

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Úprava napájení areálu Přátelství elektrickou energií**

**vedoucí práce: doc. Ing. Jiřina Mertlová, CSc.  
autor: Bc. Lubomír Machala**

**2016**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2015/2016

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

Jméno a příjmení: **Bc. Lubomír MACHALA**  
Osobní číslo: **E14N0019K**  
Studijní program: **N2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Úprava napájení areálu Přátelství elektrickou energií**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Popište areál Přátelství z hlediska energetického.
2. Navrhněte provedení napájecí transformovny.
3. Specifikujte výkonově jednotlivé odbočky rozvodny.
4. Detailně popište způsob řešení hlavních rozvodů.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

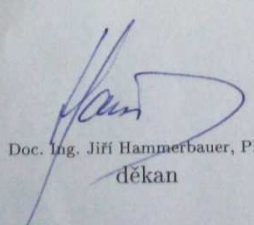
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

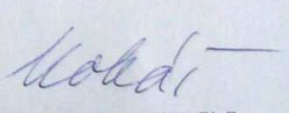
**Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.**

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

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2015**  
Termín odevzdání diplomové práce: **16. května 2016**

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



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

V Plzni dne 15. října 2015

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na řešení úpravy napájení elektrickou energií průmyslového areálu. Je zde řešen postup návrhu napájecího transformátoru, přípojného napájecího vedení. Dále pak dimenzování stávajících a nových elektrických odboček z nových nízkonapěťových rozvodů, včetně kontroly jednotlivých jističích prvků. U transformátorových stanic je ještě řešena centrální kompenzace účinníků. V závěru práce se zabývám provedením přípojného napájecího vedení z napájecí stanice, které je kombinací venkovního a kabelového vedení.

## **Klíčová slova**

Distribuční soustava, transformátorová stanice, kompenzace účinníku, dimenzování napájecího vedení, dimenzování vodičů, kabelové vedení, venkovní vedení

## **Abstract**

Submitted master thesis is focused on a solution for adjustments regarding supplying of industrial areas with power. It deals with the procedure of designing a power inductor, the connecting power lines. And furthermore with dimensioning of already existing and new electrical branches and new low-voltage substations including a check of each protection element. Transformer stations also deal with central power correction. In the ending of the work I focus on an execution of connecting power line from power station which is a combination of outdoor and cable lines.

## **Key words**

Distribution system, transformer station, power-factor correction, sizing of power lines, cable sizing, cable line, overhead lines

## Prohlášení

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

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

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

.....  
podpis

V Plzni dne 13.5.2016

Lubomír Machala

## **Poděkování**

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

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>9</b>
<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>13</b>
<b>2 AREÁL PŘÁTELSTVÍ</b> .....	<b>14</b>
2.1 POPIS VÝCHOZÍHO STAVU .....	14
2.2 POPIS UMÍSTĚNÍ STÁVAJÍCÍCH ROZVODEN AREÁLU PŘÁTELSTVÍ.....	15
<b>3 NÁVRH TRANSFORMÁTOROVÉ STANICE</b> .....	<b>17</b>
3.1 POŽADAVKY PRO NÁVRH TRANSFORMÁTOROVÉ STANICE A ELEKTRICKÝCH ROZVODŮ	17
3.2 STANOVENÍ VÝPOČTOVÉHO ZATÍŽENÍ.....	18
3.3 NÁVRH UMÍSTĚNÍ, POČET TRANSFORMÁTORŮ A JEJICH VÝKONY .....	20
3.3.1 <i>Návrh umístění transformátorových stanic</i> .....	20
3.3.2 <i>Zajištění dodávky elektrické energie</i> .....	22
3.3.3 <i>Stanovení jmenovitých výkonů transformátorů</i> .....	22
3.4 KOMPENZACE ÚČINÍKU .....	24
3.4.1 <i>Určení velikosti kompenzace transformoven TSS a TSB</i> .....	24
<b>4 SPECIFIKACE TRANSFORMÁTOROVÝCH STANIC</b> .....	<b>28</b>
4.1 PROVEDENÍ TRANSFORMÁTOROVÉ STANICE TSS.....	28
4.2 PROVEDENÍ TRANSFORMÁTOROVÉ STANICE TSB .....	29
<b>5 NÁVRH A KONTROLA ELEKTRICKÝCH VEDENÍ A JEJICH VYBAVENÍ</b> .....	<b>32</b>
5.1 DIMENZOVÁNÍ PRŮŘEZU PŘÍPOJNÉHO NAPÁJECÍHO VEDENÍ .....	32
5.1.1 <i>Parametry potřebné k návrhu</i> .....	32
5.1.2 <i>Dimenzování dle provozní teploty</i> .....	33
5.1.3 <i>Kontrola na úbytek napětí</i> .....	34
5.1.4 <i>Kontrola minimálního průřezu na účinky zkratových proudů</i> .....	34
5.2 DIMENZOVÁNÍ A KONTROLA NN VEDENÍ ZA TRAFOSTANICEMI TSS A TSB .....	37
5.2.1 <i>Kontrola stávajících kabelů vyvedených z transformačních stanic</i> .....	39
5.2.2 <i>Návrh nových kabelů z trafostanice</i> .....	43
5.3 PŘÍPOJNÉ NAPÁJECÍ VEDENÍ .....	46
5.3.1 <i>Napájecí rozvodna</i> .....	46
5.3.2 <i>Vodiče venkovního vedení</i> .....	47
5.3.3 <i>Výpočet veličin pro realizaci venkovního vedení</i> .....	48
5.3.4 <i>Provedení přípojného napájecího vedení – Kabelová část</i> .....	53
5.3.5 <i>Provedení přípojného napájecího vedení – Venkovní část</i> .....	54
5.4 SITUAČNÍ SCHÉMA NÁVRHU ÚPRAVY NAPÁJENÍ AREÁLU PŘÁTELSTVÍ ELEKTRICKOU ENERGIÍ .....	56
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>58</b>
<b>PŘÍLOHY</b> .....	<b>I</b>



## Seznam symbolů a zkratk

$a_{krit}$	Kritické rozpětí venkovního vedení [m]
$c$	Napěťový součinitel [ - ]
$c$	Parametr venkovního vedení, tzv. parametr řetězovky [m]
$C_c$	Součinitel aerodynamického odporu [ - ]
$\cos \varphi$	Účinník sítě [ - ]
$\cos \varphi_k$	Vykompenzovaný účinník sítě [ - ]
$\cos \varphi_{stř}$	Střední účinník sítě [ - ]
$D$	Zvětšení průměru vodiče vlivem námrazy [m]
$d$	Průměr vodiče [m]
$E$	Modul pružnosti vodiče [MPa]
$f$	Frekvence [Hz]
$g$	Měrná tíha 1 m samotného vodiče [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]
$g_0$	Normální tíhové zrychlení [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ ]
$G_c$	Součinitel rozpětí pro délku rozpětí [ - ]
$G_q$	Součinitel větrného poryvu pro výšku závěsného bodu [ - ]
$I$	Elektrický proud [A]
$I_{cm}$	Jmenovitá zkratová zapínací schopnost jistícího prvku [kA]
$I_{cu}$	Jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost jistícího prvku [kA]
$I_{cw}$	Jmenovitý krátkodobý výdržný proud [kA/s]
$I_d$	Návrhové zatížení venkovního vedení [ - ]
$I_i$	Proudová hodnota instalovaného jistícího prvku [A]
$I_k$	Elektrický proud po kompenzaci [A]
$I_k$	Zatížení námrazou venkovního vedení [ - ]
$I_k^{//}$	Rázový zkratový výkon [A]
$I_N$	Jmenovitý proud [A]
$I_p$	Výpočtový proud [A]
$i_p$	Nárazový zkratový proud [kA]
$I_R$	Redukovaný proud jistícího prvku [A]
$I_R$	Referenční hodnota zatížení námrazou [ - ]
$I_{th}$	Ekvivalentní oteplovací zkratový proud [kA]
$I_{th}^{//}$	Ekvivalentní oteplovací zkratový proud s přepočtem na dobu trvání [kA]

$I_z$	Dovolený zátěžný proud [A]
$K$	Koeficient dimenzování vodičů na tepelné účinky zkratových proudů [ - ]
$K_h$	Součinitel výšky zavěšení venkovního vedení [ - ]
$k_i$	Součinitel proudové zatížitelnosti [ - ]
$k_s$	Součinitel současnosti napájených spotřebičů [ - ]
$k_z$	Součinitel využití [ - ]
$l$	Délka [km]
$L$	Délka rozpětí [m]
$m$	Součinitel čas. závislosti tepelného účinku ss složky zkratového proudu [ - ]
$m_{\text{vodič}}$	Hmotnost vodiče [kg]
$N$	Počet stupňů kompenzačního zařízení [ - ]
$n$	Součinitel čas. závislosti tepelného účinku stř složky zkratového proudu [ - ]
$p$	Převod transformátoru [ - ]
$P_i$	Instalovaný výkon [kW]
$P_{\text{max}}$	Maximální výkon [kW]
$P_p$	Výpočtové zatížení [kW]
$\sum P_p$	Suma výpočtového zatížení přepočítané součinitelem $\beta$ [kW]
$Q_c$	Jalový výkon odebíraný ze sítě po kompenzaci [kVAr]
$q_h$	Dynamický tlak větru [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]
$q_l$	Dynamický tlak vlivem námrazy [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]
$Q_k$	Kompenzační výkon [kVAr]
$Q_p$	Jalový výkon odebíraný ze sítě [kVAr]
$q_{wc}$	Dyn. tlak v kombinaci větru a zvětšeného průměru vlivem námrazky [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]
$R, X$	Činný odpor a reaktance elektrického vedení [ $\Omega$ ]
$R/X$	Poměr součtového odporu a reaktance do místa zkratu [ - ]
$R_s, X_s$	Činný odpor a reaktance nadřazené soustavy [ $\Omega$ ]
$S$	Průřez vodiče [ $\text{mm}^2$ ]
$S_{\text{min}}$	Minimální průřez vodiče [ $\text{mm}^2$ ]
$S_n$	Jmenovitý průřez vodiče [ $\text{mm}^2$ ]
$S_{NTR}$	Jmenovitý výkon transformátoru [kVA]
$S_p$	Zdánlivé výpočtové zatížení [kVA]
$T_k$	Časový interval zkratového proudu [s]

$T_{kl}$	Časový ekvivalent jistícího prvku [s]
$U_s, U_f$	Sdružené a fázové napětí [V]
$V_h$	Rychlost větru [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]
$z$	Přetížení venkovního vedení [ - ]
$z_I$	Přetížení pro nejhorší možné podmínky [ - ]
$Z_s$	Impedance nadřazené soustavy [ $\Omega$ ]
$\alpha$	Koeficient tepelné roztažnosti vodiče [ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ]
$\beta$	Součinitel náročnosti [ - ]
$\beta$	Úhel mezi směrem větru a vodičem [ $^{\circ}$ ]
$\gamma'$	Měrná tíha [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
$\gamma_I$	Koeficient spolehlivosti venkovního vedení [ - ]
$\Delta U$	Úbytek napětí [V]
$\eta_m$	Účinnost spotřebičů [ - ]
$\eta_s$	Účinnost napájecí soustavy [ - ]
$\vartheta_I$	Vztažná kritická teplota k výpočtu [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$\vartheta_k$	Dovolená nejvyšší teplota při zkratovém proudu [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$\vartheta_{krit}$	Kritická teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$\vartheta_z$	Dovolená nejvyšší provozní teplota vedení [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$\kappa$	Součinitel poměru R/X nebo X/R [ - ]
$\rho$	Hustota vzduchu [ $\rho=1,25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
$\rho_I$	Hustota námrazy [ $\rho_I=500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
$\sigma_{HI}$	Dovolené namáhání ve vodiči [MPa]
$\psi_w$	Součinitel kombinace zatížení venkovního vedení [ - ]
$TR1$	Index pro výpočet – Transformátor 1 [ - ]
$TR2$	Index pro výpočet – Transformátor 2 [ - ]
$TSS$	Index pro výpočet – Trafostanice TSS [ - ]
$TSB$	Index pro výpočet – Trafostanice TSB [ - ]
$22R7$	Index pro výpočet – Napájecí rozvodny [ - ]
$S$	Index pro výpočet – Nadřazená soustava [ - ]
$V$	Index pro výpočet – Venkovní vedení [ - ]
$K$	Index pro výpočet – Kabelové vedení [ - ]
$PV$	Index pro výpočet – Přípojné napájecí vedení [ - ]

---

<i>T TSS</i>	Index pro výpočet – Transformátor TSS [ - ]
<i>T TSB</i>	Index pro výpočet – Transformátor TSB [ - ]
<i>P TSS</i>	Index pro výpočet – Hodnoty před transformátorem pro TSS [ - ]
<i>P TSB</i>	Index pro výpočet – Hodnoty před transformátorem pro TSB [ - ]
<i>R TSS</i>	Index pro výpočet – K přípojnicí 0,4kV v TSS [ - ]
<i>R TSB</i>	Index pro výpočet – K přípojnicí 0,4kV v TSB [ - ]
<i>POM i</i>	Index pro výpočet – Pro i-té připojené odběrné místo [ - ]

# 1 Úvod

Cílem této diplomové práce je úprava přípojného elektrického napájení průmyslového areálu Přátelství. Důvod úpravy je uvolnění pozemku od vyžitých průmyslových objektů, na kterém je plánován nový moderní průmyslový areál. Demolicí těchto objektů by došlo k trvalému odpojení od elektrické sítě stávajících odběratelů, proto musí být provedena úprava napájení zajišťující nepřerušenu dodávku elektrické energie.

Stávajícím odběratelům byla zajištěna dodávka elektrické energie transformací z technologické napájecí soustavy o jmenovitém napětí 6kV. Jedním z cílů bylo zrušení této napěťové hladiny a transformovat z konvenčnější distribuční hladiny jako je 22kV. Toto řešení nabízela nedaleká elektrická stanice a tak v textu práce je řešen návrh možnosti zajištění dodávky z této rozvodny.

Celá práce je rozdělena do čtyř dílčích částí, ze kterých vyjde možnost realizace této konkrétní úpravy napájení. V první kapitole je výchozí stav popisující základní schéma elektrické sítě a rozvoden. Společně k tomuto popisu je vyobrazeno umístění rozvoden v poli demoličního plánu.

Další část práce řeší potřebnou kapacitu dodaného výkonu zajišťující bezporuchový provoz, tj. stanovení výpočtového zatížení z instalovaných jistících prvků. Dále v této části je řešeno počet transformátorových stanic včetně přihlednutí ke kritériu zajištění dodávky. Ke konci této části řeším kompenzaci účinníku, která zajistí udržení účinníku v předepsané toleranci.

Ve třetí části navazuji na transformátorové stanice a jejich specifikaci. Jednotlivé odbočky zobrazuje detailní nákres elektrického schéma rozvoden 0,4kV.

V poslední části této diplomové práce se zabírám zejména problematikou navržení průřezů jednotlivých vývodů. Konkrétně napájecímu vedení 22kV k příslušným transformátorovým stanicím, dále pak použitému stávajícímu a novému vedení nn směřující k odběratelům. Pro kontrolu a dimenzování vycházím z platných norem ČSN 34 1610, ČSN EN 60909, ČSN 33 2000-4-41 a ČSN 33 2000-5-523. Součástí poslední kapitoly je řešení venkovního vedení, zejména rozpětí podpěrných bodů a maximálních průřezů napájecího vedení při nejhorších možných povětrnostních podmínkách, zde jsem vycházel z norem ČSN EN 50423-1 a ČSN EN 50341-1.

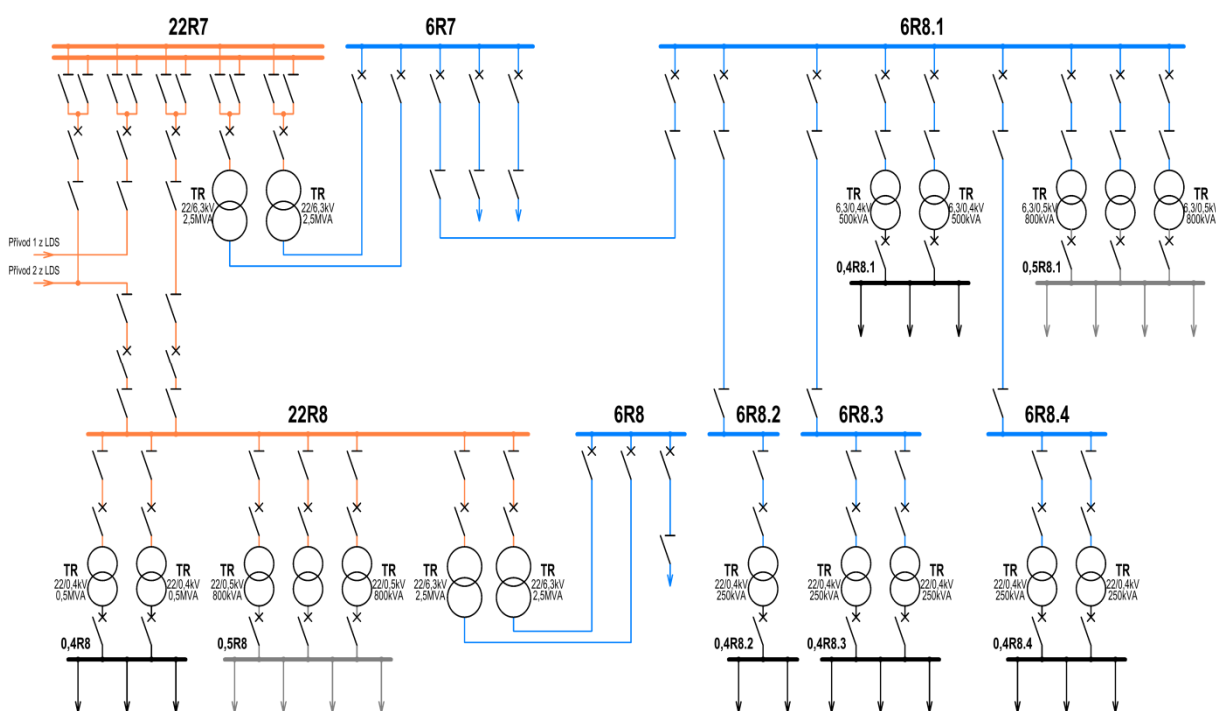
## 2 Areál Přátelství

Popisovaný objekt se nachází v obci Citice na Sokolovsku v Karlovarském kraji. Jedná se o rozsáhlý průmyslový areál, který zde vyrostl již v letech 1955 až 1960. V letech své největší vytíženosti bylo v tomto areálu vyrobeno až 550 tisíc tun briket ročně.

K výrobě briket bylo potřeba zpracovatelské technologie, která z elektroenergetického pohledu byla velmi rozmanitá a pro zásobování elektrických strojů a přístrojů bylo potřeba vybudovat rozsáhlou, avšak zahuštěnou průmyslovou síť elektrické energie. [12]

### 2.1 Popis výchozího stavu

Na následujícím obrázku jsou stručně znázorněny hlavní rozvody původního schéma elektrického napájení areálu.



Obr. 1: Stručné elektrické schéma původního hlavního napájení areálu přátelství

Distribuční síť 22 kV, resp. napájení elektrické stanice 22R8 se výhradně provozovala dvěma paralelními linkami. Toto zapojení vede na zlepšení napěťových poměrů a zároveň na zvětšení zkratových proudů. Hlavní cíl tohoto zapojení byl nepřerušovaný provoz a zaručení prvního stupně zajištění dodávky.

Distribuční síť 6 kV se provozovala výhradně paprskově, z čehož elektrické stanice napájené dvěma transformátory byly vybaveny záskokovou automatikou nebo se jejich

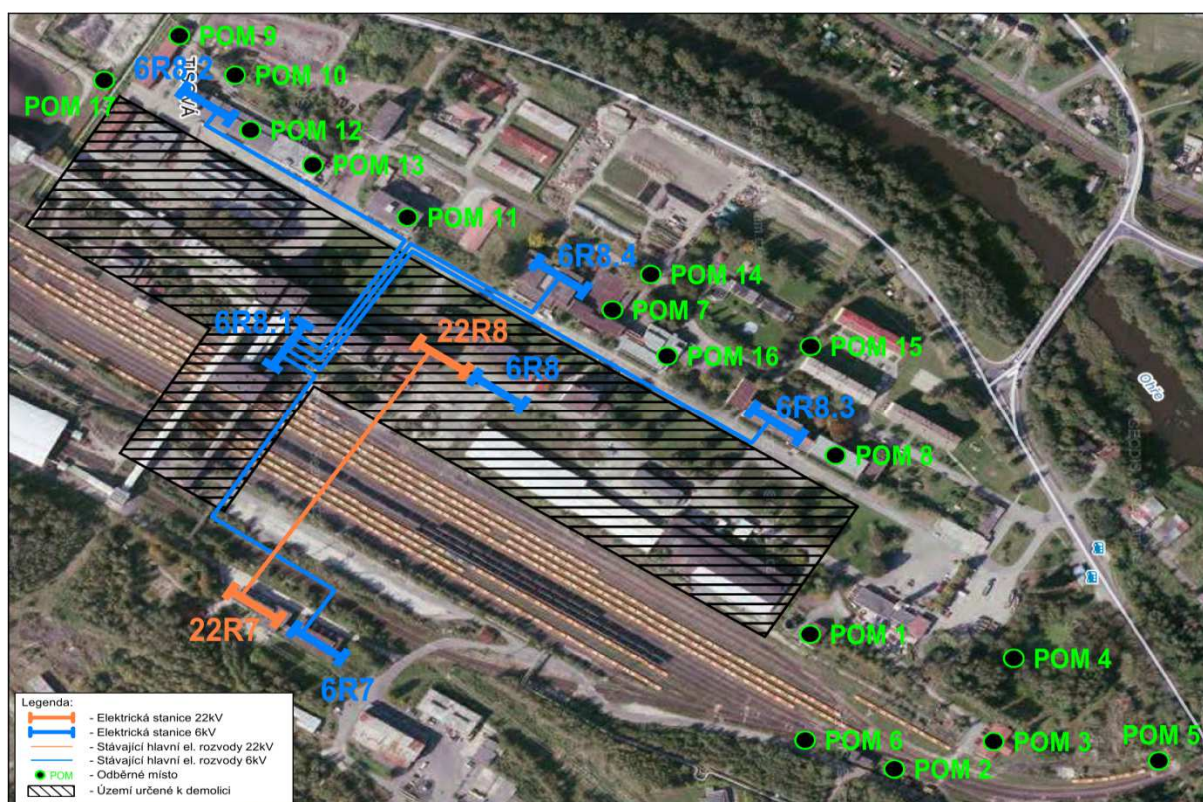
přejetí provádělo manuálně.

Distribuční síť 0,5 kV byla výhradně technologického charakteru a nároky na její zabezpečení byly vysoké. Síť se provozovala paralelně se dvěma transformátory, zatímco třetí transformátor sloužil jako náhradní.

Distribuční síť 0,4 kV byla využívána v kancelářích, dílnách a ostatních provozech. Byla provozována jako paprsková síť s přerušením dodávky při poruše. V místech kde bylo potřebné záložní nepřerušené napětí, byla síť zajištěna napájením z baterií (UPS).

## 2.2 Popis umístění stávajících rozvodů areálu Přátelství

V dnešní době je technologická část pro výrobu briket nevyužita a z tohoto důvodu byla naplánována demolice technologických budov. Ale hlavním důvodem demolice je vybudovat prostor pro novou moderní průmyslovou zónu v areálu Přátelství, která nahradí zastaralé a momentálně nevyužité prostory. Na první pohled jednoduché řešení, jelikož však Sokolovská Uhelná, právní nástupce, a.s. (dále SUAS) je lokálním distributorem elektrické energie a provozuje lokální distribuční síť na tomto daném území, tak zodpovídá za distribuci elektřiny ke stávajícím připojeným odběrným místům (dále POM), která jsou napájena po transformaci z elektrických rozvodů vn naznačených na *Obr. 2* (konkrétně 22R8, 6R8.1, 6R8.2, 6R8.3 a 6R8.4).



Obr. 2: Situační schéma stávajících hlavních rozvodů [24]

Je zřejmé, že po uskutečnění demolice, která je vymezena a označena vyšrafovaným územím na *Obr. 2*, tak nebude možné k POM dopravit elektrickou energii, protože dojde ke strhnutí objektů, ve kterých se nachází již zmíněné elektrické rozvodny vn.

Aby nedošlo k trvalému omezení dodávky elektřiny k těmto odběratelům, musí být provedena úprava napájení areálu přátelství. Úprava napájení bude spočívat ve vytvoření nové distribuční sítě, která zajistí zásobování elektrickou energií stávajících POM včetně odběratelů budoucích.



### 3 Návrh transformátorové stanice

V areálu přátelství se nachází odběrná místa elektrické energie, která jsou využívána k podnikatelským účelům cizích subjektů a účelům SUAS včetně napájení stávajících elektrických zařízeních. Elektrifikace těchto prostor a stávajících zařízení bude provedena novým návrhem elektrických rozvodů a transformovny. Ve svém účelu se bude jednat o návrh elektrických sítí průmyslového typu, které budou zásobovány elektřinou z nových transformátorových stanic.

#### 3.1 Požadavky pro návrh transformátorové stanice a elektrických rozvodů

Na průmyslové síti jsou kladeny požadavky vyplývající z definice cíle elektrizační soustavy. *Zajistit zásobování spotřebitelů elektrickou energií v požadovaném čase, v potřebném množství a místě při požadované kvalitě a spolehlivosti dodávky. Přitom respektovat hospodárnost.* [1, 2000, s. 32]

Při respektování této definice, je zřejmé dodržení kvalitativního znaku elektrické energie v soustavě ČR, čili dodržení stálé frekvence 50Hz a napětí v povolených mezích, na které jsou elektrická zařízení navrhována. Při nedodržení těchto kvalitativních znaků klesá životnost elektrických zařízení. [1]

Při navrhování je zapotřebí řádného promyšlení umístění transformátorové stanice příp. více stanic, protože průmyslová síť má koncentrovaný charakter spotřeby a mnohdy i transformaci na více napěťových úrovních v různých lokalitách průmyslového závodu. Z těchto důvodů se hledá vhodné umístění a s tím související další požadavek pro možnost rozšiřování a doplňování elektrického zařízení pro budoucí rozvoj elektrického rozvodu. [1] [7]

Velmi důležitým faktorem při návrhu stanice je stanovení výpočtového zatížení, které zahrnuje maximální současný odběr s přihlédnutím ke ztrátám včetně případného rozšíření výroby či elektrických vývodů. [1]

Dalším faktorem návrhu je zajištění spolehlivosti dodávky elektrické energie, které je rozděleno do tří stupňů pro napájení jednotlivých provozoven nebo technologických

zařízení.

- **Dodávky 1. stupeň**, kde výpadek napájení může způsobit ohrožení lidských životů nebo velké hospodářské ztráty. Zajištění za všech okolností.
- **Dodávky 2. stupeň**, kde výpadek způsobí podstatné zmenšení nebo zastavení výroby. Jsou zajištěny, pokud je to možné.
- **Dodávky 3. stupeň**, nemusí být zajištěny zvláštními opatřeními. [7]

Je snaha provozovat průmyslovou síť s minimálními provozními náklady při různých provozních stavech, které se ovlivňují konfigurací sítě, počtem transformátorů a kompenzací spotřebičů apod. [1]

Požadavky uvedené výše a snaha o minimální provozní náklady je třeba zajistit s minimálními investicemi do zařízení a rozvodů. Úkolem návrhu je nalézt kompromis mezi náklady investic, provozními náklady a zajištění spolehlivosti. [1]

### 3.2 Stanovení výpočtového zatížení

Při návrhu a dimenzování elektrického rozvodu je potřebné stanovit výpočtové zatížení  $P_p$ , které slouží jako podklad pro volbu konfigurace rozvodu, dimenzování vedení a dimenzování rozvodných zařízení. Vychází ze součinu instalovaného výkonu  $P_i$  a předpokládaného součinitele náročnosti  $\beta$ . [1] [7]

$$P_p = P_i \cdot \beta \quad (3.1)$$

Součinitel náročnosti lze určit dle následujícího vztahu:

$$\beta = \frac{k_s \cdot k_z}{\eta_m \cdot \eta_m} \quad (3.2)$$

kde  $k_s$  je součinitel současnosti (tj. poměr jmenovitých výkonů v současném chodu k instalovanému výkonu  $P_i$ ),  $k_z$  je součinitel využití (tj. poměr skutečných současně odebíraných výkonů k  $P_i$ ),  $\eta_m$  je účinnost spotřebičů,  $\eta_s$  je účinnost napájecí soustavy.

Vzhledem k omezeným informacím o spotřebičích a budoucích průmyslových rozvodech není možné provést tento výpočet dle rovnice 3.2. Proto bude součinitel náročnosti pro jednotlivé provozní celky určen z ČSN 34 1610 nebo na základě zkušeností odborníků z praxe. [7]

Instalovaný výkon  $P_i$  je možné určit z proudových hodnot jistících prvků  $I_i$ , které

jsou uvedeny na každém vývodu zahrnující úpravu napájení. Tento výpočet bude proveden dle následující rovnice.

$$P_i = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_i \quad (3.3)$$

V Tab. 3.1 jsou uvedeny potřebné hodnoty pro výpočet instalovaného výkonu pro jednotlivé provozy a provozovny dle rovnice 3.3 a výpočtové zatížení dle rovnice 3.1. Při výpočtech se předpokládá konstantní napětí 400/230V.

Tab. 3.1: Vypočtené hodnoty pro různé provozy a provozovny

	Provoz / provozovna	I <sub>i</sub> [A]	P <sub>i</sub> [kVA]	P <sub>p</sub> [kVA]	β
POM 1	ČS odpadních vod	200	138	96,6	0,7
POM 2	Hradlo 1	80	55,2	30,36	0,55
POM 3	Hradlo 2	80	55,2	30,36	0,55
POM 4	Čerpací stanice 1	80	55,2	38,64	0,7
POM 5	Čerpací stanice 2	50	34,5	24,15	0,7
POM 6	Osvětlení	80	55,2	16,56	0,3
POM 7	Sociální budova	500	345	207	0,6
POM 8	Správní budova	500	345	207	0,6
POM 9	Kotelna	250	172,5	112,125	0,65
POM 10	Vodárna	250	172,5	77,625	0,45
POM 11	Hutní sklad + kanceláře	200	138	48,3	0,35
POM 12	Dřevozpracující dílny	200	138	69	0,5
POM 13	Logistika 1	100	69	27,6	0,4
POM 14	Logistika 2	80	55,2	22,08	0,4
POM 15	Osvětlení sídliště	50	34,5	13,8	0,4
POM 16	Osvětlení areálu	50	34,5	13,8	0,4
POM 17	ČS pohonných hmot	40	27,6	13,8	0,5

Součinitel náročnosti uvedený v Tab. 3.1 je informativní hodnota jednotlivých skupin spotřebičů vyjadřující způsob provozu. Pro určení celkového výpočtového zatížení kompletního průmyslového rozvodu v areálu Přátelství, je zapotřebí ještě uvažovat součinitel náročnosti všech provozů dohromady. Vztah pro tento výpočet je následující, vychází z úpravy rovnice 3.1.

$$\sum P_p = \beta \cdot \sum P_p = 0,6 \cdot 1048,8 = 629,8 \text{ kW}$$

Součet výpočtového zatížení udává míru činného výkonu. Pro celkový návrh vstupního transformátoru je potřeba výpočtové zatížení zdánlivého výkonu, tj. se zahrnutím i výkonu jalového.

Účinník pro návrh výpočtu zdánlivého výkonu vstupního transformátoru určím ze skladby napájených spotřebičů. Jelikož se však jedná převážně o spotřebiče cizích firem, u

kterých není možnost zmapování, tak vycházím z odhadnutého účinníku sítě  $\cos\varphi_{stř} = 0,85$ , tato hodnota byla určena po dohodě s energetikem SUAS.

Zdánlivé výpočtové zatížení před kompenzací:

$$S_{pCelk} = \frac{\sum P_p}{\cos \varphi_{stř}} = \frac{629,8}{0,85} = 740,9 \text{ kVA}$$

Tento účinník se však většinou kompenzuje na minimální hodnotu  $\cos \varphi = 0,95$  až  $1$ . Distributoři elektrické energie tuto hodnotu hlídají a následně odběratele za nedodržení penalizují finančními postihy. Při nedodržení správného účinníku jsou vedení zatěžována nejen činnou složkou proudu, ale také jalovou složkou proudu. Což má za následek, že u stávajícího vedení se zvyšují úbytky napětí a také činné ztráty v rozvodu, které jsou úměrné kvadrátu přenášeného proudu a u nových zařízení se mimo jiné zvyšují náklady na investici z důvodu dimenzování na vyšší zdánlivý proud. [7]

Zdánlivé výpočtové zatížení s kompenzací:

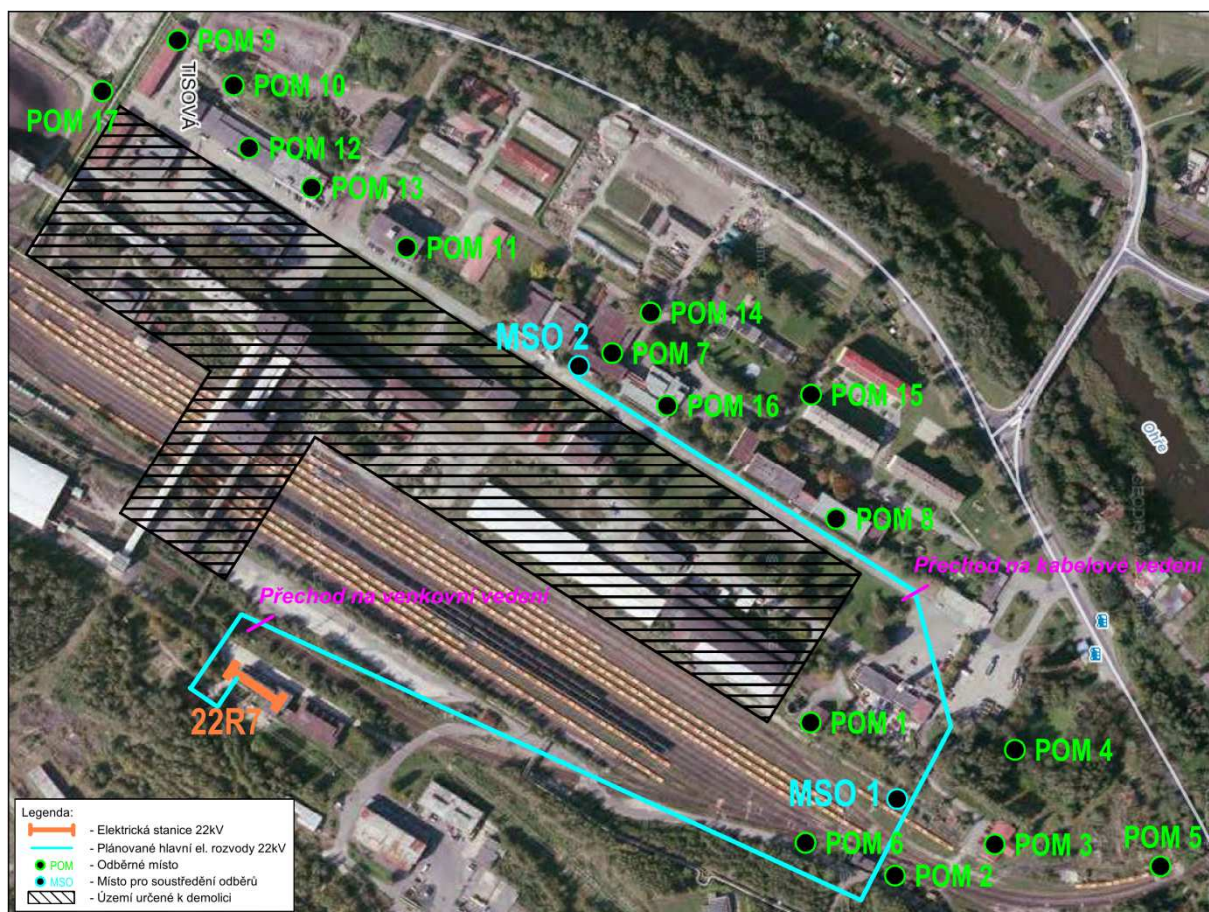
$$S_{pCelk} = \frac{\sum P_p}{\cos \varphi_k} = \frac{629,8}{0,95} = 662,9 \text{ kVA}$$

Vypočtené zdánlivé zatížení je teoretická hodnota potřebná k napájení odběrných míst v areálu přátelství. Z této hodnoty lze určit jmenovitý výkon navrhovaného transformátoru. Výkon transformátoru se běžně volí s rezervou (cca 10% až 20%), tj. pro potřebu rázového výkonu při spouštění velkých elektrických strojů a mimo jiné i kvůli rozšíření elektrické sítě o nové odběratele. [1]

### 3.3 Návrh umístění, počet transformátorů a jejich výkony

#### 3.3.1 Návrh umístění transformátorových stanic

Úprava napájení areálu Přátelství spočívá ve vybudování nových elektrických rozvodů s respektováním stávajících rozvodů. Z tohoto účelu a omezení investičních nákladů se musí posoudit i návrh nových transformátorových stanic, zejména jejich umístění, které umožní napojení stávajících vedení na nové transformovny a opačně.



Obr. 3: Situační schéma plánovaného přípojného vedení [24]

Na Obr. 3 je návrh trasy přípojného vedení, které propojí zdroj elektrické energie s nově vybudovanými transformátorovými stanicemi. Z návrhu trasy vedení je zřejmá výhodnost umístění transformátorové stanice v místě koncentrace odběrů. Tato místa odběrů jsou označena na Obr. 3 jako MSO1 a MSO2, což jsou vhodná místa pro umístění nových transformátorových stanic.

Místo MSO1 nevychází z pouhé náhody, k tomuto určení přispěly z velké míry původní rozvody elektrické energie. Jelikož na totožném místě byla umístěna původní rozvodna nn (ozn. SG17), která byla napájena po transformaci 6kV/0,4kV v rozvodně 6R8.1 viz. Příloha A.

Původní nn rozvodna „SG17“ napájela blízká odběrná místa (POM1 až POM6) a jejich jednotlivé kabelové odbočky budou využity pro napojení na novou transformátorovou stanici a tím dojde ke snížení nákladů na vybudování nových rozvodů k těmto odběrným místům.

Místo MSO2 pro odběrná místa (POM7 až POM17) určuje umístění druhé

transformátorové stanice. Výhodou této polohy pro novou transformátorovou stanici je mimo jiné, že v těsné blízkosti se nachází tepelný kolektor s kabelovými rošty pro elektrická vedení. Tyto kabelové rošty sloužily k pokládkám napájecích kabelů směřující k rozvodnám a rozváděčům, ze kterých byly připojeny stávající POM. Takto připravené trasy pro kabelové vedení, je možné využít a podstatně tím snížit náklady na investice pro nové výkopy a průrazy.

Napájecím zdrojem pro nové transformátorové stanice bude elektrická rozvodna 22-R7 umístěna v blízkosti areálu přátelství.

### 3.3.2 Zajištění dodávky elektrické energie

V kapitole 3.1 jsou uvedeny tři stupně spolehlivosti dodávky elektrické energie. Rozdělení skupin spotřebičů pro nové transformátorové stanice bylo prodiskutováno s hlavním energetikem SUAS.

Vývody napájené z první transformátorové stanice v místě MSO 1 není potřeba zajistit vyšším stupněm dodávky.

Vývody napájené z druhé transformátorové stanice v místě MSO 2, je potřeba zajistit dodávkou elektrické energie 2. stupně. Minimálním zajištěním se považuje připojení alespoň na dva transformátory a jejich napájení se dále již neposuzuje. Oba transformátory musí mít dostatečně velký výkon k zajištění dodávky elektřiny napájeného zařízení. [7]

Během normálního provozu jsou oba transformátory zapnuty na primární straně a pouze jeden má zapnutý vypínač na sekundární straně. V případě poruchy (ztráty napětí) dochází k působení podpět'ového relé (ochrany), následně dochází ke krátkodobému přerušení dodávky a následnému zapnutí vypínače na sekundární straně rezervního transformátoru.

### 3.3.3 Stanovení jmenovitých výkonů transformátorů

Ke stanovení jmenovitých hodnot transformátorů budu vycházet ze zdánlivého výpočtového zatížení  $S_p$ , které bylo uvedeno v kapitole 3.2.

$$S_{pCelk} = 740,9 \text{ kVA}$$

Toto zatížení je vypočtené pro celý areál, jelikož však napájení odběrných míst bude provedeno ze dvou transformátorových stanic, tak je nutné vypočítat zvlášť výpočtové zatížení pro první transformovnu (dále ozn. TSS) a zvlášť pro druhou transformovnu (dále ozn. TSB).

Tab. 3.2: Vypočtené hodnoty pro různé provozovny a provozovny – oddělené; vlevo TSS a vpravo TSB

	Provoz / provozovna	P <sub>p</sub> [kW]		Provoz / provozovna	P <sub>p</sub> [kW]	
POM 1	ČS odpadních vod	96,6		POM 7	Sociální budova	207
POM 2	Hradlo 1	30,36		POM 8	Správní budova	207
POM 3	Hradlo 2	30,36		POM 9	Kotelna	112,125
POM 4	Čerpací stanice 1	38,64		POM 10	Vodárna	77,625
POM 5	Čerpací stanice 2	24,15		POM 11	Hutní sklad + kanceláře	48,3
POM 6	Osvětlení	16,56		POM 12	Dřevozpracující dílny	69
		$S_{pTSS} = \frac{\beta \cdot \sum P_p}{\cos\varphi_{stř}}$	<b>167,1 kVA</b>	POM 13	Logistika 1	27,6
				POM 14	Logistika 2	22,08
				POM 15	Osvětlení sídliště	13,8
				POM 16	Osvětlení areálu	13,8
				POM 17	ČS pohonných hmot	13,8
				$S_{pTSB} = \frac{\beta \cdot \sum P_p}{\cos\varphi_{stř}}$		<b>559,1 kVA</b>

Volbu transformátorů provedu s ohledem na katalogové výkony vyráběných distribučních transformátorů 22/0,4kV od firmy SGB Neumark (50, 100, 160, 250, 400, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150 kVA).

Z výpočtového zdánlivého zatížení pro první trafostanici (TSS) vychází transformátor o jmenovitém výkonu  $S_{NTRI} = 250\text{kVA}$ , tj. včetně započítané rezervy 18%. Vzhledem k umístění této trafostanice, které je mimo občanskou výstavbu, bude použito univerzální příhradové stožárové trafostanice, určené pro použití v napěťových hladinách 22kV a 35kV. [14] [15]

Pro druhou trafostanici (TSB) vychází transformátor o jmenovitém výkonu  $S_{NTRI} = 630\text{kVA}$ , tj. včetně započítané rezervy 18%. Tato transformační stanice je oproti TSS umístěna v zástavbě a přivedení napájecího vedení bude provedeno kabelovým vedením. Z těchto důvodů bude zde postavená typová kiosková trafostanice, která je dimenzovaná pro osazení dvou transformátorů do výkonu 630kVA. [14] [15]

### 3.4 Kompenzace účinníku

V provozu elektrických zařízení je možnost setkání se s různými druhy strojů a spotřebičů. Každý z těchto strojů a spotřebičů má specifický odběr elektrické energie. Některé pro svou činnost vyžadují pouze činný příkon (např. topné spotřebiče, varné desky, elektrické kotle apod.) a některé potřebují činnou tak i jalovou energii pro vytvoření elektromagnetického pole (např. elektromotory, transformátory, indukční pece apod.). Některé spotřebiče jsou zase schopné jalovou energii dodávat, pracují s kapacitním charakterem proudu (např. kondenzátory nebo dlouhá vedení). [5]

Pro výpočet činného výkonu v trojfázové síti platí následující rovnice:

$$P = \sqrt{3} \cdot U_f \cdot I \cdot \cos\varphi \quad (3.4)$$

S klesajícím účinníkem poroste jalová hodnota výkonu, která zhoršuje poměry v elektrických rozvodech odběratele, tak i v elektrizační soustavě.

Kompenzací účinníku lze ovlivnit přenos činného výkonu stávajícím vedením a lze jím také ovlivnit dimenzování nových zařízení a tím snížit pořizovací náklady (čím lepší účinník, tím menší zařízení pro stálý činný výkon). Kompenzací lze také ovlivnit úbytky napětí v rozvodu elektrické energie, stabilitu mezi elektrárnami při předávání velkých jalových výkonů – při nekompenzovaném účinníku se zhoršují účinnosti alternátorů, transformátorů a dalších rozvodných zařízení. Mimo jiné lze kompenzací zamezit finančním postihům velkoodběratelů za nedodržení předepsaného účinníku distribučními společnostmi. [5]

#### 3.4.1 Určení velikosti kompenzace transformoven TSS a TSB

Pro kompenzaci účinníku v TSS a TSB bude použito centrální kompenzace, připojené na přípojnice nn rozváděče za transformátorem. Cílem výpočtu je nalezení  $Q_k$  (kompenzační výkon) pro vykompenzování účinníku na požadovanou minimální hodnotu  $\cos\varphi_k = 0,95$ . Pro výpočet je nutné znát  $\cos\varphi_{stř}$  (účinník sítě před kompenzací). Skladba napájených spotřebičů je rozmanitá a neznámá, jelikož se převážně jedná o vývody k odběratelům cizích firem. Proto jsem účinník sítě před kompenzací zvolil na základě odhadů a zkušeností hlavního energetika ( $\cos\varphi_{stř} = 0,85$ ).



Pro výpočet odebíraného jalového výkonu ze sítě platí:

$$Q_p = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I \cdot \sin\varphi_{stř} \quad (3.5)$$

Pro výpočet jalového výkonu po kompenzaci platí:

$$Q_k = \sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_k \cdot \sin\varphi_k \quad (3.6)$$

Pak potřebný kompenzační výkon  $Q_c$  se stanoví z rozdílu  $Q_p$  a  $Q_k$ .

### Stanovení kompenzace pro trafostanici TSS

Aplikací rovnic 3.8, 3.9 a dosazením vstupních hodnot pro trafostanici TSS:

$$Q_{pTSS} = S_{pTSS} \cdot \sin\varphi_{stř} = 167,1 \cdot 0,5267 = 88,1 \text{ kVAr}$$

$$Q_{kTSS} = S_{pTSS} \cdot \frac{\cos\varphi_{stř}}{\cos\varphi_k} \cdot \sin\varphi_k = 167,1 \cdot 0,8947 \cdot 0,3122 = 46,7 \text{ kVAr}$$

$$Q_{cTSS} = Q_{pTSS} - Q_{kTSS} = 88,1 - 46,7 = 41,4 \text{ kVAr}$$

Kompenzační výkon  $Q_c$  se běžně volí o 20% vyšší, čímž je zaručena kompenzace na minimální předepsanou či vyšší hodnotu účinníku.

Většina centrálních kompenzací je volena stupňovitě, které je určeno pro jemnější ladění požadovaného účinníku. Minimální stupeň kompenzace se volí s ohledem na teoretickou nejmenší spotřebu trafostanice. Pro stanovení nejmenšího stupně je opět využito rovnic 3.8 a 3.9. Minimální odběr byl stanoven na  $S_{pTSSmin} = 20 \text{ kVA}$ .

$$Q_{pTSSmin} = S_{pTSSmin} \cdot \sin\varphi_{stř} = 20 \cdot 0,5267 = 10,5 \text{ kVAr}$$

$$Q_{kTSSmin} = S_{pTSSmin} \cdot \frac{\cos\varphi_{stř}}{\cos\varphi_k} \cdot \sin\varphi_k = 20 \cdot 0,8947 \cdot 0,3122 = 5,6 \text{ kVAr}$$

$$Q_{cTSSmin} = Q_{pTSSmin} - Q_{kTSSmin} = 10,5 - 5,6 = 4,9 \text{ kVAr}$$

Podle výše uvedených výpočtů a přičtením 20% pro záruku kompenzace vychází, že nejmenší stupeň kompenzace by měl mít po hrubém zaokrouhlení kolem 6kVAr a nejvyšší stupeň kolem 50kVAr. V této práci není řešena konkrétní kompenzace, ale je zde uveden pouze příklad řešení stupňů kompenzace (např. 6+12+12+24kVAr), tato kombinace zaručí programovací jednotce při paralelním spínání kondenzátorových baterií ladění od 6kVAr

až po nejvyšší stupeň 52kVAr.

Správné nastavení kompenzace lze ověřit podle následující obecné teoretické podmínky dle vztahu:

$$\frac{Q_p - N \cdot Q_{c1}}{S_p \cdot \cos\varphi_{stř}} \leq \tan\varphi_k \quad (3.7)$$

kde  $N$  je počet stupňů kompenzačního zařízení a  $Q_{c1}$  je hodnota nejmenšího kompenzačního stupně.

$$\operatorname{tg}\varphi_k \Rightarrow \cos\varphi_k = 0,95 \rightarrow \cos^{-1} 0,95 = 18,19^\circ \rightarrow \tan 18,19^\circ = 0,328$$

Pro kompenzaci u trafostanice TSS při plném zatížení je potřeba maximální počet stupňů kompenzačního výkonu.

$$\frac{Q_{pTSS} - N \cdot Q_{c1TSS}}{S_{pTSS} \cdot \cos\varphi_{stř}} \leq \tan\varphi_k$$

$$\frac{88,1 - 9 \cdot 6}{167,1 \cdot 0,85} \leq 0,328 \rightarrow 0,24 \leq 0,328$$

Pro minimální zatížení po hrubém zaokrouhlení je potřeba kompenzační výkon alespoň 6kVAr, což je první stupeň kompenzačního výkonu.

$$\frac{Q_{pTSSmin} - N \cdot Q_{c1TSS}}{S_{pTSSmin} \cdot \cos\varphi_{stř}} \leq \tan\varphi_k$$

$$\frac{10,5 - 1 \cdot 6}{20 \cdot 0,85} \leq 0,328 \rightarrow 0,264 \leq 0,328$$

Podmínka správné kompenzace byla splněna v obou případech a tím je potvrzena funkčnost kompenzace pro trafostanici TSS.

### Stanovení kompenzace pro trafostanici TSB

Pro výpočet kompenzace pro TSB je použito stejného postupu jako při výpočtu kompenzace pro TSS.

$$\begin{array}{ll} S_{pTSB} = 559,1 \text{ kVA} & S_{pTSBmin} = 60 \text{ kVA} \\ Q_{pTSB} = 294,5 \text{ kVAr} & Q_{pTSBmin} = 31,6 \text{ kVAr} \\ Q_{kTSB} = 156,2 \text{ kVAr} & Q_{kTSBmin} = 16,8 \text{ kVAr} \\ Q_{cTSB} = 138,3 \text{ kVAr} & Q_{cTSBmin} = 14,8 \text{ kVAr} \end{array}$$

Podle výše uvedených hodnot pro stanovení kompenzace trafostanice TSB a přičtením 20% pro záruku kompenzace vychází, že nejmenší stupeň kompenzace by měl mít po hrubém zaokrouhlení 20kVAr a nejvyšší stupeň kolem 180kVAr. Opět zde uvedu příklad kompenzačních stupňů, tak jak bylo uvedeno u TSS (např. 20+20+60+80kVAr), tato kombinace zaručí programovací jednotce ladění až po nejvyšší stupeň 180kVAr.

Pro plné zatížení TSB je potřeba maximální počet stupňů.

$$\frac{Q_{pTSB} - N \cdot Q_{c1TSB}}{S_{pTSB} \cdot \cos\varphi_{stř}} \leq \tan\varphi_k$$

$$\frac{294,5 - 9 \cdot 20}{559,1 \cdot 0,85} \leq 0,328 \rightarrow 0,240 \leq 0,328$$

Pro minimální zatížení po hrubém zaokrouhlení je potřeba kompenzační výkon alespoň 20kVAr, což je jeden stupeň kompenzačního výkonu.

$$\frac{Q_{pTSBmin} - N \cdot Q_{c1TSB}}{S_{pTSBmin} \cdot \cos\varphi_{stř}} \leq \tan\varphi_k$$

$$\frac{31,6 - 1 \cdot 20}{60 \cdot 0,85} \leq 0,328 \rightarrow 0,227 \leq 0,328$$

Podmínka správné kompenzace byla splněna v obou případech i pro trafostanici TSB a tím je potvrzena funkčnost kompenzace.

## 4 Specifikace transformátorových stanic

K zásobování spotřebitelů elektrickou energií je základním spojovacím prvkem mezi rozvodnou sítí a spotřebiči, jsou elektrické stanice. Jejich úkolem je transformovat a dále rozdělovat elektrickou energii při stejném napětí. K rozdělování dochází prostřednictvím jednotlivých odboček z přípojníc rozvodného zařízení. [5]

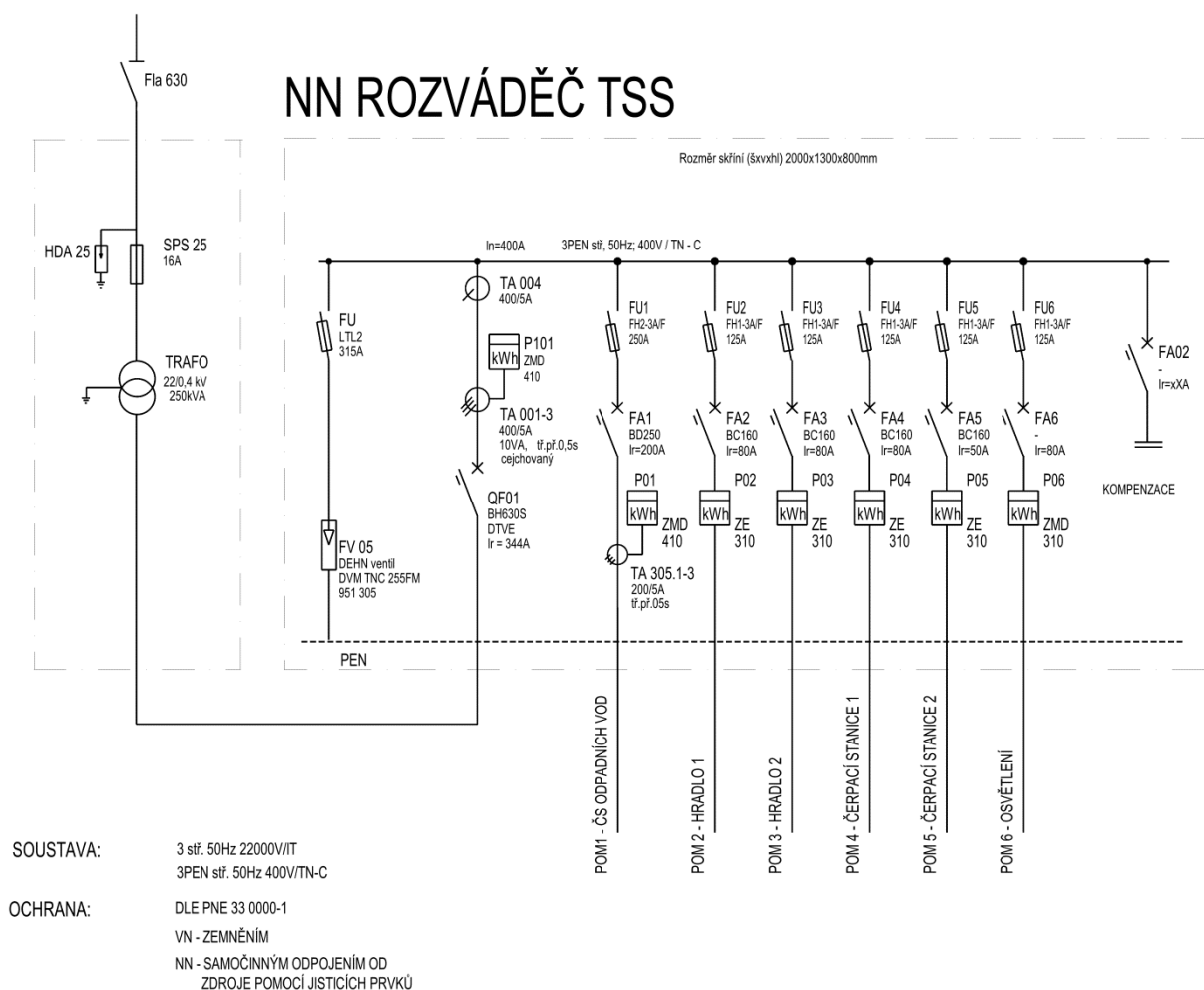
Rozvodná zařízení lze dělit podle konstrukčního uspořádání na rozvodnu, vyžadující zvláštní stavební úpravy; na rozváděče, kde přístroje a konstrukce tvoří jeden celek vyžadující pouze kabelové prostupy a kanály; na rozvodnice (např. rozvodnice deska s nn pojistkami). [5]

Každé rozvodné zařízení disponuje elektrickými odbočkami, které jsou uspořádány v poli. Je zde možnost umístění i více odboček v jednom poli, zejména v nn rozváděčích. Počet odboček na pole je závislé na vybavení elektrickými přístroji jednotlivé odbočky. Ve vn, vvn a zvn rozvodně je výhradně jedna odbočka v jednom poli. Toto provedení je zejména z bezpečnostních a provozních důvodů. [5]

### 4.1 Provedení transformátorové stanice TSS

Pro vybudování trafostanice TSS bude použita příhradová stožárová trafostanice PTS-U1B osazena transformátorem o výkonu  $S_{NTRI} = 250\text{kVA}$ , který byl stanoven v kapitole 3.3.3, sestava stožárové trafostanice je zobrazena v Příloha B.

Primární strana transformátoru bude připojena na soustavu IT o jmenovitém napětí 22kV. Sekundární strana transformátoru bude provedena v soustavě TNC o jmenovitém napětí 0,4kV připojena kabelem nn do rozváděčových skříní typu SVS B, elektrické schéma tohoto provedení je zobrazeno na *Obr. 4*.



Obr. 4: Elektrické schéma transformátorové stanice TSS

V transformátorové stanici TSS bude použito stávajícího kabelového vedení, proto je nutné provést kontrolu těchto kabelů, jestli mají vhodné jištění a jestli jsou správně dimenzovány.

## 4.2 Provedení transformátorové stanice TSB

Trafostanice TSB je konstruována se zapuštěním do terénu a ze stavebního hlediska je tvořena železobetonovým kioskem. Z elektrického hlediska je dimenzována pro osazení dvou transformátorů do výkonu  $S_{NTR2} = 630\text{kVA}$ . V samotném kiosku je oddělený prostor pro rozvodnu vn a rozváděče nn. Transformátory jsou umístěny na samostatném stanovišti, sestava stanice TSB je zobrazena v Příloha C.

Primární strany transformátorů jsou připojeny na soustavu IT o jmenovitém napětí 22kV jednotlivými odbočky z vn rozváděče typu 8DH10 od firmy Siemens, tento typ rozváděčů je s jednou přípojnici, kovově zapouzdrěný s izolací SF6, pro použití ve vnitřní instalaci. Sekundární strany transformátorů budou provedeny v soustavě TNC o



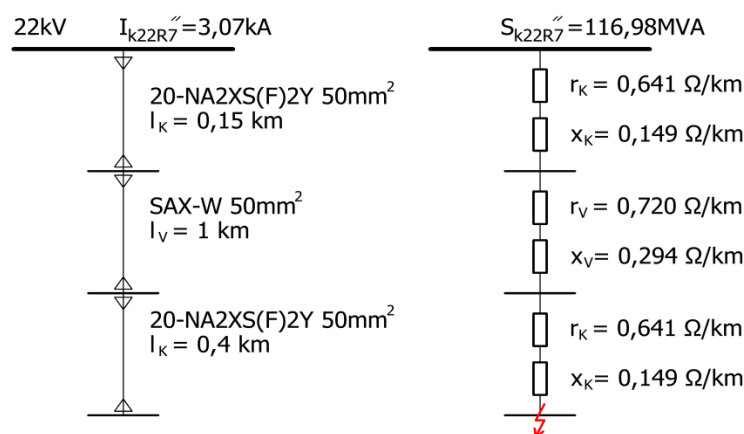
Trafostanice TSB je nově umístěna v místě koncentrace spotřeby stávajících odběrů (POM7 až POM17). Napájení těchto objektů bylo uskutečňováno prostřednictvím elektrických kabelů z rozváděčů a elektrických rozvodů, které byly situovány různě po areálu, viz. Příloha A. U těchto kabelů není možnost, aby jejich konce byly zavlečeny do kabelového prostoru pod trafostanicí TSB a je tedy nutnost navrhnout nové elektrické rozvody, které nahradí rozvody původní.

## 5 Návrh a kontrola elektrických vedení a jejich vybavení

### 5.1 Dimenzování průřezu přípojného napájecího vedení

#### 5.1.1 Parametry potřebné k návrhu

Pro návrh průřezu přípojného vedení je nutné znát rázový zkratový proud  $I_k''$  před transformátorem. K tomuto výpočtu je potřeba znalosti zkratového proudu v místě připojení, což je stávající rozvodna 22R7. Zkratový proud této elektrické stanice je  $I_{k22R7}'' = 3,07\text{kA}$  a byl určen ze zkratových poměrů, které byly vypočteny pro nastavení elektrických ochran jednotlivých přívodů a vývodů. Dále je potřeba znalost parametrů dimenzovaného vedení vn, v tomto případě se jedná o dva typy vodičů, jelikož výkon z rozvodny 22R7 je vyveden kombinací kabelového a venkovního vedení, přičemž v místech určení na *Obr. 3* budou provedeny přechody z kabelového na venkovní a zpět.



*Obr. 6: Náhradní schéma přípojného vedení 22 kV pro výpočet zkratového výkonu*

Po určení veškerých potřebných parametrů *Obr. 6* lze přejít k samotnému výpočtu. V první řadě se určí impedance nadřazené sítě  $Z_s$ . Následně pak reaktance  $X_s$  a činný odpor  $R_s$ . Musím tyto hodnoty odhadnout z poměru. Předpokládám, že nadřazená síť je rozsáhlá a tudíž  $R_s$  je oproti  $X_s$  v celkové impedanci sítě zastoupeno menší mírou.

$$Z_s = \frac{c \cdot U_s}{\sqrt{3} \cdot I_{k22R7}''} = \frac{1,1 \cdot 22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 3,07 \cdot 10^3} = 4,551 \Omega$$

$$R_s = 1,62 \Omega$$

$$X_s = 4,3 \Omega$$

Výpočet impedance venkovního vedení.

$$R_v = r_v \cdot l_v = 0,72 \cdot 1 = 0,72 \Omega$$

$$X_v = x_v \cdot l_v = 0,294 \cdot 1 = 0,294 \Omega$$



$$Z_V = \sqrt{R_V^2 + X_V^2} = \sqrt{0,72^2 + 0,294^2} = 0,778 \Omega$$

Výpočet impedance kabelového vedení.

$$R_K = r_K \cdot l_K = 0,641 \cdot 0,55 = 0,3525 \Omega$$

$$X_K = x_K \cdot l_K = 0,149 \cdot 0,55 = 0,082 \Omega$$

$$Z_K = \sqrt{R_K^2 + X_K^2} = \sqrt{0,3525^2 + 0,082^2} = 0,362 \Omega$$

Výpočet impedance, zkratový výkon a zkratový proud přípojného vedení do místa zkratu, tj. před transformátory.

$$Z_{PV} = Z_S + Z_V + Z_K = 4,551 + 0,778 + 0,362 = 5,691 \Omega$$

$$S_{PV}'' = \frac{c \cdot U_s^2}{Z_{PV}} = \frac{1,1 \cdot 22000^2}{5,691} \cong 93,55 \text{ MVA}$$

$$I_{kPV}'' = \frac{c \cdot U_s}{\sqrt{3} \cdot Z_{PV}} = \frac{1,1 \cdot 22000}{\sqrt{3} \cdot 5,691} = 2455,1 \text{ A}$$

Dalším potřebným parametrem pro návrh je celkový výpočtový proud  $I_p$  pro všechny odběratele, kteří jsou v specifikováni v Tab. 3.1. [1]

$$I_p = \frac{\sum P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi_{stř} \cdot \eta} = \frac{629,8 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 0,85 \cdot 0,95} = 20,5 \text{ A}$$

### 5.1.2 Dimenzování dle provozní teploty

Pro tento účel se odečtou nejvyšší dovolené provozní teploty  $\vartheta_z$  a nejvyšší dovolené teploty při zkratu  $\vartheta_k$  a to podle typu vodiče, který je použitý. V tomto případě se bude jednat o dva typy vodičů. Jako venkovní vedení bude použito izolovaných vodičů SAX-W 22kV a kabelové vedení 20-NA2XS(F)2Y. Z technických údajů výrobců pro použité kabely byly odečteny následující dovolené teploty. [13] [16]

#### SAX-W 22kV

$$\vartheta_z = 80^\circ\text{C}$$

$$\vartheta_k = 200^\circ\text{C}$$

#### 20-NA2XS(F)2Y

$$\vartheta_z = 90^\circ\text{C}$$

$$\vartheta_k = 250^\circ\text{C}$$

Kontrola zatížitelnosti vodiče se provádí pomocí výpočtu používající přepočítávací součinitele proudové zatížitelnosti pro podmínky a způsobu uložení. [7]

$$I_N \geq \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_i} \quad (5.1)$$

kde  $I_N$  je jmenovitý proud pro daný průřez vodiče a pro základní způsoby uložení a  $k_i$  jsou součinitelé proudové zatížitelnosti.

Po dosazení do rovnice 5.1 a po určení součinitelů  $k_i$  dle platných norem. Vypočteným proudům musí odpovídat nejbližší vyšší jmenovité zatížení průřezu použitého vedení dle katalogu výrobce. [7]

**SAX-W 22kV**

$$k = 1$$

$$I_N \geq 20,5 \text{ A}$$

$$S = 50 \text{ mm}^2$$

**20-NA2XS(F)2Y**

$$k = 0,82$$

$$I_N \geq 25 \text{ A}$$

$$S = 50/16 \text{ mm}^2$$

### 5.1.3 Kontrola na úbytek napětí

Po určení typu a průřezu elektrického vedení lze spočítat úbytek napětí. K výpočtu je potřeba určit délku vedení a parametry vedení z katalogu výrobce. Při výpočtech  $\Delta U$  u rozvodných sítí nn a vn lze příčnou admitanci zanedbat, proto ve výpočtech uvažují pouze činný odpor a reaktanci vedení. [17]

Venkovní vedení;  $l_V = 1 \text{ km}$ ;  $R_V = 0,72 \text{ } \Omega/\text{km}$ ;  $X_V = 0,294 \text{ } \Omega/\text{km}$ . Kabelové vedení;  $l_K = 0,55 \text{ km}$ ;  $R_K = 0,641 \text{ } \Omega/\text{km}$ ;  $X_K = 0,149 \text{ } \Omega/\text{km}$ .

Výpočet je následující:

$$\begin{aligned} \Delta U &= R \cdot I_p \cdot \cos\varphi_{stř} + X \cdot I_p \cdot \sin\varphi_{stř} \\ &= [(R_V \cdot l_V) + (R_K \cdot l_K)] \cdot I_p \cdot \cos\varphi_{stř} + [(X_V \cdot l_V) + (X_K \cdot l_K)] \cdot I_p \cdot \sin\varphi_{stř} \\ &= [(0,72 \cdot 1) + (0,641 \cdot 0,55)] \cdot 20,5 \cdot 0,85 \\ &\quad + [(0,294 \cdot 1) + (0,149 \cdot 0,55)] \cdot 20,5 \cdot 0,526 = 22,73 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U_n} \cdot \sqrt{3} = \frac{22,73 \cdot 100}{22 \cdot 10^3} \cdot \sqrt{3} = 0,179\%$$

### 5.1.4 Kontrola minimálního průřezu na účinky zkratových proudů

V tomto výpočtu se vychází z kvadrátu ekvivalentního oteplovacího proudu  $I_{th}$  s časovou závislostí na době zkratu  $T_k$ . [8]

$$\int_0^{T_k} i^2 \cdot dt = I_k''^2 \cdot (m + n) \cdot T_k = I_{th}^2 \cdot T_k \quad (5.2)$$

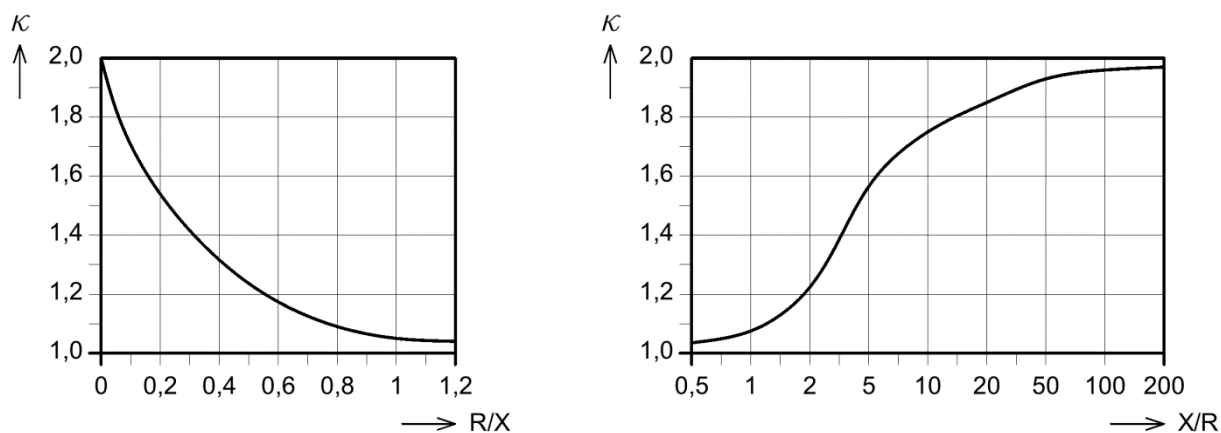
U tohoto výpočtu se kontroluje minimální průřez jádra vodiče  $S_{min}$ , při kterém nenastane ohřátí vodiče nad dovolenou teplotu po zkratu  $\vartheta_k$ . Je stanovena s přihlédnutím na stárnutí izolace a změny mechanických vlastností, které nastávají při zkratovém proudu. [8]

Veškeré vyvinuté teplo se akumuluje v materiálu jádra a dochází ke zvýšení provozní teploty  $\vartheta_z$  na teplotu  $\vartheta_k$ . Ve výpočtu počítám nejvyšší možnou dobou průběhu zkratového proudu  $T_k$ . [3]

Pro trojfázové zkraty v nezaizolovaných sítích se příspěvek nárazového zkratového proudu vyjádří následovně:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (5.3)$$

kde  $\kappa$  je součinitel poměru  $R/X$  nebo  $X/R$ , který se určí buď z Obr. 7. [8]



Obr. 7: Součinitel kappa pro sériové obvody jako funkce poměru  $R/X$  a  $X/R$  [8]

nebo dle rovnice 5.4.

$$\kappa = 1,02 + 0,98 e^{-3 \cdot \frac{R}{X}} \quad (5.4)$$

Dosazením hodnot do rovnice 5.4, která je potřebná pro výpočet nárazového zkratového proudu  $i_p$  v místě zkratu dle Obr. 6. [8]

$$\kappa = 1,02 + 0,98 e^{-3 \cdot \frac{R_{PV}}{X_{PV}}} = 1,02 + 0,98 e^{-3 \cdot \frac{2,6925}{4,676}} = 1,194$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{kPV} = 1,194 \cdot \sqrt{2} \cdot 2455,1 = 4145,6 \text{ A}$$

V dalším kroku výpočtu si určím součinn ekvivalentního oteplovacího proudu a doby průběhu zkratového proudu. Po dosažení do rovnice 5.2 platí:

$$I_{th, T_k PV}^2 \cdot T_k PV = I''_{kPV}^2 \cdot (m + n) \cdot T_k PV \rightarrow I_{th, T_k PV} = I''_{kPV} \cdot \sqrt{(m + n)}$$

Pro výpočet je nutné určit součinitele  $m$  a  $n$ . Součinitel  $m$  vyjadřuje časově závislý tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu a součinitel  $n$  vyjadřuje časově závislý tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu. [8]

Součinitel  $m$  lze určit dle následující rovnice

$$m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} \cdot [e^{4 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1] \quad (5.5)$$

A součinitel  $n$  lze podle ČSN EN 60909-0 určit hodnotu  $n = 1$ , což je obvykle voleno v distribučních sítích u vzdálených zkratů.

Doba průběhu zkratového proudu je omezena nastavením časového zpoždění elektrické ochrany  $T_k = 0,2 \text{ s}$ . Dosažením do rovnice 5.5 je výpočet následující. [8]

$$\begin{aligned} m &= \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_{kPV} \cdot \ln(\kappa - 1)} \cdot [e^{4 \cdot f \cdot T_{kPV} \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1] \\ &= \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot 0,02 \cdot \ln(1,194 - 1)} \cdot [e^{4 \cdot 50 \cdot 0,02 \cdot \ln(1,194 - 1)} - 1] = 0,031 \end{aligned}$$

Po určení součinitelů lze přejít na rovnici vyjadřující ekvivalentní oteplovací proud.

$$I_{th, T_k PV} = I''_{kPV} \cdot \sqrt{(m + n)} = 2455,1 \cdot \sqrt{(0,031 + 1)} = 2492,8 \text{ A}$$

Konečným výpočtem pro kontrolu minimálního průřezu vedení bude zkontrolováno, jestli použité průřezy jsou vyhovující. [8]

$$S_{min} = \frac{I_{th, T_k} \cdot \sqrt{T_k}}{K} \leq S_n \quad (5.6)$$

kde  $K$  je koeficient pro dimenzování na tepelné účinky zkratového proudu, určuje se dle materiálu vodiče a jeho izolace. Pro mnou navrhované vedení odpovídá  $K = 73$  dle [7] pro materiál vodiče Al a materiál izolace PVC. [8]

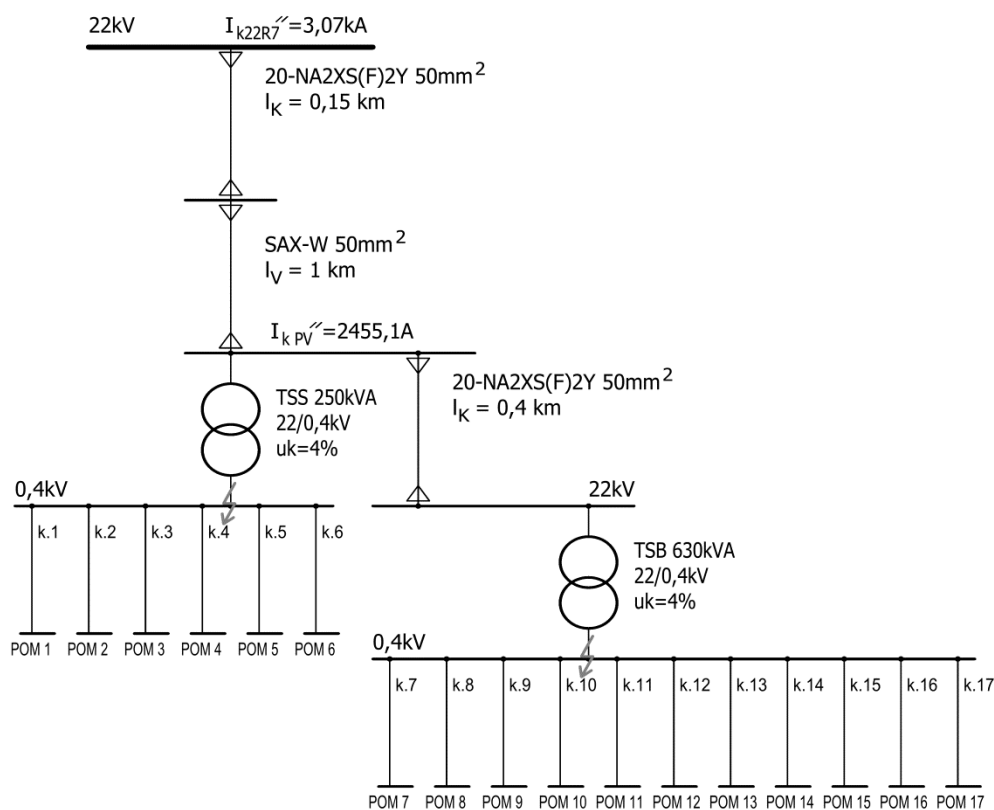
Dosažením do rovnice 5.6 je získána hodnota minimálního průřezu pro přípojné vedení z napájecího bodu (rozvodna 22R7).

$$S_{min} = \frac{I_{th,TK PV} \cdot \sqrt{T_{k PV}}}{K} = \frac{2492,8 \cdot \sqrt{0,2}}{73} \cong 15,27 \text{ mm}^2$$

Z porovnání průřezu použitého vedení  $S_n PV$  a vypočtené hodnoty  $S_{min}$  je zřejmé, že navrhovaný průřez vyhovuje s dostatečnou rezervou na tepelné účinky zkratového proudu.

## 5.2 Dimenzování a kontrola nn vedení za trafostanicemi TSS a TSB

Pro dimenzování nn vedení za trafostanicemi, resp. vývody k jednotlivým odběratelům, je nutnost znát zkratový výkon v místě připojení, což jsou v tomto případě nn rozváděče TSS a TSB. Stručné schéma zapojení od napájecího bodu až po jednotlivého odběratele včetně rozváděčů nn je vyobrazeno na *Obr. 8*.



*Obr. 8: Schéma jednotlivých vývodů z transformátorových stanic*

K výpočtu zkratového výkonu v nn rozváděčích je potřeba určit všechny elektrické prvky do místa teoretického zkratu. Zkratový výkon hlavního napájecího bodu včetně vedení vn k transformátorům byl již určen v předchozích kapitolách. Nyní ještě určíme elektrické parametry transformátorů TSS 250kVA a TSB 630kVA.

Výpočet impedance, elektrického odporu a reaktance transformátoru TSS 250kVA:

$$Z_{T\ TSS} = \frac{u_k \%}{100} \cdot \frac{U_N^2}{S_{N\ TSS}} = \frac{4}{100} \cdot \frac{400^2}{250 \cdot 10^3} = 0,0256 \ \Omega$$

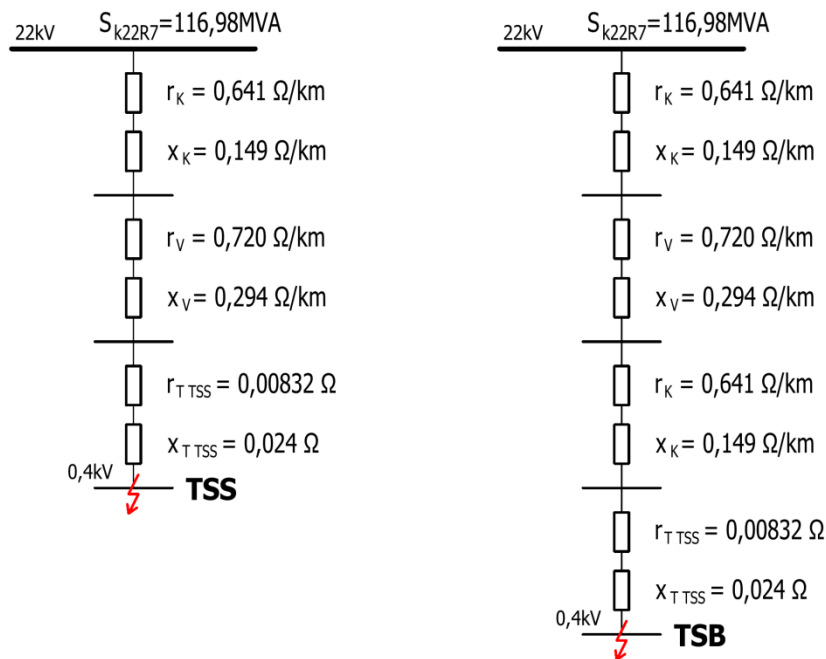
$$R_{T\ TSS} = \frac{\Delta P_{k\ TSS}}{S_{N\ TSS}} \cdot \frac{U_N^2}{S_{N\ TSS}} = \frac{3,25 \cdot 10^3}{250 \cdot 10^3} \cdot \frac{400^2}{250 \cdot 10^3} = 8,32 \cdot 10^{-3} \ \Omega$$

$$X_{T\ TSS} = \sqrt{Z_{T\ TSS}^2 - R_{T\ TSS}^2} = \sqrt{0,0256^2 - (8,32 \cdot 10^{-3})^2} = 0,024 \ \Omega$$

Výpočet impedance, elektrického odporu a reaktance transformátoru TSB 630kVA se vypočítá stejným způsobem jako u TSS:

$$Z_{T\ TSB} = 0,0101 \ \Omega \quad R_{T\ TSB} = 2,62 \cdot 10^{-3} \ \Omega \quad X_{T\ TSB} = 9,75 \cdot 10^{-3} \ \Omega$$

Po určení zbývajících elektrických parametrů lze nakreslit náhradní schéma zapojení a určit zkratový výkon na přípojnicích nn rozváděče. [8]



Obr. 9: Náhradní schéma pro výpočet zkratových výkonů za jednotlivými transformátory TSS a TSB

Z náhradního schématu Obr. 8 plyne součet elektrických parametrů následovně:

$$R_{P\ TSS} = R_S + R_K + R_V$$

$$R_{P\ TSB} = R_S + R_K + R_V + R_K$$

$$X_{P\ TSS} = X_S + X_K + X_V$$

$$X_{P\ TSB} = X_S + X_K + X_V + X_K$$

Výpočet impedance před transformátorem TSS 250kVA přepočítaný na soustavu nn 0,4kV:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{PTSS} &= (R_{PTSS} + j \cdot X_{PTSS}) \cdot \left(\frac{1}{p^2}\right) = (2,43 + j \cdot 4,9) \cdot \left(\frac{0,4}{22}\right)^2 \\ &= (8,03 \cdot 10^{-4} + j \cdot 1,62 \cdot 10^{-3}) \Omega\end{aligned}$$

Výpočet impedance a nárazového zkratového proudu za transformátorem TSS 250kVA:

$$\begin{aligned}R_{RTSS} &= R_{TTSS} + R_{PTSS} = 8,32 \cdot 10^{-3} + 8,03 \cdot 10^{-4} = 9,12 \cdot 10^{-3} \Omega \\ X_{RTSS} &= X_{TTSS} + X_{PTSS} = 24 \cdot 10^{-3} + 1,62 \cdot 10^{-3} = 25,62 \cdot 10^{-3} \Omega \\ \bar{Z}_{RTSS} &= \sqrt{R_{RTSS}^2 + X_{RTSS}^2} = \sqrt{(9,12 \cdot 10^{-3})^2 + (25,62 \cdot 10^{-3})^2} = 27,2 \cdot 10^{-3} \Omega\end{aligned}$$

$$I''_{kRTSS} = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot \bar{Z}_{RTSS}} = \frac{1,1 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,0272} = 9339,5 A$$

Postupy pro TSS 250kVA se shodují s postupem pro výpočet TSB 630kVA a výsledky jsou následující:

$$\begin{aligned}\bar{Z}_{PTSB} &= (8,91 \cdot 10^{-4} + j \cdot 1,55 \cdot 10^{-3}) \Omega \\ \mathbf{R}_{RTSB} &= 3,511 \cdot 10^{-3} \Omega \\ \mathbf{X}_{RTSB} &= 11,3 \cdot 10^{-3} \Omega \\ \bar{Z}_{RTSB} &= 12,23 \cdot 10^{-3} \Omega \\ \mathbf{I}''_{kRTSB} &= 20771,4 A\end{aligned}$$

### 5.2.1 Kontrola stávajících kabelů vyvedených z transformačních stanic

Stávající kabely budou použity pouze pro vývody z TSS. Vzniká zde potřeba zkontrolovat jejich provozuschopnost a minimalizovat tím následné poruchy, které mohou vzniknout.

V první řadě je potřeba určit výpočtový proud pro jednotlivé vývody  $I_p$ , který se vypočte z jednotlivých výpočtových zatížení uvedené v Tab. 3.2. [1]

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot \cos \varphi_{stř} \cdot \eta} \quad (5.7)$$

V Tab. 5.1 jsou zobrazeny jednotlivé vývody spolu s typem kabelu a jejich odečtená jmenovitá zatížitelnost v zemi  $I_{N\text{Kabel}}$ , která je dána výrobcem dle katalogu. [18]

Tab. 5.1: Zatížitelnosti stávajících kabelů v TSS [18]

	Typ kabelu	č. kab.	$I_p$ [A]	$I_{N \text{ Kabel}}$ [A]
<b>POM 1</b>	AYKY 4B x 70 mm <sup>2</sup>	k. 1	172	185
<b>POM 2</b>	AYKY 4B x 50 mm <sup>2</sup>	k. 2	54,3	151
<b>POM 3</b>	AYKY 4B x 50 mm <sup>2</sup>	k. 3	54,3	151
<b>POM 4</b>	AYKY 4B x 50 mm <sup>2</sup>	k. 4	69,1	151
<b>POM 5</b>	AYKY 4B x 50 mm <sup>2</sup>	k. 5	43,2	151
<b>POM 6</b>	AYKY 4B x 35 mm <sup>2</sup>	k. 6	29,6	129

z Tab. 5.1 je zřejmé, že kabely č. 2 až č. 6 jsou dimenzovány s dostatečnou rezervou, zatímco kabel č. 1 se blíží k hraně použitelnosti. Proto nejen z tohoto důvodu provedu jeho početní kontrolu.

### Kontrola na dimenzování dle provozní teploty

Tuto kontrolu v podstatě udělal sám výrobce, jelikož ve svém katalogu udává dvě hodnoty provozního proudu. První hodnota je pro kabel uložený ve vzduchu (konkrétně hodnota  $I_{N \text{ Kabel}} = 166 \text{ A}$ ) a potom druhou hodnotu pro kabel uložený v zemi viz. Tab. 5.1.

Dimenzování dle provozní teploty není nic jiného než zátěžný proud  $I_p$  vydělit různými konstantami  $k$  určující typ uložení, seskupení vodičů nebo ovlivnění teploty jádra okolní teplotou apod., tak jak je uvedeno v rovnici 5.1. [18]

### Kontrola na úbytek napětí

Použitý kabel má tyto parametry:

$$l_{k,1} = 120 \text{ m}; R_{k,1} = 0,443 \text{ } \Omega/\text{km}; X_{k,1} = 0,239 \text{ } \Omega/\text{km}.$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= R \cdot I_p \cdot \cos\varphi_{stř} + X \cdot I_p \cdot \sin\varphi_{stř} = (R_{k,1} \cdot l_{k,1}) \cdot I_p \cdot \cos\varphi_{stř} + (X_{k,1} \cdot l_{k,1}) \cdot I_p \cdot \sin\varphi_{stř} \\ &= (0,443 \cdot 0,09) \cdot 172 \cdot 0,85 + (0,239 \cdot 0,09) \cdot 172 \cdot 0,526 = 7,8 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U \cdot 100}{U_n} \cdot \sqrt{3} = \frac{7,8 \cdot 100}{400} \cdot \sqrt{3} = 5,45 \%$$

Dle ČSN 341610 pro průmyslové rozvody je dovolený úbytek napětí 5%, proto je potřeba tento kabel vyměnit za jiný, jelikož z hlediska úbytku napětí je nevyhovující. Navrhují tedy výměnu kabelu, který bude mít o jeden stupeň vyšší průřez než kabel stávající.

Nový kabel má tyto parametry – **AYKY 4B x 95 mm<sup>2</sup>**:



$l_{k,1} = 120 \text{ m}; R_{k,1} = 0,32 \text{ } \Omega/\text{km}; X_{k,1} = 0,233 \text{ } \Omega/\text{km}$ . Pak úbytek napětí v procentech.

$$\Delta U_{\%} = 3,27 \% \Rightarrow \text{Vyhovuje } \check{\text{C}}\text{SN}$$

Kontrola úbytku napětí kabelu č. 2 až č. 6. Princip výpočtu je shodný jako s výpočtem pro kabel č. 1, proto uvedu jen shrnutí výsledků. [7]

$$\text{Kabel č. 2} \rightarrow \Delta U_{\%} = 0,95 \% \Rightarrow \text{Vyhovuje } \check{\text{C}}\text{SN}$$

$$\text{Kabel č. 3} \rightarrow \Delta U_{\%} = 1,11 \% \Rightarrow \text{Vyhovuje } \check{\text{C}}\text{SN}$$

$$\text{Kabel č. 4} \rightarrow \Delta U_{\%} = 2,02 \% \Rightarrow \text{Vyhovuje } \check{\text{C}}\text{SN}$$

$$\text{Kabel č. 5} \rightarrow \Delta U_{\%} = 2,78 \% \Rightarrow \text{Vyhovuje } \check{\text{C}}\text{SN}$$

$$\text{Kabel č. 6} \rightarrow \Delta U_{\%} = 0,79 \% \Rightarrow \text{Vyhovuje } \check{\text{C}}\text{SN}$$

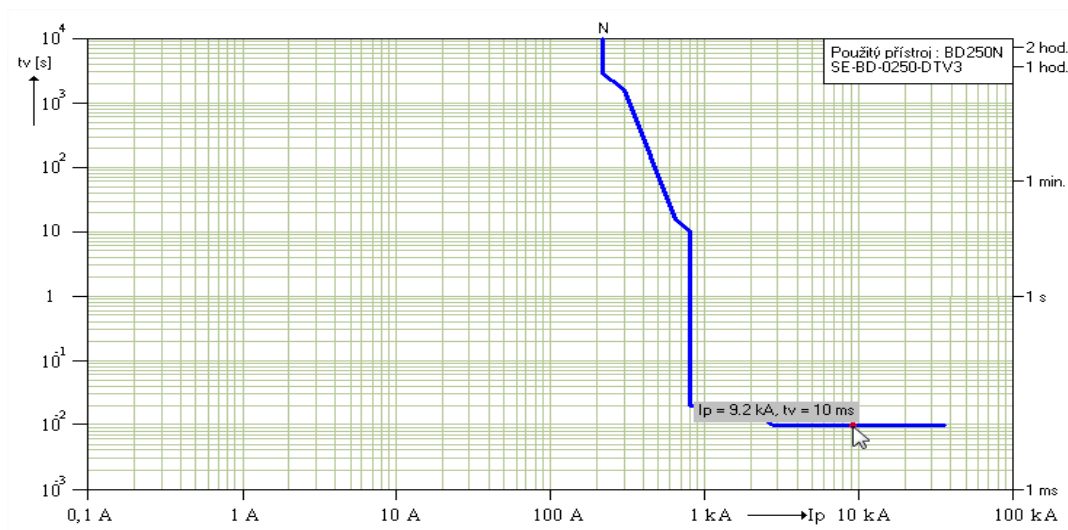
### Kontrola minimálního průřezu na účinky zkratových proudů

Pro tento výpočet je náhradní schéma totožné s *Obr. 9* a princip výpočtu je již uveden v kapitole 5.1.4, proto v této části uvedu pouze jednotlivé výpočty a výsledky. [8]

$$\kappa = 1,02 + 0,98 e^{-3 \cdot \frac{R_{RTSS}}{X_{RTSS}}} = 1,02 + 0,98 e^{-3 \cdot \frac{9,12 \cdot 10^{-3}}{25,62 \cdot 10^{-3}}} = 1,3569$$

$$i_{pRTSS} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{kRTSS} = 1,3569 \cdot \sqrt{2} \cdot 9339,5 = 17922,1 \text{ A}$$

Pro následující výpočet, je potřeba určit vypínací dobu  $T_k$  jisticího prvku. Tento čas odečtu z vypínací charakteristiky použitého jističe (např. OEZ Modeion BD250N) při rázovém zkratovém proudu  $I''_{kRTSS} = 9339,5 \text{ A}$ , odečtené  $T_k = 10 \text{ ms}$  a tento čas je totožný pro všechny použité jističe v TSS. [19]



Obr. 10: Vypínací charakteristika jisticího prvku uvedený ve výpočtu [19]

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

$$= \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot 0,01 \cdot \ln(1,3569 - 1)} \cdot [e^{4 \cdot 50 \cdot 0,01 \cdot \ln(1,3569 - 1)} - 1] = 0,8469$$

$$I_{th, TkRTSS} = I''_{kRTSS} \cdot \sqrt{(m + n)} = 9339,5 \cdot \sqrt{(0,8469 + 1)} = 12692,5 \text{ A}$$

$$S_{min} = \frac{I_{th, TkRTSS} \cdot \sqrt{T_{kRTSS}}}{K} = \frac{12692,5 \cdot \sqrt{0,01}}{73} \cong 17,4 \text{ mm}^2$$

Výše uvedeným výpočtem jsem stanovil podmínku minimálního průřezu pro veškeré vodiče, které budou připojeny na přípojnice rozváděče TSS. Lze totiž předpokládat, že vypočtený zkratový výkon na přípojnicích  $S''_{kRTSS} \cong 6,5 \text{ MVA}$  již nedosáhne vyšší hodnoty a tím pádem i rázový zkratový proud  $I''_{kRTSS}$ , který tak ovlivňuje výpočet minimálního průřezu na účinky zkratových proudů.

### Kontrola použitého jistícího prvku

Jak již bylo napsáno, použité jistící prvky jsou od firmy OEZ Letohrad a typ je zvolen dle redukovaného proudu jističe jednotlivých vývodů. Správný návrh jističe spočívá v ověření veškerých požadavků a podmínek správné funkcionality. [19]

Jako příklad bude uvedeno ověření jistícího prvku pro kabel č. 1.

$$I_p \leq I_R \leq I_z \gg 172 \text{ A} \leq 200 \text{ A} \leq 223 \text{ A} \gg \text{Podmínka splněna}$$

kde  $I_p$  je výpočtový proud;  $I_R$  je redukovaný proud jističe (resp. jmenovitý);  $I_z$  je dovolený zátěžný proud vodičem (uložení v zemi). [19]

$$I_{cu} \geq I''_{kRTSS} \gg 36 \text{ kA} \geq 9339,5 \text{ A} \gg \text{Podmínka splněna}$$

kde  $I_{cu}$  je jmenovitá mezní zkratová vypínací schopnost jističe;  $I''_{kRTSS}$  je rázový zkratový proud na přípojnicích 0,4kV v TSS. [19]

$$I_{cm} \geq i_{pRTSS} \gg 75 \text{ kA} \geq 17922,1 \text{ A} \gg \text{Podmínka splněna}$$

kde  $I_{cm}$  je jmenovitá zkratová zapínací schopnost jističe;  $i_{pRTSS}$  je nárazový zkratový proud na přípojnicích 0,4kV v TSS. [19]

Pro následující podmínku musím přepočítat ekvivalentní oteplovací zkratový proud  $I_{th,T_k}$  (pro  $T_k=0,01$  s) na oteplovací zkratový proud s časovým ekvivalentem uvedený v katalogu výrobce ( $T_{k1}=1$  s). [19]

$$I_{th,T_k}^2 \cdot T_{k1} \cdot R_{TSS} = I_{th,T_{k1}}^2 \cdot T_k \cdot R_{TSS}$$

$$I_{th,T_{k1}}^2 = I_{th,T_k}^2 \cdot \frac{T_k}{T_{k1}} = I_{th,T_k}^2 \cdot \frac{0,01}{1} = 12692,5 \cdot \frac{0,01}{1}$$

$$= 1269,3 \text{ A}$$

$$I_{cw} \geq I_{th,T_{k1}}^2 \gg 2,5 \text{ kA} \geq 1269,3 \text{ A} \gg \text{Podmínka splněna}$$

## 5.2.2 Návrh nových kabelů z trafostanice

Nové kabely budou řešeny pouze v rámci napojení odběratelů z trafostanice TSB, tedy pro odběratele POM 7 až POM 17 uvedené v *Tab. 3.1*.

Postup výpočtu je téměř totožný jako v kapitole 5.2.1 pouze s tím rozdílem, že si nejdříve určím výpočtový proud pro jednotlivé vývody a následně z tohoto proudu určím minimální průřez kabelu a pak tento průřez kabelu zkontroluji se všemi podmínkami, které musí být splněny. [1]

Pro následující tabulku je potřebné určit přepočítávací součinitelé  $k_i$ , které určují nejnepříznivější podmínky uložení. Navrhované kabely jsou uloženy v tepelném kolektoru, kde okolní teplota dosahuje až  $45^\circ\text{C}$ , proto  $k_1 = 0,79$  a jsou seskupeny těsně vedle sebe  $k_2 = 0,8$ . [7]

Tab. 5.2: Zatížitelnost nových kabelů v TSB [18]

	Typ kabelu	č. kab.	$I_p$ [A]	$I_p/k$ [A]	$I_N$ Kabel	$\Delta U$ [%]
<b>POM 7</b>	2x AYKY 3x185 + 95 mm <sup>2</sup>	k. 7	370,0	585,5	614	1,64
<b>POM 8</b>	2x AYKY 3x185 + 95 mm <sup>2</sup>	k. 8	370,0	585,5	614	3,93
<b>POM 9</b>	1x AYKY 3x240 + 120 mm <sup>2</sup>	k. 9	200,4	317,1	366	9,75
<b>POM 10</b>	1x AYKY 3x150 + 70 mm <sup>2</sup>	k. 10	138,8	219,5	267	8,96
<b>POM 11</b>	1x AYKY 3x70 + 35 mm <sup>2</sup>	k. 11	86,3	136,6	162	5,33
<b>POM 12</b>	1x AYKY 3x120 + 70 mm <sup>2</sup>	k. 12	123,3	195,2	231	7,36
<b>POM 13</b>	1x AYKY 4x35 mm <sup>2</sup>	k. 13	49,3	78,1	107	8,34
<b>POM 14</b>	1x AYKY 4x25 mm <sup>2</sup>	k. 14	39,5	62,4	88	1,26
<b>POM 15</b>	1x AYKY 4x16 mm <sup>2</sup>	k. 15	24,7	39,0	65	5,39
<b>POM 16</b>	1x AYKY 4x16 mm <sup>2</sup>	k. 16	24,7	39,0	65	5,99
<b>POM 17</b>	1x AYKY 4x16 mm <sup>2</sup>	k. 17	24,7	39,0	65	11,39

Po aplikaci rovnic z kapitoly 5.1.3 pro výpočet úbytku napětí jsem zjistil, že většina kabelů nesplňuje požadavky pro dimenzování dle ČSN 34 1610. Jeden kabelový vývod měl úbytek napětí na konci vedení až 11,39%. Proto jsem u nevyhovujících kabelových vývodů zvýšil průřez tak, aby pokles napětí vyhověl požadavkům normy.

Tab. 5.3: Úbytek napětí na jednotlivých vývodech se zvýšenými průřezy

		$\Delta U$ [%]
<b>POM 7</b>	2x AYKY 3x185 + 95 mm <sup>2</sup>	1,64
<b>POM 8</b>	2x AYKY 3x185 + 95 mm <sup>2</sup>	3,93
<b>POM 9</b>	2x AYKY 3x240 + 120 mm <sup>2</sup>	4,88
<b>POM 10</b>	2x AYKY 3x185 + 95 mm <sup>2</sup>	3,68
<b>POM 11</b>	1x AYKY 3x150 + 70 mm <sup>2</sup>	3,14
<b>POM 12</b>	1x AYKY 3x240 + 120 mm <sup>2</sup>	4,88
<b>POM 13</b>	1x AYKY 3x120 + 70 mm <sup>2</sup>	3,17
<b>POM 14</b>	1x AYKY 4x25 mm <sup>2</sup>	1,26
<b>POM 15</b>	1x AYKY 4x25 mm <sup>2</sup>	3,55
<b>POM 16</b>	1x AYKY 4x25 mm <sup>2</sup>	3,95
<b>POM 17</b>	1x AYKY 4x50 mm <sup>2</sup>	4,34

Pro kontrolu minimálního průřezu na účinky zkratových proudů budu vycházet opět z předchozí kapitoly 5.1.4 a stanovím minimální průřez kabelu pro připojení na přípojnice trafostanice TSB.

$$\kappa = 1,02 + 0,98 e^{-3 \cdot \frac{R_{RTSB}}{X_{RTSB}}} = 0,311$$

$$i_{pRTSB} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I'_{kRTSB} = 41272,2 \text{ A}$$

Vypínací čas jisticích prvků je  $T_k = 0,01 \text{ s}$ , podle vypínacích charakteristik. [19]

$$m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_{kRTSB} \cdot \ln(\kappa - 1)} \cdot [e^{4 \cdot f \cdot T_{kRTSB} \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1] = 0,925$$

$$I_{th,TkRTSB} = I'_{kRTSB} \cdot \sqrt{m + n} = 28819,1 \text{ A}$$

$$S_{min} = \frac{I_{th,TkRTSB} \cdot \sqrt{T_{kRTSB}}}{K} \cong 39,5 \text{ mm}^2$$

Porovnáním vypočtené hodnoty  $S_{min} = 39,5 \text{ mm}^2$  s Tab. 5.3 (úbytek napětí na jednotlivých vývodech se zvýšenými průřezy) plyne, že kabelové vývody pro POM14 až POM16 jsou nevyhovující. Tento fakt je následkem komplexního stanovení minimálních průřezů připojených kabelů k přípojnicím rozvodny 0,4kV.

V nevyhovujících případech využijí stanovení minimálních kabelových průřezů až k místu připojení, tj. se zahrnutím vlastních impedancí použitých kabelů. Tímto výpočtem by se měl snížit rázový zkratový výkon včetně požadavku na minimální průřez. Výpočet bude vycházet z *Obr. 9* (náhradní schéma pro výpočet zkratových proudů za transformátory pro TSB), samozřejmě s přičtením vlastních impedancí kabelu. Ukázka výpočtu je pro POM14, zbývající kabely pro POM15 a POM16 se vypočtou stejným způsobem.

Stanovení činného odporu, reaktance a impedance do místa odběru.

$$\begin{aligned}R_{POM14} &= R_{R\ TSB} + R_{k.14} = 0,0515\ \Omega \\X_{POM14} &= X_{R\ TSB} + X_{k.14} = 0,02258\ \Omega \\ \bar{Z}_{POM14} &= 0,0562\ \Omega\end{aligned}$$

Výpočet rázového a nárazového zkratového proudu do místa odběru.

$$\begin{aligned}I''_{k\ POM14} &= \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot \bar{Z}_{POM14}} = 4520\ A \\ \kappa &= 1,02 + 0,98 e^{-3 \cdot \frac{R_{POM14}}{X_{RPOM14}}} = 1,021 \\ i_{p\ POM14} &= \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k\ POM14} = 6522,1\ A\end{aligned}$$

Výpočet ekvivalentního oteplovacího proudu a stanovení minimálního průřezu kabelu do místa odběru. Vypínací čas jistícího prvku je  $T_k = 0,01\ s$ . [19]

$$\begin{aligned}m &= \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_{k\ POM14} \cdot \ln(\kappa - 1)} \cdot [e^{4 \cdot f \cdot T_{k\ POM14} \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1] = 0,259 \\ I_{th, Tk\ POM14} &= I''_{k\ POM14} \cdot \sqrt{(m + n)} = 5071,5\ A \\ S_{min\ POM14} &= \frac{I_{th, Tk\ POM14} \cdot \sqrt{T_{k\ POM14}}}{K} \cong 6,9\ mm^2\end{aligned}$$

Kontrola jistících prvků a stanovení potřebných proudů vychází z principu výpočtu pro POM14. To znamená, že výpočet rázových a nárazových proudů budou vypočteny se zahrnutím vlastní impedance kabelu, tedy za jistícím prvkem. [19]

Tab. 5.4: Hodnoty pro podmínky správného jištění

	$I_p \leq I_R \leq I_z$	$I_{cu} \geq I_k''_{POM}$	$I_{cm} \geq i_p_{POM}$	$I_{cw} \geq I_{th}^2 T_{kl} POM$
<b>POM 7</b>	370,0 ≤ 500 ≤ 640 A	36kA ≥ 13672,1 A	75kA ≥ 24648,7 A	6,5kA ≥ 1790,8 A
<b>POM 8</b>	370,0 ≤ 500 ≤ 640 A	36kA ≥ 9002,4 A	75kA ≥ 15477,1 A	6,5kA ≥ 1146,4 A
<b>POM 9</b>	200,4 ≤ 250 ≤ 722 A	36kA ≥ 4875,3 A	75kA ≥ 8515,2 A	2,5kA ≥ 626,7 A
<b>POM 10</b>	138,8 ≤ 250 ≤ 640 A	36kA ≥ 4772,5 A	75kA ≥ 7908,1 A	2,5kA ≥ 594,3 A
<b>POM 11</b>	86,3 ≤ 200 ≤ 284 A	36kA ≥ 3843,5 A	75kA ≥ 6060,2 A	2,5kA ≥ 463,8 A
<b>POM 12</b>	123,3 ≤ 200 ≤ 371 A	36kA ≥ 3282,5 A	75kA ≥ 5674,8 A	2,5kA ≥ 419,4 A
<b>POM 13</b>	49,3 ≤ 100 ≤ 253 A	25kA ≥ 2403,2 A	52kA ≥ 3637,7 A	2kA ≥ 281,8 A
<b>POM 14</b>	39,5 ≤ 80 ≤ 108 A	25kA ≥ 4516,7 A	52kA ≥ 6522,1 A	2kA ≥ 506,7 A
<b>POM 15</b>	24,7 ≤ 50 ≤ 108 A	25kA ≥ 1113,6 A	52kA ≥ 1606,4 A	2kA ≥ 124,8 A
<b>POM 16</b>	24,7 ≤ 50 ≤ 108 A	25kA ≥ 1005,1 A	52kA ≥ 1449,8 A	2kA ≥ 112,6 A
<b>POM 17</b>	24,7 ≤ 40 ≤ 153 A	25kA ≥ 944,4 A	52kA ≥ 1363,5 A	2kA ≥ 105,9 A

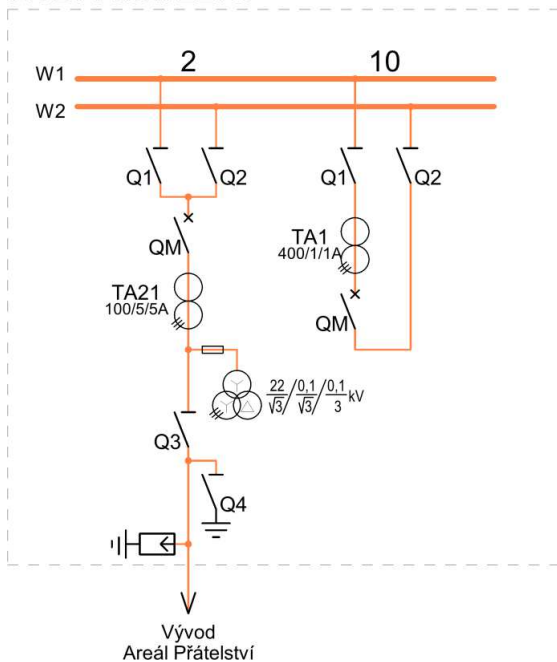
Tab. 5.4 shrnuje podmínky správného jištění jednotlivých vývodů. Z hodnot je zřejmé, že všechny jistící prvky jsou v toleranci a podmínky správného jištění jsou dodrženy.

## 5.3 Přípojné napájecí vedení

### 5.3.1 Napájecí rozvodna

Přípojné napájecí vedení je připojeno k nedaleké elektrické stanici 22R7 o jmenovitém napětí 22kV, k vyvedení výkonu bude použito rezervní pole č. 2. Rozvodna je

#### Rozvodna 22R7



Obr. 11: Elektrické schéma vývodové odbočky z hlavní napájecí rozvodny

v kobkovém provedení a je vybavena dvojitým systémem přípojnic s příčným spínačem.

Tento systém se používá v místech, kde je i krátkodobé přerušení nežádoucí nebo v místech, kde provoz odboček je nutné rozdělit do dvou skupin (např. rozdělení zdrojů a tím ovlivnit zkratové poměry; oddělení spotřebičů s kolísavým provozem od spotřebičů, které vyžadují stálé napětí; současné napájení ze dvou nespolupracujících zdrojů apod.) [2]

Kobka je dvoupodlažní, v horním podlaží se nachází systém přípojnic W1 a W2 s jejich příslušnými odpojovací Q1 a

Q2. V horním podlaží se dále nachází výkonový vypínač QM a na rozhraní horního a spodního podlaží se nachází průchodkový transformátor proudu TA21. Ve spodním podlaží se nachází vývodový odpojovač Q3 a paralelně k němu je připojený přístrojový transformátor napětí, který je chráněn výkonovou pojistkou. Součástí vývodového odpojovače jsou i zemní nože Q4.

### 5.3.2 Vodiče venkovního vedení

Vodiče venkovního vedení jsou vystaveny různým klimatickým podmínkám – větru, dešti, námraze, změnám teploty a chemickým vlivům. Proto jsou na ně kladeny různé a někdy protichůdné požadavky. [3]

Materiálů a konstrukcí vodičů je několik a proto je vhodné si rozmyslet již při jejich návrhu primární požadavek.

- Měděná lana a dráty  
Mají výborné elektrické a mechanické vlastnosti, ale jejich nevýhodou je vysoká cena, proto se používají výjimečně.
- Bronzové vodiče  
Mají horší vodivost, ale výbornou mechanickou pevnost. Používají se zejména tam, kde je požadavkem vysoká pevnost.
- Hliníkové vodiče  
Podstatně cenově přístupný materiál s dobrou elektrickou vodivostí, bohužel však s malou pevností.
- Železné vodiče  
Vodivé vlastnosti jsou nízké (konduktivita 7 až  $10 \cdot 10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$ ), avšak díky ceně jsou občas použity např. jako zemní lana a svody hromosvodů.
- Slitinové vodiče  
Vyvinuty pro potlačení špatných mechanických vlastností hliníku. Např. *Aldrey*, kde se dosahuje pevnosti až 360MPa a konduktivity  $32 \cdot 10^6 \text{ S}\cdot\text{m}^{-1}$  nebo *Cond-Al* a *VUK 33-E*.

Východiskem byly kombinovaná lana, z nichž jeden materiál plní nosnou funkci a druhý materiál plní funkci vodivou. Kombinovaných lan lze docílit různou kombinací kovů: Al + Fe, slitiny Al + Fe, Cu + Fe, Cu + bronz apod. Nejčastějším kombinovaným lanem je AlFe (nosná ocelová duše a vodivý hliníkový plášť). [3]

V pomyslném vývoji vodičů pro venkovní vedení byly vyvinuty izolované vodiče, které svou konstrukcí omezují poruchy způsobené nepříznivými vlivy počasí. V současné době a pár let zpátky jsou kombinovaná lana nahrazována právě těmito izolovanými vodiči. Jsou vyráběny z pevné hliníkové slitiny a jsou slaňované. Použití nacházejí pro vn a pro 110kV vedení. Izolace je vyrobena z voděvzdorného zesíťovaného polyetylénu (XLPE).

Mezi největší výhody těchto vodičů patří zmenšení vzdálenosti mezi jednotlivými fázovými vodiči a mezi vodiči a zemí, mimo jiné mají i menší ochranná pásma a lépe se začleňují do krajiny. [3]

Z těchto důvodů a moderního řešení jsem použil pro navrhované venkovní vedení jednoduché izolované vodiče SAX-W od firmy Ensto. Nicméně se stále jedná o venkovní vedení, na které působí klimatické změny. Z tohoto důvodu budou v této práci zkontrolovány některé mechanické veličiny, zejména maximální průhyb vedení.

### 5.3.3 Výpočet veličin pro realizaci venkovního vedení

Použitý vodič Typ SAX-W 50 mm<sup>2</sup> má následující parametry:

Konstrukční data:	Průměr holého vodiče	<b>8 mm</b>
	Celkový průměr vodiče	<b>12,7 mm</b>
	Hmotnost izolovaného vodiče	<b>200 kg/km</b>
Mechanické vlastnosti:	Zaručená únosnost	<b>15,5 kN</b>
	Dovolené namáhání	<b>110 MPa</b>
	Modul pružnosti	<b>62500 MPa</b>
	Max. teplotní roztažnost	<b><math>2,3 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}</math></b>
	Min. rádius ohybu	<b>0,19 m</b>

Pro výpočet mechanických veličin venkovního vedení je nutné určit z námrazové mapy ČR námrazovou oblast včetně určení větrové oblasti z větrné mapy ČR. Tyto hodnoty budou využity pro upřesnění výpočtu pro přetížení. [2]



## Výpočet přetížení

Námrazová oblast N1, tj. do  $1\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$ ; Mapa větrných oblastí určuje  $25\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . [9] [20]

$$z = \frac{\sqrt{(g + q_I)^2 + q_{wc}^2}}{g} \quad (5.8)$$

kde  $g$  je měrná hmotnost 1 metru vodiče;  $q_I$  je dynamický tlak vlivem námrazy;  $q_{wc}$  je dynamický tlak vlivem větru a námrazy

$$\gamma' = \frac{g}{S} = \frac{m_{\text{vodič}} \cdot g_0}{S} = \frac{0,2 \cdot 9,80665}{50 \cdot 10^{-6}} = 39226,6 \text{ N} \cdot \text{m}^{-3}$$

Platí následující rovnosti:

$$q_I = I_d \qquad I_d = I_K \cdot \gamma_I \qquad I_K = K_h \cdot I_R$$

kde  $I_d$  je návrhové zatížení;  $I_K$  je zatížení námrazou;  $\gamma_I$  je koeficient spolehlivosti;  $K_h$  je součinitel výšky;  $I_R$  je referenční hodnota zatížení námrazou. Podle této normy platí  $K_h=1$ , pokud výška závěsného bodu je  $< 20\text{m}$  a koeficient spolehlivosti je 0,8. Dle ČSN EN 50341-1 platí. [10]

$$\begin{aligned} q_I = I_d &= (3,873 + 0,2698 \cdot d) \cdot \gamma_I \cdot K_h = (3,873 + 0,2698 \cdot 12,7) \cdot 0,8 \cdot 1 \\ &= 5,8395 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1} \end{aligned}$$

Výpočet dynamického tlaku větru se součinitelem kombinace  $\psi_w = 0,25$ .

$$q_{hl} = \psi_w \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_h^2 = 0,25 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 97,65 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Při tvorbě námrazy dochází ke zvětšení průměru vodiče, přepočtení vodiče provedu dle následujícího vztahu. [9]

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{4 \cdot q_I}{9,81 \cdot \pi \cdot \rho_I}} = \sqrt{(12,7 \cdot 10^{-3})^2 + \frac{4 \cdot 5,8395}{9,81 \cdot \pi \cdot 500}} = 0,04095 \text{ m}$$

kde  $\rho_I$  je hustota námrazy ( $500\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). [9]

Výpočet dynamického tlaku s kombinací větru a zvětšení průměru vodiče vlivem námrazku dle ČSN EN 50341-1 za předpokladu délky rozpětí do 200m je: [2]

$$q_{wc} = q_{hl} \cdot G_c \cdot C_c \cdot D = 97,65 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 0,04095 = 4,397 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

Pak síla, která působí svou kombinací větru a námrazy je dána vztahem

$$Q_{Wc} = q_h \cdot G_q \cdot G_c \cdot C_c \cdot d \cdot L \cdot \sin^2 \beta \quad (5.9)$$

kde  $q_h$  je dynamický tlak větru;  $G_q$  je součinitel poryvu;  $G_c$  je součinitel rozpětí;  $C_c$  je pro aerodynamický odpor vedení;  $d$  je průměr vodiče;  $L$  je délka rozpětí a  $\beta$  je uhel mezi větrem a vodičem. [9]

Po dosazení do rovnice 5.8 výpočet přetížení je

$$z = \frac{\sqrt{(g + q_l)^2 + q_{Wc}^2}}{g} = \frac{\sqrt{(1,96133 + 5,8395)^2 + 4,397^2}}{1,96133} = 4,565$$

### Výpočet kritického rozpětí

S poklesem teploty se vodič zkracuje a zvyšuje se tak mechanické napětí ve vodiči. Normálně se počítá při  $-5^\circ\text{C}$  s normálním námrazkem, avšak při nižších teplotách je vodič více namáhán, proto se určuje tzv. kritické rozpětí při  $-30^\circ\text{C}$ . [3]

Určuje se ze stavové rovnice a má následující vztah.

$$a_{krit}(\vartheta_1) = \frac{\sigma_{H1}}{\gamma'} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha \cdot (-\vartheta_1 - 5)}{z_1^2 - 1}} \quad (5.10)$$

kde  $\sigma_{H1}$  je dovolené namáhání ve vodiči [MPa];  $\gamma'$  je měrná tíha vodiče [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-3}$ ];  $\alpha$  je koeficient tepelné roztažnosti [ $^\circ\text{C}^{-1}$ ];  $\vartheta_1$  je kritická teplota [ $^\circ\text{C}$ ];  $z_1$  je přetížení pro nejhorší možné podmínky [ $\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$ ]. [3]

Po dosazení do rovnice 5.10 pro kritické rozpětí platí:

$$\begin{aligned} a_{krit}(\vartheta_1) &= \frac{\sigma_{H1}}{\gamma'} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha \cdot (-\vartheta_1 - 5)}{z_1^2 - 1}} = \frac{110 \cdot 10^6}{39226,6} \cdot \sqrt{\frac{24 \cdot 2,3 \cdot 10^{-5} \cdot (30 - 5)}{4,565^2 - 1}} \\ &= 73,96 \text{ m} \end{aligned}$$

Potom skutečná rozpětí by neměla klesnout pod tuto teoretickou hodnotu. [3]

### Výpočet kritické teploty

Při tomto výpočtu zjišťuji, jestli průhyb vodiče nebude větší při nejvyšší teplotě oproti průhybu při nejhorších podmínkách namáhání. [2]

$$\vartheta_{krit} = \frac{\sigma_{H1}}{\alpha \cdot E} \cdot \left( \frac{z_1 - 1}{z_1} \right) + \vartheta_1 = \frac{110 \cdot 10^6}{2,3 \cdot 10^{-5} \cdot 62500 \cdot 10^6} \cdot \left( \frac{4,565 - 1}{4,565} \right) + (-5)$$

$$= 54,76 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Z podmínky, kdy  $\vartheta_{krit} > 40^\circ\text{C}$  plyne, že průhyb vodiče je větší při nejhorších povětrnostních podmínkách. [3]

### Výpočet maximálního průhybu

Průhyb venkovních vedení se počítá z důvodu kontroly dodržení předepsaných vzdáleností vodičů od země. Tyto vzdálenosti předepisuje norma ČSN EN 50423.

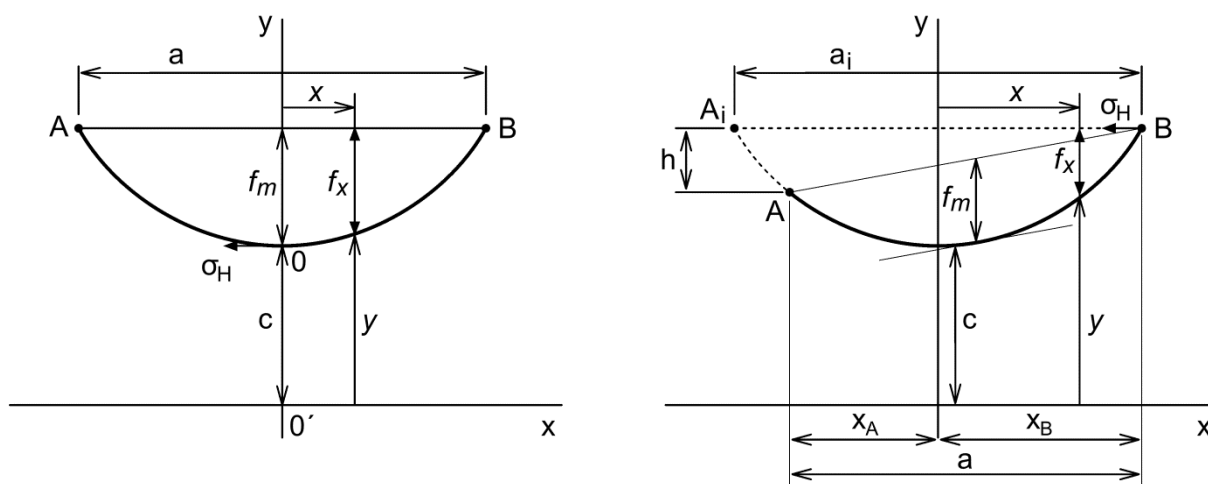
Výpočet maximálního průhybu vodiče v souměrně zavěšeném poli.

$$f_m = c \cdot \left( \cosh \frac{a}{2 \cdot c} - 1 \right) \quad (5.11)$$

Výpočet maximálního průhybu vodiče v nesouměrně zavěšeném poli.

$$f_m = \frac{a_i^2}{8 \cdot c} = \frac{\left( \frac{2 \cdot h \cdot c}{a} + a \right)^2}{8 \cdot c} \quad (5.12)$$

Význam použitých symbolů v rovnicích 5.11 a 5.12 je na Obr. 12.

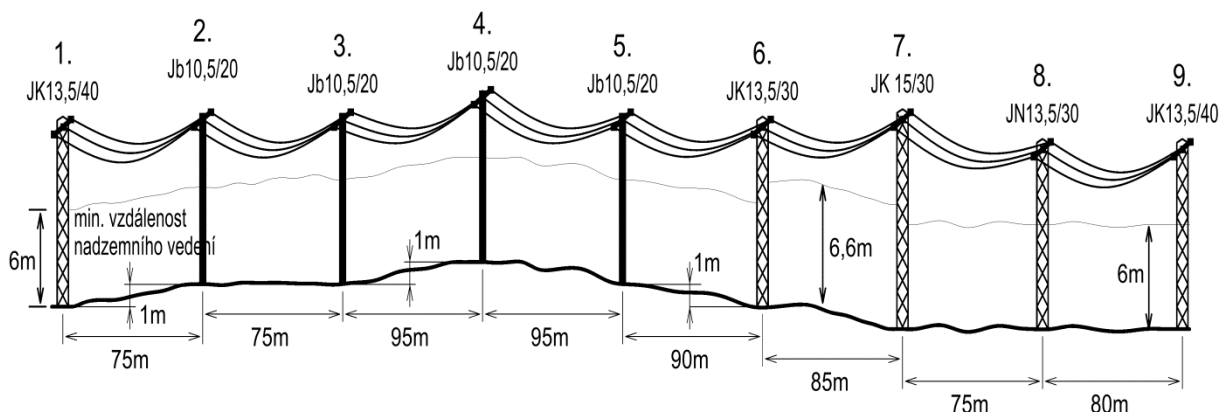


Obr. 12: Označení symbolů u souměrně (vlevo) a nesouměrně (vpravo) zavěšeného vodiče [3] [2]

Pro výpočet maximálního průhybu je potřeba určit parametr řetězovky, který se rovná délce vodiče uvažovaný s nejvyšším zatížením a má tíhu rovnou tahu směrem k zemi. Vypočítal jsem ji podle následujícího vztahu. [2]

$$c = \frac{\sigma_H}{\gamma' \cdot z} = \frac{110 \cdot 10^6}{0,0392266 \cdot 10^6 \cdot 4,565} = 614,3 \text{ m}$$

V Obr. 13 je naznačen výškový profil a počet podpěrných bodů venkovního vedení společně s rozpětími a předepsanými vzdálenostmi vodičů od země.



Obr. 13: Výškový profil venkovního vedení

Aplikací rovnic 5.11 a 5.12 vypočítám maximální průhyby vedení mezi jednotlivými podpěrnými body (při nejvyšším možném zatížení  $z$ ). Tento předpoklad mi stanovila podmínka výpočtu kritické teploty  $\vartheta_{\text{krit}}$ .

$$\text{Podp. bod č. 1 – č. 2} \rightarrow h = \text{cca } 2 \text{ m} \rightarrow f_m = 2,3 \text{ m}$$

$$\text{Podp. bod č. 2 – č. 3} \rightarrow h = \text{cca } 1 \text{ m} \rightarrow f_m = 1,1 \text{ m}$$

$$\text{Podp. bod č. 3 – č. 4} \rightarrow h = \text{cca } 1 \text{ m} \rightarrow f_m = 2,3 \text{ m}$$

$$\text{Podp. bod č. 4 – č. 5} \rightarrow h = \text{cca } 1 \text{ m} \rightarrow f_m = 2,3 \text{ m}$$

$$\text{Podp. bod č. 5 – č. 6} \rightarrow h = \text{cca } 2 \text{ m} \rightarrow f_m = 2,8 \text{ m}$$

$$\text{Podp. bod č. 6 – č. 7} \rightarrow h = \text{cca } 0,5 \text{ m} \rightarrow f_m = 1,7 \text{ m}$$

$$\text{Podp. bod č. 7 – č. 8} \rightarrow h = \text{cca } 1,5 \text{ m} \rightarrow f_m = 2,3 \text{ m}$$

$$\text{Podp. bod č. 8 – č. 9} \rightarrow h = 0 \text{ m} \rightarrow f_m = 1,3 \text{ m}$$

Z výpočtů průvěsů mezi jednotlivými podpěrnými body je zřejmé, že podmínka minimální vzdálenosti od země bude splněna ve všech bodech venkovního vedení. To samé platí pro minimální vzdálenost rozpětí, která byla výpočtem stanovena na 73,69m.

### 5.3.4 Provedení přípojného napájecího vedení – Kabelová část

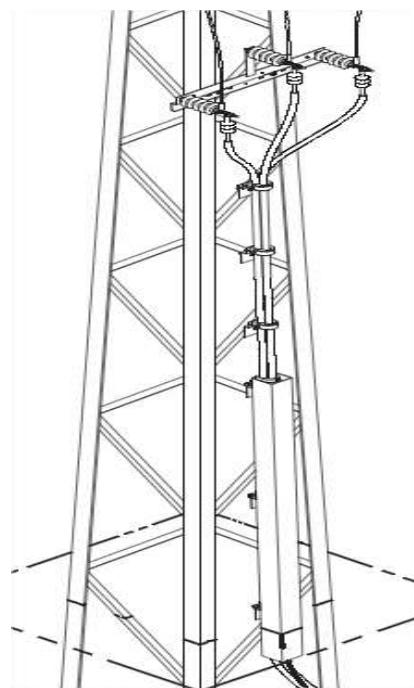
V kapitole 5.1 je řešeno dimenzování vhodného průřezu přípojného kabelového vedení. Z předchozích kapitol vyplynulo, že kabelové vedení bude mít tři části. První část je vyvedení výkonu kabelem z rozvodny 22R7 k podpěrnému bodu č. 1, zde přechází na venkovní vedení, tj. druhá část a třetí část je oddělena přechodem z venkovního vedení na kabelové u podpěrného bodu č. 9.

Tyto přechody se chrání z bezpečnostních důvodů omezovači přepětí, které jsou spojeny se zemí. Norma PNE 330000-8 také doporučuje umístit omezovače přepětí na obou koncích, pokud kabelové vyústění je delší než 25m, což se týká i mé varianty u obou přechodů. [11]

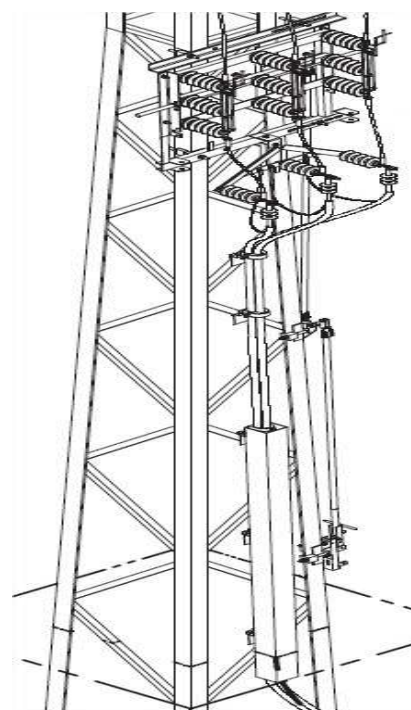
Provedené vyvedení z rozvodny bude uskutečněno stávající výbavou vývodových odboček. Směrem k prvnímu podpěrnému bodu je kabelová trasa, vyskládána stávajícími betonovými žlaby určené k pokládce kabelu, chybějící část bude nahrazena klasickým výkopem o hloubce 1 metr a kabely budou zasypány 10 ti centimetrovým nánosem písku, na kterém budou uloženy cihly k zabezpečení mechanického poškození položených kabelů. Část kabelu směřující z výkopu na podpěrný bod č. 1 bude v kabelové chráničce 3 metry od země, které následně přejde na venkovní vedení, tak jak je uvedeno na *Obr. 14*.

Druhá část kabelového vedení je řešena přechodem z venkovního vedení na kabelové u podpěrného bodu č. 9, provedení je na *Obr. 15*.

Svedený kabel bude následně zavlečen do tepelného kolektoru v kabelové chráničce. Pokládka



*Obr. 14: Optimální řešení přechodu kabelového vedení na venkovní vedení [21]*



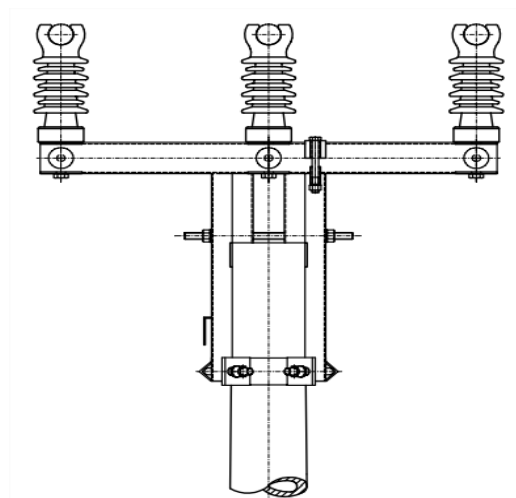
*Obr. 15: Přechod z venkovního vedení na kabelové přes odpínač na příhradovém stožáru [21]*

bude provedena na připravené kabelové rošty, takto připravená trasa bude až do blízkosti trafostanice TSB.

Do trafostanice bude připraven průraz, který umožní kabel připojit do připraveného přívodního pole kompaktního vn rozváděče.

### 5.3.5 Provedení přípojného napájecího vedení – Venkovní část

Pro stavbu venkovního vedení v návrhu mé varianty počítám se dvěma typy podpěrných bodů, a to s příhradovými stožáry a betonovými sloupy. Příhradové stožáry použiji v podpěrných bodech představující větší namáhání nebo z důvodu umístění vedení ve vyšších výškách. Betonové sloupy použiji v části vedení, kde slouží pouze jako nosné podpěrné body.



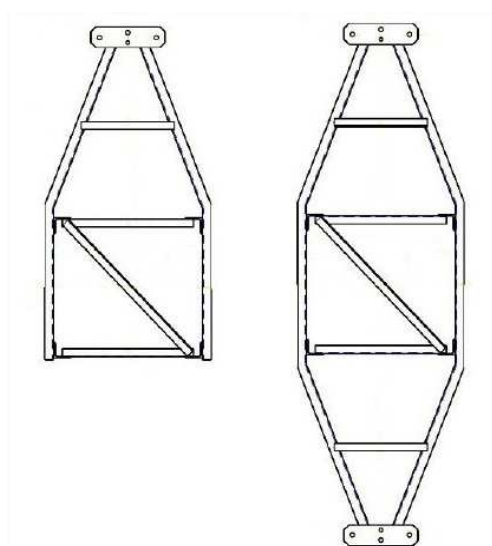
Obr. 16: Konzole s podpěrnými izolátory na betonovém sloupu [22]

V podpěrném bodě č. 1 je izolovaný vodič SAX-W ukotven pomocí kotevních izolátorů a kotevních svorek ke konstrukci příhradového stožáru JK 13,5/40. Podpěrný bod je dále vybaven omezovači přepětí, které jsou spojeny se zemí.

Následující podpěrné body č. 2 až č. 5 jsem vybavil betonovými sloupy Jb 10,5/20 a konzolí s podpěrnými izolátory *Obr. 16*.

Podpěrný bod č. 6 bude vybaven příhradovým stožárem JK 13,5/30 s konzolí dvoustrannou a jednostrannou *Obr. 17*. Vedení bude uchyceno pomocí kotevních izolátorů kotvících svorek.

Následující podpěrný bod č. 7 je zároveň i místem pro sloupovou stožárovou trafostanici TSS. Tento bod bude vybaven příhradovým stožárem JK 15/30 s konzolí dvoustrannou a jednostrannou,



Obr. 17: Konzole jednostranná a dvoustranná pro příhradový stožár

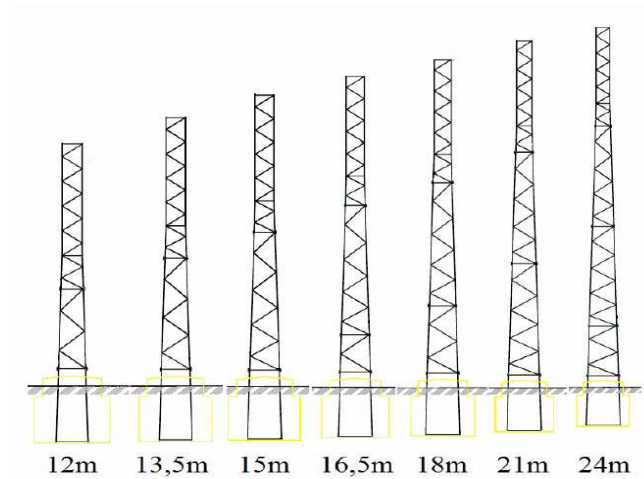
s kotevními izolátory a kotvícími svorkami. Dále je tento podpěrný bod vybaven konzolí se sadou vn pojistek, transformátor je posazen na konzoly k tomu určené a je podepřena dvěma vzpěrami. I v tomto podpěrném bodě je vedení spojené se zemí přes omezovače přepětí.

Zbývající podpěrné body jsou rovněž vybaveny příhradovými stožáry s jednostrannými a dvoustrannými konzolemi, přičemž podpěrný bod č. 8 slouží pouze jako nosný bod a je vybaven nosnými izolátory. Zatímco podpěrný bod č. 9 slouží k přechodu venkovního vedení na kabelové a je vybaven koncovými izolátory a kotvícími svorkami. Venkovní vedení přechází do kabelového přes konzoly vybavenou svislým úsekovým odpojovačem, tak jak je naznačeno na *Obr. 15*.

### **Vlastnosti použitých podpěrných bodů**

Betonové sloupy jsou nejpoužívanějšími podpěrnými body při stavbě venkovního vedení vn. Mají stálé vlastnosti po celou dobu své životnosti. Nevýhodou tohoto typu je jejich hmotnost, která se projeví při stavbě v hůře přístupných místech, zejména ve smyslu dopravy a mechanizace. Vyráběny jsou v délkách 9m, 10,5m, 12m, 13,5m a 15m o vrcholových silách 1,5kN, 3kN, 4,5kN, 6kN, 10kN, 12kN, 15kN, 20kN a 25kN. Požadovanou sílu lze zvýšit dvojitým betonovým sloupem.

Příhradové stožáry jsou nejčastěji užívány na napěťové hladině vvn, existují však místa v elektrických sítích vn kde je jejich nasazení nenahraditelné. Zejména v místech, kde je potřebné umístit lana do vyšších poloh nebo při potřebě souběhu vedení, kde jedno vedení musí být výše a druhé vedení níže v jednom podpěrném bodě. Výhodou příhradových stožárů je mimo jiné, že jsou rozebíratelné na jednotlivé díly, které usnadňují dopravu k místu výstavby. Konstrukčně se vyrábí v délkách, které jsou zobrazeny na *Obr. 18* s vrcholovými silami 12kN, 20kN, 30kN, 40kN, 50kN, 60kN, 70kN a 80kN. [26]

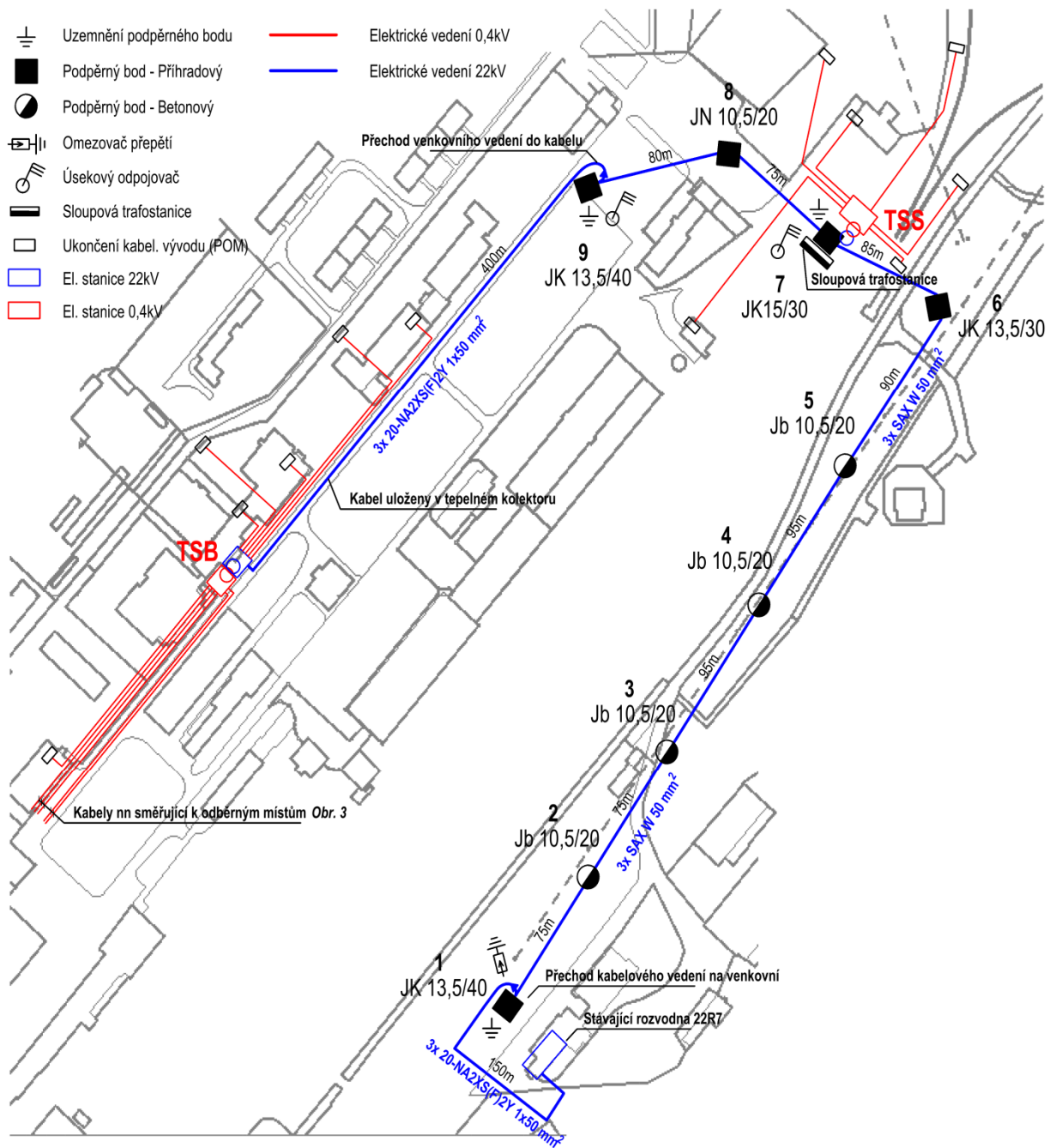


Obr. 18: Standardizované řady příhradových stožárů [26]

#### 5.4 Situační schéma návrhu úpravy napájení areálu Přátelství elektrickou energií

Situační schéma je znázorněno na Obr. 19, které ukazuje kompletní návrh řešení úpravy napájení areálu Přátelství. Jsou zde vyspecifikovány trasy elektrického vedení a umístění jednotlivých podpěrných bodů pro venkovní vedení. Součástí výkresu jsou i zakreslené transformátorové stanice TSS a TSB. Podklad pro mapu byl získán z katastrální mapy, provozované státní správou zeměměřictví a katastru.





Obr. 19: Situační schéma úpravy napájení areálu Přátelství elektrickou energií

## Závěr

Cílem této diplomové práce byla úprava napájení areálu Přátelství elektrickou energií v obci Citice na Sokolovsku. Důvodem úpravy byla plánovaná demolice průmyslových objektů, ve kterých byly umístěny stávající elektrické stanice zajišťující dodávku elektřiny odběrným místům v této lokalitě. Aby bylo zabráněno omezení dodávky elektřiny, musela být provedena úprava napájení, kterou řeší má diplomová práce.

Ve druhé kapitole je popsán výchozí stav elektrické sítě společně s nákresem hlavních rozvodů elektrických stanic, které byly zdrojem napájení kompletního areálu. V areálu docházelo k transformaci na různé napěťové hladiny, které jsou v této části kapitoly stručně charakterizovány a je popsán způsob jejich provozování.

V další kapitole je stanoveno výpočtové zatížení 740,9 kVA ze zjištěných jmenovitých hodnot jistících prvků, které byly instalovány v původní elektrické síti areálu, na konkrétních odběrných místech. Jelikož bylo potřeba minimalizovat investiční náklady, rozhodl jsem se využít některých stávajících rozvodů. A na základě tohoto rozhodnutí a zároveň zohlednění fyzického umístění odběrných míst jsem usoudil, že by bylo výhodné rozdělit zatížení na dvě transformátorové stanice. Po rozdělení zatížení bylo možné stanovit jmenovité výkony napájecích transformátorů, pro první je výkon 250kVA a pro druhou je 630kVA. Z rozdělených výpočtových zatížení jsem určil kompenzaci jalového výkonu jednotlivé transformační stanice. Výpočtem jsem stanovil maximální 52kVAr (TSS) a 180kVAr (TSB) včetně minimální úrovně kompenzačních stupňů centrální kompenzace 6kVAr (TSS) a 20kVAr (TSB). Centrální kompenzaci jsem zvolil z důvodu jemného ladění požadovaného účinníku, protože předpokládám průběh velmi proměnlivého zatížení.

Ve třetí části mé práce specifikuji elektrickým schématem vybavení jednotlivých transformátorových rozváděčů. První stanice je provedena příhradovou stožárovou trafostanicí o jmenovitém napětí 22/0,4kV. Nízkonapěťová strana pak dále slouží k rozvodu ke stávajícím odběratelům elektrické energie ze společné přípojnice. Druhá stanice je provedena kioskovou trafostanicí, ve které je umístěna elektrická stanice 22kV vybavena čtyřmi poli. Z čehož první pole slouží pro přívod kabelového napájecího vedení a dvě pole jsou spojeny k transformátorům o jmenovitém napětí 22/0,4kV, zajišťující napájení 2. Stupně spolehlivosti. Nízkonapěťová strana opět slouží pro rozvod ke stávajícím odběratelům.

Poslední kapitolou diplomové práce je její stěžejní část, která se zabývá kontrolou a

dimenzováním elektrických rozvodů. Zejména se soustředím na správný výpočet použitých průřezů, které jsou kontrolovány výpočty na bezpečnou teplotu, úbytek napětí a minimální průřez. Pro tyto výpočty jsem vytvořil náhradní schémata s podélnými parametry zastupující elektrické vlastnosti použitých vodičů. V případech kdy nebyly splněny požadavky správného dimenzování, nahradil jsem kabel vyšším průřezem, který požadavky splnil. U výpočtu kabelového vedení pro POM17 byl úbytek napětí až 11,39%. Další částí této kapitoly byla řešena problematika napájecího vedení, které je kombinací venkovního a kabelového vedení. Pro venkovní vedení byl proveden výpočet minimální vzdálenosti podpěrných bodů 73,96 metrů a maximální průhyb zavěšeného vodiče. U každého podpěrného bodu je specifikován typ použitého stožáru či sloupu a k nim použité konzole včetně izolátorů. U kabelového vedení specifikuji pouze způsob uložení, buď ve výkopu či připravené trasy. Na závěr práce jsem zakreslil situační schéma, které shrnuje trasu a řešení napájecího vedení, podpěrné body a umístění transformátorových stanic.

## Použitá literatura

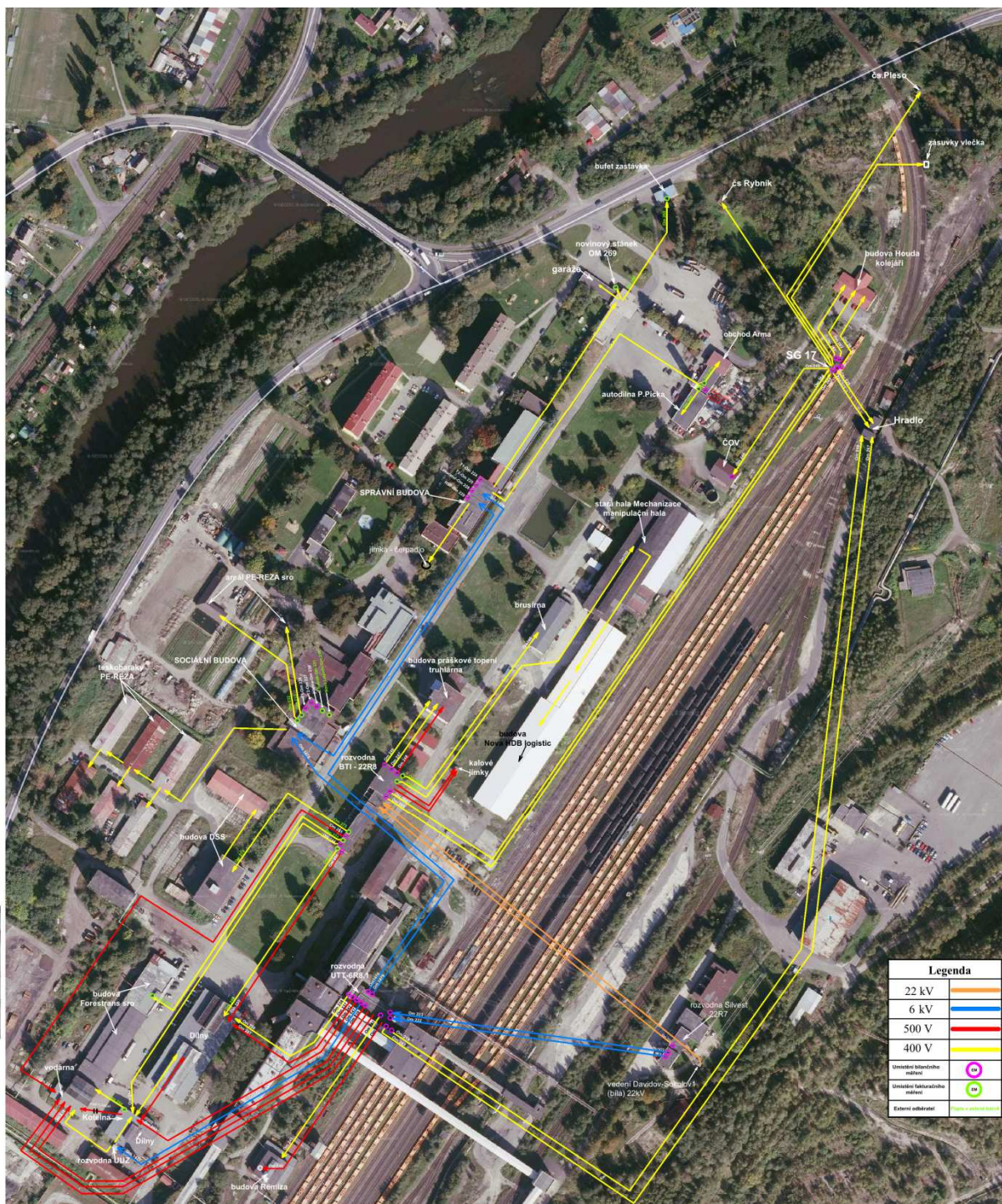
- [1] Tesařová M., Štroblová M., *Průmyslová elektroenergetika*, ZČU Plzeň, 2000.
- [2] Mertlová J., Noháčová L., *Elektrické stanice a vedení*, ZČU Plzeň, 2008.
- [3] Orságová J., *Rozvodná zařízení*, VUT Brno, 2007.
- [4] Fencel F., *Průmyslový elektrický rozvod*, ČVUT Praha, 1987.
- [5] Pauza J., *Silnoproudá rozvodná zařízení v průmyslu*, SNTL Praha, 1974.
- [6] Úřad pro normalizaci a měření, *Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách*, norma ČSN 34 1610, Praha, 1963.
- [7] Český normalizační institut, *Elektrotechnické předpisy – Elektrická zařízení – Část 5: Výběr a stavba elektrických zařízení – Oddíl 523: Dovolené proudy v elektrických rozvodech*, norma ČSN 33 2000-5-523, Praha, 1963.
- [8] Český normalizační institut, *Zkratové proudy v trojfázových soustavách*, norma ČSN EN 60909-0, Praha, 2002.
- [9] Český normalizační institut, *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV do AC 45 kV včetně – Část 1: Všeobecné požadavky – Společná specifikace*, norma ČSN EN 50423-1, Praha, 2005.
- [10] Český normalizační institut, *Elektrická venkovní vedení s napětím nad AC 1 kV – Část 1: Obecné požadavky – Společná specifikace*, norma ČSN EN 50341-1 ED. 2, Praha, 2013.
- [11] Energetické organizace, *Navrhování a umístování svodičů přepětí v distribučních sítích nad 1 kV do 45 kV*, podniková norma PNE 330000-8, 2005.
- [12] Sokolovská uhelná, právní nástupce, a.s., [www.suas.cz](http://www.suas.cz), [online]
- [13] NKT Cables, s.r.o., [www.nktcables.com](http://www.nktcables.com), [online]. [cit. 15.4.2016]. Dostupné z: [http://www.nktcables.com/~media/Files/NktCables/Products/CZ/MV%20cables%20and%20accessories/MV\\_new%20datasheets/NA2XSF2Y1220.pdf](http://www.nktcables.com/~media/Files/NktCables/Products/CZ/MV%20cables%20and%20accessories/MV_new%20datasheets/NA2XSF2Y1220.pdf)
- [14] EEIKA Brno, s.r.o., [www.eeika.cz](http://www.eeika.cz), [online]. [cit. 2.4.2016]. Dostupné z: <http://www.eeika.cz/index.php/cs/stoarove-trafostanice>
- [15] Elpro-Energo, s.r.o., [www.elpro-energo.cz](http://www.elpro-energo.cz), [online]. [cit. 2.4.2016]. Dostupné z:

- <http://www.elpro-energo.cz/olejove-transformatory/olejove-transformatory-sgb-neumark/>*
- [16] Ensto Czech, s.r.o., *[www.ensto.com](http://www.ensto.com)*, [online]. [cit. 15.4.2016]. Dostupné z: *[http://www.ensto.com/download/18972\\_ensto\\_prislusenstvi\\_izolovanych\\_a\\_holych\\_vedeni\\_vn\\_izolov.pdf](http://www.ensto.com/download/18972_ensto_prislusenstvi_izolovanych_a_holych_vedeni_vn_izolov.pdf)*
- [17] Projektování energetických celků: Přednášky. Tesařová Miloslava, [online]. [cit. 28.3.2016]. Dostupné z: *<http://home.zcu.cz/~tesarova/>*
- [18] NKT Cables, s.r.o., *[www.nktcables.com](http://www.nktcables.com)*, [online]. [cit. 1.4.2016]. Dostupné z: *[http://www.nktcables.com/~media/Files/NktCables/Products/CZ/LV%20cables/LV\\_new%20datasheets2014/1-AYKY.pdf](http://www.nktcables.com/~media/Files/NktCables/Products/CZ/LV%20cables/LV_new%20datasheets2014/1-AYKY.pdf)*
- [19] OEZ Letohrad, s.r.o., *[www.oez.cz](http://www.oez.cz)*, [online]. [cit. 2.4.2016]. Dostupné z: *<http://www.oez.cz/file/366/download/>*
- [20] David Štíčka, *[www.sticka.cz](http://www.sticka.cz)* [online]. [cit. 21.5.2016]. Dostupné z: *[http://www.sticka.cz/user/10774/upload/ftp\\_client/mapa\\_vetrna.gif](http://www.sticka.cz/user/10774/upload/ftp_client/mapa_vetrna.gif)*
- [21] Energetika-servis, s.r.o., *[www.energetika-servis.cz](http://www.energetika-servis.cz)* [online]. [cit. 1.5.2016]. Dostupné z: *<http://www.energetika-servis.cz/tp/201205/201205.PDF>*
- [22] Energetika-servis, s.r.o., *[www.energetika-servis.cz](http://www.energetika-servis.cz)* [online]. [cit. 1.5.2016]. Dostupné z: *<http://www.energetika-servis.cz/tp/200606/200606.PDF>*
- [23] Energetika-servis, s.r.o., *[www.energetika-servis.cz](http://www.energetika-servis.cz)* [online]. [cit. 1.5.2016]. Dostupné z: *<http://www.energetika-servis.cz/tp/201101/201101.PDF>*
- [24] Mapy.cz, *[www.mapy.cz](http://www.mapy.cz)* [online]. [cit. 6.4.2016]. Dostupné z: *<https://mapy.cz/zakladni?x=12.6175218&y=50.1572201&z=17&base=ophoto>*
- [25] Státní správa zeměměřictví a katastru, *[www.cuzk.cz](http://www.cuzk.cz)* [online]. [cit. 27.5.2016]. Dostupné z: *<http://sgi.nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&&MarQueryId=6D2BCEB5&MarQParam0=617792&MarQParamCount=1&MarWindowName=Marushka>*

- [26] EGE, spol. s.r.o., [www.ege.cz](http://www.ege.cz) [online]. [cit. 9.5.2016]. Dostupné z:  
[http://www.ege.cz/storage/1\\_1695\\_egeokocj.pdf](http://www.ege.cz/storage/1_1695_egeokocj.pdf)

# Přílohy

## Příloha A – Původní elektrické schéma areálu Přátelství



**Příloha B – Sestava stožárové trafostanice TSS**

