

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra fyziky**



**Diplomová práce**

**Kogenerační jednotky**

**Bc. Radek Krejčí**

© 2021 ČZU v Praze



Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce:	Bc. Radek Krejčí
Studijní program:	Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu
Vedoucí práce:	prof. Ing. Martin Libra, CSc.
Garantující pracoviště:	Katedra fyziky
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	<b>Kogenerační jednotky</b>
Název anglicky:	<b>cogeneration unit</b>
Cíle práce:	- Popis konstrukce instalovaných kogeneračních jednotek. - Analýza bezpečnosti a úskalí provozu. - Výpočty, dimenzace a studium důležitých charakteristik.
Metodika:	Popis konstrukce kogenerační jednotky. Analýza bezpečnosti a úskalí provozu. Výpočty, dimenzace a studium důležitých charakteristik.
Doporučený rozsah práce:	45 stran
Klíčová slova:	Kogenerační jednotka, energie, bezpečnost provozu
Doporučené zdroje informací:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Hallyday, D. a kol. 2003, Fyzika. VUTIUM, Brno, 2003</li><li>2. Jacek Kalina, Mateusz Świerzewski, Rafał Strzałka, 2019. Operational experiences of municipal heating plants with biomass-fired ORC cogeneration units. Energy Conversion and Management, 181, 544-561.</li><li>3. Jacek Kalina, Mateusz Świerzewski, 2019. Identification of ORC unit operation in biomass-fired cogeneration system. Renewable Energy, 142, 400-414.</li><li>4. Zhonghe Han, Peng Xiang, 2020. Modeling condensate throttling to improve the load change performance of cogeneration units. Energy, 192, No.116684</li></ol>
Předběžný termín obhajoby:	2020/2021 LS - TF

Elektronicky schváleno: 10. 1. 2020  
**prof. Ing. Martin Libra, CSc.**  
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 19. 2. 2020  
**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**  
Děkan

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Kogenerační jednotka" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 14.5.2021

---

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval(a) prof.Ing.Martinu Librovi CSc. a Ing.Vlastimilu Černému za konzultace, podněty a cenné rady při zpracování této diplomové práce.

# Kogenerační jednotky

## Abstrakt

Diplomová práce se zabývá problematikou kogeneračních jednotek. Na úvod teoretické části jsou představeny různé typy a řešení kogeneračních jednotek, jejich výhody a nevýhody, dále je v teoretické části vysvětlena vlastní konstrukce kogeneračních jednotek, zejména pak synchronního generátoru jeho konstrukce a popis parametrů. V praktické části je řešena legislativa související s normami ČSN, legislativou kterou požadují vlastníci přenosové soustavy. Jako další část vlastních výsledků je uveden příklad výpočtů zkratů které se mění po připojení kogenerační jednotky do stávajících elektroinstalací a problematika při tvorbě projektu, s ohledem na možná úskalí tohoto připojování.

**Klíčová slova:** Kogenerační jednotky, projektování, připojení, plynový motor, zkrat, normy, legislativa, konstrukce, měření

# Zde napište anglický název práce

## **Abstract**

The diploma thesis deals with the issue of cogeneration units. At the beginning of the theoretical part, various types and solutions of cogeneration units, their advantages and disadvantages are introduced, the theoretical part also explains the actual construction of cogeneration units, especially the synchronous generator, its construction and description of parameters. The practical part deals with legislation related to ČSN standards, legislation required by the owners of the transmission system. Another part of the results is an example of calculations of short circuits that change after the connection of the cogeneration unit to existing electrical installations and issues in creating a project, with regard to the possible pitfalls of this connection.

**Keywords:** Cogeneration unit, design, connection, gas engine, short circuits, standards, legislation, construction, measurement

# Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>2. Cíl práce a metodika.....</b>	<b>11</b>
2.1. Cíl práce – problematika připojování kogeneračních jednotek do stávající elektrické infrastruktury.....	11
2.2. Metodika .....	11
<b>3. Stav problematiky .....</b>	<b>12</b>
3.1. Typy kogeneračních jednotek .....	13
3.1.1. KGJ s palivovými články.....	13
3.1.2. KGJ s plynovou turbínou.....	14
3.1.3. KGJ s parním strojem .....	15
3.1.4. Se Stirlingovým motorem.....	15
3.1.5. Organickým Rankinovým cyklem - ORC .....	17
3.1.6. S pístovými spalovacími motory .....	18
3.2. Soustrojí KGJ s pístovým spalovacím motorem.....	19
3.2.1. Součásti:.....	19
3.3. Energetická bilance .....	20
3.4. Synchronní generátor .....	21
3.4.1. Elektrické vlastnosti a výkony generátoru.....	21
3.4.2. Elektrické krytí generátoru a provozní prostředí .....	21
3.4.3. Mechanická konstrukce .....	22
3.4.4. Konstrukce svorkovnice .....	22
3.4.5. Základní charakteristika generátoru.....	22
1. Elektrické parametry konkrétního generátoru .....	22
3.5. Blokové schéma kogenerační jednotky.....	23
<b>4. Vlastní výsledky.....</b>	<b>23</b>
5. Legislativní požadavky připojování KGJ.....	23
5.1. Výpis norem .....	23
5.2. Bezpečnost provozu .....	25
<b>6. Podmínky pro připojování distribučních společností.....</b>	<b>26</b>
6.1. ČEZ Distribuce.....	26
6.1.1. Provedení fakturačního měření a jeho umístění .....	27
6.1.2. Rozhraní pro dálkové ovládání, měření a signalizaci .....	28
6.1.3. Řízení jalového výkonu .....	31
6.1.4. Dynamická podpora sítě .....	31
6.1.5. Automatické opětovné připojení výroby .....	32
6.1.6. Rozpadová místa.....	32
6.2. EG.D.....	32

<b>7. Projekční problematika připojení KGJ</b> .....	<b>32</b>
7.1. Výpočty zkratových poměrů .....	33
7.1.1. Vstupní data .....	33
7.1.2. Náhradní schéma .....	34
7.1.3. Výpočet .....	35
8.1. Výpočet oteplení kabelů.....	40
8.1.1. Výsledky výpočtového programu Sichr .....	40
8.1.2. Schéma z programu Sichr .....	41
8.1.3. Popis výsledků výpočtu .....	42
8.1.4. Vypínací charakteristiky jističích prvků .....	42
8.2. Jednopolové schéma.....	43
8.3. Použití infra kamery .....	44
8.3.1. Vlastní měření termokamerou FLIR+.....	44
<b>9. Výsledky a diskuse</b> .....	<b>45</b>
<b>10. Závěr</b> .....	<b>46</b>
<b>Citovaná literatura</b> .....	<b>47</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1 kogenerační jednotka Cento T200.....	12
Obrázek 2 Ukázka palivového článku společnosti FuelCell Energy Solutions GmbH (8) .....	14
Obrázek 3 Malá kogenerační jednotka s plynovou mikroturbinou CAPSTONE (6) .....	14
Obrázek 4 Malý parní stroj TENZA integrovaný v kontejneru (6) .....	15
Obrázek 5 Vitotwin 300-W, vpravo Stirlingův motor (10) .....	16
Obrázek 6 Mikrokogenerační jednotka TEDOM Micro T30 (6) .....	18
Obrázek 7 Funkční schéma KGJ .....	19
Obrázek 8 Graf využití paliva při přeměně energie v KGJ .....	20
Obrázek 9 Třífázový generátor Leroy Somer .....	21
Obrázek 10 Základní schéma zapojení elektrického připojení v paralelním provozu sítě .....	23
Obrázek 11 Náhradní schéma zapojení pro výpočet zkratových poměrů .....	34
Obrázek 12 schéma z programu Sichr .....	41
Obrázek 13 Výstup z programu Sichr vypínací charakteristiky impedanční smyčky .....	42
Obrázek 14 Jednopolové schéma zapojení KGJ.....	43
Obrázek 15 Měření v infračervené části spektra .....	44
Obrázek 16 Zobrazení pořízeného snímku ve viditelné části spektra .....	44

## Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní charakteristiky generátoru Leroy Somer .....	22
Tabulka 2 Uvedení konkrétních parametrů generátoru .....	22
Tabulka 3 Související předpisy a normy .....	33
Tabulka 4 Parametry a délka kabelů transformátoru .....	36
Tabulka 5 Parametry synchronního generátoru Leroy Somer LSA49.3 M8 .....	37
Tabulka 6 Parametry připojovacích kabelů KGJ .....	38
Tabulka 7 Výpočtové hodnoty z programu Sichr .....	40
Tabulka 8 Porovnání hodnot zkratových proudů před a po připojení KGJ .....	45



## Seznam použitých zkratek

AC	střídavý proud; viz definice ČSN 33 0010 ed. 2, čl. 4.3.2
HDO	hromadné dálkové ovládání distributora elektrické energie
KGJ	kogenerační jednotka
KVET	kombinovaná výroba elektřiny a tepla; viz definice § 2 písm. g) zákona č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie, ve znění pozdějších předpisů
MTN	měřicí transformátor napětí; viz definice ČSN EN 61869-3, čl. 3.1.301
MTP	měřicí transformátor proudu; viz definice ČSN EN 61869-2, čl. 3.1.201
NN	nízké napětí (sítě o jmenovitém napětí mezi vodiči od 50 V do 1000 V AC); viz definice ČSN 33 0010 ed. 2, Tabulka 1
PBŘ	požárně bezpečnostní řešení; viz definice § 41 vyhlášky č. 246/2001 Sb., o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru (vyhláška o požární prevenci), ve znění pozdějších předpisů
PPDS	pravidla provozování distribučních soustav
SPD	přepětivé ochranné zařízení; viz definice ČSN EN 61643-11 ed. 2, čl. 3.1.1
VN	vysoké napětí (sítě o jmenovitém napětí mezi vodiči nad 1 kV do 52 kV AC); viz definice ČSN 33 0010 ed. 2, Tabulka 1
SoP	Smlouva o připojení
kA	kilo ampér
kV	kilo volt
MVA	mega volt ampér
CZT	centrální zdroj tepla
ČEPS	Česká přenosová soustava

# 1. Úvod

Každým rokem spotřeba energie celosvětově roste a zvyšují se nároky na její kvalitu. Rozšiřování kapacity přenosové soustavy je velmi ekonomicky náročné a často i technicky velmi těžce realizovatelné. Z těchto důvodů je nutné zaměřit orientaci získávání energie na zdroje které jsou z dlouhodobého hlediska ekonomicky výhodnější a doplnit tak stávající tradiční energetické zdroje (1) o decentralizované výroby a tím zajistit trvale udržitelný rozvoj včetně současného technického pokroku. Dynamicky se rozvíjející solární elektrárny jsou zajímavou alternativou, která však stále kapacitně nedokáže pokrýt poptávku po zvyšující se spotřebě. (2) Elektřina ze slunce či větru je stále levnější a není pochyb o tom, že jejich podíl v energetickém mixu bude stále růst. Zvyšování jejich proměnlivé výroby bude znamenat stále větší časové úseky, kdy tyto zdroje pokryjí celou spotřebu elektřiny, jenže mezitím zase budou delší či kratší doby, kdy jejich výroba stačit nebude. (3) Slibně vyhlížející perspektivou je stavba decentralizovaných zdrojů KVET (kombinovaná výroba tepla a elektřiny), mezi ně patří i kogenerační jednotky. Tyto zdroje umožňují velmi efektivní přeměnu paliva a to odpadní teplo z výroby elektřiny využívají na výrobu užitečného tepla. V našich přírodních podmínkách, kdy roční spotřeba tepla je cca dvojnásobná oproti spotřebě elektřiny a maxima spotřeby jsou shodně v zimním období, je kogenerace, tj. společná výroba elektřiny a tepla (KVET), tradičním a i do budoucna velmi vhodným způsobem zajištění tepla a elektřiny. V posledních letech se díky stabilní podpoře rozvíjí zejména sektor malých a středních plynových kogenerací, instalovaných typicky v centrálních zdrojích tepla (CZT) v menších městech či ve firmách. V současnosti je v provozu zhruba 300 MW a ročně přibývá přibližně 30 MW. Kogenerační jednotka, která nahradí v sídlištní výtopně kotle na zemní plyn, ušetří 20–40 % primárního paliva a 20–60 % emisí oxidu uhličitého oproti samostatné výrobě elektřiny a tepla (vyšší hodnoty při vytlačení kondenzační výroby elektřiny z uhlí, nižší při porovnání s výrobou elektřiny v paroplynovém cyklu). Ovšem prostor pro plynovou kogeneraci na bázi plynových motorů bude i ve velkých CZT, kde bude docházet k optimalizaci, resp. decentralizaci struktury těchto systémů. ČEPS ve svém hodnocení výrobní přiměřenosti do roku 2030 předpokládá, že vznikne asi 150 MW plynových kogenerací o velikosti 5–10 MW v malých teplárnách využívajících zatím černé a hnědé uhlí, které budou pod tlakem stále přísnějších emisních limitů postupně přecházet na zemní plyn, další pak dle místních podmínek na biomasu či jiná paliva. CZT je unikátní tím, že propojuje elektrizační, tepelnou a v případě spalování zemního plynu i plynárenskou soustavu do jednoho integrovaného celku a s tím, jak se situace v energetice vyvíjí, bude CZT jedním z klíčových článků energetického systému. To hlavně z hlediska efektivního využití primárních energetických zdrojů, flexibility a stabilizace elektrizační soustavy a velmi důležitou rolí bude zajišťování energetické bezpečnosti zejména velkých měst a aglomerací, např. v případě rozsáhlého blackoutu. Výhoda Plynových motorů je rychlé najetí z nuly na plný výkon do 2 – 5 ti minut oproti desítkám minut u paroplynu, dále je velkou výhodou velký regulační rozsah takové soustavy. (3)

## **2. Cíl práce a metodika**

### **2.1. Cíl práce – problematika připojování kogeneračních jednotek do stávající elektrické infrastruktury**

Kogenerační jednotka je generátorový zdroj energie. Při připojení do stávající síťové infrastruktury dochází ke změnám mezní parametrů v místě připojení. Jedná se zejména o pulsní a nárazový proud a je proto nezbytné provést výpočtově kontrolu dimenzování původního rozváděče, jeho přívodů a také transformátoru zda splňuje požadavky na přenesení plného výkonu kogenerační jednotky. Jedná se přitom o výkon trvalý, nikoli nárazový v řádu desítek minut či jedné – dvou hodin s dlouhou dobou po odeznění této energetické špičky, kdy má transformátor možnost dochlazení. Pokud by se neprovedla tato kontrola, zjištění parametrů a porovnání s výsledky výpočtů po zapojení generátorového zdroje mohlo by dojít k nadměrnému zatížení transformátoru, což je z dlouhodobého hlediska provozování nežádoucí.

### **2.2. Metodika**

Závazné normy ČSN , platné v době zpracování této diplomové práce  
Požadavky ze strany ERU, ČEPS a podmínek připojování decentralizovaných zdrojů do přenosové soustavy. Konstrukční listy KGJ

### 3. Stav problematiky

Princip kogenerace spočívá v kombinované výrobě tepla a elektrické energie - KVET. Teplo vzniklé při běhu kogenerační jednotky se na rozdíl od klasické elektrárny používá k vytápění. Kogenerační jednotka je tvořena soustrojím pohonná jednotka a připojený generátor který tvoří zátěž pro pohonnou jednotku. Spalováním např. zemního plynu s vysokou účinností tak dochází k ekonomicky výhodnému celku s efektivitou využití vložené energie cca 97 %. Celé toto soustrojí je koncipováno jako kompaktní stroj zabudovaný v rámu což umožňuje efektivní nasazení v místě instalace. Stále probíhá výzkum ohledně zvyšování účinnosti jednotek například modelování průtoku kondenzátu při změně výkonu jednotky. (4)

Vhodná místa pro použití kogenerační jednotky jsou všechny objekty kde je potřeba odběru elektřiny a tepla tedy typicky CZT (Centrální zdroje tepla). Sem lze zahrnout zejména stavby s trvalým provozem jako jsou nemocnice, školy, lázně, bazény, obchodní centra, čistírny odpadních vod, průmyslové závody, skládky a zemědělské provozy kde je možné využití bioplynu z bioplynových stanic. Vyrobené teplo se spotřebuje přímo v objektu, čímž se eliminují ztráty např. teplovodů v případě centrálního vytápění. Elektřina se z části také spotřebuje přímo v objektu a přebytek elektrické energie je odprodán do distribuční elektrické sítě. Provoz kogenerační jednotky je v dotačním programu pro rozvoj zelené energie a dle vyplněné žádosti je běh KGJ dotován podle provozních motohodin v rozmezí 3000-4000 a 4400 motohodin.



Obrázek 1 kogenerační jednotka Cento T200

### 3.1. Typy kogeneračních jednotek

Kogenerační jednotky je možné podle typu pohonné jednotky rozdělit na následující typy, přičemž v současné době probíhají i optimalizace pro vytápěcí systémy s víceturbínovými jednotkami (5)

#### 3.1.1. KGJ s palivovými články

Použití palivových článků které pomocí vytvářejí elektrickou energii přeměnou z chemického procesu je jedna z alternativních cest do budoucna. Typů těchto článků je několik, avšak používají totožný princip. Na katodu článku je přiváděno okysličovadlo a na anodu článku je přiváděno palivo. Mezi elektrodami článku je katalyzátor. Chemickou reakcí je dosaženo výroby elektrické energie. (6)

Palivové články mohou být použity v hybridních energetických systémech a očekává se, že se stanou běžnějšími, jak klesnou jejich náklady. Palivové články nakonec běží na vodík, ale v mnoha případech je vstupním palivem nějaký jiný plyn, například zemní plyn nebo skládkový plyn.

Palivové články lze považovat za nepřetržitou baterii. Základní reakce probíhá mezi vodíkem a kyslíkem, jehož produktem je voda a elektrický proud. Reakce probíhá v blízkosti membrány, která slouží k oddělení různých složek elektrolytu a elektrod. Elektrody jsou svorkami palivového článku a přenášejí proud do vnějšího obvodu. Stejně jako baterie jsou palivové články neodmyslitelně stejnosměrnými zařízeními. Palivové články lze použít v síti střídavého proudu, pokud je jejich výstup převeden na střídač pomocí střídače.

Pokud se jako palivo používá zemní plyn nebo skládkový plyn, musí se nejprve použít k výrobě vodíku.

Existuje celá řada různých provedení palivových článků. Zahrnují protonovou výměnnou membránu (PEM), pevný oxid a roztavený uhličitán (7)

Nevýhodou těchto článků v současné době je vysoká cena, která brání masovému nasazení. Zlepšováním technologií a propojením vědy s výzkumem lze do budoucna očekávat častější nasazení tohoto typu technologie



Obrázek 2 Ukázka palivového článku společnosti FuelCell Energy Solutions GmbH (8)

### 3.1.2. KGJ s plynovou turbínou

Výhoda KGJ s plynou turbínou je široký rozsah použitých paliv, menší nároky na jeho čistotu (plynná i kapalná). Spalování ve spalovací komoře je kontinuální, tedy emise znečišťujících látek NO<sub>x</sub> jsou cca 10x nižší než u spalovacích motorů. Turbína jako celek má málo pohyblivých dílů, žádný translační pohyb, z toho plyne dlouhá životnost stroje, jsou použita vzduchová ložiska. Mezi nevýhody patří nižší účinnost (rotační stroj), proto se používá regenerace tepla, výkony až cca od 30 kWe (např. CAPSTONE - USA). Velmi vysoké otáčky vyžadují vysokofrekvenční generátor a měnič frekvence. Mechanickou převodovku nelze použít. Plynné palivo je nutno stlačovat do spalovací komory (přídavná práce snižuje účinnost). (6)



Obrázek 3 Malá kogenerační jednotka s plynovou mikroturbinou CAPSTONE (6)

### 3.1.3. KGJ s parním strojem

Výhody jednotky jsou - použité palivo do cyklu bez omezení - lze spálit všechno, jedná se o tepelný stroj bez vnitřního spalování - kontinuální proces spalování v kotli, možnost řízení a omezení emisí. Regulace výkonu motoru je možná klouzavými parametry páry, vhodné pro malé kotle, kde se obtížně dodržují konstantní jmenovité parametry páry. Výkony od jednotek kW, jednoduchá konstrukce, nízkootáčkový generátor spojen přímo bez převodovky. Možnost uplatnění parního stroje malého výkonu v kombinovaném cyklu s pístovým spalovacím motorem ("pístový" paroplynový oběh) - zejména pro bioplynové stanice a skládky TKO, kde kogenerační jednotky se spalovacím motorem nemají zajištěn dostatečný odvod zbytkového tepla.

Nevýhody: přenos tepla v páře se změnou fáze (vypařování izobaricko-izotermický děj) a poměrně vysoké tlaky v systému. Na mikrokogeneraci je složitá technologie cyklu - úprava vody, napájecí nádrž a čerpadlo, obvykle kvalifikovaná obsluha. (6)

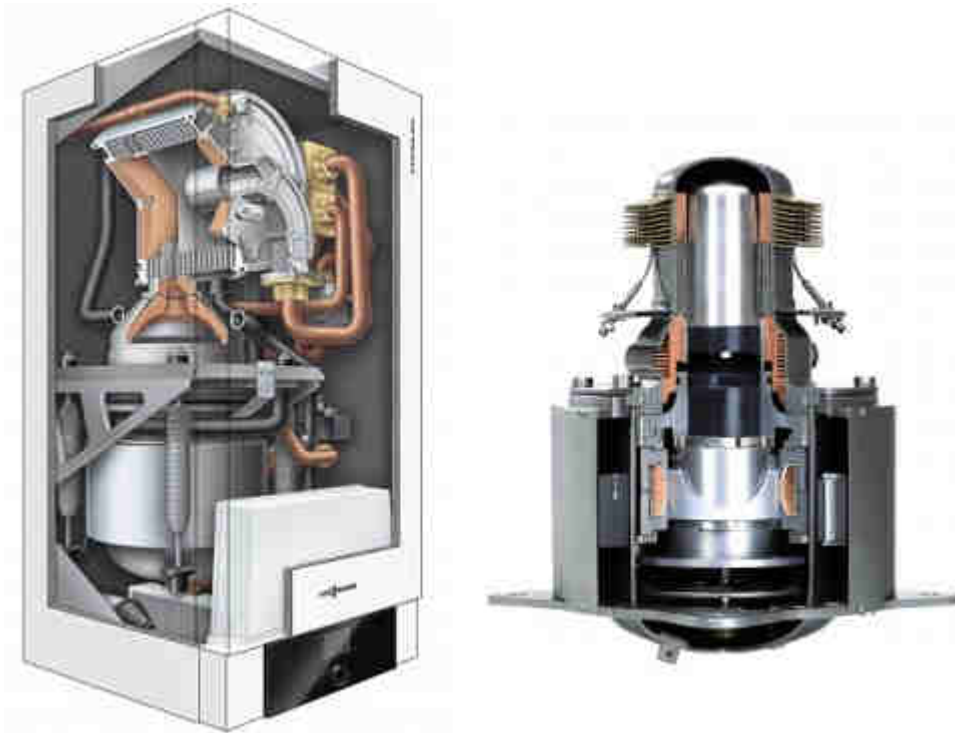


Obrázek 4 Malý parní stroj TENZA integrovaný v kontejneru (6)

### 3.1.4. Se Stirlingovým motorem

Mikrokombinovaný systém tepla a energie Stirlingova motoru (micro-CHP) je systém přeměny energie primární energie kombinující současně výrobu elektřiny a topení pro obytné účely. Konverzi energie z energie paliva na energii elektrickou provádí Stirlingův motor, motor s externím spalováním a ohřev vody a prostoru se provádí pomocí odpadního tepla prostřednictvím tepelného výměníku. Mikro režim je obvykle určen pro systém, kde je výroba energie menší než 3 kW. Jako palivo pro tyto elektrárny se obvykle používá zemní plyn, bioplyn, dřevěné palety nebo biomasa. Spalné teplopaliva se primárně využívá k výrobě mechanické energie pomocí Stirlingova motoru a odpadní teplo se dále využívá k ohřevu prostoru (vzduchu) a vody pro domácí účely. Kombinované vytápění a energie (CHP) se

ukázalo jako výhodné v obytných i mnoha průmyslových situacích díky vysoké celkové tepelné účinnosti, snížení celkového požadavku na výkon a poskytování kvalitnějšího výkonu s dobrou spolehlivostí. Uplatnění technologie kombinované výroby tepla a elektřiny na menší obytné a malé komerční budovy je atraktivní možností z důvodu velkého potenciálního trhu. Koncept mikro-KGJ má v každé domácnosti samostatnou jednotku na výrobu tepla a energie. (9)

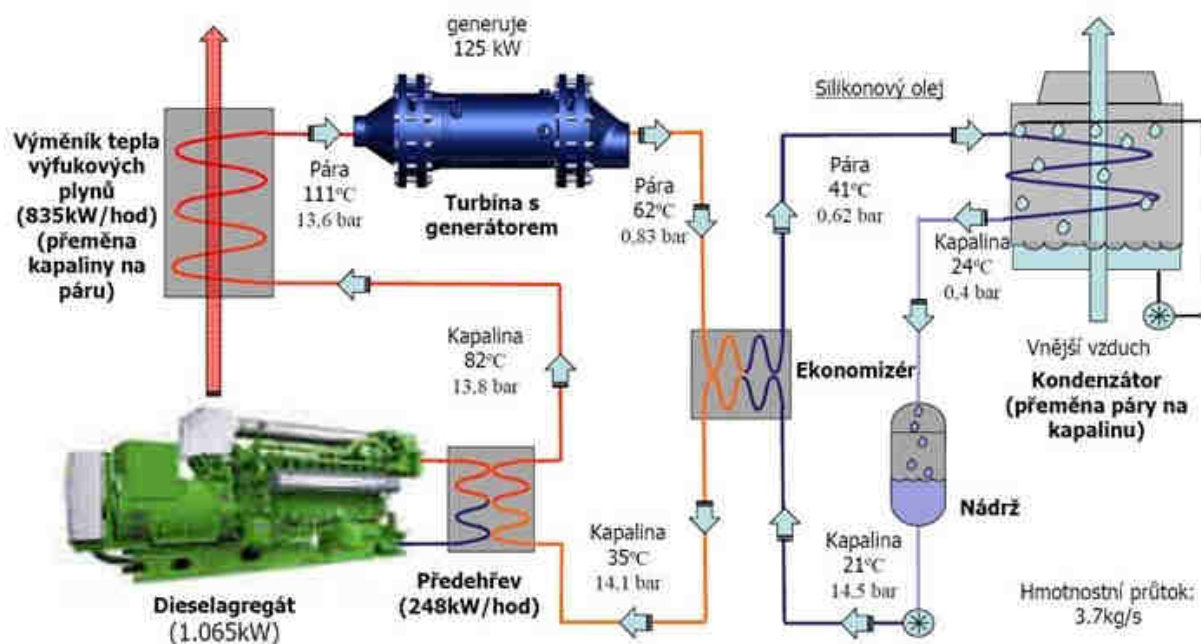


Obrázek 5 Vitotwin 300-W, vpravo Stirlingův motor (10)



### 3.1.5. Organickým Rankinovým cyklem - ORC

Hlavní výhody tohoto řešení jsou nižší parametry pracovní látky než u vodní páry, lze využít odpadní (nízkopotenciální) teplo cca od 120°C k efektivní výrobě elektrické energie (pevnostní dimenzování, kvalifikace obsluhy). Ostatní výhody RC cyklu jsou zachovány (palivo atd.). Jednoduchá rotační tepelná turbína bez převodovky (nízkootáčková). (11) Mezi nevýhody patří obvykle více pracovních látek pro transformaci energie (termo-olej, silikonový olej), složitost cyklu pro mikrokogeneraci a vysoká měrná investiční náročnost (6) Specifické vlastnosti jednotky ORC integrované s kotlem na biomasu a sítí městského vytápění lze získat např. ze článku (12)



Obrázek 5 Schéma zapojení ORC na spalinový výměník kogenerační jednotky (13)

### 3.1.6. S pístovými spalovacími motory

výhody: široký rozsah použitých paliv - kapalné (nafta, bio-rostlinné oleje) a plynné (ZP nebo bioplyn-skládky, ČOV, důlní plyny). Rychlé starty, alternativní paliva, dostupný servis, široký rozsah výkonů, ostrovní provoz se snadnou možností regulace výkonu.

• nevýhody: periodické vnitřní spalování limituje použití některých paliv (popeloviny, dehty, čistota paliva) a vznik emisí NO<sub>x</sub> a CO. Omezená životnost motoru vzhledem opotřebení pohybujících se částí - náklady na GO a periodické revize. (6)



Obrázek 6 Mikrokogenerační jednotka TEDOM Micro T30 (6)

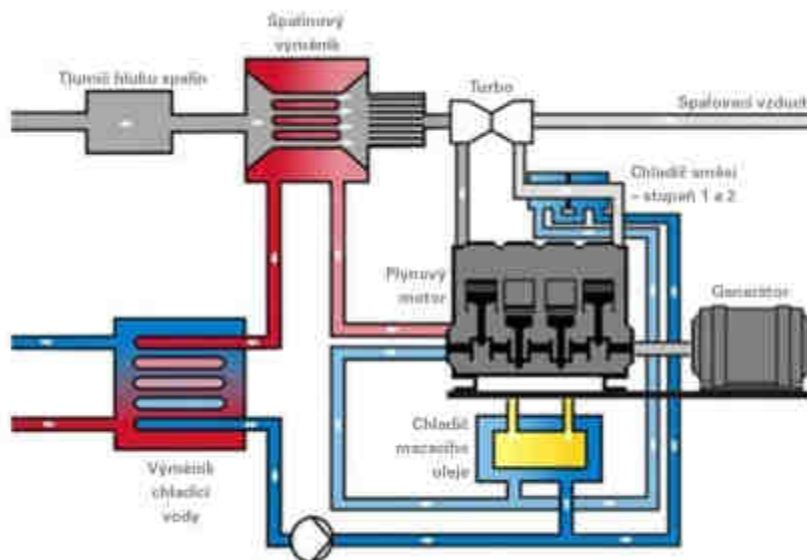
## 3.2. Soustrojí KGJ s pístovým spalovacím motorem

Kogenerační jednotka se spalovacím motorem je sestavena z jednotlivých částí, které tvoří funkční celek jednotky

Jako pohonná jednotka je zde zvolen plynový Ottův motor je provozován jako spalovací motor s turbodmychadlem a dvoustupňovým chlazením směsi s poměrem vzduchu  $\lambda \approx 1,6$ . Chlazení dna pístů je zajištěno paprskem stlačeného oleje. Spaliny jsou vedeny suchým sběrným spalínovým potrubím.

### 3.2.1. Součásti:

- Kliková skříň je odlitek spolu s blokem válců a tvoří jeden kus. Uzávěr klikové skříňe je proveden formou dvou paralelních řad válců se 6 válci v uspořádání ve tvaru V. Vodicí pouzdra válců pracují namokro, jsou výměnná a jsou provedena z litiny. Na straně setrvačníku klikové skříňe je umístěna skříň s koly. Tato skříň obsahuje utěsnění klikové hřídele a hnací ozubená soukolí vačkové hřídele a olejového čerpadla. Kliková hřídel z chrom molybdenové oceli je zápustkově kovaná a nitridovaná. Je uložena vždy na konci a mezi válci. Čepy klikového hřídele jsou k uložení vždy opatřeny ojnicí. Pánve ložisek jsou provedena z olova/bronzu s povrchovou úpravou olovo/indium a jsou opatřena ocelovou zadní částí. Ojniční tyče jsou rovněž z chrom molybdenové oceli, jsou zápustkově kované a jsou umístěny šikmo. Písty jsou vyrobeny z hliníkové slitiny s nízkou roztažností. Díky tvaru koruny pístu vzniká otevřená spalovací komora. Do koruny pístu jsou provedeny tři drážky na pístní kroužky. Vačková hřídel je provedena ze slitiny z litiny/chromu s tvrzenou vačkou a na koncích a vždy je uložena mezi písty.



Obrázek 7 Funkční schéma KGJ

### 3.3. Energetická bilance

Energetická bilance představuje grafické znázornění toku energií modulu BTE.

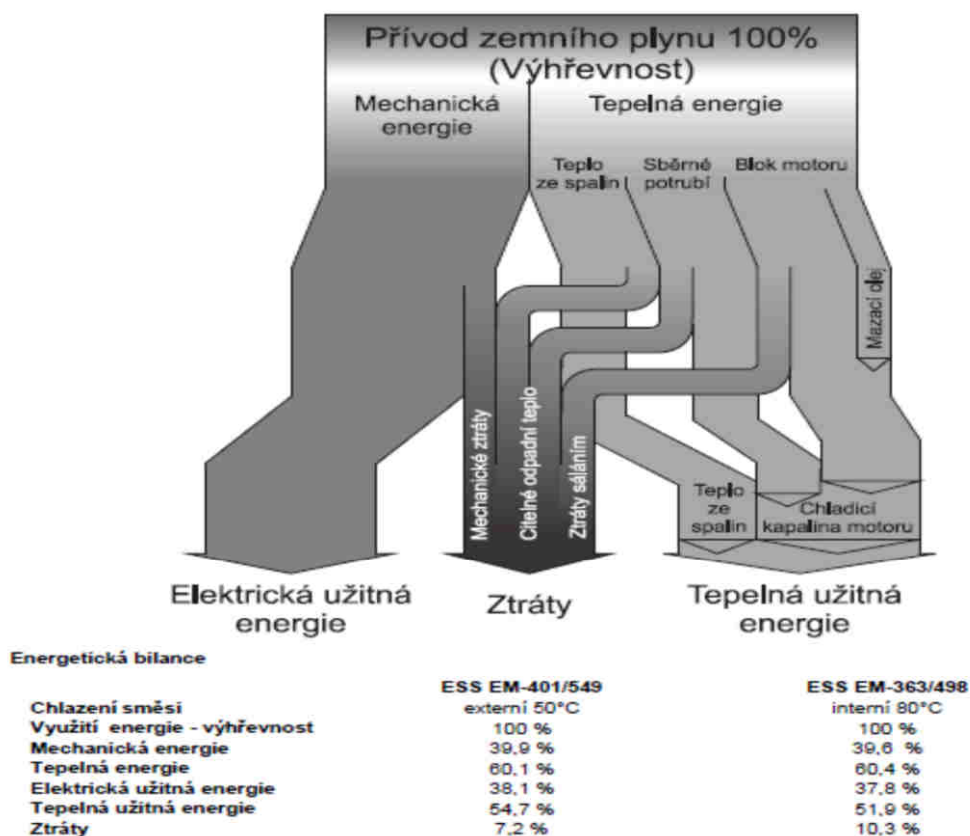
Energetická bilance zobrazuje přeměnu primární energie (zemní plyn, 100 %) na elektrickou a tepelnou uživatelskou energii. Ztráty, ke kterým dochází na základě přeměny této energie, jsou zobrazeny rovněž. Nezobrazena je maximální spotřeba elektrické energie, která se může měnit podle provozního stavu.

Elektrická uživatelská energie vzniká procesem spalování ve spalovacím plynovém otáčivém motoru a je jeho otáčivým pohybem přeměňována v synchronním generátoru na proud.

Tepelná uživatelská energie vzniká rovněž procesem spalování v plynovém otáčivém motoru. Rozděluje se do tepla ve spalínách, sběrného potrubí a bloku motoru a mazacího oleje motoru a slouží k zahřívání např. topné vody.

Kompletní stupeň účinnosti modulu BTE je výsledkem součtu elektrické a tepelné uživatelské energie.

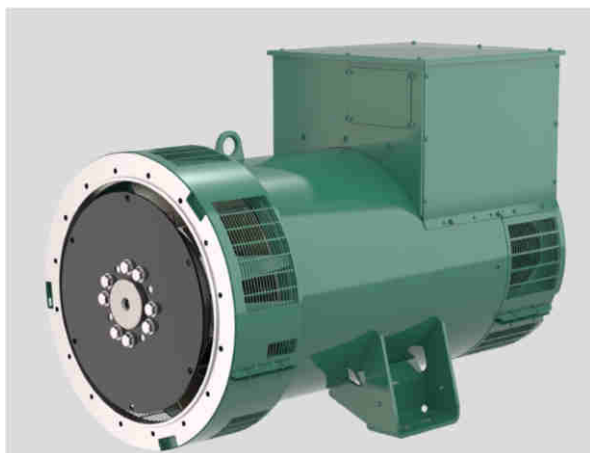
Stupeň využití podle prováděcího nařízení energetického daňového zákona je definován jako podíl součtu vyrobeného tepelného a mechanického výkonu a součtu použitých energií a použitých pomocných energií



Obrázek 8 Graf využití paliva při přeměně energie v KGJ

### 3.4. Synchronní generátor

Synchronní generátor v kogenerační jednotce je zdrojem elektrické energie. Jeden z dlouholetých výrobců je např. firma Leroy Somer. Parametry tohoto generátoru jsou zásadní pro vlastní výpočet zkratových poměrů v místě připojení. Lze konstatovat že generátor jako poměrně měkký zdroj proudu ( vlastní hodnota generovaného proudu v případě zkratu nepřesáhne tří násobek této hodnoty) je v případě malých KGJ zanedbatelná, avšak u větších celků může významně ovlivnit nároky na prvky v elektroinstalaci rozváděčů.



Obrázek 9 Třífázový generátor Leroy Somer

#### 3.4.1. Elektrické vlastnosti a výkony generátoru

Izolace třídy H.

- Vinutí s roztečí 2/3, standardní 6vodičové (6S) znovu připojitelné nebo 12vodičové (6) volitelně
- Rozsah napětí:
  - 50 Hz: 220V - 240V a 380V - 415V (440V)
  - 60 Hz: 208V - 240V a 380V - 480V
- Vysoká účinnost a startovací kapacita motoru
- S volitelným přizpůsobeným vinutím jsou možná další napětí:
  - 50 Hz: 440 V (č. 7), 500 V (č. 9), 550 V (č. 22), 600 V (č. 23), 690 V (č. 10)
  - 60 Hz: 380V a 416V (č. 8), 600V (č. 9), 690V (č. 22)

#### 3.4.2. Elektrické krytí generátoru a provozní prostředí

- LSA 49.3 má krytí IP 23
- Kompletní ochrana vinutí pro čisté prostředí s relativní vlhkostí  $\leq 95\%$ , včetně vnitřního mořského prostředí
- Možnosti zlepšení :
  - Filtry na vstupu vzduchu: snížení o 5%
  - Filtry na vstupu a výstupu vzduchu (IP 44): snížení o 10%
  - Zesílená ochrana vinutí pro drsné prostředí a relativní vlhkost vyšší než 95%
  - Vyhřívač

- Tepelná ochrana pro vinutí statoru a štíty

### 3.4.3. Mechanická konstrukce

- Kompaktní a tuhá montáž, která lépe odolává vibracím generátoru
- Ocelový rám
- Litinové příruby a štíty
- Verze se dvěma a jedním ložiskem navržená tak, aby byla vhodná pro motory na trhu
- Vyvažování napůl klíčem
- Ložiska s maznou náplní, servisně domazatelná ložiska (volitelně)
- Standardní směr otáčení: ve směru hodinových ručiček při pohledu na konec pohonu (protisměrný chod sníží výkon stroje o 5%)

### 3.4.4. Konstrukce svorkovnice

- Snadný přístup k regulátoru napětí ak přípojkám
- Možné volitelné příslušenství pro paralelní zapojení, ochranu a měření
- Připojovací lišty pro opětovné připojení napětí

### 3.4.5. Základní charakteristika generátoru

#### General characteristics

Insulation class	H	Excitation system	AREP / PMG
Winding pitch	2/3 (wind.6S - 6-wire / wind.6 - 12-wire option)	AVR type	D350
Number of wires	6 (12 option)	Voltage regulation (*)	± 0.25%
Protection	IP 23	Short-circuit current	300% (3 IN) : 10s
Altitude	≤ 1000 m	Total Harmonic distortion THD (**)	at no load < 4% - on load < 4%
Overspeed	2250 R.P.M.	Waveform: NEMA = TIF (**)	< 50
Air flow	1 m <sup>3</sup> /s (50 Hz) / 1.2 m <sup>3</sup> /s (60 Hz)	Waveform: IEC = THF (**)	< 2%

(\*) Steady state (\*\*) Total harmonic distortion between phases, no-load or on-load (non-distorting)

Tabulka 1 Základní charakteristiky generátoru Leroy Somer

#### 1. Elektrické parametry konkrétního generátoru

Ve výpočtech níže je použit typ LSA 49.3 M8 při 105°K

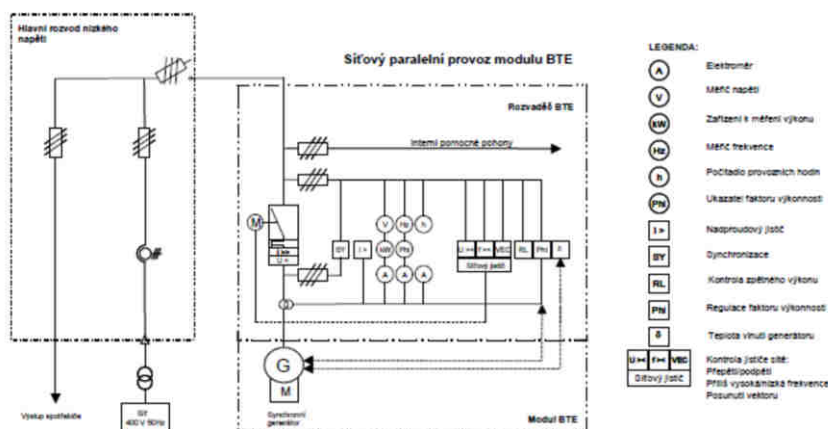
#### Ratings 50 Hz - 1500 R.P.M.

kVA / kW - P.F. = 0.8																	
Duty/T°C	Continuous duty/40°C				Continuous duty/40°C				Stand-by/40°C				Stand-by/27°C				
Class/T°K	H/125°K				F/105°K				H/150°K				H/163°K				
Phase	3 ph.				3 ph.				3 ph.				3 ph.				
Y	380V	400V	415V	440V	380V	400V	415V	440V	380V	400V	415V	440V	380V	400V	415V	440V	
Δ	220V	230V	240V		220V	230V	240V		220V	230V	240V		220V	230V	240V		
YY	200V			220V	200V			220V	200V			220V	200V			220V	
<b>LSA 49.3 S4</b>	kVA	660	660	660	620	595	595	595	560	725	725	725	685	745	745	745	715
	kW	528	528	528	496	476	476	476	448	580	580	580	548	596	596	596	572
<b>LSA 49.3 M6</b>	kVA	730	730	730	665	660	660	660	600	780	780	780	730	810	810	810	765
	kW	584	584	584	532	528	528	528	480	624	624	624	584	648	648	648	612
<b>LSA 49.3 M8</b>	kVA	820	820	820	810	760	760	760	710	910	910	910	885	945	945	945	925
	kW	656	656	656	648	608	608	608	568	728	728	728	708	756	756	756	740
<b>LSA 49.3 L9</b>	kVA	910	910	910	820	820	820	820	740	1000	1000	1000	920	1020	1020	1020	965
	kW	728	728	728	656	656	656	656	592	800	800	800	736	816	816	816	772
<b>LSA 49.3 L10</b>	kVA	1000	1000	1000	950	900	900	900	840	1085	1085	1085	1030	1130	1130	1130	1080
	kW	800	800	800	760	720	720	720	672	868	868	868	824	904	904	904	864

Tabulka 2 Uvedení konkrétních parametrů generátoru

### 3.5. Blokové schéma kogenerační jednotky

Blokové schéma je uváděno pro snadnou orientaci při projektování, orientaci v jednotlivých částech KGJ. Pro konkrétní projekt je ovšem nutné použít detailnější dokumentaci jakou je např. servisní manuál, kde je detailně rozkresleno zapojení celé jednotky včetně přípojovacích svorek, úrovní napětí a proudu a k nadřazenému systému MaR.



Obrázek 10 Základní schéma zapojení elektrického připojení v paralelním provozu sítě

## 4. Vlastní výsledky

Tato část shrnuje vlastní výsledky v rámci problematiky připojování kogeneračních jednotek do elektrické sítě.

## 5. Legislativní požadavky připojování KGJ

Při zapojení KGJ do síťového provozu je nutné dodržet celou řadu norem ČSN, aby byly dodrženy požadavky na bezpečný provoz a ochranu před úrazem elektrickým proudem. Základní technické normy (včetně data jejich vydání), které má zhotovitelská firma vzhledem k její povinné odborné způsobilosti v souvislosti s tímto projektem znát, a podle kterých je nutno postupovat při realizaci

### 5.1. Výpis norem

PNE 33 3430-8-2	Požadavky pro připojení do distribučních sítí - Část 8-2: Sítě vn (1.2015)
PNE 35 7031	Rozváděče nízkého napětí - Elektroměrové rozváděče pro nepřímé měření elektriny (ERNM) a související měřicí zařízení v odběrných a předávacích místech napojených z distribučních sítí vn a vvn (1.2018)
ČSN EN 60909-0 ed. 2	Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů (11.2016)
ČSN 33 3051	Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení (11.1992)
ČSN EN 50522	Uzemňování elektrických instalací AC nad 1 kV (12.2011)
ČSN EN 61936-1	Elektrické instalace nad AC 1 kV - Část 1: Všeobecná pravidla (12.2011)

ČSN 34 3278	Provoz a obsluha přístrojových transformátorů (3.1964)
ČSN P 73 7505	Kolektory a ostatní sdružené trasy vedení inženýrských sítí (4.2017)
ČSN EN 50110-1 ed. 3	Obsluha a práce na elektrických zařízeních - Část 1: Obecné požadavky (5.2015)
ČSN 33 2000-1 ed. 2	Elektrické instalace nízkého napětí - Část 1: Základní hlediska, stanovení základních charakteristik, definice (5.2009)
ČSN 33 2000-4-41 ed. 3	Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti - Ochrana před úrazem elektrickým proudem (1.2018)
ČSN 33 2000-4-43 ed. 2	Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-43: Bezpečnost - Ochrana před nadproudy (12.2010)
ČSN 33 2000-4-444	Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-444: Bezpečnost - Ochrana před napěťovým a elektromagnetickým rušením (4.2011)
ČSN 33 2000-4-46 ed. 3	Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-46: Bezpečnost - Odpojování a spínání (4.2017)
ČSN 33 2000-5-51 ed. 3	Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-51: Výběr a stavba elektrických zařízení - Všeobecné předpisy (4.2010)
ČSN 33 2000-5-52 ed. 2	Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení - Elektrická vedení (2.2012)
ČSN 33 2000-5-53 ed. 2	Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-53: Výběr a stavba elektrických zařízení - Spínací a řídicí přístroje (6.2016)
ČSN 33 2000-5-537 ed. 2	Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-53: Výběr a stavba elektrických zařízení - Přístroje pro ochranu, odpojování, spínání, řízení a monitorování - Oddíl 537: Odpojování a spínání (4.2017)
ČSN 33 2000-5-551 ed. 2	Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-55: Výběr a stavba elektrických zařízení - Ostatní zařízení - Článek 551: Nízkonapěťová zdrojová zařízení (9.2010)
ČSN 33 2000-5-557	Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-557: Výběr a stavba elektrických zařízení - Pomocné obvody (7.2014)
ČSN 33 2000-8-1 ed. 2	Elektrické instalace nízkého napětí - Část 8-1: Funkční aspekty - Energetická účinnost (11.2019)
ČSN 33 2130 ed. 3	Elektrické instalace nízkého napětí - Vnitřní elektrické rozvody (12.2014)
ČSN 33 2180	Elektrotechnické předpisy ČSN. Připojování elektrických přístrojů a spotřebičů (5.1980)
ČSN EN 50575	Silové, řídicí a komunikační kabely - Kabely pro obecné použití ve stavbách ve vztahu k požadavkům reakce na oheň (8.2015)
ČSN EN 50565-1	Elektrické kabely - Pokyny pro používání kabelů se jmenovitým napětím nepřekračujícím 450/750 V (U0/U) - Část 1: Obecné pokyny (2.2015)



ČSN EN 50565-2	Elektrické kabely - Pokyny pro používání kabelů se jmenovitým napětím nepřekračujícím 450/750 V (U0/U) - Část 2: Specifický návod pro typy kabelů související s EN 50525 (2.2015)
ČSN EN 60204-1 ed. 3	Bezpečnost strojních zařízení - Elektrická zařízení strojů - Část 1: Obecné požadavky (2.2019)
ČSN EN ISO 13850	Bezpečnost strojních zařízení - Funkce nouzového zastavení - Zásady pro konstrukci (1.2017)
ČSN 07 0703	Kotelny se zařízeními na plynná paliva (1.2005)
ČSN EN ISO 8528-13	Zdrojová soustrojí střídavého proudu poháněná pístovými spalovacími motory - Část 13: Bezpečnost (4.2019)
ČSN ISO 8528-1	Zdrojová soustrojí střídavého proudu poháněná pístovými spalovacími motory - Část 1: Použití, jmenovité údaje a provedení (9.2011)
ČSN 38 5422	Strojovny elektrických zdrojových soustrojí (4.1977)
ČSN EN 50274	Rozváděče nn - Ochrana před úrazem elektrickým proudem - Ochrana před neúmyslným přímým dotykem nebezpečných živých částí (10.2002)
ČSN EN 61439-1 ed. 2	Rozváděče nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení (5.2012)
ČSN EN 12464-1	Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory (3.2012)
ČSN EN 1838	Světlo a osvětlení - Nouzové osvětlení (7.2015)
ČSN EN 50172	Systémy nouzového únikového osvětlení (2.2005)
ČSN EN 62305-1 ed. 2	Ochrana před bleskem - Část 1: Obecné principy (9.2011)
ČSN EN 62305-2 ed. 2	Ochrana před bleskem - Část 2: Řízení rizika (2.2013)
ČSN EN 62305-3 ed. 2	Ochrana před bleskem - Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života (1.2012)
ČSN EN 62305-4 ed. 2	Ochrana před bleskem - Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách (9.2011)
ČSN 73 0804 ed. 2	Požární bezpečnost staveb - Výrobní objekty (10.2020)
ČSN 73 0810	Požární bezpečnost staveb - Společná ustanovení (7.2016)
ČSN 34 3085 ed. 2	Elektrická zařízení - Ustanovení pro zacházení s elektrickým zařízením při požárech nebo záplavách (11.2013)
TNI 37 0606	Mechanické spojování hliníkových vodičů a hliníkových vodičů s měděnými vodiči (10.2007)
TPG 811 01	Soustrojí s motory na plynná paliva. Instalace a provoz (4.2008)

## 5.2. Bezpečnost provozu

Podmínky bezpečnosti provozu řeší především norma ČSN 07 0703 Kotelny se zařízeními na plynná paliva (1.2005). Kromě samotného vyvedení elektrického výkonu a využití odpadního tepla jako užitečného vytápěcího tepla je nutné zabezpečit kotelnu proti havarijním stavům

jako jsou únik plynu I nebo II. stupně. Tyto stupně se liší koncentrací plynu v ovzduší. Při I. Stupni je nutné kotelnu nuceně (přetlakově) větrat, při druhém stupni se musí celá technologie strojovny odstavit z provozu. Jako další krizové stavy v provozu strojovny jsou únik vody ( zaplavení, teplota strojovny  $T > 40$  °C. Dalšími čidly která zvyšují bezpečnost celého provozu je možné uvést čidlo CO, popřípadě čidlo kouře (umístěné ve VZT nebo nad rozváděči)

## 6. Podmínky pro připojování distribučních společností

Připojovací podmínky na První Paralelní Připojení jsou popsány ve Smlouvě o připojení (SoP) a liší se u jednotlivých distributorů. V SoP je popsána lokalita výroby, číslo odběrného místa, smluvní příkon odběru a dodávky, EAN výroby, EAN spotřeby, typ měření, hranice vlastnictví distribuční soustavy, způsob provozu výroby, napěťová soustava, typy měřících transformátorů, celkový instalovaný výkon, rezervovaný příkon, typ regulace ze strany vlastníka distribuční soustavy, popřípadě u větších výroben typ přenášených dat.

### 6.1. ČEZ Distribuce

Podmínky připojení jsou popsány v PPDS č.4

Následující údaje jsou vypsány z konkrétní SoP pro realizovaný projekt jméno lokality a další identifikační znaky jsou na přání investora vynechány

SPECIFIKACE ZAŘÍZENÍ – výroba

Smlouva č. 20\_VN\_XXXXX

umístění zařízení: XXXX

číslo místa spotřeby: 0000013XXXX

číslo odběrného místa: 000200XXXX

EAN: 859XXXXXXXXXXXXXXXXX (spotřeba)

EAN: 859XXXXXXXXXXXXXXXXX (výroba)

typ výroby: plynová a spalovací

způsob provozu výroby: přebytky do distribuční soustavy

Jednotka není schopna ostrovního provozu a v případě ztráty napětí v distribuční soustavě dojde k odpojení celého odběrného místa.

MÍSTO PŘIPOJENÍ

Umístění výroby je na pozemku XXXX v k.ú. XXXXX (okres XXXXX);XXXX

místo připojení k distribuční soustavě - odběrné místo: Kabelová síť VN v TS zákazníka č.XXXXXXXXXX

hranice vlastnictví: Zařízení PDS končí odpínačem VN(včetně) v poli rozvaděče č.03 v XXXXXXXX

spínací prvek sloužící k odpojení odběrného zařízení do distribuční soustavy:

vypínací prvek č.03 v poli podélného dělení v XXXXXXX

TECHNICKÉ ÚDAJE ODBĚRNÉHO/PŘEDÁVACÍHO MÍSTA

napěťová hladina: 22 kV (VN)

způsob připojení (počet fází): 3

rezervovaný příkon: 700,000kW

celkový instalovaný výkon: 600,000kW

rezervovaný výkon výroby(max.výkon dodávky elektřiny do DS): 600,000 kW

Ve smyslu Nařízení EU č. 2016/631, kterým se stanoví kodex sítě pro požadavky na připojení výroben k elektrizační soustavě, se jedná o kategorii výrobního modulu třídy B1 ( $\geq 100 \text{ kW} < 1 \text{ MW}$ ).

Funkce	Rozsah nastavení	Doporučené hodnoty	
nadpětí 3. stupeň U >>	1,00 - 1,3 $U_n$	1,25 $U_n$	0,1 s
nadpětí 2. stupeň U >>	1,00 - 1,3 $U_n$	1,2 $U_n$	5 s
nadpětí 1. stupeň U >>	1,00 - 1,3 $U_n$	1,15 $U_n$	50 s
napětí 1. stupeň U <	0,1- 1,00 $U_n$	0,7 $U_n$	2,7 s
napětí 2. stupeň U <<	0,1- 1,00 $U_n$	0,45 $U_n$	1,7 s
nadfrekvence f >	50-52 Hz	51,5 Hz	0,1 s
podfrekvence f <	47,5-50 Hz	47,5 Hz	0,1 s
jalový výkon / podpětí (Q. & U < )	0,70 - 1,00 $U_n$	0,85 $U_n$	

\* Pro 1. stupeň nadpětí se použijí 10-minutové hodnoty odpovídající ČSN EN 50160 ed.3 Výpočet 10-minutové hodnoty musí odpovídat 10 minutové agregaci podle ČSN EN 61000-4-30 ed.3 třídě S. Tato funkce musí být založena na průměrné efektivní hodnotě napětí v intervalu 10 minut. Odchylka od ČSN EN 61000-4-30 ed.3 spočívá v klouzavém měřicím okně. efektivní hodnotě napětí v intervalu 10 minut. Odchylka od ČSN EN 61000-4-30 ed.3 spočívá v klouzavém měřicím okně. Pro porovnání s vypínací mezí postačí výpočet nové 10-minutové hodnoty nejméně každé 3 s.

*Požadavky PPDS, čl. 8.2: Ochrany rozpadového místa výroben s moduly (VM (A2), B1, B2, C)*

Nastavení hodnot poruchových veličin ochrany bude provedeno dle požadavků Přílohy č. 4 PPDS, dle požadavků ČSN EN 50438 ed. 2, a dle požadavků smlouvy o připojení ČEZ Distribuce, a.s.

### 6.1.1. Provedení fakturačního měření a jeho umístění

Stávající fakturační elektroměr v xxxxxx bude zkontrolován a na funkci měření 4Q a případně vyměněn za nový, 4Q elektroměr. Ve skříní měření je umístěn 3 stavový vysílač HDO a vysílač VS-8K-2. Vysílač VS-8k-2 i přijímače VK4 musí být napájeny ze stejného distribučního transformátoru.

Pro výrobu elektřiny připojenou k přenosové nebo distribuční soustavě vysokého napětí, musí být dle požadavku § 2 odst. 1 písm. e) vyhlášky č. 82/2011 Sb., o měření elektřiny a o způsobu stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru, neoprávněné dodávce, neoprávněném přenosu nebo neoprávněné distribuci elektřiny, ve znění pozdějších předpisů, osazeno měření typu A.

Dle vyhlášky č. 82/2011 Sb., o měření elektřiny a o způsobu stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru, neoprávněné dodávce, neoprávněném přenosu nebo neoprávněné distribuci elektřiny, ve znění pozdějších předpisů, Příloha č. 1, je pro nepřímé fakturační měření na hladině vysokého napětí požadována minimální přesnost MTP třídy přesnosti 0,5 S, přesnost MTN třídy přesnosti 0,5 a elektroměr činné energie třídy přesnosti 1, popř. elektroměr činné energie třídy B.

Elektroměrové rozváděče a fakturační měření na hladině VN budou provedeny dle požadavků připojovacích podmínek ČEZ Distribuce, a.s., a budou splňovat požadavky související PNE 35 7031.

Způsob a provedení měření množství odebrané/vyrobené elektřiny

- Umístění měřicího zařízení : vně TS
- Přístupnost měřicího zařízení: přístupné

- Typ měření :A
- Převod MTP : 20/5A, třída přesnosti 0,5s
- Převod MTN :  $22000/\sqrt{3}/100\sqrt{3}$  V 10VA/30VA
- Vlastníkem MTP a MTN je Zákazník
- Odběr elektřiny bude měřen měřícím zařízením PDS

MTP se jmenovitou zátěží max 10VA (pokud nebude výpočtem prokázána vyšší hodnota). Použitý typ měničů musí mít tzv. úřední vzor pro použití v ČR a musí být ověřen státní zkušebnou  
( zákon č.505/1990 Sb.)

### **6.1.2. Rozhraní pro dálkové ovládání, měření a signalizaci**

Dle zákona č. 458/2000 Sb., energetický zákon, ve znění pozdějších předpisů, § 23 odst. 2 písm. p), je výrobce elektřiny povinen vybavit výrobu elektřiny s instalovaným výkonem 100 kW a více zařízením umožňujícím dispečerské řízení výroby elektřiny a udržovat toto zařízení v provozuschopném stavu.

Dle vyhlášky č. 79/2010 Sb., o dispečerském řízení elektrizační soustavy a o předávání údajů pro dispečerské řízení, ve znění pozdějších předpisů, Příloha č. 6, odst. 2, musí být výroby elektřiny s instalovaným výkonem od 100 kW vybaveny rozhraním pro přenos dat a pro dispečerské řízení provozovatelem distribuční soustavy, ke které jsou připojeny.

Dle vyhlášky č. 79/2010 Sb., o dispečerském řízení elektrizační soustavy a o předávání údajů pro dispečerské řízení, ve znění pozdějších předpisů, Příloha č. 6, odst. 1, musí být výroby elektřiny, které podléhají dispečerskému řízení, vybaveny spínacím prvkem, umožňujícím odpojení od elektrizační soustavy. Tento prvek musí zůstat funkční i po odpojení výroby od elektrizační soustavy, musí být vybaven dálkovým ovládním z technického dispečinku provozovatele, k jehož soustavě je výroba elektřiny připojena, pokud nelze výrobu samostatně dálkově ovládat z tohoto dispečinku jiným způsobem, musí být vybaven signalizací stavu, a musí být kdykoliv přístupný provozovateli příslušné soustavy, k níž je výroba elektřiny připojena.

Dle Požadavků na zařízení pro regulaci a ovládání výroben připojovaných do distribuční soustavy ČEZ Distribuce, a. s., je v případě ohrožení bezpečného a spolehlivého provozu elektrizační soustavy nezbytné při dispečerském řízení dočasně omezit nebo přerušit dodávku činného výkonu z výroben elektrické energie. Z těchto důvodů bude ve výrobnách s instalovaným výkonem 100 kW a více bude instalován přijímač HDO a řídicí a komunikační zařízení pro přenos dat. Výrobna musí být schopna adekvátně (rychle a přesně) reagovat na povel z dispečinku provozovatele distribuční soustavy k omezení činného výkonu na 75, 50 nebo 0 % jmenovité hodnoty včetně povelu ke zrušení omezení. Regulace činného výkonu bude probíhat stupňovitě v režimu 0, 50, 75 a 100 % instalovaného výkonu (bez přechodu na mezistupeň 100 % a nebo 0 %). U výroben s kombinovanou výrobou elektrické energie a tepla, bude stupňovitá regulace probíhat u výkonu nad rozsah neohrožující dodávky tepla. Pokud uvedená výrobna vyrábí elektrickou energii pouze jako vynucenou výrobou tepla, nemusí být vybavena stupňovitou regulací činného výkonu, ale musí být vybavena odpínacím prvkem umožňujícím dálkové odpojení výroby z paralelního provozu s distribuční soustavou prostřednictvím přijímače HDO.

<b>Tabulka stavů, povelů, hlášení a měření KGJ xxxxxxxxxxxx</b>		
<b>Vstup ŘJ</b>	<b>Popis</b>	<b>Poznámka</b>
Bl:1	Hlavní jistič KGJ1 vypnuto 1QF1	Bude přenášeno jako suma (logický součet) stavu rozpadového místa.
Bl:2	Hlavní jistič KGJ1 zapnuto 1QF1	
Bl:3	Hlavní jistič KGJ2 vypnuto 1QF2	
Bl:4	Hlavní jistič KGJ2 zapnuto 1QF2	
Bl:5	Hlavní jistič KGJ3 vypnuto 1QF3	
Bl:6	Hlavní jistič KGJ3 zapnuto 1QF3	
Bl:7	Rezerva	
Bl:8	Rezerva	
Bl:9	Suma působení ochran	Přenášeno jako suma ochran všech generátorů
Bl:10	Jistič měření napětí (společný pro KGJ1 a KGJ2)	Bude přenášeno jako suma výpadku jističe společně s KGJ3 (Bl:14)
Bl:11	Jistič ovládání regulace	
Bl:12	Jistič akumulátorů	
Bl:13	Jistič napájení HDO přijímače	
Bl:14	Jistič měření napětí pro KGJ3	Bude přenášeno jako suma výpadku jističe společně s KGJ1 a KGJ2 (Bl:10)
Bl:15	Rezerva	
Bl:16	Rezerva	
Bl:17	Rezerva	
Bl:18	HDO - Požadavek regulace 75%	
Bl:19	HDO - Požadavek regulace 50%	
Bl:20	HDO - Požadavek regulace 0%	
system	Regulace výkonu 100%	
system	Regulace výkonu 75%	
system	Regulace výkonu 50%	
system	Regulace výkonu 0%	
system	překročení meze P	
system	odpojení napájení	
system	signál test	

<b>Výstup ŘJ</b>	<b>Popis</b>	<b>Poznámka</b>
BO:1	Rezerva	
BO:2	Rezerva	
BO:3	Rezerva	
BO:4	Rezerva	
BO:5	Rezerva	
BO:6	Rezerva	
BO:7	Regulace výkonu 100%	
BO:8	Regulace výkonu 75%	
BO:9	Regulace výkonu 50%	
BO:10	Regulace výkonu 0%	
system	testovací povel	
<b>Měření ŘJ</b>	<b>Popis</b>	<b>Poznámka</b>
AI:1	proud fáze L1 pro KGJ1 a KGJ2	Bude přenášeno jako suma proudů v jednotlivých fázích.
AI:2	proud fáze L2 pro KGJ1 a KGJ2	
AI:3	proud fáze L3 pro KGJ1 a KGJ2	
AI:4	proud fáze L1 pro KGJ3	
AI:5	proud fáze L2 pro KGJ3	
AI:6	proud fáze L3 pro KGJ3	
AU:1	napětí fáze L1 pro KGJ1 a KGJ2	Bude přenášeno jako střední hodnota napětí v jednotlivých fázích.
AU:2	napětí fáze L2 pro KGJ1 a KGJ2	
AU:3	napětí fáze L3 pro KGJ1 a KGJ2	
AU:4	napětí fáze L1 pro KGJ3	
AU:5	napětí fáze L2 pro KGJ3	
AU:6	napětí fáze L3 pro KGJ3	
system	proud Is	Bude přenášeno jako suma.
system	sdužené napětí Us (průměr z hodnot napětí UL1-L2, UL2-L3 a UL1-L3)	Bude přenášeno jako suma.
system	činný výkon P	Bude přenášeno jako suma.
system	jalový výkon Q	Bude přenášeno jako suma.
AI-I/20-1	venkovní teplota	

*Požadavky na zařízení pro regulaci a ovládání výroben připojovaných do distribuční soustavy  
ČEZ Distribuce, a. s.: Přenášené informace z výroben na dispečink provozovatele distribuční soustavy*

### 6.1.3. Řízení jalového výkonu

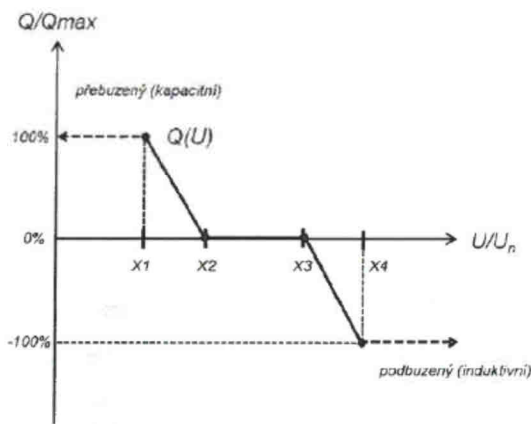
Dle Přílohy 4 PPDS, čl. 9.4.1 musí být od instalovaného výkonu 100 kVA říditelný jalový výkon výroby.

Dle Požadavků na zařízení pro regulaci a ovládání výroben připojovaných do distribuční soustavy ČEZ Distribuce, a. s., musí být u výroby s instalovaným výkonem nad 100 kW zajištěna plynulá (ne stupňovitá) autonomní regulace (tzv. Q/U regulace) v rozsahu PQ diagramu :

- Spotřeba I.kv odběr P , odběr Q (0,95-1)  
IV.kv. odběr P, dodávka Q (není povolena)
- Výroba II.kv. dodávka P, odběr Q (nevyhodnocuje se)  
III.kv. dodávka P, odběr Q (nevyhodnocuje se)

Důvod nevyhodnocování : Autonomní regulace Q(U) výroby dle PPDS příl. č.4

- Řízení jalového výkonu Q(U) – dle P4 PPDS



Body charakteristiky Q(U):

X1 = 0,94

X2 = 0,97

X3 = 1,05

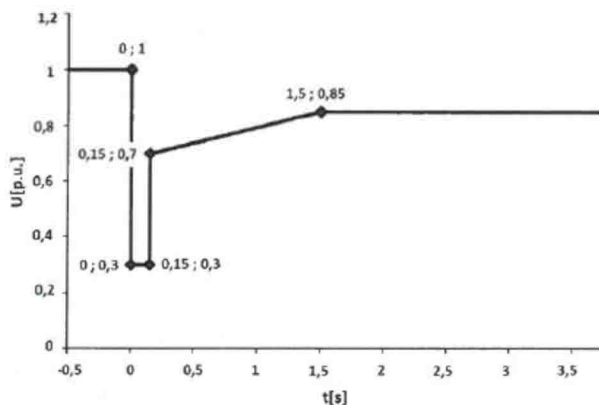
X4 = 1,08

Doporučená časová konstanta 5 s

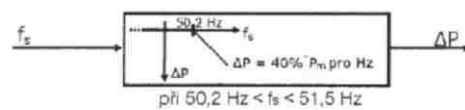
### 6.1.4. Dynamická podpora sítě

Dle Přílohy 4 PPDS, čl. 9.2.2 se musí výroby podílet na dynamické podpoře sítě. To znamená, že musí být technicky schopné zůstat připojené i při poruchách v síti, při kterých dochází k poklesům napětí. To se týká všech druhů zkratů (jedno-, dvou-, i třípólových).

- Dynamická podpora sítě – dle P4 PPDS křivka Schopnost překlenutí poruchy přímo připojených generátorů



- Snižování činného výkonu při nadfrekvenci  $P(f)$  - výrobny připojené do DS, které se automaticky neodpojí, musí být schopné při kmitočtu nad 50,20 Hz snižovat okamžitý činný výkon gradientem 40 % na Hz.



$$\Delta P = 20P_m \frac{50,2\text{Hz} - f_s}{50\text{Hz}}$$

$P_m$  okamžitý dostupný výkon  
 $\Delta P$  snížení výkonu  
 $f_s$  frekvence sítě

V rozsahu 47,5 Hz <  $f_s$  < 50,2 Hz žádné omezení  
 Při  $f_s \leq 47,5$  Hz a  $f_s \geq 51,5$  Hz odpojení od sítě.

### 6.1.5. Automatické opětovné připojení výrobny

Dle Přílohy 4 PPDS, čl. 9.5 mohou být výrobní moduly A1, A2, B1, B2 a C, odpojené od sítě z důvodu odchylky napětí či frekvence, opětovně automaticky připojeny k distribuční soustavě za následujících podmínek. Napětí sítě musí být v mezích 85 ÷ 110 % jmenovité hodnoty, a frekvence sítě v mezích 47,5 ÷ 50,05 Hz po dobu nejméně 300 s (5 minut). Najetí výrobny na výkon od nuly musí být s gradientem maximálně 10 %  $P_n$  za minutu. Při najíždění na výkon probíhá kontrola uvedených mezí napětí frekvence. Gradient nárůstu výkonu bude řízen řídicím systémem generátoru

### 6.1.6. Rozpadová místa

Rozpadová místa výrobny jsou vyznačena v jednopólovém schématu. Napěťová a frekvenční ochrana je připojena do řídicího rozváděče R-KGJ každé kogenerační jednotky a zajistí její odstavení při překročení nastavených parametrů sítě.

## 6.2. EG.D

Připojení KGJ do distribuční soustavy u společnosti EG.D (dříve EO.N) je velmi podobné z hlediska popisu přípojného místa, EAN kódů popisu rezervovaného příkonu a výkonu, popisu fakturačního místa, způsobu měření. Zcela odlišné jsou způsoby čízení kde do výkonu jednotky 100 kW je požadováno pouze jednostupňové HDO, do výkonu 250 kW třístupňové HDO ve stupních 0-50-70-100% výkonu KGJ, Dále jsou rozdíly ve výrobnách do 630 kW a nad 630kW kde od 1.1.2021 je požadavek na řízení jak činného tak jalového výkonu.

## 7. Projekční problematika připojení KGJ

V místě vyvedení elektrického výkonu KGJ se jedná o paralelní zapojení zdrojů typicky transformátoru VN/NN a vlastního generátoru. Připojením tedy dochází ke změně proudového zatížení a zkratových poměrů. Pokud pomineme připojení přímo do sítě VN, je nezbytné na hladině NN provést kontrolní výpočet pro zjištění, zda vyhoví konstrukce rozváděče novým hodnotám proudového zatížení. Druhým důležitým bodem je vlastní zatížení a oteplení vodičů které jsou použity pro připojení KGJ a následně proudové zatížení a oteplení vodičů které propojují technologický rozváděč KGJ s rozváděčem stávajících elektrických rozvodů. Jedná se velmi často o dlouhé trasy, které procházejí přes prostory kde může být zvýšená teplota apod.

Pro následující výpočty jsou použita data z konkrétního projektu. Jedná se připojení kogenerační jednotky VITOBLOCK EM 260 do stávajícího rozváděče v hlavní rozvodně. V areálu závodu je osazený transformátor o výkonu 1000kVA.



## 7.1. Výpočty zkratových poměrů

Další uvažované předpoklady následujícího výpočtu zkratových poměrů:

- Zkratové poměry na vysokém napětí v místě připojení  $S_k$  "max,  $S_k$  "min, poměr  $R/X$  nejsou známy;
- předpokládá se, že zkratový výkon na straně vysokého napětí je maximálně 500 MVA (pokud bude ve skutečnosti nižší, pak i skutečné zkratové poměry budou menší, než dále vypočtené.
- Pro dále uváděné výpočty nejsou uvažovány impedance vnitřních kabelových propojů v trafostanici a v kogenerační jednotce. Skutečné zkratové poměry proto budou ve skutečnosti menší, než je uvedeno dále ve výpočtech.
- Dále ve výpočtu je uvažováno s nejméně příznivým stavem stavem, kterým je paralelní chod kogenerace s transformátorem 1000 kVA. Je uvažováno připojení jedné kogenerační k jednomu transformátoru – připojení jsou identická co do proudu a délky kabelů.
- Na sekundárních svorkách transformátoru se předpokládá jmenovitá hodnota napětí 400 V.
- Ve výpočtech není uvažován příspěvek žádných dalších asynchronních motorů při zkratu.
- 

ČSN 33 3015	Elektrotechnické předpisy. Elektrické stanice a elektrická zařízení. Zásady dimenzování podle elektrodynamické a tepelné odolnosti při zkratech
ČSN 33 3022-1	Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 1: Součinitele pro výpočet zkratových proudů podle IEC 60909-0
ČSN 38 1754	Dimenzování elektrického zařízení podle účinku zkratových proudů
ČSN EN 60909-0 ed. 2	Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů
PNE 33 3042	Příklady výpočtů zkratových proudů ve střídavých sítích
ČSN 34 1610	Elektrotechnické předpisy ČSN. Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách
ČSN EN 60228	Jádra izolovaných kabelů

*Tabulka 3 Související předpisy a normy*

### 7.1.1. Vstupní data

Transformátor

- aTO394 - výrobce BEZ Bratislava
- Zdánlivý výkon transformátoru  $P_T = 1000$  kVA
- $I_n = 1443$  A
- Napětí na krátko transformátoru  $U_k = 6\%$  (dle protokolu transformátoru)
- Napěťová hladina VN  $U_{nQ} = 22$  kV
- Napěťová hladina  $U_t = 400$  V

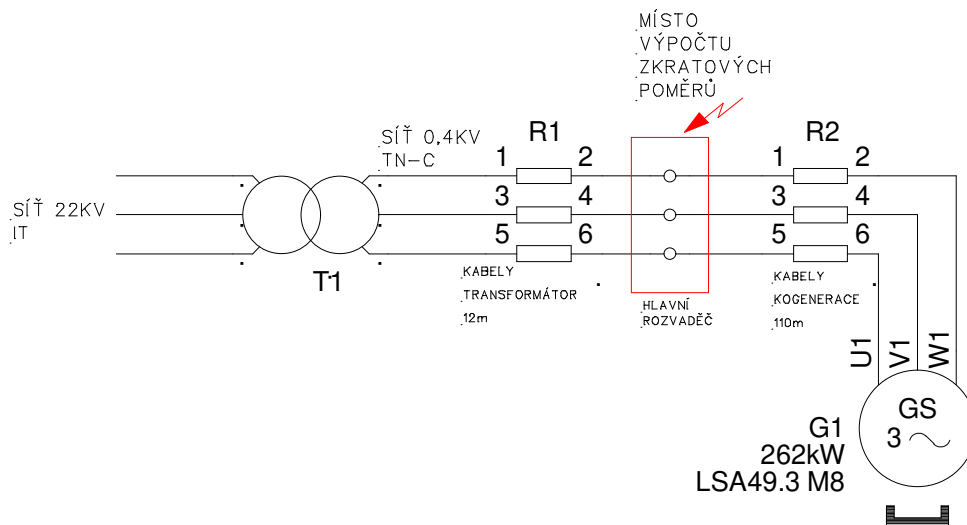
- Parametry sítě  $S_k'' = 500 \text{ MVA}$
- Ztráty na krátko transformátoru  $P_k = 10500 \text{ W}$   
(dle protokolu transformátoru)
- $X/R = 10 \%$
- Uvažovaný napěťový součinitel  $c = 1,1$

Kogenerační jednotka VITOBLOCK EM 260

- Generátor - LSA49.3 M8 synchronní
- Jmenovité napětí generátoru  $U_{nG} = 400 \text{ V}$
- Zdánlivý výkon generátoru  $S_{nG} = 760 \text{ kVA}$
- Poměrná rázová reaktance generátoru  $x''_d = 13,3\%$   
(dle katalogu generátoru)
- Neznámá rezistance generátoru  $R/X = 0,15$
- uvažováno dle EN 60909-0 ed. 2
- Uvažovaný účinník generátoru  $\cos \varphi = 0,8$

### 7.1.2. Náhradní schéma

Náhradní schéma zapojení Transformátoru T1, kabelů transformátoru R1, Generátoru G1, kabelů kogenerace R2 a Hlavní rozváděč kde je uvažován výpočet zkratových poměrů.



Obrázek 11 Náhradní schéma zapojení pro výpočet zkratových poměrů

### 7.1.3. Výpočet

#### 8. Dle ČSN EN 60909-0 ed. 2 a PNE 33 3042

- Napájecí soustava

- Maximální počáteční souměrný rázový zkratový proud napájecí soustavy  $I''_{ks}$

$$I''_{ks} = \frac{Sk''}{\sqrt{3} \cdot UnQ} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 22} = 13,2 \text{ kA [MVA, kVA]}$$

- Přepočtená ekvivalentní zkratová impedance napájecí soustavy  $Z_{Qt}$

$$Z_{Qt} = \frac{c \times UnQ}{\sqrt{3} \times I''_{ks}} \times \left( \frac{Ut}{UnQ} \right)^2 = \frac{1,1 \times 22}{\sqrt{3} \times 13,2} \times \left( \frac{0,4}{22} \right)^2 = 0,352 \text{ m}\Omega$$

- Dopočtená zkratová rezistance napájecí soustavy  $R_Q$

$$R_Q = Z_{Qt} \times 0,1 = 0,352 \times 0,1 = 0,0325 \text{ m}\Omega$$

- Dopočtená zkratová reaktance napájecí soustavy  $X_Q$

$$X_Q = Z_{Qt} \times 0,995 = 0,352 \times 0,995 = 0,35024 \text{ m}\Omega$$

- Transformátor

- Dle rovnic až a IEC 60909-0 je následující:

- Dopočtená nekorigovaná sekundární impedance transformátoru  $Z_t$

$$Z_t = \frac{Uk}{100} \times \frac{Ut^2}{Pk} = \frac{6\%}{100\%} \times \frac{(400 \text{ V})^2}{1000 \text{ kVA}} = 9,600 \text{ m}\Omega$$

- Dopočtená sekundární zkratová rezistance transformátoru  $R_t$

$$R_t = \frac{Pk}{1000} \times \frac{Ut^2}{Pt^2} = \frac{10500 \text{ W}}{1000} \times \frac{(400 \text{ V})^2}{(1000 \text{ kVA})^2} = 1,680 \text{ m}\Omega$$

- Dopočtené sekundární impedance a reaktance transformátoru  $Z_{t1}$

$$Z_{t1} = Z_t + R_t = 9,6 + 1,68 \text{ j m}\Omega$$

- Dopočtená sekundární zkratová reaktance transformátoru  $X_{t1}$

$$x = \sqrt{Z_t^2 - R_t^2} = \sqrt{9,6^2 - 1,68^2} = 9,456 \text{ m}\Omega$$

- o Dopočtená činná složka jmenovitého napětí nakrátko transformátoru  $URr$

$$URr = \left(\frac{Pk}{Pt}\right) \times 100\% = \left(\frac{10,5}{1000}\right) \times 100\% = 1,05\%$$

- o Dopočtená induktivní složka jmenovitého napětí nakrátko transformátoru  $Uxr$

$$Uxr = \sqrt{Uk^2 - URr^2} = \sqrt{6^2 - 1,05^2} = 5,91\%$$

- o Dopočtený korekční součinitel  $Kt$

$$Kt = 0,95 \times \frac{c}{1 + 0,6 \times xT} = 0,95 \times \frac{1,1}{1 + 0,6 \times XT / \left(\frac{Ut^2}{Pt^2}\right)}$$

$$= 0,95 \times \frac{1,1}{1 + 0,6 \times 9,452 / \left(\frac{400^2}{1000}\right)} = 1,009$$

Kde  $xT$  je poměrná reaktance transformátoru

$$xT = XT / \left(\frac{Ut^2}{Pt^2}\right)$$

- o Dopočtená korigovaná sekundární zkratová rezistance transformátoru  $Rtk$

$$RTk = Rt \times Kt = 1,680 \times 1,009 = 1,696 \text{ m}\Omega$$

- o Dopočtená korigovaná sekundární zkratová reaktance transformátoru

$$XTk = Xt1 \times Kt = 9,452 \times 1,009 = 9,54 \text{ m}\Omega$$

- Kabely transformátor - rozvaděč (ZI)

Délka kabelů	$l$	0,012	km
Počet paralelních kabelů	$ks$	4	ks
Přívodní kabely od transformátoru: AYKY 3×240+120			
Uvažovaný ohmický odpor jednoho kabelu (dle ČSN EN 60228, Tabulka 1)	$R_{R0}$	125	mΩ/km
Uvažovaný indukční odpor jednoho kabelu (dle ČSN 34 1610, Tab. 2, sloupec B)	$R_{L0}$	65	mΩ/km

Tabulka 4 Parametry a délka kabelů transformátoru

- o Dopočtená rezistance přívodních kabelů  $RL$

$$RL = \frac{1}{ks} \times l \times RR0 = 0,25 \times 0,012 \times 125 = 0,375 \text{ m}\Omega$$

- o Dopočtená reaktance přívodních kabelů  $XL$

$$XL = \frac{1}{ks} \times l \times RL0 = 0,25 \times 0,012 \times 65 = 0,195 \text{ m}\Omega$$

- o Celková zkratová rezistance síť - transformátor - přívodní kabely  $R_{QTL}$

$$R_{QTL} = RL + RTk + RQ = 0,375 + 1,696 + 0,0352 = 2,016 \text{ m}\Omega$$

- Celková zkratová reaktance sítě - transformátor - přívodní kabely  $X_{QTL}$

$$X_{QTL} = X_L + X_{TK} + X_Q = 0,195 + 9,54 + 0,35024 = 10,084 \text{ m}\Omega$$

- Synchronní generátor kogenerace

Synchronní generátor kogenerace			
Jmenovité napětí generátoru	$U_{rG}$	0,4	kV
Zdánlivý výkon generátoru	$S_{rG}$	760	kVA
Poměrná rázová reaktance generátoru (dle katalogu generátoru)	$X''_d$	13,3	%
Neznámá rezistance generátoru, uvažováno dle EN 60909-0 ed. 2	$R/X$	0,15	
Uvažovaný účinník generátoru	$\cos \varphi$	0,8	

Tabulka 5 Parametry synchronního generátoru Leroy Somer LSA49.3 M8

- Dopočtená podélná rázová reaktance synchronního stroje  $x''_d$

$$x''_d = X''_d \times Z_{rG} \quad \text{kde } Z_{rG} = \frac{U_{rG}^2}{S_{rG}} = \frac{400^2}{760} = 210$$

$$x''_d = 13,3\% \times 210 = 28,00 \text{ m}\Omega$$

- Dopočtená diktivní zkratová rezistance synchronního stroje  $R_{Gf}$

$$R_{Gf} = R/X \times X''_d = 0,15 \times 28,00 \text{ m}\Omega = 4,2 \text{ m}\Omega$$

- Dopočtený korekční součinitel  $K_G$

$$K_G = \frac{U_{rG}}{S_{rG}} \times \frac{c}{1 + x''_d \times \sin \varphi} = \frac{400}{400} \times \frac{1,1}{1 + 0,133 \times \sin(\arccos 0,8)} = 1,019$$

Dopočtená korigovaná zkratová rezistance synchronního stroje  $R_G$

$$R_G = R_{Gf} \times K_G = 4,2 \times 1,019 = 4,279 \text{ m}\Omega$$

○

- Dopočtená korigovaná zkratová reaktance synchronního stroje  $X_G$

$$X_G = x''_d \times K_G = 28,00 \times 1,019 = 28,527 \text{ m}\Omega$$

- Kably kogenerace

Délka kabelů	$l$	0,11	km
Počet paralelních kabelů	$ks$	6	ks
Přívodní kabely od kogenerace		1-AYKY 4x240	
Uvažovaný ohmický odpor jednoho kabelu (dle ČSN EN 60228, Tabulka 1)	$R_{R0}$	125	mΩ/km
Uvažovaný indukční odpor jednoho kabelu (dle ČSN 34 1610, Tab. 2, sloupec B)	$R_{L0}$	65	mΩ/km

Tabulka 6 Parametry připojovacích kabelů KGJ

- Dopočtená rezistance kabelů kogenerace  $R_{LI}$

$$R_{LI} = \frac{1}{ks} \times l \times R_{R0} = \frac{1}{6} \times 0,11 \times 125 = 2,292 \text{ m}\Omega$$

- Dopočtená reaktance přívodních kabelů  $X_{LI}$

$$X_{LI} = \frac{1}{ks} \times l \times R_{L0} = \frac{1}{6} \times 0,11 \times 65 = 1,192 \text{ m}\Omega$$

- Celková zkratová rezistance generátor - přívodní kabely  $R_{GLI}$

$$R_{QTL} = R_G + R_{LI} = 4,279 + 2,292 = 6,570 \text{ m}\Omega$$

- Celková zkratová reaktance generátor - přívodní kabely  $X_{GLI}$

$$X_{GL} = X_G + X_{LI} = 28,524 + 1,192 = 29,715 \text{ m}\Omega$$

- Transformátor a kogenerace paralelně

- Celková dopočtená rezistance zkratového obvodu  $R_K$

$$R_K = \frac{R_{QTL} \times R_{GL}}{R_{QTL} + R_{GL}} = \frac{2,106 \times 6,570}{2,106 + 6,570} = 1,595 \text{ m}\Omega$$

- Celková dopočtená reaktance zkratového obvodu  $X_K$

$$X_K = \frac{X_{QTL} \times X_{GL}}{X_{QTL} + X_{GL}} = \frac{10,084 \times 29,715}{10,084 + 29,715} = 7,529 \text{ m}\Omega$$

- Celková dopočtená impedance zkratového obvodu  $Z_K$

$$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2} = \sqrt{1,595^2 + 7,529^2} = 7,7 \text{ m}\Omega$$

## Výsledné hodnoty

- Teoretický maximální počáteční souměrný rázový zkratový proud  $I''_k$

$$I''_k = \frac{c \times Ut}{\sqrt{3} \times \sqrt{RK^2 - XK^2}} = \frac{1,1 \times 400}{\sqrt{3} \times \sqrt{1,595^2 + 7,529^2}} = 33,01 \text{ kA}$$

- Dopočtený poměr zkratové impedance  $R/X$

$$R/X = \frac{RK}{XK} = \frac{1,595}{7,529} = 0,212$$

- Dopočtený součinitel nárazového zkratového proudu  $\kappa$

$$\kappa = 1,02 + 0,98e^{-3\frac{RK}{XK}} = 1,02 + 0,98e^{-3\frac{1,595}{7,529}} = 1,539$$

- Teoretický maximální nárazový (dynamický) zkratový proud  $i_p$

$$i_p = \kappa \times \sqrt{2} \times Ik = 1,539 \times \sqrt{2} \times 33,01 = 71,85 \text{ kA}$$

## 8.1. Výpočet oteplení kabelů

Na výpočet oteplení kabelů byl použit program Sichr, který po zadání vstupních dat provede výpočet dimenzace jisticích prvků a oteplení kabelů. Tento program je volně k použití a lze jej používat zcela volně. Je omezen řadou jisticích a bezpečnostních prvků z produkce výrobce OEZ Letohrad. Program není použitelný na celkový výpočet s několika zdroji (převodní transformátor a generátor) Existují programy pro simulaci a výpočty paprskových i zauzlených sítí např. Pavouk od Eaton Elektrotechnika s.r.o., při výpočtech je ovšem nutné používat jisticí prvky ze sortimentu výrobce stejně jako je tomu u programu Sichr.

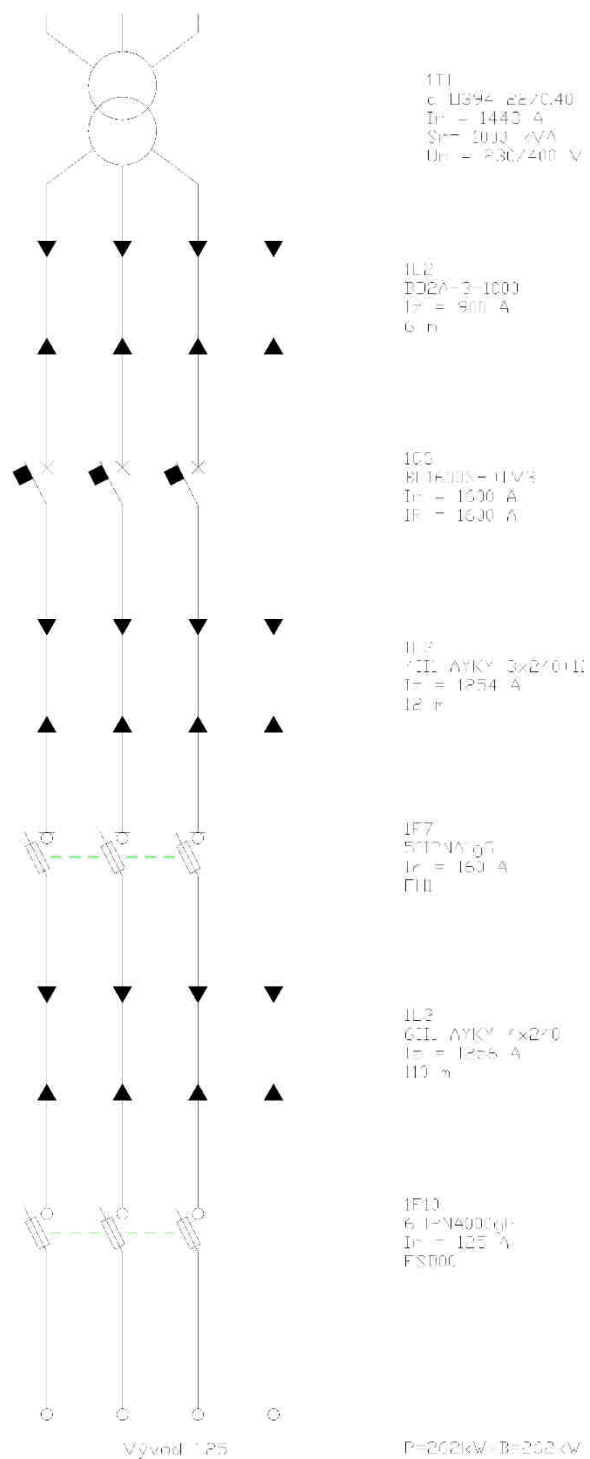
### 8.1.1. Výsledky výpočtového programu Sichr

OEZ	Přehled parametrů a výpočtů ( TN, Un = 230/400 V )		
Sichr	Projekt : KGJ 262 kW Autor : Radek Krejčí	Datum : 24.2.2021 Soubor : Strojovna KGJ	
Označení	Parametry	Výpočty	Selektivita
1T1	1T1 aTO394 22/0.40 Sr = 1000 kVA U2 = 231/400 V uk = 6 % In = 1443 A Parametry VN sítě : Sk = 500 MVA; X/R = 10	Ik"= 23.3 kA ip = 52.7 kA dU = 0.9 %	
1L2	1L2 BD2A-3-1000 6 m vodorovně na hranu	Iz = 900 A Ipk = 90 kA Ik"= 22.4 kA dU = 0.1 % I2t < Icw2t ip = 49.3 kA k = 1.000	
1Q3	1Q3 BL1600SE3... + SE-BL-1600-DTV3 Icu = 65 kA In = 1600 A IR = 1600 A Ii = 2.00 kA	ip = 49.3 kA Zs(0,4s) = 105 mOhm, Ia = 2.20 kA, R(50V/5s) = 23 mOhm	
1L4	1L4 4I11-AYKY 3x240+120 12 m ve vzduchu (E)	Iz = 1254 A tm = 56 ° C Ik"= 21.7 kA dU = 0.1 % I2t < k2S2 ip = 46.3 kA O.K. Zsv < Zs(0,4s) ( 11.7 mOhm < 105 mOhm, 2/3 Zs = 69.8 mOhm ) k = 0.950	
1F7	1F7 5IIPNA1 160A gG (x5 = 800 A) In = 160 A (x5=800 A) Icc = 120 kA Připojeno pomocí FH1	io = 38.3 kA Zs(0,4s) = 31 mOhm, Ia = 7.44 kA, R(50V/5s) = 12 mOhm	1Q3-1F7 selektivní minimálně do 1.5 kA < Ik" = 21.7 kA
1L9	1L9 6I11-AYKY 4x240 110 m v zemi (D) Teplota okolí [st. C] : 15 Měrný tepelný odpor [K.m/W] : 1.0 = mírně zvlhlá půda Uspořádání seskupených obvodů : 6 x přímo v zemi Vzdálenost [m] : 0.125	Iz = 1256 A tm = 51 ° C Ik"= 18.1 kA dU = 0.5 % I2t < k2S2 ip = 33.6 kA O.K. Zsv < Zs(0,4s) ( 16.5 mOhm < 105 mOhm, 2/3 Zs = 69.8 mOhm )	
1F10	1F10 6IIPNA000 125A gG (x6 = 750 A) In = 125 A (x6=750 A) Icc = 120 kA Připojeno pomocí FSD00	ip = 33.6 kA Zs(0,4s) = 34 mOhm, Ia = 6.82 kA, R(50V/5s) = 13 mOhm	1F7-1F10 selektivní minimálně do 1.3 kA < Ik" = 18.1 kA
		1,25	
1,25	Vývod P= 262 kW xB = 262 kW cos fi = 1 I = 378 A B = 1	Ik"= 18.1 kA O.K. Zsv < Zs(0,4s) ( 16.5 mOhm < 105 mOhm, 2/3 Zs = 69.8 mOhm ) ip = 33.6 kA U = 394 V (Un - 1.4%)	

Tabulka 7 Výpočtové hodnoty z programu Sichr



## 8.1.2. Schéma z programu Sichr

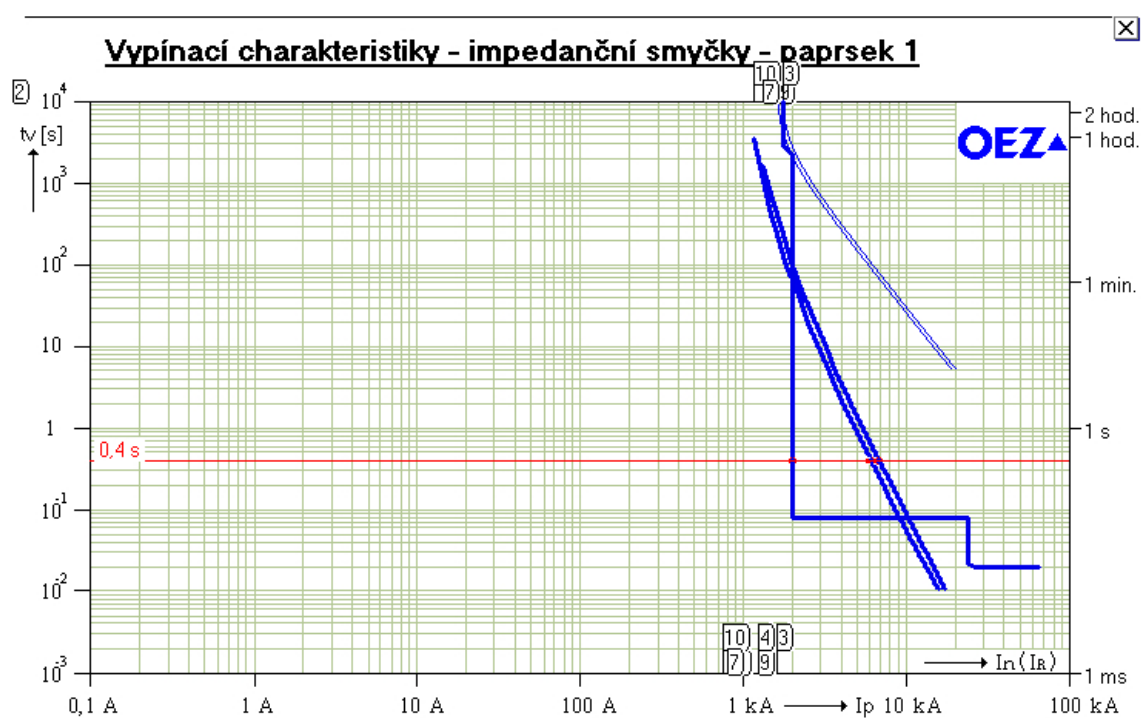


Obrázek 12 schéma z programu Sichr

### 8.1.3. Popis výsledků výpočtu

Zkratové výpočty z programu Sichr nelze považovat za relevantní neboť použitá zátěž - vývod „1,25“ není ve skutečnosti zátěží ale zdrojem. Lze ovšem použít výsledky oteplení kabelu během provozu KGJ, neboť proud protékající kabely je totožný, má však obrácený tok. Další údaj který lze z výpočtu použít je odpor zemní smyčky  $Z_s$  a dimenzace jisticích prvků. Pro kontrolu správnosti výpočtu zkratových poměrů lze použít i vypočítaný  $I_k''$  a  $i_p$  transformátoru a úbytek napětí na vedení od KGJ do hlavního rozváděče.

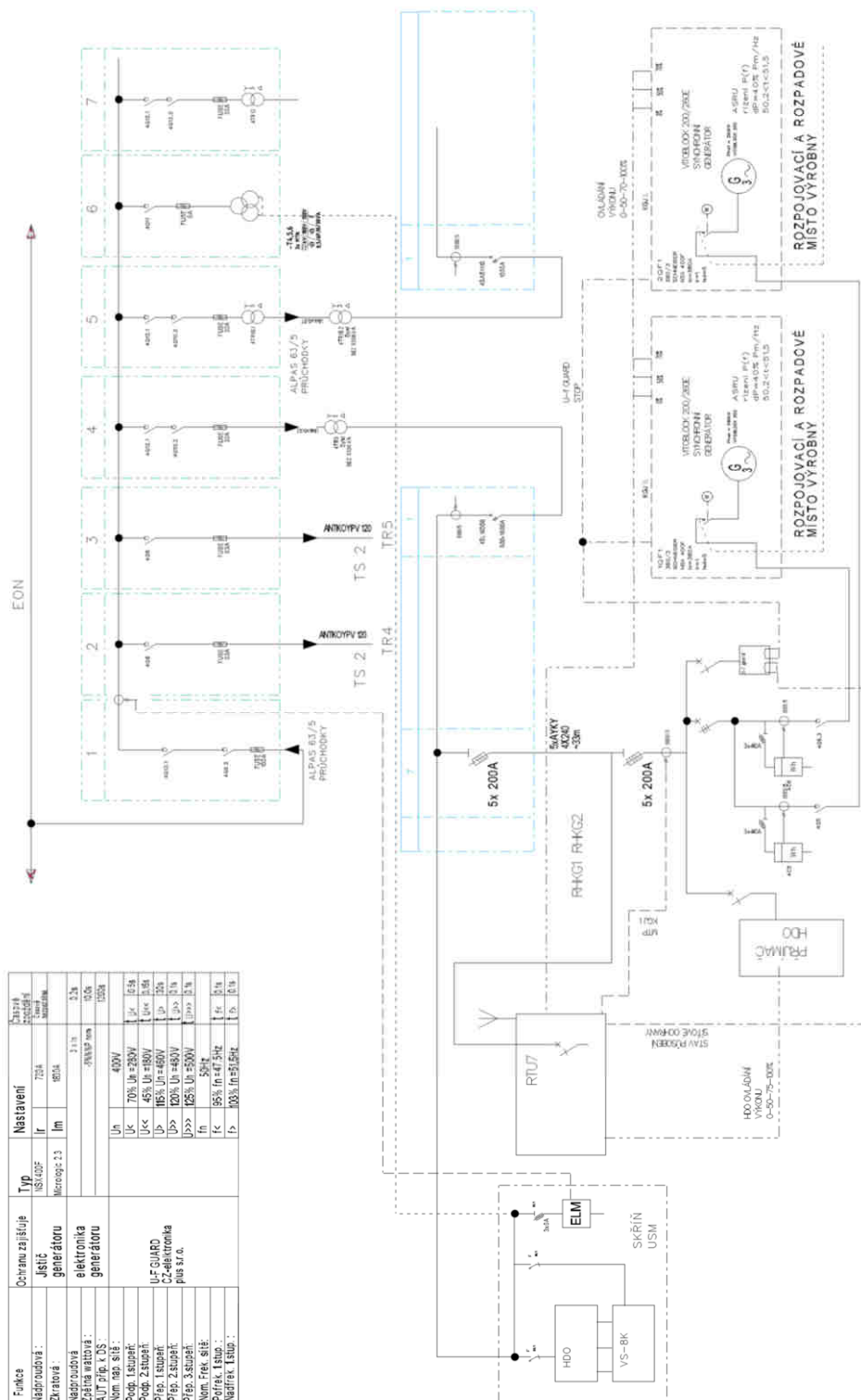
### 8.1.4. Vypínací charakteristiky jisticích prvků



Obrázek 13 Výstup z programu Sichr vypínací charakteristiky impedanční smyčky

## 8.2. Jednopolové schéma

Pomocí tohoto liniového schématu je nutné distribuci doložit zapojení KGJ a její začlenění do síťové infrastruktury.



Obrázek 14 Jednopolové schéma zapojení KGJ

### 8.3. Použití infra kamery

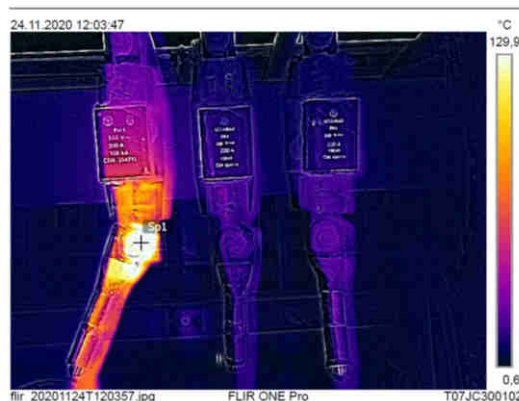
Bezkontaktní měření teploty lze s výhodou použít pro inspekci objektů, které není možné měřit kontaktně. V elektrotechnice je měření důležité při odhalování nedokonalých spojů vodičů, které mají velký přechodový odpor. Protékající proudy způsobí přeměnu vzniklého výkonu na teplo a možné selhání systému. Obdobně se diagnostikuje přetížení elektronických součástí, jejich poškození (zkratky apod.) Velmi vhodné je měření vodičů pod napětím. Při termografii získáme obrázek, dnes nejčastěji barevný, kde každá barva přísluší nějaké teplotě. Obvykle se nejchladnější místa zobrazují modrou barvou, teplejší zelenou až žlutou a nejteplejší červenou až bílou. Při vlastní diagnostice je nutné zohlednit emisivitu měřených materiálů, lesklost ploch apod. (14) Existuje značné množství různých kamer v různých cenových skupinách. Pro rychlou diagnostiku v terénu se mi osvědčila termokamera od firmy Flir, která má přídavné funkce MSX a VividIR<sup>1</sup> z ní činí skvělého pomocníka při rychlé diagnostice a pomáhá tak při předcházení problémů ještě před vlastním připojením. Tato služba tak dává větší benefit zákazníkovi, který je již v projekční fázi upozorněn na problematická místa, která se většinou objeví až po celkové realizaci a uvedení KGJ do provozu

#### 8.3.1. Vlastní měření termokamerou FLIR+

V následujících dvou snímcích které byly vytvořeny při obhlídce připojovacího místa v rozvodně jsou zdokumentovány výsledky měření. Na Obrázku 14 je vidět stav problematického místa s teplotou 131,9 °C. - bod Sp1. Na obrázku je také vidět funkce MSX



Měření	
Sp1	131,9 °C
Parametry	
Emisivita	0.9
Odr. tepl.	22 °C
Geolokace	
Kompas	0° S



což jsou bílé kontury hran na měřených objektech. Na Obrázku 15 je pak díky technologii VividIR barevná fotografie foceného objektu ve viditelném spektru pro snadnější lokalizaci. Díky uložení snímku ve formátu radiometrických dat lze provést měření i zpětně po instalaci příslušného software a vygenerovat report pro zákazníka

Obrázek 15 Měření v infračervené části spektra



Obrázek 16 Zobrazení pořizovaného snímku ve viditelné části spektra

<sup>1</sup> Technologie zpracování obrazu (MSX) a videosignálu (VividIR)

## 9. Výsledky a diskuse

Z výpočtových hodnot lze vyvodit navýšení jak maximálního počátečního souměrného rázového zkratového proudu  $I''_k$  tak i maximálního nárazového (dynamického) zkratového proudu  $i_p$  a je proto nutné provést kontrolu jisticích prvků v rozváděči do kterého se připojuje další zdroj, aby nedošlo k nevratnému poškození stávajících prvků po navýšení těchto hodnot.

Zdroj	$I''_k$ v kA	$i_p$ v kA	pozn.
Transformátor	23,3	52,7	pouze samotný transformátor
KGJ	33,01	71,85	poměry po připojení KGJ
rozdíl	9,71	19,15	

Tabulka 8 porovnání hodnot zkratových proudů před a po připojení KGJ

Z tabulky 7 je patrné že po připojení KGJ do stávajících rozvodů došlo k navýšení jak  $I''_k$   $i_p$  a zejména nižší hodnoty jističů v řádu do cca 63-100A mohou po této změně znamenat jejich zničení v případě zkratu. Další důležitou částí zpracování této problematiky je důkladná obhlídka místa připojení, stav areálových rozvodů a pokud je to možné i kontrola termovizní kamerou pro odhalení problematických míst v původních rozváděčích. Navzdory tomu že jsou periodické revize v průmyslových areálech povinné, je stav rozvodů, které často pocházejí ze 70tých a 80tých let minulého století žalostný. Přehlédnutá nedotažená nebo zaoxidovaná spojka přípojnic rozváděče o více polích je následným zdrojem problémů. Jako ekonomicky výhodné je použití hliníkových kabelů, kteří jsou cenově cca 4x levnější než kabely s měděným jádrem. Vzhledem k neustále narůstajícím cenám přírodních zdrojů je kterým patří i hliník a měď lze očekávat použití kabelů s hliníkovým jádrem i nadále. Nezanedbatelná vlastnost kabelů s hliníkovým jádrem je jejich cca 2,5 × nižší hmotnost oproti kabelům s měděným jádrem. Trasy pro vedení kabelů jsou ve stávajících areálech velmi často vedeny po kabelových lávkách které mohou kabely s vyšší hmotností neúměrně zatížit. Rozdíl v připojovacích podmínkách mezi společností ČEZ Distribuce a.s. a EG.D je v regulaci výkonu podle výkonu výroby.

## 10. Závěr

Popsaná problematika připojování KGJ do stávající elektrické infrastruktury je velmi obsáhlá. Tato diplomová práce popisuje jeden specifický segment vlastního vyvedení elektrického výkonu a připojení do distribuční sítě nebo areálového rozvodu. Dalšími nedílnými částmi projektu je uzemňovací soustava a řešení ochrany před bleskem. Požadavky investorů na cenu instalace, projekčních prací a rozsah dokumentace je velmi citlivé téma, ovšem nesmí být na úkor závazných norem ČSN, ochrany zdraví a ochrany životního prostředí. Lze konstatovat že podmínky distribučních společností na První Paralelní Připojení se rok od roku zpříšňují, aby byla splněna požadovaná legislativa stability sítě při dodržení všech parametrů. Nelze v rámci rozsahu diplomové práce popsat způsoby zabezpečení kotelen a strojoven, kde jsou často KGJ instalovány, dodržení normových hodnot osvětlení, ovládání jednotky systémem MaR , vzdálenou správu ze strany distribuce atd. Lze však sledovat i přes počáteční vysoké investiční náklady velký rozvoj těchto instalací které jsou z dlouhodobějšího hlediska cestou ke zlevnění nákladů na vytápění a cenu elektrické energie. Kogenerační jednotka, která nahradí v sídlištní výtopně kotle na zemní plyn, ušetří 20–40 % primárního paliva a 20–60 % emisí oxidu uhličitého oproti samostatné výrobě elektřiny a tepla (vyšší hodnoty při vytlačení kondenzační výroby elektřiny z uhlí, nižší při porovnání s výrobou elektřiny v paroplynovém cyklu). Stejně tak lze tyto zdroje úspěšně použít ke zvýšení stability sítě postavené na decentralizovaných zdrojích jako jsou kogenerační jednotky, fotovoltaické nebo větrné elektrárny. ČEPS ve svém hodnocení výrobní přiměřenosti do roku 2030 předpokládá, že vznikne asi 150 MW plynových kogenerací o velikosti 5–10 MW v malých teplárnách využívajících zatím černé a hnědé uhlí, které budou pod tlakem stále přísnějších emisních limitů postupně přecházet na zemní plyn, další pak dle místních podmínek na biomasu či jiná paliva. (3) Tento trend je celosvětový, probíhají analýzy pro integraci kombinovaných energetických systémů fotovoltaika, mikrokogenerace a skladování elektrické energie (15)

## Citovaná literatura

1. **LIBRA, M. – JAN, M. – POULEK.** *Jaderná energie*. Praha : ILSA, 2012. ISBN 978-80-904311-6-4.
2. **LIBRA, M. – POULEK.** *Zdroje a využití energie*. Praha : Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007. ISBN 978-80-213-1647-8..
3. **Marin Sedlák.** *obnovitelne.cz*. [Online] 18. 8 2018.  
<https://www.obnovitelne.cz/clanek/528/plynova-kogenerace-bude-oze-kryt-zada-rika-josef-jelecek-z-cogen-czech/>.
4. **Zhonghe Han, Peng Xiang.** Modeling condensate throttling to improve the load change performance of cogeneration units. *Energy*. 2020, Sv. 192, 116684.
5. **Wentao Li, bYan Li.** Configuration optimization of the novel cogeneration heating system with multi turbine units. *Energy Conversion and Management*. 2020, Sv. 221, 113140.
6. **doc. Ing. Jan Fiedler, Dr. vytapeni.tzb-info.cz.** [Online] 26. 9 2011. <https://vytapani.tzb-info.cz/7866-vyhody-a-omezeni-malych-kogeneracnich-jednotek>.
7. **Manwell, JF.** Hybrid Energy Systems. *sciencedirect*. [Online] 2004.
8. *estav.cz*. [Online] 13. 10 2016. <https://www.estav.cz/cz/4044.prvni-evropska-komerční-elektrarna-na-palivove-clanky-v-radu-mw-je-v-nemecku>.
9. **KH Jürgen Buschow, Merton C. Flemings, Edward J. Kramer, Patrick Veysière, Robert W. Cahn, Bernhard Ilschner, Subhash Mahajan.** *sciencedirect. sciencedirect*. [Online] 2008. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/stirling-engine>.
10. **Ing. Dagmar Kopačková, Ph.D. energetika.tzb-info.cz.** [Online] 10. 5 2012.  
<https://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/8581-viessmann-vedl-na-trh-malou-kogeneraci-pro-bytove-a-vetsi-rodinne-domy>.
11. **Strzałka, Jacek Kalina Mateusz Świerzewski Rafał.** *sciencedirect. Energy conversion and Management*. 1. 2 2019.
12. **Jacek Kalina, Mateusz Świerzewski.** Identification of ORC unit operation in biomass-fired cogeneration system. *Renewable Energy*. 2019, Sv. vol 142 pages 400-414.
13. **Ing. Miroslav Šafařík, PhD. biom.cz.** [Online] <https://biom.cz/cz/obrazek/obr-schema-zapojeni-orc-na-spalinovy-vymenik-kogeneracni-jednotky>.
14. *Elektrorevue*. Petr Švábeník, Lucie Dorová. 1, Brno : Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií VUT v Brně, 2011, Sv. 13.
15. **Janusz Kotowicz, Wojciech Uchman.** Analysis of the integrated energy system in residential scale: Photovoltaics, micro-cogeneration and electrical energy storage. *Energy*. 2021, Sv. 227, 120469.
16. **Reuyl, John S. Fuel Cell. science direct.** [Online] 2003.  
<https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/fuel-cell>.
17. **Viessmann. Viesmann.cz.** [Online] Viessmann - katalogové listy KGJ, 2020.