

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh napájení areálu státní správy

Abstrakt

Tato předkládaná diplomová práce je zaměřena na navržení napájení pro rozsáhlý areál státní správy. Zabývá se připojením areálu k veřejné distribuční síti, návrhem napájecího transformátoru, včetně posouzení jeho finanční výhodnosti. Dále je proveden návrh konfigurace napájecí sítě a dimenzování celé kabelové sítě uvnitř areálu, zahrnující návrh kabelů a jejich jištění. V závěru práce je proveden návrh kompenzace účinníku včetně finančního zhodnocení návratnosti vynaložených investic.

Klíčová slova

Napájecí soustava, výpočtové zatížení, napájecí transformátor, dimenzování kabelů, jištění, kompenzace.

Abstract

The presented thesis is focused on design of the power supply for an extensive area of the civil service. It deals with connection to the public distribution grid, design of supply transformer including a financial assessment. Further, layout of supply grid is designed, cable network is rated including cable selection and protection. Finally, there is designed the switchboard of power factor correction including a financial assessment of the financial investment return.

Key words

Supply power system, maximal demand, supply transformer, cable sizing, protection, power-factor correction.

Prohlášení

Tímto předkládám k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr magisterského studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

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

.....

podpis

V Klatovech dne 6.5.2014

Štěpán TOMŠOVSKÝ

Poděkování

Touto cestou bych rád vyjádřil veliké poděkování vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za neocenitelné profesionální rady, podporu, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK.....	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	8
ÚVOD.....	11
1 NAVRŽENÍ ZPŮSOBU PŘIPOJENÍ K VEŘEJNÉ DISTRIBUČNÍ SÍTI	12
1.1 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ROZHODOVACÍ PROCES	12
1.2 OBECNÝ POSTUP VÝPOČTU CELKOVÉHO VÝPOČTOVÉHO VÝKONU $S_{P_{CELK}}$	12
1.3 PODKLADY O BUDOVÁCH AREÁLU PRO VÝPOČET	13
1.4 VÝPOČET CELKOVÉHO VÝPOČTOVÉHO VÝKONU $S_{P_{CELK}}$ A NÁVRH PŘIPOJENÍ AREÁLU	15
2 NAVRŽENÍ VÝKONU NAPÁJECÍHO TRANSFORMÁTORU A UMÍSTĚNÍ TRAFOSTANICE.....	17
2.1 OBECNÉ POJETÍ PROBLEMATIKY	17
2.2 NÁVRH UMÍSTĚNÍ TRAFOSTANICE.....	18
2.3 NÁVRH NAPÁJECÍHO TRANSFORMÁTORU	19
2.3.1 Určení typu a jmenovitého výkonu S_N	19
2.3.2 Ekonomická kalkulace návratnosti dvou variant transformátorů	21
3 NÁVRH KONFIGURACE NAPÁJECÍ SÍŤE A DIMENZOVÁNÍ KABELŮ.....	28
3.1 NÁVRH KONFIGURACE NAPÁJECÍ SÍŤE UVNITŘ AREÁLU	28
3.1.1 Obecné pojetí problematiky sítě	28
3.1.2 Navržení napájecí sítě uvnitř areálu	29
3.2 DIMENZOVÁNÍ S JIŠTĚNÍ KABELŮ	30
3.2.1 Obecný postup při dimenzování a jištění kabelů.....	30
3.2.2 Vlastní dimenzování kabelové sítě areálu.....	38
3.2.3 Srovnání vypočtených výsledků s programem Sichr	49
4 NÁVRH CENTRÁLNÍ KOMPENZACE A JEJÍ FINANČNÍ ZHODNOCENÍ.....	54
4.1 NAVRŽENÍ CENTRÁLNÍ KOMPENZACE ÚČINÍKU	54
4.1.1 Obecné pojetí problematiky kompenzace	54
4.1.2 Druhy kompenzace	55
4.2 NAVRŽENÍ CENTRÁLNÍ KOMPENZACE ÚČINÍKU	57
4.3 ZHODNOCENÍ FINANČNÍ NÁVRATNOSTI KOMPENZACE ÚČINÍKU	60
4.3.1 Sankce za nedodržení předepsaného účinníku	60
4.3.2 Výpočet finanční návratnosti investic na kompenzační zařízení.....	61
ZÁVĚR	63
POUŽITÁ LITERATURA.....	64
PŘÍLOHY.....	1

Seznam Obrázků

<i>Obr. 1 Schematické znázornění celého areálu s označením a popisem budov</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 2 Umístění trafostanice a budov s největším odběrem</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 3 Situační plán elektrických rozvodů areálu</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 4 Schematické znázornění dimenzovaného kabelu K3.....</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 5 Schematické znázornění impedancí pro výpočet rázového zkratového proudu</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 6 Celkové přehledové schéma návrhu kabelové sítě v programu Sichr.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 7 Selektivita jištění a úbytek napětí pro 3. paprsek</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 8 Impedanční smyčky pro 3. paprsek.....</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 9 Vypínací charakteristiky s vyznačenou dobou vypnutí (5s) pro 3. paprsek</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 10 Obecný princip kompenzace účinníku [1]</i>	<i>54</i>

Seznam tabulek

<i>Tab. 1 Výpočet jednotlivých výpočtových výkonů S_{Pi}.....</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 2 Srovnání parametrů a cen transformátorů</i>	<i>23</i>
<i>Tab. 3 Porovnání vypočtených hodnot s programem Sichr</i>	<i>53</i>

Seznam symbolů a zkratk

<i>nn</i>	Nízké napětí	zkratka
<i>vn</i>	Vysoké napětí	zkratka
<i>PE</i>	Ochranný vodič	zkratka
<i>L</i>	Fázový vodič	zkratka
<i>TN</i>	Síť s účinně uzemněným uzlem	zkratka
<i>KR</i>	Kompenzační rozvaděč	zkratka
$U_n, U_f, U_{nfáz}$	Fázové napětí	[V]
U_0	Jmenovité napětí proti zemi	[V]
U_S	Sdružené napětí	[V]
U_s	Jmenovité napětí vn	[V]
P_i, S_i	Instalovaný výkon	[W, VA]
P_P, S_P	Výpočtové zatížení (výkon)	[W, VA]
β, β_i	Činitel náročnosti	[-]
k_s	Koeficient vzájemné soudobosti budov	[-]
S_{Pcelk}	Celkový výpočtový výkon	[VA]
S_{Pmin}	Nejnižší výpočtový výkon (odběr)	[VA]
S	Hospodárný průřez vodiče	[mm ²]
T	Doba plných ztrát	[hod]
A	Energie přenesená vedením za rok	[MWh]

S_{min}	Minimální průřez jádra vodiče	[mm ²]
S_T	Instalovaný výkon transformátoru (trafostanice)	[VA]
S_N	Jmenovitý výkon transformátoru	[VA]
S_{ni}	Jednotková velikost transformátoru	[VA]
n_T	Počet transformátorů	[ks]
γ	Koeficient využití transformátoru	[-]
$\cos\varphi, \cos\varphi_{stř}$	Střední účinník	[-]
ΔP_0	Ztráty transformátoru naprázdno	[W]
ΔP_k	Ztráty transformátoru nakrátko	[W]
$\Delta u\%$	Procentní úbytek napětí	[%]
ΔU_f	Fázový úbytek napětí	[V]
u_k	Napětí nakrátko	[%]
B_S	Indukce nasycení	[T]
I_f	Elektrický proud jedné fáze	[A]
I_P	Výpočtový proud	[A]
$I_{\tilde{e}}$	Činný proud	[A]
I_j	Jalový proud	[A]
I_{kom}	Kompenzační proud	[A]
I_n	Jmenovité proudové zatížení vodiče	[A]
I_Z	Dovolené proudové zatížení vodiče	[A]
k_1, k_2, k_3	Přepočítávací koeficienty dle uložení vodiče	[-]
I_k''	Rázový zkratový proud	[A]
i_p	Nárazový zkratový proud	[A]
$I_{th, Tk}$	Ekvivalentní oteplovací zkratový proud	[A]
$I_{th, l}$	Přepočtený ekvivalentní oteplovací zkratový proud na 1s	[A]
t_k	Doba trvání zkratu	[s]
m	Součinitel respektující účinek ss složky zkratového proudu	[-]
n	Součinitel respektující účinek střídavé složky zkratového proudu	[-]
R	Elektrický odpor	[Ω]
X	Reaktance	[Ω]
κ	Součinitel respektující poměr R/X zkratové impedance	[-]
c	Napěťový součinitel respektující nejvyšší dovolené napětí	[-]
K	Koeficient respektující teplotu vodiče před a po zkratu	[-]
ϑ_{dov}	Nejvyšší dovolená provozní teplota vodiče	[°C]
ϑ_Z	Provozní teplota vodiče	[°C]
ϑ_k	Teplota vodiče po průchodu zkratového proudu	[°C]
I_a	Poruchový proud	[A]
I_R	Jmenovitý proud jističe (redukovaný)	[A]
I_{PN}	Jmenovitý proud pojistky	[A]
K_j	Součinitel pro volbu pojistky	[-]
I_{cu}	Mezní vypínací schopnost jističe	[A]
I_{cm}	Zapínací schopnost jističe	[A]
I_{cw}	Krátkodobý výdržný proud jističe	[A]
t_{max}	Maximální doba vypnutí jističe	[s]

Z_k	Zkratová impedance	[Ω]
Z_{sp}	Požadovaná impedance poruchové smyčky	[Ω]
Z_{sv}	Výpočtová impedance poruchové smyčky	[Ω]
Z_{sm}	Změřená impedance poruchové smyčky	[Ω]
Z_{svyp}	Vypočtená (ručně) impedance poruchové smyčky	[Ω]
Z_S	Impedance sítě	[Ω]
Z_{Kvn}	Impedance kabelu vn	[Ω]
Z_{Svn}	Impedance sítě včetně kabelu vn	[Ω]
Z_C	Impedance celková	[Ω]
Z_{K3}	Impedance kabelu K3	[Ω]
n	Odpisové období	[roky]
p	Úroková sazba	[%]
C_e	Poplatky za energii	[Kč/kWh]
C_d	Vyžadované platby	[Kč]
a	Roční faktor zatížení transformátoru	[%]
c_p	Požizovací cena	[Kč]
q	Poměrná úroková sazba	[-]
r	Odpisový faktor	[%]
C_C	Kapitálové náklady	[Kč]
C_{p0}	Náklady na ztráty naprázdno	[Kč]
C_{pk}	Náklady na ztráty nakrátko	[Kč]
C_D	Náklady za rezervovaný příkon	[Kč]
α	Řídicí úhel měniče	[$^\circ$]
Q_{kom}	Kompenzační výkon	[VAr]
Q_{puv}	Kompenzační výkon před kompenzací	[VAr]
Q_{pokom}	Kompenzační výkon po kompenzaci	[VAr]
Q_{c1}	Výkon jednoho kompenzačního stupně	[VAr]
Q_{KR}	Výkon kompenzačního rozvaděče	[VAr]
N	Počet kompenzačních stupňů	[ks]
c_p	Cenová přírážka	[Kč]
NI	Cenová návratnost	[roky]
P_{max}	Nejvyšší hodnota čtvrt hodinového maxima	[MW]
c_{rk}	Cena za rezervovanou kapacitu na dané napět'ové hladině	[Kč/MW]
u	Procentní přírážka za nedodržení předepsaného účinníku	[%]
c_{ps}	Cena za použití sítě na dané napět'ové hladině	[Kč/MW]
c_{se}	Cena za silovou elektřinu	[Kč/MW]
W	Množství elektřiny odebrané za dané období	[MWh]

Úvod

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na návrh napájení rozsáhlejšího areálu státní správy.

Celý text je rozdělen do čtyř dílčích částí. První se zabývá připojením areálu jako jednoho celku k veřejné distribuční síti a to z hlediska velikosti příkonů jednotlivých budov. Druhá část je zaměřena na návrh umístění napájecí trafostanice a volbu konkrétního transformátoru podle výpočtového zatížení, dále podle kritéria zajištění dodávky. Vystává zde otázka ekonomického zhodnocení a návratnosti vynaložených finančních prostředků pro volbu různých typů transformátorů, jakými je standardní v porovnání s nízkoztrátovým. Třetí část uvádí problematiku návrhu konfigurace napájecí sítě uvnitř areálu a nadimenzování jednotlivých napájecích kabelů. Čtvrtá a zároveň poslední část popisuje návrh centrální kompenzace účinníku včetně finanční kalkulace návratnosti vynaložených prostředků.

Správně navržená, nadimenzovaná a provedená napájecí síť je přehledná a je bezesporu tím nejlepším předpokladem pro bezpečný, spolehlivý a bezporuchový provoz s minimálními ztrátami po dlouhou řadu let. Takováto síť je zárukou hospodárného provozu s jistotou, že napájená zařízení budou mít optimální podmínky pro svoji činnost. V neposlední řadě je nutné pamatovat na možnost rozšíření sítě v budoucnosti, a to již při jejím návrhu v tento čas.

1 Navržení způsobu připojení k veřejné distribuční síti

1.1 Faktory ovlivňující rozhodovací proces

Napájení většiny průmyslových závodů a velkých podniků je prováděno ze sítě městské, neboť jsou lokalizovány v její blízkosti. Avšak toto napájení je odděleno od zásobování ostatních obyvatel a dalších služeb, tak aby nedocházelo k určitým negativním vlivům, které vznikají v důsledku spínání strojů s velkými výkony [1]. Jinak tomu není ani v tomto konkrétním případě.

Proces, ve kterém dochází k rozhodnutí o připojení celého areálu k distribuční síti, je ovlivňován zejména třemi zásadními faktory. Těmito jsou velikosti instalovaných výkonů jednotlivých budov $P_i (S_i)$, které v součtu dávají celkové výpočtové zatížení $P_P (S_P)$ ponížené o tzv. činitel náročnosti β (jindy nazývaný koeficientem soudobosti). Tento druhý faktor činitel náročnosti β vyjadřuje způsob provozu každé budovy nebo spotřebiče. V řadě třetí se jedná o jistotu zajištění dodávky pro tento areál [2].

1.2 Obecný postup výpočtu celkového výpočtového výkonu $S_{P_{\text{celk}}}$

Pro vlastní výpočet a určení výpočtového zatížení $P_P (S_P)$ je nutná znalost hodnot instalovaných výkonů $P_i (S_i)$ nebo, což je právě náš případ, proudové hodnoty jednotlivých jisticích prvků, které jsou osazeny na každém z objektů, jež zahrnujeme do výpočtu.

Výpočet jednotlivých instalovaných výkonů S_i provedeme podle následujícího obecného vztahu, uvedeného v [3]:

$$S_i = 3 \cdot U_f \cdot I_f \quad [\text{VA}] \quad (1)$$

Dále provedeme přepočtení těchto instalovaných výkonů S_i na výkony výpočtové S_{P_i} přes činitele náročnosti β_i každého z objektů pomocí následujícího vztahu [2]:

$$S_{Pi} = S_i \cdot \beta_i \quad [\text{VA}] \quad (2)$$

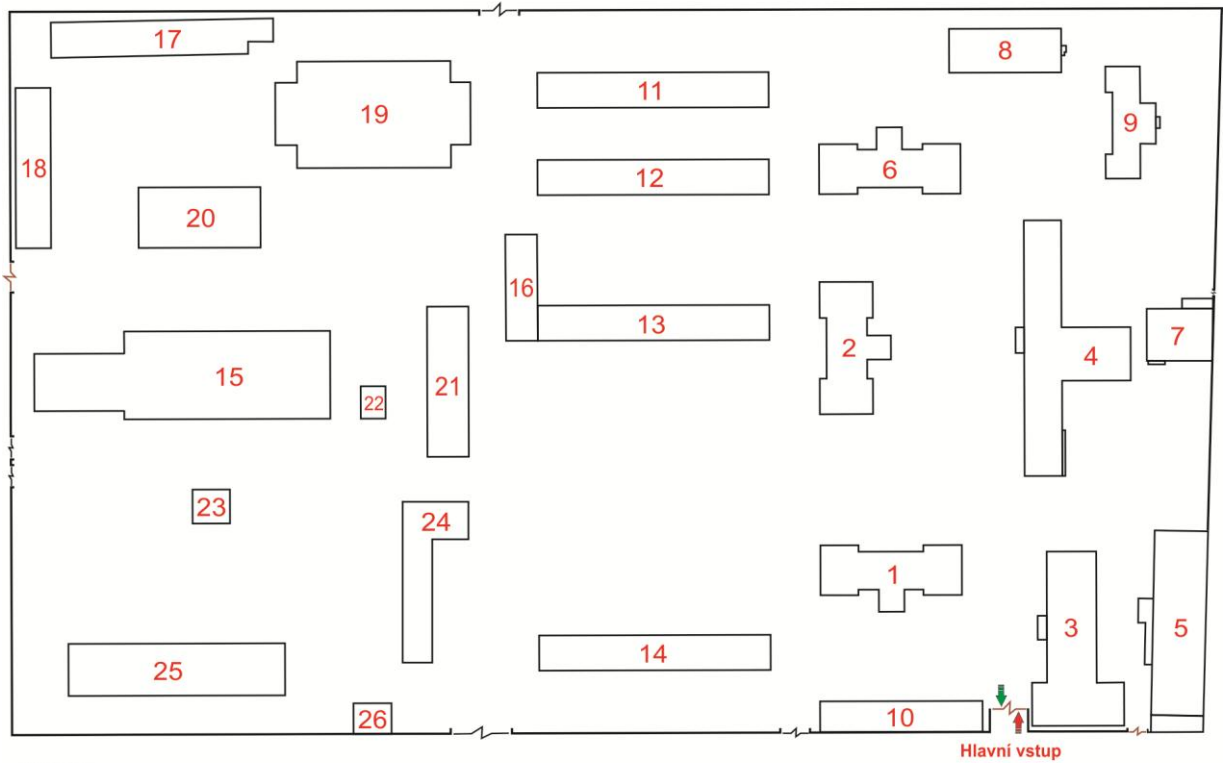
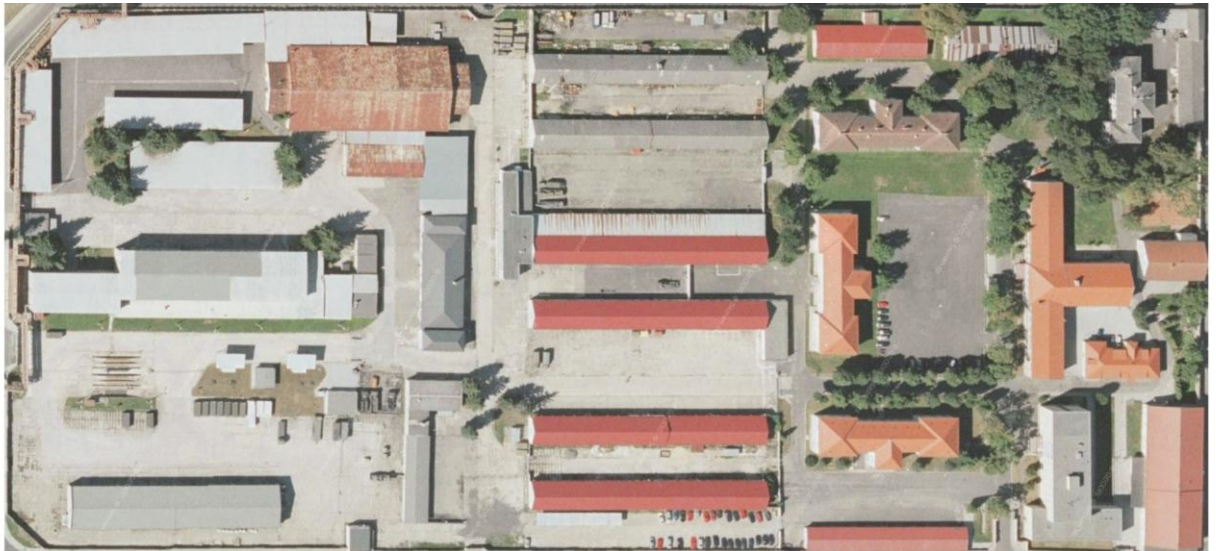
Následně sečteme jednotlivé výpočtové výkony S_{Pi} a vynásobíme koeficientem vzájemné soudobosti všech objektů k_s pro celý areál. Tímto způsobem získáme celkový výpočtový výkon S_{Pcelk} [2].

$$S_{Pcelk} = k_s \cdot \sum S_{Pi} \quad [\text{VA}] \quad (3)$$

1.3 Podklady o budovách areálu pro výpočet

V seznamu, který je uveden jako Příloha A jsou uvedeny základní informace o objektech, jako je označení a název budovy, dále stěžejní proudové hodnoty jisticích prvků pro vlastní výpočet a pro všeobecnou informaci stávající kabelová připojení. Tyto hodnoty byly získány na základě revizních zpráv.

Následující obrázek *Obr. 1* schematicky znázorňuje celý konkrétní areál, včetně leteckého snímku a dále rozmístění a označení jednotlivých budov.



LEGENDA:

- | | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------|
| 01 Štábní budova | 08 Sklad č.3 | 15 Opravárenská hala | 22 Kompresorovna |
| 02 Sklad č.1 | 09 Ubikace | 16 Budova STK | 23 Čerpací stanice PHM |
| 03 Administrativní budova č.1 | 10 Garáže č.1 | 17 Přístřešek ESO č.1 | 24 Nabíjecí stanice |
| 04 Kuchyňský blok | 11 Garáže č.2 | 18 Přístřešek ESO č.2 | 25 Garáže č.5 |
| 05 Kulturní dům | 12 Garáže č.3 | 19 Sklady Jeseník | 26 Trafostanice |
| 06 Sklad č.2 | 13 Garáže č.4 | 20 Přístřešek ESO č.3 | |
| 07 Administrativní budova č.2 | 14 Dílny provozního střediska | 21 Dílna malá | |

Obr. 1 Schematické znázornění celého areálu s označením a popisem budov

1.4 Výpočet celkového výpočtového výkonu $S_{P_{celk}}$ a návrh připojení areálu

V následující tabulce *Tab. 1* jsou uvedeny výsledky výpočtů, které byly provedeny podle výše uvedených vztahů (1 a 2) uvedených v kapitole 1.2.

Tab. 1 Výpočet jednotlivých výpočtových výkonů S_{Pi}

Výpočet výpočtových výkonů S_{Pi} areálu				
č. budovy	pojistky [A]	výkon S_i [kVA]	β_i	výkon S_{Pi} [kVA]
1	125	86,25	0,6	51,75
2	100	69	0,5	34,50
3	160	110,4	0,6	66,24
4	200	138	0,6	82,80
5	160	110,4	0,4	44,16
6	35	24,15	0,2	4,83
7	100	69	0,4	27,60
8	63	43,47	0,2	8,69
9	63	43,47	0,2	8,69
10	32	22,08	0,3	6,62
11	32	22,08	0,2	4,42
12	63	43,47	0,2	8,69
13	63	43,47	0,2	8,69
14	125	86,25	0,3	25,88
15	200	138	0,6	82,80
16	63	43,47	0,5	21,74
17	63	43,47	0,2	8,69
18	63	43,47	0,2	8,69
19	120	82,8	0,4	33,12
20	63	43,47	0,2	8,69
21	163	112,47	0,6	67,48
22	120	82,8	0,5	41,40
23	100	69	0,5	34,50
24	100	69	0,5	34,50
25	63	43,47	0,2	8,69
CELKEM	2 439,00	1 682,91		733,88
	I [A]	S [kVA]	[-]	S [kVA]

V předešlé tabulce *Tab. 1* jsou uvedeny hodnoty jednotlivých činitelů náročnosti β_i , a dále také koeficient soudobosti všech objektů k_s (použit v následujícím výpočtu podle

vztahu 3), které byly získány na základě podkladů z revizních zpráv a také výčtem z normy ČSN341610 [4]. Dále byly tyto hodnoty prokonzultovány s místním energetikem.

Jak již bylo zmíněno výše, pro získání celkového výpočtového výkonu $S_{P_{celk}}$ musíme sečtené jednotlivé výpočtové výkony S_{P_i} vynásobit koeficientem soudobosti všech objektů k_s , zapsáno ve vztahu:

$$S_{P_{celk}} = k_s \cdot \sum S_{P_i} = 0,45 \cdot 733,88 = 330,25 \quad [kVA]$$

Z výsledků je zřejmá výrazná disproporce mezi součtem jednotlivých instalovaných výkonů S_i v porovnání s celkovým výpočtovým výkonem $S_{P_{celk}}$. Tento rozdíl je dán velice nízkou hodnotou činitelů náročnosti β_i a dále malým koeficientem vzájemné soudobosti objektů k_s .

Na základě celkového výpočtového výkonu $S_{P_{celk}}$ s hodnotou 330,25 kVA bude provedeno připojení k veřejné distribuční síti na hladinu vysokého napětí 22 kV (dále vn). Toto rozhodnutí vyplývá z velikosti potřebného výkonu a také z toho důvodu, že kabel vn distribuční síti vede v bezprostřední blízkosti tohoto areálu. V neposlední řadě je u připojení realizovaného z hladiny vn vyšší jistota dodávky elektrické energie než z hladiny nízkého napětí (dále nn).

2 Navržení výkonu napájecího transformátoru a umístění trafostanice

2.1 Obecné pojetí problematiky

Rozhodnutí o umístění trafostanice bývá mnohdy komplikovanou záležitostí. Snahou je umístění transformátoru do blízkosti největšího koncentrovaného odběru, avšak s ohledem na nalezení kompromisu mezi vzdáleností k tomuto odběru a všem ostatním dalším, tak aby byly dodrženy veškeré požadavky. Velké proudy mají za následek vyšší ztráty, a proto je vhodné instalovat do těchto cest kvalitnější vedení (kabely), které tyto ztráty značně omezí. Kvalita jde ale ruku v ruce s cenou, proto je cílem délku takového vedení omezit [1].

Dalším velice důležitým krokem je stanovení instalovaného výkonu transformátoru S_T . V úvahu je nutné brát tu skutečnost, že během jeho provozu bude docházet ke spouštění spotřebičů s velkým výkonem a tudíž je nutnost vytvoření dostatečné výkonové rezervy. Běžně se tato rezerva pohybuje v rozmezí 10 až 15 %, a to nejen pro potřebu rázového činného výkonu při spouštění velkých energeticky náročných zařízení, ale také s ohledem na možnost rozšiřování sítě v budoucnosti. Pokud by tato výkonová rezerva nebyla splněna, může docházet k přetěžování transformátoru, což má za následek rapidní zkrácení jeho životnosti (v krajním případě dokonce jeho zničení) a také se enormně sníží záběrný moment spouštěného motoru. Potažmo dojde ke snížení momentů všech motorů (se čtvercem napětí), které jsou napájeny právě z tohoto transformátoru [3].

Dimenzování transformátoru (jeho volba) se provádí nejen z hlediska jeho výkonu, ale také z konstrukčního řešení a případně speciálních požadavků na něj kladených. Existují typy suché nebo olejem zalévané, jedno nebo trojfázové, dále ohni odolné a v neposlední řadě speciální určené do výbušného prostředí a nízkoztrátové. Toto je jen krátký výčet různých druhů, jejich použití závisí nejen na požadavcích, ale také na finančních prostředcích.

Z hlediska zajištění dodávky elektrické energie existuje několik možných způsobů připojení podniku nebo jakéhokoliv jiného areálu do sítě vn. Následující seznam je seřazen od nejvyšší spolehlivosti po nejnižší [1].

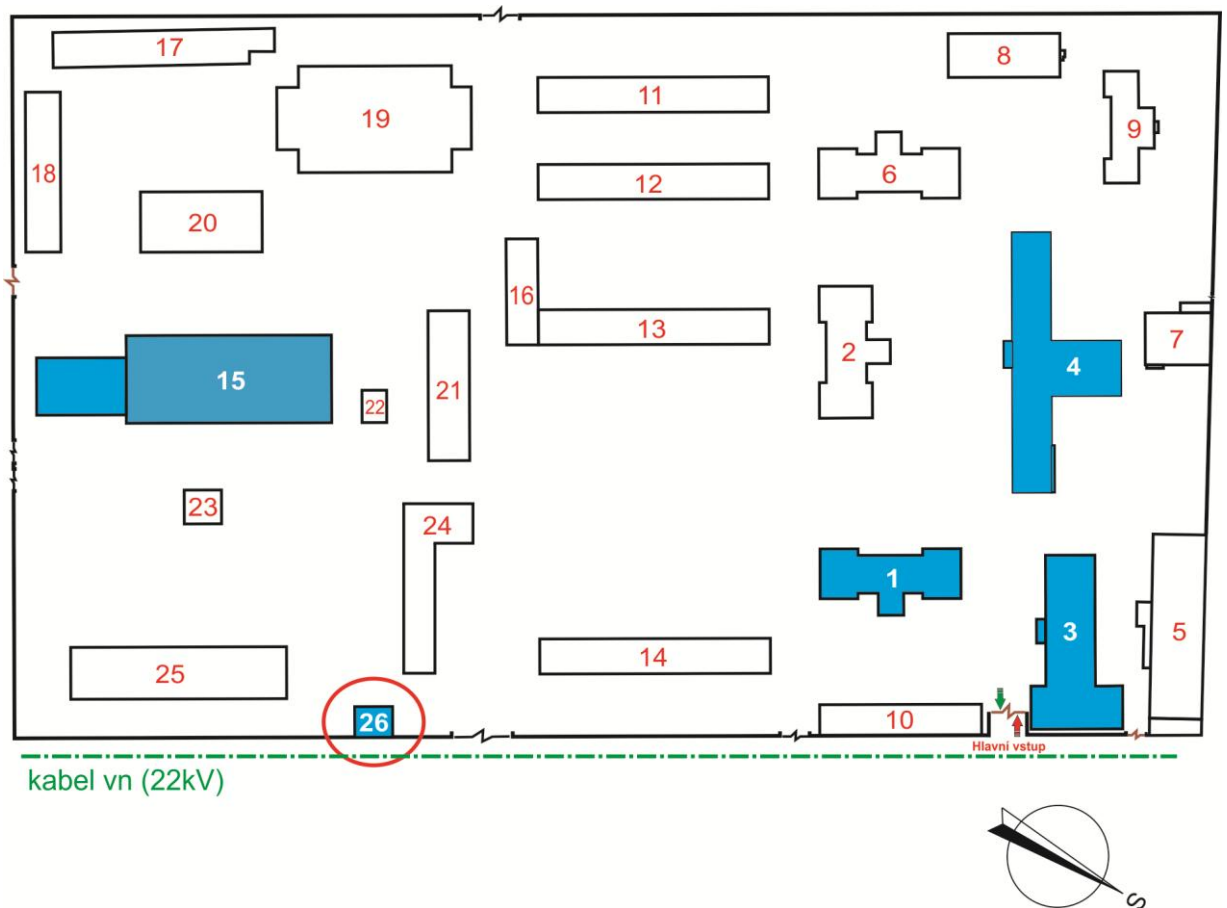
- Napájení provedené ze dvou různých transformoven 110/22 kV a to samostatným nebo průběžným vedením, přičemž průběžné bývá rozpojené.
- Napájení dvěma transformátory okružním nebo hřebenovým vedením z jedné transformovny 110/22 kV. Vedení bývá provozováno opět rozpojené.
- Napájení pomocí paprskového vedení z jedné vstupní transformovny 110/22 kV.
- Napájení okružním vedením ze vstupní spínací stanice.
- Napájení paprskovým vedením ze spínací stanice (s nejnižší spolehlivostí).

2.2 Návrh umístění trafostanice

Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole 2.1, návrh umístění trafostanice je hledání kompromisu mezi vzdáleností k největšímu koncentrovanému odběru a všem dalším ostatním. To vše za předpokladu dodržení požadavků, jakými jsou například dovolené úbytky napětí. Dalším aspektem je bod připojení do distribuční sítě vn, které nelze provádět kdekoliv, ale na konkrétních místech, daných topologií sítě. Neméně důležitou roli při tomto návrhu hrají vynaložené finanční prostředky, jelikož správně provedeným návrhem nedochází k jejich zbytečnému plýtvání.

V našem konkrétní areálu, který je uveden na následujícím obrázku *Obr. 2* jsou největšími odběrateli budovy: č.1, č.3, č.4 a č.15. Jedná se o štábní budovu (č.1), dále administrativní budovu s kanceláři (č.3), dále kuchyňský blok (č.4) a nevýznamnějším odběratelem je opravárenská hala (č.15).

Jelikož kabel vn (22 kV) distribuční sítě prochází v těsné blízkosti areálu na jeho severovýchodní straně, bude trafostanice (budova č.26) umístěna přímo na hranici areálu, a to v místech, kde je možné připojení k síti vn a v co nejkratší vzdálenosti k největším, již výše zmíněným odběrům, viz. *Obr. 2*.



Obr. 2 Umístění trafostanice a budov s největším odběrem

2.3 Návrh napájecího transformátoru

2.3.1 Určení typu a jmenovitého výkonu S_N

Instalovaný výkon transformátoru nebo trafostanice S_T se běžně stanovuje na základě znalosti výpočtového výkonu P_P , podle následujícího vztahu, uvedeného v [2]:

$$S_T = \frac{P_P}{\gamma \cdot \cos \varphi} \quad [\text{VA}] \quad (4)$$

- kde: P_P je výpočtový výkon, který se odebírá ze stanice
 $\cos \varphi$ je středním účinníkem výkonu
 γ je koeficientem využití transformátoru (bývá 0,5 – 0,8)

Známe-li instalovaný výkon trafostanice S_T , jsme schopni určit jednotkovou velikost S_{ni} a počet transformátorů n_T , tak abychom vyhověli podmínce [2]:

$$\sum_{i=1}^n S_{ni} \geq S_T \quad (5)$$

Je vhodné volit menší počet transformátorů, ale za to s vyšším jednotkovým výkonem, který je limitován vyrobiteľností vlastního transformátoru. Počet je dán také stupněm zajištění dodávky, přičemž 1. a 2. stupeň vyžaduje vytvoření zálohy a tudíž instalaci dvou transformátorů. Tato skutečnost vede na stav, kdy jsou oba transformátory provozovány společně, a jedná se tak o paralelní chod nebo za běžného provozu je využívám pouze jeden z nich a druhý se připojuje například při poruše prvního z nich [2].

Pro návržení konkrétního transformátoru budeme vycházet z předchozího výpočtu (kapitola 1.4). Bylo zjištěno, že celkový výpočtový výkon S_{Pcelk} pro celý areál se rovná hodnotě **330,25** kVA. Tato hodnota je základní pro volbu transformátoru z hlediska jeho jmenovitého výkonu S_N . Jak již bylo zmíněno, je nutné vytvoření dostatečné výkonové rezervy (10-15%), proto budeme vybírat transformátor z typizované řady vyšší právě o tuto rezervu.

Normovaná řada olejových distribučních transformátorů (22/0,4 kV od firmy Elpro-Energo) se vyrábí v širokém rozmezí, a to od 50 do 2500 kVA. Konkrétně 50, 100, 160, 250, **400**, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000 a 2500 kVA [5].

Jelikož jsme vypočetli celkový výpočtový výkon S_{Pcelk} s hodnotou **330,25** kVA a po připočtení výkonové rezervy (v tomto případě 17%) jsme rozhodli, že bude umístěn olejový transformátor v hermetickém provedení o jmenovitém zdánlivém výkonu $S_N=400$ kVA a s odbočkami na straně vn $\pm 2 \times 2,5$ % (5 poloh) [5].

Jelikož bude areál připojen na napájecí distribuční síť vn napájené pouze z jedné vstupní transformovny (110/22 kV) pomocí paprskového vedení, není možné realizovat vyšší stupeň zajištění dodávky než daný právě touto konfigurací [1]. V areálu není instalováno žádné zařízení, které by vyžadovalo vyšší stupeň zajištění dodávky elektrické energie, proto bude umístěn pouze jeden distribuční transformátor, s již zmíněným jmenovitým výkonem

$S_N = 400$ kVA. V areálu nachází pouze jeden objekt (Štábní budova č.1), který ze svého charakteru vyžaduje nepřerušování dodávky elektrické energie, a proto je za tímto účelem v suterénu budovy umístěn záložní zdroj ve formě diesel agregátu, který je automaticky uveden do činnosti v případě výpadku napájení.

2.3.2 Ekonomická kalkulace návratnosti dvou variant transformátorů

2.3.2.1 Srovnání standardního a nízkoztrátového transformátoru

Rozdíl mezi klasickým a nízkoztrátovým transformátorem není na první pohled znatelný. Odlišnost je „pouze“ v uspořádání a zejména v použitém materiálu magnetického obvodu (jádra). Tento stroj, pracuje s vysokou účinností (95-99 %) a právě těch pár zbylých procent jsou ztráty, které se mohou zdát zprvu zanedbatelné. Na druhou stranu, když ale uvážíme, že pracuje téměř nepřetržitě, tak jejich vyčíslení bude za léta provozu nemalou položkou. Kalkulace této položky nabývá na důležitosti, jelikož trend cen za elektrickou energii má v posledních letech charakter rostoucí [6].

Mezi tzv. štítkové hodnoty transformátoru patří mimo jiné ztráty naprázdno ΔP_0 a ztráty nakrátko ΔP_k . Ztráty nakrátko ΔP_k ovlivňuje zejména použitý materiál sekundárního vinutí a tudíž jeho činný odpor. Oproti tomu ztráty naprázdno ΔP_0 lze přímo ovlivnit použitím speciálních a kvalitních plechů v jádře transformátoru [6].

Konstrukce klasického transformátoru (například od firmy Power-Energo) je provedena takovým způsobem, že se ve své podstatě jedná o zařízení bezúdržbové, plně naplněné olejem, hermeticky uzavřené a použitelné do téměř jakéhokoliv prostředí s možností osazení ekologicky odbouratelného oleje [7]. Magnetický obvod je skládán z orientovaných plechů, které jsou zastudena válcovány a založeny na bázi křemíku [8].

Konstrukce nízkoztrátového transformátoru je obdobná s klasickým, a to zejména ve způsobu strojově skládaných plechů jádra. Jedná se o systém „Step-lap“, což znamená, že v místě styku sloupku a spojky dochází k přesazení oproti vedlejším plechům. Takovýmto

uspořádáním se dosáhne snadnějšího prostupu magnetického toku ze sloupků do spojek a potažmo snížení výkonových ztrát naprázdno a také snížení hluku [8]. Hlavní rozdíl je v použití již zmíněného jádra složeného z plechů z amorfního magnetického materiálu. Rozdíl ztrát je téměř až 80 % oproti ztrátám standardního jádra [7].

Technologie výroby amorfních magnetických plechů spočívá v rychlosti zchlazení tekutého kovu. Tímto velice komplikovaným způsobem se dají vyrábět pásy s tloušťkou několika málo desítek mikrometrů (řádově 0,02 mm). Klíčem k tomu, aby nedošlo k vytvoření krystalického zrna při tuhnutí kovu je dostatečně rychlá strmost chlazení. Jedná se o 1 až 2 milisekundy. Tekutý kov se nanáší na rotující válce, které jsou chlazeny tekutým dusíkem. Takto vznikne amorfni struktura, která má značně odlišný charakter oproti klasické krystalické struktuře. Nevýhodou této technologie je její obtížné provedení a tudíž se zařazuje do kategorie značně finančně nákladných [7].

Takto vzniklé amorfni látky jsou charakteristické značně vysokou permeabilitou a nízkou magnetickou anizotropií, což vyjadřuje, že v každém směru mají přibližně shodné magnetické vlastnosti. Z toho vyplývá, že se vyznačují nízkým ztrátovým výkonem a mají vysoké hodnoty indukce nasycení (B_s). Tyto slitiny jsou na bázi železa a mají malé ztráty (0,16 W/kg při síťové frekvenci 50 Hz a maximální indukci 1,45 T) ve srovnání s anizotropními plechy. Ty vykazují ztráty v rozmezí 0,49 až 0,72 W/kg [7].

2.3.2.2 Výpočet návratnosti vynaložených finančních prostředků

Jak již bylo zmíněno, je nutné uvažovat, kalkulovat a vyhodnocovat vlastní ztráty transformátoru a to zejména u nepřetržitě pracujících zařízení. Kupci takového zařízení mohou v krátkém časovém intervalu (v porovnání s délkou životnosti transformátoru) získat nazpět vynaložené finanční náklady při pořízení zařízení ve formě úspor na ztrátách [9].

V následující tabulce *Tab. 2* jsou pro stručný přehled uvedeny hermetizované olejové transformátory a jejich parametry od různých výrobců.

Tab. 2 Srovnání parametrů a cen transformátorů

Typ		ΔP_0 [W]	ΔP_k [W]	u_k [%]	Hmotnost [kg]	Z toho olej [kg]	Cena bez DPH [Kč]
Elpro-Energo							
DOTN	400/20	750	6 000	4	1 240	290	155 000
DOTEL	400/20	610	4 600	4	1 520	330	175 000
DOTUL	400/20	610	3 850	4	1 590	330	210 000
DOTUL-30%	400/20	430	3 850	4	1 780	400	220 000
Power-Energo							
TNOSCT	EoDk	930	6 000	4	1 100	265	125 000
TNOSCT	CoCk	610	4 600	4	1 510	335	152 000
TNOSCT	CoBk	610	3 850	4	1 210	285	156 000
AMORPHOUS	amorfní	195	3 200	4	2 250	375	280 000
ABB							
Standardní	B-A	930	6 000	4	1 350	270	103 000
BEZ-Kočí							
Standardní	EoDk	930	6 000	4	1 290	305	143 000
Reduk. Ztráty	CoCk	610	4 600	4	1 305	275	155 000
Nízkoztrátové	AoBk	430	3 850	4	1 570	330	204 000

Pro vlastní výpočet návratnosti vynaložených finančních prostředků vybereme dva transformátory s rozdílnými hodnotami ztrát naprázdno ΔP_0 , nakrátko ΔP_k a potažmo s odlišnou cenou.

Byly vybrány transformátory od firmy Power-Energo s těmito parametry:

- TNOSCT
 - standardní provedení jádra
 - ztráty naprázdno $\Delta P_0 = 930$ W
 - ztráty nakrátko $\Delta P_k = 6\,000$ W
 - cena 125 000 Kč
- AMORPHOUS
 - amorfní provedení jádra
 - ztráty naprázdno $\Delta P_0 = 195$ W
 - ztráty nakrátko $\Delta P_k = 3\,200$ W
 - cena 280 000 Kč

Je zřejmé, že cena hraje ve prospěch standardního provedení, avšak naším cílem je nalezení počtu let, kdy každoroční úspora na ztrátách pokryje cenový rozdíl při nákupu a uvedení do provozu obou dvou transformátorů v ten samý čas.

Pro výpočet návratnosti vynaložených finančních prostředků při nákupu nového transformátoru v podobě úspor na nižších ztrátách existuje několik různých metod. Pro námi zvolený modelový příklad byl vybrán postup publikovaný firmou Siemens v Průvodci pro energetiky [9].

Před provedením vlastního výpočtu je nutné brát v úvahu zjednodušující předpoklady, které jsou [9]:

- Provoz transformátorů je nepřetržitý.
- Pracují-li transformátory pod částečným zatížením, je toto zatížení konstantní.
- Inflační faktory a dodatečné náklady nejsou uvažovány.
- Požadované náklady se vztahují na plné zatížení (100 %).

Pro výpočet je nutná znalost následujících hodnot a parametrů:

- $n=30$ let odpisové období
- $p=2$ % úroková sazba
- $C_e=5$ Kč/kWh poplatky za energii
- $C_d=6\,400$ Kč vyžadované platby (platba za rezervovaný příkon)
- $a=0,22$ (22 %) roční faktor zatížení
- C_p pořizovací cena

Výpočet ročního faktoru zatížení stávajícího transformátoru a byl proveden na základě informací o měření a je uveden v Příloze B. Tyto hodnoty byly poskytnuty místním energetikem.

Nyní provedeme vlastní postup výpočtu podle [9] dvou vybraných a výše uvedených transformátorů zejména z hlediska rozdílnosti jejich ztrát naprázdno ΔP_0 a nakrátko ΔP_k v porovnání s pořizovací cenou a její návratnosti v podobě každoročních úspor.

Poměrná úroková sazba q

$$q = \frac{p}{100} + 1 \quad [-] \quad (6)$$

Odpisový faktor r

$$r = \frac{p \cdot q^n}{q^n - 1} \quad [\%] \quad (7)$$

Kapitálové náklady C_C

$$C_C = \frac{C_p \cdot r}{100} \quad [Kč] \quad (8)$$

Náklady na ztráty naprázdno C_{P0}

$$C_{P0} = C_e \cdot 8\,760 \cdot \Delta P_0 \quad [Kč] \quad (9)$$

Náklady na ztráty nakrátko C_{Pk}

$$C_{Pk} = C_e \cdot 8\,760 \cdot a^2 \Delta P_k \quad [Kč] \quad (10)$$

Náklady vyplývající z poplatků za požadavek rezervovaného příkonu (hodnota jističe)

$$C_D = C_d \cdot (\Delta P_0 + \Delta P_k) \quad [Kč] \quad (11)$$

Celkové náklady na transformátor jsou dány součtem všech nákladů, zapsáno ve vztahu:

$$\sum (C_C + C_{P0} + C_{Pk} + C_D) \quad [Kč] \quad (12)$$

Za použití výše uvedených rovnic (6-12) a dosazením konkrétních hodnot provedeme porovnání těchto dvou variant:

1. Varianta – standardní transformátor TNOSCT (parametry uvedeny výše)

$$q = \frac{p}{100} + 1 = \frac{12}{100} + 1 = 1,12 \quad [-]$$

$$r = \frac{p \cdot q^n}{q^n - 1} = \frac{12 \cdot 1,12^{30}}{1,12^{30} - 1} = 12,41 \quad [\%]$$

$$C_C = \frac{C_p \cdot r}{100} = \frac{125\,000 \cdot 12,41}{100} = 15\,513 \quad [\text{Kč}]$$

$$C_{P_0} = C_e \cdot 8\,760 \cdot \Delta P_0 = 5 \cdot 8\,760 \cdot 0,930 = 40\,734 \quad [\text{Kč}]$$

$$C_{P_k} = C_e \cdot 8\,760 \cdot a^2 \Delta P_k = 5 \cdot 8\,760 \cdot 0,0484 \cdot 6 = 12\,720 \quad [\text{Kč}]$$

$$C_D = C_d \cdot (\Delta P_0 + \Delta P_k) = 6\,400 \cdot (0,930 + 6) = 44\,352 \quad [\text{Kč}]$$

Celkové náklady na provoz a vlastnictví transformátoru jsou dány vztahem (12):

$$\sum (C_C + C_{P_0} + C_{P_k} + C_D) = 113\,319 \quad [\text{Kč}]$$

2. Varianta – nízkoztrátový transformátor AMORPHOUS s amorfním jádrem (parametry uvedeny výše)

$$q = \frac{p}{100} + 1 = \frac{12}{100} + 1 = 1,12 \quad [-]$$

$$r = \frac{p \cdot q^n}{q^n - 1} = \frac{12 \cdot 1,12^{30}}{1,12^{30} - 1} = 12,41 \quad [\%]$$

$$C_C = \frac{C_p \cdot r}{100} = \frac{280\,000 \cdot 12,41}{100} = 34\,748 \quad [\text{Kč}]$$

$$C_{P_0} = C_e \cdot 8\,760 \cdot \Delta P_0 = 5 \cdot 8\,760 \cdot 0,195 = 8\,541 \quad [\text{Kč}]$$

$$C_{Pk} = C_e \cdot 8\,760 \cdot a^2 \Delta P_k = 5 \cdot 8\,760 \cdot 0,0484 \cdot 3,2 = 6\,784 \quad [\text{Kč}]$$

$$C_D = C_d \cdot (\Delta P_0 + \Delta P_k) = 6\,400 \cdot (0,195 + 3,2) = 21\,728 \quad [\text{Kč}]$$

Celkové náklady na provoz a vlastnictví transformátoru jsou dány vztahem (12):

$$\sum (C_C + C_{P0} + C_{Pk} + C_D) = 71\,801 \quad [\text{Kč}]$$

Jak je z výpočtů zřejmé, úspora ve prospěch transformátoru s amorfním jádrem činí **41 518 Kč/rok**. Vezmeme-li v úvahu, že rozdíl v pořizovací ceně těchto dvou modelových variant je 155 000 Kč, tak při provozu kratším jak čtyři roky se vynaložená investice vrátí. Výsledkem je ta skutečnost, že je vhodné, ba dokonce žádoucí investovat do takového nízkoztrátového zařízení i přes jeho zvýšenou nákupní cenu.

3 Návrh konfigurace napájecí sítě a dimenzování kabelů

3.1 Návrh konfigurace napájecí sítě uvnitř areálu

3.1.1 Obecné pojetí problematiky sítí

Rozvodné systémy, které jsou instalovány v průmyslových závodech a jim podobných areálech, musejí být konstruovány tak, aby byly co nejvíce provozně spolehlivé, stejně tak jako ekonomicky výhodné, a to z hlediska prvotních investic a následného dlouholetého provozu [10].

Optimální řešení pro volbu konkrétního typu rozvodu nezáleží pouze na velikosti daného závodu (areálu), spočívající v jeho rozloze, ale také na počtu a velikosti všech instalovaných spotřebičů. Konkrétní provoz, což je druh provozu a požadavky kladené na tento areál jsou též velice významné při volbě rozvodné sítě [10].

Pro rozvod elektrické energie se v průmyslových závodech v zásadě používá několik různých rozvodných sítí. Jednotlivé druhy se mezi sebou liší zejména různou jistotou zajištění dodávky, dále měrnou hustotou odebíraného výkonu a v neposlední řadě též různou výší investičních nákladů při výstavbě [10]. Mezi základní typy rozvodných sítí nn patří [1]:

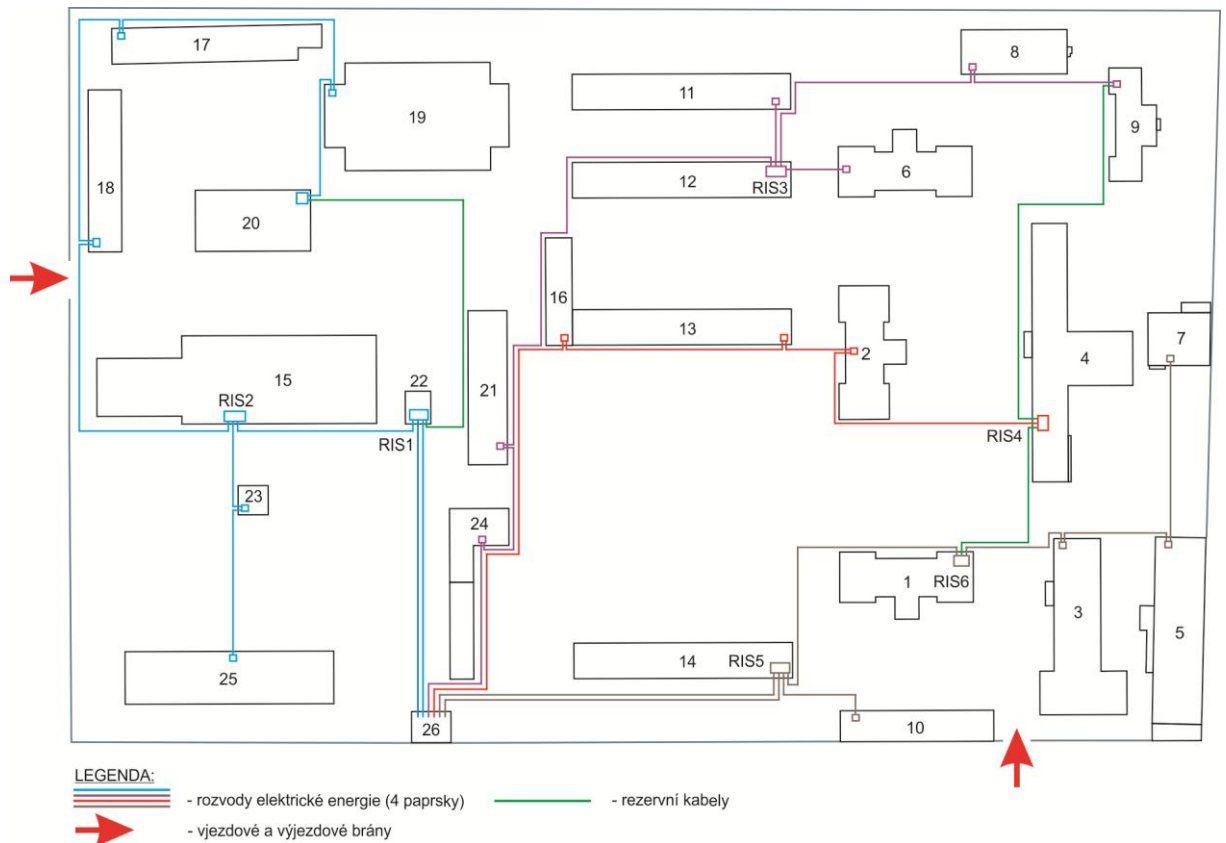
- *Paprskové sítě* – vyznačují se zásobováním jednotlivých odběrů z jednoho napájecího místa pomocí paprsků. Tyto paprsky jsou samostatné a nelze je mezi sebou propojovat. Takto provedená síť je velice přehledná, jednoduchá, laciná, avšak s nejnižší spolehlivostí dodávky elektrické energie.
- *Okružní sítě (smyčkové)* – jedná se o paprsky, které jsou provozovány sepnuty nebo rozpojeny a vedeny tak, aby bylo možné jejich případné sepnutí. Většinou jsou za běžného stavu provozovány v rozepnutém stavu, tudíž jako paprskové sítě. Toto uspořádání zvyšuje jistotu zajištění dodávky při poruše přepnutím ručně nebo automaticky na sousední vývod.
- *Zjednodušené mřížové sítě* – mívají dva a více transformátorů pracujících do společné sítě napájených z jedné vstupní transformovny. Síť mívá dva typy pojistek (silné a slabé) umístěny tak, aby při poruše došlo k odpojení této poruchy a relativně malého okolí.

- *Mřížové sítě* – vhodné pro velkou koncentraci odběrů (1 MW/km²) s nejvyšší možnou jistotou zajištění dodávky. Tato síť bývá osazena více transformátory napájenými několika vstupními transformovkami a pospojována na vhodných místech pro snadnou lokalizaci případné poruchy.

3.1.2 Navržení napájecí sítě uvnitř areálu

V námi navrhovaném areálu se nenacházejí objekty, které by vyžadovaly vyšší stupeň zajištění dodávky elektrické energie (viz. 2.3.1.), pouze Štábní budova č.1 je osazena záložním zdrojem v podobě diesel agregátu. V areálu jsou pouze umístěny objekty s větším nebo menším instalovaným výkonem.

Na základě všech výše uvedených skutečností a podkladů bylo rozhodnuto, že napájecí síť bude provedena paprskovým způsobem z části zkruhovaná. Avšak toto zkruhování nebude provozováno neustále za běžného stavu. Budou v zemi instalovány rezervní kabely, které v určitých pojistkových skříních nebudou osazeny pojistkami. Jejich využití nastane ve chvíli poruchy, kdy obsluha vloží tyto pojistky, tak aby bylo zajištěno napájení ze strany neporušeného paprsku. Tímto způsobem se značně zkrátí čas výpadku a oprava se omezí jen na tu část, kde vznikla daná porucha. Jednotlivé paprsky (celkem čtyři) jsou pro větší přehled mezi sebou barevně odlišeny (viz. *Obr. 3*) a již zmíněné rezervní kabely jsou označeny zelenou barvou. Použití mřížové sítě by bylo značně nákladné, v tomto případě neopodstatněné a tudíž neefektivní (zejména finančně). Celkové zobrazení je uvedeno na následujícím obrázku *Obr. 3*.



Obr. 3 Situační plán elektrických rozvodů areálu

3.2 Dimenzování s jištěním kabelů

3.2.1 Obecný postup při dimenzování a jištění kabelů

Dimenzování silnoproudých kabelů je velice důležité nejen pro jejich dlouholetý, bezpečný a bezporuchový provoz, ale také pro ekonomickou efektivnost aby nedocházelo ke zbytečnému plýtvání finančních prostředků při výstavbě sítě.

Každý kabelový rozvod by měl být dimenzován na následující požadavky, které jsou uvedené v [2]:

- provozní teplota jádra kabelu by neměla překročit stanovenou mez
- odolnost kabelů vůči tepelným účinkům zkratových proudů
- úbytek napětí byl v předepsané toleranci
- ochrana před nebezpečným dotykem
- správná volba jisticího prvku kabelu
- mechanická pevnost všech kabelů dostatečně vysoká
- průřez kabelu by měl být v hospodárných mezích

3.2.1.1 Dimenzování kabelů na dovolenou provozní teplotu

Důvodem tohoto druhu dimenzování je ta skutečnost, že během provozu sítě a tím pádem jednotlivých kabelů nesmí dojít k tomu, aby teplota jader přesáhla stanovenou mez vlivem průchodu proudu. Příliš vysoké provozní teploty mají za následek změnu mechanických vlastností vodiče (jde o tzv. rekrytalizaci) a také dochází ke zkracování životnosti izolace. Tyto skutečnosti vedou k určení nejvyšší dovolené provozní teploty \mathcal{G}_{dov} a z ní vyplývající dovolený proud, kterým lze vodič trvale zatěžovat [2].

Provozní teplota \mathcal{G}_z spolu se zatížením vodičů za normálních podmínek závisí na těchto parametrech [2]:

- daný typ vodiče, popřípadě kabelu, druh izolace
- charakteristika provozu
- charakteristika prostředí, ve kterém se vodič nachází
- charakteristika uspořádání uložení vodičů
- charakteristika zátěže, ke které je vodič připojen

Základní, neboli referenční hodnota teploty prostředí pro izolované vodiče uložené ve vzduchu je 30 °C a pro uložení v zemi 20 °C [2]. Norma ČSN 33 2000-5-523 uvádí dovolené proudy I_n přiřazené kabelům s konkrétním průřezem [11]. V případě, že není vodič uložen za výše uvedených základních podmínek, je nutné jeho přepočtení na dovolené proudové zatížení I_Z pomocí koeficientů k uvedených ve výše zmíněné normě [11]. Výsledné dovolené proudové zatížení I_Z se vypočte dle následujícího vztahu [2]:

$$I_Z = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_i \cdot I_n \quad [A] \quad (13)$$

kde: I_n je jmenovité proudové zatížení konkrétního vodiče uloženého za základních podmínek

k_1, k_2 až k_i jsou jisté přepočítávací koeficienty pro konkrétní typ uložení vodiče

Nutné je též splnění podmínky, že průchozí, tedy výpočtový proud I_P musí být roven nebo menší právě vypočtenému proudovému zatížení I_Z . Zapsáno ve vztahu [2]:

$$I_P \leq I_Z \quad (14)$$

Jak je zřejmé, provozní teplota ϑ_z a následně dovolené proudové zatížení I_Z kabelu závisí na mnoha parametrech, jakými jsou typ kabelu, dále jeho uložení a uspořádání v konkrétním prostředí a také charakter provozu i zátěže.

3.2.1.2 Dimenzování kabelů na účinky zkratových proudů

Během zkratu jsou kabely a všeobecně vodiče namáhány nejen tepelnými, ale také dynamickými účinky zkratového proudu. Kontrola na tepelné účinky se musí při výpočtech provádět vždy, avšak kontrola na dynamické účinky se provádí zejména u holých vodičů, u přípojníc, podpěr a všude tam, kde hrozí, že vlivem působících sil by mohlo dojít k dotyku živých částí [2].

Cílem toho druhu dimenzování je určení minimálního průřezu S_{min} jádra vodiče, při kterém nedojde k jeho ohřátí nad stanovenou mez po odpojení zkratu. Tato teplota ϑ_k je dána krátkodobým oteplením vlivem průchodu zkratového proudu a je stanovena na základě požadavků na stárnutí izolace a snížení mechanické pevnosti. Doba trvání zkratu t_k je velice krátká (v porovnání s oteplovacími konstantami), a proto se veškeré vyvinuté teplo nashromáždí uvnitř materiálu a tím dojde ke změně provozní teploty ϑ_z na ϑ_k po zkratu. Neuvažuje se přestup tepla z vodiče do okolí [2].

Všechny následující výpočty vycházejí ze znalosti velikosti tzv. **rázového zkratového proudu I_k''** spočteného dle následujícího vzorce [12]:

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad [A] \quad (15)$$

kde: c je napěťový součinitel respektující nejvyšší dovolené napětí

U_n je fázové napětí

Z_k je zkratová impedance

Pro další výpočty, jakými je návrh jisticího prvku nebo mechanické namáhání vodičů (zejména tuhých) je dále nutná znalost tzv. **nárazového zkratového proudu i_p** , který spočteme dle následujícího vzorce [12]:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad [A] \quad (16)$$

kde: κ je součinitel respektující závislost poměru činné R a jalové X složky zkratové impedance Z_k . Hodnotu toho součinitele κ je možné určit odečtením z příslušného grafu nebo za pomoci následujícího vztahu [12]:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R}{X}} \quad [-] \quad (17)$$

Dále se využívá definice tzv. **ekvivalentního oteplovacího (termického) zkratového proudu $I_{th, Tk}$** , který spočteme dle následujícího vzorce [13]:

$$I_{th, Tk} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} \quad [A] \quad (18)$$

kde: m je součinitel respektující časově závislý tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu, který lze dle [12] spočítat následovně:

$$m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot t_k \cdot \ln(\kappa - 1)} \cdot [e^{4 \cdot f \cdot t_k \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1] \quad [-] \quad (19)$$

n je součinitel respektující časově závislý tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu (dle normy ČSN EN 60909-0 [12] je $n=1$)

Při výpočtech týkajících se návrhu jisticích prvků, je nutný přepočtení ekvivalentního oteplovacího proudu $I_{th, Tk}$ na shodnou dobu trvání zkratu t_k podle následujícího vztahu [2]:

$$I_{th, Tk}^2 \cdot t_k = I_{th, 1}^2 \cdot t_{k, 1} \Rightarrow I_{th, 1}^2 = I_{th, Tk}^2 \cdot \frac{t_k}{t_{k, 1}} \Rightarrow I_{th, 1} = I_{th, Tk} \cdot \sqrt{\frac{t_k}{t_{k, 1}}} \quad [A] \quad (20)$$

Na základě znalosti ekvivalentního oteplovacího proudu $I_{th, Tk}$ lze spočítat námi hledaný minimální průřez kontrolovaného kabelu [2]:

$$S_{\min} = \frac{I_{th, Tk} \cdot \sqrt{t_k}}{K} \leq S \quad [mm^2] \quad (21)$$

kde: t_k je doba trvání zkratu

K je koeficient respektující teplotu jádra vodiče před a po zkratu, dále materiál jádra a izolace (vzat z normy ČSN 60909-0 [12])

Tento výsledek se porovná s průřezem navrhovaného kabelu a rozhodne se o jeho ponechání v případě vyhovění podmínce nebo nahrazení kabelem s větším průřezem [2].

3.2.1.3 Dimenzování kabelů na úbytek napětí

Odchylka napětí na svorkách spotřebiče od jmenovité hodnoty je způsobena úbytkem napětí a právě ten společně s jeho kolísáním je kvalitativním ukazatelem dodávky elektrické energie. Za tímto cílem se provádí dimenzování kabelů tak, aby nedocházelo k nedovolenému poklesu napětí vlivem zatížení [2].

Pro valnou většinu zařízení, a to jak motorovou, tak odporovou je dovolena tolerance kolísání napětí $\pm 5\%$ z U_n . Příslušná norma řeší konkrétní hodnoty kolísání napětí [2].

Odchylka napětí se určí jako rozdíl absolutní hodnoty napětí v konkrétním místě a napětí jmenovitého ($U - U_n$). Kdežto úbytek napětí určíme jako rozdíl absolutních hodnot napětí na dvou místech soustavy [2].

Úbytek napětí pro síť s účínkem $\cos\varphi \geq 0,5$ lze určit dle klasického vztahu [2]:

$$\Delta U_f = R \cdot I_P \cdot \cos \varphi_{stř} + X \cdot I_P \cdot \sin \varphi_{stř} \quad [V] \quad (22)$$

Úbytek napětí pro síť s účínkem $\cos\varphi \leq 0,5$ lze určit dle vztahu [2]:

$$\Delta U_f = R \cdot I_P \cdot \cos \varphi_{stř} + X \cdot I_P \cdot \sin \varphi_{stř} + \frac{(R \cdot I_P \cdot \sin \varphi_{stř} - X \cdot I_P \cdot \cos \varphi_{stř})^2}{2 \cdot U_{nfáz}} \quad [V] \quad (23)$$

kde: R je elektrický odpor vodiče

X je reaktance vodiče

I_P je proud tekoucí vodičem (jedná se o výpočtový proud I_P)

$\cos\varphi_{stř}$ je střední účíník odebíraného proudu

$U_{nfáz}$ je fázové napětí

Aby bylo možné vyhovět požadavku na co nejmenší úbytek napětí v síti, je vhodné instalovat kabely s větším průřezem, avšak za předpokladu dodržení podmínky hospodárného průřezu.

3.2.1.4 Ochrana před nebezpečným dotykem

Součástí navrhování a dimenzování sítí též nutná kontrola impedance tzv. zkratových (poruchových) smyček, a to z důvodu ochrany před nebezpečným dotykem. Tato ochrana se provádí automatickým odpojením od zdroje a dochází tak k zamezení úrazu elektrickým proudem. V případě poruchy ochranné zařízení, kterým bývá např. jistič, musí bezpodmínečně přerušit napájení vodičů daného vedení, které je v poruše a to ve stanoveném čase. Tato porucha (zkrat o minimální impedanci) vzniká mezi neživou částí zařízení nebo ochranným vodičem PE daného obvodu a fázovým vodičem L. Pro síť TN (s účinně uzemněným uzlem), což je případ námi navrhovaného areálu, je maximální čas vypnutí t_{max} stanoven na 5 vteřin [14].

Během poruchy mezi fázovým vodičem a neživou částí zařízení, která je spojena přes ochranný vodič PE s nulovým bodem zdroje dojde k průchodu poruchového proudu I_a . Na tento proud zareaguje ve stanoveném čase ochranný prvek (časově nezávislá zkratová spoušť jističe) a odpojí zařízení od zdroje. Hodnota proudu zkratové spouště se získá odečtením z charakteristiky jističe (pro $t_{max}=5$ s) a je nutné tuto hodnotu navýšit o 10 %, jelikož spoušť zahrnuje jisté pásmo necitlivosti. Pro správnou funkci ochranného prvku ve stanovený čas je nutné splnit následující požadovanou podmínku [14]:

$$Z_{sp} \cdot I_a \leq U_0 \quad [V] \quad (24)$$

kde: Z_{sp} je požadovaná impedance zkratové smyčky včetně zdroje, fázového i ochranného vodiče

I_a je poruchový proud, který vyvolá automatické odpojení od zdroje

U_0 je jmenovité napětí fáze proti zemi

Splnění výše uvedené podmínky (24) je nutné i za nejvíce nepříznivého předpokládaného stavu, kterým zejména je zvýšení impedance smyčky. Je to dáno nárůstem činného odporu

kabelu jako následek průchodu poruchového proudu I_a po stanovenou dobu do odpojení poruchy. Jako další nepříznivé podmínky jsou nepřesnosti měřicích přístrojů a také vnitřní impedance jisticích přístrojů, které navyšují celkovou impedanci poruchové smyčky. Za tímto účelem byl zvolen korigující součinitel roven hodnotě 1,5 a zavedeny dvě hodnoty impedancí. První se nazývá výpočtová impedance poruchové smyčky, která se spočte dle vztahu [14]:

$$Z_{sv} \leq \frac{U_0}{I_a} \quad [\Omega] \quad (25)$$

Druhá se nazývá změřená impedance poruchové smyčky, kterou lze spočítat dle vztahu [14]:

$$Z_{sm} \leq \frac{U_0}{1,5 \cdot I_a} \quad [\Omega] \quad (26)$$

Výpočtový program Sichr, který byl použit pro dimenzování kabelů v této práci, provádí tuto kontrolu automaticky.

3.2.1.5 Volba jisticího prvku kabelu

V případě jištění kabelů platí nutná podmínka pro výběr adekvátního jisticího prvku tak, aby byla zajištěna jeho správná funkce v případě poruchy [15]:

$$I_P \leq I_R(I_{PN}) \leq I_Z \quad (27)$$

kde: I_P je proud průchozí kabelem (jedná se o výpočtový proud I_P)

I_R je jmenovitý proud jističe nebo pojistky I_{PN}

I_Z je dovolené proudové zatížení kabelu, přepočteného dle koeficientů k

Navazující podmínka určuje jmenovitý proud jisticího prvku (pojistky I_{PN} nebo jističe I_R), který získáme vynásobením dovoleného proudového zatížení kabelu I_Z součinitelem přiřazení jisticího prvku K_j . Tento součinitel K_j zahrnuje teplotu, pro kterou byl I_Z stanoven s ohledem na tu skutečnost, že teplota jádra kabelu nesmí za jakékoliv poruchy překročit stanovenou mez. Vše zapsáno v následujícím vztahu [15]:

$$I_R = K_j \cdot I_Z \quad [A] \quad (28)$$

Jak je z předešlého zřejmé konkrétní kabel a k němu volba správného jističe spolu značně souvisí. Pro správnou funkci jističe (bezpečné rozpojení obvodu s poruchou) je též nutné porovnání jeho parametrů s parametry zkratových proudů v místě jeho instalace. Musejí být splněny následující podmínky [16]:

- mezní vypínací schopnost jističe I_{cu} musí být rovna nebo větší hodnotě rázového zkratového proudu I_k'' v místě připojení jističe, zapsáno vztahem:

$$I_{cu} \geq I_k'' \quad (29)$$

- zapínací schopnost jističe I_{cm} musí být též rovna nebo větší nárazovému zkratovému proudu i_p v místě připojení jističe, zapsáno vztahem:

$$I_{cm} \geq i_p \quad (30)$$

- krátkodobý výdržný proud jističe I_{cw} (provozní zkratová schopnost) musí být vyšší než ekvivalentní oteplovací zkratový proud I_{th} pro stejnou dobu trvání zkratu. Jde o tepelnou odolnost.

$$I_{cw} \geq I_{th} \quad (31)$$

Všechny tyto výše uvedené hodnoty jsou velice důležité z hlediska bezpečného provozu jisticího prvku, ať už se jedná o bezpečné rozpojení blízkého zkratu, nebo tento zkrat jej nesmí poškodit v případě, že se jedná o jisticí prvek nadřazený.

3.2.1.6 Dimenzování kabelů na mechanickou pevnost

Každý kabel by měl být dimenzován tak, aby dokázal odolávat mechanickému namáhání během jeho běžného provozu. K největšímu namáhání dochází při jeho pokládání při výstavbě sítě, při jeho protahování průchodkami, trubkami, apod. Normy také uvádějí minimální průřezy kabelů vzhledem k jejich mechanické pevnosti.

3.2.1.7 Dimenzování průřezu kabelů z hlediska hospodárnosti

Cílem toho dimenzování je, aby kabely byly zatěžovány pouze hospodárným proudem, a to z důvodu celkových ročních nákladů, skládajících se jak z nákladů na pořízení, tak provoz a údržbu. Proto všechny tyto parametry musejí být v optimálních mezích [2].

Hospodárný průřez kabelu se počítá dle následujícího vztahu [2]:

$$S = k \cdot I_p \cdot \sqrt{T} \quad [mm^2] \quad (32)$$

kde: k je koeficient získaný na základě normy [4]

I_p je výpočtový proud

T je doba plných ztrát, kterou lze spočítat podle vztahu [2]:

$$T = t \cdot \left(0,2 \cdot \frac{A}{P_p \cdot t} + 0,8 \cdot \frac{A^2}{P_p^2 \cdot t^2} \right) \quad [hod.] \quad (33)$$

kde: t je počet hodin, kdy je zařízení v provozu

A je elektrická energie přenesená vedením za rok

P_p je výpočtové zatížení

3.2.2 Vlastní dimenzování kabelové sítě areálu

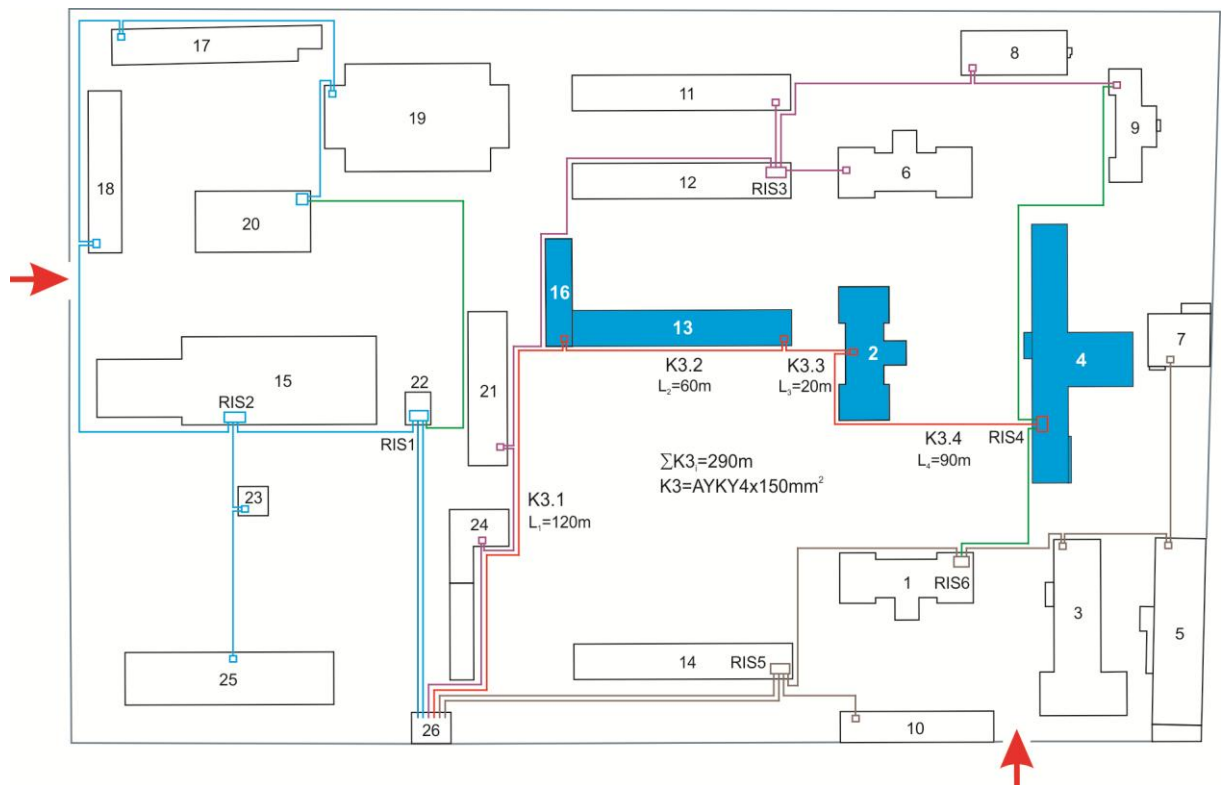
3.2.2.1 Výpočet rázového zkratového proudu

V předchozí kapitole 3.2.1 byl uveden všeobecný postup výpočtu dimenzování jakéhokoliv vedení nebo kabelu. V této práci byl pro výpočet a návrh použit výpočtový program Sichr. Jako následující bude uveden postup provedeného výpočtu pro 3. paprsek (kabel K3), který napájí objekty č.16, č.13, č.2 a č.4. Pro výpočet budou použity vztahy uvedené v předchozí kapitole a dále v [15].

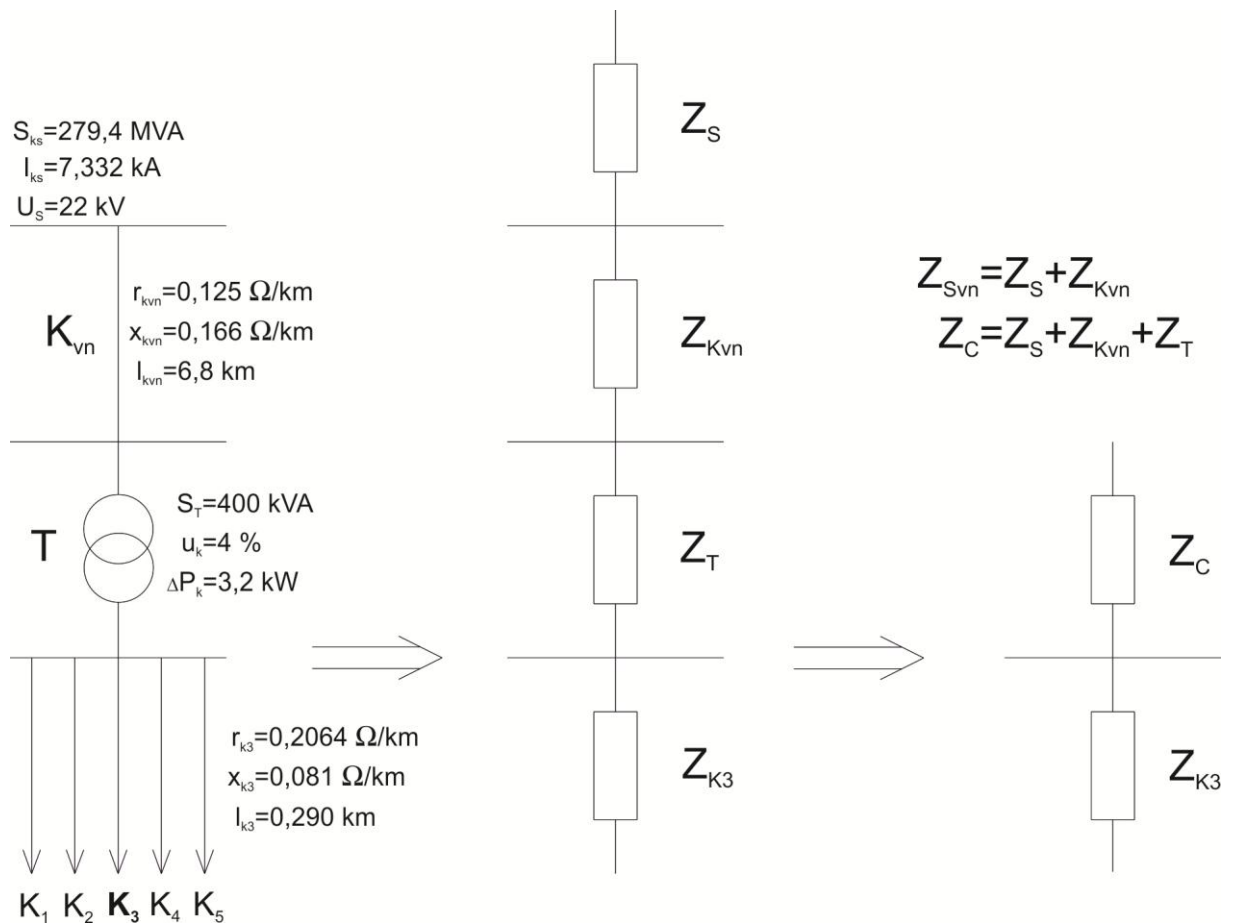
Jak již bylo uvedeno, výpočty vycházejí ze znalosti rázového zkratového proudu I_k'' v místě připojení námi dimenzovaného kabelu. Pro jeho výpočet je nutné znát hodnotu zkratového proudu v rozvodně vn, dále parametry vedení vn a transformátoru vn/nn.

Na základě dohovy s pracovníkem energetického závodu byly tyto parametry získány. Následující obrázky *Obr. 4* a *Obr. 5* schematicky znázorňují danou situaci včetně popisu dimenzovaného kabelu, který je označen červenou barvou.

Areál, pro který navrhujeme napájení je připojen pomocí kabelu vn (240 mm^2) v délce 6,8 km k místní rozvodně vn, ze které budeme při výpočtech vycházet.



Obr. 4 Schematické znázornění dimenzovaného kabelu K3



Obr. 5 Schematické znázornění impedancí pro výpočet rázového zkratového proudu

Hodnoty potřebné pro výpočet:

- $I_{ks}=7,332 \text{ kA}$ rázový zkratový proud v rozvodně vn
- $S_{ks}=279,4 \text{ MVA}$ zkratový výkon v rozvodně vn
- $U_s=22 \text{ kV}$ jmenovité napětí vn
- $c=1,1$ napěťový součinitel respektující nejvyšší napětí
- $r_{kv}=0,125 \text{ } \Omega/\text{km}$ měrný činný odpor kabelu vn
- $x_{kv}=0,166 \text{ } \Omega/\text{km}$ měrná induktivní reaktance kabelu vn
- $l_{kv}=6,8 \text{ km}$ délka kabelu vn
- $S_N=400 \text{ kVA}$ jmenovitý výkon transformátoru vn/vn
- $u_k=4 \text{ } \%$ napětí nakrátko transformátoru
- $\Delta P_k=3,2 \text{ kW}$ ztráty nakrátko transformátoru
- $U_n=0,4 \text{ kV}$ jmenovité napětí sítě areálu

Postup spočívá ve výpočtu celkové impedance Z_C do místa připojení dimenzovaného kabelu. To vše pomocí impedance sítě Z_S , dále pomocí činného odporu a reaktance kabelu vn. Tuto hodnotu impedance Z_{Svn} je nutné přepočítat přes transformátor a následně připočtením jeho impedance získáme hledanou celkovou impedanci Z_C . Z těchto parametrů je nutné též vypočítat hodnotu zkratového výkonu před transformátorem, jako podklad pro výpočtový program Sichr. Vše zapsáno a vypočteno následovně:

$$Z_S = \frac{c \cdot U_S}{\sqrt{3} \cdot I_{ks}} = \frac{1,1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 7,332} = 1,9056024 \quad [\Omega]$$

$$X_S = 0,987 \cdot Z_S = 0,987 \cdot 1,9056024 = 1,8808295 \quad [\Omega]$$

$$R_S = 0,16 \cdot X_S = 0,16 \cdot 1,8808295 = 0,3009327 \quad [\Omega]$$

$$R_{Kvn} = r_{kvn} \cdot l_{kvn} = 0,125 \cdot 6,8 = 0,85 \quad [\Omega]$$

$$X_{Kvn} = x_{kvn} \cdot l_{kvn} = 0,166 \cdot 6,8 = 1,129 \quad [\Omega]$$

$$X_{Svn} = X_S + X_{kvn} = 1,8808295 + 1,129 = 3,0098295 \quad [\Omega]$$

$$R_{Svn} = R_S + R_{Kvn} = 0,3009327 + 0,85 = 1,1509327 \quad [\Omega]$$

$$Z_{Svn} = \sqrt{R_{Svn}^2 + X_{Svn}^2} = \sqrt{1,1509327^2 + 3,0098295^2} = 3,222378 \quad [\Omega]$$

↓

$$S_k'' = \frac{c \cdot U_S^2}{Z_{Svn}} = \frac{1,1 \cdot 22^2}{3,222378} = 165 \quad [MVA] \quad \text{pred transformátorem}$$

$$Z_{S0,4} = (R_{Svn} + jX_{Svn}) \frac{1}{p^2} = (1,1509327 + j3,0098295) \left(\frac{0,4}{22}\right)^2 \quad [\Omega]$$

$$Z_{S0,4} = 0,3805 \cdot 10^{-3} + j0,994985 \cdot 10^{-3} \quad [\Omega]$$

$$Z_T = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_N} = \frac{4}{100} \cdot \frac{400^2}{400 \cdot 10^3} = 0,016 \quad [\Omega]$$

$$R_T = \frac{\Delta P_k}{S_N} \cdot \frac{U_n^2}{S_N} = \frac{3,2 \cdot 10^3}{400 \cdot 10^3} \cdot \frac{400^2}{400 \cdot 10^3} = 3,2 \cdot 10^{-3} \quad [\Omega]$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{0,016^2 - (3,2 \cdot 10^{-3})^2} = 0,0157 \quad [\Omega]$$

$$R_C = R_{S0,4} + R_T = 0,3805 \cdot 10^{-3} + 3,2 \cdot 10^{-3} = 3,581 \cdot 10^{-3} \quad [\Omega]$$

$$X_C = X_{S0,4} + X_T = 0,994985 \cdot 10^{-3} + 0,0157 = 16,695 \cdot 10^{-3} \quad [\Omega]$$

$$Z_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} = \sqrt{(3,581 \cdot 10^{-3})^2 + (16,695 \cdot 10^{-3})^2} = 17,0747 \cdot 10^{-3} \quad [\Omega]$$

↓

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_C} = \frac{1,1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 17,0747 \cdot 10^{-3}} = 14,878 \quad [kA]$$

3.2.2.2 Určení výpočtového proudu I_P

V této části bude proveden výpočet výpočtového proudu I_P kabelu, který jak již bylo uvedeno, napájí objekty č.16, č.13, č.2 a č.4. Součet výpočtových výkonů S_{Pi} jednotlivých budov včetně příslušných soudobostí β_i i a také koeficientu soudobosti všech objektů k_s činí **66,48** kVA viz *Tab. 1*. Výpočtový proud I_P lze spočítat podle následujícího vztahu [2]:

$$I_P = \frac{P_P}{\sqrt{3} \cdot U_S \cdot \cos \varphi_{stř}} \quad [A] \quad (34)$$

kde: P_P je výpočtový výkon
 U_S je sdružené napětí
 $\cos \varphi_{stř}$ je střední účinník

Upravením a dosazením do vztahu (34) získáme hodnotu výpočtového proudu I_P :

$$I_P = \frac{P_P}{\sqrt{3} \cdot U_S \cdot \cos \varphi_{stř}} = \frac{S_{Pvyp}}{\sqrt{3} \cdot U_S} = \frac{66480}{\sqrt{3} \cdot 400} = 95,96 \quad [A]$$

3.2.2.3 Výpočet dovoleného zatížení kabelu – kontrola na oteplení

V této a dalších navazujících částech lze přistoupit ke kontrolám námi navrženého kabelu K3 (AYKY4x150 mm²). Tento kabel je uložen v zemi za normálních podmínek (20 °C), v mírně vlhké, jílovité půdě s měrným odporem 1 K.m/W a v délce 120 m (ze 290 m) je ve výkopu uložen souběžně s dalším kabelem (2. paprsku), se kterým se přímo dotýká. Pro výpočet budeme uvažovat nejméně příznivou variantu, kdy souběh kabelů bereme po celé délce, i když tomu tak ve skutečnosti není.

Jisticím prvkem dimenzovaného kabelu K3 byl zvolen jistič Modeion typ BD250 od firmy OEZ s parametry uvedenými v Příloze C.

Hodnoty potřebné pro výpočet:

- $I_N=278$ A jmenovité proudové zatížení kabelu [11]
- $I_P=95,96$ A výpočtový proud pro 3. paprsek

- $\vartheta_{\max}=70\text{ °C}$ maximální dovolená provozní teplota jádra kabelu
- $k_1=0,9$ přepočítávací koeficient podle měrného odporu půdy [11]
- $k_2=1$ přepočítávací koeficient podle teploty uložení kabelu [11]
- $k_3=0,75$ přepočítávací koeficient podle druhu uskupení kabelů [11]

Dosazením do vztahu (13) získáme hodnotu dovoleného proudového zatížení I_Z pro kabel uložen podle skutečných podmínek:

$$I_Z = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_n = 0,9 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 278 = 187,65 \text{ [A]}$$

Na základě podmínky (14) ověříme její splnění:

$$I_p \leq I_Z = 95,96 \leq 187,65 \text{ [A]} \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Z výsledku je zřejmé, že je kabel proudově zatěžován s dostatečnou rezervou. Tudiž během provozu nedojde k jeho ohřátí nad stanovenou mez ($\vartheta_{\max}=70\text{ °C}$).

3.2.2.4 Ověření účinků zkratových proudů – kontrola minimálního průřezu

Výpočet rázového zkratového proudu I_k'' byl proveden v kapitole 3.2.2.1 a pro další ověření je nutné znát hodnotu ekvivalentního oteplovacího zkratového proudu $I_{th,Tk}$.

Hodnoty potřebné pro výpočet:

- $I_k'' = 14,878 \text{ kA}$ rázový zkratový proud na začátku dimenzovaného kabelu
- $R_C = 3,581 \cdot 10^{-3} \text{ } \Omega$ celkový odpor k místu I_k'' (viz. 3.2.2.1)
- $X_C = 16,695 \cdot 10^{-3} \text{ } \Omega$ celková induktivní reaktance k místu I_k'' (viz. 3.2.2.1)
- $t_k = 10 \text{ ms (0,01 s)}$ doba vypnutí jističe při I_{cu}
- $n=1$ součinitel respektující časově závislý tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu (dle normy ČSN EN 60909-0 [12])
- $K=73$ koeficient respektující teplotu jádra vodiče před a po zkratu, dále materiál jádra a izolace [12]

Pro výpočet nárazového zkratového proudu i_p musíme nejprve zjistit hodnotu součinitele κ , který respektuje závislost poměru činné R_C a jalové X_C složky zkratové impedance Z_C . Získáme ho dosazením do vztahu (17):

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R_C}{X_C}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{3,58110^{-3}}{16,69510^{-3}}} = 1,534948 \quad [-]$$

Dosazením do vztahu (16) získáme hodnotu nárazového zkratového proudu i_p :

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,534948 \cdot \sqrt{2} \cdot 14,878 = 32,296 \quad [kA]$$

Jako další v pořadí je výpočet ekvivalentního oteplovacího zkratového proudu $I_{th,Tk}$. Opět nejdříve dosazením do vztahu (19) vypočteme hodnotu součinitele m , který respektuje časově závislý tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu:

$$m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot t_k \cdot \ln(\kappa - 1)} \cdot [e^{4 \cdot f \cdot t_k \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1]$$

$$m = \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot 0,01 \cdot \ln(1,534948 - 1)} \cdot [e^{4 \cdot 50 \cdot 0,01 \cdot \ln(1,534948 - 1)} - 1] = 1,141 \quad [-]$$

Dosazením do vztahu (18) získáme hodnotu ekvivalentního oteplovacího (termického) zkratového proudu $I_{th,Tk}$:

$$I_{th,Tk} = I_k'' \cdot \sqrt{m + n} = 14,878 \cdot \sqrt{1,534948 + 1} = 21,769 \quad [kA]$$

Na základě znalosti ekvivalentního oteplovacího zkratového proudu $I_{th,Tk}$ jsme schopni dosazením do vztahu (21) získat hodnotu minimálního průřezu S_{min} a tu porovnat s kontrolovaným kabelem:

$$S_{min} = \frac{I_{th,Tk} \cdot \sqrt{tk}}{K} \leq S$$

$$S_{min} = \frac{21769 \cdot \sqrt{0,01}}{73} \leq 150 \Rightarrow 29,8 \leq 150 \quad [mm^2] \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

3.2.2.5 Výpočet úbytku napětí

Cílem tohoto druhu kontroly je stanovení konkrétní hodnoty úbytku napětí, které vzniká na provozně zatíženém kabelu K3. Dle normy ČSN 341610 [4] by tento úbytek neměl přesahovat více jak 5 % ze jmenovité hodnoty. Zavádí se zde násobný koeficient (1,2), který respektuje navýšení činného odporu kabelu vlivem nárůstu teploty během jeho provozu [2].

Hodnoty potřebné pro výpočet:

- $r_{k3}=0,2064 \text{ } \Omega/\text{km}$ měrný činný odpor kabelu
- $x_{k3}=0,081 \text{ } \Omega/\text{km}$ měrná induktivní reaktance kabelu
- $l_{k3}=0,290 \text{ km}$ délka kabelu
- $I_p=95,96 \text{ A}$ výpočtový proud (viz. 3.2.2.2)
- $\cos\varphi_{stř}=0,8$ hodnota středního účinníku

Dosazením hodnot do vztahu (22) a jeho upravením získáme fázový úbytek napětí:

$$\begin{aligned}
 R_{K3} &= r_{k3} \cdot l_{k3} = 0,2064 \cdot 0,290 = 59,856 \cdot 10^{-3} \text{ } [\Omega] \\
 X_{K3} &= x_{k3} \cdot l_{k3} = 0,081 \cdot 0,290 = 23,49 \cdot 10^{-3} \text{ } [\Omega] \\
 &\quad \Downarrow \\
 \Delta U_f &= 1,2 \cdot R \cdot I_p \cdot \cos \varphi_{stř} + X \cdot I_p \cdot \sin \varphi_{stř} \text{ } [V] \\
 \Delta U_f &= 1,2 \cdot 59,856 \cdot 10^{-3} \cdot 95,96 \cdot 0,8 + 23,49 \cdot 10^{-3} \cdot 95,96 \cdot 0,6 \text{ } [V] \\
 \Delta U_f &= 6,866 \text{ } [V]
 \end{aligned}$$

Pro procentní vyjádření použijeme následující vztah: [15]

$$\Delta u_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U_f \cdot 100}{U_n} \text{ } [\%] \tag{35}$$

Dosazením do vztahu (35) získáme hledaný procentní úbytek kabelu $\Delta u_{\%}$:

$$\Delta u_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U_f \cdot 100}{U_n} = \frac{\sqrt{3} \cdot 6,866 \cdot 100}{400} = 2,97 \leq 5 \text{ } [\%] \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Tento úbytek byl určen na základě předpokladu nejméně příznivých podmínek, jakými je souběh přímo se dotýkajících kabelů v celé délce (ve skutečnosti v délce 120 m ze 290 m)

a zejména výpočtový proud $I_P=95,96$ A byl uvažován na samém konci kabelu. Ve skutečnosti je odebíraný výkon, potažmo výpočtový proud rozložen po částech a tím způsobí menší dílčí úbytky napětí. Z tohoto vyplývá, že není nutné vypočítávat úbytky napětí na kabelech mezi jednotlivými objekty 3. paprsku (viz. Obr. 4).

3.2.2.6 Kontrola na ochranu před nebezpečným dotykem

Cílem této kontroly je porovnání velikosti požadované Z_{sp} a vypočtené Z_{svyp} zkratové impedance a tak rozhodnout o spolehlivosti automatického odpojení od zdroje za pomoci časově nezávislé zkratové spouště jističe.

Hodnoty potřebné pro výpočet:

- $I_a=776,6$ A poruchový proud včetně koeficientu 1,1 (viz 3.2.1.4)
- $U_0=230$ V fázové napětí
- $R_C=3,581 \cdot 10^{-3} \Omega$ celkový odpor sítě včetně transformátoru (viz. 3.2.2.1)
- $X_C=16,695 \cdot 10^{-3} \Omega$ celková induktivní reaktance (viz. 3.2.2.1)
- $R_{LK3}=59,856 \cdot 10^{-3} \Omega$ činný odpor fázového vodiče kabelu K3 (viz. 3.2.2.5)
- $X_{LK3}=23,49 \cdot 10^{-3} \Omega$ induktivní reaktance fázového vodiče kabelu K3 (viz. 3.2.2.5)
- $R_{PEK3}=59,856 \cdot 10^{-3} \Omega$ činný odpor ochranného vodiče PE kabelu K3
- $X_{PEK3}=23,49 \cdot 10^{-3} \Omega$ induktivní reaktance ochranného vodiče PE kabelu K3

Dosazením do vztahu (24) získáme hodnotu požadované impedance Z_{sp} :

$$Z_{sp} \cdot I_a \leq U_0 \Rightarrow Z_{sp} \leq \frac{U_0}{I_a} \leq \frac{230}{776,6} \leq 296 \cdot 10^{-3} \quad [\Omega]$$

Nyní vypočteme skutečnou celkovou impedanci Z_{svyp} zkratové smyčky a tu porovnáme s výše uvedenou a požadovanou impedancí Z_{sp} . Opět se zde zavádí násobný koeficient (1,2) respektující navýšení činného odporu kabelu (jak fázového, tak ochranného vodiče) vlivem průchodu zátěžného proudu a tím ohřátí kabelu na maximální teplotu $\vartheta_{\max}=70$ °C [2].

$$\begin{aligned}
 R_{CK} &= R_C + 1,2 \cdot R_{LK3} + 1,2 \cdot R_{PEK3} = 3,581 \cdot 10^{-3} + 1,2 \cdot 2 \cdot 59,856 \cdot 10^{-3} = \\
 &= 147,235 \cdot 10^{-3} \quad [\Omega] \\
 X_{CK} &= X_C + X_{LK3} + X_{PEK3} = 16,695 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 23,49 \cdot 10^{-3} = \\
 &= 63,675 \cdot 10^{-3} \quad [\Omega] \\
 &\Downarrow \\
 Z_{svyp} &= \sqrt{(R_{CK})^2 + (X_{CK})^2} = \\
 &= \sqrt{(147,235 \cdot 10^{-3})^2 + (63,675 \cdot 10^{-3})^2} = 160,414 \cdot 10^{-3} \quad [\Omega]
 \end{aligned}$$

Pro ověření správnosti je nutné splnění následující podmínky, tak že velikost požadované impedance Z_{sp} musí být rovna nebo větší impedanci vypočtené Z_{svyp} [15]:

$$Z_{sp} \geq Z_{svyp} \quad [\Omega] \quad (36)$$

Dosazením do (36) získáme:

$$Z_{sp} \geq Z_{svyp} \Rightarrow 296 \cdot 10^{-3} \geq 160,414 \cdot 10^{-3} \quad [\Omega] \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

Na základě výše uvedené rovnice bylo zjištěno, že vypočtená hodnota impedance zkratové smyčky Z_{svyp} vyhovuje podmínce. Z tohoto důvodu se dá předpokládat, že jistič (časově nezávislá zkratová spoušť) bude pracovat správným způsobem.

3.2.2.7 Kontrola zvoleného jisticího prvku

Pro správnou funkci jisticího prvku a to zejména během poruchy (zkratu) je nutné jeho ověření, zda splňuje všechny požadavky na něj kladené (viz. 3.2.1.5). K jištění je použit jistič Modeion BD250 od firmy OEZ (parametry viz. Příloha C).

Hodnoty potřebné pro výpočet:

- $I_P=95,96$ A výpočtový proud pro kabel K3 (viz 3.2.2.2)
- $I_R(I_{PN})=180$ A redukováný proud jističe (dáno nastavením)
- $I_Z=187,65$ A dovolené proudové zatížení kabelu K3 (viz. 3.2.2.3)

- $I_k''=14,878$ kA rázový zkratový proud (viz. 3.2.2.1)
- $i_p=32,296$ kA nárazový zkratový proud (viz. 3.2.2.4)
- $I_{th,Tk}=21,769$ kA ekvivalentní oteplovací zkratový proud (viz. 3.2.2.4)
- $I_{cu}=36$ kA jmenovitý mezní vypínací proud jističe
- $I_{cs}=18$ kA jmenovitý provozní vypínací proud jističe
- $I_{cm}=75$ kA zapínací schopnost jističe
- $I_{cw,1}=2,5$ kA/1s krátkodobý výdržný proud jističe po dobu 1s
- $t_k=10$ ms (0,01 s) doba vypnutí jističe při I_{cu}

Pro ověření krátkodobého výdržného proudu I_{cw} je nutný přepočítání ekvivalentního oteplovacího zkratového proudu $I_{th,Tk}$ na shodnou dobu trvání zkratu (1 s), pro kterou známe hodnotu udávanou výrobcem jističe. Docílíme toho dosazením do vztahu (20):

$$I_{th,Tk}^2 \cdot t_k = I_{th,1}^2 \cdot t_{k,1} \Rightarrow I_{th,1}^2 = I_{th,Tk}^2 \cdot \frac{t_k}{t_{k,1}} \Rightarrow I_{th,1} = I_{th,Tk} \cdot \sqrt{\frac{t_k}{t_{k,1}}} \quad [A]$$

$$I_{th,1} = 21,769 \cdot \sqrt{\frac{0,01}{1}} = 2,1769 \quad [kA]$$

V tuto chvíli známe veškeré potřebné hodnoty k vlastnímu výpočtu, které dosadíme do následujících rovnic a ověříme, zda vyhovují, či nikoliv (27,29,30,31):

$$I_P \leq I_R(I_{PN}) \leq I_Z \Rightarrow 95,96 \leq 180 \leq 187,65 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\Downarrow$$

$$I_{cu} \geq I_k'' \Rightarrow 36 \geq 14,878 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$I_{cu} \geq I_{cs} \geq I_k'' \Rightarrow 36 \geq 18 \geq 14,878 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\Downarrow$$

$$I_{cm} \geq i_p \Rightarrow 75 \geq 32,296 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

$$\Downarrow$$

$$I_{cw,1} \geq I_{th,1} \Rightarrow 2,5 \geq 2,1769 \Rightarrow \text{VYHOVUJE}$$

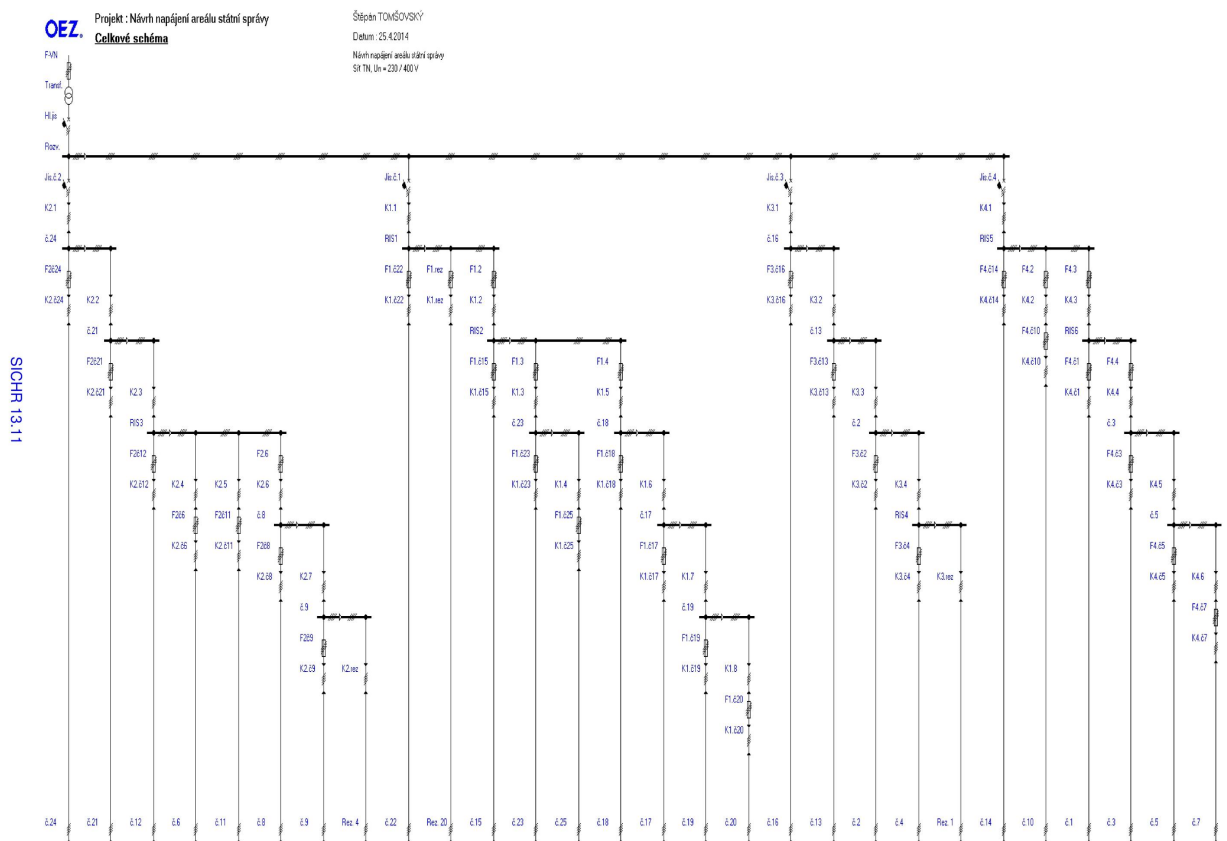
Jak je z výsledků zřejmé, námi zvolený jistič Modeion BD250 vyhovuje ve všech směrech, tudíž není pochyb o jeho spolehlivém použití.

3.2.3 Srovnání vypočtených výsledků s programem Sichr

3.2.3.1 Výsledky výpočtů provedené programem Sichr

V této kapitole je provedena prezentace výsledků, které byly získány pomocí výpočtového programu Sichr. Výsledky se vztahují k dimenzovanému 3. paprsku (kabel K3) a budou vyobrazeny na následujících obrázcích. Všechny výsledky týkající se ostatních paprsků jsou uvedeny na konci této práce v podobě přílohy Příloha E. Celý výpočet realizovaný v programu Sichr, včetně jeho výstupu je též přiložen na paměťovém médiu.

Jako první je níže pro ilustraci uveden obrázek *Obr. 6* zobrazující celkové schéma dimenzované kabelové sítě uvnitř areálu. Lépe čitelné a přehlednější je toto schéma uvedeno v příloze Příloha D. Dále následují obrázky *Obr. 7, 8 a 9* týkající se selektivity jističů, impedančních smyček a vypínacích charakteristik.



Obr. 6 Celkové přehledové schéma návrhu kabelové sítě v programu Sichr



Projekt : Návrh napájení areálu státní správy

Selektivita jištění

Štěpán TOMŠOVSKÝ

Datum : 25.4.2014

Návrh napájení areálu státní
Sít TN, Un = 230 / 400 V

	Přístroj	Poznámka
F-VN		
Transf.	Jiný In = 577 A Sr = 400 kVA Ik'' = 13.6 kA U2 = 231/400 V dU = 1.9 % uk = 4 % ip = 29.6 kA	VN pojistky PM45, 22/25kV, 31,5A
HL jis	Arion WL11.N.ETU45B In = 630 A IR = 567 A Icu = 55 kA	IR = 0.90xIn, tR = 30 s (6xIR), I2t, I2sd = 159xIn, t2sd = 0 ms, I2tOFF, li = 10;
	F-VN-HL jis zaručena plná selektivita	
Rozv.	Sběrnice B = 1 U = 392 V (Un - 1.9%)	Ik'' = 13.6 kA ip = 29.6 kA
Jis.č.3	BD250N-MTV8 In = 250 A IR = 180 A Icu = 36 kA	IR = 180 A, tR(7.2xIR) = 1 s (TV, To), li = 2.50 kA (0 ms)
	HL jis-Jis.č.3 zaručena plná selektivita	
K3.1	1-AYKY 4x150 Iz = 187.7 A tm = 96 °C dU = 1.1 % I ² t < k ² S ²	Ik'' = 5.98 kA 120 m v zemi (D) ip = 8.95 kA
č.16	Sběrnice B = 1 U = 389 V (Un - 2.7%)	Ik'' = 5.98 kA ip = 8.95 kA
K3.2	1-AYKY 4x150 Iz = 250.2 A tm = 57 °C dU = 0.5 % I ² t < k ² S ²	Ik'' = 4.51 kA 60 m v zemi (D) ip = 6.62 kA
č.13	Sběrnice B = 1 U = 387 V (Un - 3.1%)	Ik'' = 4.51 kA ip = 6.62 kA
K3.3	1-AYKY 4x150 Iz = 250.2 A tm = 57 °C dU = 0.1 % I ² t < k ² S ²	Ik'' = 4.16 kA 20 m v zemi (D) ip = 6.09 kA
č.2	Sběrnice B = 1 U = 387 V (Un - 3.3%)	Ik'' = 4.16 kA ip = 6.09 kA
K3.4	1-AYKY 4x150 Iz = 250.2 A tm = 57 °C dU = 0.5 % I ² t < k ² S ²	Ik'' = 3.08 kA 90 m v zemi (D) ip = 4.48 kA
RIS4	Sběrnice B = 1 U = 385 V (Un - 3.7%)	Ik'' = 3.08 kA ip = 4.48 kA
F3.č4	PHNA1αG In = 63 A	I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF1
	Jis.č.3-F3.č4 zaručena plná selektivita	
K3.č4	1-AYKY 4x120 Iz = 220.5 A tm = 25 °C dU = 0.1 % I ² t < k ² S ²	(Ik'' = 2.88 kA) 20 m v zemi (D) io = 3.25 kA
č.4	Vývod S = 83 kVA xB = 37 kVA cos fi = 0.95 (Ik'' = 2.88 kA) I = 53.8 A U = 385 V (Un - 3.8%) B = 0.45io = 3.25 kA	

SICHR 13.11

Obr. 7 Selektivita jištění a úbytek napětí pro 3. paprsek



Projekt : Návrh napájení areálu státní správy

Štěpán TOMŠOVSKÝ

Impedanční smyčky

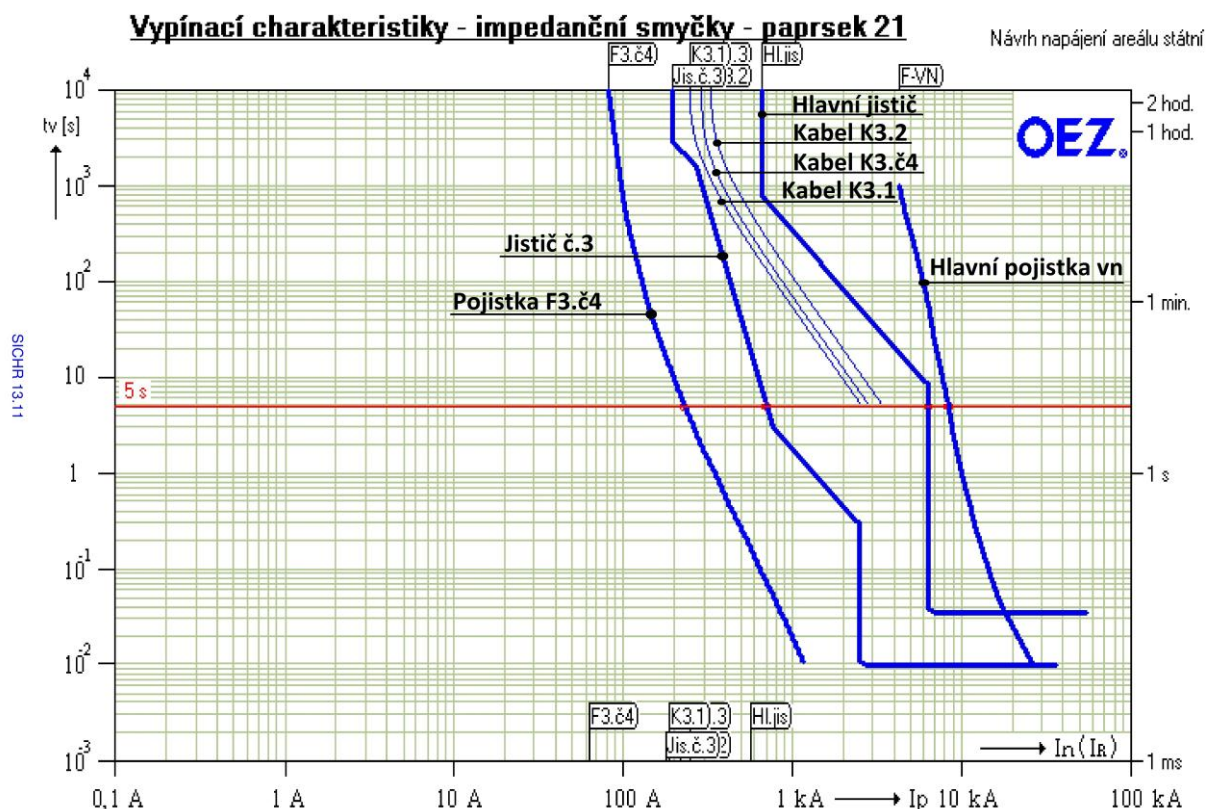
Datum : 25.4.2014

Návrh napájení areálu státní
Sít TN, Un = 230 / 400 V

FVN	Přístroj	Poznámka
Transf.	Jiný In = 577 A Sr = 400 kVA Ik'' = 13.6 kA Zs(5s) = 25 mΩhm (Ia = 9.25 kA)	VN pojistky PM45, 22/25kV, 31,5A
Hl.jis	Arion WL11.N.ETU45B In = 630 A IR = 567 A Icu = 55 kA Zs(5s) = 33 mΩhm (Ia = 6.97 kA)	IR = 0.90xIn, tR = 30 s (6xIR), I2t, I2sd = 159xIn, tsd = 0 ms, I2tOFF, li = 10;
Rozv.	Sběrnice B = 1 U = 392 V (Un - 1.9%)	Ik'' = 13.6 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (17.0 mΩhm < 33.1 mΩhm)
Jis.č.3	BD250N-MTV8 In = 250 A IR = 180 A Icu = 36 kA Zs(5s) = 297 mΩhm (Ia = 777 A)	IR = 180 A, tR(7.2xIR) = 1 s (TV, To), li = 2.50 kA (0 ms)
K3.1	1-AYKY 4x150 Iz = 187.7 A tm = 96 °C dU = 1.1 % I ² t < k ² S ²	Ik'' = 5.98 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (72.5 mΩhm < 297 mΩhm)
č.16	Sběrnice B = 1 U = 389 V (Un - 2.7%)	Ik'' = 5.98 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (72.5 mΩhm < 297 mΩhm)
K3.2	1-AYKY 4x150 Iz = 250.2 A tm = 57 °C dU = 0.5 % I ² t < k ² S ²	Ik'' = 4.51 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (101 mΩhm < 297 mΩhm)
č.13	Sběrnice B = 1 U = 387 V (Un - 3.1%)	Ik'' = 4.51 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (101 mΩhm < 297 mΩhm)
K3.3	1-AYKY 4x150 Iz = 250.2 A tm = 57 °C dU = 0.1 % I ² t < k ² S ²	Ik'' = 4.16 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (111 mΩhm < 297 mΩhm)
č.2	Sběrnice B = 1 U = 387 V (Un - 3.3%)	Ik'' = 4.16 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (111 mΩhm < 297 mΩhm)
K3.4	1-AYKY 4x150 Iz = 250.2 A tm = 57 °C dU = 0.5 % I ² t < k ² S ²	Ik'' = 3.08 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (154 mΩhm < 297 mΩhm)
RIS4	Sběrnice B = 1 U = 385 V (Un - 3.7%)	Ik'' = 3.08 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (154 mΩhm < 297 mΩhm)
F3.č4	PHNA1qG In = 63 A Zs(5s) = 920 mΩhm (Ia = 251 A)	I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF1
K3.č4	1-AYKY 4x120 Iz = 220.5 A tm = 25 °C dU = 0.1 % I ² t < k ² S ²	(Ik'' = 2.88 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (163 mΩhm < 920 mΩhm)
č.4	Vývod S = 83 kVA xB = 37 kVA cos φi = 0.95 (Ik'' = 2.88 kA) I = 53.8 A U = 385 V (Un - 3.8%) B = 0.45	O.K. Zsv < Zs(5s) (163 mΩhm < 920 mΩhm)

SICHR 13.11

Obr. 8 Impedanční smyčky pro 3. paprsek



3.2.3.2 Provedení srovnání výsledků obou postupů

V kapitole 3.2.2 byl proveden vlastní výpočet dimenzování námi vybraného a navrhovaného kabelu K3. Byla provedena kontrola jak tohoto kabelu, tak jističe, na který je kabel K3 připojen, přičemž oba splnily všechny požadavky na ně kladené. Následující tabulka Tab. 3 pro větší přehlednost porovnává vypočtené hodnoty z kapitoly 3.2.2 s hodnotami získanými z výpočtového programu Sichr (kapitola 3.2.3.1).

Tab. 3 Porovnání vypočtených hodnot s programem Sichr

Porovnávané hodnoty	Výpočet z 3.2.2	Sichr
I_k'' rázový zkratový proud	14,878 kA	13,6 kA
i_p nárazový zkratový proud	32,296 kA	29,6 kA
I_P výpočtový proud	95,96 A	96 A
$\Delta u_{\%}$ úbytek napětí	2,97 %	2,2 %
Z_{sp} požadovaná zkratová impedance	$\leq 296 \cdot 10^{-3} \Omega$	$\leq 297 \cdot 10^{-3} \Omega$
Z_{svyp} vypočtená zkratová impedance	$160,414 \cdot 10^{-3} \Omega$	$154 \cdot 10^{-3} \Omega$

Předešlá tabulka Tab. 3 ukazuje zřejmý rozdíl v hodnotě rázového zkratového proudu I_k'' získaného výpočtem v porovnání s výpočtovým programem Sichr. Tento rozdíl je dán odlišností použitého napěťového součinitele c respektujícího nejvyšší napětí. V provedeném výpočtu byl použit součinitel s hodnotou 1,1, kdežto program Sichr má zaveden součinitel s hodnotou 1. Z této skutečnosti vyplývá, že veškeré ostatní výpočty, které vycházejí z rázového zkratového proudu, mají tento původní rozdíl v sobě zahrnut. Dále také hodnoty procentního úbytku napětí $\Delta u_{\%}$ vykazují rozdíl. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.2.2.5, výpočtový proud I_P třetího paprsku byl uvažován na samém konci kontrolovaného kabelu, což odpovídá konkrétní hodnotě úbytku napětí. Program Sichr vypočítával dílčí úbytky napětí na jednotlivých úsecích kabelu K3 podle toho, jak napájí jednotlivé objekty. Tímto způsobem byla získána nižší hodnota úbytku napětí.

Výsledná hodnota ručně vypočtené zkratové impedance Z_{svyp} je vyšší nežli hodnota uváděná programem Sichr. Při ručním výpočtu se uvažoval činný odpor fázového a ochranného vodiče při teplotě rovné maximální dovolené teplotě ϑ_{max} , zatímco program Sichr dopočítává odpor vodiče podle skutečného oteplení vodiče způsobeného průchodem výpočtového proudu I_P .

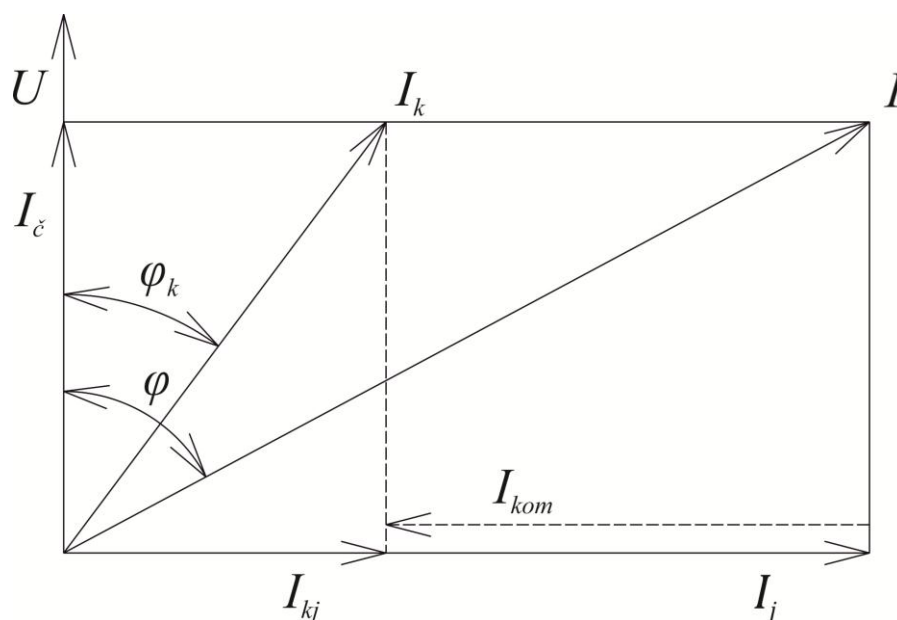
4 Návrh centrální kompenzace a její finanční zhodnocení

4.1 Navržení centrální kompenzace účinníku

4.1.1 Obecné pojetí problematiky kompenzace

V elektrických sítích jsou zapojena nejrůznější zařízení, která ke své činnosti vyžadují vytvoření elektromagnetického, popřípadě elektrického pole. Toto pole má za následek fázový posun proudu proti napětí a tudíž vzniká potřeba jalového výkonu [17].

Mějme spotřebič, který odebírá jak činný proud $I_{\check{c}}$, tak jalový I_j o jisté velikosti dané touto zátěží. Výslednému proudu I odpovídá konkrétní úhel natočení φ . Cílem kompenzace je zavedení do obvodu tzv. kompenzačního proudu I_{kom} a tím snížení celkového odebíraného jalového výkonu ze sítě. To značně odlehčí přenosové cesty. Kompenzační proud I_{kom} změní velikost i natočení výsledného proudu I_k odebíraného spotřebičem, kterému bude odpovídat nový úhel natočení φ_k po kompenzaci. A právě funkce *cosinus* (nebo *tangenta*) tohoto úhlu φ se nazývá účinníkem. Vše výše popsané zobrazuje následující obrázek Obr. 10 [17].



Obr. 10 Obecný princip kompenzace účinníku [1]

4.1.2 Druhy kompenzace

4.1.2.1 Paralelní kompenzace účiníku

Jedná se o kondenzátor připojený jistým způsobem paralelně k zátěži. Tento druh mění charakteristiku zatížení sítě a přispívá ke snížování ztrát při přenosu a rozvodu elektrické energie. Tudíž se jedná o velice ekonomické opatření před zvětšováním průřezů vodičů, popřípadě zvyšování jmenovitého napětí. Tímto paralelním zapojením se změní velikost i natočení fázoru odebíraného proudu [17].

Druhy paralelní kompenzace [17]:

- Individuální – u tohoto druhu je kompenzační zařízení připojeno přímo ke spotřebiči nebo v co nejkratší vzdálenosti tak, aby byl kompenzační výkon přenášen jen krátkým vedením. Zbylá soustava je tohoto výkonu ušetřena a tím jsou sníženy ztráty. Využívá se pro kompenzaci velkých asynchronních motorů, dále transformátorů, popřípadě zářivkových nebo výbojkových svítidel.
- Skupinová – kompenzační zařízení je připojeno spolu se skupinou spotřebičů ke společným přípojnicím rozvaděče. Využívá se pro průmyslové podniky v rozvaděčích vn/nn a kompenzačním výkonem jsou zatíženy úseky od rozvaděče k jednotlivým spotřebičům. Je zde nutné regulovat tento výkon.
- Centrální – kompenzační zařízení je připojeno na přípojnice ve vstupní trafostanici tak, že svým výkonem pokrývá všechny spotřebiče připojené do této sítě. Stejně tak jako u skupinové kompenzace, je nutná regulace kompenzačního výkonu.
- Kombinovaná – jak z názvu vyplývá, jde o kombinaci výše uvedených variant s využitím především ve velkých a rozsáhlých průmyslových sítích.

Realizace kompenzace jalového výkonu, tedy zdroje kompenzačního výkonu se provádí několika možnými způsoby, mezi které například patří [17]:

- Rotační kompenzační zařízení – jedná se o synchronní motor v pracující v přebuzeném stavu bez zátěže. Jde o historické zařízení s velkými jmenovitými výkony, využívající se zejména pro hladinu vn jako centrální kompenzace. V současné době se téměř nepoužívá.

- Prosté kondenzátory – jedná se o nechráněné výkonové kondenzátory připojené do sítě, které jsou ve 3-f sítích zapojeny do trojúhelníka nebo hvězdy. Musí být tepelně stabilní, dále odolné proti přepětí, spolehlivé a bezpečné. Kondenzátory jsou ze své podstaty frekvenčně závislé. S rostoucí frekvencí f klesá jejich kapacitní reaktance X . Právě tato vlastnost je negativně využívána u sítí s obsahem kromě základní harmonické i vyšších harmonických a to tak, že právě pro tyto vyšší harmonické má kondenzátor velice nízkou hodnotu impedance. Výsledkem je proudové přetěžování jak vlastního kondenzátoru, tak té části sítě od zdroje harmonických ke kondenzátoru. Využívají se v sítích vn i nn tam, kde podíl nelineárních spotřebičů nepřesahuje 10 až 15 % z celkového výkonu napájecího transformátoru.
- Chráněné kompenzační sekce – jedná se o zapojení výkonového kondenzátoru s ochrannou tlumivkou tak, že tvoří sériový rezonanční RLC článek. Avšak předřazená tlumivka snižuje velikost kompenzačního výkonu, s čímž je nutno počítat. Tento způsob kompenzace se využívá v průmyslových sítích, které napájí jak klasické spotřebiče, tak generující vyšší harmonické proudy.

Dále vyvstává otázka, jakým způsobem řídit potřebný kompenzační výkon v dané síti a v čase. Existuje několik možných způsobů uvedených v [17]:

- Stupňovitě řízené kompenzátory – v principu se jedná o připojování určitého počtu a velikostí kompenzačních stupňů za účelem zlepšení účinníku. Toto se děje skokově, s velikostí danou velikostí jednotlivých stupňů. Připojování se realizuje jako kontaktní, kdy dochází k přímému připojování kondenzátorů pomocí regulátorů k síti nebo bezkontaktní, kdy je stykač nahrazen bezkontaktním spínačem. Tento druhý způsob je značně rychlejší než kontaktní a splňuje vyšší požadavky.
- Plynule řízené – plynulého řízení se dosáhne použitím řízeného tyristorového spínače v antiparalelním zapojení. Pomocí řídicího úhlu α se řídí kapacitní proud tekoucí kompenzátorem, potažmo kompenzační výkon.

4.2 Navržení centrální kompenzace účinníku

Cílem snažení je vypočtení potřebného kompenzačního výkonu Q_{kom} a podle jeho hodnoty nalézt odpovídající kompenzační zařízení, které bude schopno pokrýt potřebu tohoto výkonu. Nejedná se pouze o jeho maximální hodnotu, ale také o hodnotu minimálního kompenzačního výkonu v době, kdy má areál nejmenší odběr výkonu (jde o velikost jednotlivých kompenzačních stupňů). Na základě skutečnosti, že podíl nelineárních spotřebičů z celkového výkonu napájecího transformátoru S_N nepřesahuje 10 až 15 %, je rozhodnuto, že bude použita nechráněná kompenzace účinníku.

Pro výpočet budeme používat vztahy uvedené v [15] a dále vycházet ze znalosti konkrétních hodnot.

Hodnoty potřebné pro výpočet:

- $S_{Pcelk}=330,25$ kVA celkový výpočtový výkon (viz. 1.4)
- $S_{Pmin}=30$ kVA minimální výpočtový výkon (po dohodě s místním energetikem)
- $\cos\varphi_{stř}=0,8$ střední účinník (po dohodě s místním energetikem)
- $\cos\varphi_k=0,95$ účinník po kompenzaci

Potřeba jalového výkonu ze sítě před kompenzací se určí z následujícího vztahu:

$$Q_{puv} = S_{Pcelk} \cdot \sin \varphi_{stř} \quad [VAr] \quad (37)$$

Dosazením získáme:

$$Q_{puv} = S_{Pcelk} \cdot \sin \varphi_{stř} = 330,25 \cdot 0,6 = 198,15 \quad [kVAr]$$

Potřeba jalového výkonu ze sítě po kompenzaci se určí ze vztahu:

$$Q_{pokom} = \frac{S_{Pcelk} \cdot \cos \varphi_{stř}}{\cos \varphi_k} \cdot \sin \varphi_k \quad [VAr] \quad (38)$$

Dosazením získáme:

$$Q_{pokom} = \frac{S_{Pcelk} \cdot \cos \varphi_{stř}}{\cos \varphi_k} \cdot \sin \varphi_k = \frac{330,25 \cdot 0,8}{0,95} \cdot 0,312 = 86,77 \quad [kVAr]$$

Potřebný kompenzační výkon Q_{kom} se určí jako rozdíl jalových výkonů před Q_{puv} a po kompenzaci Q_{pokom} na požadovaný účinník $\cos\varphi_k$ a lze jej určit ze vztahu:

$$Q_{kom} = Q_{puv} - Q_{pokom} \quad [VAr] \quad (39)$$

Po dosazení:

$$Q_{kom} = Q_{puv} - Q_{pokom} = 198,15 - 86,77 = 111,38 \quad [kVAr]$$

Následně při návrhu kompenzačního rozvaděče KR je nutné navýšit kompenzační výkon o dostatečnou rezervu (bývá 20 %) a tím vznikne Q_{KR} :

$$Q_{KR} = Q_{kom} \cdot 1,2 \quad [VAr] \quad (40)$$

Po dosazení:

$$Q_{KR} = Q_{kom} \cdot 1,2 = 111,38 \cdot 1,2 = 133,656 \quad [kVAr]$$

Pro výpočet minimální velikosti kompenzačního stupně je nutné vycházet ze znalosti nejmenšího odběru areálu S_{Pmin} , který byl stanoven po dohodě se zkušeným místním energetikem na hodnotu **30 kVA**. Opět se provede výpočet potřeby jalového výkonu před a po kompenzaci na žádaný účinník $\cos\varphi_k$.

Potřeba jalového výkonu ze sítě před kompenzací se určí po dosazení do vztahu (37):

$$\begin{aligned} Q_{puv} &= S_{Pcelk} \cdot \sin\varphi_{stř} \quad [VAr] \\ &\Downarrow \\ Q_{puv2} &= S_{Pmin} \cdot \sin\varphi_{stř} = 30 \cdot 0,6 = 18 \quad [kVAr] \end{aligned}$$

Potřeba jalového výkonu ze sítě po kompenzaci se určí po dosazení do vztahu (38):

$$\begin{aligned} Q_{pokom} &= \frac{S_{Pcelk} \cdot \cos\varphi_{stř}}{\cos\varphi_k} \cdot \sin\varphi_k \quad [VAr] \\ &\Downarrow \\ Q_{pokom2} &= \frac{S_{Pmin} \cdot \cos\varphi_{stř}}{\cos\varphi_k} \cdot \sin\varphi_k = \frac{30 \cdot 0,8}{0,95} \cdot 0,312 = 7,882 \quad [kVAr] \end{aligned}$$

Výsledný potřebný kompenzační výkon pro minimální odběr lze určit ze vztahu (39):

$$\begin{aligned} Q_{kom} &= Q_{puv} - Q_{pokom} \quad [VAr] \\ &\Downarrow \\ Q_{kom2} &= Q_{puv2} - Q_{pokom2} = 18 - 7,882 = 10,118 \quad [kVAr] \end{aligned}$$

Na základě velikosti celkového potřebného kompenzačního výkonu a také minimální velikosti kompenzačního stupně byl zvolen kompenzační rozvaděč od firmy KBH ENERGY z řady STANDARD, typ 150/12 (12x12,5 kVAr) s cenou 55 000 Kč.

Jako další v pořadí se určí počet kompenzačních stupňů N při známé velikosti jednoho kompenzačního stupně Q_{c1} z následujícího vztahu:

$$N \geq \frac{Q_{puv} - P \cdot \operatorname{tg} \varphi_k}{Q_{c1}} \Rightarrow N \geq \frac{Q_{puv} - Q_{pokom}}{Q_{c1}} \Rightarrow N \geq \frac{Q_{kom}}{Q_{c1}} \quad (41)$$

Dosažením získáme:

$$N \geq \frac{Q_{puv} - P \cdot \operatorname{tg} \varphi_k}{Q_{c1}} \Rightarrow N \geq \frac{Q_{puv} - Q_{pokom}}{Q_{c1}} \Rightarrow N \geq \frac{Q_{kom}}{Q_{c1}} = \frac{111,38}{12,5} = 8,9$$

Počet kompenzačních stupňů pro 20% navýšený výkon rozvaděče:

$$N \geq \frac{Q_{puv} - P \cdot \operatorname{tg} \varphi_k}{Q_{c1}} \Rightarrow N \geq \frac{Q_{puv} - Q_{pokom}}{Q_{c1}} \Rightarrow N \geq \frac{Q_{kom}}{Q_{c1}} = \frac{133,656}{12,5} = 10,7$$

Z výsledků je zřejmé, že počet kompenzačních stupňů vyhovuje podmínce u obou požadavků, přičemž námi navrhovaný kompenzační rozvaděč disponuje dvanácti stupni a požadujeme 8,9 a u 20 % navýšeného požadavku 10,7 stupňů.

Nyní je nutné výpočtem ověřit, zda námi navrhovaný rozvaděč vyhovuje z hlediska překompenzování, popřípadě nedokompenzování, a to jak pro celý výkon Q_{puv} , tak snížený Q_{puv2} podle následujícího vztahu:

$$\frac{Q_{puv} - N \cdot Q_{c1}}{S_{Pcelk} \cdot \cos \varphi_{stř}} \leq \operatorname{tg} \varphi_k \quad (42)$$

Po dosazení:

$$\begin{aligned} \frac{Q_{puv} - N \cdot Q_{c1}}{S_{Pcelk} \cdot \cos \varphi_{stř}} \leq \operatorname{tg} \varphi_k &\Rightarrow \frac{198,15 - 12 \cdot 12,5}{330,25 \cdot 0,8} \leq 0,33 \Rightarrow \\ &\Rightarrow 0,18 \leq 0,33 \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \end{aligned}$$

Pro kompenzaci minimální potřeby jalového výkonu Q_{kom2} bude využit pouze jeden kompenzační stupeň, proto ve vztahu figuruje $N=1$. Po dosazení do vztahu (42):

$$\begin{aligned} \frac{Q_{puv} - N \cdot Q_{c1}}{S_{Pcelk} \cdot \cos \varphi_{stř}} \leq \operatorname{tg} \varphi_k &\Rightarrow \frac{Q_{puv2} - N \cdot Q_{c1}}{S_{Pmin} \cdot \cos \varphi_{stř}} \leq \operatorname{tg} \varphi_k \Rightarrow \frac{18 - 1 \cdot 12,5}{30 \cdot 0,8} \leq 0,33 \Rightarrow \\ &\Rightarrow 0,23 \leq 0,33 \Rightarrow \text{VYHOVUJE} \end{aligned}$$

Opět je z výsledků zřejmé, že výpočtem byly podmínky splněny a tudíž námi navrhovaný kompenzační rozvaděč typu KBH 150/12 vyhovuje ve všech směrech a není pochybu o jeho umístění do trafostanice podniku.

4.3 Zhodnocení finanční návratnosti kompenzace účinníku

4.3.1 Sankce za nedodržení předepsaného účinníku

Současná legislativa v podobě zákonů ukládá za povinnost spotřebitelům odebírat elektrický výkon ze sítě s induktivním účinníkem v rozmezí $\cos \varphi = 0,95 - 1,00$. V případě nedodržení této podmínky jsou ukládány sankce v podobě procentních přírážek z celkového odebraného množství energie. Pro přehled je dále uveden seznam přírážek za nedodržení předepsaného účinníku [18]:

- $\cos\varphi_{\min} = 0,95$ 0 % bez přírážky
- $\cos\varphi_{\min} = 0,9$ 2,85 %
- $\cos\varphi_{\min} = 0,8$ 12,38 %
- $\cos\varphi_{\min} = 0,7$ 28,07 %
- $\cos\varphi_{\min} = 0,6$ 48,58 %
- $\cos\varphi_{\min} = 0$ 100 %

4.3.2 Výpočet finanční návratnosti investic na kompenzační zařízení

Rozhodnutí o výhodnosti investice do zařízení zlepšující hodnotu účinníku spočívá v porovnání kupní ceny tohoto zařízení spolu s cenovou přírážkou c_p , kterou si účtuje provozovatel distribuční soustavy za nedodržení předepsané hodnoty účinníku $\cos\varphi$.

Jelikož námi navrhovaný areál je připojen do distribuční sítě na hladině vn, čímž se jedná o odběratele zařazeného do skupiny C. Dále je vstupní transformátor ve vlastnictví podniku a v tom případě se měření provádí na jeho sekundární straně, z čehož vyplývá, že celková odebraná energie bude pro výpočet navýšena o 4 % k pokrytí ztrát na transformátoru [18].

Stěžejní je výpočet cenové přírážky c_p , který bude proveden dle následujícího vztahu a postupu uvedeného v [18]. Dále bude porovnán s pořizovací celou kompenzačního zařízení.

$$c_p = [P_{\max} \cdot c_{rk} \cdot u] + [(c_{ps} + c_{se}) \cdot u \cdot W] \quad [Kč] \quad (43)$$

kde: c_p je cenová přírážka

P_{\max} je nejvyšší naměřený čtvrt hodinový výkon za dané období

c_{rk} je cena za rezervovanou kapacitu na dané napěťové hladině

u je procentní přírážka za nedodržení účinníku

c_{ps} je cena za použití sítě na dané napěťové hladině

c_{se} je cena za silovou elektřinu

W je množství elektřiny za dané období

Následující hodnoty potřebné k výpočtu byly získány na základě tabulek uvedených v [18]. Hodnoty čtvrt hodinového maxima a celkové množství elektrické energie W jsou uvedeny v Příloze B.

Hodnoty potřebné pro výpočet:

- $P_{\max}=0,260$ MW
- $c_{rk}=1\,879\,500$ Kč/MW/rok
- $u=0,1238$ (12,38 %)
- $c_{ps}=56,11$ Kč/MW
- $c_{se}=1\,205,98$ Kč/MW
- $W=630,923$ MWh ($W=W_0 \cdot 1,04$; $W_0=606,657$ MWh viz. Příloha B)

Dosažením těchto výše uvedených hodnot do výše uvedeného vztahu (43) získáme hledanou cenovou přírážku c_p :

$$c_p = [P_{\max} \cdot c_{rk} \cdot u] + [(c_{ps} + c_{se}) \cdot u \cdot W] \quad [\text{Kč}]$$

$$c_p = [0,260 \cdot 1\,879\,500 \cdot 0,1238] + [(56,11 + 1\,205,98) \cdot 0,1238 \cdot 630,923] \quad [\text{Kč}]$$

$$c_p = 159\,077 \quad [\text{Kč/rok}]$$

Cenová návratnost NI zvoleného kompenzačního zařízení se spočte jako podíl ceny kupní a cenové přírážky c_p , znázorněno níže:

$$NI = \frac{\text{poř. cena}}{c_p} \quad [\text{roky}] \quad (44)$$

Dosažením do předešlého vztahu získáme návratnost vynaložené investice v letech:

$$NI = \frac{\text{poř. cena}}{c_p} = \frac{55\,000}{159\,077} = 0,346 \quad [\text{roky}]$$

Z výsledku vyplývá, že při ceně 55 000 Kč za pořízení kompenzačního zařízení se tato investice navrátí za necelý půlrok, a proto je správnou, ba nutnou volbou.

Závěr

Stanoveným cílem této diplomové práce bylo provedení návrhu napájení rozsáhlého areálu státní správy. Nejdříve byl proveden výpočet celkového výpočtového výkonu, jehož hodnota 330,25 kVA byla základem pro mé rozhodnutí provést přípojný bod areálu do distribuční sítě na hladině vysokého napětí. Z této hodnoty celkového výpočtového výkonu jsem též vycházel při návrhu transformátoru, a tak s přihlédnutím k potřebné rezervě výkonu jsem došel k rozhodnutí instalovat transformátor se jmenovitým výkonem 400 kVA. Dále doporučuji použít nízkoztrátový transformátor, využívající speciální amorfní plechy v magnetickém jádře, čímž jsou značně omezeny ztráty naprázdno. Toto tvrzení jsem podložil výpočtem, kdy vynaložená investice do nízkoztrátového transformátoru oproti standardnímu se vyplatí již po necelých čtyřech letech provozu. Dále také na základě nejvýznamnějších odběrů a jejich polohy uvnitř areálu jsem navrhl umístění napájecí trafostanice na severovýchodním okraji areálu, v místě, kde lze provést připojení na kabel vysokého napětí.

Otázku topologie napájecí sítě uvnitř areálu jsem navrhl paprskovým způsobem (celkem čtyři paprsky) pomocí kabelů s možností využití rezervních kabelů pro případ poruchy tak, aby bylo možné pokrýt energií co nejvíce odběrů připojením na sousední paprsek. Jelikož tato konfigurace napájecí sítě odpovídá prvnímu stupni zajištění dodávky elektrické energie, doporučuji využít mobilních diesel agregátů v případě velkého výpadku energie pro celý areál. Problematiku dimenzování kabelů jsem provedl na třetím paprsku, včetně návržení konkrétních průřezů kabelů a jisticích prvků. Navržené hodnoty jsem pomocí výpočtů ověřil. Pro výpočet a dimenzování celé kabelové sítě areálu jsem použil výpočtový program Sichr od firmy OEZ, který potvrdil správnost mých předchozích výpočtů. V závěrečné části práce jsem prováděl návržení centrální kompenzace účinníku. Na základě velikosti potřebného kompenzačního výkonu jsem navrhl kompenzační rozvaděč 150/12 od firmy KBH ENERGY z řady STANDARD. Po provedeném výpočtu finanční návratnosti jsem došel k názoru, že je nutné vybavit vstupní transformovnu kompenzačním rozvaděčem, neboť vynaložená investice do tohoto zařízení se navrátí již v polovině prvního roku provozu.

Použitá literatura

- [1] TESAŘOVÁ, Miloslava a Milada ŠTROBLOVÁ. *Průmyslová elektroenergetika*. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 154 s. ISBN 80-708-2703-3.
- [2] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Brno: Vysoké učení technické, 2008, 150s.
- [3] HUDECZEK, Mečislav, Pavel SANTARIUS, Edmund PANTŮČEK, Břetislav CICHONĚ a Alexej SATINSKÝ. *Chránění I: elektrická zařízení do 1000 V*. Havířov: IRIS, 2004, 364 s. ISBN 80-903-5401-7.
- [4] ČSN 341610. *Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách*. Praha: ÚNM, 1983.
- [5] Elpro-Energo: Technická data. [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: <http://www.elpro-energo.cz/olejove-transformatory/technicka-data/tabulky-22kv/>
- [6] Technet: Jak ušetřit při provozu transformátoru. VÁŇA, Tomáš. [online]. [cit. 2014-04-12]. Dostupné z: http://sdeleni.idnes.cz/vite-jak-muzete-usetrit-pri-provozu-transformatoru-pck-/tec_sdeleni.aspx?c=A130429_085551_tec_sdeleni_ahr
- [7] Power-Energo: Olejové distribuční hermetizované transformátory. [online]. 2011 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://www.power-energo.cz/p109-transformatory-abb-olejove.html>
- [8] *Elektro: Není transformátor jako transformátor* [online]. 2005 [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26443
- [9] SIEMENS. *Průvodce energetikou: Technická příručka pro energetiky*. Praha, 2012. Dostupné z: http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/energy-topics/power%20engineering%20guide/PEG_70_KAP_05.pdf
- [10] PAUZA, Josef. *Silnoproudá rozvodná zařízení v průmyslu*. Praha: SNTL, 1974.
- [11] ČSN 33 2000-5-523. *Elektrická zařízení: Dovolené proudy v elektrických rozvodech*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [12] ČSN EN 60909-0. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách: Výpočet proudů*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [13] ČSN EN 60865-1. *Zkratové proudy - výpočet účinků: Definice a výpočetní metody*. Praha: Český normalizační institut, 1997.

- [14] FALTUS, Ivo. *Příručka elektrotechnika: Jistící přístroje II*. Letohrad, 2012.
- [15] Projektování energetických celků: Přednášky. TESAROVÁ, Miloslava. [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~tesarova/>
- [16] KOLEKTIV AUTORŮ OEZ. *Příručka elektrikáře*. Letohrad, 2012.
- [17] KORENC, Vladimír. *Kompenzace jalového výkonu v praxi*. 1. vyd. Praha: IN-EL, 1999, 127 s. ISBN 80-862-3007-4.
- [18] Česká Republika. Energetický regulační věstník. In: Jihlava, 2013, roč. 13, 8/2013.

Přílohy

Příloha A - Informace o budovách areálu pro výpočet $S_{P_{celk}}$

- 1 *Štábní budova*
 - pojistky 3x125A
 - přívod kabelem AYKY 3x95+70mm²
 - instalovaný výkon 67kW

- 2 *Sklad č.1*
 - pojistky 3xP00/100A
 - přívod kabelem AYKY 3Bx120+70mm²
 - instalovaný výkon 24kW

- 3 *Administrativní budova č.1*
 - jistič 3xPH1/160A
 - přívod kabelem AYKY 3Bx240+120mm²
 - instalovaný výkon 163kW

- 4 *Kuchyňský blok*
 - pojistky PH1 3x200A
 - přívod kabelem AYKY 3x240+120mm²
 - instalovaný výkon 49,4kVA

- 5 *Kulturní dům*
 - pojistky PH1 3x160A
 - přívod kabelem AYKY 3x120+70mm²
 - instalovaný výkon 17,7kVA

- 6 *Sklad č.2*
 - pojistky 3xE33/35A
 - přívod kabelem AYKY 4x16mm²

- 7 *Administrativní budova č.2*
 - pojistky PH1 3x100A v pojistkové skříni SRP2
 - přívod kabelem AYKY 4x25mm²
 - instalovaný výkon 12,4kW

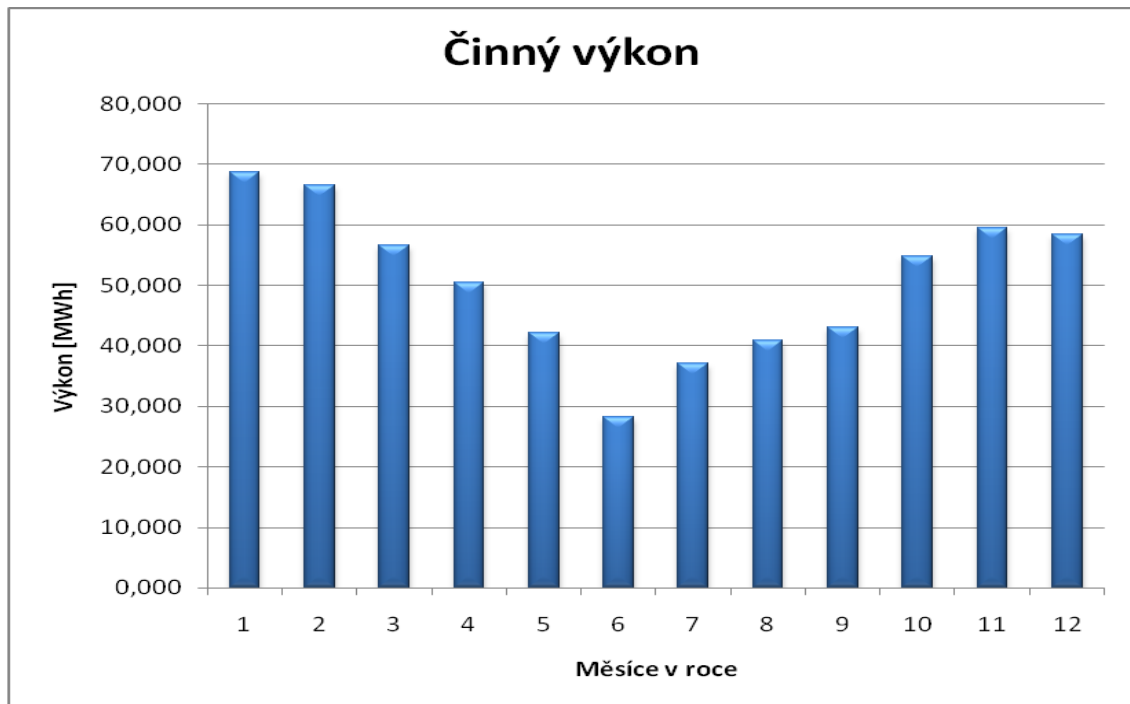
- 8 *Sklad č.3*
 - pojistky E33 3x63A
 - přívod kabelem AYKY 4Bx10mm²
 - instalovaný výkon 7,2kVA

- 9 *Ubikace*
 - pojistky E33 3x63A
 - přívod kabelem AYKY 4x16mm²

- 10 *Garáže č.1*
 - pojistky 3xE25/32A
 - přívod kabelem AYKY 4Bx16mm²

- 11 *Garáže č.2*
- Pojistky PN1 3x32A
 - Přívod kabelem CYKY 4x10mm²
 - Instalovaný výkon 5kW
- 12 *Garáže č.3*
- pojistky PN1 3x63A
 - přívod kabelem AYKY 4x16mm²
 - instalovaný výkon 4kW
- 13 *Garáže č.4*
- pojistky PN1 3x63A
 - přívod kabelem AYKY 4x35mm²
- 14 *Dílny provozního střediska*
- pojistky 3x125A
 - přívod kabelem CYKY 3x50+35mm²
 - instalovaný výkon 20kW
- 15 *Oprávněnská hala*
- pojistky 2x 3x200A
 - přívod kabelem 2x AYKY 3x120+70mm² (dva kabely)
 - instalovaný výkon 49,4kVA
 - rozvaděč RH OCEP-P v objektu
- 15 *Mostový jeřáb v hale*
- pojistky PH3 3x125A
 - přívod k rozvaděči RJ jeřábu kabelem AYKY 4Bx35mm² z hlavní rozvodny v budově, poté od vypínače jeřábu vedeny silové kabely CYKY, ATGGU, TGGU, HTS
- 16 *Budova STK*
- pojistky PH00 3x63A
 - přívod kabelem AYKY 4Bx35mm²
 - instalovaný výkon 9,7 kVA
- 17 *Přístřešek ESO č.1*
- pojistky PN1 3x63A
 - přívod kabelem AYKY 3Bx95+70mm²
 - instalovaný výkon 4,7kVA
- 18 *Přístřešek ESO č.2*
- pojistky PN1 3x63A
 - přívod kabelem AYKY 3Bx95+70mm²
 - instalovaný výkon 5,7kVA

- 19 *Sklady Jeseník*
- pojistky 3xPH1/120A
 - přívod kabelem AYKY 4x70mm²
 - instalovaný výkon 14kW
- 20 *Přístřešek ESO č.3*
- pojistky PN1 3x63A
 - přívod kabelem AYKY 3Bx95+70mm²
 - instalovaný výkon 12,2kVA
- 21 *Dílna malá*
- pojistky
 - 3xE33/63A vývod do Ro3 (OCEP-Z)
 - 3E33/50A vývod do Ro1 (OCEP-Z)
 - 3xE33/50A vývod do Ro2 (permixová deska)
 - přívody kabely CYKY 4Bx6mm², AYKY 4Bx25mm², G4x50mm²
- 22 *Kompresorovna*
- pojistky PH00 3x120A
 - přívod kabelem CYKY 3Bx50+35mm²
 - instalovaný výkon 15,5kVA
- 23 *Čerpací stanice PHM*
- pojistky PN-00/100A
 - přívod kabelem CYKY 4Bx10mm²
 - instalovaný výkon 8,9kVA
- 24 *Nabíjecí stanice*
- pojistky PH0 3x100A
 - přívod kabelem AYKY 4Bx35mm²
 - instalovaný výkon 15,8kVA
- 25 *Garáže č.5*
- pojistky PH0 2x3x63A
 - přívod kabelem AYKY 4Bx25mm²
- 26 *Trafostanice*

Příloha B – Výpočet ročního faktoru zatížení transformátoru a , informace o měření

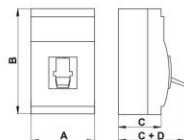
rok 2012		Spotřeba MWh	1/4 max. kW
1	Leden	68,732	260
2	Únor	66,599	255
3	Březen	56,624	248
4	Duben	50,558	226
5	Květen	42,138	174
6	Červen	28,193	186
7	Červenec	37,027	179
8	Srpen	40,968	163
9	Září	43,013	180
10	Říjen	54,807	238
11	Listopad	59,554	216
12	Prosinec	58,444	246
Celkem		606,657	MWh
$W_{roční} = \sum W_i$		606 657	kWh
$T_{provozu}$		8 760	hodin/rok
$P_{stř} = W_{roční} / T_{provozu}$		69,253	kWh
$S_{stř} = P_{stř} / \cos\varphi_{stř}$		86,566	kVA
$a = S_{stř} / 400$		0,2164	
P_{max}		260	kW
$S_{max} = P_{max} / 0,8$		325	kVA

Příloha C – Katalogový list jističe Modeion BD250

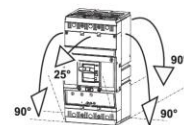
OEZ [▲]	BD250N, BD250S	Technické informace	Modeion
------------------	----------------	---------------------	---------

JISTIČE, ODPÍNAČE

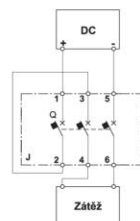
3P 4P



Rozměry



Montážní polohy - pevně, odnímatelné i výsuvné provedení



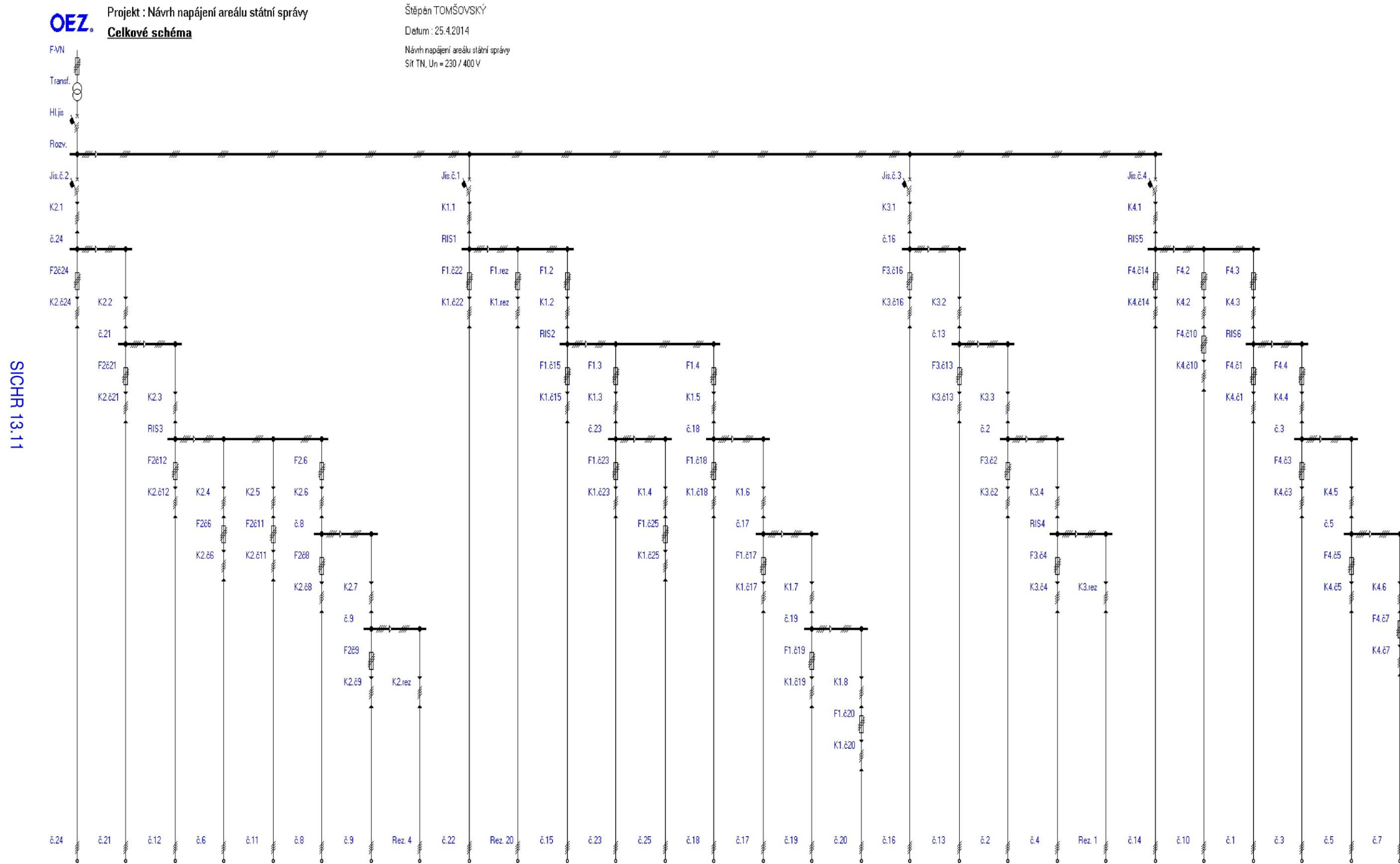
Zapojení odpínače pro DC obvody

Parametry

	JISTIČ		ODPÍNAČ
Typ	BD250N, BD250S		
Rozměry A x B x C + D (3P/4P provedení)	105/140 x 225 x 105 + 43 mm		105/140 x 225 x 105 + 43 mm
Hmotnost (3P/4P provedení)	3 kg/4 kg		3 kg/4 kg
Normy	ČSN EN 60947-2 EN 60947-2, IEC 60947-2		ČSN EN 60947-3 EN 60947-3, IEC 60947-3
Certifikační značky			
Počet pólů	3, 4		3, 4
Jmenovitý proud I_n	100, 160, 200, 250 A		-
Jmenovitý trvalý proud I_c	250 A		250 A
Jmenovitý pracovní proud I_p	-		250 A
Jmenovité pracovní napětí U_c	max. 690 V a.c.		max. 690 V a.c. max. 440 V d.c.
Jmenovitý kmitočet f_n	50/60 Hz		50/60 Hz
Jmenovité impulzní výdržné napětí U_{imp}	8 kV		8 kV
Jmenovité izolační napětí U_i	690 V		690 V
Kategorie užití (selektivita)	690 V a.c. A		-
Kategorie užití (režim spínání)	690 V a.c. - 440 V d.c. -		AC-23B DC-23B
Jmenovitý krátkodobý výdržný proud při $U_c = 690$ V a.c. I_{cr}/t	2,5 kA/1 s		3 kA/5 s
Rada	NORMAL BD250N	SUPERIOR BD250S	U_c
Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost (efektivní hodnota) I_{cs}	60 kA 36 kA 16 kA 10 kA	100 kA 65 kA 25 kA 13 kA	230V a.c. 415V a.c. 500V a.c. 690V a.c.
Jmenovitá provozní zkratová vypínací schopnost (efektivní hodnota) I_{cs}	30 kA 18 kA 8 kA 5 kA	50 kA 36 kA 13 kA 8 kA	230V a.c. 415V a.c. 500V a.c. 690V a.c.
Jmenovitá zkratová zapínací schopnost (vrcholová hodnota) I_{cm}/U_c	75 kA	140 kA	415V a.c. 4 kA/415V a.c. 4 kA/440 V d.c.
Doba vypnutí při I_{cs}	10 ms		
Ztráty na 1 pól pevné/výsuvné provedení	18 W/25 W		18 W/25 W
Mechanická trvanlivost	30 000 cyklů		30 000 cyklů
Elektrická trvanlivost	3 000 cyklů		3 000 cyklů
Hustota spínání	120 cyklů/hod		120 cyklů/hod
Ovládací síla	80 N		80 N
Krytí z čelní strany přístroje	IP40		IP40
Krytí svorek	IP20		IP20
Pracovní podmínky			
Referenční teplota okolí	40 °C		40 °C
Rozsah teploty okolí	-40 °C ÷ +55 °C		-40 °C ÷ +55 °C
Pracovní prostředí	suché a tropické klima		suché a tropické klima
Klimatická odolnost	ČSN EN 60068		ČSN EN 60068
Stupeň znečištění	3		3
Max. nadmořská výška	2 000 m		2 000 m
Seizmická odolnost	3g (8 ÷ 50) Hz		3g (8 ÷ 50) Hz
Konstrukční modifikace			
Přívod - přední/zadní	●/●		●/●
Odnímatelné provedení 3P/4P	●/●		●/●
Výsuvné provedení 3P/4P	●/●		●/●
Příslušenství			
Spínače - pomocný/relativní/návětní/předstihový	●/●/●/●		●/●/●/●
Napětová spoušť	●		●
Podpětová spoušť/s předstihovým spínačem	●/●		●/●
Ruční čelní pohon/se stavitelnou pákou	●/●		●/●
Mechanické blokování-bowdenem/k ručnímu pohonu	●/●		●/●
Motorový pohon/s počítadlem cyklů	●/●		●/●
Uzamykatelná páka	●		●
Plombovací vložka šroubu/přídavný kryt nadproudové spouště	●/●		●/●

● je k dispozici, - není k dispozici, + připravuje se
¹⁾ - při opačném připojení jističe (vstupní svorky 2, 4, 6, výstupní svorky 1, 3, 5) se I_{cr} nemění
 - jističe odpínačů Modeion na str. R

Příloha D – Celkové schéma dimenzované kabelové sítě areálu



Příloha E – Výstupy z programu Sichr – selektivita, impedanční smyčky, vypínací charakteristiky

První paprsek – selektivita jištění

	Přístroj	Poznámka
F-VN		
Transf.	Jiný In = 577 A Sr = 400 kVA Ik''= 13.6 kA U2 = 231/400 V dU = 1.9 % uk = 4 % ip = 29.6 kA	VN pojistky PM45, 22/25kV, 31,5A
HL jis	Arion wL11_N,ETU45B In = 630 A IR = 567 A Icu = 55 kA IR = 0.90xIn,IR = 30 s (6xIR),I2t,I2sd = 159xIn,I2sd = 0 ms,I2tOFF,Ii = 10:	F-VN-HL jis zaručena plná selektivita
Rozv.	Sběrnice B = 1 Ik''= 13.6 kA U = 392 V (Un - 1.9%) ip = 29.6 kA	
Jis.č.1	BH630N-MTV8 In = 400 A IR = 315 A Icu = 36 kA IR = 315 A, tR(7.2xIR) = 3 s (TV, To), Ii = 4 kA (0 ms)	HL jis-Jis.č.1 zaručena plná selektivita
K1.1	2I11-AYKY 4x150 Iz = 375.3 A tm = 72 ° C Ik''= 10.0 kA 80 m v zemi (D) dU = 0.6 % I ² t < k ² S ² ip = 16.7 kA	
RIS1	Sběrnice B = 1 Ik''= 10.0 kA U = 391 V (Un - 2.3%) ip = 16.7 kA	
F1.2	PHNA2qG In = 160 A I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF2	Jis.č.1-F1.2 zaručena plná selektivita
K1.2	1-AYKY 4x150 Iz = 250.2 A tm = 60 ° C (Ik''= 7.09 kA) 50 m v zemi (D) dU = 0.6 % I ² t < k ² S ² io = 9.16 kA	
RIS2	Sběrnice B = 1 (Ik''= 7.09 kA) U = 389 V (Un - 2.8%) io = 9.16 kA	
F1.4	PHNA1qG In = 100 A I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF1	F1.2-F1.4 selektivní minimálně do 3.0 kA
K1.5	1-AYKY 4x150 Iz = 250.2 A tm = 33 ° C (Ik''= 4.33 kA) 100 m v zemi (D) dU = 0.4 % I ² t < k ² S ² io = 5.37 kA	
č.18	Sběrnice B = 1 (Ik''= 4.33 kA) U = 388 V (Un - 3.1%) io = 5.37 kA	
K1.6	1-AYKY 4x150 Iz = 250.2 A tm = 33 ° C Ik''= 3.08 kA 100 m v zemi (D) dU = 0.3 % I ² t < k ² S ² ip = 4.48 kA	
č.17	Sběrnice B = 1 Ik''= 3.08 kA U = 387 V (Un - 3.3%) ip = 4.48 kA	
K1.7	1-AYKY 4x150 Iz = 250.2 A tm = 33 ° C Ik''= 2.69 kA 50 m v zemi (D) dU = 0.1 % I ² t < k ² S ² ip = 3.90 kA	
č.19	Sběrnice B = 1 Ik''= 2.69 kA U = 386 V (Un - 3.5%) ip = 3.90 kA	
K1.8	1-AYKY 4x150 Iz = 250.2 A tm = 21 ° C Ik''= 2.50 kA 30 m v zemi (D) dU = 0.0 % I ² t < k ² S ² ip = 3.62 kA	
F1.č20	PHNA000qG In = 32 A I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF00	F1.4-F1.č20 selektivní minimálně do 1.6 kA
K1.č20	CYKY4x10 Iz = 72.9 A tm = 37 ° C (Ik''= 1.82 kA) 20 m v zemi (D) dU = 0.1 % I ² t < k ² S ² io = 1.58 kA	
č.20	Vývod S = 8.7 kVA xB = 3.9 kVAcos fi = 0.95 (Ik''= 1.82 kA) I = 5.64 A U = 386 V (Un - 3.5%) B = 0.45io = 1.58 kA	

SICHR 13.11

První paprsek – impedanční smyčky



Projekt : Návrh napájení areálu státní správy
Impedanční smyčky

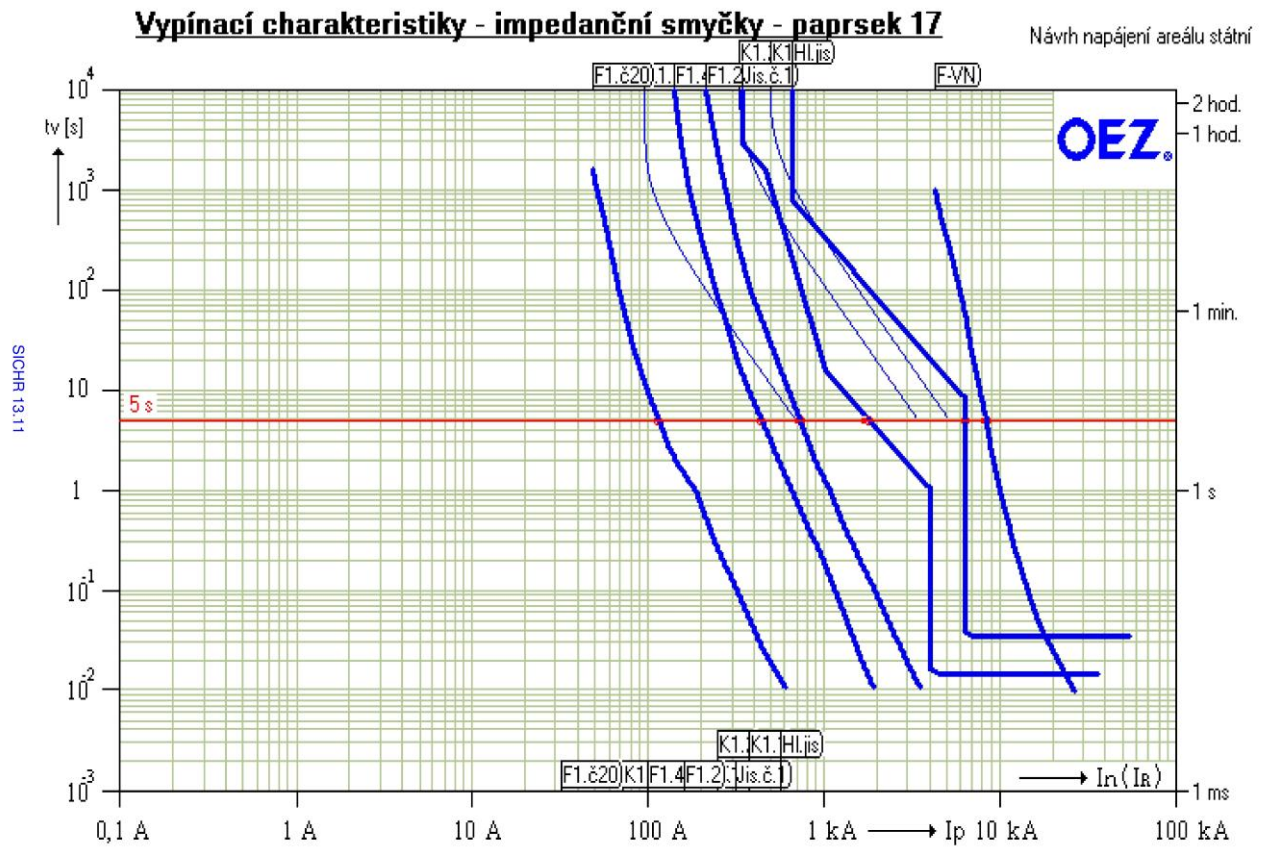
Štěpán TOMŠOVSKÝ

Datum : 25.4.2014

Návrh napájení areálu státní
Sít TN, Un = 230 / 400 V

F.VN	Přístroj	Poznámka
Transf.	Jiný Zs(5s) = 25 mΩhm (Ia = 9.25 kA)	VN pojistky PM45, 22/25kV, 31,5A
Hl.jis	Arion WL11.N.ETU45B Zs(5s) = 33 mΩhm (Ia = 6.97 kA)	In = 630 A IR = 567 A Icu = 55 kA IR = 0.90xIn, tR = 30 s (6xIR), I2t, Isd = 159xIn, tsd = 0 ms, I2tOFF, Ii = 10:
Rozv.	Sběrnice B = 1 U = 392 V (Un - 1.9%)	Ik'' = 13.6 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (17.0 mΩhm < 33.1 mΩhm)
Jis.č.1	BH630N-MTV8 Zs(5s) = 117 mΩhm (Ia = 1.98 kA)	In = 400 A IR = 315 A Icu = 36 kA IR = 315 A, tR(7.2xIR) = 3 s (TV, To), Ii = 4 kA (0 ms)
K1.1	2II1-AYKY 4x150 dU = 0.6 % I ² t < k ² S ²	Iz = 375.3 A tm = 72 ° C Ik'' = 10.0 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (32.4 mΩhm < 117 mΩhm)
RIS1	Sběrnice B = 1 U = 391 V (Un - 2.3%)	Ik'' = 10.0 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (32.4 mΩhm < 117 mΩhm)
F1.2	PHNA2qG Zs(5s) = 285 mΩhm (Ia = 812 A)	In = 160 A I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF2
K1.2	1-AYKY 4x150 dU = 0.6 % I ² t < k ² S ²	Iz = 250.2 A tm = 60 ° C (Ik'' = 7.09 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (54.3 mΩhm < 285 mΩhm)
RIS2	Sběrnice B = 1 U = 389 V (Un - 2.8%)	(Ik'' = 7.09 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (54.3 mΩhm < 285 mΩhm)
F1.4	PHNA1qG Zs(5s) = 479 mΩhm (Ia = 482 A)	In = 100 A I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF1
K1.5	1-AYKY 4x150 dU = 0.4 % I ² t < k ² S ²	Iz = 250.2 A tm = 33 ° C (Ik'' = 4.33 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (98.6 mΩhm < 479 mΩhm)
č.18	Sběrnice B = 1 U = 388 V (Un - 3.1%)	(Ik'' = 4.33 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (98.6 mΩhm < 479 mΩhm)
K1.6	1-AYKY 4x150 dU = 0.3 % I ² t < k ² S ²	Iz = 250.2 A tm = 33 ° C Ik'' = 3.08 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (144 mΩhm < 479 mΩhm)
č.17	Sběrnice B = 1 U = 387 V (Un - 3.3%)	(Ik'' = 3.08 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (144 mΩhm < 479 mΩhm)
K1.7	1-AYKY 4x150 dU = 0.1 % I ² t < k ² S ²	Iz = 250.2 A tm = 33 ° C Ik'' = 2.69 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (166 mΩhm < 479 mΩhm)
č.19	Sběrnice B = 1 U = 386 V (Un - 3.5%)	(Ik'' = 2.69 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (166 mΩhm < 479 mΩhm)
K1.8	1-AYKY 4x150 dU = 0.0 % I ² t < k ² S ²	Iz = 250.2 A tm = 21 ° C Ik'' = 2.50 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (180 mΩhm < 479 mΩhm)
F1.č20	PHNA000qG Zs(5s) = 1.84 Ωhm (Ia = 125 A)	In = 32 A I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF00
K1.č20	CYKY4x10 dU = 0.1 % I ² t < k ² S ²	Iz = 72.9 A tm = 37 ° C (Ik'' = 1.82 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (253 mΩhm < 1.84 Ωhm)
č.20	Vývod I = 5.64 A U = 386 V (Un - 3.5%) B = 0.45	S = 8.7 kVA xB = 3.9 kVAcos fi = 0.95 (Ik'' = 1.82 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (253 mΩhm < 1.84 Ωhm)

První paprsek – vypínací charakteristiky s vyznačenou dobou vypnutí (5s)



Druhý paprsek – selektivita jištění

OEZ		Projekt : Návrh napájení areálu státní správy		Štěpán TOMŠOVSKÝ
		Selektivita jištění		Datum : 25.4.2014
				Návrh napájení areálu státní
				Sít TN, Un = 230 / 400 V
	Přístroj		Poznámka	
F-VN				
Transf.	Jiný	In = 577 A Sr = 400 kVA Ik'' = 13.6 kA	VN pojistky PM45, 22/25kV, 31,5A	
		U2 = 231/400 V dU = 1.9 % uk = 4 % ip = 29.6 kA		
HI.jis	Arion WL11.N.ETU45B	In = 630 A IR = 567 A Icu = 55 kA IR = 0.90xIn,IR = 30 s (6xIR),I2t,I2sd = 159xIn,tsd = 0 ms,I2tOFF,Ii = 10:		
		F-VN-HI.jis zaručena plná selektivita		
Rozv.	Sběrnice	B = 1 Ik'' = 13.6 kA		
		U = 392 V (Un - 1.9%) ip = 29.6 kA		
Jis.č.2	BD250N-MTV8	In = 250 A IR = 180 A Icu = 36 kA IR = 180 A, tR(7.2xIR) = 1 s (TV, To), Ii = 2.50 kA (0 ms)		
		HI.jis-Jis.č.2 zaručena plná selektivita		
K2.1	1-AYKY 4x150	Iz = 187.7 A tm = 96 ° C (Ik'' = 8.64 kA) 60 m v zemi (D)		
		dU = 0.5 % I ² t < k ² S ² io = 11.6 kA		
č.24	Sběrnice	B = 1 (Ik'' = 8.64 kA)		
		U = 391 V (Un - 2.3%) io = 11.6 kA		
K2.2	1-AYKY 4x150	Iz = 187.7 A tm = 96 ° C (Ik'' = 7.55 kA) 20 m v zemi (D)		
		dU = 0.1 % I ² t < k ² S ² io = 10.7 kA		
č.21	Sběrnice	B = 1 (Ik'' = 7.55 kA)		
		U = 391 V (Un - 2.4%) io = 10.7 kA		
K2.3	1-AYKY 4x150	Iz = 187.7 A tm = 96 ° C Ik'' = 2.91 kA 230 m v zemi (D)		
		dU = 0.5 % I ² t < k ² S ² ip = 4.23 kA		
RIS3	Sběrnice	B = 1 Ik'' = 2.91 kA		
		U = 389 V (Un - 2.8%) ip = 4.23 kA		
F2.6	PHNA1qG	In = 80 A I1 = 120 kA	Připojeno pomocí SPF1	
		Jis.č.2-F2.6 selektivní minimálně do 2.2 kA		
K2.6	1-AYKY 4x150	Iz = 187.7 A tm = 38 ° C Ik'' = 2.50 kA 60 m v zemi (D)		
		dU = 0.1 % I ² t < k ² S ² ip = 3.62 kA		
č.8	Sběrnice	B = 1 Ik'' = 2.50 kA		
		U = 389 V (Un - 2.8%) ip = 3.62 kA		
K2.7	1-AYKY 4x150	Iz = 250.2 A tm = 29 ° C Ik'' = 2.33 kA 30 m v zemi (D)		
		dU = 0.0 % I ² t < k ² S ² ip = 3.38 kA		
č.9	Sběrnice	B = 1 Ik'' = 2.33 kA		
		U = 389 V (Un - 2.8%) ip = 3.38 kA		
F2č9	PHNA000qG	In = 32 A I1 = 120 kA	Připojeno pomocí SPF00	
		F2.6-F2č9 selektivní minimálně do 1.3 kA		
K2.č9	CYKY4x10	Iz = 72.9 A tm = 37 ° C (Ik'' = 1.73 kA) 20 m v zemi (D)		
		dU = 0.1 % I ² t < k ² S ² io = 1.57 kA		
č.9	Vývod	S = 8.7 kVA xB = 3.9 kVAcos fi = 0.95 (Ik'' = 1.73 kA)		
		I = 5.64 A U = 388 V (Un - 2.9%) B = 0.45io = 1.57 kA		

SICHR 13.11

Druhý paprsek – impedanční smyčky



Projekt : Návrh napájení areálu státní správy
Impedanční smyčky

Štěpán TOMŠOVSKÝ

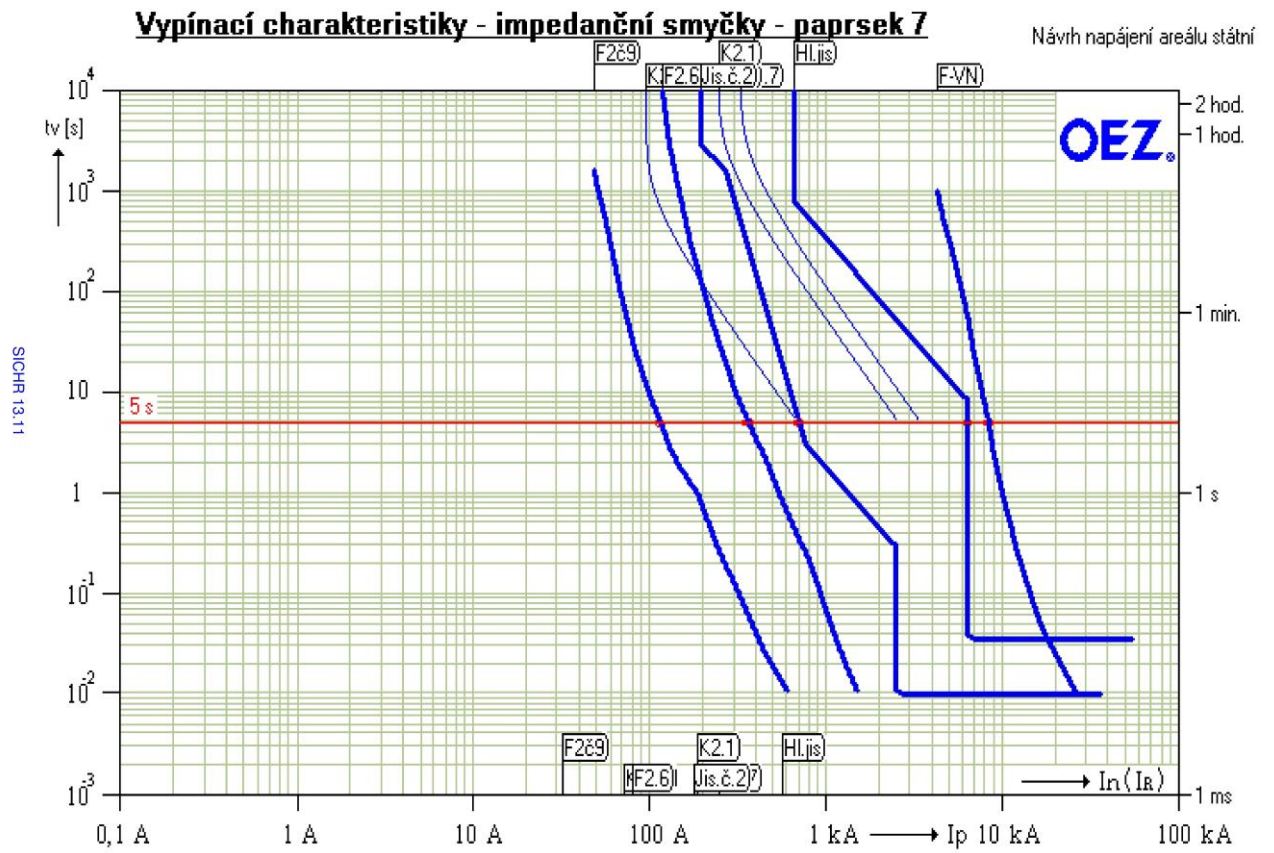
Datum : 25.4.2014

Návrh napájení areálu státní
Sít TN, Un = 230 / 400 V

F-VN	Přístroj	Poznámka
Transf.	Jiný Zs(5s) = 25 mΩhm (Ia = 9.25 kA)	In = 577 A Sr = 400 kVA Ik''= 13.6 kA VN pojistky PM45, 22/25kV, 31,5A
Hl.jis	Arion WL11.N.ETU45B Zs(5s) = 33 mΩhm (Ia = 6.97 kA)	In = 630 A IR = 567 A Icu = 55 kA IR = 0.90xIn, tR = 30 s (6xIR), I2t, Isd = 159xIn, tsd = 0 ms, I2tOFF, li = 10:
Rozv.	Sběrnice U = 392 V (Un - 1.9%)	B = 1 Ik''= 13.6 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (17.0 mΩhm < 33.1 mΩhm)
Jis.č.2	BD250N-MTV8 Zs(5s) = 297 mΩhm (Ia = 777 A)	In = 250 A IR = 180 A Icu = 36 kA IR = 180 A, tR(7.2xIR) = 1 s (TV, To), li = 2.50 kA (0 ms)
K2.1	1-AYKY 4x150 Iz = 187.7 A tm = 96 ° C dU = 0.5 % I ² t < k ² S ²	(Ik''= 8.64 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (42.4 mΩhm < 297 mΩhm)
č.24	Sběrnice U = 391 V (Un - 2.3%)	B = 1 (Ik''= 8.64 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (42.4 mΩhm < 297 mΩhm)
K2.2	1-AYKY 4x150 Iz = 187.7 A tm = 96 ° C dU = 0.1 % I ² t < k ² S ²	(Ik''= 7.55 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (52.3 mΩhm < 297 mΩhm)
č.21	Sběrnice U = 391 V (Un - 2.4%)	B = 1 (Ik''= 7.55 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (52.3 mΩhm < 297 mΩhm)
K2.3	1-AYKY 4x150 Iz = 187.7 A tm = 96 ° C dU = 0.5 % I ² t < k ² S ²	(Ik''= 2.91 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (171 mΩhm < 297 mΩhm)
RIS3	Sběrnice U = 389 V (Un - 2.8%)	B = 1 (Ik''= 2.91 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (171 mΩhm < 297 mΩhm)
F2.6	PHNA1qG Zs(5s) = 570 mΩhm (Ia = 405 A)	In = 80 A I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF1
K2.6	1-AYKY 4x150 Iz = 187.7 A tm = 38 ° C dU = 0.1 % I ² t < k ² S ²	(Ik''= 2.50 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (196 mΩhm < 570 mΩhm)
č.8	Sběrnice U = 389 V (Un - 2.8%)	B = 1 (Ik''= 2.50 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (196 mΩhm < 570 mΩhm)
K2.7	1-AYKY 4x150 Iz = 250.2 A tm = 29 ° C dU = 0.0 % I ² t < k ² S ²	(Ik''= 2.33 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (209 mΩhm < 570 mΩhm)
č.9	Sběrnice U = 389 V (Un - 2.8%)	B = 1 (Ik''= 2.33 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (209 mΩhm < 570 mΩhm)
F2č9	PHNA000qG Zs(5s) = 1.84 Ωhm (Ia = 125 A)	In = 32 A I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF00
K2.č9	CYKY4x10 Iz = 72.9 A tm = 37 ° C dU = 0.1 % I ² t < k ² S ²	(Ik''= 1.73 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (283 mΩhm < 1.84 Ωhm)
č.9	Vývod I = 5.64 A U = 388 V (Un - 2.9%) B = 0.45	S = 8.7 kVA xB = 3.9 kVA cos fi = 0.95 (Ik''= 1.73 kA) O.K. Zsv < Zs(5s) (283 mΩhm < 1.84 Ωhm)

SICHR 13.11

Druhý paprsek – vypínací charakteristiky s vyznačenou dobou vypnutí (5s)



Čtvrtý paprsek – selektivita jištění



Projekt : Návrh napájení areálu státní správy
Selektivita jištění

Štěpán TOMŠOVSKÝ

Datum : 25.4.2014

Návrh napájení areálu státní
 Sít TN, Un = 230 / 400 V

	Přístroj	Poznámka
FVN		
Transf.	Jiný In = 577 A Sr = 400 kVA Ik'' = 13.6 kA U2 = 231/400 V dU = 1.9 % uk = 4 % ip = 29.6 kA	VN pojistky PM45, 22/25kV, 31,5A
Hl.jis	Arion WL11.N.ETU45B In = 630 A IR = 567 A Icu = 55 kA IR = 0.90xIn, tR = 30 s (6xIR), I2t, Isd = 159xIn, tsd = 0 ms, I2tOFF, Ji = 10;	
Rozv.	FVN-Hl.jis zaručena plná selektivita	
	Sběrnice B = 1 Ik'' = 13.6 kA U = 392 V (Un - 1.9%) ip = 29.6 kA	
Jis.č.4	BH630N-MTV8 In = 400 A IR = 275 A Icu = 36 kA IR = 275 A, tR(7.2xIR) = 3 s (TV, To), li = 4 kA (0 ms)	
K4.1	Hl.jis-Jis.č.4 zaručena plná selektivita	
	2III-AYKY 4x150 Iz = 375.3 A tm = 58 ° C Ik'' = 8.64 kA 120 m v zemi (D) dU = 0.8 % I ² t < k ² S ² ip = 13.8 kA	
RIS5	Sběrnice B = 1 Ik'' = 8.64 kA U = 390 V (Un - 2.5%) ip = 13.8 kA	
F4.3	PHNA2qG In = 160 A I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF2	
	Jis.č.4-F4.3 zaručena plná selektivita	
K4.3	1-AYKY 4x150 Iz = 250.2 A tm = 60 ° C Ik'' = 4.91 kA 100 m v zemi (D) dU = 1.2 % I ² t < k ² S ² ip = 7.25 kA	
RIS6	Sběrnice B = 1 Ik'' = 4.91 kA U = 386 V (Un - 3.5%) ip = 7.25 kA	
F4.4	PHNA2qG In = 125 A I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF2	
	F4.3-F4.4 selektivní minimálně do 3.0 kA	
K4.4	1-AYKY 4x70 Iz = 164.7 A tm = 95 ° C Ik'' = 3.90 kA 30 m v zemi (D) dU = 0.5 % I ² t < k ² S ² ip = 5.67 kA	
č.3	Sběrnice B = 1 Ik'' = 3.90 kA U = 384 V (Un - 4.0%) ip = 5.67 kA	
K4.5	1-AYKY 4x70 Iz = 164.7 A tm = 95 ° C Ik'' = 3.03 kA 40 m v zemi (D) dU = 0.4 % I ² t < k ² S ² ip = 4.38 kA	
č.5	Sběrnice B = 1 Ik'' = 3.03 kA U = 383 V (Un - 4.3%) ip = 4.38 kA	
K4.6	1-AYKY 4x70 Iz = 164.7 A tm = 25 ° C Ik'' = 2.16 kA 70 m v zemi (D) dU = 0.2 % I ² t < k ² S ² ip = 3.12 kA	
F4.67	PHNA000qG In = 50 A I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF00	
	F4.4-F4.67 zaručena plná selektivita	
K4.67	CYKY4x16 Iz = 94.5 A tm = 47 ° C Ik'' = 1.79 kA 20 m v zemi (D) dU = 0.2 % I ² t < k ² S ² ip = 2.58 kA	
č.7	Vývod S = 28 kVA xB = 12 kVA cos fi = 0.95 Ik'' = 1.79 kA I = 17.9 A U = 381 V (Un - 4.6%) B = 0.45 ip = 2.58 kA	

SICHR 13.11

Čtvrtý paprsek – impedanční smyčky



Projekt : Návrh napájení areálu státní správy
Impedanční smyčky

Štěpán TOMŠOVSKÝ

Datum : 25.4.2014

Návrh napájení areálu státní
Sít TN, Un = 230 / 400 V

F.VN	Přístroj	Poznámka
Transf.	Jiný Zs(5s) = 25 mΩhm (Ia = 9.25 kA)	VN pojistky PM45, 22/25kV, 31,5A
Hl.jis	Arion WL11.NETU45B In = 630 A IR = 567 A Icu = 55 kA IR = 0.90xIn, tR = 30 s (6xIR), I2t, Isd = 159xIn, tsd = 0 ms, I2tOFF, li = 10; Zs(5s) = 33 mΩhm (Ia = 6.97 kA)	
Rozv.	Sběrnice B = 1 U = 392 V (Un - 1.9%)	Ik'' = 13.6 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (17.0 mΩhm < 33.1 mΩhm)
Jis.č.4	BH630N-MTV8 In = 400 A IR = 275 A Icu = 36 kA IR = 275 A, tR(7.2xIR) = 3 s (TV, To), li = 4 kA (0 ms) Zs(5s) = 133 mΩhm (Ia = 1.74 kA)	
K4.1	2II1-AYKY 4x150 Iz = 375.3 A tm = 58 ° C dU = 0.8 % I ² t < k ² S ²	Ik'' = 8.64 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (40.8 mΩhm < 133 mΩhm)
RIS5	Sběrnice B = 1 U = 390 V (Un - 2.5%)	Ik'' = 8.64 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (40.8 mΩhm < 133 mΩhm)
F4.3	PHNA2qG In = 160 A Zs(5s) = 285 mΩhm (Ia = 812 A)	I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF2
K4.3	1-AYKY 4x150 Iz = 250.2 A tm = 60 ° C dU = 1.2 % I ² t < k ² S ²	Ik'' = 4.91 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (86.3 mΩhm < 285 mΩhm)
RIS6	Sběrnice B = 1 U = 386 V (Un - 3.5%)	Ik'' = 4.91 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (86.3 mΩhm < 285 mΩhm)
F4.4	PHNA2qG In = 125 A Zs(5s) = 369 mΩhm (Ia = 625 A)	I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF2
K4.4	1-AYKY 4x70 Iz = 164.7 A tm = 95 ° C dU = 0.5 % I ² t < k ² S ²	Ik'' = 3.90 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (115 mΩhm < 369 mΩhm)
č.3	Sběrnice B = 1 U = 384 V (Un - 4.0%)	Ik'' = 3.90 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (115 mΩhm < 369 mΩhm)
K4.5	1-AYKY 4x70 Iz = 164.7 A tm = 95 ° C dU = 0.4 % I ² t < k ² S ²	Ik'' = 3.03 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (154 mΩhm < 369 mΩhm)
č.5	Sběrnice B = 1 U = 383 V (Un - 4.3%)	Ik'' = 3.03 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (154 mΩhm < 369 mΩhm)
K4.6	1-AYKY 4x70 Iz = 164.7 A tm = 25 ° C dU = 0.2 % I ² t < k ² S ²	Ik'' = 2.16 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (223 mΩhm < 369 mΩhm)
F4.67	PHNA000qG In = 50 A Zs(5s) = 1.05 Ωhm (Ia = 220 A)	I1 = 120 kA Připojeno pomocí SPF00
K4.67	CYKY4x16 Iz = 94.5 A tm = 47 ° C dU = 0.2 % I ² t < k ² S ²	Ik'' = 1.79 kA O.K. Zsv < Zs(5s) (269 mΩhm < 1.05 Ωhm)
č.7	Vývod S = 28 kVA xB = 12 kVA cos φi = 0.95 Ik'' = 1.79 kA I = 17.9 A U = 381 V (Un - 4.6%) B = 0.45	O.K. Zsv < Zs(5s) (269 mΩhm < 1.05 Ωhm)

SICHR 13.11

Čtvrtý paprsek – vypínací charakteristiky s vyznačenou dobou vypnutí (5s)

