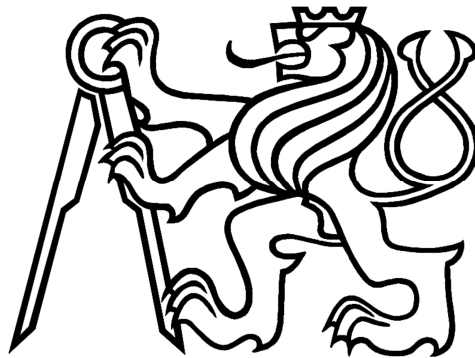


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ  
V PRAZE**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra elektroenergetiky**



**Návrh transformovny 22/0,4 kV pro napájení  
železniční stanice**

**Diplomová práce**

**Vypracoval: Ing. Josef Bártek**

**Vedoucí práce: Ing. Ivan Cimbolínek**

**Praha 2015**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Josef Bártek**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Návrh transformovny 22/0,4 kV pro napájení železniční stanice**

Pokyny pro vypracování:

- 1) Navrhňte trafostanici 22 kV/0,4 kV pro napájení ŽS.
- 2) Navrhňte parametry uzemnění TS s ohledem na ochranu před nebezpečným dotykem.
- 3) Proveďte výpočet náročnosti odběru a tomu přizpůsobte technologii trafostanice.
- 4) Na základě zkratových výpočtů ověřte vhodnost použité technologie.
- 5) Umístění TS do terénu a majetkoprávní vztahy řešte již v průběhu územního řízení.

Seznam odborné literatury:

- [1] ČSN EN 50121-1, Drážní zařízení, EMC
- [2] ČSN 333015, Elektrické stanice a elektrická zařízení
- [3] ČSN 332000-5-54, Uzemnění a ochranné vodiče
- [4] Fencel F., Elektrický rozvod a rozvodná zařízení, ISBN 80-01-02771-6, skriptum ČVUT 2006

Vedoucí: Ing. Ivan Cimbolínek

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

Ing. Jan Švec Ph.D.  
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 1. 4. 2015

**Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne .....

Podpis

### **Poděkování**

Rád děkuji Ing. Ivanovi Cimbolincovi za konzultace při tvorbě a zpracování mé diplomové práce a Ing. Zdeňkovi Müllerovi, Ph.D. za pomoc při shánění norem ČSN.

Další poděkování patří kolektivu pracovníků státní organizace Správa železniční dopravní cesty, Oblastního ředitelství Praha, Správy elektrotechniky a energetiky Praha za poskytnutí materiálů a umožnění prohlídky objektu transformovny v železniční stanici Benešov.

Závěrem děkuji své rodině, přítelkyni a blízkým za jejich podporu a trpělivost.

## **Anotace**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem transformovny 22/0,4 kV pro napájení železniční stanice. V úvodu popisuje postavení železniční dopravy v České republice a informuje o rozdělení zdrojů elektrické energie na železnici. Hlavní část diplomové práce se zabývá vlastním návrhem transformovny. Na základě výpočtu náročnosti odběru je zvolena technologie transformovny. Návrh zahrnuje budovu transformovny, transformátor a rozvodná zařízení. Parametry uzemnění transformovny jsou navrženy s ohledem na ochranu před nebezpečným dotykem. Vhodnost použité technologie je ověřena na základě zkratových výpočtů. Závěrečná část diplomové práce je věnována majetkoprávním vztahům a uvedení do provozu.

## **Abstract**

This diploma thesis deals with a project of a transformer station 22/0,4 kV for feeding a railway station. In its introduction it describes the situation of the railway transport in the Czech Republic and informs about a division of the electric energy at the railway. The main part of the diploma thesis deals with the proper project of the transformer station. On the basis of calculation of feeding intensity, the technology of the transformer station is chosen. The project includes the building of the transformer station, the transformer and the distribution equipment. The parameters of grounding the transformer station are designed taking into consideration the protection against dangerous touch. The suitability of the applied technology is verified on the basis of the short circuit calculation. The conclusion of the diploma thesis deals with the rights of property and with putting of the transformer station into service.

## **Klíčová slova**

transformovna, transformátor, rozvodna, rozvaděč, uzemnění, zkratové výpočty, kompenzace, majetkoprávní vztahy

## **Key words**

transformer station, transformer, switching substation, switchboard, grounding, short circuit calculation, compensation, rights of property

## Obsah

1. Úvod .....	8
2. Rozdělení zdrojů elektrické energie na železnici .....	10
2.1. Trakční napájecí stanice .....	10
2.1.1. Trakční transformovny .....	11
2.1.2. Trakční měnírny .....	11
2.2. Trakční spínací stanice .....	12
2.2.1. Trakční spínací stanice stejnosměrné soustavy 3kV.....	12
2.2.2. Trakční spínací stanice 25kV 50Hz .....	14
2.3. Napájecí zdroje pro napájení zabezpečovacího zařízení .....	14
2.4. Elektrické předtápěcí zařízení .....	18
2.5. Drážní distribuční transformovny .....	19
2.6. Náhradní zdroje napájení elektrickou energií .....	19
3. Výchozí podklady návrhu nové transformovny pro napájení žel. stanice....	20
4. Základní technické údaje .....	22
5. Výpočet náročnosti odběru .....	24
6. Objekt transformovny .....	25
7. Transformátor .....	27
8. Zkratové výpočty .....	30
8.1. Zkratové výpočty v distribuční soustavě ČEZ Distribuce .....	30
8.2. Zkratové výpočty na straně vn počítané transformovny.....	32
8.3. Zkratové výpočty na straně nn počítané transformovny .....	35
9. Rozvodná zařízení .....	38
9.1 Rozvodna vn .....	39
9.2 Rozvodna nn.....	41
9.3 Obchodní měření .....	43

9.4 Poruchové stavy, ochrana proti přetížení a zkratu, přepětí .....	44
9.5 Kompenzace .....	44
9.6 Silové rozvody vn .....	45
9.7 Silové rozvody nn .....	46
9.8 Ostatní kabeláž v transformovně .....	47
10. Dimenzování vodičů a zařízení.....	49
10.1 Kontrola silových vodičů z hlediska proudového zatížení .....	49
10.2 Kontrola silových vodičů z hlediska oteplení zkratovým proudem .....	49
10.3 Kontrola dynamických účinků zkratového proudu .....	52
11. Kompenzace proudu naprázdno transformátoru .....	53
12. Vnitřní uzemnění .....	57
13. Vnější uzemnění .....	59
14. Bezpečnostní opatření .....	66
15. Záloha v případě poruchy TS.....	67
16. Majetkoprávní vztahy .....	68
16.1 Majetkoprávní vztahy k objektům transformovny .....	68
16.2 Pozemky dotčené stavbou.....	68
17. Uvedení do provozu .....	72
18. Závěr .....	74
19. Seznam použité literatury .....	75
Příloha 1: Dispozice technologie, vnitřní uzemnění, bezpečnostní tabulky	
Příloha 2: Řezy – pohledy	
Příloha 3: Přehledové schéma 22 kV	
Příloha 4: Přehledové schéma 0,4 kV	

# 1. Úvod

Pro fungující ekonomiku každého státu je nutností uspokojivě vyřešené pojetí a realizace dopravní obslužnosti území. Z toho vyplývá požadavek na spolehlivou dopravní infrastrukturu včetně jejího napojení na sousední státy. V podmínkách České republiky se za hlavní druhy dopravy považuje silniční doprava a železniční doprava, méně pak vodní doprava a letecká doprava.

I přes prudký rozvoj automobilismu si železnice stále udržuje významné postavení na dopravním trhu. V současné době zajišťuje zhruba 23 % přepravy zboží a cca 32 % hromadné přepravy osob (bez městské hromadné dopravy) s tím, že snahou bude tento podíl na trhu ještě zvýšit. Je předpoklad, že význam železnice se bude z hlediska ekologie, úspory energie, spolehlivosti a bezpečnosti i nadále zvyšovat. Význam železnice si uvědomila i Evropská komise, která na podporu tohoto dopravního systému vydala řadu dokumentů a snaží se rozvoj železnice podporovat i finančně.

## Provozovatelé železniční sítě v ČR

Dominantním vlastníkem a provozovatelem železničních drah na našem území v průběhu historie byl nejčastěji stát. Ovšem železniční síť původně vybudovali především soukromí vlastníci. V současné době je vlastníkem většiny železničních tratí České republiky stát zastoupený státní organizací „Správa železniční dopravní cesty“ (dále také jen SŽDC). České dráhy, akciová společnost (dále také jen ČD) jsou dopravcem.

## Elektrizace železnice

Délka železniční sítě České republiky k 31. prosinci 2006 činila 9492 km. Podíl elektrizovaných tratí činil celkem 3037 km, z toho 1287 km jednokolejných a 1750 km dvou a více kolejných. Specifikem nejen České republiky je existence dvou napájecích trakčních systémů, stejnosměrného 3 kV a střídavého 25 kV/50 Hz, který je ale odlišný od střídavého systému u našich sousedů v Německu a Rakousku, kde je 15 kV, 16 2/3 Hz.

Podle napájecích soustav bylo 1731 km tratí elektrizováno stejnosměrným napětím 3 kV případně 1,5 kV a 1307 km napětím střídavým 25 kV s frekvencí 50 Hz.

## Modernizace železniční sítě v ČR

V průběhu cca 175 let existence železniční dopravy u nás zaznamenáváme dvě významná období modernizace technických parametrů tratí. V padesátých a šedesátých letech minulého století to byla elektrizace podstatné části strategicky nejdůležitějších drah celostátního a mezinárodního významu (když



jako první byla elektrizována již v roce 1903 dráha Tábor – Bechyně a za období první republiky pražský železniční uzel).

Druhé, ještě významnější období zásadní modernizace našich železničních drah, prožíváme v současné době. Má-li se i naše železnice, po vzoru železnic Japonska a vyspělých států Evropské unie, stát moderním dopravním prostředkem 21. století, musí být technické parametry jejích hlavních tratí upraveny na standard, daný příslušnými mezinárodními dohodami. Zejména se jedná o vyšší traťovou rychlost, traťovou třídu zatížení, prostorovou průchodnost, „peronizaci“ stanic a technologické vybavení zvyšující bezpečnost dopravy a úroveň řízení provozu. Prioritu má přitom z celostátního i mezinárodního hlediska modernizace čtyř tranzitních koridorů, která byla zahájena v roce 1993.

Na železnici je velký podíl elektrotechnických objektů a zařízení, která pro svoji činnost vyžadují napájení elektrickou energií. Pro činnost těchto zařízení a potažmo celé železnice je nezbytné zajistit spolehlivé zásobování elektrickou energií. V rámci programu racionalizace a snižování energetické náročnosti infrastruktury jsou prováděny modernizační kroky, při kterých dochází k výměnám starých nevhodných technologií za technologie nové. Jde především o náhrady rtuťových usměrňovačů polovodičovými (křemíkovými), používání transformátorů s nižšími vlastními ztrátami, použití filtračně kompenzačních zařízení u střídavé trakce, použití výbojkových svítidel a rozvoj dispečerské řídicí techniky.

Kromě ekonomických přínosů ve spotřebě energie přinášejí tyto kroky i vyšší provozní spolehlivost, snížení prostorové náročnosti, energetickou optimalizaci, efektivní způsoby údržby, kvalitativně vyšší stupeň zajištění napájení zabezpečovací techniky a nové možnosti v řídicí technice, včetně ústředního dispečerského řízení provozu elektrické trakce. [8]

## 2. Rozdělení zdrojů elektrické energie na železnici

Zdroje elektrické energie pro napájení elektrických zařízení na železnici je možné podle napájených zařízení rozdělit do pěti skupin: [7]

### 2.1 Trakční napájecí stanice

Trakční napájecí stanice (dále také jen TNS) jsou elektrické stanice, které zajišťují potřebnou změnu napětí nebo přeměnu druhu proudu pro napájení trakčního vedení elektrických drah elektrickou energií o požadovaných parametrech.

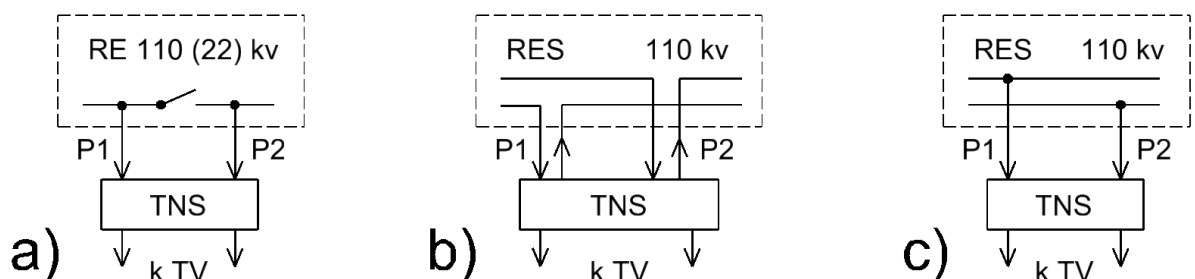
#### Napájení TNS z rozvodné soustavy

TNS se budují podél tratí elektrických drah nebo v jejich těsné blízkosti, aby úbytky napětí při napájení trakčního vedení byly co nejnižší. Napájení TNS z rozvodné soustavy může být řešeno více způsoby, s ohledem na zajištění co největší provozní spolehlivosti se však připojení provádí vždy dvojitým nezávislým přívodem 110 kV (méně často 22 kV).

Schéma připojení vstupní střídací části TNS na rozvodnou soustavu se provádí některým z těchto způsobů:

- samostatným dvojitým vedením 110 kV nebo 22 kV od nejbližší energetické rozvodny,
- zasmyčkováním přívodního jednoduchého nebo dvojitého vedení 110 kV, které umožňuje současně tranzit elektrické energie přes napájecí stanici,
- odbočkou typu „T“ od obou systémů průběžného dvojitého vedení blízké rozvodné sítě.

Každý z obou přívodů se dimenzuje na plný instalovaný výkon připojené TNS. U drah s požadavkem nejvyšší provozní spolehlivosti (např. metro) se TNS napájejí nezávislými přívody z různých rozveden energetiky.



Obr. 1 Způsoby připojení TNS k rozvodné soustavě  
RE – rozvodna energetiky vvn nebo vn, RES – rozvodná energetická síť vvn, TV – trakční vedení

Podle druhu trakční proudové soustavy použité u elektrické dráhy se TNS dělí na

- a) trakční měnírny, napájející dráhy elektrizované stejnosměrnou proudovou soustavou,
- b) trakční transformovny, které napájejí dráhy elektrizované jednofázovou trakční proudovou soustavou.

Z hlediska směru toku energie jsou TNS připojeny vstupní částí k rozvodným sítím energetiky a výstupní částí k trakčnímu vedení elektrické dráhy. Připojení na elektrorozvodnou síť provozovatele distribuční soustavy může být tedy realizováno připojením na přívodní venkovní vedení vvn, na vývodová pole transformoven 110 kV a 22 kV provozovatele distribuční soustavy, nebo odbočením z vrchního nebo kabelového vedení. V obou případech lze využít způsobu připojení podle obrázku 1. Z pohledu energetické legislativy je nutné přesně rozlišovat technické termíny, jako například přípojka, smyčka, T-vedení a současně respektovat majetkoprávní vztahy, které z toho vyplývají.



Obr. 2 a 3 TNS Pečky - budova a rozvodna 110 kV (před rekonstrukcí)

### 2.1.1 Trakční transformovny

Trakční transformovny jsou elektrické stanice, napájející elektrizované dráhy jednofázové soustavy. Základním silovým zařízením jsou jednofázové trakční transformátory. Jimi se snižuje primární napětí trojfázové sítě na sekundární jednofázové napětí trakční proudové soustavy. Jsou zdrojem elektrické energie pro jednofázovou trakční proudovou soustavu 25 kV, 50 Hz.

### 2.1.2 Trakční měnírny

Trakční měnírny jsou elektrické stanice, v nichž se uskutečňuje přeměna střídavého proudu, přiváděného z trojfázové rozvodné sítě na proud stejnosměrný, kterým je napájeno trakční vedení. Charakteristickými prvky měnírny jsou výkonový transformátor, víceimpulsní výkonový polovodičový usměrňovač a výkonové spínače. Trakční měnírny jsou zdrojem elektrické energie pro stejnosměrnou trakční proudovou soustavu 3 kV, 1,5 kV, 0,75 kV a 0,6 kV.

## 2.2 Trakční spínací stanice

Jsou to elektrické stanice, které jsou zřizovány pro zvýšení spolehlivosti napájení elektrizovaných tratí, zvýšení výkonosti pevných elektrických trakčních zařízení, zvýšení propustnosti elektrizovaných tratí a rovněž pro snížení energetických ztrát a úbytků napětí v trakčním vedení. Umožňují tak lepší využití vodivého průřezu příčným spínáním trolejového vedení dvoukolejných tratí, oddělení samostatných úseků TV určených podle ČSN 34 1530.

Zřizují se u stejnosměrných a střídavých soustav hlavních drah. Umísťují se mezi sousedními napájecími stanicemi a umožňují podélné, příčné nebo kombinované spínání trakčního vedení. Trakční spínací stanice (dále také jen TSpS) se dále zřizují pro zajištění provozně požadovaného napájení dalších úseků trakčního vedení, např. trakčního vedení depa, skupiny staničních kolejí a podobně. Elektrické dělení trakčního vedení před TSpS je u stejnosměrné soustavy vytvořeno vzdušnou izolací a u jednofázové soustavy neutrálním polem v trolejovém vedení.

Důležitou podmínkou pro činnost TSpS je vybavení zařízením, které samočinně zamezí sepnutí trakčního vedení, je-li napěťový rozdíl mezi spínanými úseky větší než stanovená hodnota. Přitom však zařízení musí umožnit propojení částí trakčního vedení, které jsou bez napětí z provozních důvodů, jako například při plánovaných revizích a opravách. Spínací stanice jsou provozovány jako bezobslužné s částečnou automatizací provozu a s dálkovým ovládním.

Podle druhu trakční proudové soustavy použité u elektrické dráhy se TSpS dělí na:

- spínací stanice pro jednofázovou trakční proudovou soustavu 25 kV, 50 Hz,
- spínací stanice pro stejnosměrnou trakční proudovou soustavu 3 kV.

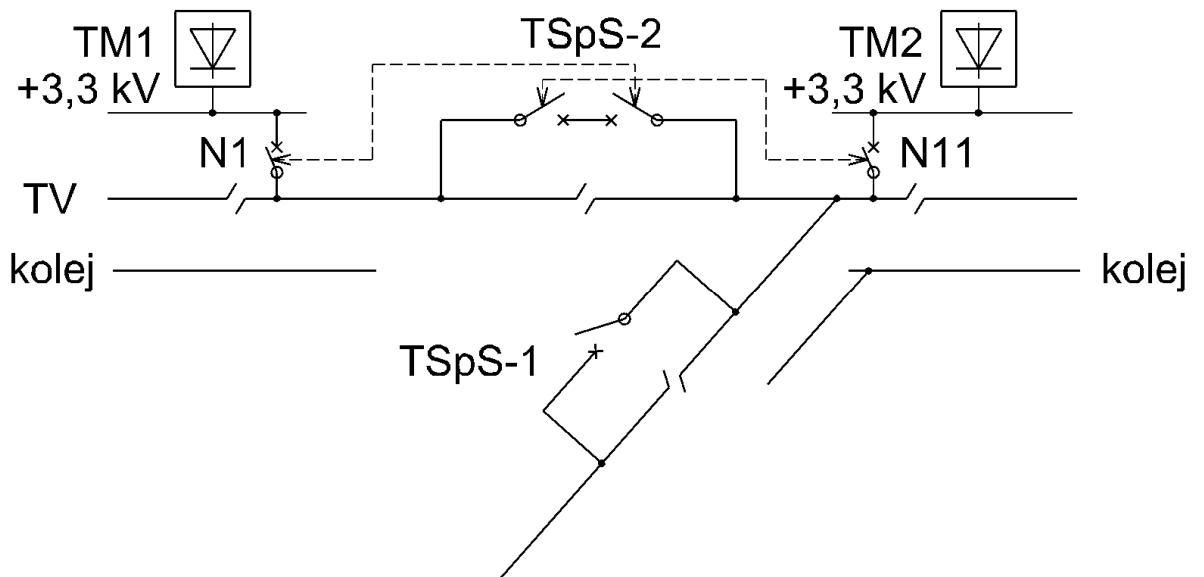
### 2.2.1 Trakční spínací stanice stejnosměrné soustavy 3 kV

Hlavní rozvodné zařízení těchto spínacích stanic obsahuje stejnosměrný napáječkový rozváděč a hlavní přípojnicí s napáječkovými rychlovypínači. Ty jsou pro zajištění selektivního působení polarizované, tj. mají nadproudovou spoušť, citlivou na pouze na jeden směr trakčního proudu. K trolejovému vedení se TSpS připojuje prostřednictvím venkovních úsekových odpojovačů.

Pro spínání trakčního vedení stejnosměrné soustavy 3 kV hlavních drah se zřizují:

- a) u jednokolejných tratí TSps jednovypínačové a dvou vypínačové (s polarizovanými vypínači),

b) u dvoukolejných tratí TSpS jednovypínačové pro samočinné příčné spínání obou stop trakčního vedení a TSpS kombinované se čtyřmi rychlovypínači, takzvané uzlové zapojení.



Obr. 4 Schéma spínací stanice 3 kV podélné TSpS-1 jednovypínačové, TSpS-2 dvouvypínačové



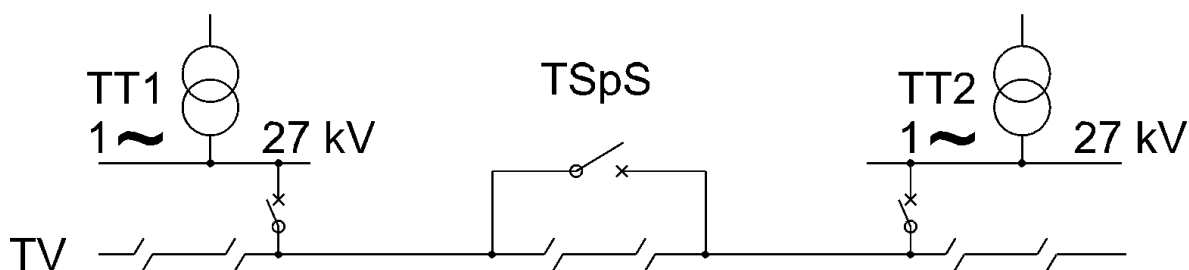
Obr. 5 Spínací stanice Zábřeh na Moravě 3 kV DC

## 2.2.2 Trakční spínací stanice 25 kV 50 Hz

Pro spínání trakčního vedení jednofázové soustavy 25 kV 50 Hz se používají podélné, příčné i kombinované trakční spínací stanice. Základním prvkem umožňujícím výkonové spínání jsou u jednofázových trakčních spínacích stanic vypínače, které jsou stejného provedení jako v trakčních transformovnách. Vzhledem k tomu, že v našich podmínkách se jednofázové dráhy 25 kV dosud napájejí pouze jednostranně, představují spínací stanice místo, ve kterém je trakční vedení mezi sousedními trakčními transformovnými podélně děleno. Podélně se spíná pouze v případě výluky sousední trakční transformovny.

Pro spínání trakčního vedení jednofázové soustavy 25 kV 50 Hz se zřizují:

- u jednokolejných drah podélné jednovypínačové TSpS,
- u dvoukolejných tratí TSpS jednovypínačové příčné a TSpS kombinované se čtyřmi vypínači.



Obr. 6 Schéma jednovypínačové podélné trakční spínací stanice 25 kV  
TV – trakční vedení

## 2.3 Napájecí zdroje pro napájení zabezpečovacího zařízení

Železniční zabezpečovací zařízení lze rozdělit na traťová, staniční a přejezdová. Podle vnitřní konstrukce se tato zařízení dělí na reléová a elektronická. V současném železničním provozu ČR jsou zabezpečovací zařízení s kolejovými obvody pracujícími s kmitočtem 50 Hz, 75 Hz, 275 Hz a v malém rozsahu 25 Hz. Jejich napájení je řešeno různými způsoby. [7], [11]

### Centralizovaný systém napájení

Jeho podstatou je samostatná napájecí soustava o napětí 6 kV, rozváděná podél železniční tratě kabelovým vedením ve výkopu nebo venkovním vedením zavěšeným na trakčních podpěrách. Systém umožňuje na jednom nebo druhém konci vedení připojení na dva vzájemně nezávislé zdroje. Na elektrizovaných tratích jsou to v případě trakční soustavy 3 kV DC sousední trakční měnirny, nebo samostatné napájecí stanice 22/6 kV, připojené na místní distribuční vedení 22 kV na tratích s trakční soustavou 25 kV AC. Délka napájeného úseku mezi napájecími zdroji centralizovaného systému je dána vzdáleností trakčních měniren (u tratí 3 kV DC), respektive místními podmínkami připojení na distribuční síť 22 kV v případě tratí 25 kV AC. Z napájecího kabelu vn je pak

v jednotlivých železničních stanicích a na trati prostřednictvím staničních a traťových transformoven vn/nn napájeno vlastní zabezpečovací zařízení. Jako další napájecí zdroj se v železničních stanicích využívá přípojka z veřejné sítě.

### Decentralizovaný systém napájení

Tento systém využívá zdrojů v místě železničních stanic. Zdroje musí být provedeny tak, aby dodávka elektrické energie pro zabezpečovací zařízení byla co nejspolehlivější. Na elektrizovaných tratích je základním napájecím zdrojem trakční vedení, záložním zdrojem je přípojka z veřejné sítě. Na neelektrizovaných železničních tratích je základním napájecím zdrojem přípojka z veřejné sítě. Podle důležitosti tratě a místních podmínek je pak možno jako záložní zdroj volit například druhou (nezávislou) přípojku z veřejné sítě, akumulátorovou baterii s dostatečnou kapacitou nebo kabelové vedení nn z obou sousedních železničních stanic.

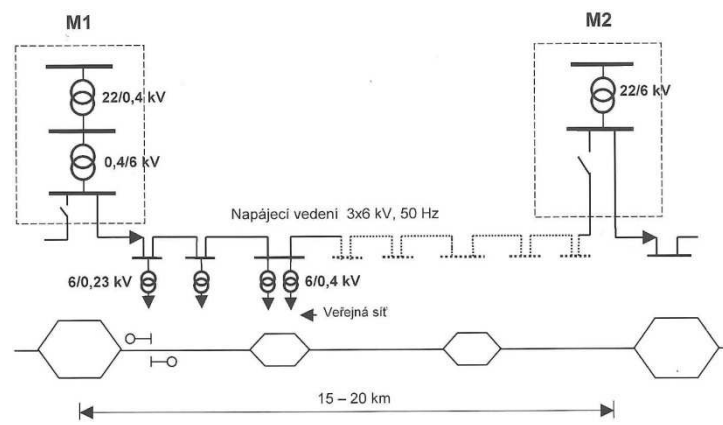
### Kombinovaný systém napájení

Tento systém je kombinací obou předchozích. Traťové zabezpečovací zařízení je napájeno centrálně z kabelového vedení vn, staniční místně, z veřejné sítě jako základního zdroje a dieselaagregátu jako zdroje záložního.

## **Napájení ze soustavy 6 KV AC**

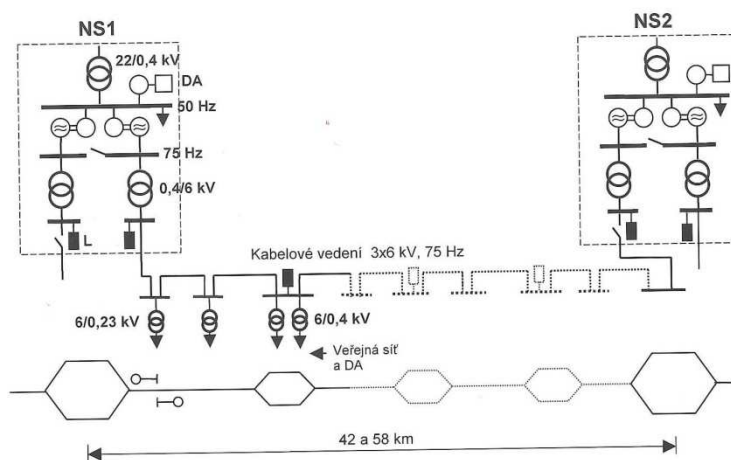
K energetickému napájení traťových a staničních zabezpečovacích zařízení jsou používány dvě soustavy rozvodu 6 kV AC. Jedná se tedy o centralizovaný systém napájení.

- a) Soustava 6 kV 50 Hz, která obsahuje samostatné napájecí transformovny s rozvodnou 6 kV (na elektrizovaných tratích v trakčních měnárnách), kabelové trojfázové vedení o sdruženém napětí 6 kV 50 Hz, transformátorové skříně rozmístěné podél trati a staniční transformovny 6 kV.



Obr. 7 Centralizovaný napájecí systém 6 kV, 50 Hz

- b) Soustava 6 kV 75 Hz, obsahující měničové napájecí stanice 6 kV 75 Hz, kabelové trojfázové vedení 6 kV 75 Hz, rozpínací stanice a transformátorové skříně podél trati.



Obr. 8 Centralizovaný napájecí systém 6 kV, 75 Hz



Obr 9 Traťová transformovna 6/0,23 kV, 75 Hz

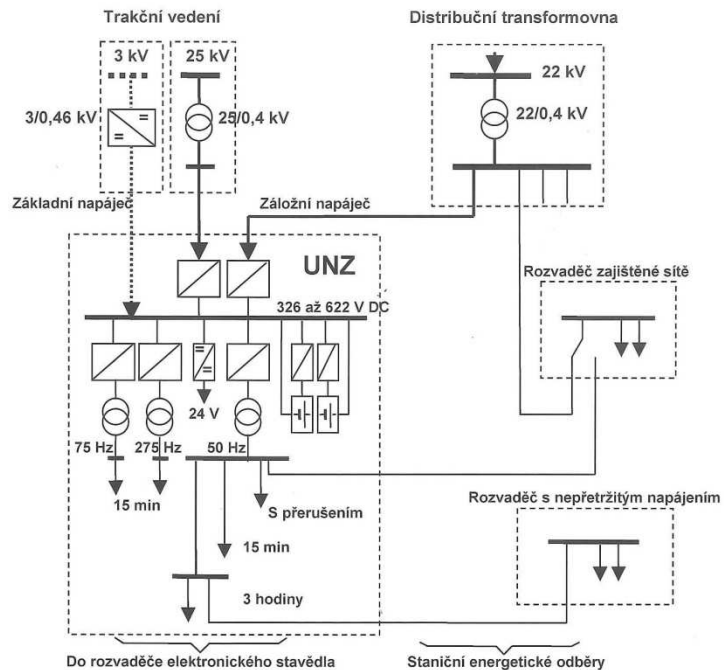
## Napájení z trakčního vedení

Pro zajištění nepřerušené dodávky elektrického proudu pro elektronická zabezpečovací zařízení a generování napěťových soustav s požadovanou frekvencí (50 Hz, 75 Hz a 275 Hz) byl vyvinut takzvaný univerzální napájecí zdroj (dále jen UNZ). Ten je připojen na příslušné napěťové soustavy nn po odpovídající úpravě z trakčního vedení a z veřejné distribuční soustavy.

Základním napáječem je trakční vedení obou soustav provozovaných v ČR (25 kV AC nebo 3 kV DC). Trakční napětí je u soustavy 25 kV AC transformováno ve staniční transformovně na jednofázový systém 400 V, 50 Hz a u soustavy 3 kV DC upraveno ve staničním měničovém zařízení pomocí statického měniče na stejnosměrný systém 2x230 V a svedeno do kabelové přípojky pro UNZ.



Záložním napáječem je místní veřejná síť (obvykle 22 kV), respektive samostatný kabelový vývod 3x230/400V, 50 Hz z hlavního rozvaděče distribuční transformovny. Oba kabelové napáječe (základní 1x400 v AC nebo 2x230 V DC a záložní 3x230/400 V) jsou zaústěny do UNZ a ukončeny v příslušných vstupních svorkách.



Obr. 10 Schéma decentralizovaného napájecího systému využívající trakčního vedení



Obr. 11 vlevo staniční transformovna 25/0,4 kV, 50 Hz s připojením na trakční vedení, uprostřed a vpravo příklad připojení měniče DAK na trakční vedení 3 kV DC

U přejezdových zabezpečovacích zařízení reléových a elektronických je základním napájením zpravidla baterie 24 V, která je dobíjena z veřejné sítě nebo z drážního rozvodu, ať již klasického či z trakčního vedení.

## 2.4 Elektrické předtápěcí zařízení

Elektrické předtápěcí zařízení je určeno pro předtápění odstavených vlakových souprav. Mění vstupující el. energii o napětí, kmitočtu a počtu fází příslušné trakční proudové soustavy nebo na neelektrizovaných tratích o napětí, kmitočtu a počtu fází místní distribuční energetické soustavy, na el. energii o napětí, kmitočtu a počtu fází, resp. pólů, systému elektrického topení vlakových souprav.

Používají se typy:

a) podle použití

- pro trakční proudovou soustavu 3 kV DC,
- pro trakční proudovou soustavu 25 kV, 50 Hz,
- pro neelektrizované tratě.

b) podle provedení

- s vypínači a rozváděči,
- zjednodušené

Energetické napájení předtápěcích stojanů je zajištěno:

- z rozvodny 3 kV DC, napájené z trakčního vedení přes výkonový vypínač v případě trakční proudové soustavy 3 kV DC,
- z rozvodny 3 kV, 50 Hz, napájené z trakčního vedení přes jednofázovou trafostanici 25/3 kV v případě trakční proudové soustavy 25 kV, 50 Hz.

Pokud není k dispozici jako zdroj elektrické energie trakční soustava (neelektrizované tratě) lze využít napájení z distribuční třífázové soustavy 22 kV.



Obr. 12 Elektrické předtápěcí zařízení

## 2.5 Drážní distribuční transformovny

Napájení ostatních (netrakčních) spotřebičů se realizuje ze všeobecné distribuční sítě energetiky. Železniční uzly, velké železniční stanice, depa a podobně jsou napájeny z vlastní transformovny, která je připojena ke všeobecné distribuční síti.

Střední a malé železniční stanice mají samostatný vývod z distribuční transformovny, anebo jsou připojené na distribuční síť nn.

Drážní distribuční transformovny jsou tedy elektrické stanice, které jsou zdrojem elektrické energie s nízkým napětím o kmitočtu 50 Hz, především pro netrakční odběry na železnici. Jsou zřizovány pro zajištění odběru elektrické energie v dané oblasti.

Používají se typy:

- a) podle provozního uspořádání
  - transformace 22(35) / 6 / 0,4 kV,
  - transformace 22(35) / 0,4 kV,
  - transformace 10 / 0,4 kV,
- b) podle provedení
  - s kabelovým přívodem,
  - s venkovním přívodem,
- c) podle způsobu obsluhy
  - bez trvalé obsluhy,
- d) podle způsobu řízení
  - ústředně řízené,
  - dálkově řízené,
  - skupinově řízené,
  - místně řízené.

## 2.6 Náhradní zdroje napájení elektrickou energií

Pro některá dopravně důležitá zařízení, například pro zabezpečovací a sdělovací zařízení, řídicí dispečerské zařízení, výpočetní techniku, případně vybrané železniční uzly, která vyžadují zajištění nepřetržitého bezpečného provozu, je nutné zajistit náhradní napájení.

Náhradní napájení se zabezpečuje:

- a) automatickým záskokem dvou nezávislých přípojek vn do vstupní transformovny,
- b) náhradním zdrojem elektrické energie,
  - dieselagregátem s ručním nebo automatickým startem,
  - akumulátorovou baterií s měničem, zejména pro zabezpečovací zařízení a výpočetní techniku.

### **3. Výchozí podklady návrhu nové transformovny pro napájení žel. stanice**

Důvodem k vybudování nové transformovny je skutečnost, že parametry stávajícího napájecího zdroje nevyhovují požadavkům na zajištění dostatečného množství elektrické energie po rekonstrukci železniční stanice. V době před rekonstrukcí jsou rozvody nn v obvodu železniční stanice napájeny ze stávající drážní transformovny 22/0,4kV, která je osazena transformátorem 400 kVA. Vzhledem k celkovému nárůstu instalovaného výkonu a stavebním úpravám v obvodu železniční stanice bude proto vybudována nová transformovna 22/0,4 kV.

Výstavba nové distribuční transformovny je často součástí rozsáhlejšího projektu modernizace koridorové trati nebo železniční stanice.

Zahájení prací na přípravě každého stavebního objektu nebo technologického celku předchází posouzení zadávací dokumentace investora, závěry případného předchozího stupně projektové dokumentace, konzultace se zpracovateli souvisejících stavebních objektů, závěry z porad a konzultací konaných v průběhu projektových prací a konzultace se zástupci provozovatele navrhovaného objektu.

V rámci projektového týmu specialistů spolupracuje mnoho zpracovatelů stavebních objektů (projektantů), kteří navzájem koordinují svoje požadavky a prostorové nároky. V případě požadavků na zajištění zásobování jednotlivých zařízení elektrickou energií jsou tyto porovnávány se stávajícími možnostmi a posuzovány různé alternativy pro zajištění potřebného množství elektrické energie. Důležité výchozí podklady tvoří rovněž nabídky výrobců zařízení a katalogy výrobků.

#### **Navržené přístroje**

Pro zadávací podmínky veřejné obchodní soutěže na vypracování projektu stavby hrazené z veřejných prostředků, což je případ modernizace na dráze, kde investorem je státní organizace Správa železniční dopravní cesty, nemohou být v projektové dokumentaci uváděné konkrétní typy výrobků, ale ty mohou být specifikovány pouze svými technickými a kvalitativními parametry v souladu s [10].

Protože však stroje a zařízení silnoproudé elektrotechniky se při stejných elektrických parametrech mohou lišit svými rozměry, hmotností a uspořádáním, bývají u rozhodujících strojů a přístrojů a ve schématech uvedené příklady

vhodných strojů a přístrojů. Při použití jiných, ale z hlediska elektrických parametrů rovnocenných nebo lepších strojů a zařízení, je třeba provést prověření navrženého řešení včetně stavebních podkladů.

I v případě, že budou při realizaci použity stroje a zařízení uváděná jako příklad, je třeba vzít v úvahu časovou prodlevu mezi zpracováním návrhu a samotnou realizací. Vzhledem k časové prodlevě může dojít k dílčím změnám technického řešení specifikovaných strojů a zařízení, především ovládacích a kontrolních obvodů. Proto je třeba prověřit soulad návrhu s definitivní technickou specifikací, kterou obdrží objednatel zařízení od jeho zhotovitele.

## 4. Základní technické údaje

### Prostředí, pracovní podmínky

V rámci prací na návrhu transformovny je nutné provést určení vnějších vlivů působících na elektrická zařízení v jednotlivých prostorách technologického objektu, kde je transformovna situována. Posouzení podle působení vnějších vlivů se provede z hlediska ČSN 33 2000 5-51. O určení vnějších vlivů a o opatřeních, která určené vnější vlivy podmiňují, musí být písemný doklad - protokol o určení vnějších vlivů. Protokol o určení vnějších vlivů, vypracovaný odbornou komisí, je nedílnou součástí dokladové části dokumentace, která musí být po dobu životnosti zařízení, provozu či objektu archivována.

Protokol o určení vnějších vlivů obsahuje složení komise, název objektu, podklady, použité pro vypracování protokolu, přílohy, popis objektu, rozhodnutí a zdůvodnění.

### Napájení transformovny z distribuční soustavy

Provozovatelem distribuční soustavy v zájmové lokalitě drážní transformovny je akciová společnost ČEZ Distribuce. Napěťová hladina v zájmové lokalitě je vn 22 kV. Transformovna bude k distribuční síti připojena kabelovou smyčkou 22 kV. Přívodní kabelové vedení (smyčka) je zřizováno provozovatelem distribuční soustavy ČEZ Distribuce a bude tedy jeho majetkem. Jednotlivé kabely budou ukončeny T-konektory a připojeny na průchodky vstupních polí rozvaděče vn. Návrh přívodního kabelového vedení pro napájení transformovny není součástí této diplomové práce.

### Napěťové soustavy

V transformovně 22/0,4 kV se budou vyskytovat následující napěťové soustavy:

- a) 3 ~ 50 Hz, 22 kV, IT, strana vn
- b) 3 NPE ~ 50 Hz, 400/230 V/TN-C-S, strana nn
- c) 1 NPE ~ 50 Hz, 230 V/TN-S,
- d) 2 - 24 V DC/IT, přenos signálů do dispečerské řídicí techniky

## **Ochrana před nebezpečným dotykem neživých vodivých částí**

- a) 3 ~ 50 Hz, 22 kV, IT - ochrana zemněním v síti s nepřímo uzemněným uzlem
- b) 3 NPE ~ 50 Hz, 400/230 V/TN-C-S - ochrana samočinným odpojením od zdroje
- c) 1 NPE ~ 50 Hz, 230 V/TN-S - ochrana samočinným odpojením od zdroje
- d) 2 - 24 V DC/IT - ochrana samočinným odpojením od zdroje

## 5. Výpočet náročnosti odběru

Na základě informací o instalovaných spotřebičích a požadavcích na zásobování elektrickou energií je určena energetická bilance nového stavu:

	P <sub>i</sub> [kW]	P <sub>s</sub> [kW]
Vaření	104	40
Ohřev TUV přímý	54	22
Ohřev TUV akumulací	41	41
UTO přímotopy	70	57
UTO akumulací kamna	28	28
Ostatní spotřeby	196	69
EOV (elektrický ohřev výměn)	164	164
<b>Celkem</b>	<b>657</b>	<b>421</b>

Tab. 1 Výpočet náročnosti odběru

kde

$P_i$  = výkon instalovaný

$P_s$  = výkon soudobý (výpočtový)

Náročnost odběru  $\beta = P_s/P_i = 421/657 = 0,64$

Na základě výsledku energetické bilance je vypočten požadovaný soudobý výkon pro napájení spotřeby.

Výrobci transformátorů vyrábějí v sériové výrobě transformátory ve standardních výkonových řadách. Příkladem je řada o výkonech 100, 160, 200, 250, 315, 400, 630, 800, 1000 a více kVA. S ohledem na výše uvedené skutečnosti je zvolen transformátor o nejbližším postačujícím vyšším výkonu.

Dle výsledků energetické bilance je navržen transformátor o výkonu 630 kVA.



## 6. Objekt transformovny

### Stávající stav

V současné době jsou rozvody nn v obvodu železniční stanice napájeny ze stávající drážní transformovny 22/0,4kV, která je osazena transformátorem 400 kVA.

### Nový stav

Vzhledem k celkovému nárůstu instalovaného výkonu a stavebním úpravám v obvodu železniční stanice bude vybudována nová transformovna 22/0,4 kV. Nová transformovna bude situována vedle stávající transformovny, která se po zprovoznění nové TS zruší (demontuje).

Transformovna 22/0,4 kV se bude skládat z rozvodny vn, trafokomory a rozvodny nn. Objekt transformovny bude zděná budova rozdělená na tři místnosti. Objekt budovy bude přízemní nepodsklepený. Půdorysné rozměry 9,20m x 4,35m. Výška objektu cca 5,3m. Obvodové zdivo bude tloušťky 0,4m. Příčky mezi místnostmi budou tloušťky 0,15m. Každá místnost bude samostatně přístupná z venkovního prostoru a uzamykatelná pro zabránění vniknutí cizích osob. V objektu bude umístěno technologické zařízení rozvodny vn, rozvodny nn a stání vzduchem chlazeného transformátoru. Stavební konstrukce objektu jsou ve smyslu požárně bezpečnostních předpisů charakterizovány jako nehořlavé. Svislé i vodorovné konstrukce jsou konstrukcemi druhu D1 (pórobetonové tvárnice, prefabrikované železobetonové předpjaté stropní panely). Střešní plášť šikmé střechy bude tvořen vláknocementovými šablonami přichycenými na dřevěné bednění, které je spojeno ke dřevěným krovům. Objekt bude elektricky temperován přímotopy s regulací teplot. Větrání objektu bude přirozené. Stavebně technické parametry budovy jsou převzaty z [9].

### Stanoviště transformátoru

Transformátor bude umístěn do samostatné trafokomory. Umístění transformátoru zásadně ovlivňuje jak bezpečnost a obsluhu provozu, tak i celkové dispoziční řešení transformovny. Transformátory, určené pro vnitřní použití, se zásadně instalují do trafokomor. Stanoviště transformátoru se pokud možno umísťují na severní nebo východní stranu budovy, případně tam, kde je teplota chladícího vzduchu nejnižší. Vzniklé teplo při provozu transformátoru musí být odvedené přirozeným nebo umělým větráním. Větrací otvory je nutno chránit pletivem proti vniknutí cizích předmětů a žaluziemi proti dopadající vodě.

## **Vstup do rozvodny 22 kV a manipulace s odpínači rozvaděče 22 kV**

Fyzický vstup pracovníků ČEZ Distribuce, a. s. do rozvodny vn 22 kV bude realizován na základě dohody mezi provozovatelem SŽDC a ČEZ Distribuce, a. s. (systém jednotného klíče a podobně). Proti neoprávněné manipulaci s odpínači pro kabelovou smyčku ČEZ Distribuce, a. s. si energetický závod může osadit visací zámky na ovládací otvory pro spínací páky.

### **Opatření proti šíření ohně a vlhkosti**

Otvory chrániček pro kabely do rozvodny vn budou uvnitř budovy utěsněny proti vnikání vlhkosti, případně živočišných škůdců a protipožárně zajištěny. Přechody kabelových kanálů mezi jednotlivými místnostmi transformovny budou také protipožárně zajištěny. Dále se provede protipožární nástřík kabelů v blízkosti prostupů.

## 7. Transformátor

Transformátor je nejdůležitější zařízení transformovny a na jeho parametrech záleží dimenzování dalšího vybavení transformovny. V současné době je na výběr mnoho modelů různých výrobců, které se liší provedením, cenou, účinností. Vedle návrhu vhodného transformátoru z hlediska jeho výkonových parametrů jsou neméně důležité i ekonomické aspekty vlastní investice z hlediska dlouhodobého provozu zařízení. V praxi se proto řeší otázka, zda pořídit transformátor s nižšími ztrátami za cenu vyšších investičních nákladů, anebo pořídit transformátor se standardními ztrátami za nižší investiční náklady. Pro porovnání ekonomické výhodnosti transformátorů s různými ztrátami je nutné provést výpočty podle exaktních ekonomických kritérií.

### Navrhovaný transformátor

#### Třífázový suchý transformátor 22/0,4 kV s měděným vinutím

##### Technické parametry transformátoru:

druh: suchý transformátor se zalitým vinutím

materiál

vinutí.....Cu

počet fází.....3

jmenovitý kmitočet.....50 Hz

metoda chlazení .....AN (přirozené vzduchové)

instalace.....vnitřní prostředí

jmenovitý výkon.....630 kVA

jmenovité napětí vn .....22 kV

nejvyšší trvalé napětí vn .....25 kV

odbočky .....±2 x 2,5%.

jmenovité napětí nn .....0,4 kV

nejvyšší trvalé napětí nn .....0,44 kV

jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulsu .....150 kV

jmenovité výdržné střídavé napětí, 50 Hz .....50 kV

zapojení.....Dyn1

vývody nn.....nahoru  
krytí .....IP 00  
napětí nakrátko.....6 %  
zkratový počáteční rázový proud na primární straně.....< 10 kA

Kolečka transformátoru nastavitelná o 90°

Vnější vlivy podle ČSN 33 2000-3; AA4, AB4, AC1, AD1, AE1, AF1, AG1, AH1, AK1, AL1, AM2, AN-, AP1, AQ-, AR1, AS-, BA4, BC3, BD1, BE1, CA1, CB1.

Příslušenství: - zvedací oka, zemní šrouby, výkonový štítek, kolečka přestavitelná pro podélný a příčný pojezd, dvě sondy s PTC termistory na každou fázi s přístrojem pro výstrahu a odpojení

Uvedené specifikaci odpovídá například výrobek firmy EXIMET TRAFKO, spol. s r. o. nebo Elpro Energo s.r.o. - typové označení DTTH 630.

## **Umístění v trafokomoře a kabelová spojení**

Transformátor 22/0,4 kV bude v suchém provedení o výkonu 630 kVA. Na sekundární straně transformátoru bude osazen statický kondenzátor pro kompenzaci proudu naprázdno transformátoru.

Transformátor bude připojen kabely 3x22-CXEKVCEY 1x35/16 mm<sup>2</sup>. Tyto kabely budou vedeny v kabelovém kanálu ve svazku na primární stranu transformátoru. Do hlavního pole rozvaděče RH rozvodny nn ze sekundární strany transformátoru 22/0,4 kV jsou přivedeny jednožilové vodiče 2 x 1-YY 1x240 mm<sup>2</sup> (fázové) a 1-YY 1x240 mm<sup>2</sup> (PEN) – střed transformátoru. Tyto kabely jsou ukončeny ve svorkách na připojovacích pasech hlavního jističe a na přípojnicí PEN.

V trafokomoře budou kabely vn a nn upevněny v kabelových držácích. Transformátor bude zatažen do trafokomory a usazen na ocelových kolejničkách. Proti přenosu vibrací na budovu bude transformátor usazen na tlumiče vibrací, umístěné v kolejničkách.



Obr. 13 Příklad provedení trafokomory osazené suchým transformátorem.  
Transformátor je usazen na ocelových kolejničkách. Vpravo přívodní kabely vn 22 kV.  
Vlevo vývod kabelů 0,4 kV.

## 8. Zkratové výpočty

Zásady pro výpočet zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách stanovuje ČSN EN 60909-0. Zkratové výpočty uvedené v odstavcích 8.2 a 8.3 jsou provedeny podle ČSN EN 60909-0 metodou ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu. Základem výpočtu je souměrný rázový zkratový proud  $I''_k$ , kterému odpovídá souměrný rázový zkratový výkon  $S''_{ks}$ .

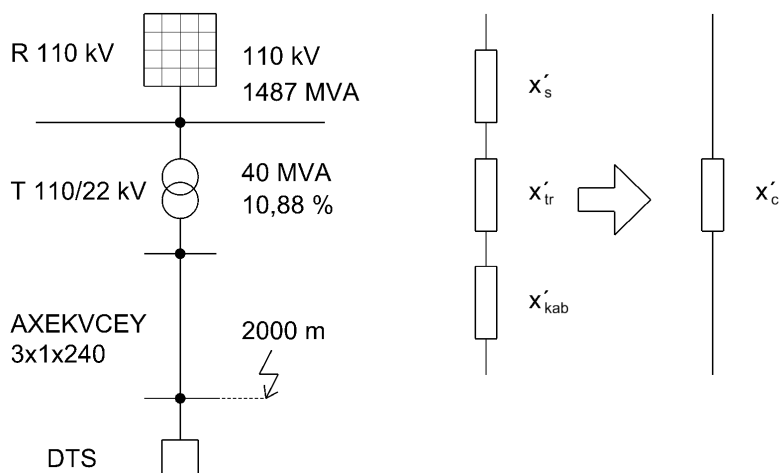
Kontrola technologického zařízení z hlediska účinků zkratových proudů je provedena na maximální zkratový proud distribuční soustavy v zadaném místě. Hodnotu souměrného zkratového výkonu soustavy, respektive souměrného rázového zkratového proudu soustavy  $I''_k$ , poskytl provozovatel distribuční soustavy ČEZ Distribuce, a. s. a z něj jsou odvozeny veškeré další hodnoty zkratových výpočtů.

### 8.1 Zkratové výpočty v distribuční soustavě ČEZ Distribuce

Výchozí hodnota, použitá dále pro zkratové výpočty, je souměrný rázový zkratový proud  $I''_k = 5,768$  kA, kterou poskytl provozovatel distribuční soustavy ČEZ Distribuce, a. s.. Zadanou hodnotu  $I''_k$  ověřím přibližným výpočtem metodou poměrných reaktancí soustavy.

Počítaná transformovna je napájena z rozvodny 110 kV o zkratovém výkonu 1487 MVA, kde je osazen transformátor 110/22 kV o výkonu 40 MVA. Z rozvodny 110/22 kV až do počítané TS vede jeden kabel AXEKVCEY 3x1x240 mm<sup>2</sup> o délce 2000 m. Tento kabel je v normálu provozován jako paprsek. Kabelový vývod je zapojen do systému s dalšími vývody a může tvořit kruh.

Pro výpočet třífázového zkratu vycházím ze schématu, které je na obrázku 1.



Obr.14 Schéma soustavy

Cílem při určování velikosti zkratu a zkratových proudů je zjistit počáteční rázový zkratový výkon  $S''_{ks}$  a počáteční rázový zkratový proud  $I''_k$ . Ty určím tak, že pomocí vztažných veličin přepočítám jednotlivé prvky elektrického systému zobrazeného na obrázku číslo 14 na poměrné reaktance, které následně pomocí pravidel pro sčítání sériově či paralelně řazených impedancí a s ohledem na místo, kde vznikne zkrat, sečtu.

Přepočet prvků elektrického systému na poměrné reaktance:

Při výpočtech uvažujeme poměrné reaktance, tj. vyjádření nikoli v ohmech, nýbrž v procentech jmenovité impedance příslušného zdroje. Přitom s procentními reaktancemi se počítá stejně jako s reaktancemi v ohmech.

Vztažné veličiny: vztažný výkon  $S_v = 1000 \text{ MVA}$

vztažné napětí  $U_v = 22000 \text{ V}$

Nadřazená distribuční soustava:

$$x'_s = 1,1 * \frac{S_v}{S''_{ks-sít}} = 1,1 * \frac{1000}{1487} = 0,740 \% \quad (1)$$

kde:

$S''_{ks-sít}$  ..... zkratový výkon sítě (rozvodny)

$S_v$  ..... vztažný výkon

Při výpočtu vstupní reaktance soustavy se počítá se zvýšením o 10 % (koeficient 1,1).

Transformátor 110/22 kV:

$$x'_{tr} = \frac{u_k\%}{100} * \frac{S_v}{S_{tr}} = \frac{10,88}{100} * \frac{1000}{40} = 2,72 \% \quad (2)$$

kde:

$u_k\%$  ..... procentní napětí nakrátko transformátoru 110/22 kV

$S_{tr}$  ..... výkon transformátoru

Kabelové vedení 22 kV:

$$x'_{kab} = Z_{kab} * \frac{S_v}{U_v^2} = 0,337 * \frac{1000 * 10^6}{22000^2} = 0,696 \% \quad (3)$$

kde

$$Z_{kab} = \sqrt{X_{kab}^2 + R_{kab}^2} = \sqrt{(2 * 0,113)^2 + (2 * 0,125)^2} = 0,337 \Omega \quad (4)$$

$Z_{kab}, X_{kab}, R_{kab}$  ..... impedance, reaktance, rezistence kabelu 22 kV  
 $U_v$  ..... vztažné napětí

$R_{kab} = 0,125 \Omega/\text{km}$ ,  $X_{kab} = 0,113 \Omega/\text{km}$  jsou zadané hodnoty ČEZ Distribuce pro kabel AXEKVECEY 240. Při výpočtu počítám s impedancí kabelu, uvažuji tedy reaktanci i rezistenci kabelu.

Celková zkratová reaktance soustavy:

Zjednodušením obvodu (sečtením sériových reaktancí) získám celkovou zkratovou reaktanci

$$x'_c = x'_s + x'_{tr} + x'_{kab} = 4,156 \% \quad (5)$$

Rázový zkratový výkon v místě počítané TS:

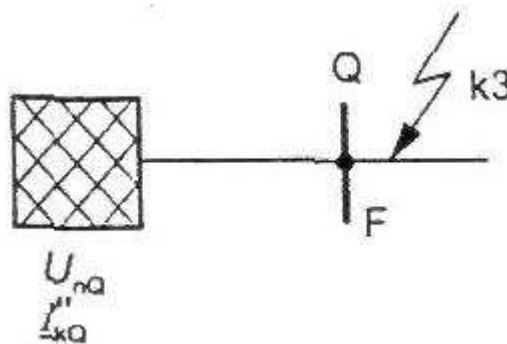
$$S''_{ks} = \frac{S_v}{x'_c} = \frac{1000}{4,156} = 240,6 \text{ MVA} \quad (6)$$

Rázový zkratový proud v místě počítané TS:

$$I''_k = \frac{S''_{ks}}{\sqrt{3} \cdot U_v} = \frac{240,6 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 22000} = 6314 \text{ A} \quad (7)$$

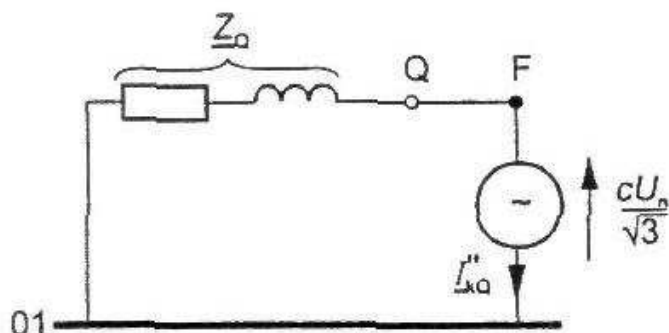
Kontrolně vypočtený rázový zkratový proud odpovídá zadané hodnotě  $I''_k = 5768 \text{ A}$ .

## 8.2 Zkratové výpočty na straně vn počítané transformovny



Obr. 15 – Zkrat napájený ze sítě





Obr. 16 – Ekvivalentní náhradní schéma obvodu

### Počáteční souměrný rázový zkratový proud $I''_k$

Vstupní (zadané) hodnoty ČEZ Distribuce, a. s.:

- počáteční souměrný rázový zkratový proud  $I''_k < 5,768 \text{ kA}$

### Nárazový zkratový proud $i_p$ na straně vn

Nárazový zkratový proud je maximální možná okamžitá hodnota zkratového proudu. Vzniká při maximální stejnosměrné složce v čase 0,01 s. Je směrodatný při určování dynamických účinků zkratového proudu.

Pro elektrická zařízení je definován jmenovitý dynamický zkratový proud  $I_{dyn}$ , pro který musí platit  $I_{dyn} \geq i_p$ .

- nárazový zkratový proud na straně vn  $i_p < 14,24 \text{ kA}$

$$i_p = \kappa * \sqrt{2} * I''_k = 1,74 * \sqrt{2} * 5,768 = 14,24 \text{ kA} \quad (8)$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 * e^{-3R/X} = 1,02 + 0,98 * e^{-3*0,241/2,410} = 1,74 \quad (9)$$

$$Z_Q = \frac{c * U_{nQ}}{\sqrt{3} * I''_{kQ}} = \frac{1,1 * 22000}{\sqrt{3} * 5768} = 2,42 \Omega \quad (10)$$

$$X = X_Q = 0,995 * Z_Q = 2,41 \Omega \quad (11)$$

$$R = R_Q = 0,1 * X_Q = 0,24 \Omega \quad (12)$$

kde:

$Z_Q$  .....ekvivalentní impedance sítě v bodě připojení napáječe

$U_{nQ}$  ..... jmenovité napětí soustavy v bodě připojení napáječe

$I''_{kQ} = I''_k$  .....počáteční souměrný rázový zkratový proud v bodě připojení napáječe

$c = 1,1$  ..... napěťový součinitel

$X, X_Q$  ..... reaktance, reaktance síťových napáječů

$R, R_Q$  ..... rezistence, rezistence síťových napáječů

$\kappa$  .....početní součinitel, který respektuje útlum zkratového proudu

$i_p$  ..... nárazový zkratový proud

## Ekvivalentní oteplovací proud $I_{th}$ na straně vn

Ekvivalentní oteplovací proud je základní hodnotou pro určování tepelných účinků zkratového proudu. Tepelné namáhání zařízení závisí na době trvání zkratu a průběhu zkratového proudu.  $I_{th}$  určujeme, abychom zjistili, jestli zkratový proud neohrozí kabely a další elektrická zařízení.

Pro elektrická zařízení je definován jmenovitý krátkodobý výdržný proud  $I_{kn}$  (pro daný čas), pro který musí platit  $I_{kn} \geq I_{th}$ . Je-li doba vypnutí zkratu jiná, pak se provádí přepočítání na čas, udaný výrobcem elektrického zařízení.

- ekvivalentní oteplovací proud na straně vn  $I_{th} < 6,68$  kA

$$I_{th} = I''_k * \sqrt{m + n} = 5,768 * \sqrt{0,34 + 1} = 6,68 \text{ kA} \quad (13)$$

$$m = \frac{e^{4fT_k \ln(\kappa-1)} - 1}{2 * f * T_k * \ln(\kappa-1)} = \frac{e^{4 * 50 * 0,1 * \ln(1,746-1)} - 1}{2 * 50 * 0,1 * \ln(1,746-1)} = 0,34 \quad (14)$$

$$n=1 \quad (15)$$

kde:

$I_{th}$  ..... ekvivalentní zkratový proud

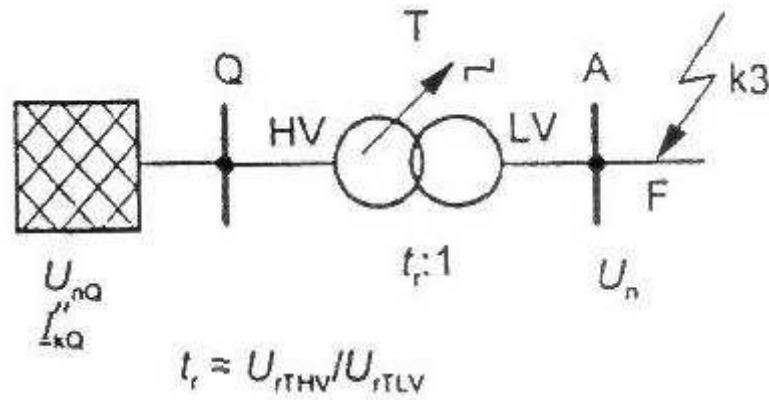
$m, n$  .....početní součinitele

$T_k$  .....doba trvání zkratového proudu (0,1 s)

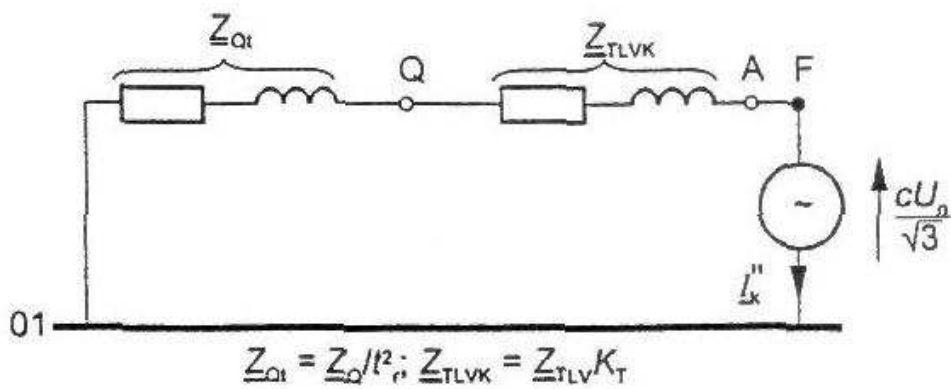
$f$  .....kmitočet (50 Hz)

Pro distribuční síť (elektricky vzdálené zkraty) se může použít  $n = 1$ . [4]

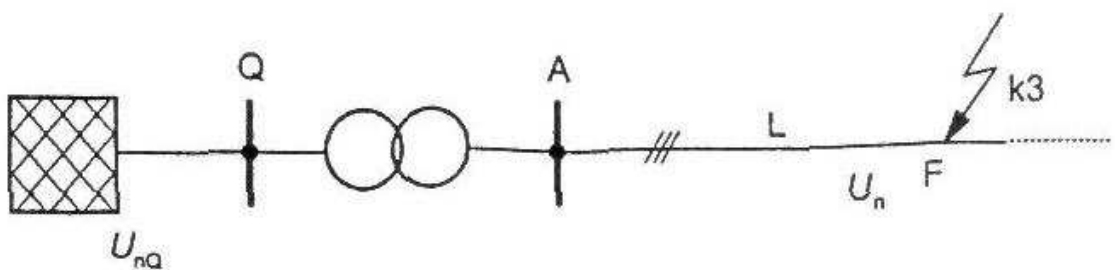
### 8.3 Zkratové výpočty na straně nn počítané transformovny



Obr. 17 – Zkrat napájený transformátorem ze sítě vn



Obr. 18 – Ekvivalentní náhradní schéma obvodu



Obr. 19 – Zkrat napájený ze síťové napáječe přes transformátor

## Počáteční souměrný rázový zkratový proud $I''_k$ na straně nn

- počáteční rázový zkratový proud na straně nn  $I''_k < 15,67$  kA

$$I_k = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{Z_k}} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{1,05 * 400}{\sqrt{3} * \sqrt{0,0027^2 + 0,0152^2}} = 15,67 \text{ kA}$$

(16)

$$R_k = R_{Qt} + R_{TK} + R_L$$

(17)

$$X_k = X_{Qt} + X_{TK} + X_L$$

(18)

kde:

$c = 1,05$  ..... napěťový součinitel

$c * U_n / \sqrt{3}$  ..... napětí ekvivalentního napěťového zdroje zkratu v místě zkratu

$Z_k$  ..... zkratová impedance

$R_k$  a  $X_k$  ..... součet sériově zapojených rezistencí a reaktancí sousledné soustavy podle obrázku 19

$R_L$  a  $X_L$  v rovnicích (17) a (18) neuvažují z důvodu krátkého kabelu.

$$Z_{Qt} = \frac{c * U_{nQ}}{\sqrt{3 * I''_{kQ}}} * \frac{1}{t_r^2} = \frac{1,1 * 22000}{\sqrt{3 * 5768}} * \frac{1}{55^2} = 0,00080 \Omega$$

(19)

$$X_{Qt} = 0,995 * Z_{Qt} = 0,00080 \Omega$$

(20)

$$R_{Qt} = 0,1 * X_{Qt} = 0,00008 \Omega$$

(21)

kde:

$Z_{Qt}$  ..... sousledná ekvivalentní zkratová impedance vztažená ke straně transformátoru s nižším napětím

$U_{nQ}$  ..... jmenovité napětí soustavy v bodě připojení napáječe Q

$I''_{kQ}$  ..... počáteční souměrný rázový zkratový proud v bodě připojení napáječe Q

$c$  ..... napěťový součinitel pro napětí  $U_{nQ}$

$t_r$  ..... jmenovitý převod transformátoru

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100\%} * \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{6}{100} * \frac{400^2}{630000} = 0,0152 \Omega$$

(22)

$$R_T = \frac{u_{Rr}}{100\%} * \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{krT}}{3 * I_{rT}^2} = \frac{6720}{3 * 909,3^2} = 0,0027 \Omega$$

(23)

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = 0,015 \Omega$$

(24)

kde:

$Z_T$  .....sousledná zkratová impedance (dvouvinuťového) transformátoru  
 $U_{rT}$  .....jmenovité napětí transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí  
 $I_{rT}$  .....jmenovitý proud transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí  
 $S_{rT}$  .....jmenovitý výkon transformátoru  
 $P_{krT}$  .....jmenovité ztráty nakrátko transformátoru  
 $u_{kr}$  .....jmenovité napětí nakrátko v procentech  
 $u_{Rr}$  .....činná složka jmenovitého napětí nakrátko transformátoru v procentech

$$K_T = 0,95 * \frac{c_{max}}{1+0,6*x_t} = 0,95 * \frac{1,05}{1+0,6*0,059} = 0,963 \quad (25)$$

$$x_T = \frac{X_T * S_{rT}}{U_{rT}^2} = \frac{0,015 * 630000}{400^2} = 0,059 \quad (26)$$

kde:

$K_T$  .....korekční součinitel pro impedanci (dvouvinuťového) transformátoru  
 $c_{max}=1,05$ ...napěťový součinitel, odpovídá jmenovitému napětí sítě připojené ke straně nižšího napětí síťového transformátoru  
 $x_T$  .....poměrná reaktance transformátoru

$$\text{Korigovaná impedance transformátoru } Z_{TK} = R_{TK} + jX_{TK} = K_T * (R_T + jX_T) \quad (27)$$

$$\text{kde } R_{TK} = K_T * R_T, X_{TK} = K_T * X_T$$

### Nárazový zkratový proud $i_p$ na straně nn

- nárazový zkratový proud na straně nn  $i_p < 35,39$  kA

$$i_p = \kappa * \sqrt{2} * I_k'' = 1,597 * \sqrt{2} * 15,67 = 35,39 \text{ kA} \quad (28)$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 * e^{-3R/X} = 1,02 + 0,98 * e^{-3*0,0027/0,0152} = 1,597 \quad (29)$$

### Ekvivalentní oteplovací proud $I_{th}$ na straně nn

- ekvivalentní oteplovací proud na straně nn  $I_{th} < 16,41$  kA

$$I_{th} = I_k'' * \sqrt{m + n} = 15,67 * \sqrt{0,097 + 1} = 16,41 \text{ kA} \quad (30)$$

$$m = \frac{e^{4fT_k \ln(\kappa-1)} - 1}{2*f*T_k*\ln(\kappa-1)} = \frac{e^{4*50*0,2*\ln(1,597-1)} - 1}{2*50*0,2*\ln(1,597-1)} = 0,097 \quad (31)$$

## 9. Rozvodná zařízení

Základními členy elektrických stanic všech druhů jsou elektrická rozvodná zařízení. Slouží k rozdělování elektrické energie a jejímu rozvádění do jednotlivých větví elektrizační rozvodné soustavy. Nejdůležitější parametry rozvodných zařízení jsou jmenovité napětí a zkratová odolnost. Zkratová odolnost rozvodných zařízení se vyjadřuje podle ČSN 33 3040 doporučenými hodnotami jmenovitých vypínacích proudů.

### **Základní parametry rozvodny vn 22 kV**

Jmenovité napětí.....22 kV

Nejvyšší provozní napětí.....25 kV

Jmenovitý kmitočet.....50 Hz

### **Základní parametry rozvodny nn**

Jmenovité napětí.....400/230 V

Nejvyšší provozní napětí.....440/253 V

Jmenovitý kmitočet.....50 Hz

Napěťové soustavy pomocných obvodů

Přenos signálů.....24 V DC

Signalizace.....230 V, 50 Hz

## 9.1 Rozvodna vn

Rozvodna vn 22 kV bude osazena kompaktním rozvaděčem s izolací SF<sub>6</sub>, který bude v majetku SŽDC.

### Navrhovaný rozvaděč vn

#### Kompaktní rozvaděč SF<sub>6</sub> pro vnitřní prostředí

Vnitřní kovově krytý vn rozvaděč s izolací SF<sub>6</sub> v kompaktním provedení, ve složení: přívodní kabelové pole 1 - přívodní kabelové pole 2 - pole vývodu na transformátor.

#### Technické parametry rozvaděče:

jmenovitý kmitočet.....	50 Hz
jmenovité napětí vn .....	22 kV
nejvyšší trvalé napětí vn .....	25 kV
jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulsu .....	125kV
jmenovité výdržné střídavé napětí, 50 Hz .....	50kV
jmenovitý proud přípojnic.....	630 A
jmenovitý proud odboček.....	630A
jmenovitý krátkodobý výdržný proud (t <sub>k</sub> =1s).....	20 kA
jmenovitý dynamický výdržný proud (t <sub>k</sub> =1s).....	50kA
jmenovitý zkratový proud pojistky.....	50kA
spínací páka ve společné funkci pro uzemňovač a odpínač	

#### Vybavení přívodního kabelového pole (odpínač s uzemňovačem) 2x

kapacitní indikátor Capdis

pomocný spínač pro odpínač .....

3Z, 3V
--------

pomocný spínač pro uzemňovač.....

2Z, 2V
--------

tlakový spínač

reléová nadstavba (výška 300 mm)

svodiče přepětí pro síť s výše uvedenými parametry (CSA),  $I_k = 10 \text{ kA}$

kabelové držáky pro 22 AXEKVCEY 3 x 1 x 120/16 mm<sup>2</sup>

Veškeré kontakty pomocných spínačů, tlakového spínače a indikátoru Capdis (signální kontakty a napájecí vstupy) budou vyvedeny do reléových skříněk na svorkovnici.

#### Vybavení pole vývodu na transformátor

vn pojistky pro transf. 630 kVA , 32 A

pomocný spínač pro odpínač .....3Z, 3V

pomocný spínač pro uzemňovače.....2Z, 2V

vypínací cívka AC.....230 V

tlakový spínač

pomocný spínač hlášení vybavení od pojistky

reléová nadstavba (výška 300 mm )

kabelové držáky pro 22 CXEKVCEY 3 x 1 x 35/16 mm<sup>2</sup>

kabelová koncovka integrovaná do pojistkového pouzdra

-veškeré volné kontakty pomocných spínačů, tlakového spínače, vypínací cívky budou vyvedeny do reléové skříně na svorkovnici

Celkové rozměry: 1700 x 980 x 700 (v x š x h)

Uvedené specifikaci odpovídá například výrobek firmy Ormazabal typové označení GA2K1TS.





Obr. 20 Příklad provedení rozvodny vn s kovově krytým rozvaděčem. Rozvaděč obsahuje dvě přívodní pole 22 kV a jeden vývod na transformátor.

## 9.2 Rozvodna nn

Rozvodna nn bude osazena hlavním rozvaděčem RH o pěti polích. Dále bude v rozvodně nn umístěn rozvaděč kompenzace, rozvodnice pro přenos energetických dat a řízení kompenzace pro potřeby SŽDC a elektroměrová rozvodnice pro umístění měření ČEZ Distribuce, a. s.. Rozvaděč kompenzace bude s hlavním rozvaděčem RH propojen kabelem.

### Hlavní rozvaděč nn - RH

Rozvaděč RH bude oceloplechový rozvaděč pro vnitřní prostředí o 5 polích + pole rohové umístěný v rozvodně nn. Podrobné řešení přístrojové náplně a osazení přístrojů není součástí této diplomové práce. Z důvodu provozního utajení systému není zveřejněno osazení zařízení v plném rozsahu.

## Technické parametry rozvaděče RH

Napěťová soustava.....3 NPE ~ 50 Hz, 230/400 V, TN-C-S

Ochrana před nebezpečným dotykem.....samočinným odpojením od zdroje

Krytí.....IP 40, po otevření dveří IP 00, vyjma pole přívodu

Nátěry.....typově odstín RAL 7032

Přívody a vývody.....spodem

### Přípojnice

jmenovitý proud.....1200 A

dynamický zkratový proud.....40 kA

### Specifikace jednotlivých polí

#### Pole č. 1 - pole přívodu

(v x š x h) 2000 x 600 x 500 mm

Skříň s dveřmi, zadním, levým a pravým bočním odnímatelným zákrytem. Pole bude vybaveno plombovatelnými zákryty pro zajištění neměřené části Pole stojí na podstavci výšky 100 mm.

#### Pole č. 2 - pole vývodů nn

(v x š x h) 2000 x 800 x 500 mm Skříň s dveřmi a zadním zákrytem.

Pole stojí na podstavci výšky 100 mm.

### Rohový díl

2000 x 560 x 560 mm

Rohový díl stojí na podstavci výšky 100 mm.

Pole č. 3 .. 4 - pole vývodů nn

(v x š x h) 2000 x 600 x 500 mm Skříň s dveřmi a zadním zákrytem.

Pole stojí na podstavci výšky 100 mm.

Pole č. 5 - pole vývodů nn

(v x š x h) 2000 x 600 x 500 mm

Skříň s dveřmi, zadním a pravým bočním zákrytem.

Pole stojí na podstavci výšky 100 mm.



Obr. 21 Příklad provedení rozvodny nn - rozvaděč RH

### 9.3 Obchodní měření

Elektroměrová rozvodnice ČEZ Distribuce, a. s. bude umístěna v rozvodně nn. Tato rozvodnice bude osazena čtyřkvadrantovým digitálním elektroměrem, z kterého budou přes optoizolační člen vyvedeny impulsy 1/4 hod. maxima, činné spotřeby (kWh), induktivní spotřeby (kVAR+) a kapacitní (kVAR-) spotřeby jalové práce pro potřeby monitoringu spotřeby SŽDC. Ve vstupním poli rozvaděče RH, budou osazeny proudové měniče (měřicí transformátory proudu) s převodem 750/5, třída přesnosti 0,5, 10 VA, s protokolem o úředním ověření autorizovanou zkušebnou.

Podružná měření budou vybavena elektronickým elektroměrem schváleným SŽDC pro fakturační měření. Měníče pro podružná měření budou také dodány s protokolem o úředním ověření autorizovanou státní zkušebnou.

Odečet spotřeby elektrické energie bude realizován dálkově (v rozvodně nn bude k dispozici telefonní linka pro dálkový odečet).

#### **9.4 Poruchové stavy, ochrana proti přetížení a zkratu, přepětí**

V poli vývodu na transformátor rozvodny 22 kV bude osazen odpínač s pojistkou 32 A, jako ochrana proti zkratu. Před přetížením bude transformátor chráněn na straně nn v hlavním poli rozvaděče hlavním jističem s nastavitelnou nadproudovou spouští (zkrat i přetížení). Vývody nn jsou chráněny pojistkovými odpínači, jističi případně proudovými chrániči a relé. Jako ochrana proti přepětí jsou osazeny svodiče přepětí na straně nn v hlavním poli rozvaděče RH a na straně vn v přívodních polích rozvaděče 22 kV.

#### **9.5 Kompenzace**

Kompenzační rozvaděč bude realizován skříňovým rozvaděčem (vxšxh) 200x800x500 mm s podstavcem 100 mm. Rozvaděč bude situován v rozvodně nn vedle hlavního pole rozvaděče RH. S rozvaděčem RH bude propojen kabelem. Počet kompenzačních stupňů je celkem 8, z toho je 6 kapacitních stupňů o velikostech 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 32 kVAr a 2 indukční stupně o velikosti 5 - 10 kVAr.

Řízení kompenzačního rozvaděče a zapínání kompenzačních stupňů bude prováděno automaticky dálkově pomocí přenosové a regulační jednotky Správy železniční energetiky (SŽDC), která prostřednictvím pomocných relé bude spínat jednotlivé kompenzační stupně.

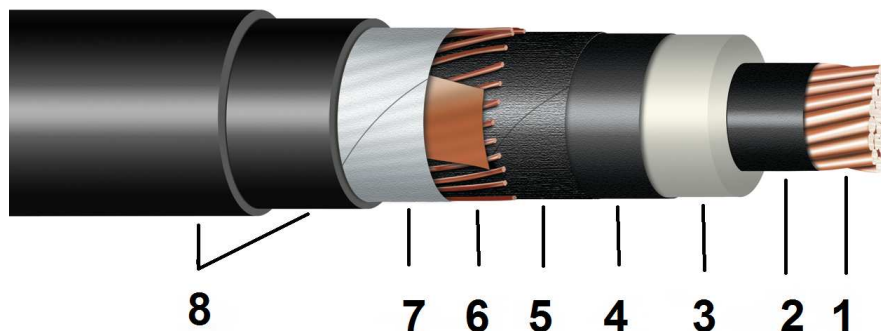


Obr. 22 Rozvaděč kompenzace. Dole induktivní stupně, nad nimi kompenzační stupně (kondenzátory).

## 9.6 Silové rozvody vn

Propojovací vedení z rozvodny vn na vn stranu transformátoru bude provedeno třemi jednožilovými Cu kabely, které budou uloženy v kanálech na dně ve svazku. V trafokomoře budou vn kabely uchyceny v kabelových držácích. Silový rozvod vn začíná na svorkách L1, L2, L3 v poli vývodu rozvodny 22 kV a končí v připojovacích svorkách L1, L2, L3 primární strany transformátoru. Pro silový rozvod vn bude použit dvouplášťový kabel 22-CXEKVCEY. Skládá se z následujících vrstev:

1. Měděné jádro
2. Vnitřní polovodivá vrstva
3. Izolace ze zesíleného polyetylenu
4. Vnější polovodivá vrstva
5. Polovodivá vodoblokující páska
6. Stínění měděnými dráty s protispirálou z měděné pásky
7. Vodoblokující páska
8. Vnější plášť PE+PVC



Obr. 23 Konstrukce dvouplášťového kabelu 22-CXEKVCEY

Na základě níže provedených výpočtů z hlediska proudového zatížení a z hlediska oteplení zkratovým proudem bude použit kabel 22-CXEKVCEY 1x35/16, kde 35 mm<sup>2</sup> je průřez jádra a 16 mm<sup>2</sup> je průřez stínění.

Vlastnosti kabelu ( katalogové údaje)

Jmenovité napětí $U_f / U$	12,7/22 kV	Minimální teplota skladování	-25 °C
Maximální napětí	25 kV	Minimální teplota pokládky	-5 °C
Zkušební napětí	50 kV	Barva izolace	přírodní
Provozní teplota jádra	+90 °C	Barva pláště	černá/červená
Max. provoz. teplota při zkratu	+250 °C	balení	bubny
Ekvival. zkratový proud	3,20 kA	Zatížitelnost na vzduchu	200 / 235 A
Časová oteplovací konstanta	278 / 202 sec	Poloměr ohybu	510 mm

Tab. 2 Vlastnosti a parametry kabelu 22-CXEKVCEY uvedené výrobcem

Podle výrobní dokumentace tohoto kabelu je určen pro volné uložení ve vzduchu na nosné konstrukce, do země, do tvárnic, do trubek z nemagnetického materiálu. Je odolný proti podélnému šíření vlhkosti. Uložení dle ČSN 33 2000-5-52 je možné v prostředí obyčejném i vlhkém.

## 9.7 Silové rozvody nn

Silové vývody nn strany transformátoru budou provedeny jednožilovými Cu kabely, které budou uchyceny v kabelových držácích. Propojovací vedení nn z transformovny bude provedeno jednožilovými CU kabely. Silové vývody nn začínají na svorkách L1, L2, L3, PEN sekundární strany transformátoru a končí v rozvodně nn v poli č. 1 rozvaděče RH na připojovacích svorkách hlavního jističe s nastavitelnou proudovou spouští. Pro silový rozvod nn bude použit kabel 1-YY. Skládá se z následujících vrstev:

1. Měděné jádro
2. Izolace PVC
3. Plášť PVC



Obr. 24 konstrukce kabelu 1-YY

Na základě níže provedených výpočtů z hlediska proudového zatížení a z hlediska oteplení zkratovým proudem bude použit kabel 1-YY 1x240, kde 240 mm<sup>2</sup> je průřez jádra.

Vlastnosti kabelu (katalogové údaje)

Jmenovité napětí $U_0 / U$	0,6/1 kV	Barva pláště	černá
Zkušební napětí	4 kV	Odolnost proti šíření plamene	ČSN EN 60332-1-2
Max.provozní teplota při zkratu	+160 °C	Zatížitelnost na vzduchu	617 A
Max.provozní teplota jádra	+70 °C	Ekvivalentní zkratový proud	27,561 kA
Rozsah teplot při provozu	-35 až +70 °C	Časová oteplovací konstanta	977 sec

Tab. 3 Vlastnosti a parametry kabelu 1-YY uvedené výrobcem

Podle výrobní dokumentace tohoto kabelu je určen pro pevné uložení ve vnitřních a venkovních prostorách, v zemi, v betonu.

## 9.8 Ostatní kabeláž v transformovně

Statický kondenzátor v trafokomoře pro kompenzaci proudu naprázdno bude připojen ke svorkám transformátoru kabelem CYKY 4Bx2,5.



Obr. 25 Kabel CYKY 4Bx2,5

Ovládací, signalizační a pomocné napájecí rozvody budou provedeny Cu kabely a šňůrami a vedeny na kabelových lávkách. Vodiče se signály do dispečerské řídicí techniky budou vedeny odděleně od ostatních kabelů. Kabely pro obchodní měření budou po celé trase mechanicky chráněny trubkou.



## 10. Dimenzování vodičů a zařízení

### 10.1 Kontrola silových vodičů z hlediska proudového zatížení

Kabel vn 22-CXEKVCEY 1x35/16 mm<sup>2</sup> - jmenovitá zatížitelnost ..... $I_{1NV} = 200$  A

Kabel nn 1-YY 1x240 mm<sup>2</sup> - jmenovitá zatížitelnost..... $I_{2NV} = 617$  A

2 x 1-YY 1x240 mm<sup>2</sup> - jmenovitá zatížitelnost ..... $I_{2NV} = 1234$  A

Hodnoty jmenovité proudové zatížitelnosti  $I_{NV}$  pro daný typ vodiče stanoví výrobce vodiče podle fyzikálních vlastností použitých materiálů.

Pro výpočty uvažuji rozmezí  $\cos\varphi = <0,95; 1>$ .

Jmenovitý primární proud transformátoru 22/0,4 kV určíme jako:

$$I_{1N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U*U_N*\cos\varphi} = \frac{630000}{\sqrt{3}*22000*1} = 16,5 \text{ A} \quad (32)$$

$$I_{1N0,95} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U*U_N*\cos\varphi} = \frac{630000}{\sqrt{3}*22000*0,95} = 17,4 \text{ A} \quad (33)$$

Jmenovitý sekundární proud transformátoru 22/0,4 kV určíme jako:

$$I_{2N} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U*U_N*\cos\varphi} = \frac{630000}{\sqrt{3}*400*1} = 909,3 \text{ A} \quad (34)$$

$$I_{2N0,95} = \frac{S_N}{\sqrt{3}U*U_N*\cos\varphi} = \frac{630000}{\sqrt{3}*400*0,95} = 957,2 \text{ A} \quad (35)$$

Navržené kabelové vedení tedy vyhovuje z hlediska proudového zatížení. Z výpočtů plyne, že  $I_{1N0,95} < I_{1NV}$  a  $I_{2N0,95} < I_{2NV}$ . Z důvodu, že kabelová vedení jsou krátká, nejsou ve výpočtech uvažovány přepočítací součinitele proudové zatížitelnosti dle ČSN 33 2000-5-523.

### 10.2 Kontrola silových vodičů z hlediska oteplení zkratovým proudem

Vodiče pro siloproudý rozvod musí být navrženy tak, aby odolaly také účinkům zkratových proudů. Tyto proudy mohou být několikanásobně větší, než proudy odpovídající jmenovitému zatížení. Účinky zkratu na siloproudý rozvod se dělí na dynamické a tepelné. Dynamické účinky jsou silové účinky mezi vodiči protékajícími vysokými zkratovými proudy. Tepelné účinky způsobují tepelné namáhání vodiče a potažmo izolace.

Z hlediska dynamického namáhání uvažují stav, že vodiče budou uchyceny v odpovídajících kabelových držácích a budou tak před silovými účinky zkratových proudů chráněny.

S tepelnými účinky, kdy zkrat ohřívá jádro kabelu, potažmo izolaci vodiče a jeho okolí je však nutné počítat. Každá z vyjmenovaných částí kabelu má svoji dovolenou teplotu, kterou trvale či krátkodobě vydrží.

Zkratový proud je časově proměnný, proto se pro výpočty působení převádí na rovnocenný (ekvivalentní) fiktivní proud, který vyvine stejné množství tepla po dobu trvání zkratu jako proud zkratový. Pro ověření schopnosti vodičů odolat tepelným účinkům časově proměnného zkratového proudu  $i_k(t)$  se provede substituce konstantním ekvivalentním oteplovacím zkratovým proudem  $I_{th}$ :

$$I_{th} = \sqrt{\frac{1}{t_k} \int_0^{t_k} i_k^2(t) dt} \quad (36)$$

kde:

$t_k$  .....doba trvání zkratu

$i_k$  .....okamžitá hodnota zkratového proudu

Ekvivalentní oteplovací zkratový proud  $I_{th}$  je možno určit podle normy [4] jako násobek počátečního rázového zkratového proudu podle vztahu:

$$I_{th} = I_k'' * \sqrt{m + n} \quad (37)$$

kde koeficienty  $m, n$  jsou hodnoty dané normou.

Hodnoty určené v odstavci 9:

Ekvivalentní oteplovací zkratový proud na straně vn ..... $I_{th} < 6,68$  kA

Ekvivalentní oteplovací zkratový proud na straně nn ..... $I_{th} < 16,41$  kA

Kontrola vodičů spočívá v určení minimálního průřezu vodičů  $S_{kmin}$ , který vyhoví z hlediska tepelného namáhání zkratovými proudy tak, že po dobu působení ekvivalentního oteplovacího proudu nedojde k zahřátí vodiče nad přípustnou mez.

$$S_{kmin} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{K} \quad (38)$$

kde:

$$K = \sqrt{\frac{c_0}{\rho_{20}} (\vartheta_f + 20) \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1}} \quad (39)$$

$$\vartheta_f = \frac{1}{\alpha} \quad (40)$$

přičemž:

- $\alpha$  .....teplotní odporový součinitel materiálu vodiče ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )
- $\vartheta_f$  .....fiktivní teplota vodiče podle materiálu ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $c$  .....je specifické teplo vodiče při  $0^{\circ}\text{C}$  ( $\text{J} \cdot \text{cm}^{-3} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ )
- $\rho_{20}$  .....měrný odpor při  $20^{\circ}\text{C}$  ( $\text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ )
- $\vartheta_k$  .....maximální dovolená teplota vodiče při zkratu ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $\vartheta_1$  .....maximální dovolená provozní teplota vodiče (jádra) ( $^{\circ}\text{C}$ )

Při návrhu musí platit podmínka, že skutečný průřez vodiče musí být větší nebo roven minimálnímu průřezu vodiče, tedy

$$S \geq S_{kmin} \quad (41)$$

Vodiče, které splňují podmínku uvedenou v rovnici (41) jsou odolné vůči tepelným účinkům zkratového proudu.

### Výpočet minimálního průřezu pro kabel vn 22-CXEKVCEY 1x35/16 mm<sup>2</sup>

$$S_{kmin} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{K} = \frac{6678 \cdot \sqrt{0,1}}{137} = 15,4 \text{ mm}^2 \quad (42)$$

kde:

$$K = \sqrt{\frac{c_0}{\rho_{20}} (\vartheta_f + 20) \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1}} = \sqrt{\frac{3,5}{0,018} (250 + 20) \ln \frac{(250+250)}{(250+90)}} = 137 \text{ As}^{1/2} \text{ mm}^{-2} \quad (43)$$

$$\vartheta_f = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0,004} = 250 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (44)$$

$S > S_{kmin}$ , zvolený kabel 22-CXEKVCEY 1x35/16 mm<sup>2</sup> odolá tepelným účinkům zkratových proudů.

## Výpočet minimálního průřezu pro kabel nn 1-YY 1x240 mm<sup>2</sup>

$$S_{kmin} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{K} = \frac{16408 \cdot \sqrt{0,2}}{137} = 53,6 \text{ mm}^2 \quad (45)$$

kde:

$$K = \sqrt{\frac{c_0}{\rho_{20}} (\vartheta_f + 20) \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1}} = \sqrt{\frac{3,5}{0,018} (250 + 20) \ln \frac{(250+250)}{(250+90)}} = 137 \text{ As}^{1/2} \text{ mm}^{-2} \quad (46)$$

$$\vartheta_f = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{0,004} = 250 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (47)$$

$S > S_{kmin}$ , zvolený kabel 1-YY 1x240 mm<sup>2</sup> odolá tepelným účinkům zkratových proudů.

### 10.3 Kontrola dynamických účinků zkratového proudu

Vzhledem k použité kompaktní technologii, kdy jsou sběrnice uzavřené v kompaktním systému, neuplatní se nárazový zkratový proud  $i_p$  na vodiče. Pouze je třeba porovnat parametry zařízení (štítkové hodnoty) s vypočtenými hodnotami. Pro elektrická zařízení je definován jmenovitý dynamický zkratový proud  $I_{dyn}$ , pro který musí platit  $I_{dyn} \geq i_p$ .

Z porovnání štítkových hodnot vyplývá, že zvolená zařízení odolají dynamickým účinkům zkratového proudu.

# 11. Kompenzace proudu naprázdno transformátoru

Za normálních provozních podmínek některá elektrická zařízení, například transformátor, nespotřebovávají ze sítě pouze činnou energii, ale i energii jalovou. Ta je nezbytná - z fyzikálního hlediska - pro zajištění správné funkce těchto zařízení. Součet obou energií ale zatěžuje přenosové sítě. Snahou je připojit ke spotřebiči správně navržený kondenzátor, který dodává jalovou energii přímo spotřebiči. Sníží se tím velikost jalové energie, přenášené po síti. Toto řešení označujeme jako kompenzaci jalové energie.

Kvalita kompenzace se udává účíníkem  $\cos \varphi$ , což je poměr činného a zdánlivého výkonu. Ideálním stavem je docílit  $\cos \varphi = 1$ . Odběratel v ČR je penalizován za účíník nižší než 0,95.

Jsou používány tyto druhy kompenzace: individuální, skupinová a centrální. U individuální kompenzace je kondenzátor spínán přímo se spotřebičem. Skupinová a centrální kompenzace je vhodná pro rozsáhlejší elektrické systémy s proměnnou zátěží. Spínání kondenzátorů je řízeno mikroprocesorovým regulátorem, který zajišťuje dosažení optimálního účíníku.

Kondenzátory jsou určeny pro individuální, skupinovou nebo centrální kompenzaci jalového induktivního výkonu v sítích nízkého napětí.

Jalový výkon  $Q$ , potřebný k dosažení požadovaného účíníku, dodá právě kompenzační kondenzátor.



Obr. 26 Kompenzační kondenzátory nn

Dále je uveden postup stanovení velikosti výkonu kompenzačního kondenzátoru pro kompenzaci proudu naprázdno transformátoru.

## Výpočtové vztahy

jmenovitý proud transformátoru primární strany

$$I_N = \frac{S_N}{\sqrt{3} * U_N} \quad (48)$$

kde:

$S_N$  ..... jmenovitý výkon transformátoru

$U_N$  .... jmenovité napětí transformátoru na primární straně

proud naprázdno transformátoru

$$I_0 = I_N * \frac{I_{0(\%)}}{100} \quad (49)$$

kde:

$I_{0(\%)}$  ..... procentní proud naprázdno transformátoru

zdánlivý výkon naprázdno transformátoru

$$S_0 = \sqrt{3} * U_N * I_0 \quad (50)$$

výkon kompenzačního kondenzátoru

$$Q = \sqrt{S_0^2 - P_0^2} \quad (51)$$

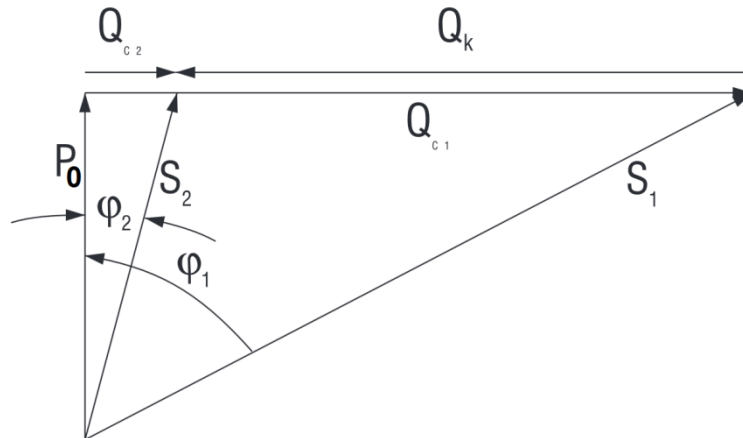
$$Q = P_0 * (tg \varphi_1 - tg \varphi_2) = P_0 * (tg \arccos \varphi_1 - tg \arccos \varphi_2) \quad (52)$$

kde:

$P_0$  ..... ztráty naprázdno transformátoru

$\varphi_1$  ..... fázový úhel před kompenzací

$\varphi_2$  ..... fázový úhel po provedení kompenzace



Obr. 27 Princip kompenzace jalového výkonu

Účinnost transformátoru naprázdno bez kompenzace

$$\cos\varphi_0 = \frac{P_0}{S_0} \quad (53)$$

### Vstupní hodnoty

Vstupní hodnoty:		transformátor 1	transformátor 2	[ ]
Jmenovitý výkon transformátoru	$S_N$	630000	630000	VA
Jmenovité napětí	$U_N$	22000	22000	V
Ztráty (příkon) naprázdno transformátoru	$P_0$	2000	1650	W
Proud naprázdno procentní	$I_0$ (%)	1,31	1,17	%

Tabulka 4 - parametry vzorového transformátoru 630 kVA pro normální ztráty podle údajů katalogu výrobce EXIMET trafo, spol. s.r.o.

## Vypočtené hodnoty

<b>Vypočtené hodnoty:</b>		transformátor 1	transformátor 2	[ ]
Jmenovitý proud transformátoru (primární strana)	$I_N$	16,533	16,533	A
Proud naprázdno	$I_0$	0,217	0,193	A
Zdánlivý výkon naprázdno transformátoru	$S_0$	8253	7371	VA
Kompenzační výkon kondenzátoru	Q	<b>8007</b>	<b>7184</b>	VAr

Tabulka 5 – mezivýsledky a vypočtené hodnoty Q

<b>Kontrolní výpočty:</b>		transformátor 1	transformátor 2	[ ]
Účinnost naprázdno bez kompenzace	$\cos \varphi$	0,242	0,224	
Kompenzační výkon kondenzátoru pro $\cos \varphi = 1$	$Q_1$	8007	7184	VAr
Kompenzační výkon kondenzátoru pro $\cos \varphi = 0,95$	$Q_{0,95}$	7350	6642	VAr

Tabulka 6 – porovnání hodnot kompenzačního výkonu kondenzátoru pro rozmezí krajních hodnot  $\cos \varphi = <0,95 ; 1>$

## Vyhodnocení výpočtů kompenzace

Pro vykompenzování proudu naprázdno transformátoru 1 bude na sekundární straně transformátoru osazen kondenzátor o výkonu 8 kVAR. V případě použití transformátoru 2 bude osazen kondenzátor o výkonu 7 kVAR.

Vzhledem k požadavku na dodržení účinnosti v rozmezí hodnot 0,95 – 1 jsou v tabulce č. 6 kontrolně vypočtené hodnoty kompenzačního výkonu pro účinnost  $\cos \varphi = 0,95$ . Výkon kompenzačního kondenzátoru se může pohybovat v rozmezí 7350 Var – 8007 Var pro transformátor 1, respektive 6642 Var - 7184 Var pro transformátor 2. Při nižší hodnotě kompenzačního výkonu bude systém nedokompenzován, při vyšší hodnotě bude překompenzován.

Poznámka: Hodnotu kompenzačního výkonu je nutno počítat z hodnot proudu naprázdno a ztrát naprázdno uvedených v protokolu o měření daného transformátoru. Ten je možné získat u výrobce transformátoru. Protože protokol o měření transformátoru nebyl při zpracování diplomové práce k dispozici, jsou použity tabulkové hodnoty sériově vyráběných transformátorů uváděné výrobcem.



## 12. Vnitřní uzemnění

Uzemnění bude provedeno páskem FeZn 30x4, který se opatří zeleným nátěrem se žlutým pruhem.

Zemnicí pásek bude propojen se základovým zemničem a vnějším uzemněním na přípojnici 0,5 m nad podlahou uvnitř budovy transformovny přes rozpojitelné zkušební svorky.

V rozvodně vn bude uzemněn rám pod rozvaděč a skříň rozvaděče. Dále se provede uzemnění stínění kabelů.

V trafokomoře se uzemní nosná konstrukce pro kondenzátor a sekundární kabely, kolejnice, kostra transformátoru, konstrukce se zatahovacím okem pro transformátor a uzel transformátoru.

V rozvodně nn se uzemní rámy pod rozvaděče, skříně kovových rozvaděčů a provede se provozní uzemnění.

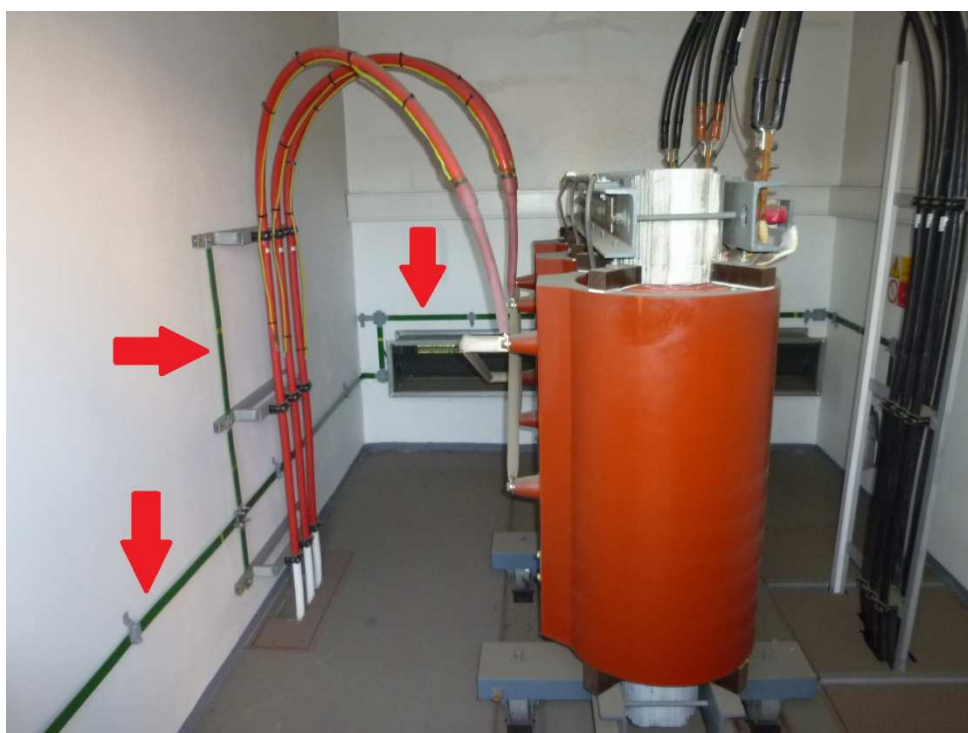
Způsob provedení vnitřního uzemnění je vyznačen v příloze č. 1.



Obr. 28 Příklad vnitřní uzemnění – pásek FeZn 30x4



Obr. 29 Příklad vnitřní uzemnění v rozvodně vn



Obr. 30 Příklad vnitřní uzemnění v trafokomoře

## 13. Vnější uzemnění

Uzemňovací soustava bude provedena dle PNE 330000-1, ČSN 33 2000-5-54 a ČSN 33 3201 a bude společná pro zařízení vn a nn.

Celkový odpor uzemnění vodičů PEN odcházejících vedení z transformovny včetně uzemněného středu (uzlu) zdroje (transformátoru), nemá být pro síť TN o jmenovitém napětí proti zemi  $U_0 = 230V$  větší než  $2\Omega$ .

System TN-S začíná v rozvaděčích rozvodny NN.

V průběhu budování zemnicí soustavy se provede orientační měření za účelem případného rozšíření uzemňovací soustavy.

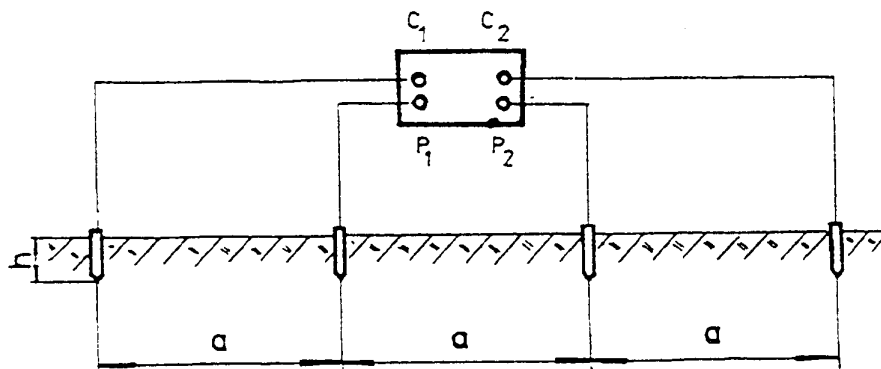
### Určení rezistivity půdy

V místě předpokládaného umístění transformovny bylo provedeno geoelektrické měření odporu půdy Wenerovou metodou.

$$\rho = 2\pi * a * R * K \quad (54)$$

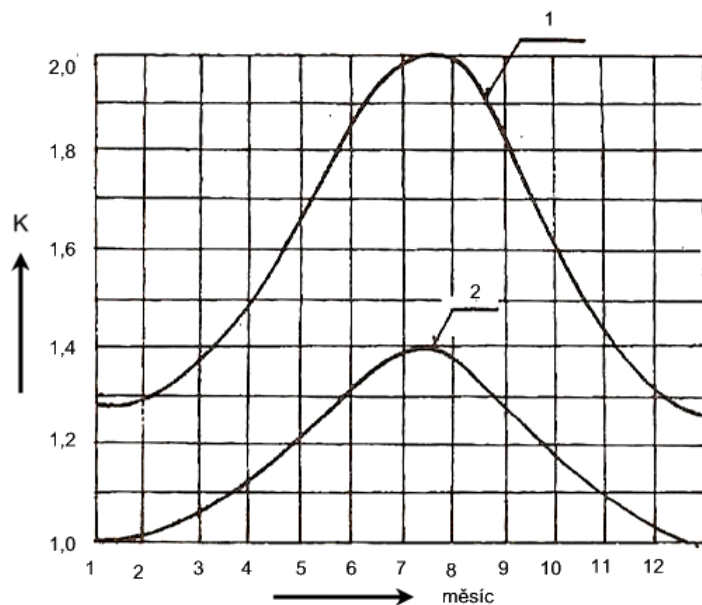
kde:

- $\rho$  .....rezistivita půdy
- $a$  .....vzdálenost mezi elektrodami
- $R$  .....naměřený odpor
- $K$  .....součinitel závislý na ročním období



Obr. 31 Měření měrného odporu půdy Wenerovou metodou

Součinitel  $K$  se určí s pomocí obr. 32.



Závislost činitele  $K$  na ročním období:

1 - křivka udávající hodnoty  $K$  pro měření v deštivém období,

2 - křivka udávající hodnoty  $K$  pro měření v suchém období.

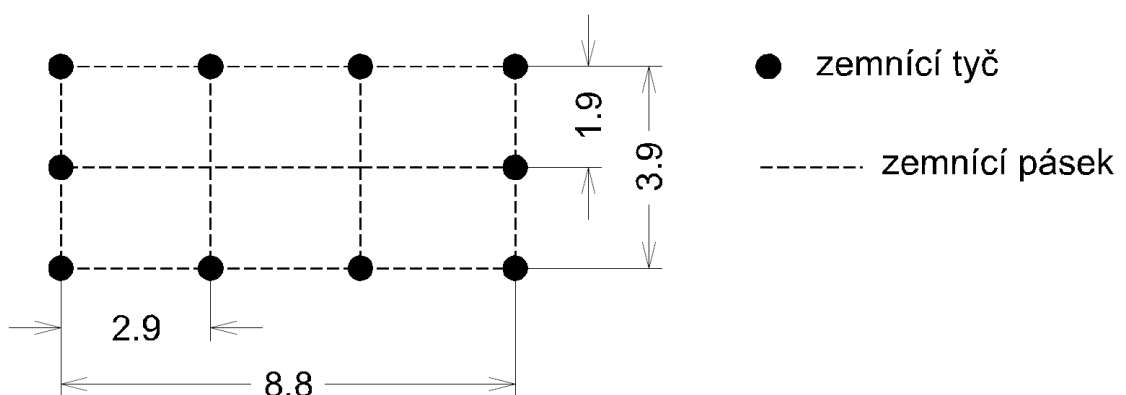
Obr. 32 Křivky, podle nichž se eliminuje vliv počasí a ročního období na naměřený odpor uzemnění (obr. NA.1B ČSN 33 2000-5-54).

Pro další výpočty uvažují měrný zemní odpor  $\rho = 51,5 \Omega\text{m}$ , který byl zjištěn na základě provedených geoelektrických měření.

### Navržené řešení

Zemní síť je navržena z obvodových zemničů tvořených zemnicím páskem FeZn 30/4 vzájemně propojených. K vnějšímu obvodovému zemniči je připojeno celkem 10 tyčových zemničů se zemnicími tyčemi FeZn,  $\varnothing 28 \text{ mm}$  délky 4 m.

Návrh a připojení hromosvodu tato diplomová práce neřeší.



Obr. 33 zemní síť

## Výpočet zemnicí sítě transformovny

Zemnicí síť je počítána jako soustava mřížový zemnič a zemní tyče. Nejprve je nutné určit zemní odpor mřížového zemniče a zemní odpor tyčového zemniče. Matematické vztahy jsou uvedeny v [3]. Výsledná kombinace spojených zemničů je určena s využitím [6].

Výpočtový zemní odpor půdy ..... $\rho = 51,5 \Omega\text{m}$

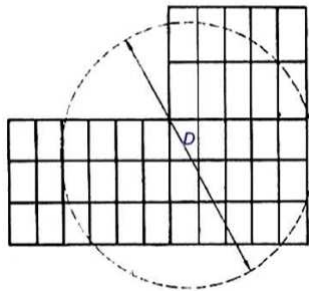
### Zemní odpor mřížového zemniče

Mřížový zemnič je tvořen zemnicím páskem FeZn 30/4 mm nekrhového tvaru (obdélníkový zemnič).

$l_{oz} = 42 \text{ m}$  .....celková délka vodičů obdélníkového zemniče dle obr. 33  
 $s = 34,32 \text{ m}^2$  .....plocha zemnicí mříže

Ekvivalentní průměr

$$D = \sqrt{\frac{4*s}{\pi}} = \sqrt{\frac{4*34,32}{\pi}} = 6,61\text{m} \quad (55)$$



Obr. 34 Ekvivalentní průměr obdélníkového zemniče

Zemní odpor mřížového zemniče

$$R_1 = \frac{\rho}{2D} + \frac{\rho}{l_{oz}} = \frac{51,5}{2*6,61} + \frac{51,5}{42} = 5,12\Omega \quad (56)$$

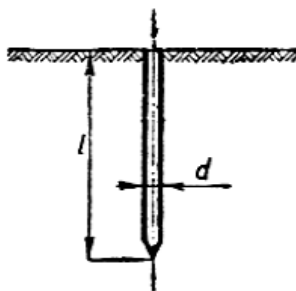
### Zemní odpor tyčového zemniče

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi l} * \ln \frac{4l}{d} = \frac{51,5}{2*\pi*4} * \ln \frac{4*4}{0,028} = 13\Omega \quad (57)$$

kde:

$l$  .....délka zemní tyče

$d$  .....průměr zemní tyče



Obr. 35 Jednoduchý tyčový zemnič (zemní tyč)

### Celkový zemní odpor soustavy

$$R = \frac{1}{\frac{\eta_1 * \eta_2 * n}{R_2} + \frac{1}{R_1}} = \frac{1}{\frac{0,6 * 0,9 * 10}{11,58} + \frac{1}{5,12}} = 1,64 \Omega \quad (58)$$

kde:

$R_1$  .....zemní odpor mřížového zemniče

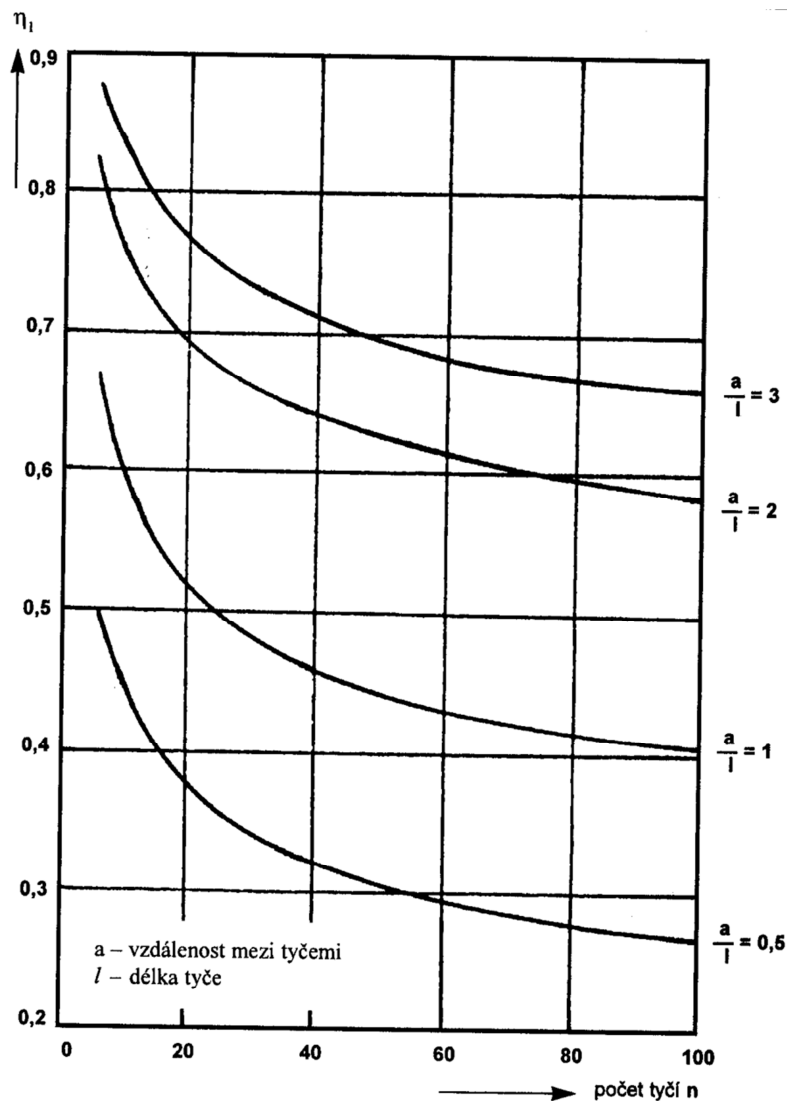
$R_2$  .....zemní odpor tyčového zemniče

$\eta_1$  .....koeficient využití tyčí, který závisí na poměru vzdálenosti mezi tyčemi a jejich délky viz obr. 36 (poměr  $a / l = 3/4$ , pro výpočty zvoleno  $a/l \sim 1$ )

$\eta_2$  .....koeficient využití soustavy tyčí a spojovacího pásku, prakticky je  $\eta_2=0,9$

$n$  .....počet tyčí,  $n=10$

$a$  .....vzájemná vzdálenost zemních tyčí



Obr. 36 Koeficient využití tyčových zemničů

### Vyhodnocení vypočtených hodnot

Porovnáním výsledků výpočtu a požadavků na zemničí síť je zřejmé, že zemní odpor zemničí sítě je podle navržené konfigurace vyhovující a navržená zemničí síť je na základě zjištěné rezistivity půdy dostatečná.

$$R_z = R = 1,64\Omega \leq 2\Omega = R_{dov} \quad (59)$$

V případě, že dojde po položení zemničí sítě k odlišným výsledkům celkového vypočteného zemního odporu soustavy a zemní odpor bude vykazovat hodnotu vyšší, než je požadovaných  $2\Omega$ , je nutné zemničí síť rozšířit.

## Kontrola uzemnění z hlediska dovolených dotykových napětí $U_{Tp}$

Společné uzemnění pro elektrická zařízení vn a nn v transformovně je třeba kontrolovat z hlediska požadavků PNE 33 0000-1 podle vztahu:

$$R_B \leq \frac{U_{Tp}}{I_E} = \frac{U_{Tp}}{r \cdot I_{res}} = \frac{U_{Tp}}{r \cdot 0,1 \cdot I_C} \quad (60)$$

kde:

$R_B$  ..... celkový zemní odpor uzemnění vodičů PEN (případně PE) všech odcházejících vedení z transformovny včetně odporu uzemněného středu (uzlu) zdroje

$U_{Tp}$  ..... dovolené dotykové napětí pro zařízení nad 1 kV pro omezené trvání průtoku proudu dle tabulky 4 v [2]

$I_E$  ..... zemní proud na straně vn

$I_{res}$  ..... zbytkový proud zemního spojení.

Pokud není známa přesná hodnota, může se u správně vykompenzovaných sítí uvažovat, že  $I_{res}$  je 10 % z  $I_C$

$I_C$  ..... vypočtený nebo změřený zemní kapacitní proud

$r$  ..... redukční činitel

### Vstupní údaje:

Distribuční transformovny vn/nn se společným uzemněním vn a nn patří mezi zařízení s dovoleným dotykovým napětím 75 V [2].

Zadaná hodnota (změřeného) kapacitního proudu  $I_C$  zjištěná u ČEZ Distribuce je 195 A.

### Výpočet:

$$R_B \leq \frac{75}{0,84 \cdot 0,1 \cdot 195} = 4,58 \Omega \quad (61)$$

Hodnota  $r = 0,84$  je zjištěná z tabulky P5 PNE 33 0000-4 [20].

Dosazením za  $R_B = R_Z$  dostaneme

$$1,64 \Omega \leq 4,58 \Omega \quad (62)$$

Společné uzemnění vn a nn transformovny splňuje podmínky PNE 33 0000-1.



## **Uvedení do provozu**

Po položení nové zemnicí sítě musí být provedeno měření a to jednak celkového zemního odporu tak i změření dotykového a krokového napětí. Protože dotyková a kroková napětí prakticky nelze vypočítat, resp. ani experimentální vztahy neposkytují výsledky srovnatelné se skutečně naměřenými hodnotami, je nutné tato napětí vždy měřit. V případě, že zemní odpor nové zemnicí sítě trafostanice bude větší než  $2 \Omega$  nebo dotykové a krokové napětí na veřejně přístupných místech bude větší než 75 V, bude nutné zemnicí síť rozšířit. V případě, že nevyhoví pouze dotyková napětí, je možné položit nevodivou vrstvu ze štěrků a makadamu a tím zajistit dodatečnou izolaci snížením dotykového a krokového napětí na požadovanou hodnotu.

## 14. Bezpečnostní opatření

Po dobu výstavby je stanice považována za zařízení bez napětí. Objekt musí být před zahájením montážních prací zajištěn před vstupem nepovolaných osob. Před uvedením stanice do provozu musí být zařízení odzkoušeno.

V transformovně budou instalovány bezpečnostní tabulky viz příloha č. 1. Dále se provede označení holých vodičů. K dispozici budou také výstražné a místní bezpečnostní a pracovní předpisy. Před rozvaděč vn a nn bude položen dielektrický koberec. Do trafokomory bude instalována dřevěná zábrana.

Při realizaci stavby je třeba zajistit bezpečnost pracovníků v souladu s ČSN EN 50110-1 "Obsluha a práce na elektrických zařízeních".

Při vstupu do trafokomory je třeba odstranit dřevěnou zábranu. Při manipulaci se statickým kondenzátorem v prostoru trafokomory je třeba brát ohled na dobu vybití kondenzátoru po odpojení!

Technologické zařízení se může instalovat do stavebně dokončené a vysušené stavby, podmínky při instalaci musí odpovídat prostředí, pro které je technologické zařízení určené.

V souladu s PNE 38 1981 budou v transformovně umístěny základní ochranné pomůcky pro trafostanici:

1. Izolační koberec elektrický v rozvodnách vn a nn,
2. Záchranný hák – ČSN 35 9701,
3. Bezpečnostní tabulky (viz příloha 7),
4. Plakát První pomoc při úrazech elektřinou,
5. Plakát jednopólové schéma zařízení (nástěnné),
6. Telefonní čísla jednotek požární ochrany, bezpečnosti, záchranné zdravotní služby,
7. Hasící přístroj sněhový (přednostně) nebo práškový dle ČSN EN 3-3, 3-6, 3-7+A1 případně ČSN 38 9160.

## 15. Záloha v případě poruchy TS

V případě poruchy na transformátoru přichází v úvahu možnost dočasně zapůjčit náhradní transformátor například od ČEZ Distribuce. Olejové transformátory distributora sice odpovídají jiným požadavkům požárních předpisů, ale pro dočasnou náhradu lze takové řešení použít.

Dle sdělení ČEZ Distribuce, a. s. není možné dočasné napájení kabelovým vedením nn z blízké distribuční transformovny 22/0,4 kV. Vzhledem k tomu, že se jedná o velkoodběratelskou cizí transformovnu, nemohou být rozvody nn propojeny do distribuce. Jedná se o odběr kategorie B, tedy že odběr je připojen do napěťové hladiny 22 kV.

## 16. Majetkoprávní vztahy

### 16.1 Majetkoprávní vztahy k objektům transformovny

Transformovna včetně silnoproudých technologických zařízení (rozvaděč vn, transformátor, rozvaděče nn a další) bude v majetku SŽDC.

Přívodní kabelová smyčka 22 kV bude ve vlastnictví ČEZ Distribuce a je ukončena na svorkách odpínačů vn.

Hranice vlastnictví mezi ČEZ Distribuce a SŽDC jsou kabelové koncovky vn a přívodní svorky odpínačů vn v odběratelské transformovně SŽDC.

Po uplynutí lhůty, stanovené v dotaci z EU (transformovna je součástí stavby částečně hrazené z fondů EU) je předpoklad, že ČEZ Distribuce bude rozvaděč vn odkupovat.

SŽDC nemá stanovenou povinnost udržovat kabelovou smyčku. Fyzický vstup pracovníků ČEZ Distribuce, a. s. do rozvodny vn 22 kV bude realizován na základě dohody mezi provozovatelem SŽDC a ČEZ Distribuce, a. s. (systém jednotného klíče a podobně). SŽDC nemá právo manipulovat s odpínači vn pro smyčku. Proti neoprávněné manipulaci s odpínači pro kabelovou smyčku ČEZ Distribuce, a. s. si energetický závod může osadit visací zámky na ovládací otvory pro spínací páky.

### 16.2 Pozemky dotčené stavbou

Prostorové a majetkoprávní vztahy mezi stavbou transformovny a dotčenými nemovitostmi řeší majetkoprávní dokumentace stavby, která má textovou část, dokladovou část a grafickou část. Textová část obsahuje seznam dotčených pozemků s uvedením vlastníků, nejčastěji ve formě přehledné tabulky. Grafická část obsahuje podle rozsahu a velikosti stavby buď jednoduchý zákres objektu na podkladu katastrální mapy, nebo složitější záborový elaborát. Dokladová část obsahuje výpisy z katastru nemovitostí a listiny (například smlouvy). V rámci územního řízení zkoumá příslušný stavební úřad právní titul, na základě kterého je stavebník oprávněn na dotčeném pozemku stavbu realizovat.

Mohou nastat dva případy:

- stavebník je zároveň vlastníkem dotčeného pozemku,
- stavebník není vlastníkem dotčeného pozemku.

Pokud není stavebník zároveň vlastníkem pozemku, je nutné stavebnímu úřadu v rámci územního řízení doložit souhlas vlastníka pozemku se stavbou.

V podmínkách české železnice zatím panuje stav, kdy pozemky a budovy v železničních stanicích patří akciové společnosti České dráhy, zatímco pozemky mimo železniční stanice jsou ve vlastnictví České republiky v právu hospodařit pro SŽDC. Výhledově se plánuje, že i pozemky v železničních stanicích přejdou pod SŽDC, realizace se však stále odsouvá.

V případě stavby na pozemku akciové společnosti České dráhy, kde investorem je státní organizace Správa železniční dopravní cesty, je právním titulem viz výše například smlouva o provedení stavby.

Pro následné zřizování služebnosti práva uložení stavby technické infrastruktury nebo práva přístupu na pozemek platí dohoda uzavřená mezi akciovou společností České dráhy a státní organizací Správa železniční dopravní cesty. Na základě této dohody nejsou pozemky pod stavbami technické infrastruktury v majetku jedné ze stran vzájemně zatěžovány služebnostmi v katastru nemovitostí.

Odlišně od ujednání mezi ČD a SŽDC bude majetkoprávně řešena přípojka vn v majetku ČEZ Distribuce, a. s.. Podmínkou ČEZ Distribuce je, že v rámci stavebního objektu přeložky a úpravy napájecího kabelu vn 22 kV pro napájení transformovny bude na dotčeném pozemku zřízena služebnost umístění, práva přístupu a údržby kabelového vedení.

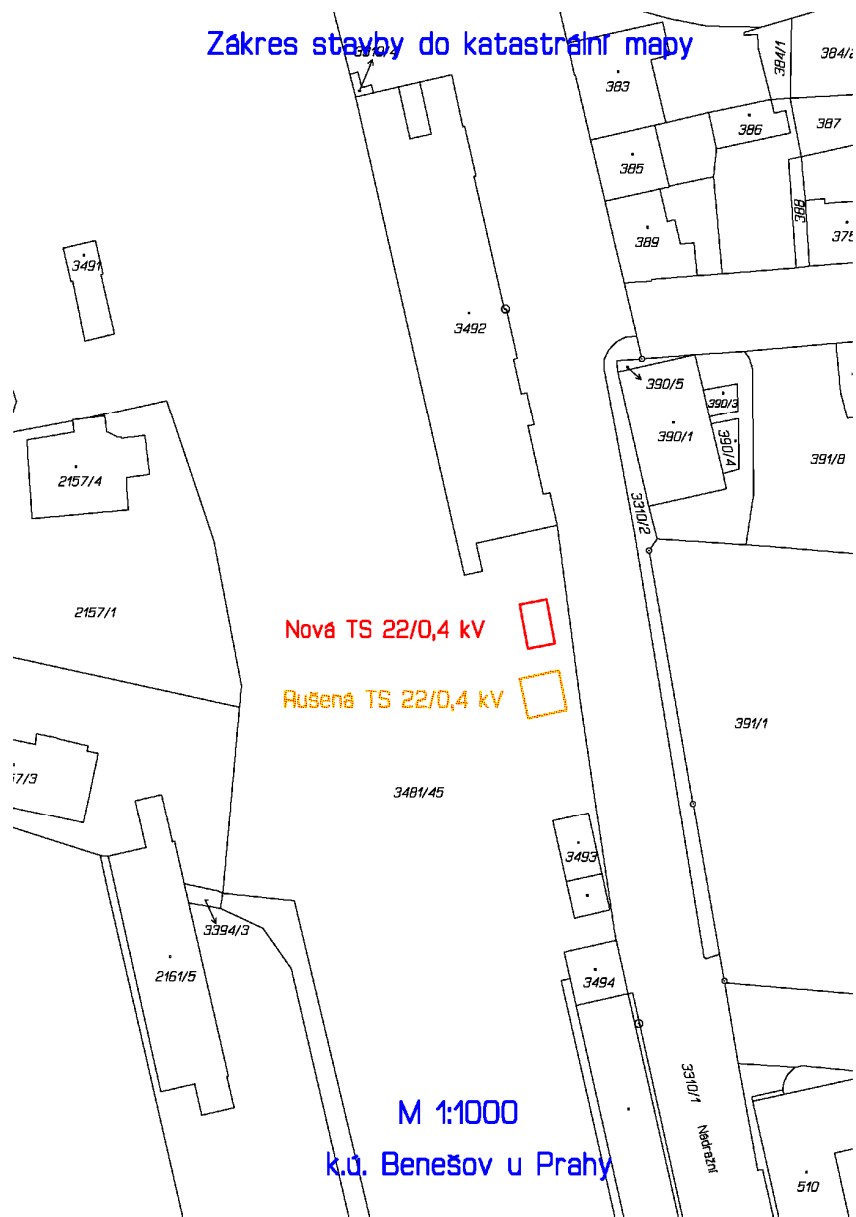
## **Umístění transformovny v terénu**

Umístění do terénu je zvoleno vedle stávající transformovny a podchodu. Identifikace dotčeného pozemku a vlastnických vztahů je provedena za použití podkladů katastru nemovitostí. Jako podklady z katastru nemovitostí pro projektování a umísťování staveb do terénu slouží soubor geodetických informací a soubor popisných informací katastru. Soubor geodetických informací tvoří katastrální mapa. Soubor popisných informací jsou zejména údaje o nemovitostech a právech včetně údajů o vlastnících a údaje jiných právech zapisovaných do katastru.

Porovnáním s katastrální mapou vyplývá, že nová transformovna se bude nacházet na pozemku parcelní číslo 3481/45 v katastrálním území Benešov u Prahy.

## Grafická část

Zákres stavby do katastrální mapy:



Obr. 37 Zákres stavby do katastrální mapy

## Dokladová část

Pozemky dotčené stavbou:

Katastrální území	parcelní číslo	druh pozemku	způsob využití pozemku	List vlastnictví	Vlastnické právo
Benešov u Prahy	3481/45	ostatní plocha	dráha	6313	České dráhy, a.s., nábřeží Ludvíka Svobody 1222/12, Nové Město, 11000 Praha 1

## Informativní výpis z katastru nemovitostí získaný službou nahlížení do katastru nemovitostí:

Informace o pozemku | Nahlížení do katastru nemovitostí

<http://nahlizeni.dokn.cuzk.cz/ZobrazObjekt.aspx?encrypted=3ZW50Lc...>

### Informace o pozemku

Parcelní číslo:	3481/45/ž
Obec:	Benešov [529303]ž
Katastrální území:	Benešov u Prahy [602191]
Číslo LV:	6313
Výměra [m <sup>2</sup> ]:	61587
Typ parcely:	Parcela katastru nemovitostí
Mapový list:	DKM
Určení výměry:	Ze souřadnic v S-JTSK
Způsob využití:	dráha
Druh pozemku:	ostatní plocha



### Vlastníci, jiná oprávnění

Vlastnické právo	Podíl
České dráhy, a.s., nábřeží Ludvíka Svobody 1222/12, Nové Město, 11000 Praha 1	

### Způsob ochrany nemovitosti

Nejsou evidovány žádné způsoby ochrany.

### Seznam BPEJ

Parcela nemá evidované BPEJ.

### Omezení vlastnického práva

Typ
Věcné břemeno (podle listiny)
Věcné břemeno vedení
Věcné břemeno zřizování a provozování vedení

### Jiné zápisy

Nejsou evidovány žádné jiné zápisy.

Nemovitost je v územním obvodu, kde státní správu katastru nemovitostí ČR vykonává [Katastrální úřad pro Středočeský kraj](#), [Katastrální pracoviště Benešov ž](#).

Zobrazené údaje mají informativní charakter. Platnost k 19.12.2014 03:26:01.

© 2004 - 2014 Český úřad zeměměřičký a katastrální ž, Pod sídlištěm 1800/9, Kobylisy, 18211 Praha 8 ž, [cuzk@cuzk.cz](mailto:cuzk@cuzk.cz)  
Podání určená katastrálními úřady a pracovišti zasílejte přímo na jejich e-mail adresu ž.

Verze aplikace: 5.1.0 build 1

1 z 1

19.12.2014 5:14

Obr. 38 Informativní výpis z katastru nemovitostí

Souhlas vlastníka pozemku s provedením stavby na pozemku nebo obdobná smlouva mezi vlastníkem pozemku a stavebníkem: v této práci neobsazeno.

Souběžně s majetkoprávní dokumentací se v rámci projednávání a povolování stavby předkládají další podklady, například vyjádření dotčených orgánů státní správy a vyjádření správců inženýrských sítí.

## 17. Uvedení do provozu

Před uvedením transformovny do provozu je nutné provést její výchozí revizi.

Pro všechna elektrická zařízení, která mohou ohrozit lidské zdraví, užitková zvířata nebo majetek a okolní prostředí za stanovených podmínek provozu elektrickým proudem nebo napětím nebo jevy vyvolanými účinky elektřiny platí ČSN 33 1500, Revize elektrických zařízení, pokud jiné předpisy nestanoví odlišné požadavky.

Účelem revize elektrických zařízení je ověřování jejich stavu z hlediska bezpečnosti.

### Výchozí revize:

Nová elektrická zařízení je možno uvést do provozu jen tehdy, byl-li jejich stav z hlediska bezpečnosti ověřen výchozí revizí, popřípadě ověřen a doložen dokladem v souladu s požadavky stanovenými zvláštními právními předpisy viz [19].

Podklady pro provádění výchozí revize jsou:

- dokumentace elektrického zařízení odpovídající skutečnému provedení,
- protokoly o určení druhu prostředí, pokud nejsou součástí dokumentace,
- písemné doklady o provedení výchozích revizí částí elektrických zařízení,
- záznamy o kontrolách, zkouškách a měření provedených na elektrickém zařízení před jeho uvedením do provozu,
- doklady stanovené jiným předpisem,
- písemné záznamy o provedených opatřeních a kontrolách.

Výstupním dokumentem je zpráva o výchozí revizi elektrického zařízení zpracovaná revizním technikem. Zde je nejprve specifikován druh, předmět a rozsah revizní zprávy. Obsahuje soupis použitých přístrojů, soupis provedených úkonů, soupis zjištěných závad, datum zahájení a ukončení revize, vypracování a předání revizní zprávy, jméno a podpis revizního technika, naměřené hodnoty, pokud nejsou obsaženy v dokladech použitých pro sestavení revizní zprávy.

V úvodu se zpravidla sepíší popisy elektrických zařízení, vodičů, jejich provedení, způsob propojení a další důležité údaje.

V rámci revize je prováděna kontrola barevného značení vodičů, měření izolačního stavu kabelů, měření přechodových odporů ochranného obvodu, zkouška zvýšeným napětím, měření uzemňovací soustavy, měření impedančních smyček, zkouška proudových chráničů. Podle typu osazených zařízení jsou dále přiloženy například zkušební protokol transformátoru,



zkušební protokol rozvaděče 22 kV, zkušební protokol rozvaděče nn, které poskytne výrobce těchto zařízení.

V závěru zprávy musí být uveden výrok (zhodnocení) revizního technika, zda revidované elektrické zařízení je schopno bezpečného provozu a provozní způsobilosti. V případě, že při revizi byly zjištěny závady, musí být v revizní zprávě uvedeno, s jakým ustanovením normy nebo jiného předpisu jsou v rozporu. V případě, že elektrické zařízení nebo jeho část nelze do doby odstranění zjištěných závad provozovat, musí být uvedeno zdůvodnění.

V případě nové transformovny může být stanoven zkušební provoz.

### Pravidelné revize

Provozovaná elektrická zařízení, kromě zařízení podle článku 3.2 v [19], musí být pravidelně revidována nejpozději ve lhůtách stanovených dle [19].

## 18. Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo navrhnout transformovnu 22/0,4 kV pro napájení železniční stanice. Na základě výpočtu náročnosti odběru jsem zvolil technologii transformovny. Návrh obsahuje budovu transformovny, transformátor a rozvodná zařízení. Parametry uzemnění transformovny jsem navrhnul s ohledem na ochranu před nebezpečným dotykem. Vhodnost použité technologie jsem ověřil na základě zkratových výpočtů. V závěrečné části diplomové práce řeším umístění transformovny do terénu a majetkoprávní vztahy. Poslední kapitola je věnována uvedení transformovny do provozu.

Při zpracování diplomové práce jsem si vyzkoušel a uvědomil celou řadu postupů a souvislostí. V rámci obstarání podkladů proběhla komunikace s provozovatelem distribuční soustavy, výrobcí zařízení a vyzkoušel jsem si hledání norem ČSN a jejich aplikaci.

## 19. Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN 50121-1, Drážní zařízení, EMC
- [2] PNE 33 0000-1, Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě, web <http://www.csres.cz/>
- [3] ČSN 332000-5-54, Uzemnění a ochranné vodiče
- [4] ČSN EN 60909-0, Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – část 0: Výpočet proudů
- [5] Fencí F., Elektrický rozvod a rozvodná zařízení, ISBN 80-01-02771-6, skriptum ČVUT 2006
- [6] Kočvara A, Uzemňování elektrických zařízení, kniha, STRO.M spol. s.r.o., 1995
- [7] Trávníček J. a kol., Energetika v dopravě , kniha, NADAS Praha 1989
- [8] Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, články a fotodokumentace dostupné na webu [www.szdc.cz](http://www.szdc.cz)
- [9] SUDOP Praha, a.s., Optimalizace trati Benešov u Prahy – Strančice, projekt, 2005
- [10] Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, Technické kvalitativní podmínky staveb státních drah, Kapitola 29 – silnoproudá technologická zařízení, Praha 2000, dostupné na [http://typdok.tudc.cz/Files/TKP/TKP\\_3\\_SeznamKapitol.htm](http://typdok.tudc.cz/Files/TKP/TKP_3_SeznamKapitol.htm)
- [11] Verzich V., Napájecí systémy železničních zabezpečovacích zařízení, České dráhy, a.s., 2005
- [12] Elektrizace železnic Praha, a.s, webové stránky [www.elzel.cz](http://www.elzel.cz)
- [13] Elpro energo, katalogy výrobků, webové stránky <http://www.elpro-energo.cz/>
- [14] Eximet trafo, spol s.r.o., katalogy výrobků, web <http://www.eximettafo.cz/>
- [15] ZEZ Silko, s.r.o., katalogy výrobků, web <http://www.zez-silko.cz/>
- [16] Eaton Elektrotechnika s.r.o., katalog výrobků, web <http://www.eatonelektrotechnika.cz/>
- [17] nkt cables s.r.o., katalogy výrobků, web <http://www.nktcables.com/cz/>

[18] vzdělávací portal s tematikou dopravních staveb, web <http://projekt150.havvel.cz/node/28>

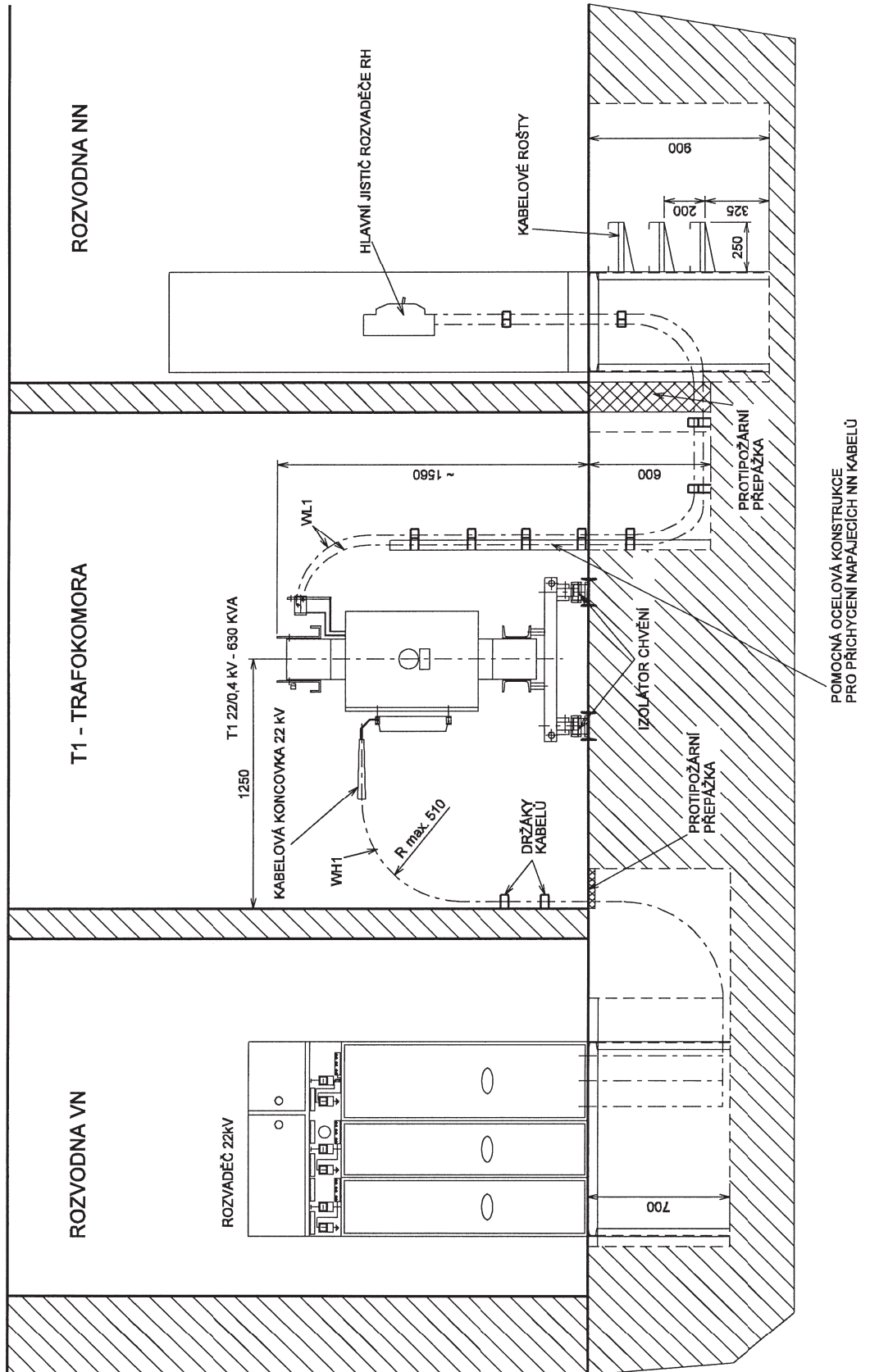
[19] ČSN 33 1500, Revize elektrických zařízení

[20] PNE 33 0000-4, Příklady výpočtů uzemňovacích soustav v distribuční a přenosové soustavě dodavatele elektřiny, web <http://www.csres.cz/>



# Příloha 2 - Řezy - pohledy

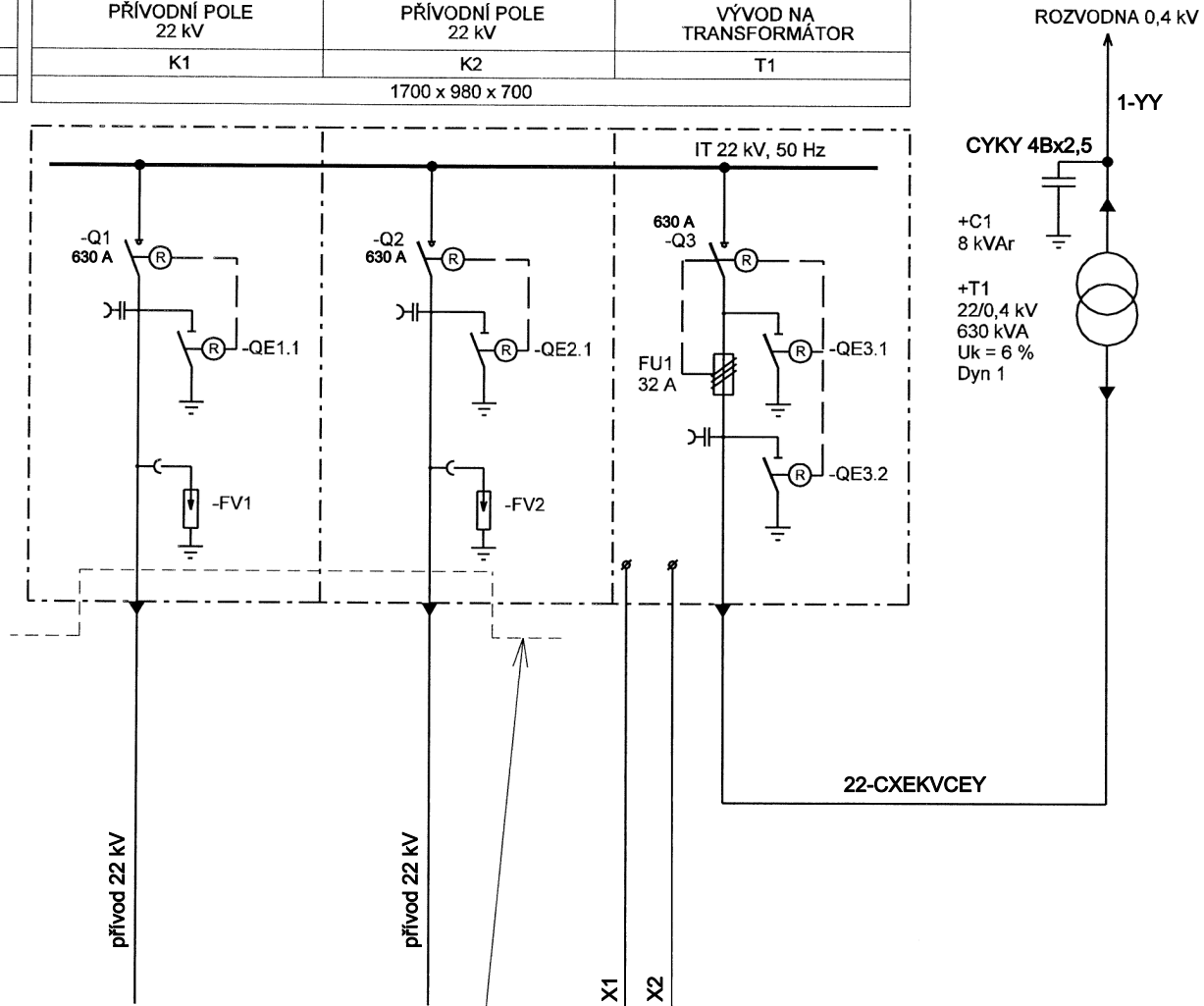
A - A



# Příloha 3 - Přehledové schéma 22 kV

ROZVODNA 22 kV  
+R22 kV (KOVOVĚ KRYTÝ ROZVADĚČ S IZOLACÍ SF6)

ČÍSLO POLE	1	2	3
NÁZEV POLE	PŘÍVODNÍ POLE 22 kV	PŘÍVODNÍ POLE 22 kV	VÝVOD NA TRANSFORMÁTOR
OZNAČENÍ POLE	K1	K2	T1
ROZMĚRY (v x š x h)	1700 x 980 x 700		



hranice mezi ČEZ Distribuce, a. s. a SŽDC

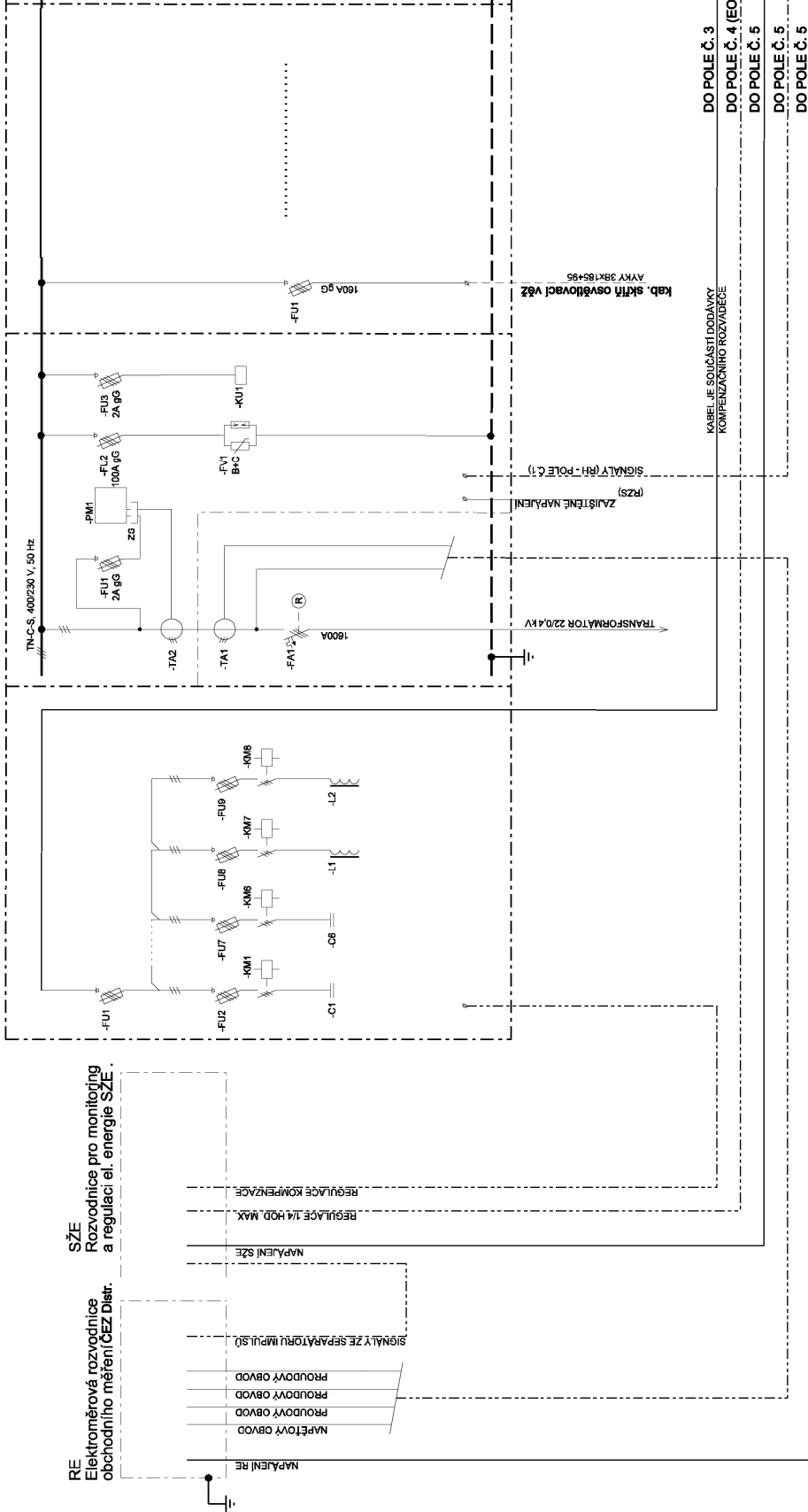
X1: zajištěné napájení z RZS

X2: signály pro jednotlivá pole rozvaděče vn (zapnutí/vypnutí odpínače Q a uzemňovače QE, tlak SF6 v pořádku/pokles, stav napětí VN relé) z RH

# Příloha 4 - Přehledové schéma 0,4 kV

Z důvodu provozního utajení systému není zveřejněno osazení zařízení v plném rozsahu.

+RK		+RH	
PORADOVÉ ČÍSLO POLE	1	2	3
FUNKČNÍ OZNAČENÍ	K	NN	NN
NÁZEV POLE	KOMPENZE	VÝVODY NN	OHŘEV VÝMĚN
ROZMĚR POLE (v x š x h)	2000 x 800 x 500	2000 x 800 x 500	VÝVODY NN
			5
			NN



- DO POLE Č. 3
- DO POLE Č. 4 (EOM)
- DO POLE Č. 5
- DO POLE Č. 5
- DO POLE Č. 5

RE  
Elektroměrová rozvodnice obchodního měření ČEZ Distr.  
NAPÁJENÍ RE  
NAPĚŤOVÝ OBVOD  
PROUDOVÝ OBVOD  
PROUDOVÝ OBVOD  
SIGNÁLY ZE SEPARÁTORU IMPULSŮ  
NAPÁJENÍ SŽE  
REGULACE 1/4 HOD. MAX.  
REGULACE KOMPENZE

SŽE  
Rozvodnice pro monitoring a regulaci el. energie SŽE  
REGULACE 1/4 HOD. MAX.  
REGULACE KOMPENZE