

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Elektrické stanice distribuční sítě**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2016/2017

**ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jiří MATYSKA**  
Osobní číslo: **E15N0030K**  
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Elektrické stanice distribuční sítě**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište základní funkci zadané elektrické stanice.
2. Uveďte schéma transformovny 22/6 kV.
3. Vysvětlete specifickou část elektrické stanice, zabývající se výrobou elektřiny a tepla.
4. Závěrem zmiňte výstupy funkcí výměňkových stanic.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran


Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

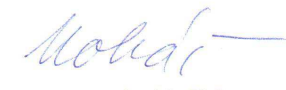
Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Jiřina Mertlová, CSc.**  
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2016**  
Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2017**

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2016

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na popis základní funkce zadané elektrické stanice. Blíže specifikuje funkci a schéma zapojení elektrické stanice 22/6 [kV] a popisuje dílčí části a zařízení ze kterých je stanice složena.

Popisuje rovněž specifickou část na výrobu energie. Výroba elektřiny a tepla je uskutečněna v kogenerační jednotce. V kogenerační jednotce je energie získána v průběhu jednoho výrobního cyklu. Závěrem jsou zmíněny výstupní funkce výměňkových stanic tepla.

## **Klíčová slova**

Elektrická stanice, výroba elektřiny a tepla, výměňková stanice, transformovna, rozvodna, kogenerační jednotka, schéma elektrických rozvodných zařízení.

## **Abstract**

This thesis is aimed at describing the basic functions specified electrical station. Specifies in detail the function and wiring diagram electrical stations 22/6 [kV] and describes the component parts and equipment from which the station is composed.

It also describes the specific part of energy production. Production of electricity and heat is carried out in a cogeneration unit. In the cogeneration unit is energy obtained during a one production cycle. In conclusion are mentioned output functions heat exchangers.

## **Key words**

Electric station, production of electricity and heat, heat exchanger station, transformer substation, a cogeneration unit, diagram of electrical distribution equipment.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce. Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 16.02. 2017

Jiří Matyska

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiřině Mertlové, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

## Obsah

<b>Obsah .....</b>	<b>I</b>
<b>Seznam obrázků.....</b>	<b>II</b>
<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>II</b>
<b>Seznam grafů.....</b>	<b>II</b>
<b>Seznam symbolů a zkratk .....</b>	<b>III</b>
<b>Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>1 Popis základní funkce zadané elektrické stanice.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Obecný popis elektrické stanice .....</b>	<b>2</b>
1.1.1 Hlavní části el. stanice.....	3
1.1.2 Střídavé elektrické rozvodné zařízení .....	4
1.1.3 Schémata elektrických rozvodných zařízení.....	5
<b>1.2 Popis zadané elektrické stanice.....</b>	<b>6</b>
1.2.1 Transformovna.....	8
1.2.2 Rozvodna .....	11
1.2.3 Výrobna .....	15
1.2.4 Zařízení pro kompenzaci účinníku .....	18
1.2.5 Zařízení na výrobu stejnosměrného napětí.....	19
<b>2 Schéma transformovny 22/6 kV .....</b>	<b>22</b>
2.1 Základní charakteristika transformovny 22/6 [kV].....	22
2.2 Ovládání transformátorů.....	24
2.3 Připojení transformátorů a jejich přístrojové vybavení.....	25
2.4 Chránění transformátorů .....	28
2.5 Revize a údržba transformátorů.....	29
<b>3 Specifická část elektrické stanice, zabývající se výrobou elektřiny a tepla. 31</b>	
3.1 Popis zařízení kogenerační jednotky .....	31
3.2 Synchronní generátor na výrobu elektřiny .....	34
<b>4 Výstupy funkcí výměňkových stanic.....</b>	<b>39</b>
4.1 Primární systém dodávky tepla CZT .....	40
4.2 Sekundární výměňkové stanice napojené z CZT .....	42
<b>Závěr .....</b>	<b>44</b>
<b>Seznam literatury a informačních zdrojů.....</b>	<b>46</b>



## Seznam obrázků

OBRÁZEK 1.1 : VSTUPNÍ ROZVODNA 22 [KV] DO PRŮMYSLového ZÁVODU [26].....	7
OBRÁZEK 1.2 : STANOVIŠTĚ BLOKOVÉHO TRANSFORMÁTORU 22/6,3 [KV] [26].....	9
OBRÁZEK 1.3 : STANOVIŠTĚ TRANSFORMÁTORU 6/0,4 [KV] -VLASTNÍ SPOTŘEBA [26].....	10
OBRÁZEK 1.4 : SCHÉMA HLAVNÍ ROZVODNY 6 [KV] [27], [28], [29].....	12
OBRÁZEK 1.5 : HLAVNÍ ROZVODNA 6 [KV] [26].....	14
OBRÁZEK 1.6 : SCHÉMA VYVEDENÍ VÝKONU ZE SYNCHRONNÍHO GENERÁTORU [27], [28], [29].....	16
OBRÁZEK 1.7 : POŽADAVKY NA ÚČINÍK V PŘEDÁVACÍM BODĚ SÍTĚ [6].....	17
OBRÁZEK 1.8 : ROZVADĚČ PRO CENTRÁLNÍ KOMPENZACI ZÁVODU 200 [KVAR].....	18
OBRÁZEK 1.9 : BATERIE NA VÝROBU OVLÁDACÍHO NAPĚTÍ 2-220 [V] DC [26].....	20
OBRÁZEK 2.1 : SCHÉMA TRANSFORMOVNY 22/6 [KV] [27], [28], [29].....	23
OBRÁZEK 2.2 : PANEL S MOZAIKOU RUČNÍHO OVLÁDÁNÍ A PANEL ŘS NA DOZORNĚ [26]....	25
OBRÁZEK 2.3 : VYPÍNAČ V MODULOVÉM ROZVADĚČI VN NA OVLÁDÁNÍ BLOKOVÉHO TRANSFORMÁTORU [26].....	26
OBRÁZEK 2.4 : PTN A PTP INSTALOVANÉ V MODULOVÉM ROZVADĚČI VN 6 [KV] [26].....	28
OBRÁZEK 3.1 : BLOKOVÉ SCHÉMA KOGENERAČNÍHO ZAŘÍZENÍ [10].....	31
OBRÁZEK 3.2 : KOGENERAČNÍ JEDNOTKA V PROTIHLUKOVÉM KRYTU [26].....	32
OBRÁZEK 3.3 : ENERGETICKÁ BILANCE A ČÁSTI ZAŘÍZENÍ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY [10]	34
OBRÁZEK 3.4 : SCHÉMA REGULACE NAPĚTÍ A ÚČINÍKU GENERÁTORU [10].....	35
OBRÁZEK 3.5 : OVLÁDACÍ PANEL NA PROVOZOVÁNÍ GENERÁTORU [26].....	36
OBRÁZEK 3.6 : BLOKOVÉ SCHÉMA GENERÁTORU [10].....	38
OBRÁZEK 4.1 : BLOKOVÉ SCHÉMA CZT [27], [28], [29].....	41
OBRÁZEK 4.2 : FUNKČNÍ SCHÉMA VS [26].....	43

## Seznam tabulek

TABULKA 1.1 : ROZDĚLENÍ ELEKTRICKÝCH SILOVÝCH ZAŘÍZENÍ PODLE NAPĚTÍ [3].....	2
TABULKA 1.2 : NORMALIZOVANÉ PROUDY ZKRATOVÝCH ODOLNOSTÍ [4].....	5

## Seznam grafů

GRAF 4.1 : REGULACE TOPNÉ VODY V ZÁVISLOSTI NA VENKOVNÍ TEPLOTĚ [26].....	42
---	----

## Seznam symbolů a zkratk

Značka	Název	Jednotka nebo popis
DS	Distribuční soustava	Distribuční soustava je vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 110 kV a dále vedení a zařízení 0,4/0,23 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV, nebo 35 kV sloužící k zajištění distribuce elektřiny na vymezeném území České republiky, včetně systému měření, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky.
ES	Elektrizační soustava	Vzájemně propojený soubor zařízení pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektřiny, včetně elektrických přípojek a přímých vedení, systémy měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky.
CZT	Centralizované zásobení teplem	Výroba, rozvod a dodávka tepla do míst jeho spotřeby tepelnými sítěmi.
KVET	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla	Združená výroba elektřiny a tepla v jednom výrobním cyklu. Nazývá se též kogenerace.
SG	Synchronní generátor	Točivý elektrický stroj přeměňující mechanickou energii na elektrickou energii.
G	Generátor	Točivý elektrický stroj na výrobu elektrické energie - označení ve schématu.
T	Transformátor	Netočivý elektrický stroj přeměňující střídavý proud o určitém napětí na střídavý proud o jiném napětí - označení ve schématu.
M	Motor	Točivý elektrický stroj přeměňující elektrickou energii na mechanickou práci - označení ve schématu.
QM	Vypínač	Rozpojuje elektrický obvod pod zatížením - označení ve schématu.
Q	Odpojovač	Rozpojuje viditelně elektrický obvod bez zatížení - označení ve schématu.
QE	Zemní odpojovač	Spojuje živé části zařízení se zemí - označení ve schématu.
TA	Měnič proudu	PTP - označení ve schématu.
TV	Měnič napětí	PTN - označení ve schématu.
PPDS	Pravidla provozování distribuční	Vytváří jednotlivé energetické

Značka	Název	Jednotka nebo popis
	soustavy	subjekty podnikající v distribuci elektrické energie.
HMI	Rozhraní člověk-stroj pro ovládání a monitorování technologického procesu	Počítač s příslušným SW na dozorň s trvalou obsluhou.
ŘS	Řídicí systém	Programovatelné zařízení, které ovládá technologický proces.
PTP	Přístrojový transformátor proudu	Převádí primární proud na výstupní sekundární proud v rozsahu požadovaného unifikovaného signálu.
PTN	Přístrojový transformátor napětí	Převádí primární napětí na výstupní sekundární napětí v rozsahu požadovaného unifikovaného signálu.
IT	Elektrická síť s izolovaným uzlem	Uzel sítě je izolován, nebo spojen se zemí přes velkou impedanci, neživé části elektrických zařízení jsou spojeny pomocí ochranného uzemnění přímo se zemí buď jednotlivě nebo po skupinách.
TT	Elektrická síť s jedním přímo uzemněným bodem	Síť má jeden bod přímo uzemněný, neživé části připojených elektrických zařízení jsou přímo spojeny se zemí nezávisle na uzemnění sítě.
TN	Elektrická síť s uzemněným nulovým bodem	Síť má jeden bod přímo uzemněný, neživé části jsou spojeny s tímto bodem prostřednictvím ochranných vodičů.
HDO	Hromadné dálkové ovládání	Soubor technických prostředků umožňujících vysílat povely nebo signály za účelem zapínání nebo vypínání spotřebičů, přepínání tarifů.
nn	Nízké napětí	Do 1 [kV] včetně.
vn	Vysoké napětí	Nad 1 [kV] do 52 [kV].
vvn	Velmi vysoké napětí	Nad 52 [kV] do 300 [kV].
zvn	Zvlášť vysoké napětí	Nad 300 [kV] do 800 [kV].
uvn	Ultra vysoké napětí	Nad 800 [kV].
FM	Frekvenční měnič	Zařízení, které slouží k řízení otáček elektromotoru.
PS	Předávací stanice	Zařízení pro úpravu parametrů teplotnosné látky na hodnoty požadované vnitřním zařízením; zpravidla je v ní instalováno zařízení pro měření a regulaci dodávky tepla odběrateli nebo většímu počtu odběratelů.
VS	Výměníková stanice	Výměníková stanice upravuje parametry teplotnosného média, čímž zajišťuje spolehlivé a bezpečné dodávky tepla a teplé vody dle

Značka	Název	Jednotka nebo popis
		schválených parametrů. Bezpečnost je zajištěna tím, že teplotné médium s vysokými teplotami a tlakem není přímo propojeno s koncovými okruhy na dodávku tepla a teplé vody.
ÚT	Ústřední topení	Zařízení sestávající z vnitřního rozvodu ústředního vytápění a topných těles.
TV	Teplá užitková voda	Zdravotně nezávadná voda určená ke koupání, umývání a praní, nikoliv však k pití a vaření; připravuje se z vody v kvalitě pitné vody.
STPR	Středotlaký parní rozdělovač	Tlak páry nad 70 [kPa], použití v průmyslu a pro dálkové rozvody tepla

## Úvod

Elektrické stanice jsou základním spojovacím prvkem každé elektrizační soustavy. Jsou součástí elektrické rozvodné sítě na různých hladinách elektrického napětí a pro různé výkony. Elektrické stanice jsou díky novým technologiím a materiálům stále zdokonalovány a vyvíjeny. V průběhu let se značně zvýšila jejich spolehlivost a bezpečnost. Jsou vybavovány zapouzdřenými rozvodnami s plynem SF<sub>6</sub> a chráněny digitálními ochranami. Provoz elektrických stanic je řízen řídicím systémem vybaveným dálkovým přenosem informací s možností dálkového ovládní ze vzdáleného dispečinku. Většina elektrických stanic je dnes již bez trvalé obsluhy. Podstatně se také zredukovaly rozměry elektrických stanic, které jsou až třetinové ve srovnání s dříve používanými elektrickými stanicemi před 20 a více lety. Tyto konstrukční změny jednotlivých prvků jsou dány především neustálým vývojem a zdokonalováním používaných materiálů a technologických postupů.

V důsledku snížení rozměrů jsou moderní elektrické stanice lépe přizpůsobeny pro montáž do podstatně menších prostorů, především v městských aglomeracích a podobných zástavbách. Jistou nevýhodou moderních elektrických stanic je méně přehledné uspořádání, například při provádění preventivní údržby a ručních manipulací. Principy a funkce elektrických stanic se však nezměnily a jsou stále stejné.

Tato diplomová práce popisuje konkrétní zadanou elektrickou stanici 22/6 [kV] v průmyslovém závodě, jejíž součástí je i vlastní výroba. Zadaná elektrická stanice průmyslového závodu byla vybudována a uvedena do provozu v roce 1970. Od té doby se nepřetržitě provozuje. V průběhu let procházela postupně několika modernizacemi dílčích zařízení. Například náhradou olejových spínačů ovládaných tlakovým vzduchem za vakuové spínače ovládané stejnosměrným zálohovaným napětím 220 [V] DC. Výměnou analogových ochran za digitální ochrany, výměnou distribučních transformátorů apod..

Funkce elektrické stanice se však v průběhu let nijak nezměnila a zůstává stále stejná. Diplomová práce popisuje obecně základní funkci zadané elektrické stanice a její dílčí zařízení. Na konci diplomové práce je uveden seznam literatury a informačních zdrojů, které byly za účelem vypracování této práce použity a informace z nich jsou v této práci publikovány.

# 1 Popis základní funkce zadané elektrické stanice

Elektrická stanice je soubor staveb a zařízení elektrizační soustavy, která umožňuje transformaci elektrické energie na jiné napětí a její rozvod, nebo rozvod elektrické energie stejného napětí, či přeměnu střídavého napětí na napětí jiného kmitočtu, případně na stejnosměrné napětí včetně jeho rozvodu, nebo kompenzaci elektrické energie, včetně prostředků nezbytných pro zajištění jejich provozu. [1]

## 1.1 Obecný popis elektrické stanice

Elektrické stanice jsou základním spojovacím prvkem mezi výrobkami, přenosovou rozvodnou sítí a ve vlastní rozvodné síti mezi sítí a spotřebičem. Podle topologie ES pracují elektrické stanice na různých hladinách sdruženého elektrického napětí tab.1.1. Tím je dán jejich účel a využití v ES. [1], [3], [42]

Tabulka 1.1 : Rozdělení elektrických silových zařízení podle napětí [3]

napětové pásmo	označení napětí		název zařízení	jmenovité napětí (v uzemněné soustavě)	
	mezinárodní	české		mezi vodičem a zemí	mezi vodiči
I	ELV	mn	zařízení malého napětí	do 50 V včetně	do 50 V včetně
II	LV	nn	zařízení nízkého napětí	nad 50 V do 600 V včetně	nad 50 V do 1000 V včetně
-	HV	vn	zařízení vysokého napětí	nad 0,6 kV do 30 kV	nad 1 kV do 52 kV
		vvn	zařízení velmi vysokého napětí	nad 30 kV do 171 kV	nad 52 kV do 300 kV
		zvn	zařízení zvlášť vysokého napětí	-	od 300 kV do 800 kV včetně
		uvn	zařízení ultra vysokého napětí	-	nad 800 kV

Podle účelu elektrické stanice rozeznáváme: [1]

- **Transformovny** – zařízení umožňující transformaci elektrické energie na jiné napětí.
- **Spínací stanice** – zařízení, pomocí kterého dochází ke spínání elektrických obvodů stejného napětí a proudové soustavy pro potřeby rozvodu elektrické energie.
- **Kompenzační stanice** – zařízení sloužící ke kompenzaci v elektrickém obvodu, především jalového výkonu.
- **Měničny** – zařízení umožňující přeměnu střídavého napětí na napětí jiného kmitočtu nebo na stejnosměrné napětí.

Podle umístění elektrické stanice ve schématu ES rozlišujeme : [1], [8]

- **Elektrické stanice výroben** – zajišťují transformaci napětí alternátorů na napětí přenosové sítě. Směr toku v těchto stanicích je vždy od výroby do sítě.
- **Elektrické stanice spotřeby** – transformační stanice, ve kterých je transformována elektrická energie různého napětí, nebo uzlové elektrické stanice, ve kterých se spíná a rozděluje elektrická energie o stejném napětí. Směr toku v těchto stanicích je různý, podle okamžitého rozdělení výroby a spotřeby v ES.

Elektrické stanice spotřeby v ES dělíme na dva základní typy : [1]

- **Distribuční elektrické stanice** – zajišťují rozdělení elektrické energie, transformaci napětí a dodávají elektrickou energii spotřebním centřům. Nejvíce se používají v DS na napěťové hladině 22 [kV].
- **Průmyslové elektrické stanice** – zajišťují rozdělení elektrické energie v průmyslových podnicích přímo ke spotřebičům a transformují napětí na hladinu nn. Jsou to transformovny 110 [kV]/vvn, vn/vn, vn/nn, případně spínací stanice vn nebo nn. Obvyklé napětí spotřebičů vn v průmyslových podnicích je 6 [kV].

### 1.1.1 Hlavní části el. stanice

Hlavní části elektrických stanic obsahují zařízení svým charakterem stejná. [1]

Jsou to :

- Střídavé elektrické rozvodné zařízení : rozvodny, rozváděče, rozvodnice.
- Společná zařízení : zařízení pro vlastní spotřebu, část střídavá i stejnosměrná, nouzové zdroje, akumulátorové baterie, střídače, výroba a i rozvod stlačeného vzduchu, měniče frekvence, dozorna, ochrany, měření a signalizace, stroje a přístroje používané při revizích a udržovacích pracích apod..
- Pomocná zařízení: revizní věž, olejové hospodářství, dílny, garáže, sklady, vrátnice, apod..
- Komunikace : vlečka, příjezdová silnice, komunikace v objektu.
- Protipožární zařízení.
- Zařízení a prostředky pro ochranu zdraví a hygienu práce jak pro personál rozvodny tak i pro revizní a pracovní čety.

- Ochranné a bezpečnostní pomůcky : dielektrické rukavice, záchranné háky, zkoušečky, výstražné tabulky, zkratovací soupravy apod..

V některých elektrických stanicích je dále instalováno [1]:

- Kompenzační zařízení : rotační kompenzátor, statický kompenzátor.
- HDO : vysílač, automatika.

Transformační elektrické stanice obsahují dále transformátory s veškerým příslušenstvím. Měnírny pak obsahují usměrňovače a stejnosměrná rozvodná zařízení.

### 1.1.2 Střídavé elektrické rozvodné zařízení

Činnost rozvodných zařízení spočívá v rozdělování elektrické energie téhož napětí do požadovaných větví elektrického obvodu. Rozvodné zařízení zahrnuje soubor přístrojů nutných k rozvádění elektrické energie, uspořádané a propojené podle elektrického schématu. Podle konstrukčního provedení můžeme rozvodná zařízení rozdělit na vnitřní (zakrytá) a venkovní. [1], [32], [34]

Podle začlenění do ES jsou rozdělena na : [1], [32], [33], [34]

- Uzlové - napájené z několika stran.
- Koncové - napájené z jedné strany.
- Styčné - propojující elektrizační soustavy.
- Rozvodné - z nichž jsou napájeny rozvodné sítě.

Rozvodná zařízení musí svou konstrukcí při jejich provozu a využívání odpovídat požadovaným technickým parametrům, na něž jsou dimenzovány.

Nejdůležitější z nich jsou :

- Jmenovité napětí hlavních obvodů - tabulka 1.1. [3]
- Zkratová odolnost - tabulka 1.2. [4]
- Jmenovité proudy přípojníc a odboček. Jmenovité proudy těchto rozvodných zařízení jsou : 100; 200; 400; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6300; 8000; 10000; 12500; 16000; 20000 [A]. [6], [31], [34]



Tabulka 1.2 : Normalizované proudy zkratových odolností [4]

Jmenovitý vypínací proud $I_{\text{vyp}}[\text{kA}]$	6,3	8	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63
Jmenovitý krátkodobý proud $I_{\text{ke}}[\text{kA}]$	6,3	8	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63
Jmenovitý dynamický proud $I_{\text{dyn}}[\text{kA}]$	16	20	31,5	40	50	63	80	100	125	160

Nejdůležitější součástí každého rozvodného zařízení jsou přípojnice. Jejich pomocí se uskutečňuje vlastní rozvádění elektrické energie do potřebných odboček. Vzhledem k důležitosti musí být zaručena jejich bezpečnost a maximální bezporuchovost. Tento požadavek je zajištěn respektováním dovolené proudové zatížitelnosti přípojnic dané technickou normou. [1], [2], [15], [16], [30], [31]

- Přípojnice - přípojnicový systém je soubor fází přípojnic. Tvoří jej tuhé nebo lanové holé vodiče, odpovídající konstrukce a splňující potřebné technické požadavky. Elektrická energie je do těchto vodičů přiváděna přívodními odbočkami a ke spotřebičům je odváděna vývodovými odbočkami.
- Odbočky - jsou tvořeny souborem vzájemně propojených zařízení a přístrojů. Tyto komponenty zajišťují spínání, měření a ochranu vývodů nebo přívodů elektrické energie. Základní zařízení odbočky je tvořeno spínačem, přípojnicovým odpojovačem, vývodovým odpojovačem, přístrojovými měřicími transformátory proudu a napětí, elektrickými ochranami, měřicím - signalizačním - ovládacím zařízením.

### 1.1.3 Schémata elektrických rozvodných zařízení

Schéma rozvodného zařízení obsahuje skutečný stav zapojení elektrických propojení přípojnic a přístrojů. Při projektování elektrických schémat se používají symboly a označení pro elektrické komponenty v souladu s technickými normami. [1], [3], [40]

Schémata rozvodného zařízení jsou : [1], [40]

- Jednopolové (silové) - slouží pro zobrazení základního přehledu a konfigurace zařízení. Klade se u nich především důraz na přehlednost a srozumitelnost. Podle těchto schémat obsluha provádí manipulace s rozvodným zařízením.

- Ovládací (liniové) - slouží k zobrazení funkčního propojení pro ovládání zařízení, signalizaci a měření. Z tohoto schématu musí být zřejmé, jak je možno ovládat jednotlivé části rozvodného zařízení. V těchto schématech jsou zakresleny způsoby ovládání zařízení, např. automatický nebo ruční provoz, místní ovládání přímo ze skříňky od zařízení. Znázorňují blokády chodu zařízení při nedodržení provozních hodnot. Obsahují vazby na ostatní zařízení v rozvodně a jejich vzájemné blokování a zapínací podmínky. Tyto vzájemné vazby a způsoby ovládání a signalizace zařízení jsou vždy popsány slovně v provozním předpisu pro rozvodné zařízení. Tento provozní předpis pak slouží obsluze při provádění manipulací.
- Vícepólová (montážní) - slouží pro montáž zařízení. Schéma obsahuje detailní zakreslení připojení přístrojů a zařízení. Vícepólová schémata se uchovávají v archivu a použijí se například při rekonstrukci zařízení, kdy dochází k výměně starých přístrojů za nové. Slouží převážně pro pracovníky zabývající se projektováním, montáží a údržbou elektrických zařízení.

## 1.2 Popis zadané elektrické stanice

Zadaná elektrická stanice je součástí průmyslového závodu - teplárny. Teplárna se zabývá kombinovanou výrobou elektřiny a tepla pro technologické účely, otop či ohřev topné a užitkové vody. [22]

Elektrická stanice je napájena elektřinou energií z DS na napěťové hladině 22 [kV].

Z rozvodny DS jsou do teplárny vedeny kabelovým kanálem dvě samostatné kabelové přípojky pro napájení hlavních transformátorů. Přípojka je provedena kabelem typu 22-AXEKCEY, 3 x 150/25 v délce 200 metrů. [7], [23]

Přívodní napájecí kabely jsou ukončeny v teplárně v samostatných modulových rozvaděčích 22 [kV], které jsou instalovány ve vnitřním prostoru hlavní rozvodny.

Rozvodna 22 [kV] je tvořena čtyřmi skříňovými modulovými rozvaděči, je zobrazena na obrázku 1.1.

Pro každý transformátor jsou určeny dvě rozvaděčové skříně 22 [kV]. V jedné je ukončen přívodní kabel z rozvodny DS. Jsou zde také ověřené přístrojové transformátory proudu a napětí, které jsou napojeny na obchodní měření pro fakturační účely elektrické energie. Obchodní měření je vybaveno dálkovým přenosem na dispečink distributora elektřiny. Naměřená data z tohoto měření lze sledovat s 30 minutovým zpožděním na webovém portálu distributora. On-line měření dává k dispozici kompletní údaje o

přenášené elektrické energii. Je možné sledovat údaje o vyrobené a spotřebované činné a jalové elektrické energie, u spotřeby je monitorován účinník. Jalová energie je ještě rozdělena na dodávku a spotřebu indukčního nebo kapacitního charakteru.

V druhé rozváděčové skříni je umístěn vypínač, přístrojové transformátory proudu a napětí zavedené do skříně ochrany, zemní nože pro uzemnění a zkratování linky směrem k transformátoru. Na čelní desce tohoto rozváděče je signalizační zařízení stavu vypínače a zemních nožů včetně signalizace poruchy a ztráty ovládacího napětí, prvky na místní ovládání vypínače a měřící přístroj pro zobrazení hodnoty proudu  $I$  [A].

Schéma zapojení umožňuje odpojení a zkratování přívodů k transformátorům přímo v prostoru teplárny. Stav těchto vypínačů a připojení zemních nožů na linku je dálkově přenášeno na dispečink distributora. [5], [6], [7], [11], [19], [23]



Obrázek 1.1 : Vstupní rozvodna 22 [kV] do průmyslového závodu [26]

Zadaná elektrická stanice průmyslového závodu slouží k těmto účelům : [1], [33], [34]

- transformovna
- rozvodna
- výrobná
- zařízení na kompenzaci účinníku

- zařízení na výrobu stejnosměrného napětí.

Základní zkratové poměry na výstupu z rozvodny DS 22 [kV], která napájí průmyslový závod teplárny: (Údaje o zkratových poměrech dodal distributor) [12], [13]

- Zkratový výkon soustavy na výstupu :  $S''_{ks} = 524,6$  MVA,
- počáteční rázový zkratový proud na výstupu :  $I''_k = 6,86$  kA,
- nárazový zkratový dynamický proud na výstupu :  $I_{km} = 33,34$  kA,
- DS je nepřímo uzemněna a je kompenzována tlumivkou zapojenou v uzlu transformátoru 110/22 [kV]. Rozvodna je napájena paralelním chodem dvou transformátorů 110/22 [kV].

### 1.2.1 Transformovna

Zajišťuje transformace napětí ve dvou napěťových úrovních. První úroveň transformuje z hladiny napětí 22 na 6 [kV], druhá úroveň pak z hladiny napětí 6 na 0,4 [kV]. Za tímto účelem je instalováno šest transformátorů. Dva transformátory 22/6,3 [kV] a čtyři transformátory 6/0,4 [kV].

Jeden ze vstupních transformátorů s napětím 22 [kV] transformovaným na napětí 6,3 [kV] je používán pro trvalý provoz a druhý slouží jako záložní studená rezerva. Jedná se o transformátory stejného typu, které splňují technicky všechny podmínky paralelního chodu. V paralelním provozu se provozují pouze výjimečně a co nejkratší možnou dobu z důvodu snížení zkratových poměrů při poruše. Paralelní chod se využívá například při přejíždění transformátorů z důvodu zamezení beznapěťového stavu při revizi a preventivní údržbě, nebo po dobu rozběhu velkých oběhových čerpadel na napětí 6 [kV] o výkonu 250 [kW]. Transformátory jsou umístěny ve venkovním prostředí v samostatných kobkách. Pod těmito stanovišti transformátorů jsou záchytné jímky pro zachycení případného úniku oleje. Stanoviště jsou chráněny zábranami. Stanoviště transformátoru je na obrázku 1.2. Transformátor se nazývá blokový, protože jeho hlavním účelem je vyvedení elektrického výkonu z generátoru bloku teplárny. [17], [18], [20], [21], [41]



Obrázek 1.2 : Stanoviště blokového transformátoru 22/6,3 [kV] [26]

Základní technické parametry transformátorů 22/6,3 [kV] dle dokumentace výrobce : [5], [17]

- Napětí VN 22000 [V]~  $\pm 2 \times 2,5$  [% ]; napětí NN 6300 [V]~,
- výkon 1600 [kVA],
- proud VN 41,99 [A]; proud NN 146,63 [A],
- frekvence 50 [Hz],
- počet fází 3; spojení Yd1,
- ztráty naprázdno při 50 [Hz]  $P_0 = 0,251$  [%] = 1749 [W]; proud naprázdno  $I_0 = 0,369$  [A],
- ztráty nakrátko při 50 [Hz] a 20 [°C]  $P_k = 14591,63$  [W]; napětí nakrátko  $U_k = 1325,51$  [V],  $u_k = 6,03$  [%]; proud nakrátko  $I_k = 41,99$  [A],
- olejová náplň 810 [kg], bez obsahu PCB.

Další čtyři transformátory se vstupním napětím 6 [kV] transformovaným na napětí 0,4 [kV] jsou rovněž všechny stejného typu a umožňují paralelní provoz všech současně. V trvalém provozu je vždy jedna dvojice transformátorů, druhá dvojice je záložní. Provoz dvojice transformátorů je vždy po roce převeden na druhý pár transformátorů. Tím je zajištěno rovnoměrné používání všech transformátorů a ověření provozuschopnosti .

Transformátory jsou umístěny v prostředí vnitřní rozvodny. Transformátor je na obrázku 1.3. Tyto transformátory se označují transformátory vlastní spotřeby. Jejich hlavním účelem je napájení vlastní spotřeby, především motorů a osvětlení v průmyslovém závodě. [14], [17], [20], [21]



Obrázek 1.3 : Stanoviště transformátoru 6/0,4 [kV] -vlastní spotřeba [26]

Základní technické parametry transformátorů 6/0,4 [kV] dle dokumentace výrobce : [5], [17]

- Napětí VN 6000 [V]~  $\pm 5$  [% ]; napětí NN 400/231 [V]~,
- výkon 1000 [kVA],
- proud VN 96,23 [A]; proud NN 1443,38 [A],
- frekvence 50 [Hz],
- počet fází 3; spojení DyN,
- ztráty naprázdno při 50 [Hz]  $P_0 = 1,155$  [% ] = 2623,7 [W]; proud naprázdno  $I_0 = 16,674$  [A],
- ztráty nakrátko při 50 [Hz] a 20 [°C]  $P_k = 10861,98$  [W]; napětí nakrátko  $U_k = 344,12$  [V],  $u_k = 5,74$  [% ]; proud nakrátko  $I_k = 96,23$  [A],
- suchý transformátor chlazený vzduchem.

### 1.2.2 Rozvodna

Hlavní rozvodna pracuje na napěťové úrovni 6 [kV]. Rozvodna je tvořena 20 samostatnými modulovými rozváděčovými skříněmi. Schéma rozvodny je na obrázku 1.4. Rozvodna je konstrukčně provedena s jedním systémem přípojníc a ve svém středu má podélnou dělicí spojku realizovanou vypínačem. Tato podélná spojka umožňuje rozdělit rozvodnu a provozovat jí jako dvě samostatné části. Takováto možnost dělení rozvodny se využívá při revizi, preventivní údržbě nebo poruše v části rozvodny.

Zařízení jsou v rozvodně záměrně rozmístěna tak, aby bylo vždy možno technologii provozovat z jedné poloviny rozvodny.

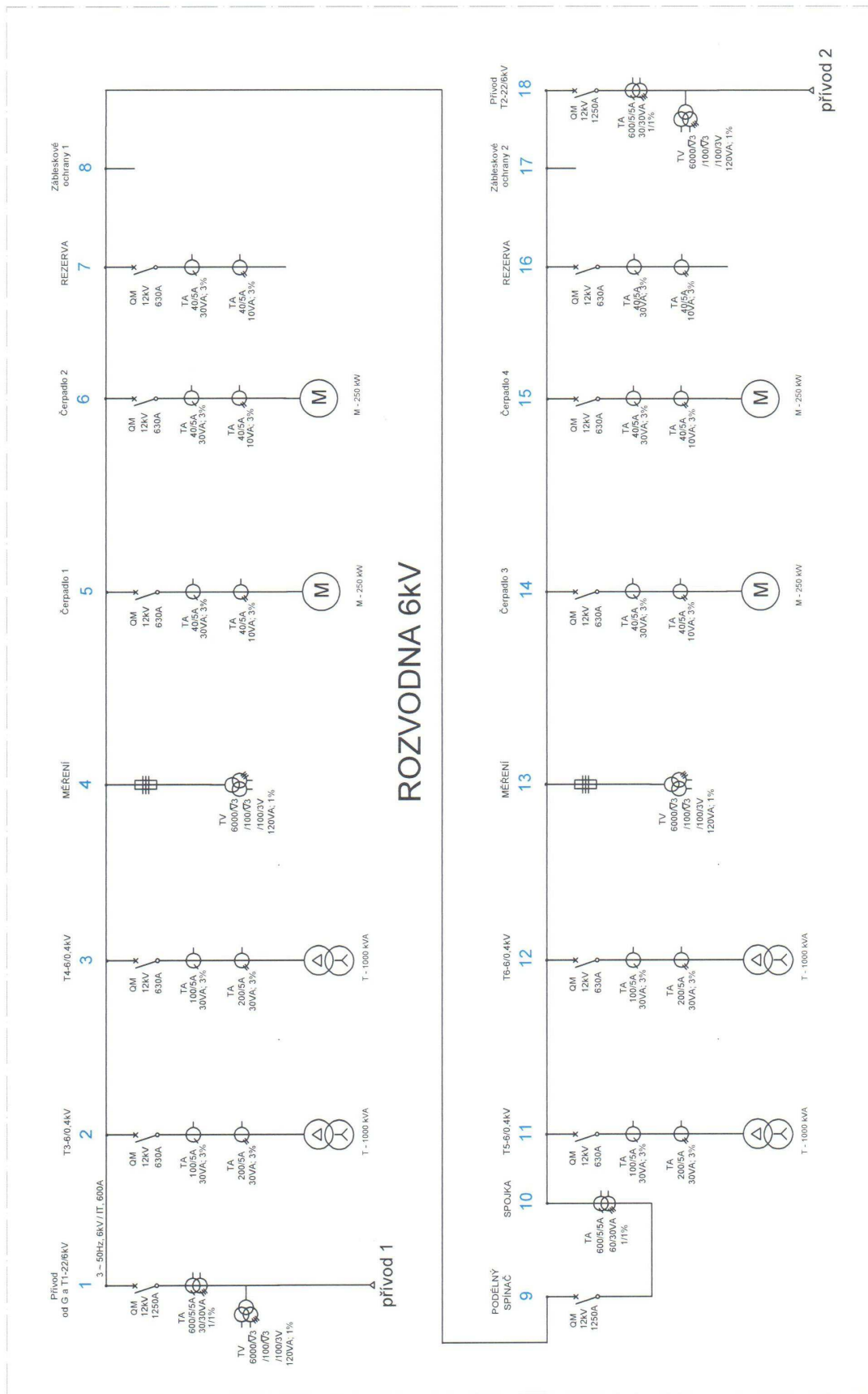
Takovéto technické řešení zajišťuje možnost plného zálohování dílčích technických zařízení pro celou technologii. To znamená, že každá polovina rozvodny je schopna zajistit instalovanými zařízeními požadovaný provoz.

Obsazení jedné poloviny rozvodny 6 [kV], druhá polovina je obsazena stejně :

- 1 x přívod ze sekundární strany blokového transformátoru 22/6,3 [kV],
- 2 x vývod k primární straně transformátorům 6/0,4 [kV],
- 2 x vývod k oběhovým čerpadlům 250 [kW],
- 1 x kobka s napěťovými měniči - měření,
- 1 x kobka pro ovládání zábleskových ochran.
- 1 x vyzbrojená rezerva
- 1 x nevyzbrojená rezerva

Každá odbočka z rozvodny je chráněna vlastní digitální ochranou umístěnou přímo v ovládací části modulového rozváděče dané odbočky. Do ochran jsou zavedeny unifikované signály PTP. Ochrana odpojuje vakuový vypínač odbočky v případě překročení mezních parametrů proudu. V rozváděčových kobbách na měření napětí jsou instalovány digitální ochrany na vyhodnocení podpětí nebo přepětí v rozvodně.

Systém ochran je ještě doplněn o zábleskové ochrany. V každé kobce rozvodny jsou umístěny tři záblesková čidla. V případě aktivace zábleskového čidla dojde k odstavení odboček v příslušné části (polovině) rozvodny. Záblesková ochrana je nastavena tak, že vždy odpojuje dělicí spojku ve středu rozvodny a krajní pole rozvodny přívodu z blokového transformátoru v části rozvodny, kde došlo k aktivaci zábleskového čidla. [4], [6], [12], [13], [16], [23], [33], [34]



Obrázek 1.4 : Schéma hlavní rozvodny 6 [kV] [27], [28], [29]



Základní parametry rozvodny 6 [kV] dle technické dokumentace výrobce : [5], [34], [43]

- Typ : IRODEL, vnitřní skříňové VSM - 127,
- jmenovité napětí skříní 10 [kV]; kmitočet 50 [Hz],
- jmenovitý proud přípojníc 600 [A],
- zkratová odolnost 200 [kVA] při napětí 6 [kV],
- nárazový zkratový proud 20 [kA]
- krytí IP30,
- modulový rozváděč s výsuvnými vakuovými vypínači VD4, počet vypínačů 14, počet skříní 20,
- napěťová soustava : 3 ~ 50 [Hz], 6,3 [kV] / IT - silová část rozvodny,
- ovládací napětí rozvodny : 2 – 220 [V] DC / IT,
- ovládací napětí pro HZO : 2 – 24 [V] DC,
- ovládací napětí pro napájení převodníků proudů 1NPE 230 [V] ~ 50 [Hz],
- počáteční rázový zkratový proud v rozvodně je  $I_{KM} = 19,75$  [kA],
- stupeň důležitosti dodávky elektrické energie dle ČSN 341610 je druhého stupně,
- prostředí : v rozvodně 6 [kV] a kabelových prostorech dle ČSN 33 2000-1 ed.2 normální bez dalších nároků na zvýšená opatření,
- ochrana před nebezpečným dotykem živých částí je provedena : v soustavě 3AC-50 [Hz] 6,3 [kV] / IT – krytím a izolací; v soustavě ovládacího napětí 220 [V] DC – krytím a izolací,
- ochrana před nebezpečným dotykem neživých částí je provedena : v síti 3 ~ 50Hz, 6,3kV / IT zemněním podle ČSN EN 61936-1; v rozvodech 2 – 220 [V] DC / IT automatickým odpojením od zdroje; v obvodech SELV bezpečným napětím vše dle ČSN 33 2000-4-41 ed. 2.
- Ukázka rozvodny je na obrázku 1.5.



Obrázek 1.5 : Hlavní rozvodna 6 [kV] [26]

Sekundární strany transformátorů 6/0,4 [kV] jsou vyvedeny do napájecích polí rozvaděčů 0,4 [kV] pro vlastní spotřebu závodu. Tyto rozvaděče jsou rovněž konstrukčně řešeny jedním přípojnicovým systémem s podélnou dělicí spojkou realizovanou vypínačem. Rozvodna je společným prostorem pro všechny hlavní rozvaděče všech napěťových úrovní průmyslového závodu, 22 [kV], 6 [kV] a 0,4 [kV].

Hlavní rozvodna pro napěťovou hladinu 0,4 [kV] je tvořena 36 rozváděčovými poli. Jsou z ní pak napájeny ostatní podružné rozváděče a zařízení v areálu závodu. Některé důležité technologické celky závodu jsou opět napájeny zdvojeně, vždy z každé poloviny rozváděčového systému.

Základní parametry rozvodny 0,4 [kV] dle technické dokumentace výrobce : [5], [34], [44]

- Typ : JRP J4 ( jsou použity tři tyto rozvodny),
- $U_n = 380$  [V];  $I_n = 1600$  [A],  $I_{peakz} = 60$  [kA] max.; 50 [Hz]; IP = 40,
- instalovaný výkon 900 [kW], soudobý výkon 500 [kW],
- ocelovoplechový, zakrytovaný, počet polí 12,

- napěťová soustava : 3 + PEN ~ 50 [Hz], 0,4 [kV] / TNC - silová část rozvodny,
- ovládací napětí hlavních jističů : 2 – 220 [V] DC,
- ovládací napětí : 2 – 24 [V] DC,
- ovládací napětí : 1NPE 230 [V] ~ 50 [Hz],
- souměrný zkratový proud  $I_{KS} = 18,02$  [kA]; nárazový zkratový proud  $I_{KM} = 41,1$  [kA],
- hlavní jističe napájení :  $I_n = 630$  až 1600 [A]; jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost 65 [kA],
- stupeň důležitosti dodávky elektrické energie dle ČSN 341610 je druhého stupně,
- prostředí : v rozvodně 0,4 [kV] a kabelových prostorech dle ČSN 33 2000-1 ed.2 normální bez dalších nároků na zvýšená opatření,
- ochrana před nebezpečným dotykem živých částí je provedena : v soustavě 3 + PEN ~ 50 [Hz], 0,4 [kV] / TNC – krytím a izolací; v soustavě ovládacího napětí 220 [V] DC – krytím a izolací,
- ochrana před nebezpečným dotykem neživých částí je provedena : v soustavě 3 + PEN ~ 50 [Hz], 0,4 [kV] / TNC; v rozvodech 2 – 220 [V] DC / IT automatickým odpojením od zdroje; v obvodech SELV bezpečným napětím, vše dle ČSN 33 2000-4-41 ed. 2.

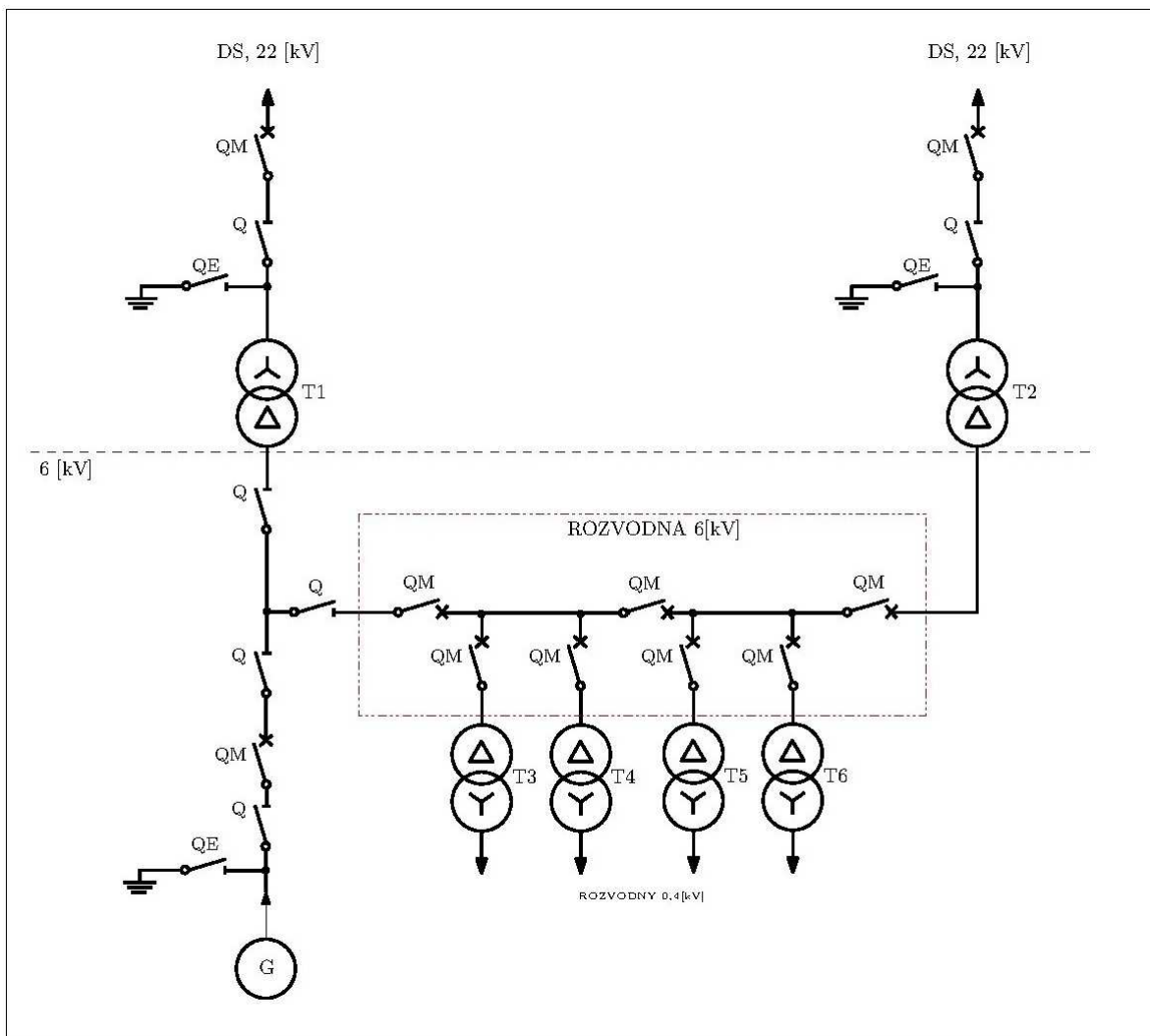
### 1.2.3 Výrobna

Vlastní výroba elektrické energie je zajištěna synchronním generátorem. Výstupní svorky SG jsou napojeny kabelem typu 6-CHKCE-R 3x70 [mm<sup>2</sup>] na svorky generátorového vypínače. Generátorový vypínač je realizován modulovým rozvaděčem vn. Výstup z generátorového vypínače je zapojen do společného uzlu na sekundární stranu blokových transformátorů 22/6,3 [kV] a hlavní přípojnice rozvodny vlastní spotřeby. Vstup elektrické energie do hlavního transformátoru 22/6,3 [kV] a hlavní rozvodny 6 [kV] je ještě vybaven odpojovači. Manipulace s těmito odpojovači se mohou provádět pouze bez zatížení, tedy při stavu, kdy není sepnut generátorový vypínač.

Takovéto řešení vyvedení výkonu SG umožňuje ihned spotřebovat vyrobenou elektrickou energii pro vlastní spotřebu. Přebytek elektrické energie ze SG je pak vyveden přes blokové transformátory do DS. Schéma vyvedení výkonu SG je na obrázku 1.6. [9], [10], [14], [23], [43]

Základní parametry SG dle technické dokumentace výrobce : [5], [43]

- Typ : DIDBN 120/118i/4,
- výkon : 1872 [kVA] při 15 [°C]; 1750 [kVA] při 40 [°C],
- $\cos \varphi$  : 0,8,
- napětí : 6,3 [kV],
- kmitočet 50 [Hz],
- otáčky 1500  $\text{min}^{-1}$ ,
- účinnost : 95,7 % při zatížení 4/4  $\cos \varphi = 0,8$ ,
- třída izolace : F,
- krytí : IP23,
- smysl otáčení : pravotočivý,
- s regulátorem pro paralelní provoz se sítí.

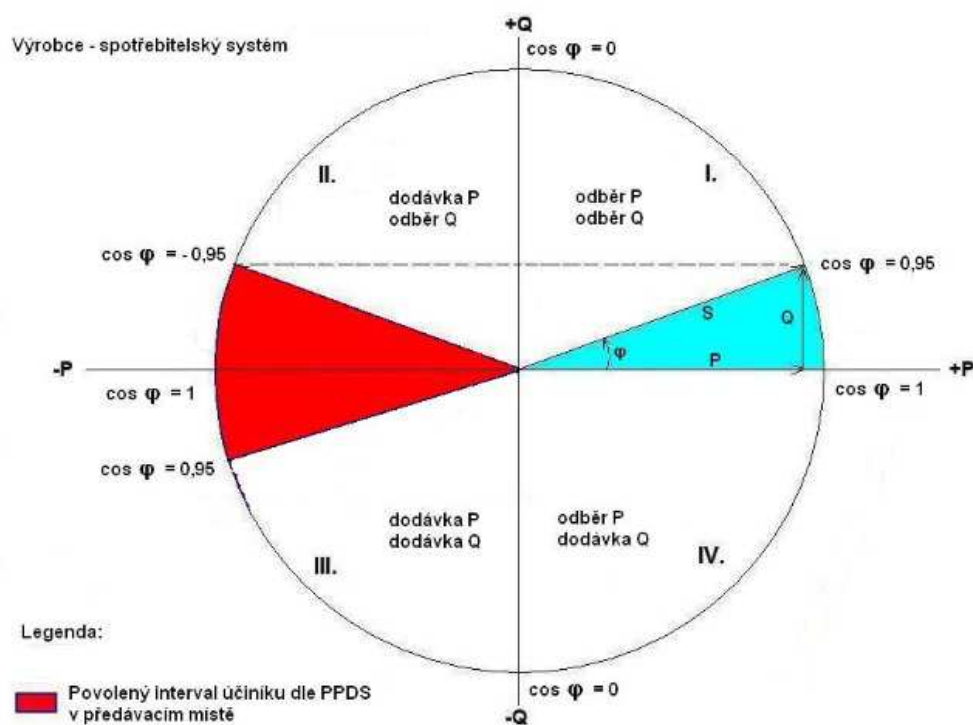


Obrázek 1.6 : Schéma vyvedení výkonu ze synchronního generátoru [27], [28], [29]

SG má bezkartáčový princip buzení. Budící vinutí bezkartáčového budiče je napájeno z regulátoru napětí. Výkon vytvořený ve třífázovém rotorovém vinutí budiče se usměřňuje 6 pulsním můstkovým usměřňovačem z polovodičových diod a napájí rotorové vinutí generátoru.

Výrobna dodává elektrickou energii v potřebné kvalitě. Chod zařízení nesmí ohrozit spolehlivost elektrizační soustavy a bezpečnost osob. Požadavky na zdroj napětí sdružené i fázové musí odpovídat PPDS.

Nesmí být překročeny parametry, jejichž dovolené hodnoty jsou uvedeny v normě a PPDS. [6], [8] Jedná se o flickr (blikání), frekvenci, obsah harmonických, napěťová nesymetrie a další. Nesmí dojít k nesynchronnímu sepnutí při zapínání synchronního stroje. Při poruše v síti nebo na zdroji musí dojít k automatickému odpojení zdroje od sítě a to i při jednofázové poruše. Účinník musí být udržován v požadovaných hodnotách dle obrázku 1.7.



Obrázek 1.7 : Požadavky na účinník v předávacím bodě sítě [6]

Zkratový výkon zdroje nesmí zvýšit celkovou hodnotu v síti nad zkratovou odolnost zařízení sítě (kontrola na tepelný a dynamický zkratový proud). Musí být zajištěno automatické vypnutí zdroje od rozvodné sítě, dostane-li se generátor do motorického chodu. Nesmí být snížena kvalita signálů HDO.

Kompenzační zařízení nesmí být spínáno dříve než hlavní vypínač. Po výpadku zdroje může být jeho zpětné zapnutí provedeno až po obnovení napětí v síti ve všech fázích. [6], [8], [10], [23], [41]

#### 1.2.4 Zařízení pro kompenzaci účinníku

Zařízení pro kompenzaci účinníku je tvořeno třemi samostatnými rozváděči. Kompenzační zařízení je umístěno v hlavní rozvodně. Každý z rozváděčů je vybaven vlastním regulátorem jalového proudu a dodává svůj kapacitní výkon v závislosti na nastavené hodnotě účinníku v měřeném bodě. Jedná se o kompenzátory se stupňovitou regulací. Každý regulátor má možnost spínat pět stupňů samostatných kondenzátorových baterií o různém předem definovaném kapacitním výkonu. Všechny regulátory mají nastavenou požadovanou hodnotu účinníku  $\cos \varphi = 0,96$ . Veškerý kompenzační výkon je dodáván na hladině napětí 0,4 [kV]. Každý kompenzační rozváděč je připojen do sítě teplárny kabelem AYKY 3 x 240 + 120 [mm<sup>2</sup>]. Rozváděč pro centrální kompenzaci je na obrázku 1.8. [1], [23], [45]



Obrázek 1.8 : Rozváděč pro centrální kompenzaci závodu 200 [kVAr]

Základní parametry kompenzačních rozváděčů dle technické dokumentace výrobce :  
[5], [45]

- Typ : EV200/8 Bx ( jsou použity tři tyto rozvaděče),
- jmenovitý výkon 200 [kVA<sub>r</sub>]; jmenovitý proud 400 [A], 50 [Hz]; IP = 40,
- jmenovité pracovní napětí 400 [V] ~ 50 [Hz] / TNC
- napětí řídicích obvodů 1NPE 230 [V] ~ 50 [Hz],

Jeden z rozváděčů zajišťuje centrální kompenzaci celého závodu a je napojen přímo na fakturační elektroměr. Z tohoto elektroměru dostává pulsy o aktuálním stavu účinníku elektrické energie v předávacím bodě. Na základě vyhodnocení účinníku v tomto bodě pak dodává do sítě potřebnou jalovou energii kapacitního charakteru. Žádný z kompenzačních rozvaděčů není určen pro dodávání jalové energie induktivního charakteru.

Další dva rozvaděče zajišťují skupinovou regulaci jalového výkonu v závodě. Jsou napojeny na přístrojové transformátory proudu na sekundární straně transformátorů 6/0,4 [kV]. Slouží jako před regulace účinníku pro centrální kompenzaci závodu, která pak dokončí regulaci účinníku na požadovanou hodnotu v předávacím bodě. Tím je dodávaný kapacitní výkon rozložen na více zdrojů jalového příkonu.

Toto je výhodné pro případ poruchy některé z kondenzátorových baterií. Systém je navržen tak, že centrální kompenzace pokryje svým kapacitním výkonem výpadek jednoho z rozvaděčů individuální kompenzace. Životnost kompenzačních kondenzátorů na základě vlastní provozní zkušenosti je kolem 10 roků provozu.

### 1.2.5 Zařízení na výrobu stejnosměrného napětí

Stejnosměrné napětí 220 [V] DC a 24 [V] DC se používá pro ovládání obvodů, které jsou důležité z hlediska funkce a bezpečnosti technologie a provozu.

Zdrojem záložního ovládacího napětí jsou olověné akumulátorové baterie. Pro výrobu napětí 2-220 [V] DC je použito 108 akumulátorových olověných článků. Každý článek dodává napětí 2,23 [V]. Tyto články jsou propojeny do série a jejich celkové výstupní napětí je 240 [V] DC. Takovéto uspořádání se označuje jako bateriová sekce 220 [V] DC. Z důvodu zálohování jsou použity dvě bateriové sekce. Baterie jsou umístěny v samostatné místnosti akumulátorovně. Tato místnost je klimatizována na stálou teplotu 20 [°C], což zaručuje optimální provozní schopnost baterií a maximální životnost. Akumulátorovna je na obrázku 1.9.



Obrázek 1.9 : Baterie na výrobu ovládacího napětí 2-220 [V] DC [26]

Kapacita jedné sekce baterií je  $216 \text{ [A h}^{-1}\text{]}$ . Tato napěťová soustava je plně izolována. Každá bateriová sekce je napojena na vlastní usměrňovač, který zajišťuje optimální dobíjení akumulátorových baterií a drží jejich stav na jejich jmenovité kapacitě.

Bateriové sekce jsou používány jako zdroj napětí pouze při výpadku napájení z DS. Při běžném provozu bez výpadku napájení je zdrojem ovládacího napětí právě usměrňovač. Bateriová sekce a usměrňovač mají propojeny své výstupy do společných přípojníc stejnosměrného napětí 2-220 [V] DC. Z těchto přípojníc je pak rozvedeno ovládací napětí k jednotlivým zařízením. Schéma zapojení zajišťuje nabíjení baterií při nepřerušném provozu zařízení. Celá konfigurace systému na výrobu ovládacího napětí je provedena zdvojeně, dvojitým systémem přípojníc s možností přepínání vývodů na obě sekce baterií a usměrňovačů. Kapacita plného provozu na záložní napájení 2-220 [V] DC je při výpadku 24 [hod] na každou sekci. V případě, že se odpojí světelné obvody pro nouzové osvětlení je kapacita mnohonásobně delší. [30], [31], [46]

Záložní ovládací napětí 2-220 [V] DC je požito pro tyto účely :

- Ovládací napětí pro rozvodny 22 [kV]; 6 [kV]; 0,4 [kV],
- signalizační napětí pro rozvodny 22 [kV]; 6 [kV]; 0,4 [kV],
- napájení střídačů 2 x 3000 [VA] pro počítače na HMI technologie,



- napájecí napětí pro elektrické ochrany vysokého napětí 22 [kV]; 6 [kV],
- nouzové osvětlení důležitých prostor a únikových cest.

Druhým používaným záložním ovládacím napětím je 2-24 [V] DC. Konfigurace tohoto systému je totožná s napětím 2-220 [V] DC, pouze napětí 24 [V] má uzemněn kladný pól.

Záložní ovládací napětí 2-24 [V] DC je použito pro tyto účely :

- Ovládací napětí pro synchronní generátor,
- ovládací napětí pro zábleskové ochrany v rozvodně 6 [kV].

## 2 Schéma transformovny 22/6 kV

### 2.1 Základní charakteristika transformovny 22/6 [kV]

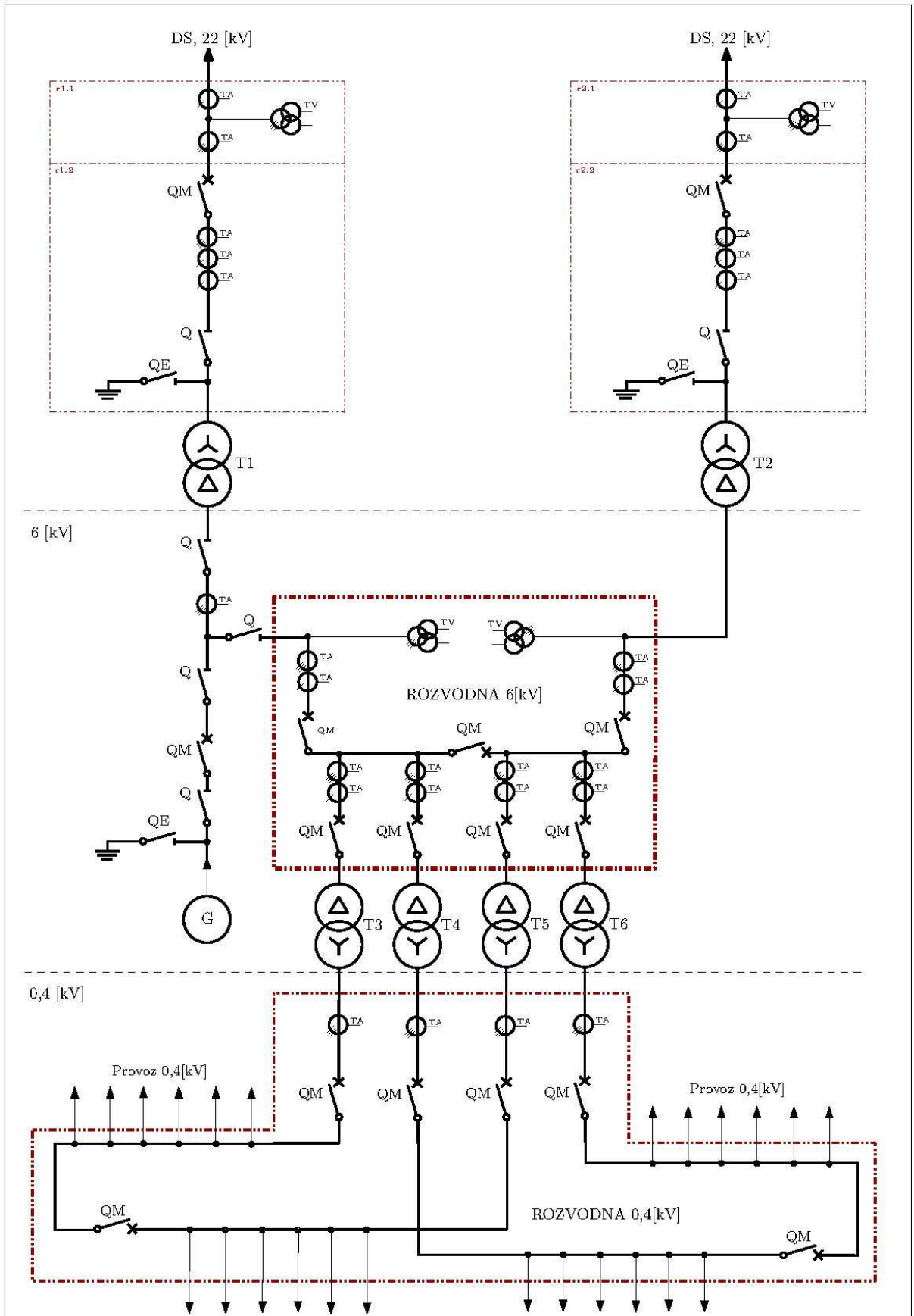
Transformaci napětí z 22 na 6 [kV] zajišťují dva blokové transformátory. Jeden z blokových transformátorů je používán pro trvalý provoz a druhý slouží jako záložní rezerva. Transformátory jsou stejného typu, shodných technických parametrů. Technické parametry transformátorů jsou uvedeny v kapitole 1.2.1. Blokové schéma transformovny je na obrázku 2.1.

Transformátory jsou na primární straně napětí zapojeny do hvězdy, ale společný střed není vyveden ani nijak uzemněn. Jedná se o síť 22 [kV] provozovanou s izolovaným uzlem proti zemi. Sekundární strana transformátorů je spojena do trojúhelníku, jedná se o síť 6 [kV] izolovanou proti zemi.

Transformovna je provozována jako elektrická síť IT se skupinovým ochranným uzemněním elektrických zařízení. V průmyslovém závodě je společná mřížová zemnicí soustava, na kterou jsou připojeny neživé části elektrických zařízení ze všech druhů provozovaných elektrických sítí IT a TN.

Síť IT je malého rozsahu, kde kapacitní proud při zemním spojení nepřesahuje hodnotu 10A a je pod trvalým dozorem kvalifikované obsluhy. To zajišťuje bezpečnost osob při zemním spojení jedné z fází. Dojde-li v soustavě s izolovaným uzlem transformátoru k poruše izolace na jedné fázi systému vysokého napětí a tím k vodivému spojení této fáze se zemí, je celý systém nadále provozován. Sdružené napětí systému se nemění, dochází k deformaci hvězdy fázových napětí. Mezi dvěma zbylými zdravými fázemi a zemí je nyní napětí sdružené a ze sítě IT se stává síť TN. Toto zvýšené napětí vyvolává i zvýšené toky kapacitních proudů přes fázové kapacity zdravých fází. Výsledný kapacitní proud se pak vrací místem poruchy a postiženou fází zpět do transformátoru.

Tento provozní stav je signalizován hlídačem izolačního stavu sítě jako zemní spojení a musí být neprodleně odstraněno. Provozování transformovny jako izolované soustavy zaručuje vysokou spolehlivost kontinuity napájení. [3], [5], [19], [21], [30], [32], [41]



Obrázek 2.1 : Schéma transformovny 22/6 [kV] [27], [28], [29]

## 2.2 Ovládání transformátorů

Ovládání transformátorů lze provádět třemi technickými způsoby. Ručním ovládáním tlačítka přímo z čelní desky rozváděče v rozvodně. Ručním ovládáním tlačítka z panelu mozaiky instalovaném na dozorně, nebo tlačítka z panelu ŘS instalovaném rovněž na dozorně. Místní ovládání z čelní desky rozváděče v rozvodně funguje paralelně k ovládání z dozorny a není nijak blokováno, lze ho provádět vždy. Ovládání z mozaiky nebo z ŘS se vzájemně volí přepínačem a lze provádět jen z jednoho ovládacího systému. Při ovládání z panelu ŘS jsou manipulační postupy naprogramovány tak, že nelze udělat chybu při manipulaci se zařízením. Například je blokován povel zapnutí jističe s nižší napětíovou úrovní, pokud není sepnut jistič s vyšší napětíovou úrovní. Je navolen sled odstavování a najíždění zařízení. Při odstavování se musí vypínat vždy zařízení směrem od nižší napětíové hladiny k vyšší napětíové hladině. Při uvádění do provozu je tomu vždy naopak. Jeden z transformátorů nelze odstavit samostatně, pokud druhý není v paralelním chodu, aby nedošlo ke stavu bez napětí. Při použití ručního ovládání z rozváděče nebo mozaiky tyto blokády nejsou aktivní a je plně na zodpovědnosti obsluhy, aby dodržela postup uvedený v provozním předpisu. Transformátory jsou proto ovládány převážně z panelu řídicího systému. Ostatní možnosti ovládání jsou používány pouze z mimořádných provozních důvodů.

Panel s mozaikou ručního ovládání a panel ŘS systému jsou zobrazeny na obrázku 2.2. Všechny druhy ovládání jsou vybaveny signalizací stavu zařízení. Jsou signalizovány stavy vypnutí nebo zapnutí vypínače. Stav vozíku s vypínačem - vysunut - zasunut - revizní poloha. Signalizace ovládacího napětí a stav poruchy. Ovládání, kde jsou stavy signalizovány světelnými LED diodami, je vybaveno tlačítkem na test funkce těchto signalizačních svítidel. [17], [18], [20], [47]



Obrázek 2.2 : Panel s mozaikou ručního ovládání a panel ŘS na dozorně [26]

### 2.3 Připojení transformátorů a jejich přístrojové vybavení

Transformátory jsou připojeny kabelovým vedením na své primární a sekundární vinutí přímo na vývodech na transformátoru. Druhé konce kabelových vedení jsou pak ukončeny v modulových rozváděčích vysokého napětí.

Tyto vysokonapěťové rozvaděče jsou vybaveny vakuovými vypínači, které zajišťují bezpečné připojování a odpojování transformátoru do elektrického obvodu. Vypínače vn jsou dimenzovány tak, aby při běžném provozu a v případě zkratu dokázaly zařízení bezpečně odpojit, tedy v dostatečně krátkém čase.

Vypínač v modulovém rozvaděči vn k ovládání sekundární strany 6 [kV] blokového transformátoru je zobrazen na obrázku 2.3.



Obrázek 2.3 : Vypínač v modulovém rozváděči vn na ovládání blokového transformátoru [26]

Tyto modulové rozváděče jsou vybaveny přístrojovými transformátory proudu a napětí. Pomocí těchto přístrojových transformátorů jsou monitorovány a vyhodnocovány všechny provozní stavy blokových transformátorů. Na základě zpracování a vyhodnocení těchto signálů z přístrojových transformátorů pak dochází k vypínání vypínačů vn povely (elektrický impuls na úrovni 220 [V] DC) z digitálních ochran.

PTP jsou zapojeny v sérii se silovým elektrickým vedením blokového transformátoru. PTN jsou zapojeny paralelně k silovému elektrickému vedení. Na primární straně 22 [kV] blokového transformátoru jsou použity PTP s převodem 50/5 [A] a 150/5 [A], PTN s převodem 22/0,1 [kV]. Na sekundární straně 6 [kV] blokového transformátoru jsou použity PTP s převodem 600/5 [A], PTN s převodem 6/0,1 [kV].

Unifikované výstupní signály těchto přístrojových transformátorů jsou pak zapojeny do:

- Zobrazovacího analogového nebo digitálního přístroje proudu [A], napětí [V], výkonu činného [W], nebo jalového [VAr], účinníku [ $\cos \phi$ ],
- vstupů elektrických digitálních ochran blokových transformátorů,
- řídicího systému na monitorování a ovládání zařízení (HMI),
- schématu mozaiky na monitorování a ovládání zařízení,

- obchodního měření pro fakturační účely dodávky a spotřeby elektrické energie.

Na výstupní signál PTP, nebo PTN je napojeno více přístrojů, je třeba zohlednit jmenovitý zdánlivý výkon přístrojových transformátorů udávaný ve [VA], který nesmí být překročen.

Z tohoto důvodu je instalováno v modulových rozvaděcích více přístrojových transformátorů, nebo jsou konstrukčně provedeny s více jádry.

Pro zadané blokové transformátory jsou na primární straně instalovány :

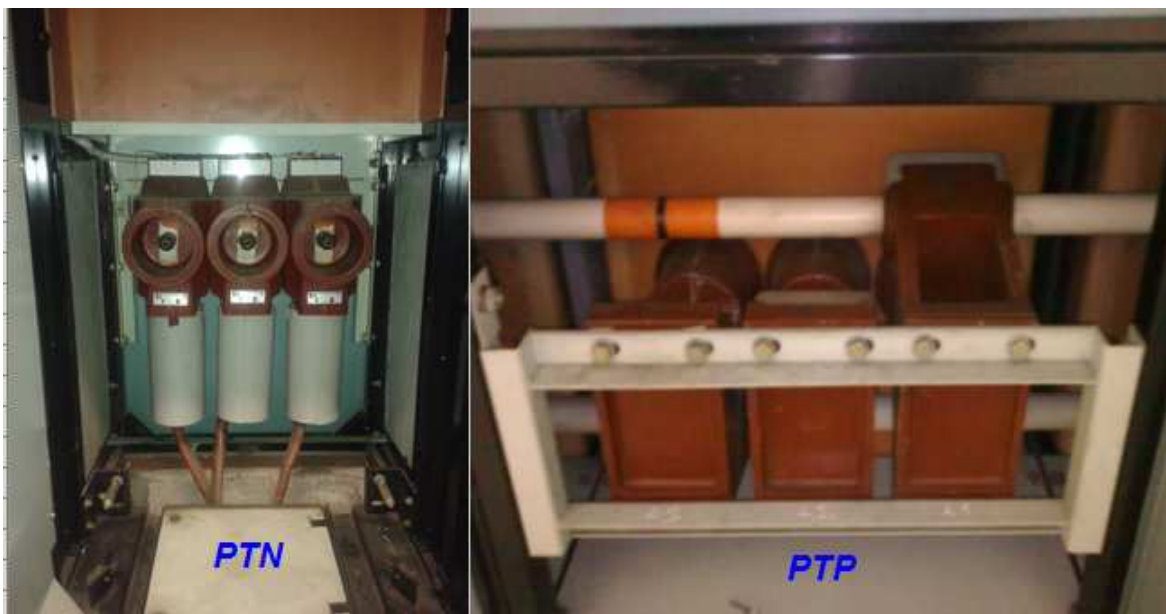
- certifikovaný PTP s jedním jádrem pro připojení na obchodní měření,
- certifikovaný PTN s třemi jádry pro připojení na obchodní měření, pro připojení na řídicí systém,
- PTP s třemi jádry pro připojení na řídicí systém,
- PTP s jedním jádrem pro připojení do elektrických digitálních ochranných systémů,
- PTP s jedním jádrem pro připojení na přístroj umístěném na čelní desce modulového rozvaděče vn,

Pro zadané blokové transformátory jsou na sekundární straně instalovány :

- PTP s třemi jádry pro připojení na přístroje umístěné na čelní desce modulového rozvaděče vn - ampérmetr, wattmetr vlastní spotřeby,
- PTP s jedním jádrem pro připojení do řídicího systému,
- PTN s třemi jádry pro připojení na přístroje na čelní desce modulového rozvaděče vn - voltmetry, wattmetr vlastní spotřeby, do řídicího systému na dozorně,

Na sekundárním kabelovém vedení blokového transformátoru je ještě průvlečný PTP s třemi jádry, který je zaveden do rozdílové diferenciální digitální ochrany a do proudové digitální ochrany. Na obrázku 2.4. jsou zobrazeny PTN a PTP v modulovém rozvaděči vn 6 [kV] při odejmutí zadního krytu rozvaděče.

[1], [3], [5], [6], [7], [17], [19], [21], [23], [30], [41],[43]



Obrázek 2.4 : PTN a PTP instalované v modulovém rozvaděči vn 6 [kV] [26]

## 2.4 Chránění transformátorů

Bezpečný provoz transformátorů je zajištěn systémem digitálních ochran a ochran instalovaných na vlastním transformátoru. Systém ochran je navržen s požadavky na chránění transformátoru od výkonu 1 [MVA] do výkonu 5 [MVA].

Zadané transformátory jsou vybaveny ochranami :

- Rozdílovou digitální ochranou transformátoru - měří proudy na obou koncích transformátoru. Z rozdílu mezi těmito proudy rozpozná poruchu uvnitř transformátoru. Ochrana je vybavena proti blokování při zapínacím nárazu, aby nedocházelo k nežádoucímu vybavení. Důvodem je nárazový zapínací proud transformátoru při jeho zapnutí, tento zapínací proud dosahuje 6 až 10 násobku jmenovitého proudu transformátoru v závislosti na konstrukci transformátoru a použitých transformátorových plechů, ochrana rovněž hlídá nesymetrii proudů v jednotlivých fázích a vypíná při vzájemné nesymetrii nad 30 %.
- Ochrana přetížení transformátoru - je zajištěna proudovým článkem digitální ochrany, který sleduje zatížení transformátoru, ochrana je nastavena na dosažení hodnoty 1,25 jmenovitého proudu transformátoru a čas 12 sekund.
- Proudová zkratová ochrana transformátoru - je zajištěna proudovým článkem digitální ochrany, který sleduje okamžitý proud transformátorem, ochrana je nastavena na dosažení hodnoty 1,6 jmenovitého proudu transformátoru a vypíná okamžitě.



- Plynové relé (Buchholzovo relé) - je osazeno přímo na nádobě transformátoru, má dva stupně signalizace poruchového stavu, 1. stupeň signalizuje výstrahu a 2. stupeň odpojuje transformátor, výstupy z tohoto relé jsou zavedeny do digitální ochrany na její binární vstupy a ta pak realizuje samotné odpojení vypínačů vn, plynové relé reaguje na vývin plynů v oleji vlivem tepla z elektrického oblouku nebo ohřátí některého z vodičů nad přípustnou mez.
- Měření teploty oleje - je osazeno přímo na nádobě transformátoru, má dva stupně signalizace poruchového stavu, 1. stupeň signalizuje výstrahu při teplotě 70 [°C] a 2. stupeň odpojuje transformátor při teplotě 100 [°C], limitní výstupy z tohoto teploměru jsou zavedeny do digitální ochrany na její binární vstupy a ta pak realizuje samotné odpojení vypínačů vn.
- Limitní snímání hladiny oleje - je osazeno přímo na nádobě transformátoru. Při snížené hladině oleje v transformátoru se signalizuje výstraha pro obsluhu.

Výpočet a nastavení digitálních ochran provedl přímo výrobce a zároveň dodavatel těchto přístrojů. Digitální ochrany se nechávají prověřovat a nastavovat v intervalu každých 5 let. Provádí se na nich sekundární zkouška ochran. Ta ověří funkci a spolehlivost samotné digitální ochrany. Provádí se tak, že na vstup digitální ochrany jsou přivedeny unifikované simulované signály z přístrojových transformátorů. Ochrana musí reagovat na simulované stavy těchto signálů a odpojit příslušné vypínače vn.

[12], [18], [21]

## 2.5 Revize a údržba transformátorů

Údržba a revize transformátorů se provádí periodicky každý rok a zajišťuje ji externí dodavatel s certifikací udělenou od výrobce transformátorů.

Na transformátorech se provádí roční preventivní údržba a měření :

- měření izolačních stavů vinutí
- odzkoušení plynového relé - kontrola výstrahy a vypnutí
- odzkoušení kapilárního kontaktního teploměru - výstraha 70 [°C] a vypnutí 100[°C]
- výměna silikonové náplně
- dotažení všech spojů, výměna podložek

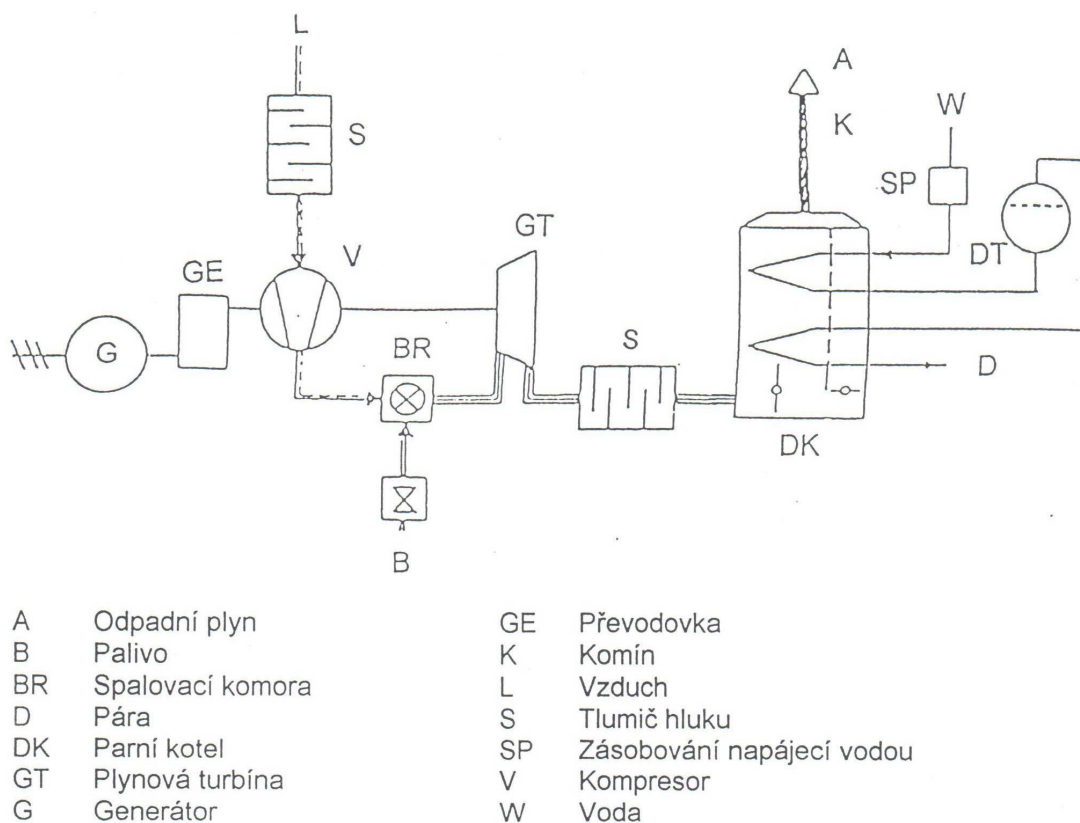
- kontrola hladiny oleje v konzervátoru
- očištění transformátoru
- rozbor oleje z nádoby transformátoru - průrazné napětí, obsah vody, přítomnost kalů

Dodržení předepsaného plánu údržby zajišťuje dlouhou životnost a maximální provozní využití transformátoru. I přes zodpovědné dodržení a provádění všech předepsaných revizí a preventivní údržby samotného transformátoru, nebo ochran a ostatních přístrojů, došlo na hlavním blokovém transformátoru k jeho vnitřnímu zkratu. Tento zkrat znamenal značné poškození transformátoru a jeho nákladnou dílenskou opravu. Cena opravy představovala 70% ceny nového transformátoru. Poškozena byla dvě vinutí transformátoru. Příčinu zkratu a zničení transformátoru se nám nepodařilo zjistit ani ve spolupráci s výrobcem a provozovatelem veřejné sítě. [17], [19], [32], [47]

### 3 Specifická část elektrické stanice, zabývající se výrobou elektřiny a tepla.

Specifickou část stanice zabývající se výrobou elektřiny a tepla tvoří plynová turbína s generátorem. Zařízení slouží k hospodárné výrobě elektrické energie při současném využití tepelné energie odpadních plynů.

Tento způsob přeměny energie se označuje jako kogenerace a je realizován zařízením nazývaným kogenerační jednotka. Dosahuje 80 % až 95 % využití energie vstupního paliva v závislosti na využití teploty odplynů a dané vstupní teploty vzduchu. V tomto zařízení se realizuje združená výroba elektřiny a tepla v jednom výrobním cyklu. Blokové schéma kogeneračního zařízení je na obrázku 3.1. [10], [35], [36], [37]



Obrázek 3.1 : Blokové schéma kogeneračního zařízení [10]

#### 3.1 Popis zařízení kogenerační jednotky

Kogenerační jednotka se sestává z turbosoustrojí složeného z plynové turbíny s převodovkou, pružné spojky, generátoru a základního rámu.

Základní rám je osazen všemi pro provoz nutnými zařízeními a vše je zabudováno v protihlukovém krytu. Zařízení je umístěno v krytu z důvodu snížení hladiny hluku, která

dosahuje ve vzdálenosti 1 [m] od krytu hodnoty 85 [dB].

Kogenerační jednotka zabudována v protihlukovém krytu je na obrázku 3.2.



Obrázek 3.2 : Kogenerační jednotka v protihlukovém krytu [26]

Přístup k turbosoustrojí a pomocným zařízením je umožněn třemi dveřmi v krytu kogenerační jednotky. Obsluha zařízení se provádí z vnějšku. Provoz kogenerační jednotky je plně automatický a jeho řídicí panel je umístěn v blízkosti kogenerační jednotky.

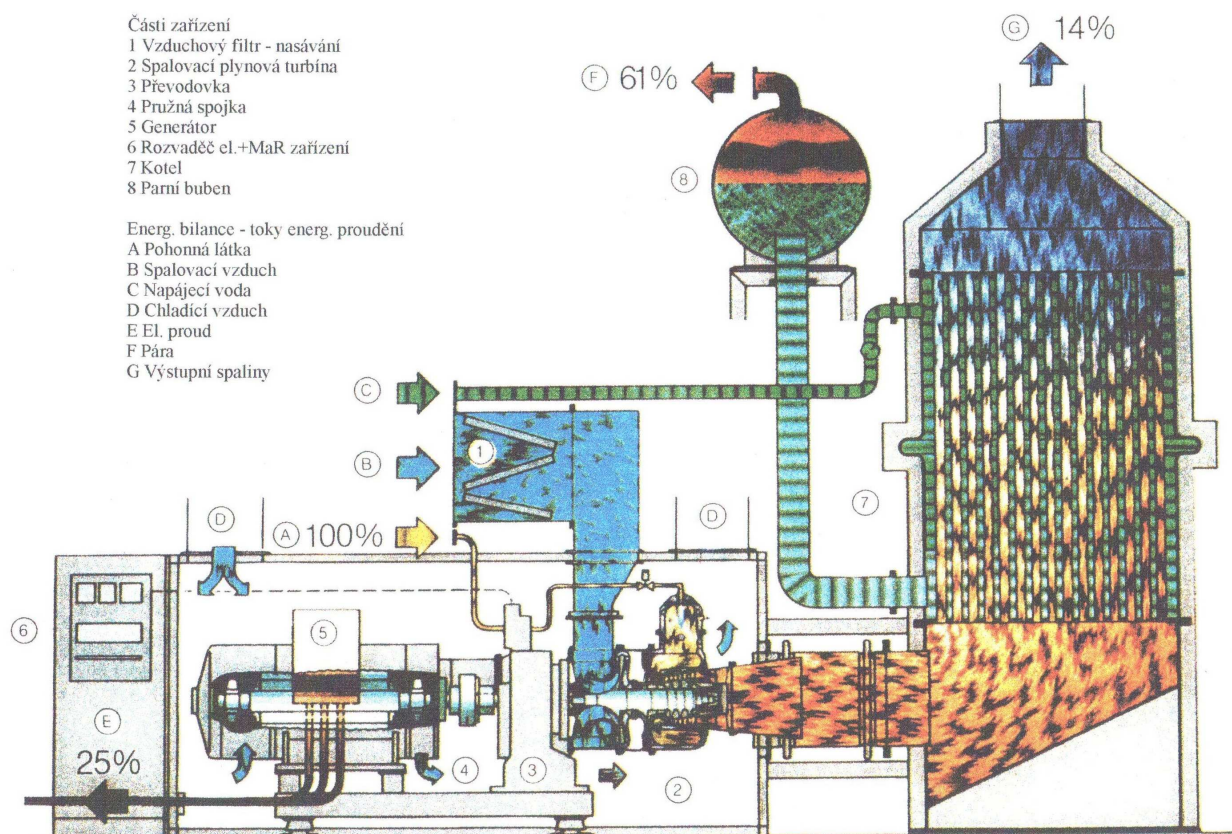
Turbína se používá pro provoz na plynné palivo. Využité teplo je obsaženo výhradně v odpadním plynu. Tento odpadní plyn dosahuje vysoké teploty cca. 500 [°C], což je využito na získání tepla v podobě páry. Na potrubí odpadního plynu je napojen parní kotel. Tímto způsobem je využito vstupní palivo ve formě plynu pro získání dvou druhů výstupní energie v podobě elektřiny a tepla.

Energetická bilance kogenerační jednotky je zobrazeno na obrázku 3.3.

Ze 100% vstupního plynu se použije 25 % na výrobu elektrické energie, 61% se využije z teploty odpadních spalin na výrobu tepelné energie, zbývajících 14% odchází nevyužito ve formě spalin komínem. Celková účinnost cyklu kombinované výroby dosahuje cca. 86 %. [10], [35], [36], [37]

Základní technické parametry kogenerační jednotky a spalínového kotle dle technické dokumentace výrobce : [10]

- Typ kogenerační jednotky : KA 1134DG,
- typ plynové spalínové turbíny : M1A - 11A,
- typ synchronního generátoru : DIDBN 120/118i4,
- teplota nasávaného vzduchu : 15 [°C],
- výkon na svorkovnici generátoru : 1.000 [kW],
- otáčky na hřídeli generátoru 1500  $\text{min}^{-1}$ ,
- otáčky na hřídeli plynové turbíny 22000  $\text{min}^{-1}$ ,
- spotřeba plynu : 502 [ $\text{m}_n^3/\text{h}$ ],
- elektrická účinnost : 23,4 %,
- teplota odplynů : 500 [°C],
- hmotový proud odplynů : 7,7 [kg/s],
- užitečné teplo o odplynu při vychlazení na 140 [°C] : 2891 [kW],
- stupeň využití : 77,5 %,
- Nox při 15 [°C] v plynu : 260 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ],
- CO při 15 [°C] v plynu : 50 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ],
- nespálený CO při 15 [°C] v plynu : 20 [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ],
- typ spalínového kotle : AWKG
- instalovaný tepelný výkon : 2,81 [ $\text{MW}_t$ ],
- parní výkon : 4,0 [t/h],
- teplota napájecí vody : 105 [°C],
- teplota přehřátí : 220 [°C],
- provozní přetlak : 1,3 [MPa],
- teplota spalín na vstupu do komína : 155 [°C],
- celková výpočtová výhřevná plocha : 587 [ $\text{m}^2$ ]
- komín : průměr 850 [mm], tloušťka izolace 60 [mm], výška 34 [m],
- palivo : zemní plyn, čistý a suchý,
- tlak plynu před turbínou : 13 [bar]  $\pm$  0,35 [bar],
- teplota dodávaného plynu : -20 [°C] až 65 [°C],
- množství dodávaného plynu při plném zatížení : 600 [ $\text{m}^3/\text{h}$ ].



Obrázek 3.3 : Energetická bilance a části zařízení kogenerační jednotky [10]

Teplo získané ve spalinovém kotli je ve formě páry napojeno do středotlakého parního rozdělovače. Parametry této páry mají maximální množství 4 [t/h], tlak 12,5 [bar] a teplotu 245 [°C]. Ze STPR je pak pára distribuována přímo do parovodu nebo do výměňkových stanic. Ve výměňkové stanici dochází k úpravě parametrů teplotnosné látky, v našem případě páry na hodnoty požadované vnitřním zařízením horkovodu pro dodávku tepla k odběratelům. Ve VS dojde k předání tepelné energie páry prostřednictvím výměníků tepla do topné vody, která distribuuje teplo v horkovodu k odběratelům. [10]

### 3.2 Synchronní generátor na výrobu elektřiny

Synchronní generátor je připojen na hřídel převodovky, která je zapojena mezi ním a plynovou turbínou. Jmenovité otáčky plynové turbíny jsou 22000 ot.  $\text{min}^{-1}$ . Na straně připojení převodovky k SG jsou konstantní otáčky hřídele 1500 ot.  $\text{min}^{-1}$ . SG je konstrukčně vyroben se čtyřmi póly, čímž je zaručena požadovaná hodnota výstupní frekvence 50 [Hz] pro točivé elektrické pole, což odpovídá 3000 ot.  $\text{min}^{-1}$ . Základní parametry SG dle technické dokumentace výrobce jsou uvedeny v kapitole 1.2.3.

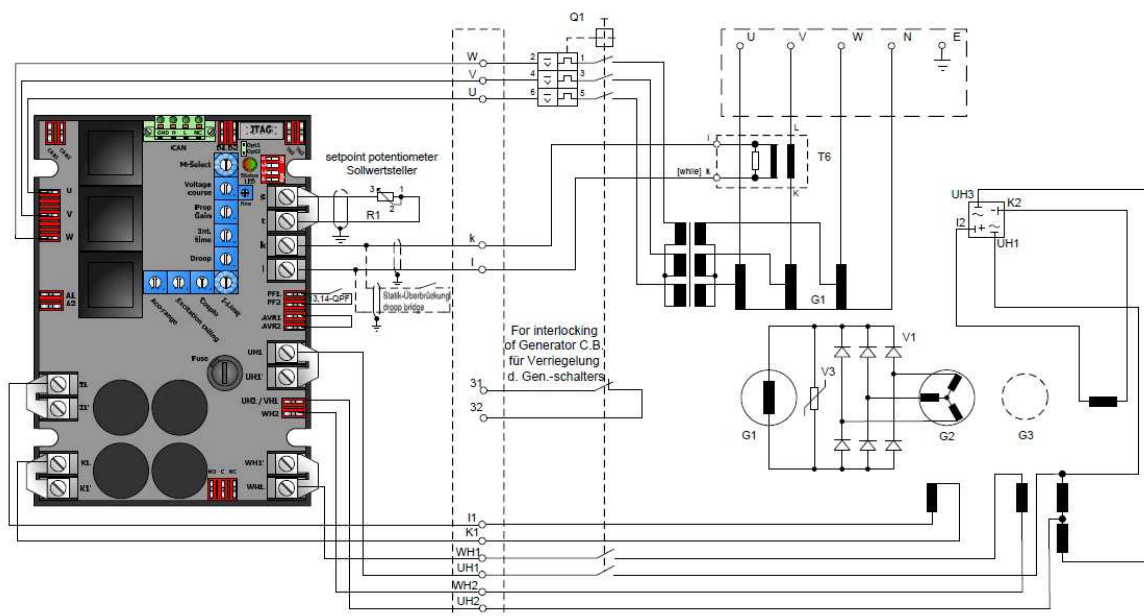
Generátor se sestává z elektrického stroje s elektromagnetem otáčejícím se kolem vinutí statoru s budícím generátorem jako strojem s pevným magnetem a otáčející se kotvou, pomocného generátoru s permanentním magnetem a z regulátoru napětí a tranzistorovým regulačním článkem.

Konstrukčně představuje generátor jednu jednotku. Budící zařízení je složeno z budícího generátoru, pomocného generátoru a z rotujících diod. Představuje rovněž jednu jednotku.

Rotující díly budícího zařízení jsou na stejném hřídeli. Regulátor napětí je v separátní připojovací skříni na generátoru. Generátor je chlazen průvanem vzduchu. Vzduch se nasává axiálním ventilátorem v generátoru a je vyfukován na straně pohonu.

Regulátor napětí udržuje při paralelním chodu generátoru a sítě stálý jalový výkon. Svým výkonovým stupněm nastavuje budící proud generátoru, odpovídající provoznímu stavu.

Schéma regulace napětí a účinníku je na obrázku 3.4. [10]



Obrázek 3.4 : Schéma regulace napětí a účinníku generátoru [10]

Řízení provozu celé kogenerační jednotky včetně generátoru je vestavěno do sestavy rozváděčových skříní, umístěných v blízkosti kogenerační jednotky. Veškeré algoritmy řízení generátoru jsou naprogramovány v řídicím automatu. Tento programovatelný řídicí automat zajišťuje kompletní řízení a kontrolu provozu veškerých zařízení souvisejících s provozem generátoru a kogenerační jednotky jako celku. Všechny provozní stavy generátoru jsou monitorovány v systému HMI, který má k dispozici obsluha zařízení na dozorně. Ovládací panel na provozování generátoru je na obrázku 3.5.



Obrázek 3.5 : Ovládací panel na provozování generátoru [26]

Z ovládacího panelu generátoru lze v případě potřeby provést ruční synchronizaci připnutí generátoru k síti a lze také generátor od sítě odfázovat. Při odfázování zůstává v provozu plynová turbína a generátor je v nabuzeném stavu na požadované napětí do doby opětovného povelu na přifázování. Provozní stavy generátoru jsou napojeny na dispečink provozovatele DS. Provozovatel DS má možnost generátor v případě potřeby dálkově odpojit. Toto odpojení se provádí způsobem odfázování generátoru od sítě. Tento způsob odpojení elektrického výkonu od DS je zvolen z důvodu zachování tepelného výkonu z kogenerační jednotky.



Bezpečný provoz generátoru je zajištěn instalovanými ochranami seřízenými na požadované provozní hodnoty. Systém ochran generátoru je vybaven v souladu s požadavky normy. Systém ochran generátoru zajišťuje jeho rychlé odpojení v čase, který je stanoven tak, aby se zabránilo vzniku jakýchkoli škod. Zkoušky ochrany generátoru jsou prováděny dodavatelem kogenerační jednotky každých 5 let. Schéma generátoru je na obrázku 3.6.

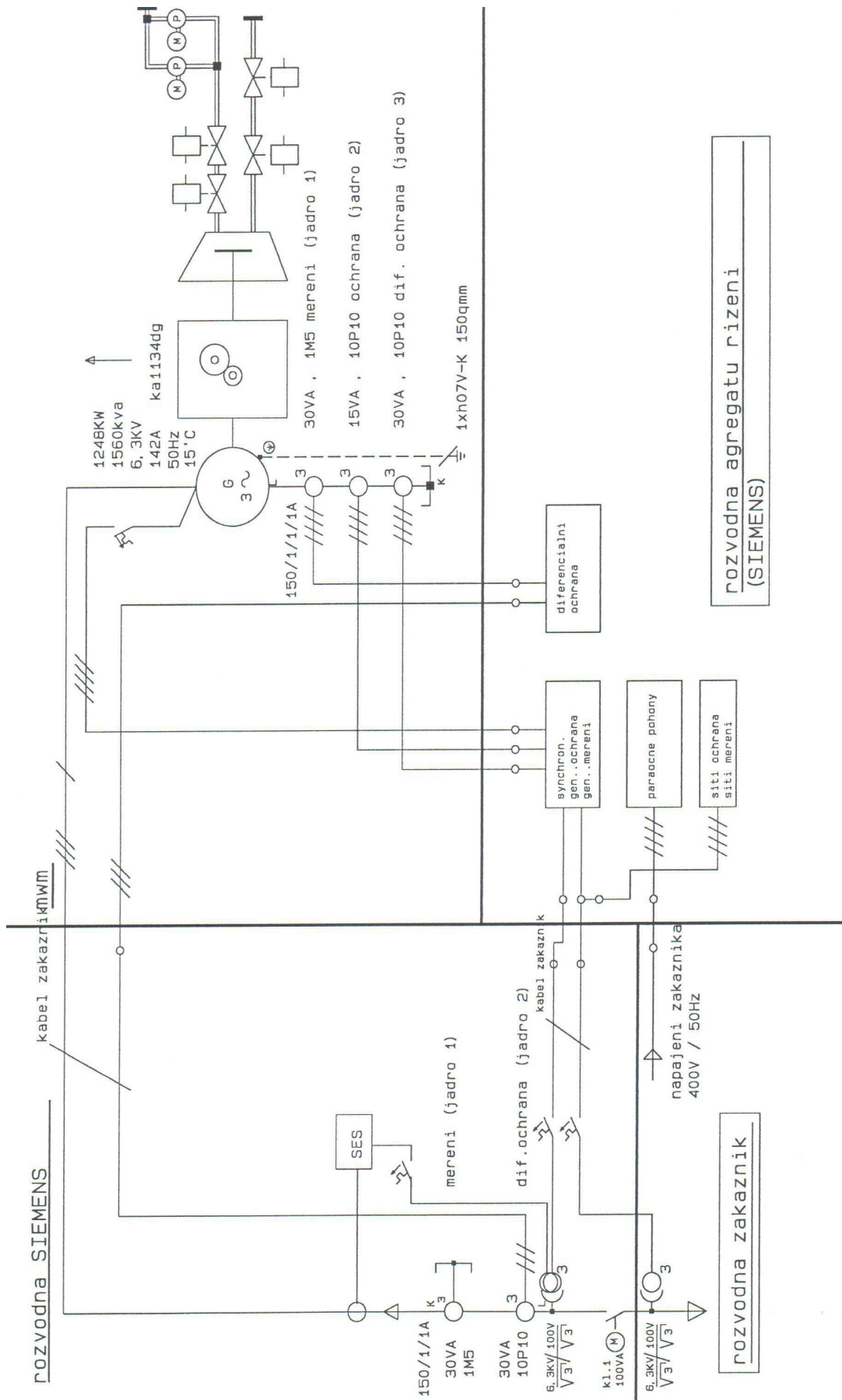
Zadaný generátor je vybaven ochranami :

- rozdílovou
- nadproudovou zkratovou časově nezávislou
- zemní ochranou statoru a rotoru
- přetížení statoru
- zpětnou wattovou

Generátor může pracovat pouze při zajištěném napájení z DS. Není uzpůsoben pro ostrovní provoz. Kogenerační jednotka je provozována v takzvaném špičkovém režimu výroby energie. Provozuje se od pondělí do pátku v časech od 7<sup>00</sup> hodin do 18<sup>00</sup> hodin. Takovýto režim provozu zajišťuje vyšší výkupní cenu za každou vyrobenou [MWh] elektrické energie. Příplatek za každou vyrobenou [MWh] je také za provozování výroby typu KVET.

Nevýhodou špičkového provozu v určený čas jsou vyšší nároky na údržbu a životnost zařízení. Takovýto způsob provozu zkracuje provozní hodiny zařízení do předepsané údržby, především v důsledku četných startů a neustálé změny teploty zařízení.

Velké nároky jsou kladeny na stejnosměrný motor, který zajišťuje rovnoměrné otáčení hřídele soustrojí po dobu 12 hodin od odstavení. I přes zvýšené náklady na údržbu a opravy se vyplatí provozovat kogenerační jednotku ve špičkovém režimu dodávky elektrické energie. [10], [39]



Obrázek 3.6 : Blokové schéma generátoru [10]

## 4 Výstupy funkcí výměňkových stanic

Teplu ze zdrojů tepla je distribuováno směrem k odběrným místům prostřednictvím tepelných sítí pomocí média s vyšší teplotou a tlakem, nejčastěji v horkovodu, případně parovodu. Pro transformaci těchto vyšších parametrů topného média v místech poblíž vlastní spotřeby tepla s nižšími parametry teplotnosného média, se používají výměňkové stanice tepla. [22], [26], [38]

Výměňkové stanice můžeme dělit podle vstupního média na :

- horkovodní : teplotnosným médiem je voda typicky s maximální teplotou 130 [°C] a tlakem 2,4 [MPa]
- parní : teplotnosným médiem je pára typicky s maximální teplotou 220 [°C] a tlakem 1,2 [MPa]

Dále se dělí na výměňkové stanice :

- určené pro centrální ohřev topné vody pro ÚT a ohřev TV rozváděné dále přímo do objektů čtyřpotrubním rozvodem, maximální teplota výstupní vody ÚT z VS je 85 [°C], maximální teplota výstupní vody TV je 60 [°C] a minimální teplota TV je 45 [°C]
- určené pro ohřev topné vody dále rozváděné dvoupotrubním rozvodem k objektovým předávacím stanicím, maximální teplota výstupní vody z VS je 85 [°C]

VS slouží jako zdroj tepelné energie pro sekundární rozvody systémů CZT. VS jsou zejména určeny pro systémy dálkového vytápění jako prvek tlakového oddělení primární sítě CZT a před regulaci topné vody pro objektové předávací stanice, nebo řeší ekvitermní regulace ÚT a centrální ohřev TV.

V rámci VS je řešena také cirkulace TV pomocí soustavy oběhových čerpadel s řízením diferenčního tlaku a doplňováním upravené vody a udržováním statického tlaku v sekundárních rozvodech systému. Pro měření spotřeby tepla jsou osazeny měřiče tepla na vstupu VS a okruhu TV.

U parních výměňkových stanic je navíc součástí i kondenzátní hospodářství, zahrnující odvádění kondenzátu, sběrnou nádrž kondenzátu s hlídáním hladiny a přečerpáváním kondenzátu zpět ke zdroji. [22], [24], [25], [26]

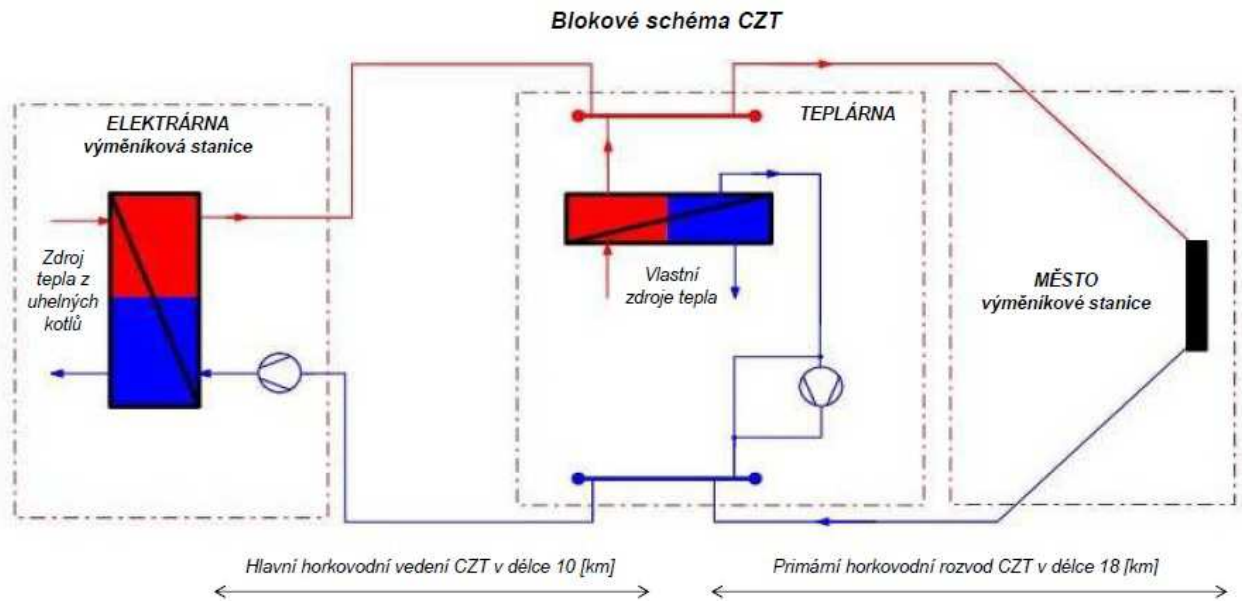
#### 4.1 Primární systém dodávky tepla CZT

Primární systém dodávky tepla se označuje jako CZT. Je realizován horkovodním dvou-trubkovým potrubím  $2 \times \text{DN } 600$  [mm] z VS zdroje tepla, kterým je elektrárna. Horkovodní potrubí CZT má délku 10 [km] a propojuje hlavní zdroj tepla - Elektrárnu s Teplárnou, která pak zajišťuje rozvod tepla k odběratelům. Horkovodní potrubí je provedeno jako nadzemní vedení. Horkovodní potrubí je osazeno každých 200 [m] diodovými uzemňovacími skříňkami, které jej chrání proti účinkům přepětí a bludných proudů.

Horkovodní potrubí je opatřeno sekčními uzávěry, které jsou provedeny uzavírací armaturou opatřenou elektrickým servo-pohonem pro vstupní i vratnou větev potrubí. Sekční uzávěry jsou montovány vždy po každém kilometru horkovodního vedení. Zajišťují možnost uzavřít dílčí část horkovodního potrubí pro případ nutných oprav.

Blokové schéma CZT je na obrázku 4.1.

Teplárna pak zajišťuje rozvod tepla vlastní horkovodní sítí do městských částí ke konečným zákazníkům. Horkovodní potrubí teplárny má délku 18 [km] a je napojeno na 170 sekundárních VS. Horkovodní potrubí je vedeno převážně v zemi a kolektorech. Horkovodní síť teplárny je realizována tří-trubkovým potrubím. Vstupní potrubí je DN 400 [mm] a dvě vratné potrubí jsou  $2 \times \text{DN } 200$  [mm]. Jedno z vratných potrubí je možno použít obousměrně. V případě potřeby jej lze využít i jako potrubí vstupní. Horkovodní potrubí je rovněž opatřeno sekčními uzávěry, vždy v místě každého odbočení a větvení horkovodního vedení.



Obrázek 4.1 : Blokové schéma CZT [27], [28], [29]

Parametry horkovodu CZD dle dokumentace dodavatele jsou :

- maximální teplota teplotnosného média 135 [°C] ve vstupní větvi, teplota teplotnosného média 70 [°C] ve vratné větvi
- maximální tlak teplotnosného média 2,4 [MPa]
- maximální průtok teplotnosného média 1700 [m<sup>3</sup>/hod]
- tepelný výkon horkovodu 175 [MW<sub>t</sub>] ze zdroje elektrárny + 45 [MW<sub>t</sub>] z vlastních zdrojů teplárny
- teplotnosné médium je chemicky upravená voda s parametry : pH = 8,7 - 9,5; p = 0,5 [mmol/l]; m = 1,0 [mmol/l]; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 1-3 [mg/l], O<sub>2 max.</sub> = 50 [mg/l]
- ztráty horkovodu 12 %

Regulace výkonu CZT je realizována regulací výkonu oběhových čerpadel teplotnosného média. Regulační prvek zajišťuje udržení stálého diferenciálního tlaku v nejvyšším bodě soustavy mezi vstupní a vratnou větvi na stálém tlaku 0,3 [MPa]. Tím je zajištěna dodávka požadovaného tepelného výkonu do všech sekundárních VS, zásobující konečné odběratele. Regulace je fyzicky provedena pro oběhová čerpadla nn řízením pomocí FM, pro čerpadla vn-6 [kV] řízením hydro spojkou. [22], [24], [25], [26], [38], [49]

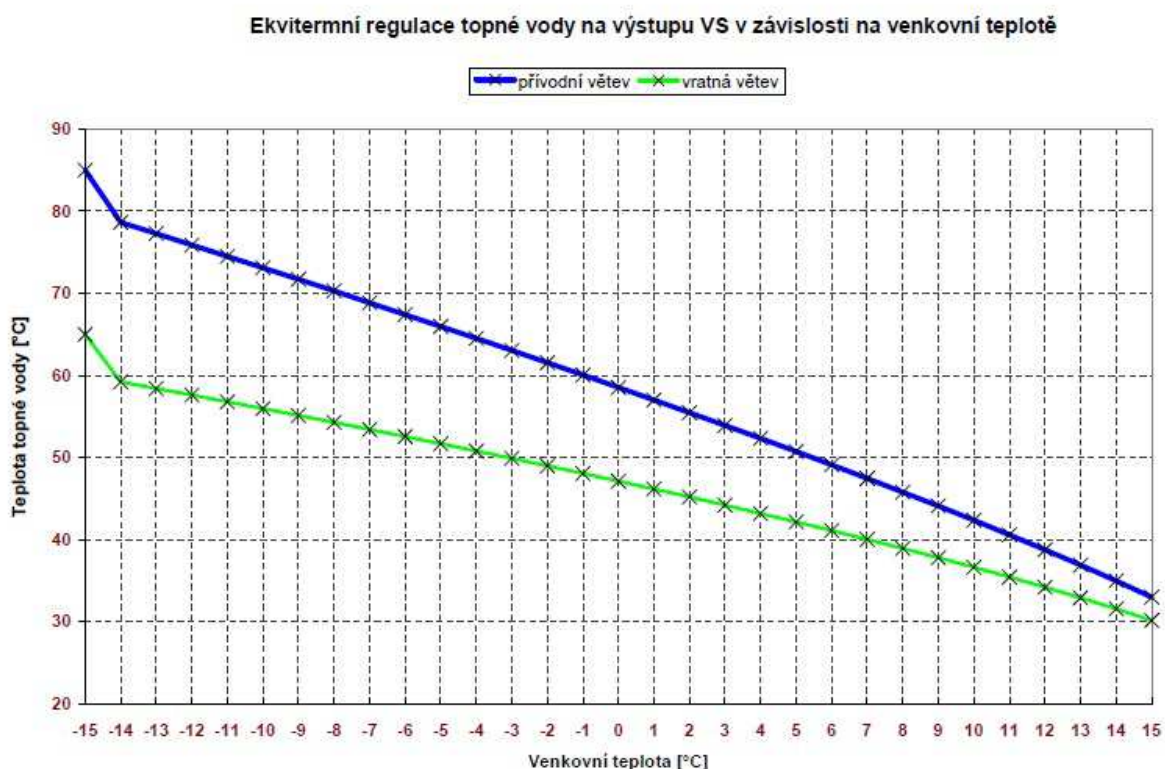
## 4.2 Sekundární výměňkové stanice napojené z CZT

Sekundární VS jsou napojeny z primárního horkovodu CZT a zajišťují předání tepla do objektů pro konečného odběratele. VS zajišťuje dodávku topné vody pro okruhy UT a TV. Výstupní parametry topné vody rozváděné dále přímo do objektů jsou pro UT maximální teplota výstupní vody 85 [°C], pro TV maximální teplota výstupní vody 60 [°C] a minimální teplota výstupní vody 45 [°C]. Typické funkční schéma VS je na obrázku 4.2. VS se provozují od malých výkonů 200 [kW] pro menší objekty, až po velké výkony 6 [MW] pro velká sídliště.

VS jsou vybaveny autonomním ŘS, který zajišťuje plně automatické řízení jejich provozu. Regulace výstupu teploty topné vody pro okruh UT je řízen v závislosti na venkovní teplotě. Parametry této regulace jsou zobrazeny v grafu 4.1.

Provoz VS se odstavuje v případě poruch zaplavení nebo přehřátí prostoru VS. Tyto poruchy kompletně odstaví VS a obnovení provozu je možné až po potvrzení poruchy tlačítkem v prostoru VS. [24], [25], [26], [49]

Graf 4.1 : Regulace topné vody v závislosti na venkovní teplotě [26]





## Závěr

Úkolem diplomové práce bylo obecně popsat funkci zadané elektrické stanice. Při zpracování tohoto tématu byla použita odborná terminologie z literatury [1] a technických norem uvedených v seznamu literatury a informačních zdrojů. V práci byly použity hodnoty a technické specifikace skutečně provozovaných zařízení. Zadaná elektrická stanice, jejíž funkce byla obecně popsána, je v průmyslovém podniku provozována již 46 rokem. Za toto období prošla několika technickými modernizacemi. V průběhu let provozu elektrické stanice docházelo postupně ke změnám v technologii zařízení, na které byla elektrická stanice původně vyprojektována, navržena a vybudována.

Technologické celky stále snižují svou energetickou náročnost a zvyšují svou účinnost. Z tohoto důvodu je dnes elektrická stanice značně předimenzována. Původně byla vystavěna na podstatně vyšší proudové zatížení, než na které se dnes využívá.

Snižování výkonu ovlivnilo především aplikování výkonové elektroniky pro regulaci velkých pohonů. Postupně se všechny pohony doplňovaly měniči frekvence a soft startéry. Tím došlo především k redukci a snížení velkých zapínacích proudů a omezení náběhových špiček. Regulace pohonů pomocí výkonové elektroniky značně snížila také celkovou spotřebu elektrické energie. Regulace výkonů pomocí frekvence je podstatně efektivnější než regulace škrťacími akčními členy. Úspora energie dosahuje i více než 50%. Z tohoto důvodu jsou například pohony o výkonu 250 [kW] s napětím 6 [kV] postupně nahrazovány pohony 90 [kW] s řízením frekvenčním měničem a napětím 400 [V]. Frekvenční měnič zajišťuje rozběhový proud 1,05 násobku jmenovitého proudu pohonu. V závislosti na snižování energetické náročnosti technologických celků se změnilo pouze parametry blokových transformátorů, které byly vyměněny. Navrženy byly tak, aby se provozovaly se zatížením 65% požadovaného elektrického výkonu. Adekvátně k tomuto elektrickému výkonu bylo také přizpůsobeno nastavení spouští jistících proudových prvků. Ostatní zařízení, jako elektrická vedení a rozvodny vlastní spotřeby, zůstala technicky nezměněna.

Schéma transformovny zůstalo po celou dobu provozu nezměněno a systém uspořádání transformovny je technicky vyhovující a vhodný po celou dobu provozu elektrické stanice. Pokud by se dnes stavěla nová elektrická stanice, použila by se zřejmě zcela stejná osvědčená konfigurace schématu zapojení a pro dané podmínky by byla zcela vyhovující a efektivní. Pokud by se zadaná elektrická stanice realizovala novým moderním vybavením, byly by její nároky na prostor zcela jistě minimálně o 50 % menší a technické zařízení by zaručovalo vyšší efektivitu, bezpečnost a komfort obsluhy zařízení.



Elektrické stanice jsou budovány na provozní dobu 50 a více let. Z ekonomických a provozních důvodů je nelze přestavovat průběžně s posledními technickými vymoženostmi a trendy. Lze říci, že principy elektrických stanic zůstávají v průběhu let nezměněny. Díky vývoji, především v oblasti používaných materiálů a moderních technologií výroby, se mění především dílčí části, ze kterých se elektrické stanice sestávají.

Popsaná elektrická stanice je zajímavá tím, že její součástí je vlastní výrobná elektrické energie. Tato výrobná nedodává elektrickou energii v nepřetržitém provozu, ale pouze ve smluvené časy. Z ekonomických důvodů pracuje jako výrobná pro dodávku špičkové energie. Proto je elektrická stanice v průběhu svého provozu značně nerovnoměrně proudově zatěžována a energie se v ní pohybuje oběma směry. Stanice musí být rovněž konstrukčně a technicky dimenzována a chráněna na blízký zkrat generátoru kogenerační jednotky.

V poslední části diplomové práce je zmíněna funkce výměňkových stanic. Výměňkovou stanicí tepla lze svojí funkcí přirovnat k elektrické transformační stanicí. Rovněž se jedná o transformaci vstupní energie daných parametrů na hodnoty výstupní energie předem definovaných jiných parametrů. Jediný rozdíl je v tom, že transformaci tepla lze realizovat pouze jedním směrem a to z vyšších parametrů na nižší. Elektrickou energii lze transformovat libovolně oběma směry.

Zvolená diplomová práce je z mého oboru, ve kterém pracuji již 26 let. Zde musím ocenit význam teoretických znalostí získaných studiem na vysoké škole, které jsem do té doby neměl. Znalosti získané při studiu mi pomohly lépe poznat a pochopit principy technických zařízení, které denně používám při své praxi a vidět jejich činnost také v širší souvislosti a vzájemných vazbách. Získané vědomosti jsou velkým přínosem především při řešení praktických problémů v praxi, značně rozšířily můj technický rozsah znalostí a povědomí o technických zařízeních, legislativě a ekonomických ukazatelích.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Mertlová Jiřina, Noháčová Lucie : Elektrické stanice a vedení : Vydavatel : Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, 1. vydání vyšlo říjen 2008, ISBN 978-80-7043-724-7
- [2] Mertlová Jiřina, Hejtmánková Pavla, Tajtl Tomáš : Teorie přenosu a rozvodu elektrické energie, Vydavatel : Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, 1. vydání vyšlo září 2008, ISBN 978-80-7043-307-2
- [3] ČSN 330010 ed.2 : 2014, Elektrická zařízení - rozdělení a pojmy
- [4] ČSN 38 1754 : 1974, Dimenzování elektrického zařízení podle účinku zkratových proudů
- [5] ČSN EN 61293 : 1996 , Označování elektrických zařízení jmenovitými údaji vztahujícími se k elektrickému napájení
- [6] PNE 33 3430 1 až 7 : 1995, Podniková norma energetiky pro rozvod elektrické energie, Parametry kvality elektrické energie
- [7] PNE 33 3201 : 2016, Podniková norma energetiky pro elektrické stanice - navrhování a stavba elektrických stanic nad 1 kV AC pro DS a PS
- [8] ČSN EN 50 160 : 1994, Charakteristiky napětí elektrické energie dodávaných z veřejných distribučních sítí
- [9] ČSN 33 0050 : 1997, Mezinárodní elektrotechnický slovník
- [10] Technická dokumentace kogenerační jednotky, firma MWM Diesel und Gastechnik GmbH, SRN, rok výroby 1995

- [11] ČSN 33 2000 - 1 : 1995 : Elektrické předpisy, Elektrická zařízení
- [12] ČSN 33 2000 - 4 - 43 : 1994 : Ochrana proti nadproudům
- [13] ČSN 33 3020 : 1987 : Výpočet poměrů při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě
- [14] ČSN 38 1120 : 1994 : Vlastní spotřeba tepelných elektráren a tepláren
- [15] ČSN 34 1020 : 1970 : Předpisy pro dimenzování a jištění vodičů a kabelů
- [16] ČSN 34 1610 : 1963 : Elektrický silový rozvod v průmyslových rozvodnách
- [17] ČSN 35 1100 : 1980 : Výkonové transformátory
- [18] ČSN 35 1106 : 1976 : Zatížitelnost olejových výkonových transformátorů
- [19] ČSN 33 3201 : 2000 : Elektrické instalace nad AC 1 kV
- [20] ČSN 34 3270 : 1985, Obsluha výkonových transformátorů a tlumivek
- [21] ČSN 33 3051 : 1992, Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení
- [22] Zákon č. 458/2000 Sb. : platnost od 1.1.2001, Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)
- [23] ČEZ Distribuce, a.s., Pravidla provozování distribučních soustav. Dostupný na WWW : <http://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds.html>
- [24] ČSN 38 3350 : 1989, Zásobování teplem, všeobecné zásady

- [25] ČSN 06 0320 : 1998, Ohřívání užitkové vody
- [26] Vyhláška č. 194/2007 Sb. kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími a registrujícími dodávku tepelné energie
- [27] Ilustrační fotografie, Vlastní fotografie jako doplněk k textu v diplomové práci, zobrazující zadaný popisovaný objekt
- [28] Ipe drawing editor ver.7.1.6 [online].  
Dostupný na WWW: <http://ipe7.sourceforge.net>
- [29] Převedení výstupního souboru z programu Ipe na formát .jpg [online].  
Dostupný na WWW: <http://image.online-convert.com/convert-to-jpg>
- [30] ČSN 33 2000 - 4 - 52 : 1998 : Výběr soustav a stavba vedení
- [31] ČSN 33 2000 - 4 - 473 : 1994 : Opatření k ochraně proti nadproudům
- [32] ČSN 33 1500 : 1991 : Revize elektrických zařízení
- [33] ČSN 33 3200 : 1978 : Třídění elektrických stanic a rozvodných zařízení
- [34] ČSN 33 3210 : 1987 : Rozvodná zařízení, Společná ustanovení
- [35] ELEKTRONICKÁ ENCIKLOPEDIÉ WIKIPEDIE [online].  
Dostupný na WWW: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kogenerace>
- [36] Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET, kogenerace) [online].  
Dostupný na WWW: <http://www.kombinovana-vyroba.cz/>
- [37] Kogenerace - Parní kombinovaná výroba elektřiny a tepla [online].  
Dostupný na WWW: <http://arnika.org/soubory/dokumenty/ovzdusi/kogenerace.pdf>

- [38] Vytápění TZB-info – předpisy, normy, výpočty, dokumenty [online].  
Dostupný na WWW: <http://vytapani.tzb-info.cz>
- [39] ERÚ, Energetický regulační věstník [online].  
Dostupný na WWW: <http://www.eru.cz/cs/poze/cenova-rozhodnuti/platna-cenova-rozhodnuti>
- [40] IEC 60617DB : Grafické značky používané na schématech a výkresech v elektrotechnice podle databáze [online]. Dostupný na WWW:  
<http://www.unmz.cz/files/normalizace/Informace%20o%20vybran%C3%BDch%20norm%C3%A1ch/Grafick%C3%A9%20zna%C4%8Dky%20na%20schematech.pdf>
- [41] Mertlová Jiřina, Schejbal Konstantin : Elektroenergetika II. : Vydavatel :  
Západočeská univerzita v Plzni, Univerzitní 8, 306 14 Plzeň, 1. vydání vyšlo  
1998, ISBN 80-7082-451-4
- [42] ČSN EN 60038 (33 0120) : 2012 : Normalizovaná napětí CENELEC
- [43] ČSN 31 7181 ed.2 : 2012 : Vysokonapěťové spínací a řídicí zařízení - Část 200 :  
Kovové kryté rozváděče na střídavý proud pro jmenovitá napětí nad 1 [kV] do 52  
[kV] včetně
- [44] ČSN 35 7107 - 1 až 5 ed.2 : 2012 : Rozvaděče nízkého napětí část 1 až 5
- [45] ČSN 35 8290 : 2004 : Silové kondenzátory : Rozvaděče nízkého napětí pro  
kompenzaci účinníku
- [46] ČSN 36 4380 - 2 : 2002 : Bezpečnostní požadavky pro akumulátorové baterie a  
akumulátorové instalace - Část 2. : Staniční baterie
- [47] ČSN 34 3100 ed.3 : 2015 : Obsluha a práce na elektrických zařízeních
- [48] ČSN 33 2000 - 6 : 2007 : Část 6. : Revize

- [49] Vytápění TZB-info – předávací stanice tepla [online].  
Dostupný na WWW: <http://www.tzb-info.cz/5236-predavaci-stanice-tepla-v-soustavach-czt-iii>