pro vytápění je minimální. Pokud by z jakéhokoliv důvodu nešlo zrealizovat vyvedení tepla, je možné sušičku provozovat po celou sezonu, čímž docílíme rychlejšího návratu investice.

V České republice jsou dostupné sušičky u společnosti Pawlica s.r.o., jenž je distributorem sušiček německého výrobce Stela-Laxhuber.

Sušičky využívající odpadní teplo z bioplynových stanic se stavějí podle jejich výkonové úrovně. Pro BPS Vejprnice navrhuji instalovat sušičku řady HS 10, která je specializovaná pro vysoušení dřevní štěpky. Sušárna HS 10 snižuje vlhkost tohoto materiálu z 50 na 20%. HS 10 je určena primárně pro zpracovávání štěpky, je však možné ji využít i pro sušení rostlinných výrobků (kukuřice, pšenice a jiné zrniny).

Další sušičkou využitelnou pro bioplynovou elektrárnu o výkonu 500 kW je PBT 2-2200-9, vysušující digestát. Vzhledem k tomu, že ve Vejprnicích využívají digestát v tekutém stavu pro hnojení vlastních polí, je tato sušička zbytečná.

Sušičky se stavějí na zakázku a jejich cena se tedy odvíjí od konkrétního objektu. Odhadovaná cena pásové sušičky je cca 15 milionu korun. Návratnost investice je velmi specifická a složitá otázka. Záleží na komoditě, kterou budeme sušit, její přísun a prodejní ceně. V případě dřevní štěpky se cena odvíjí od výhřevnosti. Ta se liší podle obsahu vlhkosti, ale též podle druhu dřeva. Obecně má dřevní štěpka při vlhkosti 30 % výhřevnost 12,18 MJ/kg.

Vzhledem k praktickým zkušenostem se doba návratnosti investice pohybuje kolem jednoho roku. Velmi však záleží na vytížení sušičky.

**Tab. 2 Vzorové výkony sušiček Stela, využívajících odpadní teplo z bioplynové stanice**

Typ sušičky	Výkon	Výkonnost	Při sušení	Materiál
PBT 2-2200-9	500 kW	450 kg/h	ze 75 % na 20 %	digestát
HS 10	500 kW	2,5 m <sup>3</sup> /h	z 50 % na 20 %	dřevní štěpka
HS 10	500 kW	1/3,4 t/h	z 35/19 % na 15 %	kukuřice/pšenice

## 7.4 ORC

Pro bioplynové stanice se dříve vhodné jednotky nevyráběly, dnes je však na trhu dostupná i jednotka o výkonu 50 kW, která je vhodná právě pro stanice o výkonu 500 kW.

Předpokládá se připojení ORC na tepelný výměník spalin a tudíž bude její roční využití stejné jako u kogenerační jednotky. Zařízení o výkonu 50 kW vyrobí za rok

dodatečných 438 000 kWh. Při výkupních cenách elektřiny z bioplynové stanice 4,50 Kč/kWh, můžeme roční zisk vyčíslit na 1 971 000 Kč. Ekonomická návratnost je závislá na technickém řešení a pohybuje se mezi 3-5 lety.

## 7.5 Tepelný výměník

Současný spalinový výměník kogenerační jednotky je dle informací z katalogu (příloha A) navržen na ochlazení spalin ze 445 na cca 150 °C. Můžeme však zvýšit tepelný výkon navržením lepšího výměníku. Například při ochlazení spalin na 100 °C, dosáhneme vyššího tepelného výkonu zhruba o 50 kWt. Ze současných 400 kWt můžeme využívat 450 kWt, což je o 12,5 % více. Výpočet vychází z bilanční rovnice:

$$\dot{Q}_b = M_1 \cdot c_1 \cdot (t_{11} - t_{12}) \cdot \eta = M_2 \cdot c_2 \cdot (t_{21} - t_{22}) \quad [kW]$$

Kde

$M_1, M_2$  – hmotnostní průtok ohřívající a ohřívané látky [kg/s]

$c_1, c_2$  – měrná tepelná kapacita ohřívající a ohřívané látky [kJ/kgK]

$t_{11}, t_{12}$  – teplota ohřívající látky na vstupu a výstupu [°C]

$t_{21}, t_{22}$  – teplota ohřívané látky na vstupu a výstupu [°C]

$\eta$  – tepelná účinnost výměníku [-]

## Závěr

V první části diplomové práce jsem shrnul význam kombinované výroby elektřiny a tepla, neboli kogenerace, a důvody nasazování těchto jednotek do provozu. Obrovským přínosem kogenerační výroby je úspora paliva, což sebou nese nezanedbatelné ekonomické i ekologické výhody.

Obecně kogenerace využívá širokou škálu paliv od tuhých (uhlí, dřevo, koks, pšeničná sláma..) přes kapalné (topné oleje, bionafta, zkapalněný zemní plyn..) až po plynné (zemní plyn, bioplyn, propan, butan..). Ve své práci shrnuji kogenerační jednotky, které pro svůj provoz využívají jako palivo plyn. Uvádím jejich základní princip, vliv na životní prostředí, spolehlivost a účinnost.

Ve třetí části se zabývám konkrétním objektem s kogenerační jednotkou. Jedná se o bioplynovou stanici ve Vejprnicích, která využívá pro výrobu bioplynu slepičí hnůj. Popsal jsem proces výroby bioplynu až po jeho spalování. Dále jsem navrhnul možnosti optimalizace provozu elektrárny.

V každém provozu, bioplynové stanice nevyjímaje, je důležitá optimalizace vlastního výrobního procesu aby byl co nejefektivnější. V případě bioplynových elektráren je tak provozovatel motivován i k využívání odpadního tepla. Produkované teplo je částečně použito na ohřívání substrátu a na krytí tepelných ztrát fermentoru. Zbylé teplo se dá využít k vytápění a k ohřevu užitkové vody, popřípadě chlazení ve vlastním objektu. Při vhodných podmínkách lze zajistit tyto produkty jiným spotřebitelům. Tepelná energie nachází jiné uplatnění v sušení různých komodit, zvláště tam, kde je její dodávka ke třetím osobám složitě realizovatelná a příliš nákladná. Nezanedbatelná alternativa je též využití tepla pomocí ORC zařízení k dodatečné výrobě elektrické energie. V diplomové práci jsem popsal všechny tyto možnosti využití tepelné energie. V poslední části jsem na základě odborných konzultací navrhnul konkrétní řešení, které je realizovatelné v bioplynové elektrárně ve Vejprnicích. Jejich realizace závisí na finančních možnostech majitele bioplynové elektrárny. Dle mého názoru je nejlepším řešením ORC modul, jelikož nejsou zapotřebí stavební úpravy mimo pozemek BPS a zároveň je odpadní teplo využíváno v průběhu celého roku.

Důvodem pro řešení otázky využití tepla je jeho podpoření podle cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu (ERÚ). Dnes dokonce ERÚ klade podmínku na využití tepelné energie pro poskytnutí podpory bioplynovým elektrárnám uvedeným do provozu po 1. lednu 2012. Vzhledem k nutnosti efektivního hospodaření s energiemi jde o racionální podmínku a můžeme díky ní očekávat další možnosti a nápady pro využití odpadního tepla.

## Použitá literatura

- [1] Hrdlička, F., Dlouhý, T., Kolovratník, M.: Průmyslová energetika. ČVUT, Praha, 2000.
- [2] Beranovský, J., Murtinger, K.: Energie z biomasy. ERA, Brno, 2008.
- [3] Kadmožka, J., Ochrana, L.: Teplárenství. ISBN, Brno, 2001.
- [4] Dvorský, E., Hejtmánková, P.: Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. BEN, Praha, 2006.
- [5]. <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mikrokogenerace-a-trigenerace>
- [6]. <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie/kombinovana-vyroba-elektřiny-a-tepla>
- [7]. <http://www.tzb-info.cz/2986-kogenerace-pouziti-zvlastnich-plynu-obnovitelne-zdroje-energie-a-ekonomicka-motivace-ii>
- [8]. <http://www.tzb-info.cz/2912-kogenerace-kombinovana-vyroba-elektrické-energie-a-tepla-i>
- [9]. <http://www.nazeleno.cz/bioplynova-stanice.dic>
- [10]. <http://www.stastnedomy.cz/174-kombinovana-vyroba-elektřiny-a-tepla.html>
- [11]. <http://www.i-ekis.cz/?page=kogenerace>
- [12]. <http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/kogenerace-pro-rodinne-domy-vyrabejte-teplo-a-elektřinu-najednou.aspx>
- [13]. <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/269-porovnaní-nakladu-na-vytapaní-podle-druhu-paliva>
- [14]. [http://www.eru.cz/user\\_data/files/cenova%20rozhodnuti/navrh/Cenov%C3%A9%20rozhodnut%C3%AD%20-%20OZE%20KVET%20a%20DZ%20na%202012konec.pdf](http://www.eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/navrh/Cenov%C3%A9%20rozhodnut%C3%AD%20-%20OZE%20KVET%20a%20DZ%20na%202012konec.pdf)
- [15]. <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/suseni-odpadnim-teplem-z-bioplynové-stanice>
- [16]. <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/suska-na-biomasu>

## Seznam obrázků

- Obr. 1.1 srovnání tepláren, výtopny a elektrárny
- Obr. 1.2 porovnání výhřevnosti plynů
- Obr. 2.1 schéma uspořádání KJ se spalovací turbínou
- Obr. 2.2 Vliv změny zatížení na účinnost plynové turbíny
- Obr. 2.3 schéma uspořádání paroplynové KJ
- Obr. 3.1 schéma uspořádání KJ s mikroturbínou
- Obr. 3.2 Vliv změny zatížení na elektrickou účinnost mikroturbíny
- Obr. 3.3 schéma kogenerační jednotky s plynovým spalovacím motorem
- Obr. 3.4 podíl výroby elektřiny, tepla a ztráty
- Obr. 3.5 Vliv změny zatížení na elektrickou účinnost vznětového motoru
- Obr. 3.6 schéma KJ se stirlingovo motorem
- Obr. 3.7 provedení pístů Stirlingova motoru
- Obr. 3.8 účinnost StM při různých pracovních látkách
- Obr. 3.9 Vliv změny zatížení na účinnost Stirlingova motoru
- Obr. 3.10 KJ s palivovým článkem
- Obr. 3.11 Vliv změny zatížení na účinnost palivových článků
- Obr. 5.1 bioplynová stanice Vejprnice
- Obr. 5.2 shrabovací zařízení
- Obr. 5.3 digestát
- Obr. 5.4 dávkovací zařízení
- Obr. 5.5 Plynová fléra
- Obr. 5.6 Kogenerační jednotka Deutz
- Obr. 5.7 Dotyková obrazovka
- Obr. 5.8 kontrola provozních parametrů
- Obr. 6.1 vysušený digestát
- Obr. 6.2 Pásová sušička
- Obr. 6.3 Blokové schéma absorpčního chlazení
- Obr. 6.4 Schéma zapojení ORC na spalínový výměník kogenerační jednotky
- Obr. 7.1 ilustrační odběrový diagram vytápění a ohřevu TUV

## Seznam tabulek

Tab. 1 porovnání nepoužívanějších kogeneračních jednotek

Tab. 2 Vzorové výkony sušiček Stela, využívajících odpadní teplo z bioplynové stanice

## Seznam příloh

Příloha A – kogenerační jednotka Deutz TCG 2016B

Příloha B – product sheet ORC 50 kW

Příloha C – Flexalen

Příloha D - Cenové rozhodnutí ERÚ č. 4/2011 ze dne XX listopadu 2011, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů - výtazek



## **Příloha A - kogenerační jednotka Deutz TCG 2016B**

# DEUTZ POWER SYSTEMS



# TCG 2016 B

555 – 740 kW at 1500 min<sup>-1</sup> (50 Hz)

## Technical data 50 Hz – Bio gas applications

NO<sub>x</sub> < 500 mg/m<sup>3</sup> <sup>1)</sup>  
 Sewage gas (65% CH<sub>4</sub> / 35% CO<sub>2</sub>)  
 Bio gas (60% CH<sub>4</sub> / 32% CO<sub>2</sub>, rest N<sub>2</sub>)  
 Landfill gas (50% CH<sub>4</sub> / 27% CO<sub>2</sub>, rest N<sub>2</sub>)

Lower heating value (LHV) > 5.0 kWh/m<sup>3</sup>  
 dry exhaust manifolds

	TCG 2016 B V12	TCG 2016 B V16
Engine type	555	740
Engine power <sup>2)</sup>	1500	1500
Speed	1500	1500
Exhaust temperature	approx. 448	448
Exhaust mass flow wet	approx. 2995	2995
Combustion air mass flow <sup>3)</sup>	approx. 2760	2760
Combustion air temperature minimum/design	20/25	20/25
Water inlet temperature intercooler	50	50
<b>Engine parameters</b>		
Bore/stroke	132/160	132/160
Displacement	26.3	35.0
Compression ratio	15.0 : 1	15.0 : 1
Mean piston speed	8.0	8.0
Lube oil content <sup>4)</sup>	100	135
Typical mean lube oil consumption <sup>5)</sup>	0.15	0.15
<b>Generator</b>		
Efficiency <sup>6)</sup>	96.7	96.8

Energy balance		
Electrical power <sup>6)</sup>	kW	716
Jacket water heat	± 8 % kW	271
Intercooler LT heat <sup>7)</sup>	± 8 % kW	128
Exhaust cooled to 150 °C	± 8 % kW	388
Engine radiation heat	kW	29
Generator radiation heat	kW	24
Fuel consumption <sup>8)</sup>	+ 5 % kWh	1735
Electrical efficiency	%	41.3
Thermal efficiency	%	38.0
Total efficiency	%	79.3

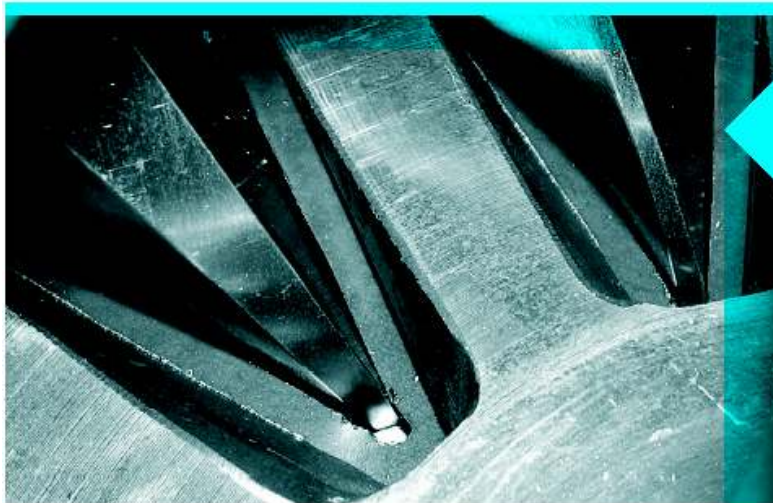
1) Exhaust emissions with standard catalyst.  
 NO<sub>x</sub> < 500 mg/m<sup>3</sup> (dry exhaust gas at 15% O<sub>2</sub>)  
 2) Engine power ratings and combustion air volume flows acc. to ISO 3086/1  
 3) Including pipe and heat exchangers  
 4) At 30 Hz, 10.0 kV power factor = 1  
 5) At 30 °C, water inlet for bio gas  
 6) With a tolerance of ± 5%  
 7) With a tolerance of ± 5%  
 8) Data for special gas and dual gas operation on request. The values given in this data sheet are for reference purposes only and not binding. The final values depend on the individual gas and the design.



**Příloha B - product sheet ORC 50kW**



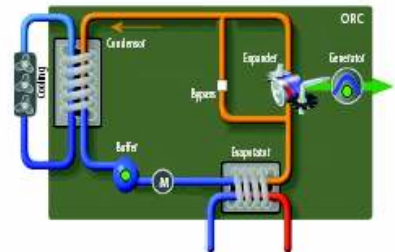
Today, industry remains primarily dependent on fossil fuel derived energy and as a result, subject to price volatility, questionable fuel reserves and geo-political influences. In view of this and increasing concern over the current and long-term effects of global warming, scientists and engineers have made significant advances in the field of alternative, clean energy technologies such as solar, wind and bio-fuels. In spite of these advances, it is evident that fossil fuels will remain the most important source of thermal energy to industry for the foreseeable future. For both economic and environmental reasons, it is therefore imperative that energy efficiency be maximised.



**maximum availability**

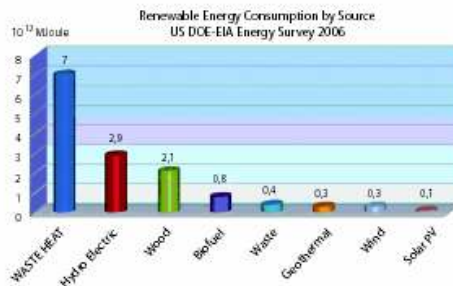
**Powered by waste**

Although there have been great advances in energy optimisation, it is still recognised that there is a significant loss of energy in the form of industrial waste heat. This loss is estimated to be significantly greater than the energy generated through all alternative energy sources together. (Source: US DOE-EIA Energy Survey 2006).



'Cycle', named after the Scottish engineer William John Macquorn Rankine, is similar to the cycle used to drive a conventional steam turbine in which water is heated to produce steam, which due to an increase in pressure causes the turbine to rotate.

The ORC cycle however replaces water with an Organic Fluid, which is able to vaporise at a lower temperature than water. This permits the use of waste heat as a 'Clean Fuel' for power generation.



E-RATIONAL ORC-Technology offers an effective and viable solution to recover and convert a part of this waste energy into electricity, which in turn is fed to the power grid, thereby reducing net emissions and fuel consumption, while offering the client an additional revenue opportunity.

**Proven technology**

The ORC technology or 'Organic Rankine

**Ecological and financial advantage**

E-RATIONAL ORC-Technology is able to recover and generate electrical energy from a broad range of thermal heat sources including: exhaust gasses from combustion systems and motors, industrial fluid streams and exothermic process etc. The electrical energy produced may then be used to compensate

the electrical energy consumed within the facility and or sold to the local grid. Should the initial fuel source be considered renewable, under current European Legislation it is also possible to earn green certificates and or sell the electrical energy at a premium tariff with an obvious positive effect on the return on investment of your project.

E-RATIONAL ORC-Technology offers an opportunity to improve the global efficiency of your installation while reducing your carbon footprint, as the technology generates zero emissions and represents no environmental disturbance.

It is therefore a discrete power supplier offering you immediate financial and significant environmental benefits.

#### ORC design

E-RATIONAL due to its extensive engineering and industrial expertise as a systems manufacturer for industry and in particular the automotive sector and through close cooperation with expert universities, is able to offer the highest standard in ORC-Technology at an unequalled price per produced kWe.

E-RATIONAL has designed its ORC technology to operate using recovered waste heat in a temperature range of between 80°C and 150°C and for a power range of 50 to 250 kWe at 400 VAC.

The systems have been conceived to be capable of operation in battery thereby enabling greater energy recovery, partial load efficiency and redundancy in the event of maintenance.

Furthermore, the systems are preconfigured and fully tested in our production facilities.

#### Standard components

During design, E-RATIONAL has used standard components employed in the automotive and aerospace sector that have been optimized and improved through internal expertise and extensive research, in order to guarantee reliability, performance and client satisfaction.

In this regard, the heart of the ORC system is the Z-screw expander, which in turn is connected directly to the asynchronous generator.

As a result expensive and potentially fragile components are avoided, such as fast rotating turbines and or transmission systems. This guarantees the reliability of the ORC system and ensures low operational costs and a fast return on investment.

#### Extensive software control

The ORC unit and all related systems including the connection to the power grid are controlled via a robust and user-friendly software interface. This enables simple and highly autonomous operation of the plant in addition to real time monitoring of energy generation and other key parameters.

#### Safe ORC fluid

The ORC fluid used within the closed loop system is environmentally safe, inflammable and nontoxic. In the E-Rational units, it can be used in a temperature range of between 80°C and 150°C.



valorize  
your heat





## our track record

### About BEP Europe

BEP Europe originally part of Fabricom in the 1980's specialised on industrial projects in the automotive industry. Today, the company belongs to the Burke E. Porter (BEP) Group, from Grand Rapids, Michigan, USA with subsidiaries in Brazil, Belgium, Germany, India, China, Korea and Japan.

BEP Europe is specialized in development and production of end of line testing equipment for the automotive industry (equipments for light adjusting, brake tests, wheel alignment...) etc.

Thanks to these expertises BEP Europe, through E-RATIONAL has entered the market of sustainable energy solutions, to offer a fully integrated and compact solution to convert waste heat into clean sustainable energy.

The synergy between advanced technology and traditional standard components, make the E-RATIONAL ORC units robust, user friendly and economically profitable installations.



**E-RATIONAL**  
VALUE FOR HEAT

E-RATIONAL is a BEP Europe division

E-RATIONAL | Ten Briele 6 | 8200 Brugge | Belgium | T +32 50 40 85 40 | F +32 50 38 01 60 | [www.e-rational.net](http://www.e-rational.net)

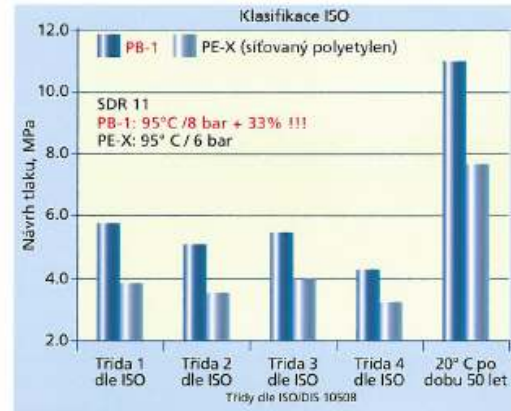
**Příloha C – Flexalen**

**Flexalen splňuje veškeré požadavky projektantů**

✓ **Jednoduché projektování:**  
bez výpočtů fixních bodů  
a bez kompenzačních oblouků



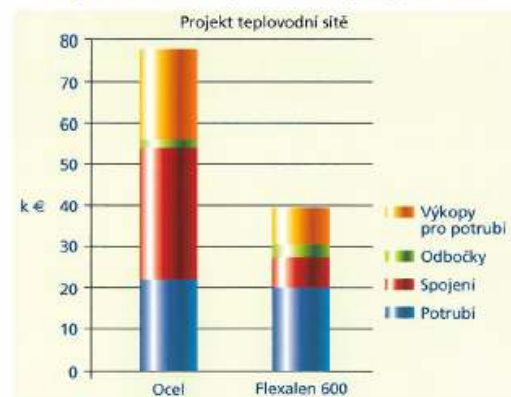
✓ **Vysoká bezpečnost pro PB1:**  
o 33% vyšší povolený provozní  
tlak oproti PE-X



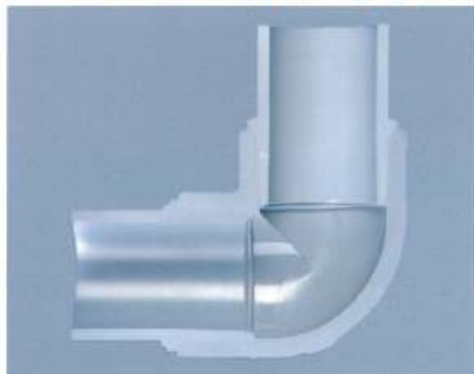
✓ **4 x rychlejší instalace**  
oproti oceli



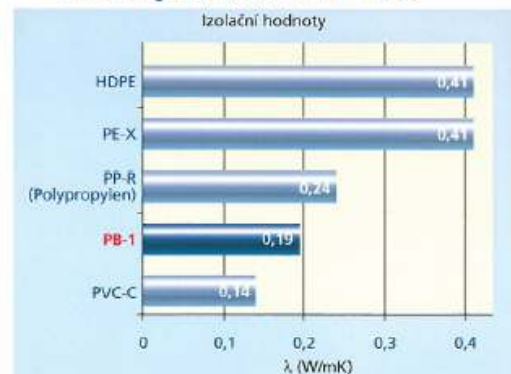
✓ **Jednoznačně nižší náklady ve srovnání**  
s předizolovaným ocelovým potrubím



✓ **Homogenní systém: je pouze**  
zcela svařitelný plastový systém



✓ **PB-1 vykazuje o 54% lepší izolační**  
hodnoty ve srovnání s PE-X



**O 25% vyšší průtok media v potrubí z PB-1 ve srovnání s PE-X**

**Tlakové ztráty v domovních rozvodech vody z PB-1: 4x nižší než u potrubí z PP-R**

**Porovnání průtoku**

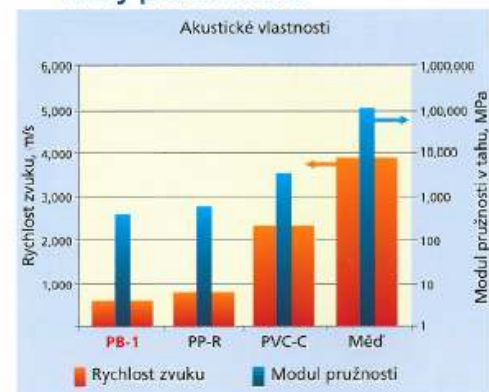
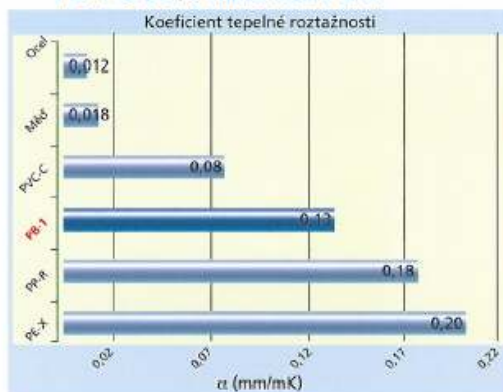
Kalkulováno pro životnost 50 let při 70° C, včetně bezpečnostního faktoru



	PB-1	PP-R <sub>10</sub>	PP-R <sub>20</sub>	PE-X	PVC-C
Vnější průměr OD, mm	40	40	40	40	40
Vnitřní průměr ID, mm	32.6	26.6	24.0	29.0	31.0
Tloušťka stěny, mm	3.7	6.7	8.0	5.5	4.5
Standardní poměr dimenzí (SDR)	11	6	5	7.3	9
Vnitřní plocha potrubí v mm <sup>2</sup>	835	556	452	661	755
Rychlost proudění (m/s) při 2 l/s	2.4	3.6	4.4	3.0	2.6
Tlaková ztráta (mbar/m) při 2 l/s	18	50	81	33	24

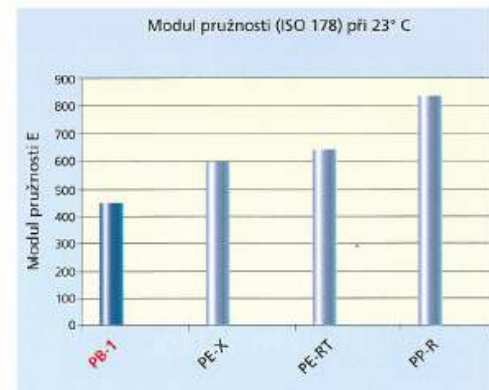
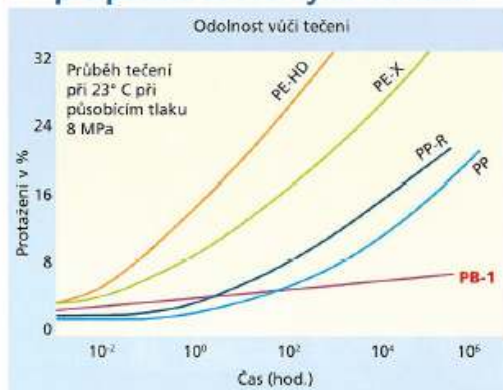
**Koeficient roztažnosti: PB-1 o 35% nižší než PE-X**

**Vynikající akustické vlastnosti: nízký přenos hluku**



**Vyšší odolnost vůči tečení materiálu: PB-1 je optimální materiál pro použití se svěrnými fitinkami**

**Mimořádná pružnost: PB je o 25% pružnější než PE-X**



## FLEXALEN 600

### FLEXALEN 600 kompaktní standardní systém

Vyvinutý v úzké spolupráci s holandskou  
teplárenskou společností NUON.

#### Výhody:

- 100% podélné utěsnění proti průniku vody plošným svářením vnější ochranné korogované trubky a pěnové izolace (polyolefinová pěna s uzavřenou buněčnou strukturou)
- tepelná vodivost pouze 0,031 W/mK při 50° C
- minimální difuze vodních par  $\mu > 3500$  (PUR 30-100)
- nízká hmotnost (např. 1,6 kg/bm pro 2 x d32, vč. opláštění Ø125)
- vysoká flexibilita při pokládce i v teplotách -10°C
- vysoká flexibilita – jednoduché ohýbání a obcházení překážek
- jednoduchá instalace, široká nabídka tvarovek
- samokompenzační vlastnosti
- velmi nízká ztráta třením – vhodné pro vysokou rychlost proudění
- absorpce tlakových rázů



Jednotrubní vedení do d110 a dvoutrubní vedení do d63



Podélná uzávěra proti vodě mezi plášťovou trubkou a izolací

#### Flexalen 600 dimenze

Objednávací kód	Jmenovitý průměr DN	Jmenovitý průměr coul (")	Vnější průměr opláštění trubky DA (mm)	Trubka pro medium Vnější ø da (mm)	Vnitřní ø di (mm)	Tloušťka stěny S (mm)	Počet trubek v izolaci	Minimální rádius ohybu (m)	Maximální dodávaná délka (m)	Hmotnost (kg/bm)	Vytápění
VS-RH125A2/25	20	¾"	125	25	20,4	2,3	2	0,60	150	1,40	
VS-RH125A2/32	25	1"	125	32	26,0	3,0	2	0,60	150	1,60	
VS-RH160A2/40	32	1 ¼"	160	40	32,6	3,7	2	0,80	100	2,50	
VS-RH160A2/50	40	1 ½"	160	50	40,8	4,6	2	0,80	100	3,00	
VS-RH200A2/63	50	2"	200	63	51,4	5,8	2	1,25	50	4,25	
VS-RH90A25	20	¾"	90	25	20,4	2,3	1	0,40	200	0,75	
VS-RH90A32	25	1"	90	32	26,0	3,0	1	0,40	200	0,85	
VS-RH90A40	32	1 ¼"	90	40	32,6	3,7	1	0,50	200	1,00	
VS-RH125A50	40	1 ½"	125	50	40,8	4,6	1	0,70	150	1,75	
VS-RH125A63	50	2"	125	63	51,4	5,8	1	0,80	150	2,05	
VS-RH160A75	65	2 ½"	160	75	61,2	6,9	1	0,80	100	3,05	
VS-RH160A90	80	3"	160	90	73,6	8,2	1	1,00	100	3,60	
VS-R200A110	100	4"	200	110	90,0	10,0	1	1,25	50	5,00	





## Polybuten

### ■ Potrubí pro medium z polybutenu (PB1)

Potrubí z polybutenu je s úspěchem používáno již více než 40 let

#### Výhody:

- dlouhá životnost i při teplotách až 95°C
- široká nabídka jednoduchých svěrných tvarovek a přechodů
- kompletní systém polyfuzních tvarovek a elektrotvarovek
- odolnost vůči vápenitým sedimentům
- dlouhodobě hladké stěny zajišťují nízké tlakové ztráty
- chemická odolnost (i proti termální vodě), osvědčená v praxi několika desetiletí
- PB potrubí je vhodné pro pitnou vodu (mezinárodní schválení – např. zkušební ústavy DVGW, CSTB)
- pro další informace navštivte stránky [www.pbpsa.com](http://www.pbpsa.com)



Elektrotvarovka T-kus



Ukázka svěrných tvarovek



Řez svárem el.spojky

#### Teplota/tlakové zatížení:

Provozní teplota(°C)	-15	0	20	40	60	70	80	95
Provozní tlak (bar)	16	16	16	15	12	10	9	8

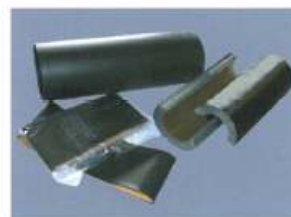
### ■ Příslušenství



Nový systém dodatečné izolace dvojité odbočky



Prefabrikovaná odbočka



Sada pro izolaci spoje

#### Těsnící průchodky



Vodotěsnost od 1,5 bar

#### Ukončovací manžety



Ukončovací manžeta pro jednotrubní systém

Ukončovací manžeta pro dvoutrubní systém

#### Fixační body



Fixační bod pro dvoutrubní systém

Fixační bod pro jednotrubní systém

## FLEXALEN 1000+

### FLEXALEN 1000+ osvědčený multifunkční systém

Flexalen 1000+: pečlivě vybrané komponenty spojené v systému, který nabízí jednoduchou instalaci při splnění vynikajících izolačních vlastností a speciálních požadavků

#### Výhody:

- volný pohyb potrubí pro medium
- jedno, dvoutrubní a vicetrubní systémy
- vodotěsná izolace tvořená polyolefinovou pěnou s uzavřenou buněnou strukturou
- tepelná vodivost pouze 0,031 W/mK při 50° C
- vysoká flexibilita při pokládce i v teplotách -10° C
- hladké potrubí z PB zjednodušuje instalaci
- pevné spojení izolace a ochranného pláště
- plná kompatibilita se systémem Flexalen 1000 a Flexalen 600
- Flexalen 1000+ je v souladu s připravovanými technickými normami
- životnost (>50 let) odpovídá požadavkům pro trvalé stavby



#### Flexalen 1000+ dimenze

Objednávací kód	Jmenovitý průměr DN	Jmenovitý průměr coulí (")	Vnější průměr opláštění trubky DA (mm)	Trubka pro medium Vnější ø da (mm)	Vnitřní ø di (mm)	Tloušťka stěny S (mm)	Počet trubek v izolaci	Minimální rádius ohybu (m)	Maximální dodávaná délka (m)	Hmotnost (kg/bm)	
FV+RH160A2/25	20	¾	160	25	20,4	2,3	2	0,80	100	1,90	Vytápění
FV+RH160A2/32	25	1	160	32	26,0	3,0	2	0,80	100	2,15	
FV+RH200A2/40	32	1 ¼	200	40	32,6	3,7	2	0,80	100	2,90	
FV+RH200A2/50	40	1 ½	200	50	40,8	4,6	2	0,90	100	3,40	
FV+RH160A63	50	2	160	63	51,4	5,8	1	0,90	50	2,65	
FV+RH200A75	65	2 ½	200	75	61,2	6,9	1	1,10	50	3,50	
FV+RH200A90	80	3	200	90	73,6	8,2	1	1,25	50	4,10	
FV+RS125A32A25	25	1 ¾	125	32 25	26,0 20,4	3,0 2,3	1 1	0,60	150	1,50	Sanita
FV+RS160A40A25	32 20	1 ¼ ¾	160	40 25	32,6 20,4	3,7 2,3	1 1	0,80	100	2,60	
FV+RS200A50A25	40 20	1 ½ ¾	200	50 25	40,8 20,4	4,6 2,3	1 1	0,90	50	2,90	
FV+RS200A63A32	50 25	2 1	200	63 32	51,4 26,0	5,8 3,0	1 1	1,00	50	3,35	
FV+R160A2/25A2/20	20 15	¾ ½	160	25 20	20,4 14,4	2,3 2,8	2 2	0,8	50	2,05	Vicetrubní vedení
FV+R160A3/25A20	20 15	¾ ½	160	25 20	20,4 14,4	2,3 2,8	3 1	0,8	50	2,10	
FV+R160A2/32A25A20	25 20 15	1 ¾ ½	160	32 25 20	26,0 20,4 14,4	3,0 2,3 2,8	2 1 1	0,8	50	2,35	
FV+R200A3/32A20	25 15	1 ½	200	32 20	26,0 20,4	3,0 2,8	3 1	0,8	50	2,95	
FV+R200A2/40A25A20	32 20 15	1 ¼ ¾ ½	200	40 25 20	32,6 20,4 14,4	3,7 2,3 2,8	2 1 1	0,8	50	3,15	
FV+R200A2/40A32A25	32 25 20	1 ¼ 1 ¾	200	40 32 25	32,6 26,0 20,4	3,7 3,0 2,3	2 1 1	0,8	50	3,30	
FV+R200A2/50A25A20	40 20 15	1 ½ ¾ ½	200	50 25 20	40,8 20,4 14,4	4,6 2,3 2,8	2 1 1	0,9	50	3,65	
FV+R200A2/50A32A25	40 25 20	1 ½ 1 ¾	200	50 32 25	40,8 26,0 20,4	4,6 3,0 2,3	2 1 1	0,9	50	3,80	

Další dimenze na požádání.

## FLEXALEN přeizolované tyče

### FLEXALEN předizolované tyče

Vyvinutý pro velké projekty distribuce tepla teplé a studené vody

#### Výhody:

- nízká hmotnost potrubí
- jednoduchá instalace, široká nabídka tvarovek s uzavřenou buněnou strukturou
- samokompenzační vlastnosti
- velmi nízká ztráta třením – vhodné pro vysokou rychlost proudění
- absorpce tlakových rázů
- tvarovky pro svařování „na tupo“ a pro elektrosvařování
- poloměr ohybu 16 – 20 m



#### TOPENÍ / SANITA

Částečně flexibilní předizolované potrubí pro topení a sanitu s trubkou pro médium z polybutenu (PB), podle EN-ISO 15876, s možností použití do 95° C a 8 barů, s izolací z polyuretanu (PUR) – tvrdé pěny a opláštěním z HD-PE.

Objednávací kód	Jmenovitý průměr DN	Jmenovitý průměr coul (")	Vnější průměr opláštění trubky DA (mm)	Trubka pro médium		Tloušťka stěny S (mm)	Počet trubek v izolaci	Minimální rádius ohybu (m)	Maximální dodávaná délka (m)	Hmotnost (kg/bm)
				Vnější ø dia (mm)	Vnitřní ø di (mm)					
FV-R200A110/12*	100	4	200	110	90,0	10,0	1	16	11,80	6,30
FV-R200A125/12	100	4	200	125	102,2	11,4	1	16	11,80	7,40
FV-R225A140/12*	125	5	225	140	114,6	12,8	1	18	11,80	9,00
FV-R250A160/12	150	6	250	160	130,8	14,6	1	20	11,80	11,70
FV-R315A225/5,8*	200	8	315	225	184,0	20,5	1	26	5,80	22,00

\* informace na vyzádání

#### Studená pitná voda

Částečně flexibilní předizolované potrubí pro topení a sanitu s trubkou pro médium z polyetylénu (HD-PE 100), podle EN12201, s možností použití do 20° a 10 barů, s izolací z polyuretanu (PUR) – tvrdé pěny a opláštěním z HD-PE.

Objednávací kód	Jmenovitý průměr DN	Jmenovitý průměr coul (")	Vnější průměr opláštění trubky DA (mm)	Trubka pro médium		Tloušťka stěny S (mm)	Počet trubek v izolaci	Minimální rádius ohybu (m)	Maximální dodávaná délka (m)	Hmotnost (kg/bm)
				Vnější ø dia (mm)	Vnitřní ø di (mm)					
FV-R200A110PE*	100	4	200	110	90,0	10,0	1	16	6 / (12)*	6,30
FV-R200A125PE*	100	4	200	125	102,2	11,4	1	16	6 / (12)*	7,40
FV-R225A140PE*	125	5	225	140	114,6	12,7	1	18	6 / (12)*	9,00
FV-R250A160PE*	150	6	250	160	130,8	14,6	1	20	6 / (12)*	11,70

\* Závislé na objednaném množství; informace na vyzádání



**Příloha D - Cenové rozhodnutí ERÚ č. 4/2011 ze dne XX listopadu 2011, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů**

**Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 4/2011 ze dne XX listopadu 2011, kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů**

Energetický regulační úřad podle § 2c zákona č. 265/1991 Sb., o působnosti orgánů České republiky v oblasti cen, ve znění pozdějších předpisů, § 17 odst. 6 písm. d) zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů, a § 6 zákona č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů), ve znění pozdějších předpisů, vydává cenové rozhodnutí o cenách elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů.

**Všeobecná ustanovení:**

Ceny uvedené v bodech (1) až (3) nezahrnují daň z přidané hodnoty. K uvedeným cenám je připočítávána daň z přidané hodnoty podle zvláštního právního předpisu<sup>1)</sup>.

**(1) Pro elektřinu vyrobenou z obnovitelných zdrojů energie platí tyto výkupní ceny a zelené bonusy a věcné podmínky:**

(1.1.) Výkupní ceny jsou stanoveny jako minimální ceny podle zvláštního právního předpisu<sup>2)</sup>. Zelené bonusy jsou stanoveny jako pevné ceny podle zvláštního právního předpisu<sup>2)</sup>. V rámci jedné výroby elektřiny nelze kombinovat režim výkupních cen podle bodu (1.2.) a režim zelených bonusů podle bodu (1.3.).

(1.2.) Výkupní ceny se uplatňují za elektřinu naměřenou a dodanou v předávacím místě výroby elektřiny a sítě provozovatele distribuční soustavy nebo provozovatele přenosové soustavy, které vstupuje do zúčtování odchylek subjektu zúčtování odpovědného za ztráty v regionální distribuční soustavě nebo subjektu zúčtování odpovědného za ztráty v přenosové soustavě.

(1.3.) Zelené bonusy se uplatňují za elektřinu naměřenou a dodanou v předávacím místě výroby elektřiny a sítě provozovatele regionální distribuční soustavy nebo přenosové soustavy a dodanou výrobcem obchodníkovi s elektřinou nebo zákazníkovi a dále za ostatní vlastní spotřebu elektřiny podle zvláštního právního předpisu<sup>3)</sup>. Zelené bonusy se neuplatňují za technologickou vlastní spotřebu podle zvláštního právního předpisu<sup>3)</sup>.

...  
...

(1.6.2.) U bioplynových stanic kategorie AF 1 uvedených do provozu po 1. lednu 2012 včetně je podmínkou pro poskytnutí podpory výroba a efektivní využití vyrobené tepelné energie minimálně v úrovni 10 % vůči vyrobené elektřině v daném roce, s výjimkou elektřiny pro technologickou vlastní spotřebu elektřiny a tepla.