

**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

**BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY**

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING**

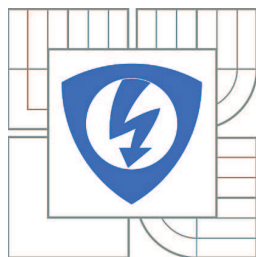
**ZAČLENĚNÍ LOKÁLNÍHO ZDROJE -  
KOGENERAČNÍ JEDNOTKY DO PRŮMYSLOVÉ  
SÍTĚ**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS**

**AUTOR PRÁCE  
AUTHOR**

**MICHAL KUČERA**

**BRNO 2013**



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Elektroenergetika**

**Student:** Bc. Michal Kučera

**ID:** 115211

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2012/2013

## NÁZEV TÉMATU:

**Začlenění lokálního zdroje – kogenerační jednotky do průmyslové sítě**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Charakteristické vlastnosti a parametry kogeneračních jednotek.
2. Využití důlního plynu jako paliva pro kogenerační jednotky.
3. Podmínky pro instalaci zdroje v průmyslové síti.
4. Podmínky pro přetok elektřiny do distribuční sítě, kvalita elektřiny, kompenzace účinníku.
5. Návrh variant začlenění a provozu kogenerační jednotky v konkrétní průmyslové síti.
6. Ekonomické zhodnocení variant.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 11.2.2013

**Termín odevzdání:** 24.5.2013

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Jiří Drápela, Ph.D.

**Konzultanti diplomové práce:**

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Bibliografická citace práce:

KUČERA, M. *Začlenění lokálního zdroje – kogenerační jednotky do průmyslové sítě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. XY s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Drápela, Ph.D..

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. Díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

.....

Chtěl bych touto cestou poděkovat Ing. Jiřímu Holoubkovi za cenné rady při zpracování diplomové práce. Dále také Ing. Radku Dvořákovi za umožnění prohlídky kogenerační jednotky. V neposlední řadě chci rovněž poděkovat rodičům za podporu při studiu.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

# ZAČLENĚNÍ LOKÁLNÍHO ZDROJE - KOGENERAČNÍ JEDNOTKY DO PRŮMYSLOVÉ SÍTĚ

INTEGRATION OF A CO-GENERATION UNIT TO INDUSTRIAL POWER SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

*AUTOR PRÁCE*

AUTHOR

Bc. MICHAL KUČERA

*VEDOUCÍ PRÁCE*

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ DRÁPELA, Ph.D.

## ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá začleněním kogenerační jednotky spalující důlní plyn do průmyslové sítě. Cílem práce je navrhnout a zhodnotit různé varianty začlenění kogenerační jednotky do průmyslové sítě. První, teoretická část práce, se věnuje samotné kogeneraci (kombinované výrobě tepla a elektřiny). Jsou shrnuty technologie, které se ke kombinované výrobě tepla a elektřiny používají a možnosti využití. Dále se práce zabývá důlním plynem, jako palivem pro kogenerační jednotky. Poslední kapitoly v teoretické části pojednávají o podmínkách pro připojení zdroje do průmyslové sítě a o možnostech přetoku elektřiny do distribuční sítě.

Praktická část se potom zabývá instalací 600-ti kilowattové kogenerační jednotky do konkrétní průmyslové sítě. Jsou navrženy a zhodnoceny 4 varianty provozu kogenerační jednotky. Na závěr je provedeno krátké ekonomické zhodnocení.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** kogenerace, kogenerační jednotka, důlní plyn

---

## ABSTRACT

This master's thesis deals with the integration of a mine gas burning cogeneration unit into industrial power system. The aim of the thesis is to design and evaluate different possibilities of integration the cogeneration unit into industrial power system. The first, theoretical part of the thesis discuss about cogeneration (combined heat and power). The technologies used for cogeneration are summed up as well as the possibilities of usage. The next part deals with the mine gas as the fuel for the cogeneration units. The lasts chapters of the theoretical part talks about terms for installation power source into industrial power system and about the possibilities of overflow of the electricity into distribution power system.

The practical part deals with the installation of the 600 kW cogeneration unit into particular industrial power system. Four possibilities of operation mode of the cogeneration unit are design. At the end of the thesis the brief economical evaluation is accomplished.

**KEY WORDS:** cogeneration, cogeneration unit, mine gas

**OBSAH**

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>11</b>
<b>1 ÚVOD.....</b>	<b>12</b>
<b>2 KOGENERACE.....</b>	<b>13</b>
<b>3 CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI A PARAMETRY KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK..</b>	<b>15</b>
<b>3.1 ENERGETICKÉ PARAMETRY .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 ÚČINNOST PŘEMĚNY .....</b>	<b>18</b>
<b>3.3 DRUHY KOGENERAČNÍCH TECHNOLOGIÍ .....</b>	<b>19</b>
3.3.1 PARNÍ TURBÍNY .....	20
3.3.2 ORGANICKÝ RANKINŮV CYKLUS (ORC) .....	22
3.3.3 KOGENERACE SE SPALOVACÍ TURBÍNOU.....	23
3.3.4 PAROPLYNOVÁ KOGENERACE.....	24
3.3.5 MIKROTURBÍNY .....	26
3.3.6 KOGENERACE SE SPALOVACÍM MOTOREM.....	26
3.3.7 SPECIÁLNÍ KOGENERAČNÍ ZAŘÍZENÍ .....	30
3.3.8 SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH TECHNOLOGIÍ .....	33
<b>4 VYUŽITÍ DŮLNÍHO PLYNU JAKO PALIVO PRO KOGENERAČNÍ JEDNOTKY .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1 PŮVOD DŮLNÍHO PLYNU .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 CHARAKTERISTIKA DŮLNÍHO PLYNU.....</b>	<b>35</b>
<b>4.3 VYUŽITÍ V KOGENERAČNÍCH JEDNOTKÁCH .....</b>	<b>35</b>
<b>4.4 PODPORA A LEGISLATIVA.....</b>	<b>36</b>
<b>5 PODMÍNKY PRO INSTALACI ZDROJE V PRŮMYSLOVÉ SÍTI .....</b>	<b>39</b>
<b>5.1 POSKYTNUTÍ ÚDAJŮ .....</b>	<b>39</b>
<b>5.2 TECHNICKÉ POŽADAVKY.....</b>	<b>40</b>
<b>5.3 PODMÍNKY PRO PŘETOK ELEKTRINY DO DISTRIBUČNÍ SÍTĚ.....</b>	<b>42</b>
<b>6 POPIS PRŮMYSLOVÉ SÍTĚ.....</b>	<b>43</b>
<b>6.1 POPIS ROZVODNY .....</b>	<b>43</b>
<b>6.2 POPIS KOGENERAČNÍ JEDNOTKY .....</b>	<b>43</b>
<b>6.3 POTŘEBNÉ KROKY PŘED ZPROVOZNĚNÍM .....</b>	<b>46</b>
<b>7 PROVOZNÍ REŽIMY LDS .....</b>	<b>47</b>
<b>7.1 STANDARDNÍ PROVOZ .....</b>	<b>47</b>
<b>7.2 REDUKOVANÝ PROVOZ.....</b>	<b>49</b>
<b>7.3 PROVOZ KGJ POUZE DO SÍTĚ.....</b>	<b>50</b>

---

7.4 OSTROVNÍ PROVOZ .....	50
7.5 SHRnutí .....	51
<b>8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....</b>	<b>53</b>
8.1 INVESTIČNÍ NÁKLADY .....	53
8.2 STANDARDNÍ REŽIM.....	54
8.3 REDUKOVANÝ PROVOZ.....	54
8.4 PROVOZ POUZE DO SÍTĚ.....	54
8.5 OSTROVNÍ REŽIM.....	54
<b>9 ZÁVĚR .....</b>	<b>55</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>57</b>
<b>PŘÍLOHA.....</b>	<b>59</b>

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1 Porovnání oddělené a kombinované výroby</i> .....	13
<i>Obr. 2 Vliv modulu teploty výroby na celkovou účinnost</i> .....	17
<i>Obr. 3 Závislost elektrické účinnosti KJ na elektrickém výkonu</i> .....	19
<i>Obr. 4 Schéma zapojení protitlakové parní turbíny</i> .....	20
<i>Obr. 5 Schéma zapojení kondenzační turbíny</i> .....	21
<i>Obr. 6 Kogenerační zapojení spalovací turbíny s přitápěním</i> .....	23
<i>Obr. 7 Svorková účinnost plynových turbín</i> .....	24
<i>Obr. 8 Schéma paroplynového kogeneračního zdroje</i> .....	25
<i>Obr. 9 Toky energií u KJ se spalovacím motorem</i> .....	27
<i>Obr. 10 Základní zapojení KJ se spalovacím motorem (pro dodávku teplé nebo horké vody)</i> .....	28
<i>Obr. 11 Elektrická účinnost a modul teploty výroby KJ se spalovacím motorem výrobců a dodavatelů do ČR</i> .....	29
<i>Obr. 12 Kogenerační jednotka firmy TEDOM se spalovacím motorem v kontejnerovém provedení</i> .....	29
<i>Obr. 13 Princip palivového článku</i> .....	30
<i>Obr. 14 Schéma kogenerace s palivovými články</i> .....	31
<i>Obr. 15 Odsávací stanice důlního plynu</i> .....	34
<i>Obr. 16 KJ Vrbice, 580 kW</i> .....	36
<i>Obr. 17 Srovnání výkupních cen -v případě rozmezí cen jsou v grafu uváděna maxima, u fotovoltaiky je uvedena cena pro FVE nad 100 kW, pro rok 2012 nad 30 kW</i> .....	37
<i>Obr. 18 Vývoj ceny důlního plynu a příspěvku k ceně elektřiny vyrobené z druhotných zdrojů, zdroj: ERÚ</i> .....	38
<i>Obr. 19 Typické schéma zapojení KJ do LDS</i> .....	41
<i>Obr. 20 Řez dmychadlem</i> .....	44
<i>Obr. 21 Soustrojí s dmychadlem</i> .....	45
<i>Obr. 22 Vliv na účinník</i> .....	48
<i>Obr. 23 Vliv na účinník</i> .....	49

---

## SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Srovnání kogeneračních technologií.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 2 Rozdělení výrobců elektřiny .....</i>	<i>39</i>
<i>Tabulka 3 Shrnutí provozních režimů .....</i>	<i>51</i>

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

DS	distribuční síť
DZ	druhotné zdroje
KJ, KGJ	kogenerační jednotka
KVET	kombinovaná výroba elektřiny a tepla
LDS	lokální distribuční síť
ORC	organický Rankinův cyklus
OZE	obnovitelné zdroje energie
PPDS	pravidla provozu distribučních soustav
PPLDS	pravidla provozu lokálních distribučních soustav
$\eta_C^{KVET}$	celková účinnost při kombinované výrobě elektřiny a tepla
$\eta_C^{ODV}$	celková účinnost při oddělené výrobě
$\eta_E^{KVET}$	elektrická účinnost při kombinované výrobě elektřiny a tepla
$\eta_T^{KVET}$	tepelná účinnost při kombinované výrobě elektřiny a tepla
$\sigma$	modul teplotní výroby
$m_{pal}$	hmotnost/objem paliva
$C_{zb}$	podpora za KVET
$M_{pal}$	hmotnostní/objemový průtok paliva
$E$	elektrické energie
$E_{kvet}$	elektřina vyrobená v KVET
$P_E$	elektrický výkon
$P_T$	tepelný výkon
$Q$	tepelná energie
$Q_i$	výhřevnost paliva
$ZB_{dopl\_I}$	doplňková sazba zeleného bonusu
$ZB_{zakl.sazba}$	základní sazba zeleného bonusu

# 1 ÚVOD

V posledních letech prochází energetika velkým rozvojem. Zásadními problémy jsou jednak neustálé zvyšování energetických potřeb lidstva a také dopad na životní prostředí v souvislosti s využíváním energetických zdrojů. V energetice se v současnosti setkávají dva směry, které ovlivňují jak výrobce, tak spotřebitele. Jednak je to centralizovaná výroba a řízení (hlavně elektrické energie) a na druhé straně je to decentralizovaná výroba a otevření trhu s energiemi, které má směřovat ke zvýšení efektivity využití primárních zdrojů a k nižším ztrátám při přenosu energie. Vytváření konkurenčního prostředí mezi jednotlivými směry může mít pozitivní dopad pro spotřebitele

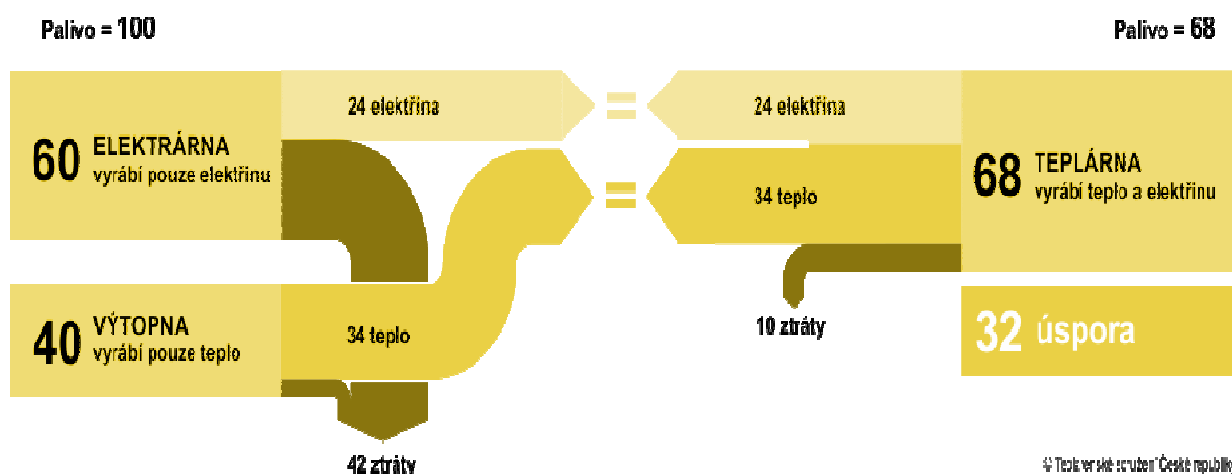
Mezi decentralizované zdroje patří právě kogenerační jednotky. Kogenerace je všeobecně vnímána jako ekologicky šetrný zdroj, který má vysokou efektivitu využití paliva. Otázky kogenerace jsou v současnosti proto velmi aktuální.

Tato práce se zabývá začleněním kogenerační jednotky spalující důlní plyn do průmyslové sítě. Kogenerační jednotky na důlní plyn nabízejí zajímavé zhodnocení důlního plynu, jehož energetický potenciál by jinak nebyl nijak využit.

## 2 KOGENERACE

Kogenerace je současná výroba více druhů energií. Nejčastějšími formami energií využívaných ve spotřebě jsou energie elektrická a tepelná energie. Obecně se tedy kogenerací rozumí kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie. V literatuře se rovněž velmi často setkáváme se zkratkou KVET. Takováto výroba výrazně zvyšuje účinnost oproti oddělené výrobě v kondenzační elektrárně a ve výtopně, protože se využívá zbytkové teplo, které by jinak vyšlo nazmar. Se zvýšením účinnosti se tedy šetří primární palivo.

Úsporu paliva demonstruje obr.1. Při výrobě stejného množství energie je u KVET úspora zhruba jedné třetiny paliva. Je uvažována účinnost elektrárny 40%, účinnost výtopny 85% a účinnost u kogenerace rovněž 85%.



Obr. 1 Porovnání oddělené a kombinované výroby [2]

Další výhodou kombinované výroby je úspora emisí znečišťujících látek, jako jsou oxidy dusíku a síry, prachu a emisí oxidu uhličitého. Kombinovaná výroba je tedy ekologičtější než výroba oddělená. Díky možnosti umístění zdroje přímo do místa spotřeby, se navíc snižují ztráty při přenosu a distribuci.

Zařízení pro kombinovanou výrobu mohou přizpůsobovat svůj provoz poptávce a poskytovat tzv. podpůrné služby díky akumulaci tepla v tepelných sítích [2].

System, který zajišťuje výrobu a dopravu elektrické a tepelné energie v požadovaných parametrech spotřeby, se nazývá kogenerační systém. Energetické výroby, ve kterých probíhá společná transformace primárních paliv na elektrickou a tepelnou energii se nazývají kogenerační jednotky (KJ). Kogenerační systémy mohou být rozčleňovány podle různých hledisek. Základní dělení je podle pořadí využívané energie na:

- horní kogenerační systémy
- dolní kogenerační systémy.

Horní kogenerační systémy získávají nejprve tepelnou energii. Toto teplo o vysokých parametrech je využíváno pro technologické procesy (ocelářství, sklářství) a až potom se teplo

---

odvádí do tepelného motoru a získává se mechanická energie, která se následně v elektrickém generátoru přetransformuje na energii elektrickou.

Dolní kogenerační systémy vyrábějí nejprve elektrickou energii. Nevyužité teplo se odvádí do tepelného oběhu.

Horní kogenerační systémy jsou využívány jen velmi zřídka, protože aby byla výroba elektrické energie efektivní, je potřebná poměrně vysoká vstupní teplota do tepelného systému.

Typické příklady vhodné k využití kogenerace jsou:

- Hotely a penziony
- Obchodní centra a banky
- Nemocnice a kliniky
- Bazény a koupaliště
- Průmysl a zemědělství

Naopak do míst, kde není zaručen odběr tepla, není nasazení kogenerace smysluplné.

### 3 CHARAKTERISTICKÉ VLASTNOSTI A PARAMETRY KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK

Kogenerační technologie můžeme podle způsobu transformace dělit na:

- přímý způsob
- nepřímý způsob.

U nepřímého způsobu se transformace energie obsažené v palivu provádí pomocí více energetických přeměn. V současnosti nejpoužívanější je způsob zahrnující tři transformace. Nejdříve se uvolní tepelná energie obsažená v palivu, poté je získávána technická práce, která se využívá pro mechanický pohon spotřebičů. Mechanická energie se posléze transformuje na elektrickou.

U přímého způsobu se provádí přeměna energie paliva přímo na energii elektrickou. Tu pak můžeme upravovat na požadované parametry. Přímá přeměna je založena na technologii palivových článků. Využití kogeneračních technologií s přímou přeměnou je v poslední době předmětem vývoje, ale už se objevila i první komerční zařízení [3].

Kogenerační jednotka se skládá z těchto částí:

- zařízení pro úpravu paliva
- primární motor (primární jednotka)
- zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie
- zařízení pro rekuperaci elektrické energie

*Zařízení pro úpravu paliva* upravuje parametry paliva na takové, se kterými pracuje primární motor. Muže se jednat o zušlechtnění paliva, úpravu prvkového složení nebo úprava tlaku či teploty.

*Primární jednotka* je hlavní částí KJ. Dochází v ní k přeměně energie paliva na ušlechtlejší formu - elektrickou, případně mechanickou. Primární jednotkou pro přímý způsob transformace je palivový článek, pro nepřímý způsob je to tepelný motor.

*Zařízení pro výrobu elektrické energie* představuje elektrický generátor, případně měnič. Generátor přeměňuje mechanickou energii na energii elektrickou. Může se jednat o generátor střídavý nebo stejnosměrný. Stejnosměrný umožňuje pracovat samostatně do zátěže bez spolupráce s distribuční sítí, kdežto střídavé mohou spolupracovat s elektrizační sítí. U jednotek nižších výkonů se používá asynchronní generátor, který nemá budící vinutí a je tedy levnější. Synchronní generátor zase nepotřebuje ke svému fungování vnější napájení, a proto dokáže pracovat i bez spolupráce s elektrizační soustavou.

*Zařízení pro rekuperaci tepelné energie* je tepelný výměník, který přeměňuje odváděný tepelný výkon na požadované parametry. Nejběžnějšími výstupními médii z výměníků jsou voda (o teplotě od 100 do 200°C), pára nebo teplý vzduch.

Základní prvek, který určuje typ kogeneračních technologie je primární jednotka (dělení v kapitole). Dále můžeme dělit kogenerační technologie podle mnoha hledisek, a to např.:

- podle primárního paliva
- maximálního dosažitelného výkonu
- účelu využití
- podle druhu spotřeby

Podle primárního paliva je možné rozdělit kogenerační technologie na ty, které pracují s:

- s obnovitelnými a druhotnými zdroji
- s neobnovitelnými zdroji.

Obnovitelnými a druhotnými zdroji využitelnými pro kogeneraci jsou nefosilní zdroje jako sluneční energie, geotermální energie, biomasa, bioplyn nebo i důlní plyn.

Neobnovitelné zdroje jsou ty, jejichž zásoba se neustále zmenšuje, patří sem fosilní paliva.

Podle maximálního dosažitelného výkonu dělíme kogenerační technologie takto:

- mikro-kogenerace - do výkonu 50 kW<sub>E</sub>
- mini-kogenerace - do výkonu 500 kW<sub>E</sub>
- kogenerace malého výkonu - do 1 MW<sub>E</sub>
- kogenerace středního výkonu - do 50 MW<sub>E</sub>
- kogenerace velkého výkonu - nad 50 MW<sub>E</sub>

Podle účelů využití na

- základní
- špičkové
- záložní
- rezervní specifické

Kogenerační jednotky je vhodné umísťovat co nejbližší ke spotřebě tepelné energie. Podle druhu spotřeby můžeme dělit:

- centralizované zásobování teplem
- průmyslová kogenerace
- kogenerace pro komerční sféru
- kogenerace pro komunální sféru
- kogenerace pro bytovou sféru

### 3.1 Energetické parametry

Mezi energetické parametry charakterizující KJ patří:

- elektrický výkon
- tepelný výkon
- poměr elektrického a tepelného výkonu
- kvalita tepelné energie.

Elektrický výkon  $P_E(t)$  je okamžitá hodnota dodávaná kogenerační jednotkou. Může se pohybovat v určitém rozmezí od  $P_{Emin}$  do  $P_{Emax}$  v tzv. regulačním rozsahu. Výkon, ve kterém má KJ nejlepší účinnost se nazývá jmenovitý -  $P_{E,n}$ . Při takovém výkonu je provoz nejehospodárnější.

Tepelný výkon  $P_T(t)$  je okamžitá hodnota, kterou lze využít pro dodávku tepla. Tepelný výkon je závislý na množství vyráběné elektrické energie. Pokud je tedy požadavek na výrobu elektřiny a není zajištěn odběr tepla, odvádí se nevyužité teplo do okolního prostředí.

Poměr elektrického a tepelného výkonu  $\sigma$  je jedním z nejdůležitějších ukazatelů kogeneračních zařízení. Tento poměr se nazývá *modul teplárenské výroby elektřiny*.

$$\sigma = \frac{E}{Q_{UV}} = \frac{P_E}{P_T} = \frac{E_{\%}}{Q_{UV\%}} = \frac{P_{E\%}}{P_{T\%}} \quad (3.1)$$

kde:

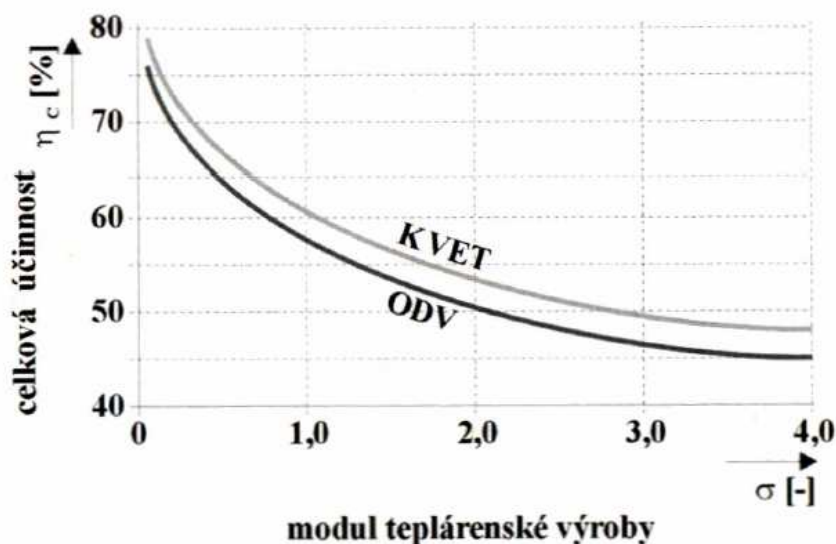
$P_{E\%}$  - procentní zastoupení elektrického výkonu na celkovém výkonu KJ

$P_{T\%}$  - procentní zastoupení tepelného výkonu na celkovém výkonu KJ

$E_{\%}$  - procentní zastoupení vyrobené elektrické energie na celkové výrobě KJ

$Q_{\%}$  - procentní zastoupení využitě tepelné energie na celkové výrobě KJ

Hodnota  $\sigma$  má vliv a vyhodnocení účinnosti při porovnání s oddělenou výrobou, jak ukazuje obr. 2 [1]



Obr. 2 Vliv modulu teplárenské výroby na celkovou účinnost [1]

Pomocí poměru  $\sigma$  můžeme vyjádřit procentní podíl elektrického nebo tepelného výkonu. Při změně poměru výroby mezi elektrickou a tepelnou energií musí vždy platit :

$$E_{\%} + Q_{UV\%} = P_{E\%} + P_{T\%} = 100\% \quad (3.2)$$

Dosažením za procentní tepelný výkon z definice  $\sigma$  dostaneme vztah pro procentní proměnný elektrický výkon. A naopak zase při dosažení za elektrický procentní výkon dostaneme vztah pro procentní proměnný tepelný výkon:

$$P_{E\%} = \frac{\sigma}{1 + \sigma} \quad [-] \quad (3.3)$$

$$P_{T\%} = \frac{1}{\sigma + 1} \quad [] \quad (3.4)$$

Kvalita tepelné energie je dána její formou. Obecně lze teplo charakterizovat jako vysokopotenciální a nízkopotenciální. Vysokopotenciální teplo lze využít pro průmyslové použití (výroba páry, vysoušecí procesy). Nízkopotenciální teplo se používá převážně pro teplotenské účely pomocí vody.

### 3.2 Účinnost přeměny

Účinnost přeměny je dána zákonem zachování energie jako poměr výstupní (vyžité) energie k energii vstupní (dodané). U kogeneračních jednotek se definují tyto účinnosti:

- elektrická účinnost
- tepelná účinnost
- celková účinnost

*Elektrická účinnost*  $\eta_E^{KVET}$  představuje účinnost přeměny energie paliva na elektrickou účinnost. Je dána:

$$\eta_E^{KVET} = \frac{E}{Q_{pal}} = \frac{E}{m_{pal} \cdot Q_i} = \frac{P_E}{M_{pal} \cdot Q_i} \quad [-] \quad (3.5)$$

kde:

$m_{pal}$  - hmotnost nebo objem paliva [kg, m<sup>3</sup>]

$M_{pal}$  - hmotnostní nebo objemový průtok paliva [kg/s m<sup>3</sup>/s]

$Q_i$  - výhřevnost paliva [J/kg, J/m<sup>3</sup>]

Hodnota elektrické účinnosti se mění v závislosti na hodnotě elektrického výkonu  $P_E$ . U jednotek, které mají vyšší výkon, je i vyšší účinnost, protože pracovní látka má vyšší tlak a teplotu. Vzájemnou závislost popisuje Obr. 3[1].

*Tepelná účinnost*  $\eta_T^{KVET}$  vyjadřuje účinnost přeměny energie v přivedeném palivu na energii tepelnou. Je definována:

$$\eta_T^{KVET} = \frac{Q_{UV}}{Q_{pal}} = \frac{Q_{UV}}{m_{pal} \cdot Q_i} = \frac{P_T}{M_{pal} \cdot Q_i} \quad [-] \quad (3.6)$$

*Účinnost celková*  $\eta_C^{KVET}$  je potom součtem obou účinností. Vyjadřuje celkovou účinnost energie přivedené v palivu na využitou energii.

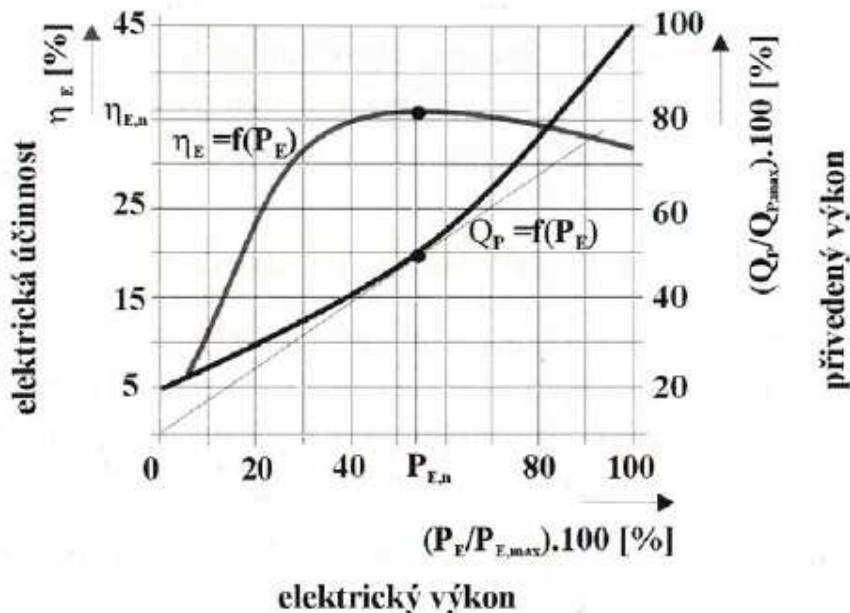
$$\eta_C^{KVET} = \eta_E^{KVET} + \eta_T^{KVET} = \frac{E + Q_{UV}}{Q_{pal}} = \frac{E + Q_{UV}}{m_{pal} \cdot Q_i} = \frac{P_T + P_E}{M_{pal} \cdot Q_i} = [-] \quad (3.7)$$

Modul teplotní výroby lze vyjádřit také pomocí poměru účinnosti:

$$\sigma = \frac{\eta_E^{KVET}}{\eta_T^{KVET}} = \frac{\eta_E^{KVET}}{\eta_C^{KVET} - \eta_E^{KVET}} \quad [-] \quad (3.8)$$

Při výpočtu účinnosti u oddělené výroby je sice výstup elektrického a tepelného výkonu stejný, jsou ale přiváděny 2 vstupy. Pro celkovou účinnost při oddělené výrobě platí vztah:

$$\eta_C^{ODV} = \frac{E + Q_{UV}}{\frac{P_E}{\eta_E^{ODV}} + \frac{P_T}{\eta_T^{ODV}}} \quad [-] \quad (3.9)$$



Obr. 3 Závislost elektrické účinnosti KJ na elektrickém výkonu [1]

### 3.3 Druhy kogeneračních technologií

Typ dané kogenerační technologie určuje typ primární jednotky, která je nejdůležitější částí KJ. Primární jednotka má největší vliv na hodnocení parametrů celé KJ. Podle primární jednotky můžeme tedy kogeneraci dělit na

- kogeneraci s parní turbínou
- kogeneraci se spalovací turbínou
- paroplynová kogenerace
- kogenerace se spalovacím motorem

K novým druhům patří:

- Stirlingův motor

- zařízení využívající organický cyklus (ORC)
- mikroturbíny
- palivové články

### 3.3.1 Parní turbíny

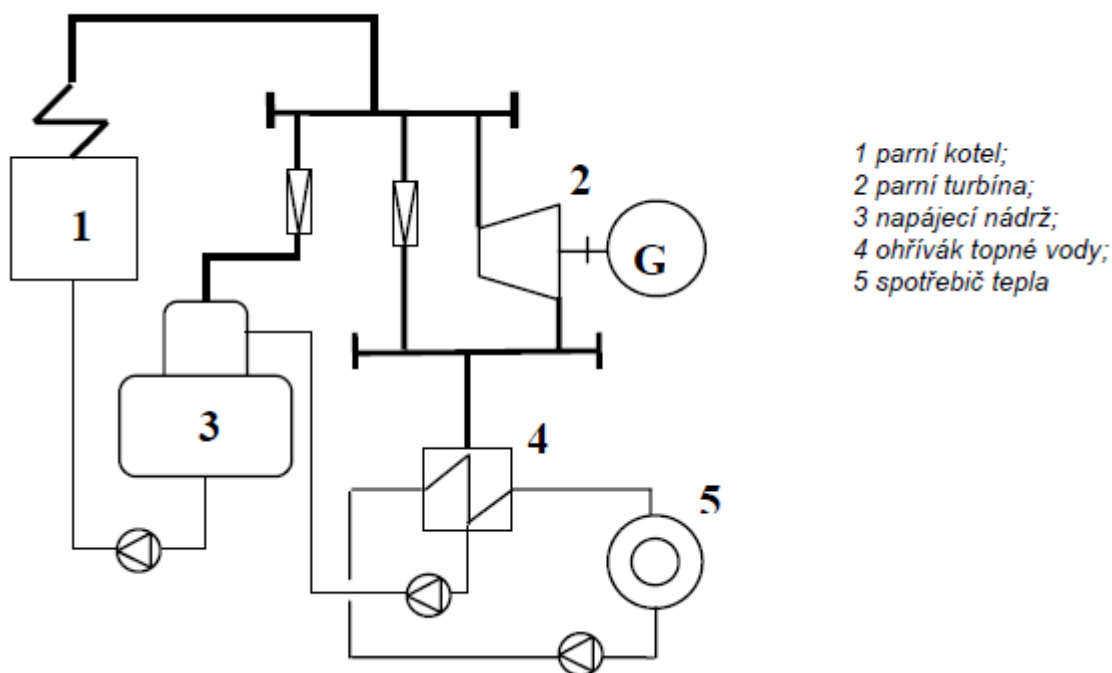
Parní turbíny jsou pro průmyslovou kogeneraci využívány již velmi dlouhou dobu. Využívají tepelného oběhu zvaného Rankinův oběh. Vyrobená pára expanduje v parní turbíně, čímž se získává technická práce. Výstupní pára potom vstupuje buď do kondenzátoru nebo do tepelného výměníku. Při použití parní turbíny jako motoru kogeneračního systému jsou dvě možnosti jejího zapojení, a to:

- parní turbína protitlaková
- parní turbína kondenzační.

#### 3.3.1.1 Parní turbína protitlaková

U provedení s protitlakovou parní turbínou slouží veškerá pára procházející turbínou k teplárenskému využití. Teplo je odebíráno na výstupu z turbíny. Pokud je požadován dvoustupňový ohřev topné vody, provádí se druhý stupeň ohřevu pomocí odběru z turbíny nebo někdy přímo parou odebíranou z kotle redukovanou na potřebný tlak.

Výstupní pára má relativně nízký tlak, proto má tepelná energie nízké parametry. Čím vyšší jsou požadavky na teplotu odběru, tím musí být vyšší i teplota výstupní páry, a tím se snižuje elektrická účinnost.

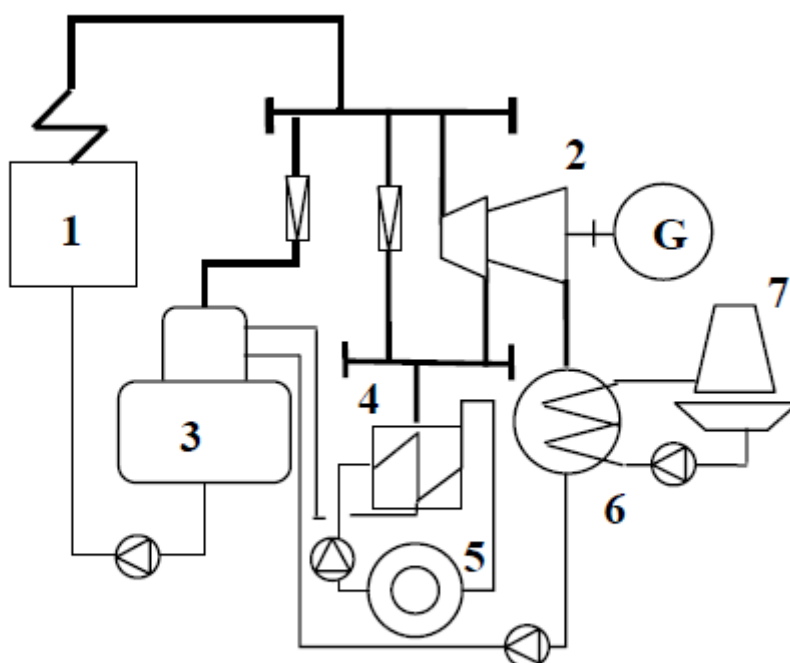


Obr. 4 Schéma zapojení protitlakové parní turbíny [3]

Používané jednotky dosahují většinou velkých jmenovitých výkonů. Jsou vhodné pro centralizovanou výrobu a pro velké spotřebitele tepelné energie. Díky požadavkům souvisejícím s vysokou teplotou a tlakem páry, jsou zařízení s protitlakovou parní turbínou investičně náročná. Zvyšování vstupních parametrů páry zlepšuje teplotní parametry zdroje, ovšem progresivně zvyšuje i investiční a provozní náklady.

### 3.3.1.2 Kondenzační turbíny

U kondenzačních turbín je na prvním místě výroba elektrické energie. Pára z výstupu turbíny je odváděna do kondenzátoru. Čistě kondenzační turbíny pracují jako zdroje pouze elektrické energie. Kondenzační teplo je z oběhu odváděno při teplotě okolí, čímž se dosahuje velmi nízkého výstupního tlaku páry z turbíny. Odváděné teplo pak není možné díky nízké teplotě užitečně využít.



1 parní kotel; 2 parní turbína; 3 napájecí nádrž; 4 ohřívák topné vody;  
5 spotřebič tepla; 6 kondenzátor; 7 chladič věž

Obr. 5 Schéma zapojení kondenzační turbíny [3]

Pára ovšem může být pro průmyslové nebo topné účely odebírána i u tohoto typu zařízení, a to na vhodném místě expanze. Při takovém stavu pracuje turbína jako kondenzační turbína s odběrem páry. Vzájemná závislost mezi elektrickou a tepelnou účinností je tímto odstraněna. Odběr páry je však i zde možný na výstupu z turbíny. V takovém případě turbína pracuje jako protitlaková.

### 3.3.1.3 Parametry parních turbín

Rozmezí používaných výkonů je široké. Pohybuje se v oblasti od 1 MW<sub>E</sub> do 250 MW<sub>E</sub>. Z hlediska využití pro teplotní účely lze parní turbíny dělit podle výkonu na turbíny malého výkonu - do 25 MW<sub>E</sub> a turbíny středního a velkého výkonu - nad 25 MW<sub>E</sub>. V ČR byla postupně

zrekonstruována část kondenzačních elektráren do podoby kogeneračních zařízení, čímž se zvýšila jejich efektivita. Teplo pak bylo dodáváno do blízkých měst.

Elektrická účinnost se pohybuje od 35 % (pro velké kondenzační turbíny) do 8 % (malé protitlakové turbíny). Nízká hodnota elektrické účinnosti není podstatná, neboť protitlakové turbíny slouží hlavně pro dodávku tepla. Celková účinnosti dosahuje u vyšších protitlakových oběhů až 85 %.

Velkou výhodou je, že kogenerační zařízení s parní turbínou mohou používat jakékoliv palivo, jako i např. mazut, tuhé komunální odpady, plyn, uhlí apod. Kotle bývají i přizpůsobeny pro spalování kombinovaných paliv (např. uhlí s biomasou).

Výhody KJ s parní turbínou:

- je použitelné libovolné palivo
- teplo může být dodáváno v libovolné formě (horká voda, VT, NT pára)
- velký rozsah jednotkových výkonů
- velká celková účinnost
- dlouhá životnost

Nevýhody KJ s parní turbínou:

- malý poměr elektrického a tepelného výkonu
- pomalé najíždění a změna výkonu
- velké investiční náklady
- složité zařízení s řadou pomocných provozů
- velké požadavky na zastavěnou plochu a celkový objem KJ

### 3.3.2 Organický Rankinův cyklus (ORC)

Tento cyklus je principiálně stejný s Rankinovým cyklem pro parní turbínu. Rozdíl je však v použití pracovní látky - organické sloučeniny. Organické látky je vhodné používat při nízkých teplotách dosahovaných teplotním zdrojem nebo u turbín s nízkým výkonem, kdy turbína běží při nižších otáčkách.

Nejčastěji používané látky jsou fluid uhlovodíky, toluen nebo silikonové látky.

Výkon KJ s ORC se pohybuje od 200 kW<sub>E</sub> do 1500 kW<sub>E</sub>. Primární jednotky se dodávají v modulárním provedení. Výkon se pak zvyšuje paralelním propojením modulů. S ohledem na hodnoty používaných teplot je možné využívat pouze nízkopotenciální teplo. Elektrická účinnost se pohybuje od 15 % do 20 %. Celková účinnost pak dosahuje 85 %, tedy stejná jako u parních turbín.

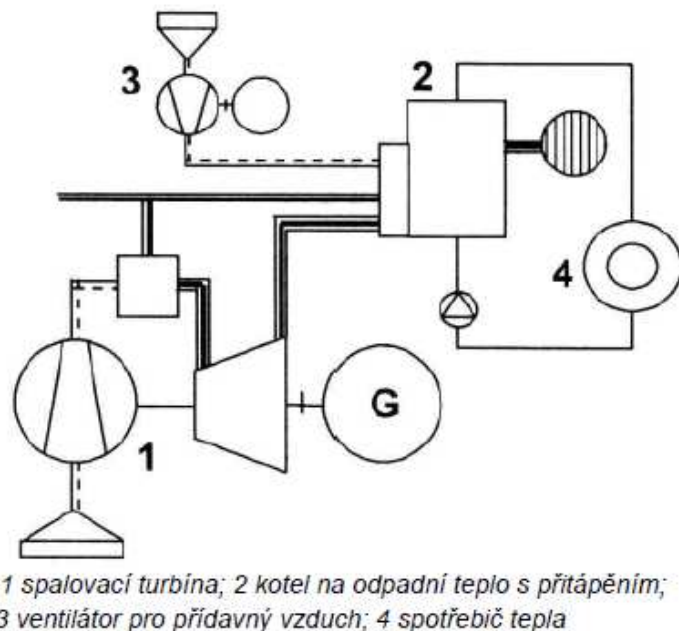
### 3.3.3 Kogenerace se spalovací turbínou

Kogenerační jednotky se spalovacím typem jsou nejrozšířenějším typem KJ vůbec. Spalovací turbína s jednoduchým otevřeným oběhem se skládá z kompresoru spalovací komory, turbíny, elektrického generátoru a pomocných zařízení. To umožňuje odběr vysokopotencionálního tepla. Spaliny obsahují dostatek kyslíku, který umožňuje přívod dalšího paliva, tzv. přídavné spalování. Spaliny jsou vhodné pro:

- přímé spalování a sušení (u procesů umožňující přímý kontakt se spalinami)
- produkce páry (středotlaké a nízkotlaké)
- výroba teplé a horké vody
- výroba vysokotlaké páry pro kombinované oběhy s parní turbínou

Tepelný oběh, se kterým pracuje plynová turbína se nazývá *Braytonův oběh*. Pracovní látkou je vzduch. Ten je nejprve stlačován v kompresoru. Poté putuje do spalovací komory, kam je přiváděno palivo a dochází ke spalování. Vznikají tak spaliny o vysoké teplotě a tlaku, které následně expandují na turbíně. Plynová turbína přímo pohání kompresor. Zbytek výkonu lze potom použít pro pohon elektrického generátoru.

Vstupní a výstupní teploty jsou vysoké. S vyšší teplotou spalin na výstupu roste i tepelná účinnost. Jsou ovšem kladeny vysoké nároky na materiály. Spalovací turbíny jsou v současnosti předmětem vývoje několika světových výrobců, což má za následek vývoj spolehlivých strojů s vysokou účinností.



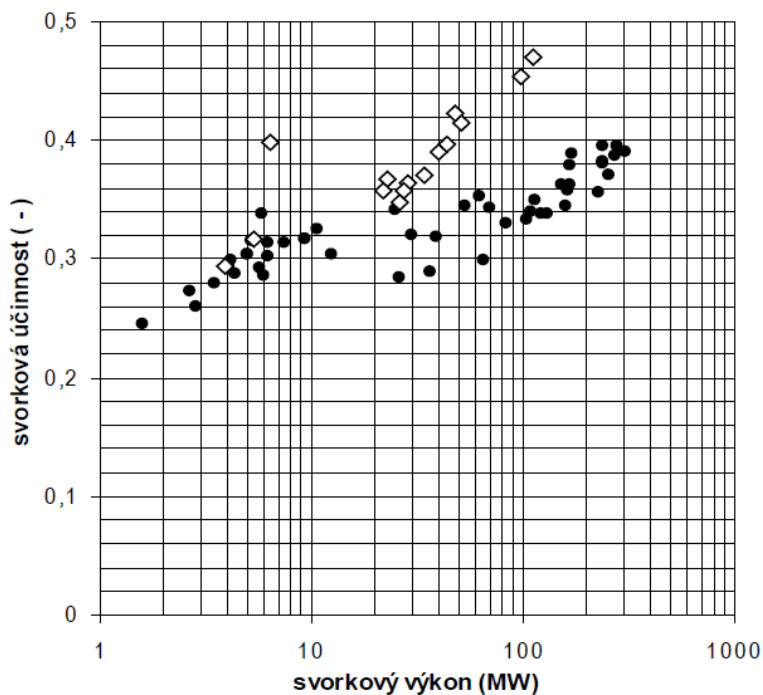
Obr. 6 Kogenerační zapojení spalovací turbíny s přitápěním [3]

Teplota spalin na výstupu turbíny se pohybuje mezi 450 až 550 °C. To umožňuje odběr vysokopotencionálního tepla. Spaliny obsahují dostatek kyslíku, který umožňuje přívod dalšího paliva, tzv. přídavné spalování. Spaliny jsou vhodné pro:

- přímé spalování a sušení (u procesů umožňující přímý kontakt se spaliny)
- produkce páry (středotlaké a nízkotlaké)
- výroba teplé a horké vody
- výroba vysokotlaké páry pro kombinované oběhy s parní turbínou

Teplu může být z KJ odebíráno i když není turbína v provozu. Pro tento případ je kotel vybaven hořáky a přívodem vzduchu, jak je znázorněno na Obr. 6. Naopak může být i turbína provozována bez odběru tepla - obvykle provoz ve špičkách spotřeby. Pro tento případ je instalován zvláštní komín na odvod spalin do ovzduší.

Elektrický výkon plynových turbín se pohybuje od 500 kW<sub>E</sub> do 300 MW<sub>E</sub>. Modul teplárenské výroby se blíží jedné. Zařízení pod 3 MW<sub>E</sub> e ovšem příliš neuplatňují, jelikož jsou ekonomicky nevýhodné. Elektrická účinnost se pohybuje mezi 25 -35 % pro malé a střední turbíny a mezi 40 - 42 % pro velké turbíny. Celková účinnost KJ s plynovou turbínou je potom mezi 60 - 80 %. Jak už bylo zmíněno, vývoj v této oblasti běží naplno a daří se v poslední době neustále zvyšovat účinnost.



Obr. 7 Svorková účinnost plynových turbín [3]

Kromě průmyslového využití jsou spalovací turbíny používány i v leteckém průmyslu.

### 3.3.4 Paroplynová kogenerace

S výhodou můžeme propojit okruh plynové a parní turbíny. Vznikne potom tzv. paroplynové zařízení. Je možno jej využít jak k samotné výrobě elektřiny, tak i ke kogenerační výrobě. Paroplynové elektrárny mají v současné době účinnost až 60 %. Tyto bloky se vyznačují

neobyčejnou provozní pružností - rychlost náběhu a rychlost změny výkonu. Obdobné vlastnosti mají i kogenerační bloky využívající paroplyn.

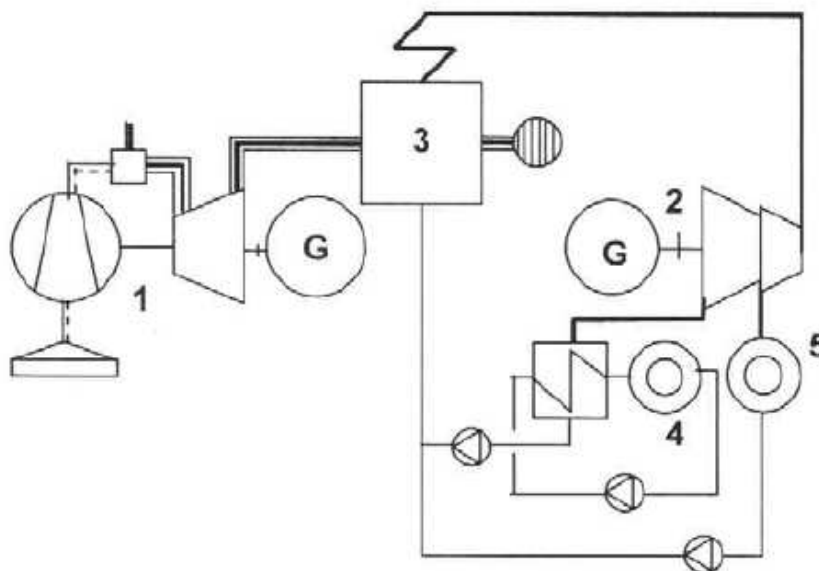
Nejčastější uspořádání znázorňuje obr. 8. Pára, která je vyráběna v kotli na odpadní teplo (taktéž nazývaný spalínový kotel), pohání turbínu. Parní turbíny se používají protitlakové, odběrové protitlakové nebo odběrové kondenzační. Kromě spalovací turbíny může být pro paroplynový cyklus použit i spalovací motor.

Teplárenský modul se pohybuje v mezích od 0,8 (dodávka tepla v páře) do 1,4 (dodávka v horké vodě). Celková účinnost je mezi 80 (pára) - 90 % (voda).

U paroplynové kogenerace je vhodné zařazovat akumulární nádrž horké vody, která zajišťuje vysokou pružnost zdroje.

Výhody paroplynové kogenerace oproti parním turbínám:

- výrazně zvýšená výroba elektrické energie
- vysoká provozní pružnost
- menší požadavky na zastavěnou plochu
- nižší investiční náklady
- snadnější optimalizace provozních režimů v dodávce tepla a elektrické energie



1 spalovací turbína; 2 parní turbína; 3 spalínový kotel;  
4 spotřebitel tepla ve formě horké vody; 5 spotřebitel tepla  
ve formě páry

Obr. 8 Schéma paroplynového kogeneračního zdroje [3]

### 3.3.5 Mikroturbíny

Provoz spalovacích turbín s výkonem menším než  $1 \text{ MW}_E$  byl ještě do nedávné doby neekonomický. Technologický vývoj ale zapříčinil, že v současnosti jsou již k dispozici konkurenceschopné mikroturbíny o výkonu dokonce jen  $25 \text{ kW}_E$ . Mikroturbíny jsou plynové turbíny malého výkonu pracujících při rychlých otáčkách. Pracují na stejném principu jako spalovací turbíny. Obsahují kompresor, spalovací komoru, regenerační výměník, turbínu, generátor. Použitím spalínového výměníku se výrazně zvyšuje účinnost, ovšem zároveň se tím i snižuje využitelná teplota pro dodávku tepla. Z důvodů vysokých rychlostí ( až  $10\,000 \text{ ot/min}$ ) je použit vysokofrekvenční generátor a následně frekvenční měnič. Všechny stroje jsou na jedné hřídeli, takže mikroturbíny mají pouze jednu rotační část. Jsou použita vzduchem chlazená ložiska, takže odpadá olejové hospodářství.

Mikroturbíny mohou být používány jako decentralizovaný zdroj energie - výroba je v místě spotřeby v průmyslu. V budoucnosti může najít využití i v bytové a komunální sféře. KJ s mikroturbínami jsou koncipovány jako balená zařízení, kdy turbína i pomocná zařízení jsou v jedné skříni, která má protihlukový obal. To zajišťuje jednoduchou montáž a vysokou mobilitu těchto jednotek. Hlukové emise mikroturbíny jsou daleko nižší než u klasických plynových turbín.

Výkon mikroturbíny se pohybuje v rozmezí od  $30$  do  $350 \text{ kW}_E$ . Modul teplárenské výroby je oproti klasickým plynovým turbínám menší (z důvodu rekuperace), asi kolem  $0,5 - 0,7$ . Teplota výstupních spalin se pohybuje v rozsahu  $220 - 320 \text{ }^\circ\text{C}$ . Elektrická účinnost je zhruba  $20 - 30 \%$ . Celková účinnost mikroturbíny se potom pohybuje v rozmezí  $65 - 80 \%$ .

### 3.3.6 Kogenerace se spalovacím motorem

Spalovací motory používané v kogeneraci jsou pístové motory s vnitřním spalováním odvozené od klasických mobilních spalovacích motorů. Podle způsobů zapálení směsi vzduchu s palivem se dělí na :

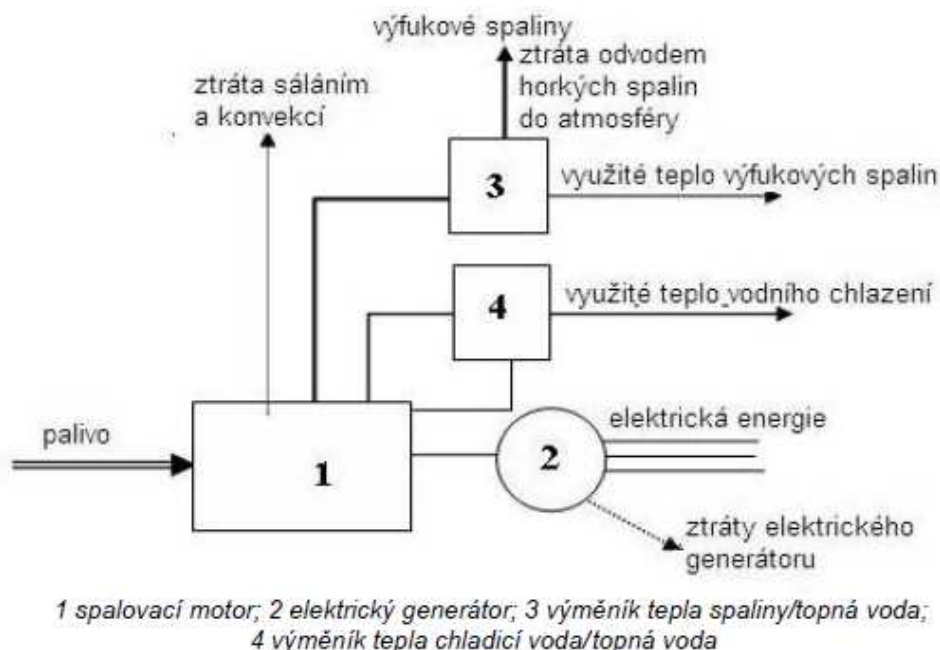
- vznětové motory
- zážehové motory

U *vznětových motorů* (označovaných jako dieselové) se směs zapálí sama po dosažení zápalných hodnot. Palivo je vstřikováno do horkého stlačeného vzduchu. Účinnost těchto motorů na hřídeli je  $35$  až  $45 \%$ . Jednotkový výkon může dosahovat až  $25 \text{ MW}$ .

U *zážehových motorů* dochází k zapálení směsi paliva pomocí elektrické jiskry. Spojková účinnost je nižší, než u zážehových motorů, pohybuje se mezi  $27$  až  $43 \%$ . K zapálení paliva může docházet buď přímo ve spalovací komoře anebo v zápalné komoře. Motory se zápalnou komorou mají účinnost podobnou jako vznětové motory, kolem  $43 \%$ .

KJ se spalovacím motorem spalují nejčastěji zemní plyn, a proto je nezbytné provést u motoru rekonstrukci na zemní plyn. Tato rekonstrukce je možná jak u vznětových, tak i u zážehových motorů. Jedná se především o úpravu palivového systému a spalovacího prostoru. V palivovém systému je připravována směs plynu a vzduchu na požadované složení.

Problémem u spalovacích motorů je hluk, zvláště nízkofrekvenční složky, které jsou nepříjemné pro lidský sluch. Proto je potřeba kvalitní hluková izolace. Dále je v motoru mnoho součástí s posuvným pohybem, proto se spalovací motory rychleji opotřebovávají ve srovnání s čistě rotačním strojem.



Obr. 9 Toky energií u KJ se spalovacím motorem [3]

Spalovací motor je vhodný k teplotenskému využití, protože při svém provozu generuje odpadní teplo. Jedná se o teplo spalin, teplo mazacího oleje a teplo z chlazení motoru. Chlazení oleje se provádí pomocí chladicího vodního okruhu a teplota chladicí vody může dosahovat až 80 °C. Chladicí smyčka motoru (bloku válce a hlavy motoru) dosahuje teplot kolem 100 °C. Spaliny mají teplotu 400 - 500 °C. Ve výměníku ohřívají tlakovou vodu na zhruba 110 °C. Principiální pořadí KJ s se spalovacím motorem ilustruje obr. 10.

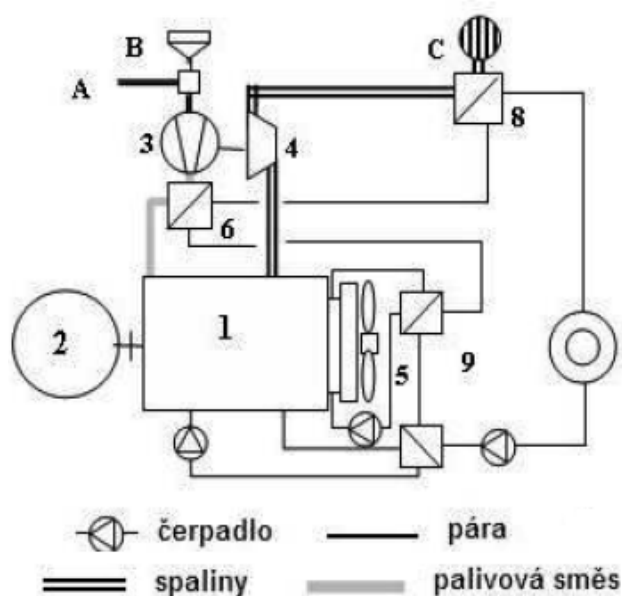
Jako tepelný zdroj mohou být spalovací motory použity pro:

- ohřev sekundární otopné vody, s teplotami topné a vratné vody, tj. 90/70 °C
- ohřev primární vody na teplotu 110 až 130 °C
- výroba páry o nižším tlaku
- kombinaci sušení výfukovými spalinami a ohřev topné vody chlazením motoru
- chladicí zařízení
- předehřev napájecí vody parních kotlů a současně ohřev oxidizačního média těchto kotlů

Nejvýhodnějším druhem odběru je ohřev topné vody na 90 °C. Výroba páry sebou nese určité technické potíže a efektivní je v pouze hybridní potřebě tepla - kombinace páry a teplé vody.

Výkon KJ se spalovacím motorem je v rozmezí od 10 kW do 6 MW. Volba velikosti výkonu jednotky je závislá zajištěném odběru tepla. Modul teplárenské výroby se pohybuje kolem hodnoty 1. Celková účinnost KJ se spalovacími motory se pohybuje od 60 do 85 %.

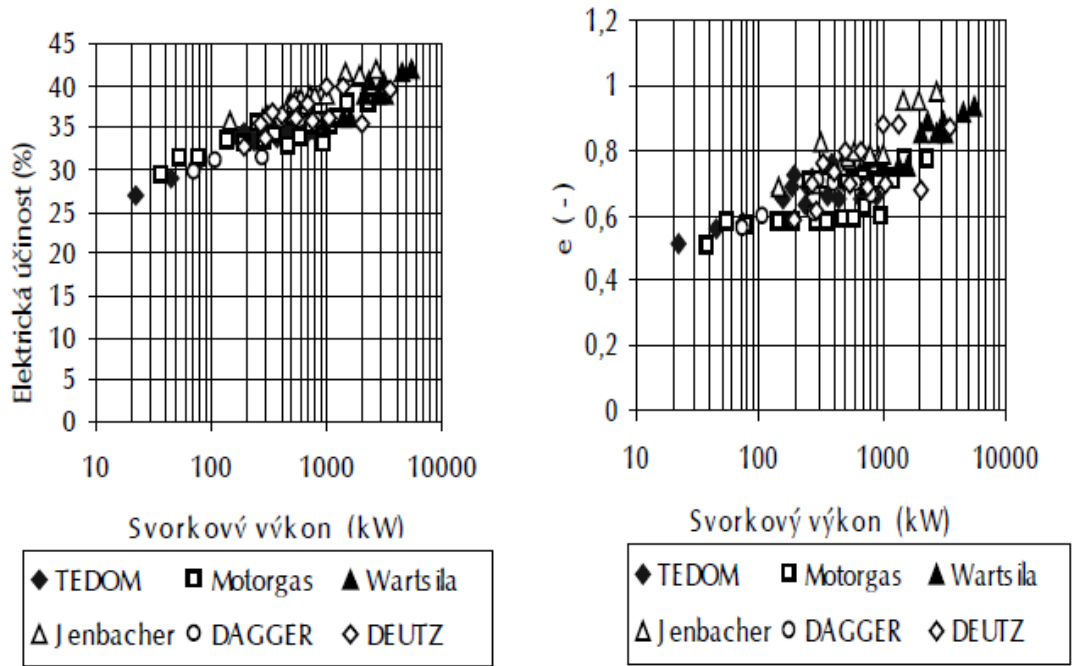
Při spalování plynu v motorech vzniká kromě neškodné vodní páry i řada škodlivin. Hlavními emisními produkty jsou  $\text{NO}_x$ , CO a  $\text{CO}_2$ . Omezení těchto látek je problémem všech energetických zařízení. Z celkového hlediska přináší kogenerace výrazné snížení emisí, ovšem z lokálního hlediska zatěžuje životní prostředí. U spalovacích motorů se pro jejich omezení používají primární a sekundární opatření. K primárním opatřením patří různé konstrukční úpravy, k sekundární potom zařazení katalyzátorů.



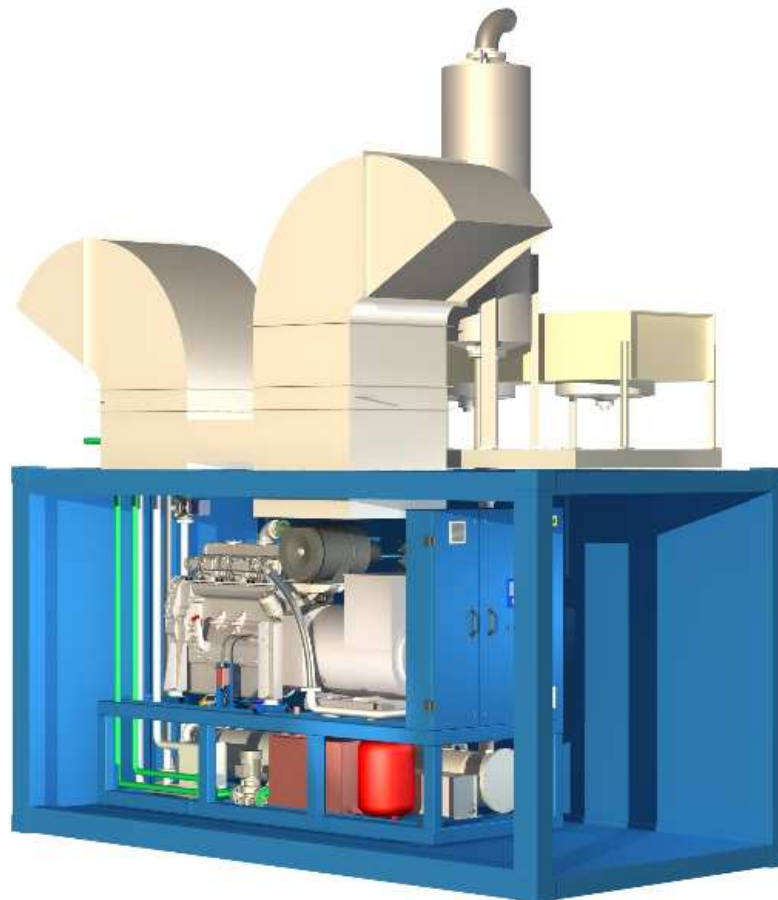
Obr. 10 Základní zapojení KJ se spalovacím motorem (pro dodávku teplé nebo horké vody)[3]

### Stav KJ se spalovacím motorem v ČR

"Rozvoj instalací kogeneračních jednotek se spalovacími motory začal v České republice počátkem devadesátých let minulého století. Impuls k tomu dala nově založená česká firma TEDOM v Třebíči, která otevřela trh svými úspěšnými kogeneračními jednotkami MT 22 a MT 130 vybavenými upravenými spalovacími motory automobilů Škoda Mladá Boleslav a LIAZ. Ve druhé polovině devadesátých let se již trh u nás zaplnil řadou dodavatelských firem tuzemských i zahraničních a počet instalací i instalovaný výkon všech typů malých kogeneračních jednotek dynamicky narůstal, bez ohledu na řadu problémů legislativního i finančního charakteru. K hlavním dodavatelům jednotek patřily firmy TEDOM Třebíč a Motorgas Praha, dále Dagger, Deutz a další. Tyto firmy ke kompletaci jednotek používaly motory některých domácích (Škoda, ČKD, LIAZ, Zetor) a zahraničních výrobců (Jenbacher, Deutz, Mann, Caterpillar, Wartsila, Waukesha). Roční přírůstek instalovaného výkonu těchto zařízení přesáhl koncem devadesátých let 20 MW. Přehled výkonového spektra a základních termodynamických parametrů (elektrická účinnost a modul teplárenské výroby elektřiny) kogeneračních jednotek dodávaných investorům v ČR je patrný na Obr. 11.



Obr. 11 Elektrická účinnost a modul teplotné výroby KJ se spalovacím motorem výrobců a dodavatelů do ČR [3]



Obr. 12 Kogenerační jednotka firmy TEDOM se spalovacím motorem v kontejnerovém provedení [4]

V posledních letech se počet dodavatelů v ČR poněkud snížil. Největšími jsou stále TEDOM Třebíč a Motorgas Praha. Potěšitelné je, že firma TEDOM zavedla vlastní výrobu motorů ve výkonovém rozsahu do cca 280 kW." *Citováno ze [3].*

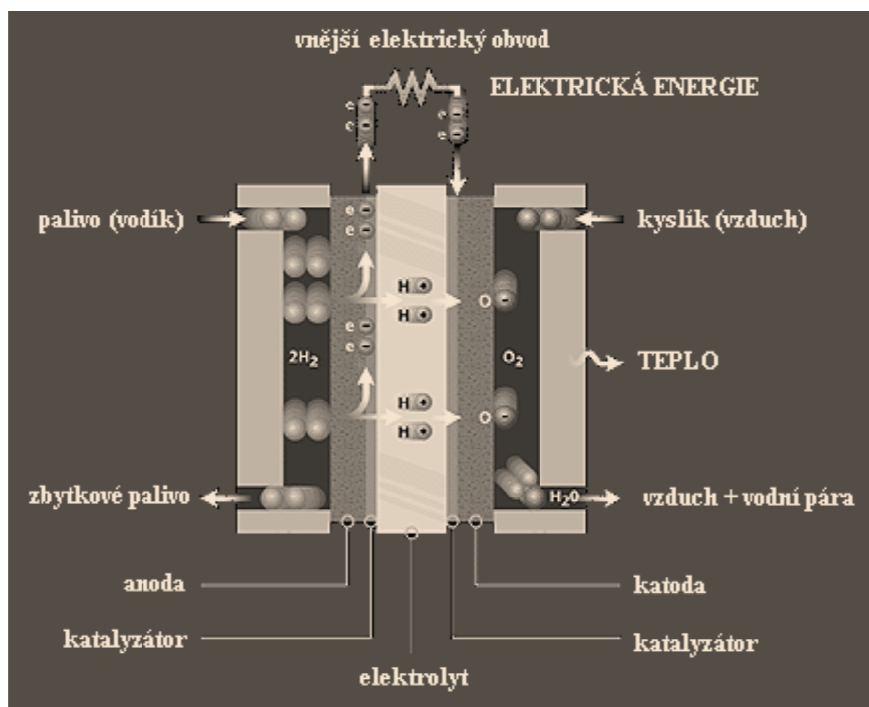
Další rozvoj nastal po roce 2005, kdy byla uzákoněna podpora KVET z důlního plynu.

### 3.3.7 Speciální kogenerační zařízení

#### Stirlingův motor

Stirlingův motor je tepelný motor s vnějším spalováním. Patentován byl v roce 1816 a našel uplatnění v mnoha odvětvích. Koncem 19. století ale téměř upadl v zapomnění kvůli rozvoji spalovacích zážehových a vznětových motorů. V posledních zhruba třiceti letech však došlo k jeho znovuzrození. Uplatnění našel zejména při kombinované výrobě elektřiny a tepla.

Uvolněná tepelná energie se předává pracovní látce tepelného oběhu, tou je nejčastěji helium, vzduch, dusík nebo  $\text{CO}_2$ . Látka je střídavě stlačována ve studeném válci (kompresní prostor) a expanduje v horkém válci (expanzní prostor). Teplo je do okruhu přiváděno z vnějšího zdroje. Teplo, které není přeměněno na mechanickou práci hřídele, je odváděno pomocí chladicí vody ve studeném výměníku.



Obr. 13 Princip palivového článku [8]

Elektrický výkon se pohybuje od 10 do 600  $\text{kW}_E$ . S využíváním spalování biomasy se začínají vyrábět jednotky vyšších výkonů, kolem 1  $\text{MW}_E$ . Modul teplárenské výroby je u jednotek malých výkonů asi 0,12 - 0,17 %. Elektrická účinnost se pohybuje kolem hodnoty 30 %.

Tento typ jednotek je vhodné nasazovat u spotřebitelů s malým potřebným výkonem (domácnosti) anebo jako mobilní zdroj energie (např. lodě).

Z praktických realizací existuje ve světě jenom několik málo prototypů. Za zmínku stojí i motor v kogeneračním zařízení, který vyvíjí firma TEDOM Třebíč, o výkonu 7,5 kW.

### Palivové články

Palivové články patří na rozdíl od všech zatím zmíněných technologií k primárním jednotkám s přímou transformací. Dokáží přeměňovat energii paliva přímo na energii elektrickou.

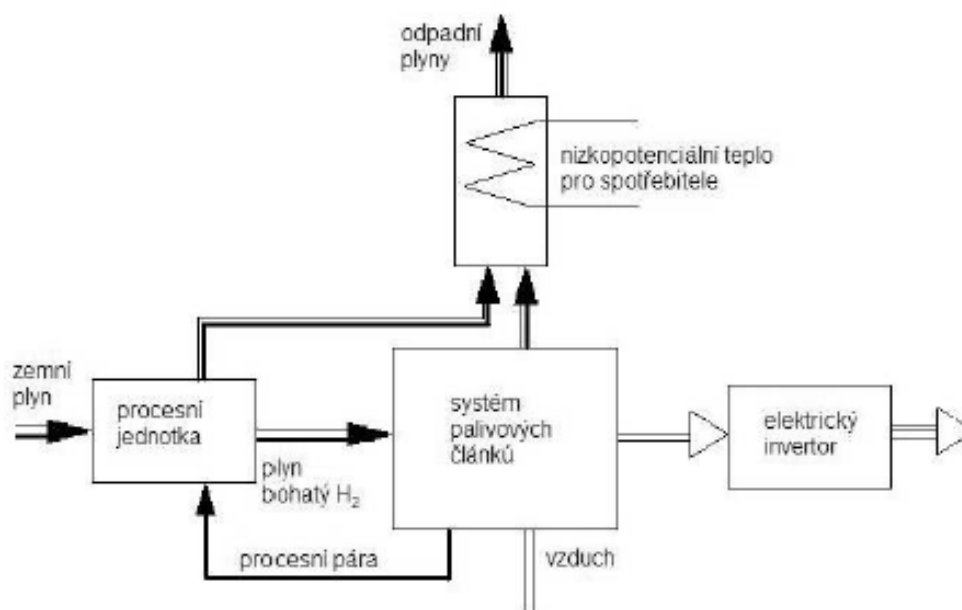
Zdrojem je nejčastěji vodík. Ten je přiváděn na anodu, kde dochází k jeho oxidaci:



Proton přechází elektrolytem ke katodě, zatímco elektrony protékají elektricky vodivou anodou s uzavřeným okruhem a vytvářejí stejnosměrný proud. Na katodě reaguje proton s kyslíkem za vzniku vody:



Alternativním palivem je zemní plyn, který je tvořen převážně metanem. Zemní plyn ale musí být nejprve rozložen na vodík a oxidy uhlíku v reformátoru paliva.



Obr. 14 Schéma kogenerace s palivovými články [3]

V oblasti palivových článků probíhá již dlouhodobě intenzivní výzkum. KJ s palivovými články již přešly do stádia komerčního využití. Podle použitého elektrolytu a pracovní teploty je možné rozdělit vodíkové palivové články do pěti skupin, z nichž tři jsou vhodné pro kogenerační využití. Logicky se jedná o ty s vyšší pracovní teplotou. Jsou to články označované PFC (Phosphoric Acid Fuel Cells), kde je jako elektrolyt využita kyselina fosforečná. Pracovní teplota je mezi 160 - 220 °C. Elektrická účinnost se pohybuje kolem 40 - 45 %.

Další skupinou jsou MCFC články (Molten Carbonate Fuel Cells). Elektrolyt tvoří roztavené uhličitany. Teploty u těchto článků se pohybují v rozmezí 600 - 800 °C. Elektrická účinnost těchto článků dosahuje 60 %.

S nejvyššími teplotami pracují SOFC články (Solid Oxide Fuel Cells). Elektrolytem těchto článků jsou pevné keramické materiály na bázi  $ZrO_2$ . Teploty se pohybují od 600 do 1000 °C. Elektrická účinnost je kolem 40 %. U těchto článků se nabízí možnost zajímavého alternativního paliva, a to plynu vzniklého zplyňováním uhlí.

Výkony palivových jednotek pro KJ jsou pak v rozmezí 5 kW<sub>E</sub> - 2 MW<sub>E</sub>. Pro odběr tepla lze využít 4 místa:

- chlazení článku
- reformátor paliva
- katoda
- anoda

Dodávka tepla je realizována v podobě horké vody nebo páry o nízkých parametrech.

Elektrický výkon jednoho článku se pohybuje v rozmezí 2 - 100 kW<sub>E</sub>. Elektrická účinnost závisí na typu použitého článku. Celková účinnost pak dosahuje až 85 %.

### 3.3.8 Srovnání jednotlivých technologií

Výhody a nevýhody byly stručně rozebrány u každé technologie zvlášť. Srovnání základních charakteristických vlastností uvádí následující tabulka [3].

Tabulka 1 Srovnání kogeneračních technologií

Pohonná jednotka	používané palivo	rozsah výkonů (MWe)	modul teplotrenské výroby elektřiny	elektrická účinnost	celková účinnost	forma tepla
Odběrová parní turbína	libovolné	5 - 300	0,2 - 0,4*)	10 - 30 %	78 - 88%	NT pára horká voda
Protitlaková parní turbína	libovolné	0,1 - 100	0,1 - 0,4	7 - 20%	75 - 88%	NT pára horká voda
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, VT
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
Stirlingův motor	zemní plyn biopalivo	0,001 - 0,03	0,3 - 0,7	20 - 40%	70 - 85%	teplá voda

\*)Vztaženo jen na odběrovou páru

\*\*)U mikroturbíny 25 - 250kW

## 4 VYUŽITÍ DŮLNÍHO PLYNU JAKO PALIVO PRO KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

Dostupnost, cena, náklady spojené s dopravou a skladováním, nutnost úpravy, likvidace nespalitelných složek atd., to vše jsou aspekty, které musí být zohledněny při výběru paliva pro KVET. Mnohdy je ale situace opačná. Máme k dispozici palivo a hledáme nejvhodnější způsob, jak ho energeticky zužitkovat. A právě toto je případ důlního plynu.

Paliva jsou pro energetické účely produkována z primárních zdrojů. Mohou ovšem vznikat využitím odpadních surovin z různých výrobních řetězců, tato paliva nazýváme *druhotné zdroje*. Paliva dělíme na fosilní biopaliva a alternativní paliva. Jiné rozdělení může být například podle skupenství na pevná, kapalná a plynná paliva.

V případě důlního plynu se jedná o výše zmíněný druhotný zdroj. Je to plynné fosilní palivo. V současnosti se podle platné české legislativy považuje důlní plyn z již uzavřených dolů za obnovitelný zdroj elektrické energie. Důlní plyn z otevřených dolů, nazývaný jako *degazační plyn*, je podle nynější legislativy brán jako druhotný zdroj.

### 4.1 Původ důlního plynu

Těžba uhlí jakoukoliv metodou je vždy doprovázena uvolňováním značného množství důlního plynu obsahujícího metan. Tento plyn vznikl při tvorbě uhlí z biomasy a je přímo vázán na uhelné sloje anebo je uzavřen v horninových strukturách. Těžbou uhelných slojí se plyn uvolňuje a dostává se jak do vytěžených prostor, tak i na povrch země.



Obr. 15 Odsávací stanice důlního plynu [5]

## 4.2 Charakteristika důlního plynu

Důlní plyn se svými vlastnostmi dost podobá zemnímu plynu. Konkrétní složení závisí na geologických předpokladech či podmínkách v konkrétním důlním díle. Hlavní složkou je stejně jako u zemního plynu metan. Ostatními prvky jsou  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$  a vyšší uhlovodíky. Podíl metanu se může pohybovat v rozmezí od 25 do 80%. U plynu z činných dolů je tato koncentrace okolo 50%, mnohdy však ještě nižší. Výhřevnost důlního plynu se pohybuje v rozmezí 11 - 20  $\text{MJ/m}^3$ [5].

S ohledem na minimální náklady spojené se ziskem, je důlní plyn velmi zajímavý zdroj. Vlastnosti a použitelnost jsou podobné jako u bioplynu.

Fakt, že je metan ve směsi se vzduchem třaskavý (v koncentraci 5 - 15%), činí z metanu nebezpečnou látku. V minulosti byl vždy postrachem horníků. Opatření se prováděla dvojitým způsobem. Jednak označením míst výstupu plynu a zřízením ochranných pásem, druhý způsob byl odsávání plynu z ochranných pásem a následné spalování. Tím sice bylo minimalizováno nebezpečí výbuchu, ovšem vůbec nebyl využitý potenciál plynu. V posledních letech se začalo využívat energetického potenciálu v podobě výstavby kogeneračních jednotek na důlní plyn přímo v místě výskytu. Tím vlastně došlo i ke zvýšení bezpečnosti okolí.

## 4.3 Využití v kogeneračních jednotkách

První kogenerační jednotky byly instalovány na Ostravsku a Karvinsku v místě bývalých dolů (Vrbice, Staříč, Paskov, Dukla, František, Darkov, Odra, Sviadnov, Žofie, Rychvald), ale i v průmyslových závodech nebo městských lokalitách (Ostrava, Orlová).

V rámci OKD je těžba plynu z uzavřených dolů zcela realizována společností Green Gas DPB (GG), v působnosti vlastních dobývacích prostorů. Konkrétní získávání důlního plynu z již uzavřených dolů je těžba ze speciálně upravených likvidovaných jam a podpůrně z povrchových vrtů směřovaných do vydobytych prostor (stařin) uzavřených dolů s předpokládanou kumulací plynu. Před zahájením těžby důlního plynu musí být splněn legislativní rámec těžební činnosti ve smyslu Horního zákona:

- stanovení zvláštních dobývacích prostorů pro těžbu
- povolení hornické činnosti.

"Prvotním záměrem společnosti bylo využít pro kogeneraci důlní plyn s nízkým obsahem metanu (30 – 50 %), který již dále nemohl být použit pro dodávky odběratelům a musel být vypouštěn do ovzduší. Pro pilotní projekt byl vybrán areál odloučeného pracoviště v lokalitě Vrbice. Zde v květnu roku 2005 společnost GG nainstalovala první KJ řady Tedom Quanto SP CON o výkonu 580 kW (Obr. 16). Tato jednotka je uspořádána v kontejnerové skříni pro venkovní provedení. Obsahuje prostor, ve kterém je umístěno soustrojí motor-generátor na základovém rámu, tepelné zařízení jednotky a prostor pro elektrické rozvaděče. Součástí kontejneru je také odsávací zařízení důlního plynu, které čerpá plyn z uzavřené jámy a je řízeno v

závislosti na chodu motoru. Z důvodu velmi nízké koncentrace metanu v odsávaném plynu, byl pro pohon soustrojí vybrán vysoce účinný pístový plynový motor řady TCG 2016 německého výrobce Deutz. Produkce elektrické energie je dodávána prostřednictvím sítě ČEZ obchodníkovi s elektřinou, a také společně s teplem využívána pro provoz areálu". *Citováno z [6].*



Obr. 16 KJ Vrbice, 580 kW [6]

Vysoká spolehlivost a hlavně legislativní podpora vedly v následujících letech ke spuštění programu na výstavbu několika dalších KJ na Ostravsku. A to jak v činných, tak uzavřených dolech Ostravsko-Karvinského revíru. Cílem je výstavba jednotek o celkovém výkonu cca 35 MW. V roce 2010 bylo v provozu 21 KJ ve 14-ti lokalitách o celkovém elektrickém výkonu 26,8 MW a tepelném 27,3 MW.

#### 4.4 Podpora a legislativa

Právní úprava v oblasti energetiky je tvořena třemi základními zákony - zákonem č. **458/2000 Sb.** o podmínkách podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích (též energetický zákon), který upravuje základní podmínky pro podnikání a státní regulaci v elektroenergetice, plynárenství a teplárenství, dále zákonem č. **406/2000 Sb.** o hospodaření energií, jenž určuje pravidla pro efektivní a šetrné využívání energií a energetických zdrojů, a nakonec zákonem č. **165/2012 Sb.** o podporovaných zdrojích energie. Tyto zákony do českého právního řádu zavádí celou řadu požadavků práva Evropského společenství. Dílčí ustanovení těchto zákonů dále upřesňuje několik desítek prováděcích vyhlášek a vládních nařízení.[10]

Podpora KVET je v ČR zakotvena v zákoně č. 458/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů, tzv. Energetickém zákoně. Podpora vysokoúčinné KVET vychází také z legislativních předpisů EU, zejména ze Směrnice 2004/8/ES o podpoře kombinované výroby elektřiny a tepla

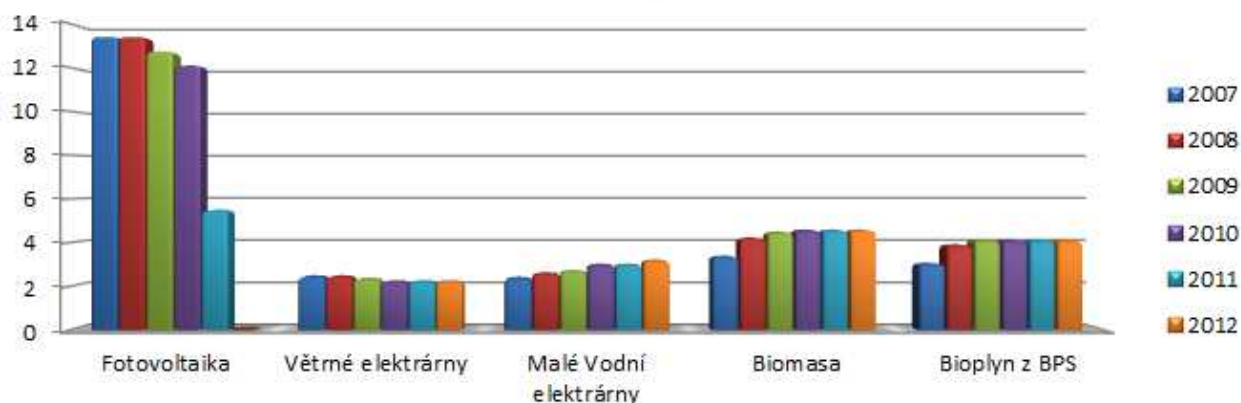
(kogenerace) a navazujících předpisů. V ČR je podpora KVET realizována formou příspěvků k ceně elektřiny z vysokoúčinné KVET. [11]

Od 1.1.2013 vstupuje v účinnost nový zákon 165/2012 o podporovaných zdrojích energie. Tento zákon celkem výrazně mění způsoby podpory a vyplácení příspěvků z výroby elektřiny z obnovitelných (OZE) a druhotných zdrojů energie (DZ). Změn v zákoně je hned několik a některé jsou i dost zásadní. Obecně se dá říci, že s příchodem nového zákona je podpora OZE omezena. Zákon se snaží minimalizovat dopady "fotovoltaického boomu" na cenu elektřiny pro konečné spotřebitele. Například u zmíněné fotovoltaiky budou podporovány pouze malé zdroje. U všech zdrojů OZE se počítá s koncem jejich podpory při dosažení určité kapacity instalovaného výkonu podle tzv. akčního plánu. U fotovoltaiky se počítá s úplným koncem podpory, a to včetně malých elektráren např. na střechách obytných budov, už v roce 2014.

Důlní plyn se dostává do zákona poprvé v roce 2005 – zákonem 180/2005 Sb. o podpoře využívání obnovitelných zdrojů., který je změnou zákona 406/2000 Sb. o hospodaření energií. Zákon říká, že se na podporu výroby elektřiny z důlního plynu z uzavřených dolů vztahují stejná ustanovení jako na výrobu z OZE.

Co se týče důlního plynu, má na něj nový zákon (165/2012) také dopad. Doposud byl důlní plyn dělen na dvě kategorie. Důlní plyn z činných dolů (degazační plyn) a důlní plyn z uzavřených dolů. Plyn uzavřených dolů se řadil k OZE a zákon stanovoval povinný výkup elektrické energie z OZE. Zatímco degazační plyn se řadil k druhotným zdrojům (DZ) a jeho podpora byla realizována prostřednictvím příspěvku k ceně elektřiny. Nově budou oba typy spadat pod DZ.

### Srovnání výkupních cen elektrické energie z obnovitelných zdrojů v ČR v Kč/kWh



Obr. 17 Srovnání výkupních cen

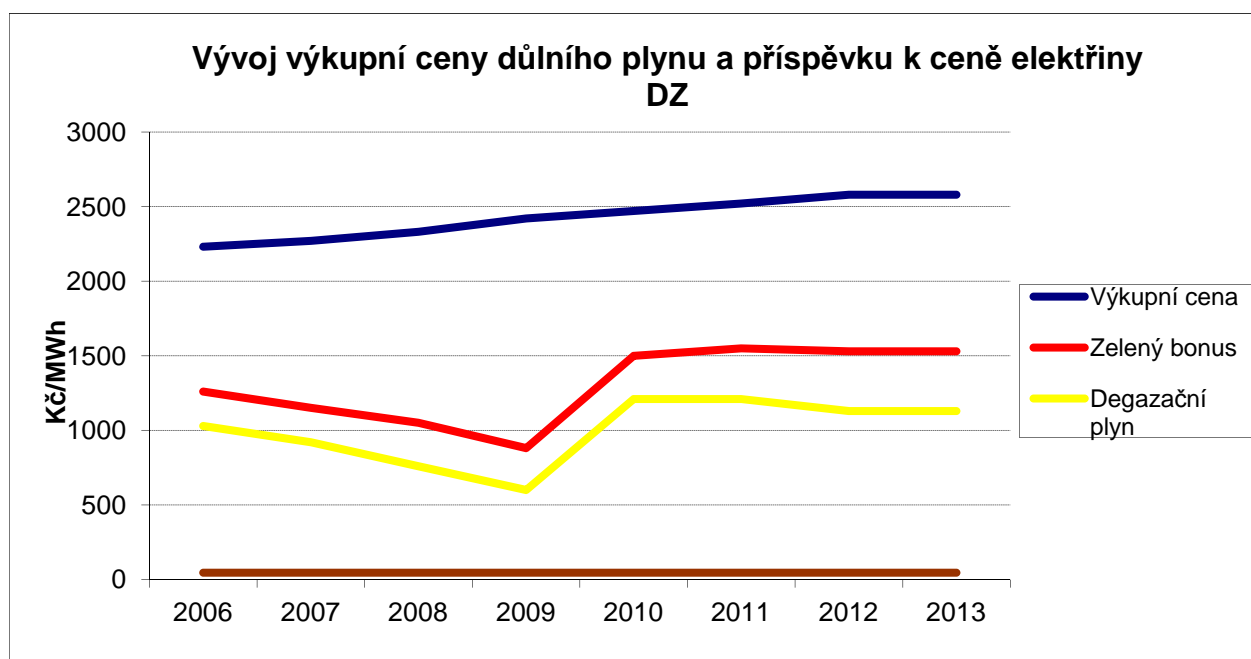
-v případě rozmezí cen jsou v grafu uváděna maxima, u fotovoltaiky je uvedena cena pro FVE nad 100 kW, pro rok 2012 nad 30 kW [12]

Dále také s příchodem nového zákona hrozilo, že by kogenerační jednotky spalující důlní plyn nebyly podporovány, pokud by nebyla odebrána i tepelná energie. Tato změna se do zákona nakonec nedostala, naopak je v zákoně přímo napsáno: "V případě výroby elektřiny z

degazačního plynu nebo důlního plynu není podmínkou pro podporu elektřiny kombinovaná výroba elektřiny a tepla." [9]

Výši dotace stanovuje v souladu s Energetickým zákonem Energetický regulační úřad (ERU). Ceníky jsou obnovovány vždy na podzim kalendářního roku a stanovují výši podpory na následující rok.

Na Obr. 17 můžeme vidět vývoj výkupních cen z OZE. Je zřetelně vidět, že klesá hlavně výkupní cena u fotovoltaiky a větrných elektráren, zatímco u vodních elektráren roste a u biomasy a plynu zůstává zhruba stejná. Vývoj výkupní ceny a zeleného bonusu důlního plynu z uzavřených dolů můžeme vidět na Obr. 18. Dále je vyobrazena výše příspěvků k ceně elektřiny z druhotných zdrojů, což je jakási obdoba zelených bonusů pro druhotné zdroje. Všechny DZ mají stejnou výši příspěvku kromě degazačního plynu, který ji má nesrovnatelně vyšší. U ostatních DZ se cena dlouhodobě nehýbe a je stanovena na 45 Kč/MWh.



Obr. 18 Vývoj ceny důlního plynu a příspěvku k ceně elektřiny vyrobené z druhotných zdrojů, zdroj: ERÚ

Vidíme, že výkupní cena neustále roste. Zelený bonus a příspěvek za degazační plyn sice do roku 2009 mírně klesají, ale poté už také rostou.

## 5 PODMÍNKY PRO INSTALACI ZDROJE V PRŮMYSLOVÉ SÍTI

Průmyslovou sítí se rozumí lokální distribuční soustava (LDS). Tou je vzájemně propojený soubor vedení 110 kV ( s výjimkou vedení 110 kV, která jsou součástí přenosové soustavy) a vedení a zařízení o napětí 0,4/0,23 kV, 6 kV, 22 kV, sloužící k zajištění distribuce elektřiny na vymezeném území ČR, včetně systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky, včetně elektrických přípojek ve vlastnictví provozovatele LDS (PLDS).

Veškeré požadavky, ať už technické či byrokratické, pro výrobce elektřiny jsou sepsány v Pravidlech pro provozování lokálních distribučních soustav (PPLDS) a v Příloze 4 PPLDS.

### 5.1 Poskytnutí údajů

Výrobci elektřiny se podle velikosti instalovaného výkonu a napěťové úrovně, do které pracují, dělí do tří, níže uvedených základních kategorií. Každá kategorie výrobců musí při vyřizování žádosti o připojení nebo na vyžádání provozovatele lokální distribuční soustavy (PLDS) poskytnout nejméně dále uvedené informace:

*Tabulka 2 Rozdělení výrobců elektřiny*

a)	Výrobce elektřiny s výrobnou připojenou na napětí vn nebo nižší nebo s celkovým instalovaným výkonem menším než 5 MW	3.8.3.1
b)	Výrobce elektřiny s výrobnou připojenou na napětí vn nebo vyšší a s celkovým instalovaným výkonem větším než 5 MW a menším než 30 MW	3.8.3.1+ 3.8.3.2
c)	Výrobce elektřiny s výrobnou, jejíž celkový instalovaný výkon je 30 MW a větší.	3.8.3.1+ 3.8.3.2

Jelikož maximální výkon kogeneračních jednotek spalujících důlní plyn je v současnosti 2 MW, tak nás zajímají pouze podmínky uvedené v článku 3.8.3.1, a ty zní:

Je nezbytné, aby každý výrobce elektřiny poskytl PLDS informace o výrobě a řešení místa připojení výroby k LDS. Před stanovením podmínek připojení jakékoli výroby k LDS si PLDS může vyžádat tyto informace:

#### a) Údaje o výrobě (pro jednotlivé generátory)

- 1) jmenovité výstupní napětí
- 2) jmenovitý zdánlivý výkon kVA
- 3) jmenovitý činný výkon kW

- 4) maximální dodávaný činný výkon, případně požadavky na jalový výkon (kVAr)
- 5) druh generátoru- synchronní, asynchronní, apod.
- 6) pohon
- 7) očekávaný provozní režim výroby elektřiny, např. trvalý, přerušovaný, pouze ve špičce apod.
- 8) příspěvek ke zkratovému proudu (u velkých strojů může být tato informace uvedena v doplňujících údajích podle 3.8.3.2)
- 9) řízení napětí (typ regulátoru a event. možnost připojení do automatické sekundární regulace napětí)
- 10) údaje o transformátoru, do kterého je generátor vyveden
- 11) požadavky pro krytí vlastní spotřeby a/nebo pohotovostní dodávky
- 12) schopnost ostrovního provozu a startu ze tmy (ve smyslu Přílohy 7 PPLDS)
- 13) výsledky měření na zdroji potřebné pro posuzování připojitelnosti ve smyslu Přílohy 4 PPLDS
- 14) způsob vyvedení výkonu od generátoru po předávací místo
- 15) způsob regulace činného výkonu ve smyslu Přílohy 4 PPLDS

#### **b) Řešení místa připojení**

- 1) způsob synchronizace mezi PLDS a uživatelem
- 2) podrobné údaje o řešení způsobu provozu uzlu té části soustavy výrobce, která je přímo připojena k LDS
- 3) způsob připojení a odpojení od LDS
- 4) údaje o síťových ochranách.

Podle typu a velikosti výroby nebo podle místa, kde má být provedeno připojení k LDS, si PLDS může vyžádat další informace. Tyto informace musí výrobce na požádání PLDS poskytnout.

## **5.2 Technické požadavky**

Požadavky na elektrické parametry výroby elektřiny, měřené na svorkách generátorové jednotky, stanoví PDS v závislosti na způsobu připojení při jednání o připojení k LDS.

Generátor s instalovaným výkonem 5 MW a vyšším, na vyžádání PLDS i s výkonem 1 MW a vyšším, musí být schopen dodávat jmenovitý činný výkon v rozmezí účinníků  $\cos \varphi = 0.85$  (dodávka jal. výkonu induktivního charakteru) a  $\cos \varphi = - 0.95$  (chod generátoru v podbuzeném stavu) při dovoleném rozsahu napětí na svorkách generátoru  $\pm 5 \% U_n$  a při kmitočtu v rozmezí 48.5 až 50.5 Hz. Při nižších hodnotách činného výkonu se dovolené hodnoty jalového výkonu

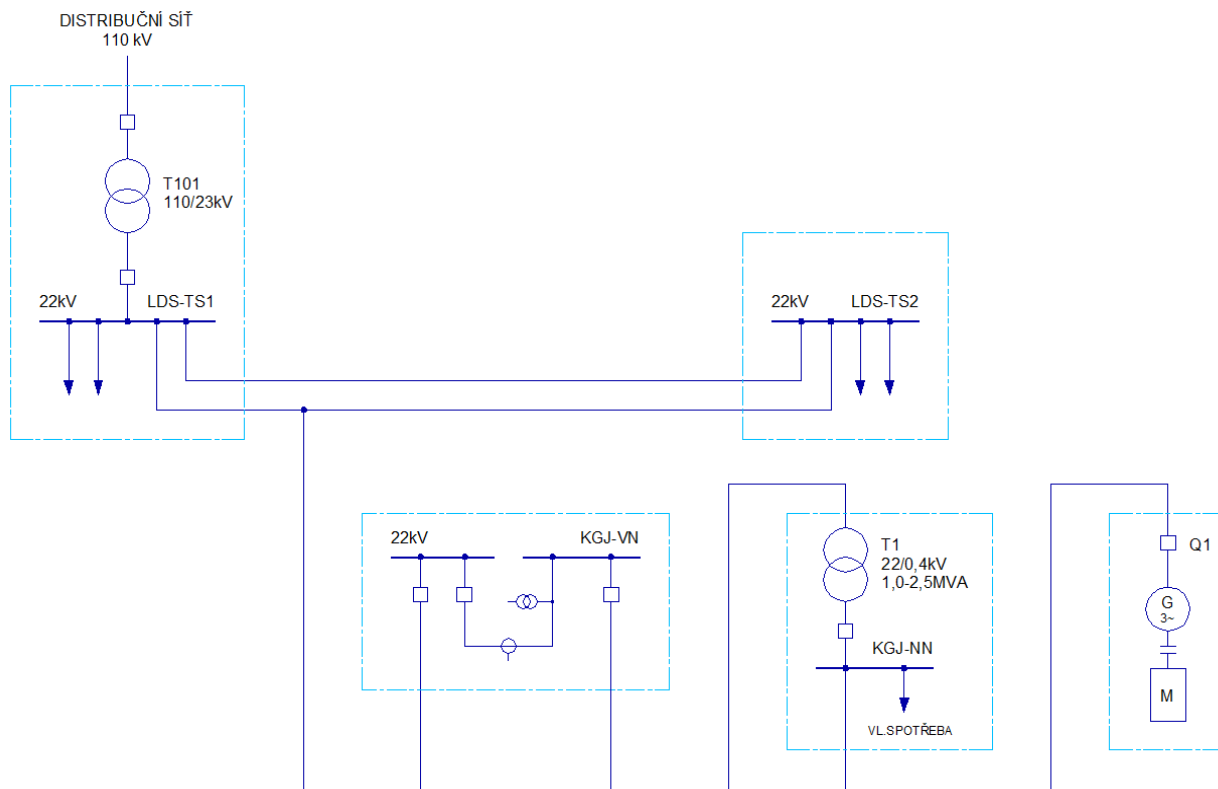
zjistí podle tzv. „Provozních diagramů alternátoru“ (PQ diagram), které musí být součástí provozně-technické dokumentace bloku. Technologie vlastní spotřeby elektrárny a zajištění napájení vlastní spotřeby umožní využití výše uvedeného dovoleného rozsahu - např. použitím odbočkového transformátoru napájení vlastní spotřeby s regulací pod zatížením.

Zde uvedený základní požadovaný regulační rozsah jalového výkonu může být modifikován, tedy zúžen nebo rozšířen. Důvodem případné modifikace může být např. odlišná (nižší/vyšší) potřeba regulačního jalového výkonu v dané lokalitě LDS nebo zvláštní technologické důvody (např. u asynchronních generátorů). Taková modifikace předpokládá uzavření zvláštní dohody mezi provozovatelem a uživatelem LDS.

PLDS písemně stanoví, zda je pro řízení napětí výrobní požadován průběžně pracující automatický systém buzení s rychlou odezvou bez nestability v celém provozním pásmu výrobní. To závisí na velikosti a typu výrobní a sousedících částí LDS, k níž je připojena. PLDS písemně stanoví případné požadavky na koordinaci řízení napětí v uzlu LDS. PLDS dále stanoví pásmo pro jalový výkon výrobní.

PLDS může stanovit zvláštní požadavky na koordinaci řízení napětí v uzlu LDS, případně požadovat začlenění zdroje do systému sekundární a terciální regulace napětí a jalových výkonů. Realizaci požadovaných opatření na straně zdroje zajistí výrobce na své náklady.

Další podrobnosti jsou uvedeny v Příloze 4 PPLDS a Vyhláše o dispečerském řízení.



Obr. 19 Typické schéma zapojení KJ do LDS

Příloha 4 PPLDS - Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele lokální distribuční soustavy potom definuje další požadavky. Jako např. povolené zvýšení napětí v místě

připojení výroby ( max. 2 % v síti vn a 3 % v síti nn), změnu napětí při spínání, podmínky pro připojení synchronních generátorů, asynchronních generátorů, výroben se střídači atp. Zabývá se taktéž zpětnými vlivy na napájecí síť - flikrem, harmonickými proudy a ovlivněním signálu HDO (hromadného dálkového ovládání).

### 5.3 Podmínky pro přetok elektřiny do distribuční sítě

Tyto podmínky jsou stanoveny v Pravidlech provozu distribuční sítě (PPDS) v kapitole "Charakteristiky elektřiny dodávané regionálními výrobci".

Pokud je předávací místo na hladině napětí 110 kV jsou stanoveny jednotlivé charakteristiky kvality napětí:

- a. kmitočet sítě
- b. velikost napájecího napětí
- c. odchylky napájecího napětí
- d. rychlé změny napětí
  - o velikost rychlých změn napětí
  - o míra vjemu flikru
- e. krátkodobé poklesy napájecího napětí
- f. přerušení napájecího napětí
- g. nesymetrie napájecího napětí
- h. harmonická napětí
- i. mezipharmonická napětí
- j. úrovně napětí signálů v napájecím napětí.

Hodnoty, které musí jednotlivé charakteristiky splňovat uvádí Příloha 3 PPDS - "*Kvalita elektřiny v DS a způsoby jejího zjišťování a hodnocení*". Např. střední hodnota kmitočtu základní harmonické musí být během 99,5 % roku v mezích 49,5 až 50,5 Hz. Odchylka napájecího napětí se musí pohybovat v mezích 110 kV  $\pm$  10 %. Dále pak platí meze uvedené v Příloze 4 PPDS, které jsou stejné jako v Příloze 4 PPLDS..

Pro dodávky s přípojným místem v síti vn a nn platí stejné meze, jako platí pro připojení zdroje v LDS a meze uvedené v příloze 4 PPDS. Podrobné parametry popisující kvalitu elektřiny v sítích n a vn udává norma ČSN EN 50160.

## 6 POPIS PRŮMYSLOVÉ SÍTĚ

Jedná se o průmyslovou síť v areálu uzavřeného dolu. Po uzavření dolu došlo k rekonstrukci kobkové rozvodny napětí 22 kV, ta je jednopodlažní s kabelovým prostorem. Hlavní odběr nyní tvoří čerpadla odčerpávající vodu, která zaplavuje vytěžené prostory - tzv. důlní voda (přestože je důl již mimo provoz, musí se z bezpečnostních důvodů stále čerpat důlní voda, a to z důvodu zajištění stabilní úrovně hladiny důlních vod, která neohrozí hornickou činnost v činné části). Další odběr potom tvoří mechanické dílny, které jsou součástí areálu. V areálu bude instalována kogenerační jednotka spalující důlní plyn. Jedná se tedy o typický případ, který je obdobný pro několik lokalit a poznatky získané při řešení jsou aplikovatelné i v jiných lokalitách.

### 6.1 Popis rozvodny

Přívod energie je zajištěn pomocí dvou vzdušných vedení 22 kV. V rozvodně jsou 2 stávající suché transformátory ( T1 a T2) s převodem 22/0,4 kV o výkonu 1000 kVA. Ty napájejí podélně dělený rozváděč 0,4 kV. Na každém úseku rozváděče je kompenzační rozváděč stupňovitě spínaný o celkovém kompenzačním výkonu 400 kVAr, nehrazený. Ke třetímu stávajícímu transformátoru T3 s převodem 22/0,4 kV a výkonem 1250 kV bude připojena kogenerační jednotka spalující důlní plyn. Instalovaný výkon kogenerační jednotky bude 600 kW.

Dominantní spotřebu tvoří:

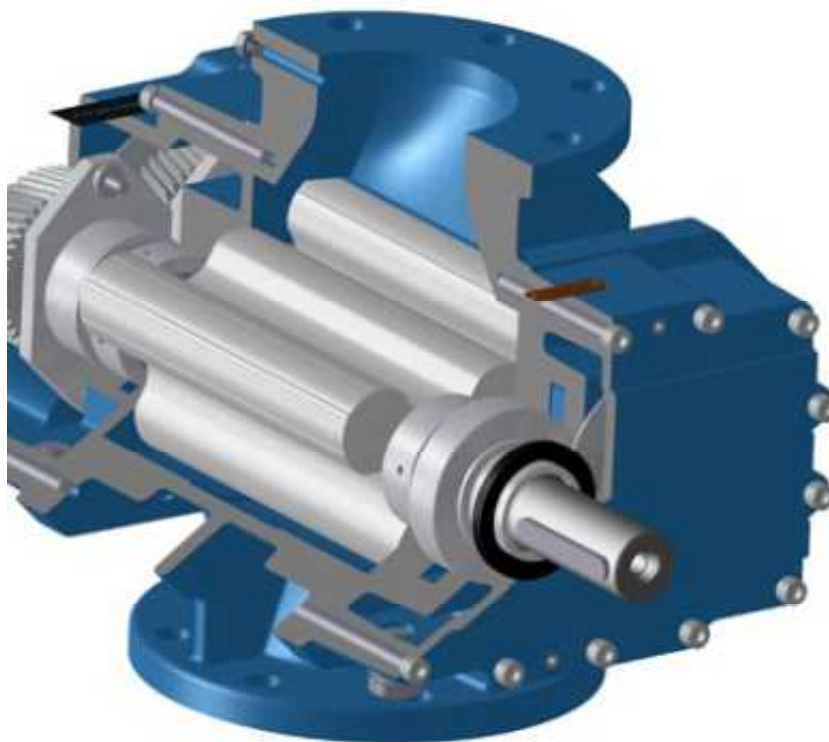
- Čerpadla - instalovaný výkon 250 a 160 kW,  $\cos\varphi = 0,82$
- Mechanické dílny - obráběcí stroje, svářečky, vzduchotechnika, osvětlení areálů + osvětlení interiéru - instalovaný 400 kW  $\cos\varphi = 0,9$

### 6.2 Popis kogenerační jednotky

Jedná se o kontejnerové provedení pro venkovní použití. Samotný kontejner se nachází pouze několik metrů od jámy, která zbyla z původního dolu. Kogenerační jednotka o prakticky stejném výkonu (627 kW<sub>E</sub>) se nachází v Ostravě v areálu bývalého dolu Odra a je v provozu od roku 2008. Zde je veškerá elektrická energie prodávána do sítě a teplo se maří v chladičích.

Odsávací potrubní je zavedeno zhruba 10 metrů pod úroveň země. Poté je přivedeno přímo do samotného kontejneru. Sání plynu zajišťuje soustrojí s Rootsovým dmychadlem. V České republice se na výrobu takovýchto dmychadel specializuje firma Kubíček [17]. V zařízeních této firmy dochází ke kompresi plynu pomocí dvou třízubých rotačních pístů. Ty jsou uloženy podélně v rovnoběžných osách ve skříní dmychadla a otáčejí se proti sobě. Tím dochází k nasávání plynu na sací straně zařízení a jeho transport do místa výtlaku a zároveň také ke kompresi. Odvalování rotorů je bezdotykové - není je třeba mazat, a proto nedochází ke kontaminaci plynu olejem. Řez dmychadlem je na Obr. 20. Celé soustrojí se pak skládá z tlumiče sání s filtrem, vlastního dmychadla, tlumiče výtlaku, separátoru vlhkosti, jímače kondenzátu, elektromotoru a řemenového převodu. Tlumič sání je uzpůsoben na připojení sacího potrubí na

externí přívod plynu. Soustrojí je osazováno elektromotorem s frekvenčním měničem. Pomocí tohoto měniče se provádí regulace otáček dmyhadla, která je nutná například při najíždění jednotky. Pro kogenerační jednotky vyrábí firma Kubíček dmyhadla v provedení pro hořlavé a výbušné plyny. Na vstupu i výstupu ze soustrojí jsou osazeny tzv. deflagračními pojistkami, které brání přenosu výbuchu šířícího se podzvukovou rychlostí do další technologie. Pokud dojde ke vznícení plynu, plamen při průchodu vložkami pojistek zhasne a zabrání se jeho dalšímu šíření. Více se o těchto pojistkách můžeme dočíst v [17]. Celé soustrojí uspřádané v kontejneru můžeme vidět na Obr. 21. Pro kogenerační jednotku o výkonu 600 kW je zapotřebí hnacího motoru s výkonem 18 kW.



Obr. 20 Řez dmyhadlem [17]

Spalování plynu probíhá v šesnáválcovém pístovém motoru firmy Deutz. Ten je připojen na třífázový, čtyř-pólový synchronní generátor firmy Marelli.

Spotřeba plynu u jednotky 600 kW je zhruba  $550 \text{ m}^3/\text{h}$ . Spotřeba se může měnit v závislosti na více faktorech, jako je například teplota. Hlavní roli má ovšem podíl metanu v důlním plynu, který se náhodně mění.

Tepelný výkon je 596 kW [4], tedy přibližně stejný jako elektrický výkon. Tepelná spotřeba v areálu je 100 kW na vytápění areálu v zimních měsících, 20 kW na technologické procesy a 40 kW pro teplou vodu. Dohromady tedy maximální spotřeba je  $160 \text{ kW}_t$ . Část tepla bude tedy využívána pro potřeby areálu pomocí tepelného výměníku. Zbytek tepla bude odváděn pomocí chladičů. Ty jsou umístěny na střeše kontejneru. Je výhodné, aby byla elektřina vyráběna zároveň s využitím tepla. Máme tak nárok na zelený bonus za KVET.

Vlastní spotřeba jednotky je zhruba 5 % instalovaného výkonu, pro výkon 600 kW je to tedy 30 kW. Vlastní spotřeba se mění například s venkovní teplotou nebo s tlakem plynu či s koncentrací metanu v něm.

Podle materiálů firmy Tedom [4] jsou parametry účinností následující:

- Elektrická účinnost 36,6 %
- Tepelná účinnost 49,1 %
- Celková účinnost 85,7 %



*Obr. 21 Soustrojí s dmychadlem [18]*

### 6.3 Potřebné kroky před zprovozněním

Přestože je rozvodna po rekonstrukci, je potřeba před spuštěním provozu KJ učinit určité kroky, aby mohl být provoz KJ zajištěn. Je to:

- 1) Kompletní posouzení technického stavu trafostanice, případně další nutné úpravy
- 2) Doplnění vývodu pro T3 o měření napětí a svodiče přepětí
- 3) Začlenění rozvodny do vzdálené správy a monitorování
- 4) Změna místa měření pro regulaci kompenzačního výkonu - doposud bylo měření v předávacím bodě. Nyní je třeba provádět měření na rozvaděči 0,4 kV, měření v předávacím bodě bude impulsem pro regulaci jalového výkonu pro kogenerační jednotku.

## 7 PROVOZNÍ REŽIMY LDS

V následující části práce se budeme zabývat čtyřmi možnostmi provozu průmyslové sítě ve spolupráci s kogenerační jednotkou. Provozní režimy budou následující:

1. Standardní provoz čerpadel, standardní provoz mechanických dílen a areálů + KJ
2. Redukovaný provoz čerpadel a redukovaný provoz areálu + KJ
3. Provoz pouze KJ s přetokem do sítě
4. Ostrovní provoz

### 7.1 Standardní provoz

Při standardním provozu se předpokládá následující situace:

- mechanické dílny + areál budou mít spotřebu zhruba do 280 kW
- čerpadla budou pracovat přibližně se soudobostí  $\beta = 0,7$ , to znamená, že při instalovaných výkonech čerpadel 250 a 160 kW bude jejich spotřeba do 300 kW
- kogenerační jednotka bude vyrábět 600 kW elektrických

Při maximálním odběru areálu a čerpadel budeme tedy uvažovat spotřebu 580 kW. vlastní spotřebu KGJ budeme uvažovat 5 %, tedy 30 kW. Dodávka z KGJ bude po odečtení vlastní spotřeby 570 kW. Z toho tedy vyplývá, že veškerá vyrobená energie bude zároveň spotřebovaná v lokální distribuční síti. Nebude docházet k žádnému přetoku energie do distribuční sítě. Zároveň bude pro provoz areálu nutné čerpat chybějících cca 10 kW při špičkách ze sítě.

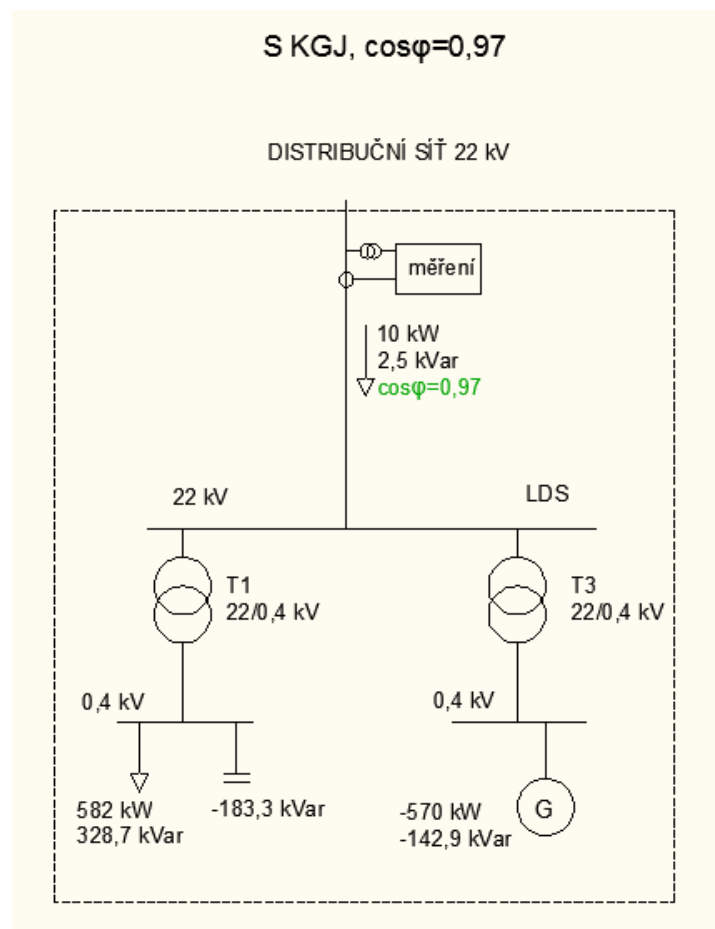
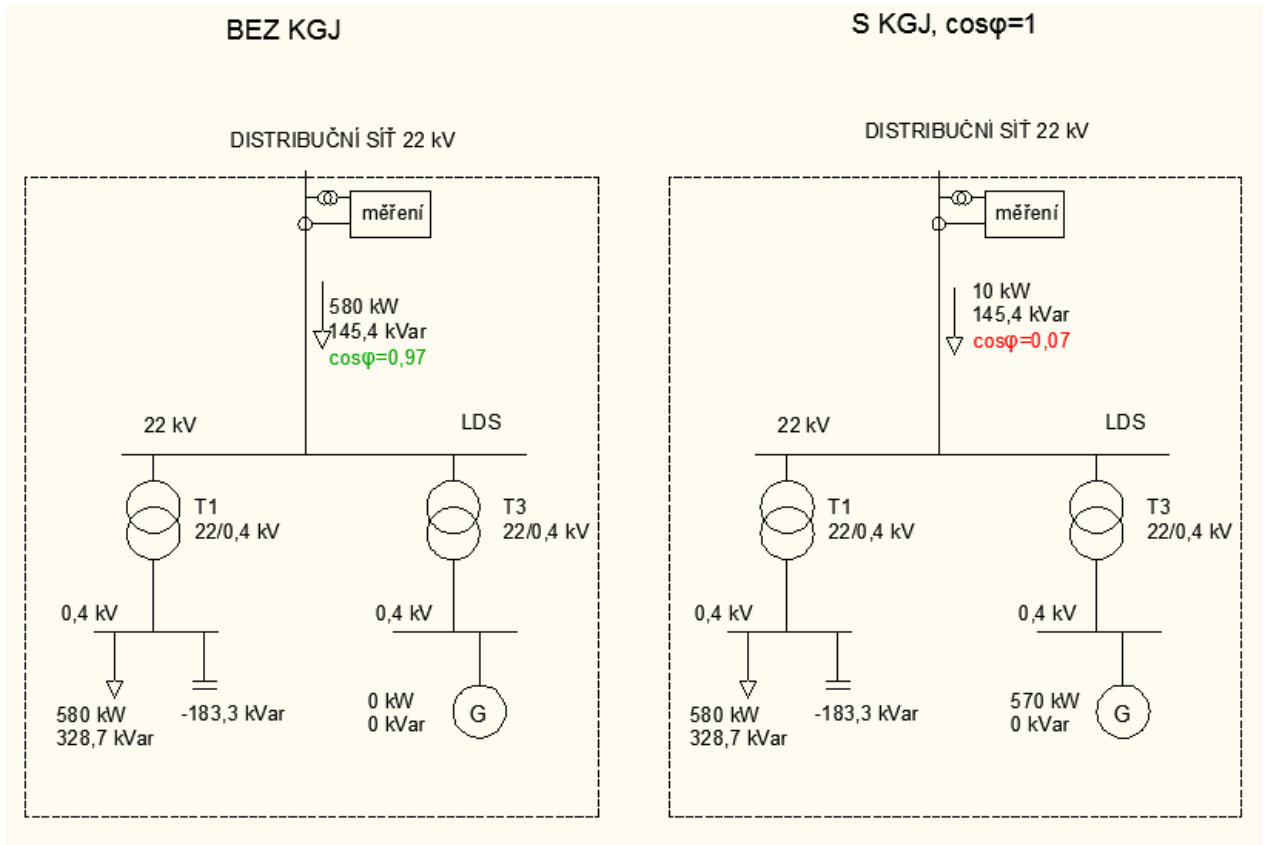
V tomto případě je možné uplatnit na veškerou spotřebovanou elektřinu, která bude vyrobená v KGJ zelený bonus.

Bude také zapotřebí dojednat novou smlouvu s distribuční společností. V tomto případě již není zapotřebí rezervovat výkon na celý areál, ale stačí pouze rezervovaný výkon na krytí špiček, čímž dojde k úspoře.

#### Vliv na účinník

Ačkoliv se může zdát, že synchronní generátor pracující s účinníkem 1 nemůže nijak uškodit, může se zhoršit účinník ve společném napájecím bodě - místě fakturačního měření. Změní se totiž tok činného výkonu, přičemž tok jalového výkonu zůstane stejný. Proto má význam zavádět dálkovou regulaci buzení. Jak bude situace vypadat znázorňuje obr. 18.

Kompenzační zařízení nyní provádí kompenzaci pouze na úrovni rozváděče 0,4 kV, účinník v předávacím bodě se upravuje pomocí kogenerační jednotky, respektive jejím jalovým výkonem.



Obr. 22 Vliv na účinník

## 7.2 Redukovaný provoz

Při redukovaném provozu se předpokládá následující situace:

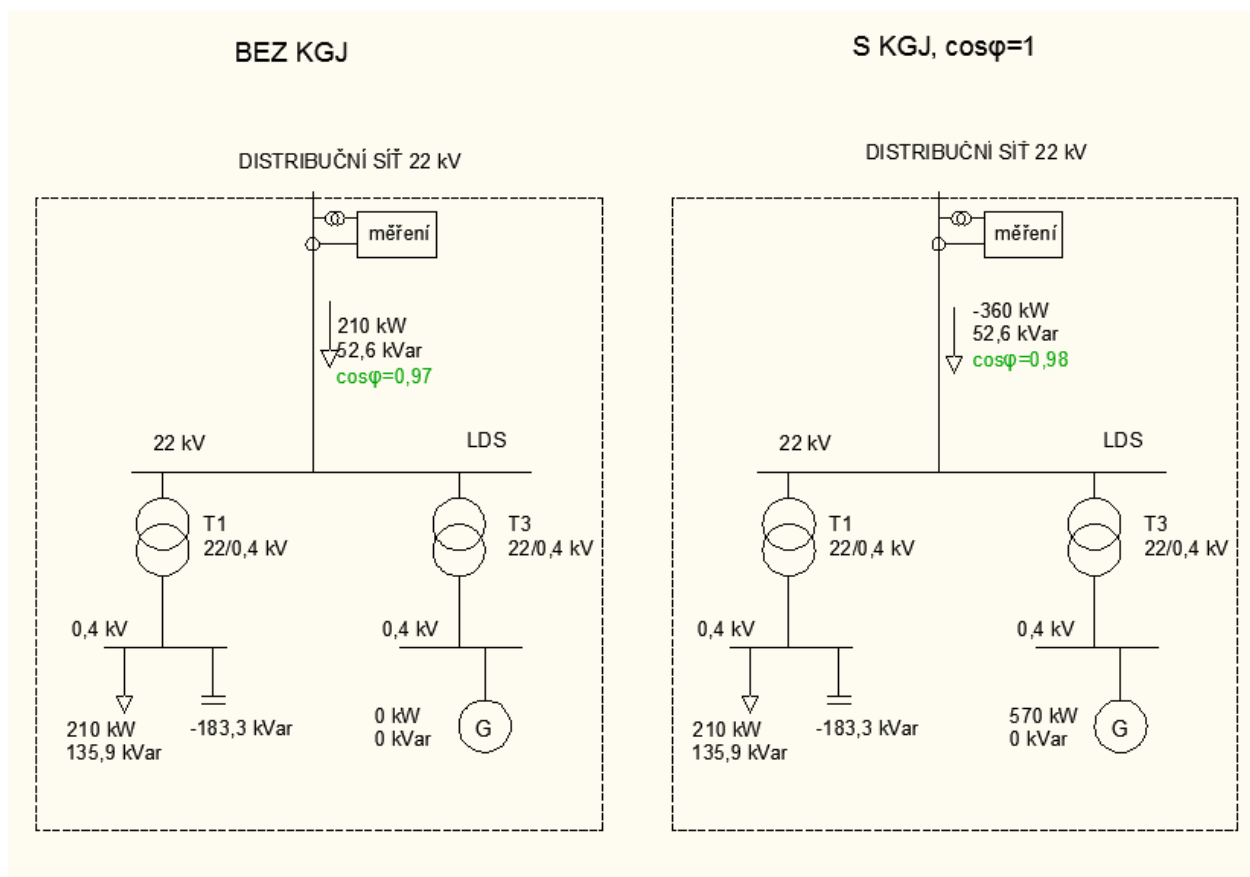
- areál a mechanické dílny budou odebírat 50 kW
- čerpadla budou pracovat v redukovaném režimu, v provozu bude pouze menší čerpadlo s odběrem 160 kW
- kogenerační jednotka bude vyrábět 600 kW elektrických

Celková spotřeba v tomto režimu je tedy 210 kW. Dodávka kogenerační jednotky je opět 570 kW. Veškerou spotřebu v průmyslové síti si dokážeme pokrýt elektřinou vyrobenou v kogenerační jednotce. Zbylých zhruba 360 kW můžeme prodávat do distribuční sítě. V tomto případě můžeme jak na spotřebovanou, tak i na prodanou elektřinu vyrobenou v KJ opět uplatnit zelený bonus. Distributor již není povinný elektřinu vykupovat, jak tomu bylo dříve, když byl důlní plyn řazen mezi obnovitelné zdroje, nyní si musíme obchodníka zajistit sami.

Neznamená to ale, že jsme na dodávce ze sítě úplně nezávislí. Pro rozběh KJ anebo při pravidelných údržbách KJ stále potřebujeme odebírat energii ze sítě.

### Vliv na účinník

Zde je situace obdobná jako v předchozím režimu. Situace je opět znázorněna na obrázku.



Obr. 23 Vliv na účinník

### 7.3 Provoz KGJ pouze do sítě

V případě, že dojde například ke zrušení dílen v areálu a důlní voda již nebude potřeba odčerpávat, může nastat situace, že veškerou vyrobenou elektrickou energii budeme dodávat do distribuční sítě. Tato situace je také typická pro kogenerační jednotky na důlní plyn, které se nachází na odlehlých místech a nemají žádné využití v místě výroby. V ČR jich takto několik funguje.

V minulosti bychom si mohli vybrat, zda-li budeme prodávat elektřinu za garantované výkupní ceny (stanovované ERÚ) anebo si kupce najdeme sami a uplatníme zelený bonus. U jednotek uvedených do provozu od 1.1.2013 již tuto možnost nemáme. Od tohoto data je již veškerý důlní plyn, jak z uzavřených, tak z činných dolů, řazen mezi druhotné zdroje, na které nelze aplikovat povinný výkup, pouze zelený bonus.

Pokud uvažujeme, že již dílny v areálu nebudou v provozu, odpadá nám tímto i tepelný odběr. Veškeré teplo bychom v tomto případě museli mařit v chladičích. A to by znamenalo, že již bychom neměli nárok na zelený bonus za KVET, pouze za prodanou elektřinu. Toto ovšem nemusí být pravidlem. Existují i jednotky, které elektřinu dodávají do sítě a pro teplo využití mají. Záleží vždy na konkrétní lokalitě a podmínkách v daném místě.

Co se týče účinníku, je v tomto případě situace jednoduchá. Jelikož již nemáme žádný další odběr, který by účinník ovlivňoval, bude kogenerační jednotka vyrábět elektřinu s účinníkem  $\cos\varphi = 1$ .

### 7.4 Ostrovní provoz

V tomto režimu máme za úkol zhodnotit zda a za jakých podmínek je možný provoz v ostrovním režimu. Uvažuje se úplný blackout, takže není možné použít žádný vnější zdroj energie.

Samotný provoz kogenerační jednotky do ostrovní sítě není problém. Problémem však je ten fakt, že k rozběhu kogenerační jednotky je zapotřebí externí zdroj. Energii potřebnou k rozběhu KGJ za normálního stavu odebíráme ze sítě. Tu však v případě totálního výpadku nemáme k dispozici. Pokud tedy chceme zajistit provoz i v případě blackoutu musíme najít jiný zdroj nebo zajistit zdroj vlastní. Jednou z variant by mohlo být přivedení napájení z jiné části sítě. V případě rozsáhlejšího výpadku by nám ovšem ani takovéto opatření nemuselo pomoci.

Jako spolehlivější možnost se jeví zajištění vlastního náhradního zdroje. Zde máme ke zvážení dvě možnosti. Buď jsou to akumulátory anebo dieselaagregát. Nejprve je vhodné zjistit, jaký výkon bude třeba uhradit. V první řadě potřebujeme rozběhnout dmychadlo, abychom vůbec měli palivo do spalovacího motoru. Příkon elektromotoru, který dmychadlo pohání je 22 kW. Dále je zapotřebí rozběhnout samotný spalovací motor pomocí startéru. Ten má vlastní 24 voltovou baterii, proto je do potřebného výkonu nebudeme uvažovat. To znamená, že celkově tedy musíme dodat výkon 22 kW k rozběhnutí elektromotoru. Nesmíme však zapomenout, že rozběhový proud u asynchronního motoru je až několika násobek jmenovitého proudu. V praxi to bývá tří až sedmi násobek.

Akumulátory mají výhodou, že dokážou pracovat krátkodobě s přetížením, což je výhodné pro rozběh elektromotoru. Nevýhodou ovšem je to, že běžně dostupné baterie jsou 12ti voltové nebo maximálně 24ti voltové. Pro příkon 22 kW potřebujeme při 230 V proud 96 A. Při 12ti voltech to je již 17,5 kA. A to ještě neuvažujeme násobek při rozběhovém proudu. To už bychom potřebovali několik baterií spojených paralelně, ty nejsilnější jsou schopny krátkodobě (zhruba na 5 vteřin [20]) dodat proud 1 kA. Dalším problémem je nutnost střídače, který převede stejnosměrný proud z baterií na střídavý proud, který je potřeba k rozběhu elektromotoru. Střídač pro takový výkon už je záležitost v řádu několika desítek tisíc.

Hlavně z důvodu nutnosti střídače, který je navíc zdrojem rušení v síti, se jeví jako výhodnější varianta dieselaagregát. Pro rozběhový proud budeme uvažovat šestinásobek jmenovitého proudu. Při rozběhu ovšem může poklesnout napětí až na 75% jmenovité hodnoty. Jednoduchým výpočtem tedy dospějeme k tomu, že pro rozběh 22 kW motoru je zapotřebí agregátu o elektrickém výkonu minimálně 33 kW. Podle stránek společnosti Silelektro [21] jsou rozměry 35 kW agregátu přibližně 2 x 0,7 x 1,4 m (DxŠxV.). To znamená, že o tento prostor bychom museli zvětšit kontejner nebo by agregát musel stát samostatně mimo kontejner.

V případě, že již jednotka běží, máme k dispozici 570 kW elektrického výkonu. Můžeme tedy bez problému provozovat obě dvě čerpadla. Zároveň je možné pokrýt spotřebu areálu, už ale ne v plném rozsahu. Situace je vlastně obdobná prvnímu případu s tím rozdílem, že si potřebnou energii nemůžeme odebrat ze sítě. Nebo je možné plně pokrýt spotřebu areálu za současného provozu pouze jednoho čerpadla.

V praxi se u kogeneračních jednotek na důlní plyn v ČR žádné záložní zdroje nepoužívají. V případě výpadku u distributora jsou odstaveny.

## 7.5 Shrnutí

Shrnutí toků výkonu v jednotlivých režimech poskytuje následující tabulka.

Tabulka 3 Shrnutí provozních režimů

Provozní režim	Σspotřeby P LDS [kW]	Σspotřeby Q LDS [kVAr]	Σvýroby KGJ [kW]	Přetok do DS [kW]
Standardní režim	10	2,5	570	0
Redukovaný režim	0	52,6	570	360
Pouze do sítě	0	0	570	570
Ostrovni provoz	0	0	570	0

Ve všech provozních režimech nesmí docházet k negativnímu ovlivnění sítě v místě připojení KGJ. V našem případě se jedná hlavně o ovlivnění ve společném napájecím bodě s distribuční soustavou, protože provozovatel KGJ je zároveň provozovatelem průmyslové sítě. V praxi ovšem nesmí provoz KGJ negativně ovlivňovat ani síť lokální distribuční soustavu. Podmínky a hlediska pro připojování výroben elektřiny do sítě nn, vn a 110 kV do distribuční soustavy (nebo i lokální distribuční soustavy) shrnuje příloha 4 PPDS a jsou popsány v předchozích kapitolách.

Firma ELCOM prováděla v letech 2007 - 2011 měření asi na 20ti kogeneračních jednotkách v ostravsko-karvinském revíru. V několika případech byl problém s povolením připojení KGJ u provozovatele sítě 110 kV, protože blízká rozvodna byla již na hranici zkratové odolnosti. Provozovatel sítě 110 kV proto nechtěl dovolit připojení, i když příspěvek KGJ ke zkratovému výkonu v uzlu 110 kV byl přibližně 20 MVA. V LDS 22 kV a 6kV přitom žádný problém z důvodu zkratové odolnosti nebyl. Je tedy potřeba věnovat zvýšenou pozornost výpočtu zkratových proudů. Z měření dále vyplývá, že nejsou problémy se zkreslením napětí (generátor odsává část harmonických proudů ze sítě). Rovněž nejsou problémy ani s kolísáním napětí. Nafázování na síť probíhá při dobrém synchronizačním zařízení bez velkých problémů. Jak již bylo ukázáno i synchronní generátor pracující s účinnkem 1 může zhoršit účinník ve společném napájecím bodě. Kogenerační jednotky byly schopné provozu i v síti s velkým kolísáním a zkreslením napětí.

## 8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole bude provedeno pouze stručné stanovení nákladů a úspor v jednotlivých provozních režimech. Počítat přesnou návratnosti investice by mělo smysl až pro konkrétní lokalitu. Museli bychom znát smluvní dodavatelsko-odběratelská ujednání, aktuální ceny elektřiny v dané lokalitě, případně podmínky získání úvěru na realizaci celého díla od některé z komerčních bank.

Jak již bylo zmíněno výše, u kogeneračních jednotek uvedených do provozu před rokem 2013 spalujících důlní plyn z uzavřených dolů, máme možnost si při prodeji do sítě vybrat mezi výkupní cenou a zeleným bonusem. U kogeneračních jednotek spalujících důlní plyn z činných dolů (který se neřadí mezi obnovitelné zdroje energie) jsme měli pouze nárok na zelený bonus. Od 1.1. 2013 je veškerý důlní plyn považován za druhotný zdroj energie a je na něj vypisován pouze zelený bonus.

Výše zeleného bonusu se může skládat ze dvou částí. První část je za elektřinu vyrobenou z druhotných zdrojů. Jeho výše je pro výroby uvedené do provozu v roce 2013 600 Kč/MWh. Druhá část zeleného bonusu může být za elektřinou vyrobenou v rámci KVET. Ten se ještě skládá ze základní ( $ZB_{zakl.sazba}$ ) a doplňkové sazby ( $ZB_{dopl_1}$ ). Výsledná podpora za KVET se potom vypočte:

$$C_{zb} = E_{kvet} \cdot (ZB_{zakl.sazba} + ZB_{dopl_1}) \quad (3.13)$$

kde  $E_{kvet}$  je množství elektřiny vyrobené v KVET

Aktuální výše základní sazby pro rok 2013 je 45 Kč/MWh a výše doplňkové je 455 Kč/MWh. Dohromady tedy 500 Kč/MWh za KVET. Když ještě přičteme zelený bonus za výrobu elektřiny z druhotných zdrojů dostáváme se na maximální možnou výši zeleného bonusu 1100 Kč/MWh.

### 8.1 Investiční náklady

Investiční náklady pro výstavbu kogenerační jednotky o výkonu řádově ve stovkách kW, například 600 kW se pohybují v rozsahu 4,8 až 8,5 mil. Kč, zejména s ohledem na počáteční investici umožňující využití důlního plynu. Tedy cena strojně-technologické a stavební části včetně opláštění (technologie jímání plynu, využití odpadového tepla, instalace v budově nebo oploceném kontejneru na základové desce) je velmi variabilní, zatímco cena části elektro je stabilní. Jedinou neznámou jsou náklady na začlenění vlastního zdroje do elektrické sítě (venkovní nebo kabelové vedení, úpravy na stávajícím rozvodném zařízení, požadavky na regulaci).

Kromě těchto investičních nákladů je třeba brát v úvahu náklady na projektovou dokumentaci, studii připojitelnosti a v některých konkrétních případech také na studii vlivu zařízení na životní prostředí (zjišťovací studie, event.. EIA).

## 8.2 Standardní režim

V tomto režimu uspoříme za vyrobenou elektřinu, kterou sami spotřebujeme ,protože bychom ji jinak museli nakupovat. Konkrétní uspořená částka by záležela na smluveném tarifu. K další úspoře dojde taky díky menšímu rezervovanému výkonu.

Počítáme-li nepřetržitý provoz KGJ, pouze s nutnými odstávkami pro servis a údržbu, můžeme brát v úvahu provoz 350 dní ročně, což je 8400 hodin. Při tomto počtu hodin vyrobíme ročně 4788 MWh. Budeme-li provozovat KGJ i s využitím tepla ,můžeme tedy jednoduchým vynásobením zjistit výši zeleného bonusu:

$$C_{zb} = 4788 \text{ MWh} \cdot 1100 \text{ Kč} / \text{MWh} = 5\,266\,800 \text{ Kč} \quad (8.1)$$

Bez využití tepla by byl příspěvek následující:

$$C_{zb} = 4788 \text{ MWh} \cdot 600 \text{ Kč} / \text{MWh} = 2\,872\,800 \text{ Kč} \quad (8.2)$$

## 8.3 Redukovaný provoz

V tomto režimu kromě zeleného bonusu, jehož výpočet by byl stejný jako v předchozím režimu,, máme navíc možnost prodávat elektřinu nespotřebovanou ve vlastní průmyslové síti do distribuční sítě. Výše zeleného bonusu je stejná jak pro elektřinu spotřebovanou, tak pro elektřinu prodanou do sítě.

Přetok do distribuční sítě jsme uvažovali zhruba 360 kW. Pro 8400 hodin ročního provozu kogenerační jednotky dostáváme množství roční celkové elektrické energie prodané do sítě 3024 MWh. Cena prodané elektřiny závisí na tom, jak si ji dokážeme vyjednat s obchodníkem s elektřinou.

## 8.4 Provoz pouze do sítě

Při provozu kogenerační jednotky dochází k prodeji veškeré vyrobené elektřiny. Množství roční vyrobené elektřiny určíme následovně. Provozních hodin uvažujme opět 8400 a výkon KGJ po odečtení vlastní spotřeby 570 kW. Vynásobením tedy dostaneme 4788 MWh.

## 8.5 Ostrovní režim

Tento provozní režim se nepředpokládá pro dlouhodobý provoz, ale spíše pro pokrytí spotřeby v době výpadku dodávky. Zásadně by se ovšem zvýšily investiční náklady, protože by bylo nutné investovat od dieselagregátu. Zde nastává otázka, zda-li je vůbec výhodné postupovat takovouto investicí kvůli možnému výpadku. Jelikož dodávka elektřiny bývá při výpadku obvykle velmi rychle obnovena, jeví se nám tako investice jako zbytečná. Šlo zde však spíše o to, poukázat na to, jak by se dala tato situace řešit technicky.

## 9 ZÁVĚR

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla se stává v poslední době velmi aktuálním tématem. Hlavně se jedná o zdroje s výkonem do 5 MW, protože jsou oproti zdrojům nad 5 MW značně zvýhodněny co se týče podpory. K podpoře KVET velmi výrazně přispěly orgány Evropské unie. Průměrná výše podpory u zařízení do 5 MW v roce 2011 dosáhla 683 Kč/MWh, zatímco u zařízení nad 5 MW to bylo pouhých 45 Kč/MWh [2]. Kogenerace výrazně zvyšuje účinnost využití primárního paliva v porovnání s oddělenou výrobou. S tím souvisí i úspory emisí znečišťujících látek a oxidu uhličitého. V roce 2010 byla průměrná účinnost výroby elektřiny v ČR 35,5 % [3], to znamená, že téměř dvě třetiny energie byly zmařeny především ve formě nízkopotencionálního tepla.

Technologií používaných ke kogeneraci existuje celá řada a jsou popsány v teoretické části práce. Kogenerační jednotky menších výkonů (do 5MW) však nejčastěji používají kogeneraci se spalovacím motorem. Palivem bývá zpravidla zemní plyn. Stejně tak ovšem může být palivem důlní plyn, který má podobné vlastnosti jako plyn zemní. Důlní plyn musí být z dolu odčerpáván, a to jak z činných, tak i u uzavřených, z bezpečnostních důvodů - plyn obsahuje metan a hrozí nebezpečí exploze. Důlní plyn s obsahem metanu nad 50% může být využíván, např. ve výtopnách. Plyn s menším obsahem metanu ještě donedávna uplatnění neměl a proto byl vypouštěn do ovzduší. KGJ ovšem dokážou využít i plyn s obsahem metanu zhruba od 30% celkového objemu. S nadsázkou tedy můžeme říct, že máme palivo prakticky zadarmo. Další výhodou je, že se na výrobu elektřiny z důlního plynu vztahuje podpora. Jednak je to podpora za KVET a dále se také důlní plyn řadí mezi druhotné zdroje, na které je vypisován zelený bonus. Před rokem 2013 byl důlní plyn z uzavřených dolů řazen dokonce mezi obnovitelné zdroje, takže na něj platil povinný výkup.

V současnosti je v ostravsko-karvinském revíru instalováno celkem 25 kogeneračních jednotek spalujících důlní plyn, s celkovým výkonem 31,2 MW<sub>e</sub>. Provozovatelem těchto jednotek je firma GreenGas, která má již zkušenosti s provozováním jednotek ze zahraničí díky spolupráci s partnerskou firmou GreenGas Germany. Začátkem roku 2013 spustila do provozu jednu jednotku také firma Dalkia Industry, která zároveň zajišťuje dodávku a distribuci elektrické energie a tepla pro doly OKD. To znamená, že provozuje KGJ přímo ve své lokální distribuční soustavě.

V této práci je navrženo začlenění kogenerační jednotky spalující právě důlní plyn do průmyslové sítě (lokální distribuční sítě). Výkon jednotky je 600 kW<sub>e</sub>. Průmyslová síť představuje uzavřený důl, v jehož areálu se nacházejí mechanické dílny. Dále jsou zde čerpadla sloužící k odčerpávání důlní vody. Část tepla bude spotřebována v areálu, zbytek bude mařen v chladičích, protože pro ně není žádné využití.

Při připojení zdroje do lokální distribuční sítě musí být dodrženy připojovací podmínky, které stanovuje příloha 4 v Pravidlech provozování lokálních distribučních soustav. Rovněž nesmí být negativně ovlivněna ani distribuční soustava. Jedná se hlavně o kolísání napětí, rušení v síti apod. V praxi může nastat problém, že provozovatelé důlních sítí nemají dostatečnou kapacitu v rozvodnách a proto připojení nepovolí.

Navrženy byly čtyři provozní režimy. V prvním režimu se předpokládá, že čerpadla poběží na plný výkon, stejně tak v areálu bude plný odběr. Veškerá elektřina vyrobená kogenerační jednotkou bude spotřebována v průmyslové síti. Pro krytí špiček se odebírá energie z distribuční sítě.

V druhém režimu se předpokládá utlumená spotřeba v průmyslové síti. Část energie bude spotřebována a část bude prodávána do sítě. V třetím režimu je situace velmi prostá, veškerá vyrobená energie bude prodávána do sítě.

Poslední režim se zabývá ostrovním režimem při blackoutu. Provoz v tomto režimu je možný, kogenerační jednotka ovšem musí být opatřena dieselaagregátem pro rozběh plynového kompresoru. Investiční náklady by ovšem proto byly vyšší.

V ekonomickém zhodnocení jsou zhruba odhadnuty investiční náklady, které by činily do 10 mil Kč. V případě, že bude nákup důlního plynu realizován za výhodných podmínek a bude možné využívat i vyrobené teplo, je návratnost projektu velmi rychlá. V případě nevyužívání tepla ji lze odhadnout na dobu pod 6 let. Exaktní výpočet návratnosti by měl smysl až pro konkrétní lokalitu a konkrétní dodavatelsko-odběratelské podmínky jak na straně plynu, tak na straně elektřiny, případně tepla. Proto zde není uveden.

Výstavba KJ na důlní plyn je určitě zajímavým projektem, který je možné v současné době vyřešit na vysoké technické úrovni. Dochází ke zvýšení ochrany v důlní činnosti k ochraně životního prostředí snížením emisí a také k efektivnějšímu využívání zdrojů. Projekt výstavby KJ o ostravsko-karvinském revíru je již téměř u konce. V budoucnosti se v této lokalitě plánuje výstavba pouze menších jednotek s výkonem do 1 MW<sub>e</sub>.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vy. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 287 s. ISBN 80-7300-118-7.
- [2] Kombinovaná výroba elektřiny a tepla: Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET) - [online]. [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://www.kombinovana-vyroba.cz/>
- [3] JAROSLAV KRBEK, Bohumil Polesný. *Kogenerační jednotky - zřizování a provoz* [online]. 1. vy. Praha: GAS, 2007 [cit. 2012-11-10]. ISBN 80-732-8151-1
- [4] *TEDOM: Kogenerace* [online]. [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/>
- [5] OPLUŠTIL, Josef. Důlní plyn jako druhotný zdroj energie pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. [online]. [cit. 2012-11-16]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/kogenerace/5644-dulni-plyn-jako-druhotny-zdroj-energie-pro-kombinovanou-vyrobu-elektřiny-a-tepla>
- [6] KONÍČEK, Jiří a Radek DVOŘÁK. ELEKTRICKÁ ENERGIE A TEPLA Z DŮLNÍHO PLYNU. *DOPRAVA A LOGISTIKA*. 2010. Dostupné z: [http://web.tuke.sk/transportlogistics/issues/special/2010/SI8/09\\_konicek.pdf](http://web.tuke.sk/transportlogistics/issues/special/2010/SI8/09_konicek.pdf)
- [7] MATOUŠEK, Antonín. *Výroba elektrické energie*. Vyd. 1. Brno: VUT FEKT, 2007, 139 s. ISBN 978-80-214-3317-5.
- [8] Vodík jako alternativní ekologické palivo. In: [online]. [cit. 2012-11-24]. Dostupné z: [http://www.ueen.feec.vutbr.cz/~mastny/vyuka/mmze/prednasky/10\\_pr.pdf](http://www.ueen.feec.vutbr.cz/~mastny/vyuka/mmze/prednasky/10_pr.pdf)
- [9] Zákon č.165/2012 ze dne 31.1.2012 o podporovaných zdrojích energie a změně některých zákonů
- [10] MPO Efekt. [online]. [cit. 2012-11-25]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/cz/legislativa/>
- [11] Podpora kombinované výroby - Česká republika [online]. [cit. 2012-11-25]. Dostupné z: <http://www.kombinovana-vyroba.cz/?id=151505#>
- [12] *Česká společnost pro větrnou energii* [online]. [cit. 2012-11-25]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/>
- [13] BECHNÍK, Bronislav. Obnovitelné zdroje energie - vývoj výkupních cen. [online]. [cit. 2012-11-25]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/6950-obnovitelne-zdroje-energie-vyvoj-vykupnich-cen>
- [14] Pravidla provozu distribučních soustav, 2012
- [15] Pravidla provozu lokálních distribučních soustav, 2012
- [16] *Energetický regulační úřad* [online]. [www.eru.cz](http://www.eru.cz)
- [17] *Produktový katalog Kubíček*. 20. Dostupné z: [http://www.kubicekvhs.cz/data/file/pdf/katalog/Produktový\\_katalog\\_Kubicek\\_CZ.pdf](http://www.kubicekvhs.cz/data/file/pdf/katalog/Produktový_katalog_Kubicek_CZ.pdf)

- [18] GreenGas. [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.dpb.cz/energetika/>
- [19] DEUTZ [online]. [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: [www.deutz.com](http://www.deutz.com)
- [20] FG FORTE [online]. [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: <http://www.fg-forte.cz/>
- [21] Silektro: Agregáty [online]. [cit. 2013-04-26]. Dostupné z: <http://www.zdroje-energie.cz/index.php?Title=Dieselagregaty>

## PŘÍLOHA

KJ v Ostravě Přívozu o výkonu 627 kW<sub>e</sub>





DEUTZ POWER SYSTEMS Generating Set		
Manufacturer	DEUTZ POWER SYSTEMS	-
Serial No.	1000000000	-
Year of manufacture	2007	-
Rated power	1000	kW
Rated power factor	cos φ = 1.0	-
Max. site altitude of installation	207	m
Max. ambient temperature	25	°C
Rated frequency	50	Hz
Rated voltage	400/231	V
Rated current	905	A
Mass	6600	kg
Performance class	G2	-
Additional power for governing purposes	5	%
Fuel	MINE GAS	

DEUTZ Power Systems GmbH & Co.KG, Mannheim, Carl-Benz-Strasse 1

