

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Návrh napájení areálu bioplynové stanice a vyvedení  
jejího výkonu do distribuční sítě**

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI**

**Fakulta elektrotechnická**

**Akademický rok: 2014/2015**

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Aleš BLÁHA**  
Osobní číslo: **E13N0160P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Návrh napájení areálu bioplynové stanice a vyvedení jejího výkonu do distribuční sítě**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

1. Popište způsob vyvedení výkonu bioplynové stanice do sítě VN a pro přípojný bod zkontrolujte podmínky pro připojení zdroje do sítě.
2. Navrhněte průřez připojovacího vedení VN a výkon transformátoru VN/NN pro vyvedení výkonu do sítě VN.
3. Navrhněte konfiguraci rozvodné sítě v areálu bioplynové stanice, navrhněte průřezy a jištění hlavních napájecích kabelů k jednotlivým objektům v areálu.
4. Výsledky návrhu zpracujte odpovídající formou.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Pravidla provozování distribučních soustav, 2011**
2. **ČSN 34 1610 Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách**
3. **ČSN 332000-5-523 Elektrická zařízení, část 5 Výběr a stavba el. zařízení - Dovolené proudy**
4. **Příručka elektrotechnika - Jisticí přístroje I a II, firemní materiály OEZ, 2012**
5. **Tesařová M., Štroblová M. - Průmyslová elektroenergetika, ZČU, Plzeň 2000**

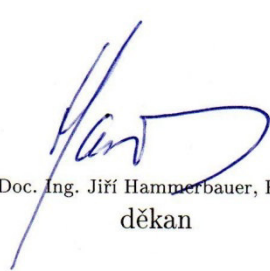
Vedoucí diplomové práce:

**Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.**


Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2015**

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



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

V Plzni dne 15. října 2014

## **Prohlášení**

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

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

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

V Plzni dne 4.5.2015

Jméno příjmení

.....

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala Doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych ráda poděkovat Ing. Jiřímu Švatalovi za odborné rady, poskytnutí všech potřebných podkladů a informací pro vypracování mé diplomové práce a mé rodině.

## **Anotace:**

Tato diplomová práce řeší návrh elektroinstalaci bioplynové stanice. Uvádí postupy a výpočty potřebné k vytvoření plnohodnotného návrhu. Diplomová práce je koncipována na tři části. V první, teoretické části, jsou shromážděny potřebné podklady pro vytvoření návrhu elektroinstalace. Ve druhé, výpočetní části, je vytvořen návrh distribuční transformační stanice, vysokonapěťového kabelového vedení, návrh rozvodů nízkého napětí a jištění. Ve třetí části je vypracována výkresová dokumentace.

## **Klíčová slova:**

bioplynová stanice, elektroinstalace, distribuční transformační stanice, kabelové vedení, rozvaděč nízkého napětí, jištění

## **Abstract:**

This thesis describes a proposal of biogas plant wiring. It provides procedures and calculations necessary to create a full-fledged proposal. The thesis is designed into three parts. Materials necessary to create a wiring design are gathered in the first, theoretical part. Proposal of distribution substations, high-voltage wiring, proposal of low-voltage switchgear and protection are created in the second computational part. Drawings documentations is drafted in the third part.

## **Key words:**

biogas plants, wiring, distribution substation, high-voltage power cable, low-voltage switchgear, protection

## Obsah

Úvod.....	11
1 Definice.....	13
2 Připojení BPS k distribuční síti.....	17
2.1 Podmínky pro připojení.....	17
2.2 Posouzení připojitelnosti BPS.....	21
3 Návrh bioplynové stanice .....	29
3.1 Technické provedení připojení.....	29
3.2 Vlastní energetická spotřeba .....	30
3.3 Technologický rozvaděč v objektu provozní budovy .....	33
3.4 Technologický rozvaděč v objektu separace.....	33
3.5 Stavební rozvaděč .....	33
3.6 Elektrický rozvod v areálu BPS .....	34
3.7 Návrh osvětlení včetně nouzového .....	34
3.8 Návrh vnitřního a venkovního uzemnění.....	34
4 Vyvedení výkonu BPS.....	36
4.1 Návrh napájecího transformátoru.....	36
4.2 Návrh kabelu VN $V_2$ z přípojného místa k distribučnímu transformátoru.....	43
4.3 Návrh kabelu NN $V_3$ z distribučního transformátoru do hlavního rozvaděče .....	52
4.4 Návrh kabelu NN $V_4$ z hlavního rozvaděče ke generátoru .....	61
4.5 Návrh ochranného vodiče PEN.....	65
4.6 Návrh elektroinstalace BPS.....	66
5 Ochrana kabelů před nadproudy a podmínky jištění .....	67
5.1 Podmínky jištění.....	67
5.2 Ochrana před proudovým přetížením.....	68
5.3 Ochrana před zkraty .....	71
5.4 Ochrana proti nebezpečnému dotyku.....	73



5.5	Ochrana generátorů .....	77
5.6	Selektivita jištění .....	78
5.7	Návrh jištění .....	81
6	Závěr .....	97
	Seznam obrázků: .....	98
	Seznam tabulek: .....	98
	Seznam grafů: .....	98
	Použité zdroje: .....	99
	Seznam příloh: .....	104

## **Seznam symbolů a zkratk**

*ČSN* – česká technická norma

*DS* – distribuční soustava

*ERÚ* – energetický regulační úřad

*HDO* – hromadné dálkové ovládání

*OZE* – Obnovitelné zdroje energie

*PDS* – provozovatel distribuční soustavy

*PNE* – podniková norma energetiky

*PPDS* – pravidla provozování distribuční soustavy

*SEL* – stavební rozvaděč

Pro zpřehlednění diplomové práce jsou ostatní symboly a zkratky uvedeny vždy u daných vzorců.

## Úvod

Výroba energie z OZE je stále moderní záležitostí a vzhledem k havárii jaderné elektrárny Fukušima I jsou OZE aktuální více než kdy jindy.

Důkazem je německé vláda, která těsně po této havárii rozhodla, že do roku 2022 se uzavřou všechny jaderné elektrárny na území Spolkové republiky Německo (dále jen „Německo“). Tento poněkud populistický krok zajistil, že v severní části Německa vyrostlo, od havárie ve Fukušimě I v roce 2011 do roku 2014, obrovské množství nových solárních a větrných elektráren o výkonu 13,5GW.[9-12] To by samo o sobě bylo vítanou věcí. Bohužel problém je v tom, že sever a jih Německa jsou nedostatečně propojeny sítí VVN, a tak vyrobená elektrická energie „teče“ cestou nejmenšího odporu. To v tomto případě znamená, že „teče“ přes Českou republiku (dále jen „ČR“) a přetěžuje tak českou přenosovou soustavu. Podobnému problému čelí i Polsko. Neboť Balkán, jako obecně, má málo vyrobené elektrické energie a v důsledku toho nakupují elektrickou energii od států, které ji exportují, např. Německa nebo ČR. Bohužel přenosová soustava mezi Německem a Rakouskou republikou je slabá a v důsledku toho „teče“ elektrická energie přes ČR a Polsko.

Tímto příkladem jsem chtěl poukázat, že i OZE nejsou spásnou věcí a dokud nebude vyřešena akumulace a regulace elektrické energie, nebudou tyto výroby, na území EU, schopny konkurovat tradičním způsobům výroby elektrické energie. Proto jsme nyní svědky, jak Evropská unie nařizuje, jaký podíl výroby má být v OZE.

Bioplynová stanice odbourává nedostatky solárních a větrných elektráren, ale nevýhodou BPS je cílené pěstování plodin, které budou promrhány pro výrobu elektrické energie, a to je pro mě z hlediska etiky naprosto nepřijatelné. V drtivé většině je „palivem“ BPS modifikovaná kukuřice. A jak víme všichni, kukuřice je širokořádkovou plodinou, proto stačí jakýkoliv déšť k tomu, aby voda s ornici z těchto polí zaplavila vesnice pod kopcem.

Nicméně, vzhledem k tomu, že svou bakalářskou práci jsem psal na téma „Využití bioplynových stanic“ rozhodl jsem se proto navázat na tuto práci a doplnit její obsah návrhem elektrické instalace.

Ten bude obsahovat:

- návrh kabelového vedení VN 22kV,
- návrh distribučního transformátoru,

- návrh paralelního kabelu ke kogenerační jednotce,
- a návrh motorových vývodů k jednotlivým spotřebičům.

Součástí této diplomové práce bude i výkresová dokumentace, která bude doplňovat jednotlivé návrhy.

Tato diplomová práce společně s mou bakalářskou prací bude tvořit celek, který se komplexně zabývá nejen technologickým procesem pro zpracování biomasy, ale i napájením jednotlivých spotřebičů a vyvedení výkonu bioplynové stanice do distribuční sítě.

## 1 Definice

### Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách

**zkrat:** náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma nebo více vodivými částmi vedoucí k tomu, že rozdíl elektrických potenciálů mezi těmito vodivými částmi je roven nule nebo má hodnotu blízkou nule

**zkratový proud:** nadproud v důsledku zkratu v elektrické soustavě

**souměrný zkratový proud:** efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu se zanedbanou eventuální aperiodickou složkou proudu

**předpokládaný zkratový proud:** proud, který by protékal obvodem, kdyby byl zkrat nahrazen ideálním spojením se zanedbatelnou impedancí bez změny napájení

**počáteční souměrný rázový zkratový proud  $I_k''$ :** efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu, při konstantní impedanci

**počáteční souměrný rázový zkratový výkon  $S_k''$ :** pomyslná hodnota definovaná jako součin počátečního souměrného rázového zkratového proudu  $I_k''$ , jmenovitého napětí  $U_n$  a součinitele  $\sqrt{3}$

**aperiodická složka zkratového proudu:** střední hodnota horní a dolní obalové křivky průběhu zkratového proudu klesající ze své počáteční hodnoty k nule

**nárazový zkratový proud  $i_p$ :** maximální možná okamžitá hodnota předpokládaného zkratového proudu

**ekvivalentní elektrický obvod:** model určený k popisu chování obvodu pomocí ideálních prvků

**jmenovité napětí sítě  $U_n$ :** sdružené napětí, kterým je síť označena a k němuž se vztahují provozní charakteristiky

**napětí ekvivalentního zdroje  $\frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3}}$ :** napětí ideálního zdroje přiložené v místě zkratu v sousledné složkové soustavě pro výpočet zkratového proudu, jedná se o jediné aktivní napětí sítě

**elektricky vzdálený zkrat:** zkrat, při kterém velikost souměrné složky předpokládaného zkratového proudu zůstává v podstatě konstantní

**elektricky blízký zkrat:** zkrat, při kterém příspěvek alespoň jednoho synchronního stroje k předpokládanému počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu překračuje dvojnásobek jmenovitého proudu stroje, nebo zkrat, při kterém asynchronních motorů překračuje 5% počátečního souměrného rázového zkratového proudu  $I_k''$  bez motorů

**zkratová impedance  $Z_k$  trojfázové střídavé soustavy:** zkrácené označení pro souslednou zkratovou impedanci  $Z_{(1)}$  pro výpočet proudů při trojfázovém zkratu

**sousledná zkratová impedance  $Z_{(1)}$  trojfázové střídavé soustavy:** impedance sousledné složkové soustavy viděná z místa zkratu

**zpětná zkratová impedance  $Z_{(2)}$  trojfázové střídavé soustavy:** impedance zpětné složkové soustavy viděná z místa zkratu

**netočivá zkratová impedance  $Z_{(0)}$  trojfázové střídavé soustavy:** impedance netočivé složkové soustavy viděná z místa zkratu; zahrnuje trojnásobek impedance  $Z_N$  mezi uzlem transformátoru a zemí

**rázová reaktance  $x_d''$  synchronního stroje:** reaktance uplatňující se v okamžiku zkratu; pro výpočet zkratových proudů se používá nasycená hodnota  $x_d''$

**minimální doba trvání  $t_{min}$ :** nejkratší čas mezi počátkem zkratového proudu a přerušením kontaktu prvního vypínacího pólu spínacího přístroje

**ekvivalentní oteplovací zkratový proud  $I_{th}$ :** efektivní hodnota proudu, který má stejný tepelný účinky a stejnou dobu trvání jako skutečný zkratový proud, který může obsahovat stejnosměrnou složku a s časem se mění

**Uzemnění a ochranné vodiče**

**neživá část:** vodivá část zařízení, které se lze dotknout a která není normálně živá, ale může se stát živou v případě poruchy základní izolace

**cizí vodivá část:** vodivá část, která není součástí elektrické instalace a která může přivést elektrický potenciál, obvykle potenciál místní země

**zemnič:** vodivá část, která může být uložena v půdě nebo určitém vodivém prostředí, např. v betonu v elektrickém styku se zemí

**ochranný vodič:** vodič určený pro zajištění bezpečí, např. ochranu před úrazem elektrickým proudem

**vodič ochranného pospojování:** ochranný vodič zabezpečující ochranného pospojování

**uzemňovací přívod:** vodič, zajišťující vodivou dráhu nebo část vodivé dráhy mezi daným bodem v síti, v instalaci nebo v zařízení a zemničem nebo soustavou zemničů

**hlavní ochranná svorka;** hlavní ochranná přípojnice: svorka nebo přípojnice, která je částí uzemňovací soustavy instalace umožňující elektrické spojení několika vodičů za účelem uzemnění

**vodič ochranného uzemnění:** ochranný vodič pro zajištění ochranného uzemnění

**uzemňovací soustava:** všechny elektrické spoje a prvky, které jsou součástí uzemnění elektrické sítě, instalace a zařízení

**Přepočítávací součinitele**

**napěťový součinitel  $c$ :** součinitele  $c_{max}$  a  $c_{min}$  se používají společně s ekvivalentním napěťovým zdrojem v místě zkratu pro výpočet maximálních a minimálních počátečních zkratových proudů

**součinitele  $K_G$  a  $K_S$  nebo  $K_{SO}$ :** součinitele se používají při výpočtech zkratových impedancí generátorů a elektrických bloků (s přepínačem odboček blokového transformátoru pod zatížením nebo bez něho)

**součinitele  $K_T$** : korekční impedanční součinitel  $K_T$  se používá při výpočtu zkratových impedancí síťových transformátorů

**kolísání napětí**: řada změn efektivní hodnoty napětí vyhodnocený jako jediná hodnota pro každou z postupně následujících půlperiod mezi průchody nulou napětí zdroje

**flikr**: pocit nestálého zrakového vnímání vyvolaný světelným podnětem, jehož jas nebo spektrální rozložení kolísá v čase

**kvalita dodávky elektrické energie**: vyhodnocené odchylky technických parametrů dodávané elektrické energie nebo z celkového zásobování od hodnot určených viz ČSN 33 0050-604, čl. 604-01-05



## 2 Připojení BPS k distribuční síti

### 2.1 Podmínky pro připojení

Výrobní elektrické energie jsou připojovány do DS jen se souhlasným stanoviskem PDS, které je vydáno na základě „Žádosti výrobce elektřiny o připojení k distribuční soustavě (dále jen „žádost“). [1]

O podmínkách připojení výroben k DS stanovených v příloze č. 4 PPDS rozhoduje PDS. Tato pravidla si zpracovává provozovatel DS a jsou schvalována ERÚ. Volba konkrétního způsobu připojení se provádí na základě výpočtů, které zohledňují výkon a druh výroby, parametry místní sítě a využití ostatními uživateli. [1]

Podmínky pro připojení a způsob provedení měření stanovuje PDS. U výroben elektrické energie je nezbytné věnovat pozornost zákonu č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 183/2006 Sb., zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů. [1]

Veškerá připojení musí být v souladu s platnou legislativou, tj. zákonem č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), zákonem č. 180/2005 Sb., 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů), vyhláškou č. 51/2006 Sb., stanovující podmínky pro přijetí zařízení k elektrizační soustavě, PPDS, ČSN, PEN a směrnice PDS. [1]

#### 2.1.1 Studie připojitelnosti

Pokud výkon připojovaného zdroje dosahuje hranice možného odmítnutí, je nutné předložit PDS podklady, které jsou vyjmenovány v příloze č. 4 PPDS.

Požadavky studie připojitelnosti (dále jen „studie“) jsou různé jak mezi PDS, tak i mezi jednotlivými regiony, které PDS spravují. Rozsah studie je zpravidla dán stanicí s napájecím transformátorem a vedením s posuzovaným zdrojem, na kterém je doporučené přípojné místo stanovené PDS. V případě nutnosti může PDS nařídit žadateli, aby ve studii zohlednil stanice

a vedení, které jsou již provozované či plánované. Dále se ve studii posuzují zdroje i z hlediska možných přetoků do vyšších napěťových hladin a vliv na činnost regulace napětí transformátorů. [1]

#### **Studie řeší hlavně:**

- napěťové změny vyvolané trvalým provozem zdroje,
- změny napětí při spínání,
- útlum HDO,
- flickr,
- příspěvek k úrovni vyšších harmonických a další.

#### **2.1.2 Projektová dokumentace**

Požadavky na projektovou dokumentaci jsou uvedeny ve vyhlášce č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb, a příloze č. 4 PPDS.

#### **2.1.3 Měřicí a řídicí zařízení dle PPDS**

Požadavky na řídicí přístroje a počet a druh elektroměru se řídí smluvními podmínkami s PDS a jejich umístění se projednává již ve stádiu projektu. Tato zařízení se umisťují na vhodném trvale přístupném místě odsouhlaseném PDS. [3]

Měření se provádí s ohledem na napěťové hladiny, do kterých je výrobná připojena:

- NN přímé (do 8A) nebo nepřímé (nad 8A),
- VN polopřímé měření na straně NN (do výkonu transformátoru 630kVA včetně), nepřímé měření na straně VN (výkon transformátoru nad 63kVA),
- 110kV nepřímé měření na straně 110kV.

Podrobné pokyny jsou rozepsány v příloze č. 5 PPDS.

Dále je nutné osadit výrobný odpínacím prvkem umožňující dálkové odpojení od DS. Nejčastěji prostřednictvím HDO, které i po silovém odpojení výrobný musí být plně funkční.

#### **2.1.4 Připojení synchronního generátoru k DS**

Chceme-li synchronní generátor připojit k DS, musíme zajistit, aby v okamžiku připojení generátoru k DS nedošlo k proudovému rázu a k elektromechanickému

vyrovnávacímu pochodu. Proces připojení generátoru k DS se nazývá fázování generátoru a provádí se automaticky pomocí synchronizační jednotky. V okamžiku, kdy jsou okamžité hodnoty napětí sítě  $U_S$  a napětí generátoru  $U_G$  totožné, a tato napětí budou mít i stejný časový průběh, dojde k spolehlivému přifázování. Čas potřebný k dodávání plného výkonu KGJ do elektrické sítě od sesynchronizování trvá cca 2 minuty. [5]

#### 2.1.4.1 Podmínky při fázování

1. Okamžité hodnoty napětí sítě  $U_S$  a napětí generátoru  $U_G$  jsou stejné. Nastavení napětí generátoru na hodnotu napětí sítě se provádí buzením. Napětí sítě a připojovaného generátoru musí být při fázování stejné, neboť rozdíl mezi oběma napětími se při zapnutí projeví jako náraz jalového proudu.

2. Časové průběhy napětí  $U_S$  a  $U_G$  jsou stejné. Shodné kmitočty jsou důležitější než shodnost napětí. Odchyšky se projeví jako náraz činného proudu. Nárazy jsou vyvolány tím, že rotor generátoru se musí urychlit nebo zpomalit, podle toho má-li generátor nižší nebo vyšší kmitočet než daná síť. Tento náraz způsobuje značné mechanické namáhání KGJ a generátoru.

3. Fázový posun mezi napětím  $U_S$  a napětím  $U_G$  je minimální, úhlová shoda nutná, jinak vzniká proudový náraz způsobený rozdílem napětí obou fázorů. Rozdíl způsobí vyrovnávací proud, jehož maximální hodnota stoupá s fázovým úhlem.

4. Sled fází generátoru a sítě je stejný. Pokud je diference při fázování všech tří hodnot, tj. napětí, kmitočtu i úhlu, vyvine každý z nich vyrovnávací proud, který se následně vektorově sčítá. [5]

#### Synchronizační jednotka musí:

- být navržena tak, aby za provozu nezpůsobila „odstavení kontaktů“,
- být dostatečně dimenzována, aby odolávala trvalému plnému zatěžovacímu proudu generátoru,
- odolávat častým spínacím cyklům a proudům tvořících se v případě, že generátor nebude sesynchronizován,
- být schopna provozu i za podmínek poruchy, například zkratů.

### 2.1.4.2 Provozní parametry připojovaného generátoru

Pro výrobu elektrické energie v BPS je použit synchronní generátor poháněn pružně napojeným plynovým zážehovým motorem.

Generátor se skládá z hlavního generátoru, alternátoru s vyniklými póly, budiče s vnitřními póly a regulátoru napětí s regulátorem účinníku.

#### Technické parametry generátoru:

Štítkový výkon	910kVA
Mechanický příkon	544 kW
Jmenovitý činný výkon	526kW
Napětí	400V
Frekvence	50Hz
Počet otáček	1500
Stupeň krytí	IP 23
Izolační třída	H

#### Elektrické parametry generátoru

Rozsah regulace napětí:	+/- 5% jmenovitého napětí +/-10% krátkodobě pro synchronizaci
Kompenzace účinníku:	synchronní generátor s automatickou kompenzací účinníku na nastavenou hodnotu
Statická přesnost napětí:	+/- 1% při jmenovitém napětí chodu naprázdno $\cos \varphi 0,8 - 1$
Změna otáček:	+/- 3%, studený a zahřátý stav
Napěťová křivka mezi fázemi při volnoběhu:	odchylka menší než 5%.

Generátor vybaven pro paralelní provoz jak se sítí, tak s jinými generátory.

Trvalý zkratový proud při 3-pólovém zkratu na svorkách: 3-násobek jmenovitého proudu po dobu 5s.

### 2.1.4.3 Podmínky pro připojení generátoru

Pro připojení je nutné zajistit takové synchronizační zařízení, se kterým bude možné dosáhnout následujících parametrů: [2]

- rozdíl napětí  $\Delta U = \pm 10\% U_n$
- rozdíl frekvence  $\Delta f = \pm 0.5\% Hz$

- rozdíl fáze  $< 10^\circ$

Z výše uvedených parametrů generátoru a podmínek pro připojení je zřejmé, že daný generátor je možné připojit do DS.

## 2.2 Posouzení připojitelnosti BPS

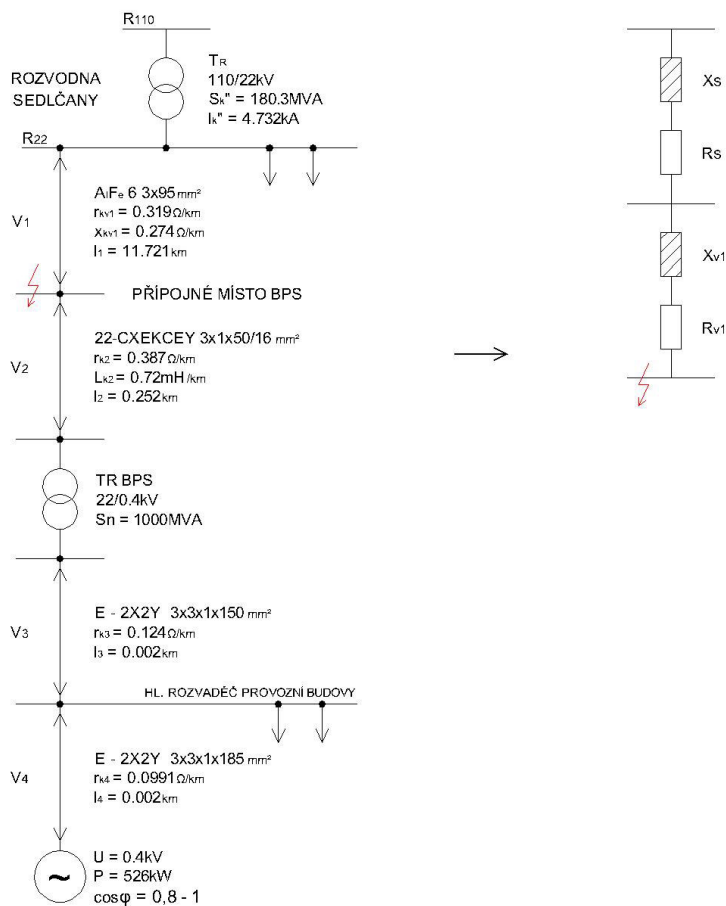
### 2.2.1 Popis připojení areálu BPS k DS

Bioplynová stanice v Krásné Hoře nad Vltavou je připojena k distribučnímu vedení 22kV s rozvodnou v Sedlčanech. Pro připojení kabelového vedení k distribuční síti bude využit stožár č. 112 linka "Krásná Hora 44-26". Tento přípojný bod naleznete v příloze 2. Distribuční vedení je dlouhé 11,721km a je tvořeno vodičem  $AlFe9\ 95mm^2$ . Na obrázku 1 je tato trasa zobrazena.



Obrázek 1: Trasa distribučního vedení z rozvodny v Sedlčanech k přípojnému místu BPS

Obrázek 2 znázorňuje náhradní schéma pro výpočet zkratového proudu v přípojném bodě.



Obrázek 2: Náhradní schéma pro výpočet zkratových poměrů v místě připojení

### 2.2.2 Zkratové poměry v místě připojení

K vytvoření návrhu je nutné znát zkratové poměry v místě připojení BPS k DS. Vzhledem k tomu, že zkratový proud  $I_{k3}''$  ani zkratový výkon  $S_{k3}''$  v místě připojení nejsou známi, je nutné tyto hodnoty vypočítat ze zkratových poměrů v rozvodně v Sedlčanech.

Pro výpočet zkratových poměrů v místě připojení jsou použity následující vztahy:

$$Z_s = \frac{c \cdot U_s}{\sqrt{3} \cdot I_{k3}''} \quad (\Omega; -, \text{kV}, \text{kA}) \quad (2.1)$$

kde  $Z_s$  – impedance sítě

$c$  – napěťový součinitel

$U_s$  – jmenovité napětí DS

$I_{k3}''$  – souměrný třífázový zkratový proud

$$X_S = 0,995 \cdot Z_S \quad [\Omega; \Omega] \quad (2.2)$$

kde  $X_S$  – reaktance sítě

$$R_S = 0,1 \cdot X_S \quad [\Omega; \Omega] \quad (2.3)$$

kde  $R_S$  – činný odpor sítě

$$R_{v1} = r_{kv1} \cdot l \quad (\Omega; \Omega/\text{km}, \text{km}) \quad (2.4)$$

kde  $R_{v1}$  – činný odpor distribučního vedení

$l$  – délka distribučního vedení

$r_{kv1}$  – činný odpor vedení na jednotku délky

$$X_{v1} = x_{kv1} \cdot l \quad (\Omega; \Omega/\text{km}, \text{km}) \quad (2.5)$$

kde  $X_{v1}$  – reaktance distribučního vedení

$x_{kv1}$  – reaktance vedení na jednotku délky

$$R_c = R_S + R_{v1} \quad (\Omega; \Omega) \quad (2.6)$$

kde  $R_c$  – celkový činný odpor do místa připojení BPS

$$X_c = X_Z + X_{v1} \quad (\Omega; \Omega, \Omega) \quad (2.7)$$

kde  $X_c$  – celková reaktance do místa připojení BPS

$$\bar{Z}_c = R_c + jX_c \quad (\Omega; \Omega, \Omega) \quad (2.8)$$

kde  $\bar{Z}_c$  – celková impedance do místa připojení BPS

Pro výpočet zkratového výkonu je uvažována pouze reálná složka celkové impedance  $\bar{Z}_c$  bez úhlu natočení. Po této úpravě se rovnice 2.8 změní na:

$$Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2} \quad (\Omega; \Omega, \Omega) \quad (2.9)$$

$$S_{k3}'' = \frac{c \cdot U_s^2}{Z_c} \quad (\text{MVA}; -, \text{kV}, \Omega) \quad (2.10)$$

kde  $S_{k3}''$  – souměrný třífázový zkratový výkon

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_s}{\sqrt{3} \cdot Z_c} \quad (\text{kA}; -, \text{kV}, \Omega) \quad (2.11)$$

Po dosazení do rovnic 2.1 až 2.11 získáme:

$$S_{k3}'' = 180,3 \text{MVA}; I_{k3}'' = 4,732 \text{kA}; x_{kv1} = 0,274 \Omega/\text{km}; r_{kv1} = 0,319 \Omega/\text{km}; U_s = 22 \text{kV};$$

$$l = 11,721 \text{km}; c = 1,1$$

$$Z_s = \frac{c \cdot U_s}{\sqrt{3} \cdot I_{k3}''} = \frac{1,1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 4,721} = 2,95 \Omega$$

$$X_s = 0,995 \cdot Z_s = 0,995 \cdot 2,95 = 2,93 \Omega$$

$$R_s = 0,1 \cdot X_s = 0,1 \cdot 2,93 = 0,293 \Omega$$

$$R_{v1} = r_{kv1} \cdot l = 0,319 \cdot 11,721 = 3,74 \Omega$$

$$X_{v1} = x_{kv1} \cdot l = 0,274 \cdot 11,721 = 3,21 \Omega$$

$$R_c = R_s + R_{v1} = 0,293 + 3,74 = 4,033 \Omega$$

$$X_c = X_s + X_{v1} = 2,93 + 3,21 = 6,15 \Omega$$

$$Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2} = \sqrt{4,033^2 + 6,15^2} = 7,35 \Omega$$

$$S_{k3}'' = \frac{c \cdot U_s^2}{Z_c} = \frac{1,1 \cdot 22^2}{7,35} = 72,4 \text{MVA}$$

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_s}{\sqrt{3} \cdot Z_c} = \frac{1,1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot 7,35} = 1,90 \text{kA}$$

Stanovení zkratových poměrů v místě připojení tvoří základ pro pozdější návrh blokového transformátoru, kabelového vedení 22kV a ověření připojitelnosti BPS k DS.

### 2.2.3 Zvýšení napětí

Pro výpočet přesných napěťových změn v DS se využívají sofistikovaných výpočtů. Pro tyto sofistikované výpočty jsou v praxi využívány výpočetní programy. V tomto případě využijeme zjednodušených vztahů, které vycházejí ze zdánlivého výkonu a zkratového proudu v místě připojení. Přesný postup nalezneme v příloze č. 4 PPDS. [2]



Při připojení výroben elektrické energie do distribuční sítě VN nesmějí tyto výrobny zvýšit napětí v místě připojení o více než 2%. [2]

$$\Delta U_{VN} \leq 2\% \quad (-) \quad (2.12)$$

V případě, že v síti VN je pouze jedna výroba elektrické energie, je možné tuto podmínku posoudit pomocí zkratového poměru výkonů. [2]

$$k_{k1} = \frac{S_{kV}}{S_{Amax}} \quad (-; MVA, kVA) \quad (2.13)$$

kde  $k_{k1}$  – zkratový poměr výkonů

$S_{kV}$  – minimální zkratový výkon v přípojném bodě

$S_{Amax}$  – zdánlivý výkon výroby

$$S_{kV} = \frac{S_{k3}''}{c} \quad (MVA; MVA, -) \quad (2.14)$$

$$S_{Amax} = \frac{P_G}{\cos\varphi_G} \quad (kVA; kW, -) \quad (2.15)$$

kde  $P_G$  – činný výkon generátoru

$\cos\varphi_G$  – jmenovitý účinník generátoru

Podmínka pro připojení výroby bude splněna tehdy, pokud zkratový poměr výkonů  $k_{k1}$  nepřesáhne hodnotu: [2]

$$k_{k1} \geq 50 \quad (2.16)$$

Po dosazení získáme:

$$S_{k3}'' = 73,85 MVA; P_g = 526 kW; \cos\varphi_G = 0,95; c = 1,1$$

$$S_{kV} = \frac{S_k''}{c} = \frac{73,85}{1,1} = 67,13 MVA$$

$$k_{k1} = \frac{S_{kV}}{S_{Amax}} = \frac{67,13}{0,5537} = 121,25$$

$$121,25 \geq 50$$

Z výsledné hodnoty vyplývá, že BPS splňuje podmínku  $kk_1 \geq 50$  a tedy i podmínku pro zvýšení napětí v místě připojení  $\Delta U_{VN} \leq 2\%$ . BPS o výkonu  $P = 526kW$  lze bez problému připojit k DS.

#### 2.2.4 Změny napětí při spínání

Pokud napětí v místě připojení nepřesáhne zmíněné 2%, nevyvolají změny napětí v místě připojení způsobené připojením a odpojením generátoru zpětné vlivy. [2]

$$\Delta u_{\max VN} \leq 2\% \quad (2.17)$$

Tato hodnota platí za předpokladu, že nedochází k spínání častěji, jak jednou za 1,5min.

Pro stanovení napětí lze použít vztah

$$\Delta u_{\max VN} = k_{imax} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \quad (-; -, kVA, MVA) \quad (2.18)$$

kde  $k_{imax}$  – činitel zapínacího rázu

$S_{nE}$  – jmenovitý zdánlivý výkon generátoru

$$k_{imax} = \frac{I_a}{I_{nG}} \quad (-; A, A) \quad (2.19)$$

kde  $I_a$  – spínací ráz

$I_{nG}$  – jmenovitý proud generátoru

V případě, že je použit synchronní generátor nabývá činitel zapínacího rázu hodnoty  $k_{imax} = 1$ . [2]

Aby se zabránilo zpětným vlivům na DS, je nutné zabránit spínání více generátorů zároveň, to je řešeno postupným spínání v závislosti na vyvolaných změnách napětí. V případě, že je činitel  $k_{k1} > 500$ , může být výroba elektrické energie připojena do DS bez kontroly zpětných vlivů. V ostatních případech je nutné hodnotu ověřit. [2]

Stanovení činitele  $\Delta u_{\max VN}$ :

$$\Delta U_{\max VN} = k_{imax} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} = 1 \cdot \frac{0,5537}{67,13} = 8,247 \cdot 10^{-3}$$

### 2.2.5 Flickr

Flickr je rychle se měnící napětí, které se projevují na světelných spotřebičích, jako změny světelného toku. V případě připojování výroben se zaměřujeme na dlouhodobý flickr, který se v praxi měří ve dvaceti dvouhodinových cyklech.

Výpočet dlouhodobého flickru určíme pomocí:

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{ne}}{S_{kv}} \quad (-; -, AV, AV) \quad (2.20)$$

Hodnota  $P_{lt}$  nesmí v přípojném bodě přesáhnout hodnotu

$$P_{lt} \leq 0,46 \quad (2.21)$$

Stroje s velkou energií rotační hmoty např. hydrogenerátory a turbogenerátory, mají činitel flickru velmi malý. Z tohoto ohledu se OEZ jeví jako velmi problematické. Nicméně v BPS se využívají synchronní generátory, které stejně jako turbogenerátory nebo hydrogenerátory, produkují zanedbatelný flickr. Proto se otázkou flickru nebudeme zabývat. [2]

### 2.2.6 Proudů vyšších harmonických

Prvky distribuční sítě jsou dimenzovány na jmenovitou frekvenci 50Hz. Proto je nutné zabránit vyšším harmonickým proudům vniknout do sítě, způsobily by zkraty. Tento jev je nejčastěji doprovázen při použití střídačů a frekvenčních měničů. Velikost harmonických proudů udává výrobce. V případě, že hodnoty vyšších harmonických proudů přesahují hodnoty uvedené v ČSN EN 61000-3-2, musíme pro posouzení připojitelnosti použít výpočty uvedené v příloze č. 4 PPDS. [2]

Vztah pro výpočet proudu dané harmonické pro síť VN:

$$I_{vpř} = i_{vpř} \cdot S_{kv} \quad (A; A \cdot MVA, MVA) \quad (2.22)$$

kde  $i_{vpř}$  – proud pro jednotlivé harmonické uvedené v tabulce přílohy č. 4 PPDS

Tento vztah platí pouze pro jednu výrobní připojené do společného napájecího bodu.

Stejně jako u flickru BPS neprodukuje žádné vyšší harmonické, proto se otázkou vyšších harmonických nebudeme zabývat. Nicméně podrobný způsob určení proudů vyšších harmonických nalezneme v příloze č. 4 PPDS. [2]

### 2.2.7 Ovlivnění zařízení HDO

Všechny střídače a frekvenční měniče musí splňovat maximální hodnotu harmonických proudů stanovené ČSN EN 61000-3-2, nesmí docházet k závažnému ovlivnění signálu HDO. Nicméně u výroben s použitím kompenzace účinníku musí žádost o připojení obsahovat: [2]

- výpočet vlivu na signál HDO,
- výsledky týdenního měření úrovně signálu HDO v přípojném bodě,
- úroveň rušivých napětí eliminovaných do sítě na frekvenci HDO.

### **3 Návrh bioplynové stanice**

#### **3.1 Technické provedení připojení**

##### **3.1.1 Uložení kabelového vedení**

Uložení kabelu se provede na základě projektové dokumentace, ve které jsou zpracovány veškeré objekty, souběhy a křížení s jinými inženýrskými sítěmi.

Připojení BPS k distribuční síti bude provedeno pomocí tří jednožilových kabelů 22 – *CXEKVCEY 1x50/16* v délce 232m. Přesná délka kabelu bude stanovena měřením podle výkopu pro uložení kabelového vedení (délka kabelu 252m). Celá délka kabelu bude uložena v celku, beze spojů. Pro uložení jednožilových kabelů se použije plochá formace. Ta má za následek snížení tepelné degradace izolace a v případě průrazu je menší možnost přechodu zemního spojení na dvou nebo třífázový zkrat. Ukládání kabelů bude provedeno s ohledem na ČSN 33 2000-5-52 ed. 2 a prostorové uspořádání podle podmínek ČSN 73 6005. Přesné uspořádání, vzdálenosti a trasy budou podrobně zakresleny do situačního výkresu stavby v příloze 1.

##### **3.1.2 Kontrola a zkoušky**

Po uložení kabelů se provede plášťová zkouška a napěťová zkouška izolace.

Pokládka kabelů, zkoušky a montáž musí splňovat veškeré požadavky stanovené PDS.

##### **3.1.3 Připojení kabelového vedení**

Kabelové vedení bude připojeno do nové blokované trafostanice *Power-Energo PEO 2550x2500*. Vstup do trafostanice bude osazen VN průchodkou s utěšňovací manžetou a ukončení kabelů bude provedeno pomocí vnitřních kabelových koncovek. Při ukončení kabelů kabelovými koncovkami se dále použijí standardizovaná kabelová oka v plném provedení (ne trubková) opatřená trhacími šrouby. Montáž kabelových koncovek se provede pomocí zapojovacího manuálu.

Pro připojení kabelového vedení k distribuční síti bude využit stožár č. 112 linka "Krásná Hora 44-26". Stávající stožár č. 112 nahradí ČEZ Distribuce, a.s. novým stožárem

typu *EPV 12/6*, který bude osazen trojpólovým venkovním odpínačem a omezovačem přepětí. Na omezovač přepětí bude připojeno pomocí venkovních kabelových koncovek kabelové vedení *VN 22kV*. Při ukončení kabelu kabelovými koncovkami se dále použijí standardizovaná kabelová oka v plném provedení (ne trubková) opatřená trhacími šrouby. Montáž kabelových koncovek se provede pomocí zapojovacího manuálu. Propojení omezovače přepětí a odpínačem se provede vodiči *AlFe 70/11*. Na konzoly omezovače přepětí bude pomocí kabelových ok připojeno stínění kabelového vedení.

### 3.1.4 Uzemnění

Uzemnění bude provedeno v souladu s ČSN 33 2000-4-41 ed. 2, ČSN 33 2000-5-54 ed. 3 a PNE 33 0000-1 ed. 5. Uzemnění stožáru a osazených komponentů se vytvoří vzájemným propojením. Zemnič stožáru se provede pomocí zemničího pásku *FeZn 30/4* ve tvaru dvou ekvipotencionálních kruhů. První kruh s poloměrem  $1m$  v hloubce  $0,4m$  a druhý kruh s poloměrem  $3m$  a hloubky  $0,7m$ . Oba tyto kruhy se vzájemně propojí na min. dvou místech. S ohledem na požadavky ČSN 38 0810 nesmí zemničí přechodový odpor přesáhnout hodnotu  $10\Omega$ . Po zakončení prací bude tato hodnota ověřena měřením.

### 3.1.5 Blokovaný transformátor

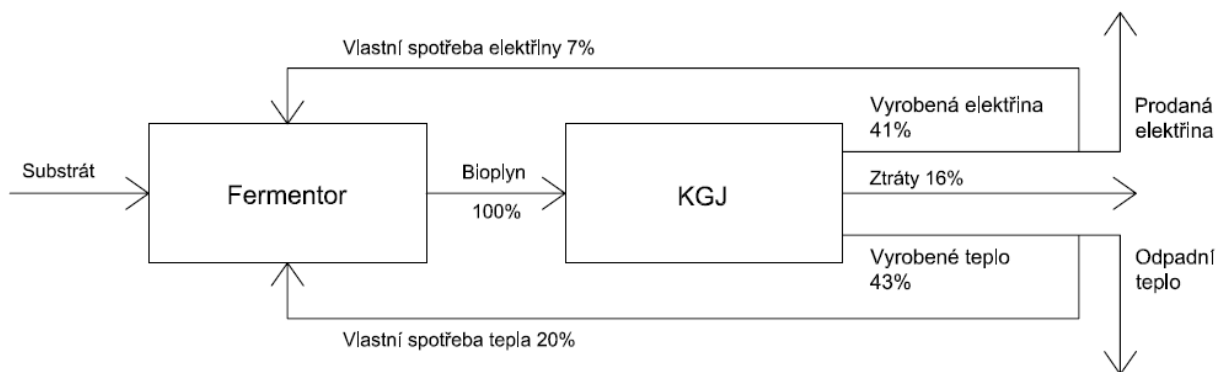
Pro vyvedení výkonu do distribuční sítě bude využito blokové trafostanice *Power-Energo PEO 2550x2500*. Tato bloková trafostanice se skládá ze dvou částí, tj. ze železobetonového skeletu (vany) pro osazení do terénu a střechy. Pro umístění trafostanice bylo zvoleno stanoviště v blízkosti provozní budovy. Před usazením blokové trafostanice je nejprve nutné provést výkop dle výkresu, který je součástí technologického popisu, dodávaného společně s trafostanicí.

## 3.2 Vlastní energetická spotřeba

U BPS můžeme vlastní energetickou spotřebu rozdělit do dvou kategorií:

- vlastní elektrická spotřeba,
- vlastní tepelná spotřeba.

My se ovšem budeme zabývat pouze vlastní elektrickou spotřebou.



Obrázek 3: Energetická bilance

### 3.2.1 Vlastní elektrická spotřeba

Vlastní elektrická spotřeba není podceňovanou veličinou, má přímý vliv na celkovou hospodárnost BPS a je tedy nutné vlastní elektrickou spotřebu pečlivě sledovat. V rámci ekonomického zhodnocení se na vlastní elektrickou spotřebu můžeme dívat i jako na spotřebu, která snižuje fakturované množství elektrické energie bez nároku na zelený bonus.

- Vlastní spotřeba KGJ – jedná se o spotřebu nutnou pro provoz KGJ (kompresor palivové směsi, ventilátory chladicích systémů atd.)
- Vlastní technologická spotřeba – jedná se o spotřebu nutnou pro produkci bioplynu (míchadla v hlavním fermentoru a koncovém fermentoru, dávkovače substrátu, podavače substrátu, čerpadla, kompresory atd.)
- Ostatní spotřeba BPS – spotřeba z pohledu produkce bioplynu nedůležitá

Můžeme tedy říci, že čím vyšší je průměrné využití plného výkonu KGJ, tím nižší je procento vlastní spotřeby BPS.

Technické řešení návrhu vlastní spotřeby BPS respektuje zásady dle vyhlášky č. 499/2006 Sb., o dokumentaci staveb, příloha č. 1 – Dokumentace pro stavební řízení, část Pozemní (stavební) objekty.

Rozvaděč vlastní spotřeby bude napájen z odbočky na vyvedení výkonu do distribuční sítě nacházející se v objektu provozní budovy. Napájení je vedeno pomocí kabelových kanálů. Z rozvaděče jsou napájeny všechny technologické spotřebiče, rozvaděč KGJ, SEL a SKŘ.

Normální provoz					
Název		$P_i$ [kW]	Režim práce	$\beta$ [-]	$P_p$ [kW]
Technologický rozvaděč	Míchadlo hlavní fermentor 1	11,96	Občas	0,4	4,78
	Míchadlo hlavní fermentor 2	11,96	Občas	0,4	4,78
	Míchadlo hlavní fermentor 3	16,30	Občas	0,4	6,52
	Míchadlo koncový fermentor 1	20,11	Občas	0,2	4,02
	Míchadlo koncový fermentor 2	20,11	Občas	0,2	4,02
	Míchací šnek dávkovač 1	32,61	Občas	0,2	6,52
	Míchací šnek dávkovač 2	32,61	Občas	0,1	3,26
	Míchací šnek dávkovač 3	32,61	Občas	0,1	3,26
	Podávací šnek dávkovač 1	8,15	Občas	0,2	1,63
	Podávací šnek dávkovač 2	8,15	Občas	0,2	1,63
	Centrální čerpadlo	8,15	Občas	0,2	1,63
	Dmychadlo odsíření	8,15	Trvale	1,0	8,15
	Čerpadlo vytápění HF	8,15	Trvale	1,0	8,15
	Čerpadlo vytápění KF	8,15	Trvale	1,0	8,15
	Motor separátoru	2,39	Občas	0,1	0,24
	Míchadlo	8,15	Občas	0,1	0,82
	Čerpadlo fugátu	20,11	Občas	0,1	2,01
	KGJ		18,5	Občas	0,5
SEL		25,0	Občas	0,4	10,00
SKŘ		5,0	Trvale	1	5,00
Suma		306,33		$P_{pC}$	<b>93,84</b>

Tabulka 1: Výkonová bilance

V tabulce 1 jsou uvedeny spotřebiče, výkonová bilance a hodnoty výpočtového zatížení  $P_p$  které je vypočteno z instalovaného výkonu  $P_i$  prostřednictvím koeficientu soudobosti  $\beta$ .

$$P_p = \beta \cdot P_i \quad (W; -, W) \quad (3.1)$$

Koeficient náročnosti  $\beta$  lze stanovit několika způsoby.

Prvním způsobem, jak určit koeficient  $\beta$ , je pomocí vztahu 2.2:

$$\beta = \frac{K_s \cdot K_z}{\mu_s \cdot \mu_m} \quad (-; -, -) \quad (3.2)$$

kde  $K_s$  – koeficient současnosti



$K_z$  – koeficient zatížení

$\mu_s$  – účinnost napájecí soustavy

$\mu_m$  – účinnost zařízení

Druhým způsobem, jak určit koeficient  $\beta$ , je pomocí vztahu 2.3:

$$\beta = \frac{P_{max}}{P_i} \quad (-; t, W) \quad (3.3)$$

kde  $P_{max}$  – nejvyšší hodnota zaznamenaná hodinov. maxima za celý rok

$P_i$  – instalovaný výkon

Třetím a posledním způsobem, jak určit činitel  $\beta$ , jsou tabulky v ČSN 34 1610.

Kvůli specifickému charakteru provozu je činitel  $\beta$  určen na základě konzultace s odborníkem z BPS.

### 3.3 Technologický rozvaděč v objektu provozní budovy

Do kabelového prostoru rozvaděče jsou kabely přiváděny a vyváděny spodní stranou. Rozvaděč je koncipován jako jednostranný, oceloplechový. Ovládání vývodů je dle požadavků technologie. Schéma technologického rozvaděče provozní budovy naleznete v příloze 5.

### 3.4 Technologický rozvaděč v objektu separace

Do kabelového prostoru rozvaděče jsou kabely přiváděny a vyváděny spodní stranou. Rozvaděč je koncipován jako jednostranný, oceloplechový rozvaděč. Ovládání vývodů je dle požadavků technologie.

### 3.5 Stavební rozvaděč

Stavební rozvaděč je určen pro napájení elektrických zařízení stavebních objektů. Nejčastěji pro napájení stavební elektroinstalace, vzduchotechniky, zásuvkového obvodu, vnějšího a vnitřního osvětlení atd. Minimální krytí rozvaděče musí být *IP44*, ovládací panel *IP2x*. Pokud nemohou být dveře rozvaděče trvale zavřeny, musí mít panel krytí *IP44*. K hlavnímu vypínači rozvaděče musí být vždy snadný přístup. Rozvaděč má přívody a

vývody spodem do kabelového prostoru. Přívody a vývody jsou neovládané. Rozvaděč je koncipován jako jednostranný, oceloplechový.

### **3.6 Elektrický rozvod v areálu BPS**

Venkovní rozvod mezi jednotlivými objekty BPS bude proveden pomocí kabelů umístěných v chráničkových trasách. Uvnitř objektů je rozvod pomocí kabelů a pomocných konstrukcí, vnitřní elektroinstalace odpovídá ČSN 33 2130 ed. 3. Nejčastěji se budou využívat kabelové lávky umístěné na stěnách objektů. Pod rozvaděči bude kabelový prostor pro vkládání kabelů.

### **3.7 Návrh osvětlení včetně nouzového**

Návrh osvětlení a osvětlovacích soustav je proveden s ohledem na požadovanou osvětlenost příslušných prostorů a činnosti prováděné v daném prostoru. Navržené hodnoty osvětlenosti normálního osvětlení jsou v souladu s ČSN EN 12464-1. Hodnoty osvětlenosti nouzového osvětlení jsou v souladu s požadavky ČSN EN 1838 pro vnitřní prostory. Napájení světelného obvodu bude ze SEL rozvaděče. Nouzové osvětlení bude provedeno za pomoci světel s autonomními zdroji. Vzhledem k rozlehlosti objektů budou některé světelné obvody ovládané pomocí pulzních spínačů a stykačů. Kabelové trasy světelného obvodu jsou vedeny po kabelových lávkách a dále v elektrotechnických lištách.

#### **3.7.1 Návrh venkovního osvětlení**

Venkovní rozvod je proveden v souladu ČSN EN 60598-2-3 ed. 2. Venkovní osvětlení bude napájeno ze SEL rozvaděče. Ve vývodu budou umístěny přepět'ové ochrany. Stožár bude vetknutý, bezpatkový o výšce 8m. Svítidla budou vysokotlaká sodíková svítidla, která budou ovládána soumrakovým spínačem, nebo dálkově z velína. Propojení jednotlivých světel venkovního osvětlení bude pomocí stožárových rozvodnic. Světla budou v rozvodnicích jištěna pojistkami. Kabely, včetně vlastního uzemnění, budou pokládány do výkopu s pískovým ložem.

### **3.8 Návrh vnitřního a venkovního uzemnění**

Návrh uzemnění je v souladu s ČSN 33 2000-4-41 ed. 2, ČSN 33 2000-5-54 ed. 3, ČSN EN 50522, ČSN EN 62305-1 ed. 2 až ČSN EN 62305-4 ed. 2. Zemnicí síť BPS je řešena

jako mřížová síť z pásků *FeZn*. Všechny objekty budou mít po obvodu základů umístěny obvodové uzemnění (zemnicí pásky *FeZn*), které bude připojeno na zemnicí síť BPS. Uvnitř objektů bude vnitřní zemnicí síť tvořená pomocí *CYA* měděných slaněných lan, která budou připojena na obvodové uzemnění. Ochranné a pracovní uzemnění elektrických zařízení bude provedeno dle zásad hlavního a doplňujícího pospojování a připojeno na vnitřní zemnicí síť. Budovy jsou chráněny před bleskem bleskosvodem. Bleskosvody jsou připojeny k zemnicí síti BPS. Uzemnění elektrických rozvaděčů, přepěťových ochran, vodivých konstrukcí elektroinstalace, vodivých konstrukcí vzduchotechniky, technologie a stavby jsou připojeny na zemnicí vedení a jsou zahrnuty do systému hlavního a doplňujícího pospojování. Pro tato pospojování je využito měděných slaněných vodičů předepsaného průřezu. Spoje jsou řešeny svorkami, přišroubováním nebo sváření, a jsou označeny žlutozelenou barvou. Spoje jsou mechanicky odolné, chráněné před korozí a jsou dimenzované na předpokládané proudové zatížení.

## 4 Vyvedení výkonu BPS

Tato kapitola se věnuje samotnému návrhu elektroinstalace BPS. V přílohách 3 až 7 jsou vytvořeny výkresy k jednotlivým návrhům.

### 4.1 Návrh napájecího transformátoru

Synchronní generátor dodává do sítě elektrickou energii, která je transformována přes výkonový transformátor 22/0,4kV. Návrh transformátoru je v souladu s ČSN EN 60076. Transformátor bude navržen tak, aby maximální zatížení nepřesáhlo 75% svého jmenovitého výkonu.

Výkon transformátoru pro BPS musí být dimenzován na výkon kogenerační jednotky. V kapitole 2.1.4.2 jsme si uvedli parametry synchronního generátoru, který je součástí kogenerační jednotky JSM 312 GS – B.L, instalované v BPS.

$$P_G = 526kW$$

Dále bylo zmíněno, že součástí generátoru je regulace středního účinníku  $\cos\phi$  v rozsahu 0,8 – 1 a záleží na servisním technikovi, jak kvalitně provede synchronizaci.

Obecně platí, že při nízkých hodnotách účinníku je spotřebič zatížen nejen činnou, ale i jalovou složkou proudu. Tento proud zvyšuje úbytek napětí a činné ztráty v rozvodech, které jsou úměrné  $I^2$ . Proto se musí zařízení dimenzovat na zdánlivý výkon.

Při návrhu distribučního transformátoru budou uvažovány dva provozní stavy:

- první, kdy veškerý vyrobený výkon BPS bude dodáván do DS;
- druhý, kdy veškerý vyrobený výkon BPS dodávaný do DS bude snížen o vlastní spotřebu.

Zdánlivý výkon je stanoven pomocí:

$$S_{p1} = \frac{P_G}{\cos\phi_G} \quad (VA; W, -) \quad (4.1)$$

$$S_{p2} = \frac{P_G}{\cos\varphi_G} - \frac{P_{pC}}{\cos\varphi} \quad (VA; W, -, W, -) \quad (4.2)$$

kde  $S_{p1}$  – zatížení transformátoru při dodávání veškerého výkonu do DS

$S_{p2}$  – zatížení transformátoru po odečtu vlastní spotřeby

Po dosazení získáme:

$$P_G = 526kW; \cos\varphi_G = 0,95; P_{pC} = 93,84kW, \cos\varphi = 0,99$$

$$S_{p1} = \frac{P_G}{\cos\varphi_G} = \frac{526}{0,95} \cong 553,7kVA$$

$$S_{p2} = \frac{P_G}{\cos\varphi_G} - \frac{P_{pC}}{\cos\varphi} = \frac{526}{0,95} - \frac{93,84}{0,99} \cong 458,9kVA$$

Ověření zatížení transformátoru:

$$z = \frac{S_p}{S_T} \cdot 100 \quad (\%; VA, VA) \quad (4.3)$$

kde  $z$  – zatížení transformátoru

$S_T$  – zdánlivý výkon transformátoru

Po dosazení získáme:

$$S_{p1} = 553,7kVA; S_{p2} = 458,9; S_{T1} = 630kVA, S_{T2} = 800kVA, S_{T3} = 1000kVA$$

$$z_{T1} = \frac{S_{p1}}{S_T} \cdot 100 = \frac{553,7}{630} \cdot 100 \cong 87,9\% \quad z_{T1} = \frac{S_{p2}}{S_T} \cdot 100 = \frac{458,9}{630} \cdot 100 \cong 72,8\%$$

$$z_{T2} = \frac{S_{p1}}{S_T} \cdot 100 = \frac{553,7}{800} \cdot 100 \cong 69,2\% \quad z_{T2} = \frac{S_{p2}}{S_T} \cdot 100 = \frac{458,9}{800} \cdot 100 \cong 57,4\%$$

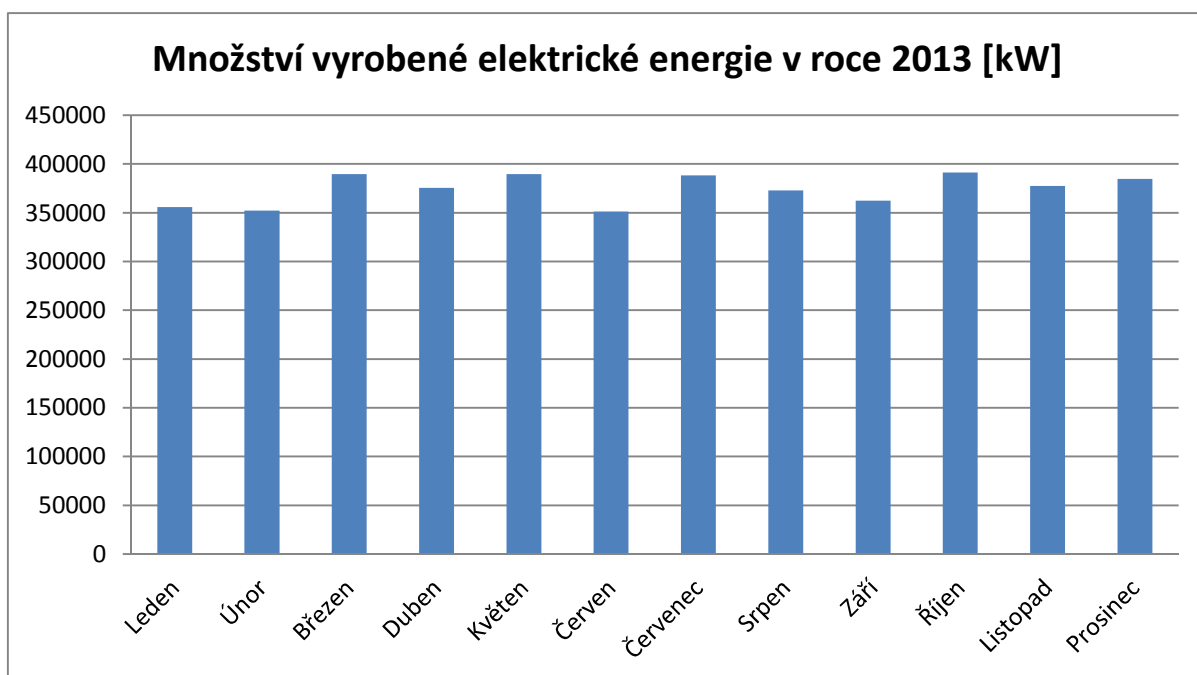
$$z_{T3} = \frac{S_{p1}}{S_T} \cdot 100 = \frac{553,7}{1000} \cdot 100 \cong 55,4\% \quad z_{T3} = \frac{S_{p3}}{S_T} \cdot 100 = \frac{458,9}{1000} \cdot 100 \cong 45,9\%$$

Z vypočtených hodnot je zřejmé, že transformátor o jmenovitém výkonu  $S_T = 630kVA$  je pro první provozní stav nevhodný. Při druhém provozním stavu nepřesahuje zatížení transformátoru 75%. Transformátor o výkonu  $S_T = 1000kVA$  se na první pohled jeví jako předdimenzovaný, ale v budoucnu je možné, že instalovaný výkon BPS bude navýšen a

transformátor o výkonu  $S_T = 800kVA$  by později nemusel odpovídat maximálnímu zatížení. Proto budou v následující kapitole srovnány všechny tři transformátory.

#### 4.1.1 Ekonomické zhodnocení provozu transformátoru

Pro posouzení ekonomické výhodnosti transformátoru je nejdříve nutné stanovit dobu využití maxima a dobu plných ztrát. Tyto veličiny mají také informativní charakter popisující zatížení transformátoru.



Graf 1: Množství vyrobené elektrické energie v roce 2013

##### 4.1.1.1 Doba využití ročního maxima

Doba využití ročního maxima je čas, který by transformátor potřebovalo pro přenesení elektrické energie  $W$  při konstantním maximálním zatížení transformátoru  $P_m$ .

Doba využití maxima je stanovena pomocí:

$$T_m = \frac{W_c}{P_{max}} \quad (\text{hod.}; MWh, W) \quad (4.4)$$

kde  $T_m$  – doba využití maxima

$W_c$  – celkové roční množství vyrobené energie

$P_{max}$  – maximální činný výkon

Doba využití maxima je možné uvést i jako poměrnou dobu využití maxima  $k_m$  vztáženou k době provozu.

$$k_m = \frac{T_m}{T_{prov}} \quad (-; hod., hod.) \quad (4.5)$$

kde  $k_m$  – koeficient doby využití maxima

$T_{prov}$  – doba provozu

Maximální činný výkon  $P_m$  se měří pomocí špičkového měřiče výkonu v odběrném místě. V případě, že tento měřič není instalován, je nutné vycházet z nejvyšší naměřené hodnoty dodávky elektrické energie do DS v daném roce. Z této hodnoty získáme průměrný výkon za daný měsíc. Jedná se tedy o měsíc, kdy byla nejvyšší dodávka elektrické energie do DS.

$$P_m = \frac{W_i}{T} \quad (W; MWh, hod) \quad (4.6)$$

kde  $W_i$  – elektrická energie za sledovaný měsíc

$T$  – počet hodin za měsíc

Stejným způsobem lze vypočítat i střední zatížení transformátoru. Uplatňují se zde stejné, jen trochu upravené, rovnice.

$$W_{stř} = \frac{W_c}{12} \quad (MWh; MWh) \quad (4.7)$$

kde  $W_{stř}$  – střední množství vyrobené energie za měsíc

$$\bar{T} = \frac{T_{prov}}{12} \quad (hod.; hod.) \quad (4.8)$$

kde  $\bar{T}$  – průměrný počet hodin za měsíc

$$P_{stř} = \frac{W_{stř}}{\bar{T}} \quad (kW; MWh, hod.) \quad (4.9)$$

#### 4.1.1.2 Doba ročních plných ztrát

Doba ročních plných ztrát je čas, za který maximální dodávaná elektrická energie způsobí stejné ztráty, jako časově proměnná elektrická energie ve sledovaném období.

$$T_z = (0,2 \cdot k_m + 0,8 \cdot k_m^2) \cdot T_{prov} \quad (\text{hod.}; -, \text{hod.}) \quad (4.10)$$

#### 4.1.2 Provozní náklady distribučního transformátoru

Na trhu se můžeme setkat s nepřeberným množstvím transformátorů, které mají různé ztráty. Ty mají přímý vliv na pořizovací cenu a pozdější provozní náklady. V dnešní době je energie drahocennou komoditou, se kterou je nutné co nejefektivněji hospodařit. Proto i v těchto malých výrobnách je důležité zvážit, jaký druh transformátoru zvolíme.

Doba plných ztrát  $T_z$ , má přímou souvislost se ztrátami nakrátko, neboť jsou proměnné podle zatížení. Zatímco ztráty naprázdno mají neměnný vliv na provozní náklady transformátoru.

Pro stanovení provozních nákladů navrhovaného transformátoru je použita rovnice diskontních nákladů.

$$N_n = N_c + \sum_{k=1}^n \left[ T_{prov} \cdot P_0 + T_z \cdot P_{k75} \cdot \left( \frac{S_{pmax}}{S_{NT}} \right)^2 \right] \cdot B \cdot \left( \frac{1 + \frac{a}{100}}{1 + \frac{e}{100}} \right)^k \quad (4.11)$$

(Kč; Kč, hod., kW, kW, kVA, kVA, Kč, %/rok, %)

kde  $N_n$  – náklady na provoz transformátoru

$N_c$  – pořizovací cena transformátoru

$P_0$  – ztráty transformátoru naprázdno

$P_{k75}$  – ztráty transformátoru nakrátko při provozní teplotě 75°C

$S_{pstř}$  – střední zdánlivý výkon přenášený transformátorem

$S_{NT}$  – jmenovitý výkon transformátoru

$B$  – cena za 1kWh elektrické energie

$a$  – odhadovaný procentní nárůst výkupní ceny elektrické energie

$e$  – inflační míra

Vzhledem k tomu, že jsou k dispozici přesné naměřené hodnoty, jako je celkový čas provozu BPS v daném roce, průměrný vyráběný výkon a jiné, je možné rovnici 4.11 upravit na tvar:



$$N_n = N_C + \sum_{k=1}^n \left[ T_{prov} \cdot P_0 + T_{prov} \cdot P_{k75} \cdot \left( \frac{S_{pstř}}{S_{NT}} \right)^2 \right] \cdot B \cdot \left( \frac{1 + \frac{a}{100}}{1 + \frac{e}{100}} \right)^k \quad (4.12)$$

(Kč; Kč, hod., kW, kW, kVA, kVA, Kč, %/rok, %)

Po dosazení do rovnice 4.12 získáme pro jednotlivé provozní stavy následující tabulky:

$S_n$	Typ	$P_0$ [kW]	$P_{k75}$ [kW]	$N_C$ [Kč]	$N_5$ [Kč]	$N_7$ [Kč]	$N_{10}$ [Kč]
800kVA	A <sub>0</sub> B <sub>k</sub>	0,65	7,00	295400	1 455 661	1 888 315	2 506 001
	C <sub>0</sub> B <sub>k</sub>	0,93	7,00	240000	1 480 775	1 943 692	2 604 583
	C <sub>0</sub> C <sub>k</sub>	0,93	8,40	225000	1 660 047	2 195 444	2 959 813
	E <sub>0</sub> D <sub>k</sub>	1,40	10,50	200000	2 062 611	2 757 527	3 749 634
	Amorphous	0,33	6,00	395000	1 321 745	1 667 501	2 161 126
1000kVA	A <sub>0</sub> B <sub>k</sub>	0,77	9,00	337000	1 359 354	1 740 782	2 285 332
	C <sub>0</sub> B <sub>k</sub>	1,10	9,00	305000	1 422 953	1 840 047	2 435 518
	C <sub>0</sub> C <sub>k</sub>	1,10	10,50	270000	1 521 168	1 987 963	2 654 390
	E <sub>0</sub> D <sub>k</sub>	1,70	13,00	249000	1 896 009	2 510 487	3 387 756
	<b>Amorphous</b>	<b>0,35</b>	<b>6,55</b>	<b>615000</b>	<b>1 298 099</b>	<b>1 552 954</b>	<b>1 916 802</b>

Tabulka 2: Srovnání cen a nákladu transformátorů pro první provozní stav

$S_n$	Typ	$P_0$ [kW]	$P_{k75}$ [kW]	$N_c$ [Kč]	$N_5$ [Kč]	$N_7$ [Kč]	$N_{10}$ [Kč]
630kVA	A <sub>0</sub> B <sub>k</sub>	0,56	5,60	240000	1 262 972	1 644 630	2 189 510
	C <sub>0</sub> B <sub>k</sub>	0,80	5,60	210000	1 302 499	1 710 096	2 292 008
	C <sub>0</sub> C <sub>k</sub>	0,80	6,75	195000	1 464 259	1 937 803	2 613 865
	E <sub>0</sub> D <sub>k</sub>	1,20	8,70	175000	1 859 859	2 488 459	3 385 888
	Amorphous	0,27	4,70	345000	1 145 627	1 444 331	1 870 780
800kVA	A <sub>0</sub> B <sub>k</sub>	0,65	7,00	296000	1 151 545	1 470 738	1 926 439
	C <sub>0</sub> B <sub>k</sub>	0,93	7,00	240000	1 176 659	1 526 115	2 025 021
	C <sub>0</sub> C <sub>k</sub>	0,93	8,40	225000	1 295 108	1 694 352	2 264 338
	E <sub>0</sub> D <sub>k</sub>	1,40	10,50	200000	1 606 437	2 131 161	2 880 291
	Amorphous	0,33	6,00	395000	1 061 074	1 309 578	1 664 358
1000kVA	A <sub>0</sub> B <sub>k</sub>	0,77	9,00	337000	1 109 111	1 397 175	1 808 435
	C <sub>0</sub> B <sub>k</sub>	1,10	9,00	305000	1 172 709	1 496 441	1 958 621
	C <sub>0</sub> C <sub>k</sub>	1,10	10,50	270000	1 229 217	1 587 089	2 098 010
	E <sub>0</sub> D <sub>k</sub>	1,70	13,00	249000	1 534 546	2 014 167	2 698 905
	<b>Amorphous</b>	<b>0,35</b>	<b>6,55</b>	<b>615000</b>	<b>1 115 977</b>	<b>1 302 885</b>	<b>1 569 727</b>

Tabulka 3: Srovnání cen a nákladů transformátorů pro druhý provozní stav

V tabulce 3 jsou porovnány pořizovací a následné provozní náklady transformátorů 800kVA a 1000kVA. Finančně nejvýhodnější, při uvažování prvního provozního stavu, vychází transformátor *Amorphus* 1000kVA.

V tabulce 4 jsou srovnány všechny tři výkonové řady transformátorů a opět má transformátor *Amorphus* 1000kVA nejnižší provozní náklady. Nicméně rozdíl oproti *Amorphus* 800kVA není tak velký jako v první variantě. Proto by v tomto okamžiku bylo vhodné zjistit, zda provozovatel (investor) neuvažuje v budoucnu zvýšit výkon BPS.

Nicméně musím podotknout, že vypočtené provozní náklady jsou pouze informativní a nerepresentují skutečný stav, neboť inflační míra a výkupní ceny se rok od roku mění. Při stanovování provozních nákladů byla použita inflační míra 2%.

V příloze 3 naleznete detailní rozkreslení blokové trafostanice s distribučním transformátorem *Amorphus* 1000kVA.

## 4.2 Návrh kabelu VN $V_2$ z přípojného místa k distribučnímu transformátoru

Veškeré vodiče a kabely používané v elektrotechnice se musí dimenzovat na nejnepříznivější podmínky, které mohou při provozu nastat. Dále se vodiče a kabely dimenzují tak, aby:

- při běžném provozu nedošlo k překročení provozní teploty,
- vyhovovaly hospodárnému provozu,
- jejich mechanická pevnost byla dostatečná,
- nepřekročily stanovený úbytek napětí,
- odolávaly dynamickým a tepelným účinkům zkratového proudu.

Stanovení prostředí je provedeno protokolem o určení vnějších vlivů v souladu s PNE 33 2000-2 a ČSN 33 2000-1 ed. 2. Trasa kabelového vedení je zakreslena v příloze 1.

V prvním kroku při navrhování vodičů (kabelů) je stanovení procházející zatěžovací proud.

$$I_p = \frac{P_G}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos\varphi} \quad (A; kW, kV, -) \quad (4.13)$$

kde  $I_p$  – výpočtový proud

$U_N$  – jmenovité napětí

Pro výpočet zatěžovacího proudu použijeme nejnižší dovolený účinník, který je uveden v PPDS příloze č. 4. Tento účinník je vyčíslen na hodnotu  $\cos\varphi = 0,95$ .

Po dosazení získáme:

$$P_G = 526kW; U_N = 22kV; \cos\varphi = 0,95$$

$$I_p = \frac{P_G}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos\varphi} = \frac{526}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 0,95} = 14,53A$$

### 4.2.1 Dimenzování s ohledem na dovolené zatížení kabelu

Dimenzování vodičů musí být takové, aby nedocházelo k jejich nadměrnému oteplení při průchodu elektrického proudu. Vlivem vysokých teplot by docházelo ke ztrátám

mechanických vlastností a urychlení stárnutí izolace. Vzhledem k těmto okolnostem se stanovuje nejvyšší provozní teplota  $\vartheta_{dov}$ .

Základem dimenzování vodiče je stanovení podmínek prostředí podle ČSN 33 2000-5-52 ed. 2 stanovující dovolené proudy v elektrotechnických rozvodech. V této normě jsou uvedeny hodnoty dovolených proudů  $I_N$  za daných referenčních podmínek (způsob uložení, teplota prostředí  $\mathbf{u}_0$ , měrný tepelný odpor půdy  $M_{TP}$ , druh prostředí, atd.).

Pokud není vodič uložen za referenčních podmínek, musí být jmenovitý proud  $I_N$  vynásoben přepočítávacími koeficienty  $k_i$  uvedené ve zmiňované normě.

$$I_Z = k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n \cdot I_N \quad (A; -, A) \quad (4.14)$$

kde  $I_Z$  – dovolený zatěžovací proud  
 $k_1$  až  $k_i$  – přepočítávací koeficienty  
 $I_N$  – jmenovitý zatěžovací proud vodiče

#### 4.2.1.1 Stanovení přepočítávacích koeficientů

Nejprve je nutné stanovit přepočítávací součinitel pro okolní teplotu prostředí. Kabelové vedení 22kV, bude uloženo přímo v zemi v hloubce 1m. Tento způsob uložení odpovídá referenčnímu způsobu uložení typu  $D_2$ . V ČSN 33 2000-5-52 ed. 2. jsou pro tento způsob uložení určeny tři přepočítávací koeficienty.

První přepočítávací koeficient  $k_1$  je určen z tabulky **B.52.15** ve které se stanovuje teplota prostředí, v němž bude kabel uložen. Teplota zeminy v hloubce 1m, ve které bude kabel uložen, kolísá v průběhu roku od 3°C až do 18°C. To znamená, že v této tabulce zvolíme nejbližší vyšší teplotu zeminy 20°C a, s přihlédnutím na typ izolace kabelu, stanovíme přepočítávací koeficient  $k_1 = 1,00$ .

Druhý přepočítávací koeficient nalezneme v tabulce **B.52.16** a souvisí s měrným tepelným odporem půdy. Vzhledem k tomu, že není znám typ půda a její vlastnosti, je přepočítávací koeficient stanoven na  $k_2 = 1,00$ . Tato hodnota představuje měrný tepelný odpor suché půdy.

Třetí přepočítávací koeficient  $k_3$  nalezneme v tabulce **B.52.18** a souvisí s počtem a uspořádáním kabelů v trase. Jak již bylo v kapitole 3.1.1 řečeno, kabelové vedení bude

uloženo v ploché formaci s mezerou o průměru kabelu. S přihlédnutím na tyto údaje je přepočítávací koeficient stanoven na  $k_3 = 0,70$ .

#### 4.2.1.2 Volba kabelového vedení 22kV

Návrh kabelového vedení je provede podle podmínky:

$$I_N \geq \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n} \quad (A; A, -) \quad (4.15)$$

Po dosazení získáme:

$$I_N \geq \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} = \frac{14,53}{1 \cdot 1 \cdot 0,70} = 20,75A$$

Kabelové vedení bude tvořeno třemi jednožilovými kabely **22 – CXEKVCEY 1x50mm<sup>2</sup>** s jmenovitým proudem  $I_N = 175A$ .

$$I_N \geq \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} \Rightarrow 175A \geq 20,75A$$

Podmínka 4.15 je splněna.

Pod dosazení do rovnice 4.14 získáme:

$$I_Z = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_N = 1 \cdot 1 \cdot 0,70 \cdot 175 = 122,5A$$

#### 4.2.1 Dimenzování s ohledem na hospodárnost

Vodiče a kabely by měli být dimenzovány tak, aby celkové roční náklady byly v optimálních mezích. Podle ČSN 34 1610 se hospodárný průřez vypočítá podle:

$$s = k \cdot I_p \cdot \sqrt{T_z} \quad (mm^2; -, A, hod.) \quad (4.16)$$

kde  $s$  – průřez jedné fáze

$k$  – koeficient podle ČSN 34 1610

$T_z$  – doba ročních plných ztrát

V našem případě nebudeme vycházet ze vzorce 4.16, nýbrž ze standardu PDS, v nichž je uvedeno, že zatížení VN kabelu by nemělo přesáhnout 50% jmenovité hodnoty proudu.

$$z_{\%} = \frac{I_p}{I_N} \cdot 100 \quad (\%; A, A) \quad (4.17)$$

kde  $z_{\%}$  – zatížení kabelu

Po dosazení do rovnice získáme:

$$z_{\%} = \frac{I_p}{I_N} \cdot 100 = \frac{20,75}{122,5} \cdot 100 = 16,94\%$$

Kabelové vedení je zatížen na  $\sim 17\%$ , z čehož vyplývá, že kabel vyhovuje.

#### 4.2.2 Dimenzování s ohledem na mechanickou pevnost

Kabely a vodiče, určené jak pro vnitřní tak i venkovní použití, jsou z pravidla namáhány pouze při montáži, nebo vlivem zkratových proudů.

#### 4.2.3 Dimenzování s ohledem na úbytek napětí

Na úbytek napětí se můžeme dívat jako na kvalitativní ukazatel dodávky elektrické energie. Proto je nutné vodiče a kabely dimenzovat tak, aby při jmenovitém zatížení nezpůsobovaly nedovolený pokles napětí.

Pro distribuční síť  $22kV$  je dovolený úbytek napětí  $\pm 5\%$ . Za předpokladu  $\cos\varphi \geq 0,5$  se podle ČSN 34 1610 úbytek napětí vypočte pomocí vzorce:

$$\Delta U = R \cdot I_p \cdot \cos\varphi + X \cdot I_p \cdot \sin\varphi \quad (V; \Omega, A, -, \Omega, A, -) \quad (4.18)$$

kde  $R$  – elektrický odpor kabelu

$X$  – reaktance kabelu

V případě, že je odpor a indukčnost kabelu zadána na jeden kilometr délky, je vzorec

4.18 upraven na:

$$\Delta U = r_k \cdot l \cdot I_p \cdot \cos\varphi + 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_k \cdot l \cdot I_p \cdot \sin\varphi \quad (4.19)$$

$(V; \Omega/km, km, A, -, H_z, mH/km, km, A, -)$

kde  $r_k$  – elektrický odpor kabelu

$L_k$  – indukčnost kabelu

$l$  – délka kabelu

$f$  – frekvence napětí sítě

Po dosazení získáme:

$$r_k = 0,387\Omega; L_k = 0,72mH; l = 0,252km; f = 50Hz; I_p = 14,53A; \cos\varphi = 0,95;$$

$$\sin\varphi = 0,31$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= r_k \cdot l \cdot I_p \cdot \cos\varphi + 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_k \cdot l \cdot I_p \cdot \sin\varphi = \\ &= 0,387 \cdot 0,252 \cdot 14,53 \cdot 0,95 + 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,72 \cdot 10^{-3} \cdot 0,252 \cdot 14,53 \cdot 0,31 = 1,60V \end{aligned}$$

Procentní vyjádření úbytku napětí lze vypočítat pomocí vzorce:

$$\Delta u_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U}{U_N} \cdot 100 \quad (4.20)$$

Po dosazení získáme:

$$\Delta U = 1,60V; U_N = 22000V$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 1,6}{22000} \cdot 100 = 1,26 \cdot 10^{-4}\%$$

#### 4.2.4 Dimenzování s ohledem na účinky zkratového proudu

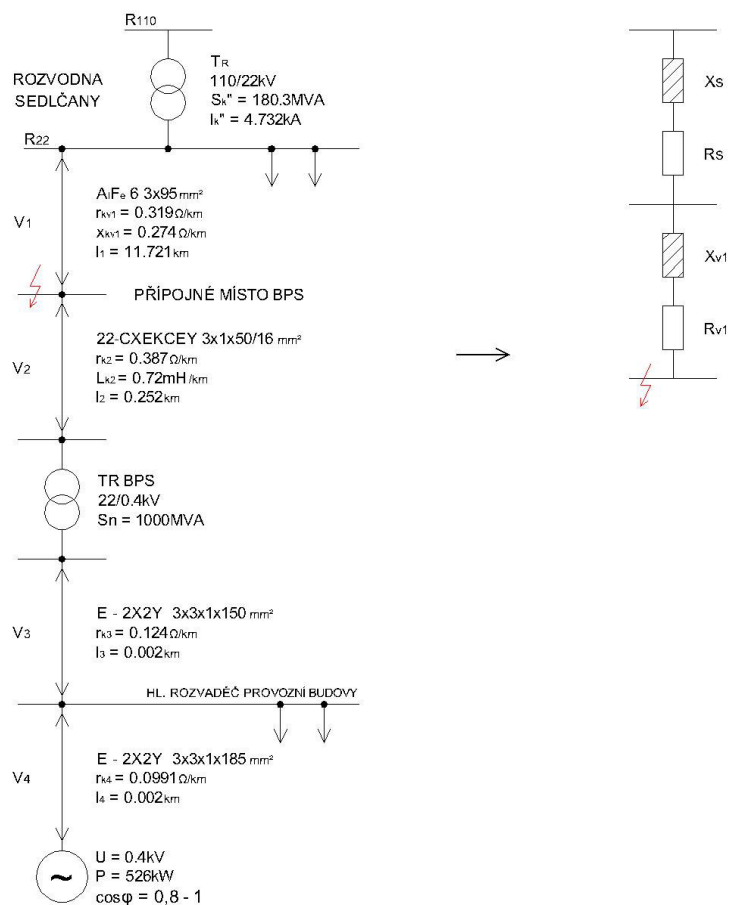
Na tepelné účinky průchodu zkratového proudu  $I_k''$  musí být kontrolovány průřezy všech kabelů a vodičů. Na dynamické účinky zkratového proudu  $I_{dyn}$  se kontrolují převážně holé vodiče a přípojnice, a to z důvodu, aby nedošlo k vytržení vedení či přípojnice z pevného uchycení nebo dotknutí se dvou živých částí.

V tomto kroku se budeme zabývat pouze dimenzováním na tepelné účinky zkratového proudu.

##### 4.2.4.1 Výpočet zkratového proudu $I_k''$

K tomu, aby bylo možné stanovit minimální průřez jádra  $S_{min}$ , je nejprve nutné vypočítat zkratový proud  $I_k''$  z něhož je posléze vypočten ekvivalentní oteplovací proud  $I_{th}$ .

Obrázek 4 znázorňuje místo zkratu.



Obrázek 4: Náhradní schéma pro výpočet zkratového proudu na začátku kabelového vedení V2

Zkrat na začátku VN kabelu je stejný, jako zkrat v přípojném místě.

$$I_{k3}'' = 1,90kA$$

Vzhledem k této okolnosti můžeme přejít k výpočtu ekvivalentního oteplovacího zkratového proudu.

#### 4.2.4.2 Výpočet ekvivalentního oteplovacího zkratového proudu

K tomu, aby bylo možné vypočítat ekvivalentní oteplovací zkratový proud  $I_{th}$ , je nejprve nutné stanovit přepočítávací koeficienty  $m$  a  $n$ , uvedené v ČSN EN 60909-0, které představují tepelné účinky stejnosměrné a střídavé složky zkratového proudu.

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m + n} \tag{4.21}$$



Přepočítávací součinitel  $n$  je poměr  $\frac{I_k''}{I_k}$ , kde  $I_k$  je ustálený zkratový proud. Ten je efektivní hodnotou zkratového proudu po ustálení všech přechodových složek. U elektricky vzdálených zkratu je  $I_k = I_k''$ . V případě elektricky blízkých zkratů tj. v rozvodech v blízkosti synchronních generátorů, vlivem nárůstu reaktance během doby zkratu, je  $I_k < I_k''$ .

V tomto případě budeme počítat pouze s elektricky vzdáleným zkratem.

$$n = \frac{I_{k3}''}{I_k} \quad [-; A, A] \quad (4.22)$$

Po dosazení získáme:

$$I_k = I_{k3}'' = 1,90kA$$

$$n = \frac{I_{k3}''}{I_k} = \frac{1,90}{1,90} = 1$$

Přepočítávací součinitel  $m$  je stanoven následovně:

$$m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} \cdot [e^{4 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1] \quad [-; Hz, s, -] \quad (4.23)$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R_c}{X_c}} \quad [-; \Omega, \Omega] \quad (4.24)$$

Po dosazení získáme:

$$I_{k3}'' = 1,90kA; R_c = 4,03\Omega; X_c = 6,15\Omega; T_k = 2s; f = 50Hz$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R_c}{X_c}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{4,03}{6,15}} = 1,157$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} \cdot [e^{4 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1] = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot 2 \cdot \ln(1,157 - 1)} \cdot [e^{4 \cdot 50 \cdot 2 \cdot \ln(1,157 - 1)} - 1] = 2,70 \cdot 10^{-3} \end{aligned}$$

Nyní, když jsme vypočetli oba přepočítávací koeficienty, je možné stanovit ekvivalentní oteplovací zkratový proud  $I_{th}$ :

$$I_{th} = I_{k3}'' \cdot \sqrt{m + n} = 1,90 \cdot \sqrt{2,70 \cdot 10^{-3} + 1} \cong 1,9025kA$$

#### 4.2.4.3 Ověření na minimální průřez vodiče

Při dimenzování vodiče na tepelné účinky zkratového proudu se určuje minimální průřez jádra vodiče  $S_{min}$  u kterého nedojde k překročení dovolené teploty  $\vartheta_k$ , než jistící prvek odpojí zkrat.

Doba trvání zkratu je velmi krátká, proto se oteplení vodiče zkratovým proudem považuje za adiabatický děj, což znamená, že veškeré teplo vyvolané zkratovým proudem se akumuluje v jádru vodiče. Při dimenzování vodiče se uvažuje nejdelší možná doba trvání zkratu.

Norma ČSN 33 2000-4-43 ed. 2 stanovuje při dimenzování vodiče tyto zjednodušující předpoklady:

- při výpočtu se neuvažuje vliv elektromagnetického pole vlastního vodiče ani vliv elektromagnetických polí okolních paralelních vodičů,
- elektrický odpor je v závislosti na teplotě lineární,
- měrná elektrická vodivost je konstantní,
- nepočítá se s odvodem tepla z vodiče do okolí.

Minimální průřez jádra vodiče je vypočten z rovnice uvedené v ČSN 38 1754, ve které se uplatňuje již vypočtený ekvivalentní oteplovací zkratový proud  $I_{th}$ .

$$S_{min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{T_k}}{K} \leq S \quad (mm^2; kA, s, -; mm^2) \quad (4.25)$$

kde  $K$  – koeficient pro stanovení minimálního průřezu jádra vodiče  
 $S$  – průřez vodiče

Koeficient  $K$  je volen z ČSN 38 1754 podle druhu materiálu jádra vodiče a jeho izolace. Pro přesnější výpočet bude koeficient  $K$  vypočten pomocí rovnice:

$$K = \sqrt{\frac{c_0 \cdot (20 + \vartheta_f)}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1}} \quad (4.26)$$

(–;  $J \cdot cm^{-3} \cdot ^\circ C^{-1}$ ,  $^\circ C$ ,  $\Omega mm^2 \cdot m^{-1}$ ,  $^\circ C$ ,  $^\circ C$ )

kde  $c_0$  – specifické teplo vodiče při  $0^\circ C$

$\vartheta_f$  – fiktivní teplota vodiče podle materiálu

$\rho_{20}$  – specifický odpor vodiče při 20°C

$\vartheta_k$  – maximální dovolená teplota vodiče při zkratu

$\vartheta_1$  – maximální provozní teplota vodiče

Po dosazení získáme:

$$c_0 = 3,5; \vartheta_f = 234,5^\circ\text{C}; \rho_{20} = 0,01786\Omega; \vartheta_k = 250^\circ\text{C}; \vartheta_1 = 90^\circ\text{C}; T_K = 2\text{s};$$

$$I_{th} = 1,9025\text{kA}$$

$$K = \sqrt{\frac{c_0 \cdot (20 + \vartheta_f)}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1}} = \sqrt{\frac{3,5 \cdot (20 + 234,5)}{0,01786} \cdot \ln \frac{234,5 + 250}{234,5 + 90}} = 141,39$$

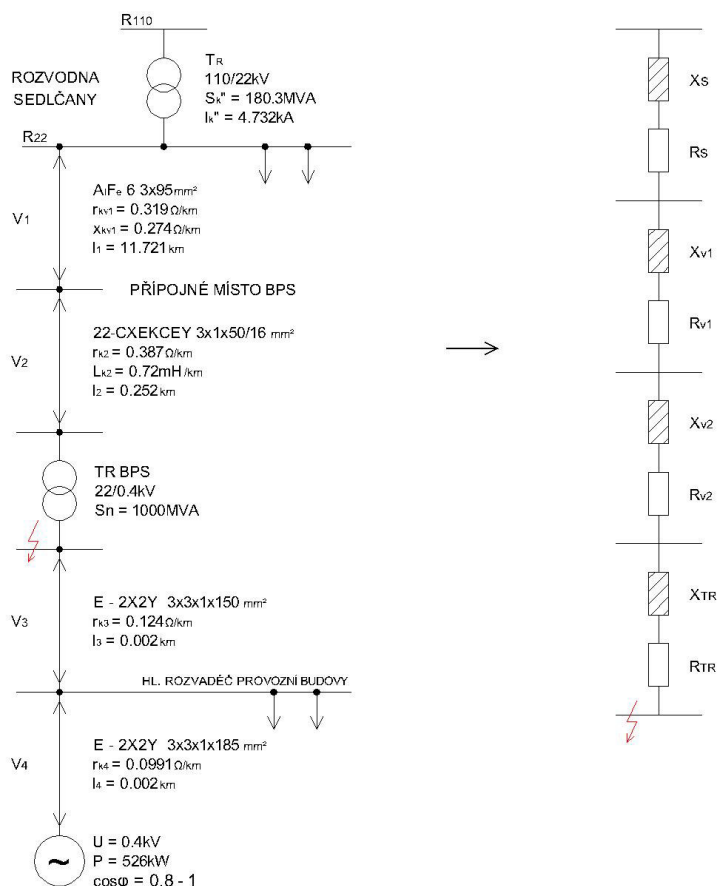
$$S_{min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{T_K}}{K} = \frac{1,9025 \cdot \sqrt{2}}{141,39} = 0,019029\text{m}^2 \Rightarrow 19,03\text{mm}^2$$

$$S_{min} \leq S \Rightarrow 19,03\text{mm}^2 \leq 50\text{mm}^2$$

Z vypočtené hodnoty je zřejmé, že navrhovaný kabel **22 – CXEKVCEY 1x50mm<sup>2</sup>** vyhovuje tepelným účinkům zkratu.

### 4.3 Návrh kabelu NN $V_3$ z distribučního transformátoru do hlavního rozvaděče

Při návrhu tohoto kabelu jsou použity stejné postupy, jako při návrhu VN kabelu a budou zde provedeny pouze výpočty. Pouze změní-li se vstupní parametry, budou tyto údaje doplněny.



Obrázek 5: Náhradní schéma pro výpočet zkratového proudu za transformátorem

#### 4.3.1 Dimenzování s ohledem na dovolené zatížení kabelu

##### 4.3.1.1 Stanovení přepočítávacích koeficientů a způsob uložení kabelu

Paralelní vedení  $V_3$  bude uložen přímo v zemi se vzdáleností 0,125m mezi jednotlivými obvody. Dále budou jednotlivé paralelní vodiče dle ČSN 33 2000-4-473 čl. 473.2.4N1 odst. a) vzdálené mezi sebou minimálně 1,5 násobku průřezu vodiče nejméně však 6cm. Tato vzdálenost bude zajištěna kabelovými rozpěrkami. Oddělení jednotlivých vodičů přepážkou nebo nehořlavým nátěrem nebude provedeno, neboť by došlo ke zhoršení odvodu tepla od

vodiče a tím ke změně způsobu uložení kabelů, se kterým ČSN 33 2000-5-52 ed. 2 ve svých referenčních způsobech uložení kabelů nepočítá.

Stejně jako při návrhu VN kabelu jsou, s přihlédnutím na způsob uložení, určeny tři přepočítávací koeficienty:

$$k_1 = 1,00; k_2 = 1,00; k_3 = 0,75$$

#### 4.3.1.2 Volba nového kabelu

Vzhledem k tomu, že jsme nyní na napěťové hladině 0,4kV, je nutné přepočítat podle rovnice 4.13 nový procházející zatěžovací proud.

Po dosazení získáme:

$$P_G = 526kW; U_N = 0,4kV; \cos\varphi = 0,95$$

$$I_p = \frac{P_G}{\sqrt{3} \cdot U_N \cdot \cos\varphi} = \frac{526}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 0,95} \cong 799A$$

$$I_N \geq \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} = \frac{799}{1 \cdot 1 \cdot 0,75} \cong 1065,6A$$

Jelikož je proud takto vysoký je vhodné použít jednožilové kabely. V tomto případě jsou zvoleny pro každou fázi tři jednožilové kabely **E – 2X2Y 1x150mm<sup>2</sup>** s celkovým jmenovitým proudem **I<sub>N</sub> = 2028A**.

$$I_N \geq \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2 \cdot k_3} \Rightarrow 2028A \geq 1065,6A$$

Podmínka 4.13 je splněna.

$$I_Z = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot I_N = 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 2028 = 1521A$$

#### 4.3.2 Dimenzování s ohledem na hospodárnost

Při návrhu NN kabelu by zatížení nemělo oproti VN kabelu přesáhnout 75% jmenovité hodnoty proudu.

Po dosazení do rovnice 4.17 získáme:

$$z_{\%} = \frac{I_p}{I_N} \cdot 100 = \frac{799}{2028} \cdot 100 = 39,4\%$$

Z výsledné hodnoty vyplývá, že NN kabel vyhovuje.

### 4.3.3 Dimenzování s ohledem na mechanickou pevnost

Kabel typu  $E - 2X2Y$  je určen pro pevné uložení v prostředí bez jakéhokoliv druhu mechanického namáhání.

### 4.3.4 Dimenzování s ohledem na úbytek napětí

Vzhledem k tomu, že jsou použity jednožilové kabely uloženy v trojúhelníkové formaci, je nutné vypočítat elektrický odpor a vzájemnou indukčnost jedné fáze. Ze vzájemné indukčnosti je posléze stanovena reaktance kabelu.

**Činný odpor jedné fáze se stanoví:**

$$r_k = \left( \frac{1}{R_{k1}} + \frac{1}{R_{k2}} + \frac{1}{R_{k3}} \right)^{-1} \quad [\Omega/\text{km}; \Omega/\text{km}] \quad (4.27)$$

$$R_{v3} = r_k \cdot l \quad [\Omega; \Omega/\text{km}, \text{km}] \quad (4.28)$$

kde  $R_{k1} \dots R_{k3}$  – činný odpor jednotlivých kabelů

$R_{v3}$  – celkový činný odpor kabelů z transformátoru do hlavního rozvaděče

**Indukčnost jednoho vodiče fáze se stanoví pomocí:**

$$L_k = 0,46 \cdot \log \frac{d_s}{r} + 0,05 \cdot \mu_r \quad [mH; mm, mm, mH] \quad (4.29)$$

$$d_s = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}} \quad [mm; mm] \quad (4.30)$$

$$X_k = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_k \quad [\Omega/\text{km}; Hz, mH] \quad (4.31)$$

$$x_k = \left( \frac{1}{X_{k1}} + \frac{1}{X_{k2}} + \frac{1}{X_{k3}} \right)^{-1} \quad [\Omega/\text{km}; \Omega/\text{km}] \quad (4.32)$$

$$X_{v3} = x_k \cdot l \quad [\Omega; \Omega/\text{km}, \text{km}] \quad (4.33)$$

kde  $d_s$  – geometrický průměr vzdálenosti vodičů

$r$  – poloměr jednožilového vodiče

$d_{12}, d_{13}, d_{23}$  – vzdálenost os jednotlivých vodičů

$\mu_r$  – relativní permeabilita mědi

Po dosazení získáme:

$$d_{12}, d_{13}, d_{23} = 60\text{mm}; r = 6,91\text{mm}; \mu_r = 0,9999911\text{mH}; R_{k1}, R_{k2}, R_{k3} = 0,124 \Omega/\text{km};$$

$$f = 50\text{Hz}; l = 0,02\text{km}$$

$$r_k = \left( \frac{1}{R_{k1}} + \frac{1}{R_{k2}} + \frac{1}{R_{k3}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{0,124} + \frac{1}{0,124} + \frac{1}{0,124} \right)^{-1} = 41,333 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{km}$$

$$R_{v3} = r_k \cdot l = 41,33 \cdot 10^{-3} \cdot 0,02 = 8,267 \cdot 10^{-4} \Omega$$

$$d_s = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}} = \sqrt[3]{60 \cdot 60 \cdot 60} = 60\text{mm}$$

$$L_k = 0,46 \cdot \log \frac{d_s}{r} + 0,05 \cdot \mu_r = 0,46 \cdot \log \frac{60}{6,91} + 0,05 \cdot 0,9999911 = 0,482\text{mH}$$

$$X_k = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_k = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,482 \cdot 10^{-3} = 0,151 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$x_k = \left( \frac{1}{X_{k1}} + \frac{1}{X_{k2}} + \frac{1}{X_{k3}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{0,151} + \frac{1}{0,151} + \frac{1}{0,151} \right)^{-1} = 50,453 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{km}$$

$$X_{v3} = r_k \cdot l = 50,453 \cdot 10^{-3} \cdot 0,02 = 1,01 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Po dosazení získáme:

$$I_p = 799\text{A}; U_N = 400\text{V}; R_{v3} = 8,267 \cdot 10^{-4} \Omega; X_{v3} = 1,01 \cdot 10^{-3} \Omega; \cos \varphi = 0,95;$$

$$\sin \varphi = 0,31$$

$$\Delta U = R_{v3} \cdot I_p \cdot \cos \varphi + X_{v3} \cdot I_p \cdot \sin \varphi =$$

$$= 8,26 \cdot 10^{-4} \cdot 799 \cdot 0,95 + 1,01 \cdot 10^{-3} \Omega \cdot 799 \cdot 0,31 = 0,88\text{V}$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,88}{400} \cdot 100 = 0,38\%$$

Z výpočtu je patrné, že kabel z hlediska úbytku napětí vyhovuje, úbytek napětí na vodiči je menší než  $\pm 5\%$ .

### 4.3.5 Dimenzování s ohledem na účinky zkratového proudu

#### 4.3.5.1 Výpočet zkratového proudu $I_{k3}''$

K tomu, aby bylo možné stanovit minimální průřez jádra  $S_{min}$  NN kabelu, je nutné vypočítat zkratový proud  $I_{k3}''$  za transformátorem na NN straně. Z něho bude posléze stanoven i ekvivalentní oteplovací proud  $I_{th}$ .

Vzhledem k tomu, že zkrat bude na NN straně transformátoru, je nutné přepočítat jednotlivé rezistance a reaktance na napěťovou hladinu  $0,4kV$ .

**Celkový činný odpor a reaktance do místa poruchy jsou stanoveny z rovnic:**

$$R_c = R_S + R_{v1} + R_{v2} + K_T \cdot R_T \quad [\Omega; \Omega, \Omega, \Omega, \Omega] \quad (4.34)$$

$$X_c = X_S + X_{v1} + X_{v2} + K_T \cdot X_T \quad [\Omega; \Omega, \Omega, \Omega, \Omega] \quad (4.35)$$

kde  $R_T$  – činný odpor transformátoru

$X_T$  – reaktance transformátoru

$K_T$  - korekční součinitel transformátoru

$$Z_S = \frac{c_{max} \cdot U_{nS}^2}{S_{k3}''} \cdot \left( \frac{1}{t_r^2} \right) \quad [\Omega; -, V, VA, kV] \quad (4.36)$$

kde  $c_{max}$  – napěťový součinitel

$U_{nS}$  – jmenovité napětí sítě

$t_r$  – převod transformátoru

$$X_S = 0,995 \cdot Z_S \quad [\Omega; \Omega] \quad (4.37)$$

$$R_S = 0,1 \cdot X_S \quad [\Omega; \Omega] \quad (4.38)$$

$$X_{v1} = x_{kv1} \cdot l \cdot \left( \frac{1}{t_r^2} \right) \quad [\Omega; \Omega/km, km, kV] \quad (4.39)$$

$$R_{v1} = r_{kv1} \cdot l \cdot \left( \frac{1}{t_r^2} \right) \quad [\Omega; \Omega/km, km, kV] \quad (4.40)$$

$$X_{v2} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_K \cdot l \cdot \left( \frac{1}{t_r^2} \right) \quad [\Omega; \Omega/km, km, kV] \quad (4.41)$$



$$R_{v2} = r_{kv2} \cdot l \cdot \left(\frac{1}{t_r^2}\right) \quad [\Omega; \Omega/\text{km}, \text{km}, \text{kV}] \quad (4.42)$$

Činný odporu a reaktance transformátoru je stanovena z celkové impedance prostřednictvím následujících vzorců:

$$Z_T = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{tT}^2}{S_{tT}} \quad [\Omega; \%, \text{V}, \text{VA}] \quad (4.43)$$

kde  $u_k$  – jmenovité napětí nakrátko

$U_{tT}$  – napětí transformátoru na straně nižšího nebo vyššího napětí

$S_{tT}$  – jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru

$$R_T = \frac{U_{Rz}}{100} \cdot \frac{U_{tT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{kT}}{3 \cdot I_{rT}^2} \quad [\Omega; \%, \text{V}, \text{VA}; \text{W}, \text{A}] \quad (4.44)$$

kde  $U_{Rz}$  – činná složka jmenovitého napětí nakrátko transformátoru

$P_{kT}$  – jmenovité ztráty nakrátko transformátoru

$I_{rT}$  – jmenovitý proud transformátoru na straně nižšího nebo vyššího napětí

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad [\Omega; \Omega, \Omega] \quad (4.45)$$

kde  $X_T$  – reaktance transformátoru

$$K_T = 0,95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \cdot x_T} \quad [-; -, \Omega] \quad (4.46)$$

kde  $x_T$  – poměrná reaktance transformátoru

$$x_T = \frac{X_T}{\frac{U_{tT}^2}{S_{tT}}} \quad [\Omega; \Omega, -, \text{V}, \text{VA}] \quad (4.47)$$

Po dosazení do výše uvedených vzorců získáme:

$$P_{kT} = 6550 \text{W}; I_{rT} = 1440 \text{A}; u_k = 6\%; S_{tT} = 1 \text{MVA}; U_{tT} = 400 \text{V}; U_{nS} = 22 \text{kV};$$

$$U_N = 0,4 \text{kV}; S_{k3}'' = 180,3 \text{MVA}; c_{max} = 1,1; f = 50 \text{Hz}; L_K = 0,72 \text{mH/km};$$

$$r_{kv2} = 0,387 \Omega/\text{km}; l_{v1} = 11,721 \text{km}; l_{v2} = 0,252 \text{km}$$

$$Z_T = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{tT}^2}{S_{tT}} = \frac{6}{100} \cdot \frac{400^2}{1000000} = 9,60 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_T = \frac{P_{kT}}{3 \cdot I_{rT}^2} = \frac{6550}{3 \cdot I_{rT}^2} = 1,053 \cdot 10^{-4} \Omega$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{(9,6 \cdot 10^{-3})^2 - (1,05 \cdot 10^{-3})^2} = 9,599 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$x_T = \frac{X_T}{\frac{U_{tT}^2}{S_{tT}}} = \frac{9,599 \cdot 10^{-3}}{\frac{400^2}{1 \cdot 10^6}} = 0,06$$

$$K_T = 0,95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \cdot x_t} = 0,95 \cdot \frac{1,1}{1 + 0,6 \cdot 0,06} = 1,0087$$

$$X_{v2} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_K \cdot l_{v2} \cdot \left(\frac{1}{t_r^2}\right) = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,72 \cdot 10^{-3} \cdot 0,252 \cdot \left(\frac{0,4}{22}\right)^2 = 1,88 \cdot 10^{-5} \Omega$$

$$R_{v2} = r_{kv2} \cdot l \cdot \left(\frac{1}{t_r^2}\right) = 0,387 \cdot 0,252 \cdot \left(\frac{0,4}{22}\right)^2 = 3,22 \cdot 10^{-5} \Omega$$

$$X_{v1} = x_{kv1} \cdot l \cdot \left(\frac{1}{t_r^2}\right) = 0,274 \cdot 11,721 \cdot \left(\frac{0,4}{22}\right)^2 = 1,06 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{v1} = r_{kv1} \cdot l \cdot \left(\frac{1}{t_r^2}\right) = 0,319 \cdot 11,721 \cdot \left(\frac{0,4}{22}\right)^2 = 1,23 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$Z_S = \frac{c_{max} \cdot U_{nS}^2}{S_{k3}} \cdot \left(\frac{1}{t_r^2}\right) = \frac{1,1 \cdot 22^2}{180,3} \cdot \left(\frac{0,4}{22}\right)^2 = 9,76 \cdot 10^{-4} \Omega$$

$$X_S = 0,995 \cdot Z_S = 0,995 \cdot 9,76 \cdot 10^{-4} = 9,71 \cdot 10^{-4} \Omega$$

$$R_S = 0,1 \cdot X_S = 0,1 \cdot 9,71 \cdot 10^{-4} = 9,71 \cdot 10^{-5} \Omega$$

$$X_c = X_S + X_{v1} + X_{v2} + K_T \cdot X_T =$$

$$= 9,71 \cdot 10^{-4} + 1,06 \cdot 10^{-3} + 1,88 \cdot 10^{-5} + 1,0087 \cdot 9,599 \cdot 10^{-3} = 11,73 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_c = R_S + R_{v1} + R_{v2} + K_T \cdot R_T =$$

$$= 9,71 \cdot 10^{-5} + 1,23 \cdot 10^{-3} + 3,22 \cdot 10^{-5} + 1,0087 \cdot 1,05 \cdot 10^{-3} = 1,47 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Po vypočtení činného odporu a reaktance můžeme stanovit zkratový proud za transformátorem na straně nízkého napětí.

$$Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2} = \sqrt{(1,47 \cdot 10^{-3})^2 + (11,73 \cdot 10^{-3})^2} = 11,82 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_c} = \frac{1,1 \cdot 0,4}{\sqrt{3} \cdot 11,82 \cdot 10^{-3}} = 21,480 \text{ kA}$$

#### 4.3.5.2 Výpočet ekvivalentního zkratového proudu

Pro výpočet ekvivalentního zkratového proudu za transformátorem, na straně nízkého napětí, je uvažován pouze elektricky vzdálený zkrat.

Stanovení přepočítávacího koeficientu  $n$ :

$$I_k = I_{k3}'' = 21,480 \text{ kA}$$

$$n = \frac{I_{k3}''}{I_k} = \frac{21,480}{21,480} = 1$$

Stanovení přepočítávacího koeficientu  $m$ :

$$R_c = 1,47 \cdot 10^{-3} \Omega; X_c = 11,73 \cdot 10^{-3} \Omega; T_k = 0,3 \text{ s}; f = 50 \text{ Hz}$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R_c}{X_c}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{1,47 \cdot 10^{-3}}{11,73 \cdot 10^{-3}}} = 1,69$$

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

$$= \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot 0,3 \cdot \ln(1,69 - 1)} \cdot [e^{4 \cdot 50 \cdot 0,3 \cdot \ln(1,69 - 1)} - 1] = 0,09$$

Nyní když jsme vypočetli oba přepočítávací koeficienty, je možné stanovit ekvivalentní oteplovací zkratový proud  $I_{th}$ :

$$I_{th} = I_{k3}'' \cdot \sqrt{m + n} = 21,480 \cdot \sqrt{0,09 + 1} = 22,434 \text{ kA}$$

#### 4.3.5.3 Ověření na minimální průřez vodiče

Minimální průřez vodiče je stanoven stejným způsobem jako v kapitole 4.2.4.3.

Po dosazení získáme:

$$c_0 = 3,5; \vartheta_f = 234,5^\circ\text{C}; \rho_{20} = 0,01786\Omega; \vartheta_k = 250^\circ\text{C}; \vartheta_1 = 90^\circ\text{C}; T_K = 0,3\text{s};$$

$$I_{th} = 22,434\text{kA}$$

$$K = \sqrt{\frac{c_0 \cdot (20 + \vartheta_f)}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1}} = \sqrt{\frac{3,5 \cdot (20 + 234,5)}{0,01786} \cdot \ln \frac{234,5 + 250}{234,5 + 90}} = 141,39$$

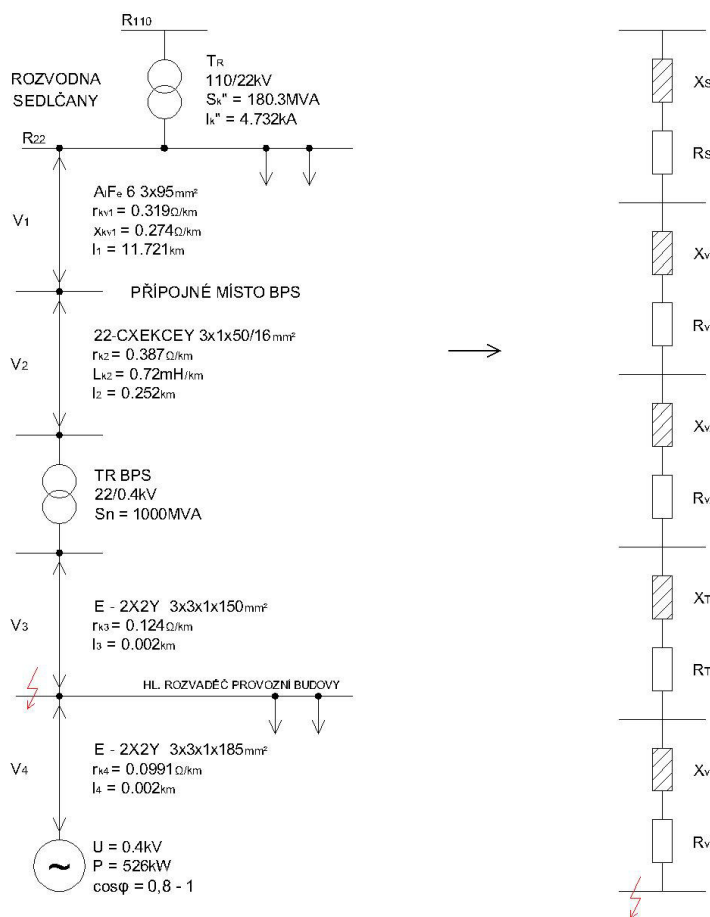
$$S_{min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{T_K}}{K} = \frac{22,434 \cdot \sqrt{0,3}}{141,39} = 0,0869\text{m}^2 \Rightarrow 86,9\text{mm}^2$$

$$S_{min} \leq S \Rightarrow 86,9\text{mm}^2 \leq 3 \times 150\text{mm}^2$$

Z vypočtené hodnoty je zřejmé, že navrhovaný kabel vyhovuje tepelným účinkům zkratu.

#### 4.4 Návrh kabelu NN $V_4$ z hlavního rozvaděče ke generátoru

Pro návrh kabelu  $V_3$  jsou použity stejné postupy, jako při návrhu obou předchozích kabelů a budou zde opět provedeny pouze výpočty.



Obrázek 6: Náhradní schéma pro výpočet zkratového proudu na konci kabelu  $V_3$

#### 4.4.1 Dimenzování s ohledem na dovolené zatížení kabelu

##### 4.4.1.1 Stanovení přepočítávacích koeficientů a uložení kabelu

Kabel  $V_4$  se nachází uvnitř provozní budovy a bude uložen ve větraném kabelovém kanále zapuštěném přímo v podlaze. To odpovídá referenčnímu způsobu uložení **B1**. Pro tento způsob uložení jsou v tabulce 52 – **B2** stanoveny dva přepočítávací koeficienty.

$$k_1 = 1,00; k_2 = 0,70$$

Stejně jako u  $V_3$  budou paralelní vodiče dle ČSN 33 2000-4-473 čl. 473.2.4N1 odst. a) vzdálené mezi sebou minimálně 1,5 násobku průřezu vodiče nejméně však 6cm. Tato vzdálenost bude zajištěna kabelovými rozpěrkami.

#### 4.4.1.2 Volba nového kabelu

Vzhledem k tomu, že se stále nacházíme na napěťové hladině 0,4kV, je procházející zatěžovací proud  $I_p$  stejný.

$$I_p \cong 799A$$

Ovšem způsob uložení kabelu je jiný. Proto nemůže být použit stejný průměr kabelu jako u  $V_3$ . Kabel  $V_4$  se bude skládat ze třech jednožilových kabelů  $E - 2X2Y 1x185mm^2$  s celkovým jmenovitým proudem  $I_N = 2001A$ .

$$I_N \geq \frac{I_p}{k_1 \cdot k_2} \Rightarrow 2001A \geq 1141,7A$$

$$I_Z = k_1 \cdot k_2 \cdot I_N = 1 \cdot 0,70 \cdot 2001 = 1400,7A$$

#### 4.4.2 Dimenzování s ohledem na hospodárnost

$$z_{\%} = \frac{I_p}{I_N} \cdot 100 = \frac{799}{2001} \cdot 100 \cong 39,93\%$$

Z výsledné hodnoty vyplývá, že kabel  $V_4$  vyhovuje.

#### 4.4.3 Dimenzování s ohledem na mechanickou pevnost

Kabel typu  $E - 2X2Y$  je určen pro pevné uložení v prostředí bez jakéhokoliv druhu mechanického namáhání.

#### 4.4.4 Dimenzování s ohledem na úbytek napětí

Po dosazení získáme:

$$d_{12}, d_{13}, d_{23} = 60mm; r = 7,674mm; \mu_r = 0,9999911mH; R_{k1}, R_{k2}, R_{k3} = 0,0991 \Omega/km; f = 50Hz; l = 0,005km$$

$$r_k = \left( \frac{1}{R_{k1}} + \frac{1}{R_{k2}} + \frac{1}{R_{k3}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{0,0991} + \frac{1}{0,0991} + \frac{1}{0,0991} \right)^{-1} = 33,03 \cdot 10^{-3} \Omega/km$$

$$R_{v4} = r_k \cdot l = 33,03 \cdot 10^{-3} \cdot 0,005 = 1,65 \cdot 10^{-4} \Omega$$

$$d_s = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}} = \sqrt[3]{60 \cdot 60 \cdot 60} = 60 \text{ mm}$$

$$L_k = 0,46 \cdot \log \frac{d_s}{r} + 0,05 \cdot \mu_r = 0,46 \cdot \log \frac{60}{7,674} + 0,05 \cdot 0,9999911 = 0,461 \text{ mH}$$

$$X_k = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_k = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,461 \cdot 10^{-3} = 0,145 \Omega$$

$$x_k = \left( \frac{1}{X_{k1}} + \frac{1}{X_{k2}} + \frac{1}{X_{k3}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{0,145} + \frac{1}{0,145} + \frac{1}{0,145} \right)^{-1} = 48,25 \cdot 10^{-3} \Omega/\text{km}$$

$$X_{v3} = r_k \cdot l = 48,25 \cdot 10^{-3} \cdot 0,005 = 2,41 \cdot 10^{-4} \Omega$$

Po dosazení získáme:

$$I_p = 799 \text{ A}; U_N = 400 \text{ V}; R_{v4} = 1,65 \cdot 10^{-4} \Omega; X_{v4} = 2,41 \cdot 10^{-4} \Omega; \cos \varphi = 0,95;$$

$$\sin \varphi = 0,31$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= R_{v4} \cdot I_p \cdot \cos \varphi + X_{v4} \cdot I_p \cdot \sin \varphi = \\ &= 1,65 \cdot 10^{-4} \cdot 799 \cdot 0,95 + 2,41 \cdot 10^{-4} \cdot 799 \cdot 0,31 = 0,185 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\Delta u_{\%} = \frac{\sqrt{3} \cdot \Delta U}{U_N} \cdot 100 = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,231}{400} \cdot 100 = 0,08\%$$

Z výpočtu je patrné, že kabel z hlediska úbytku napětí vyhovuje.

#### 4.4.5 Dimenzování s ohledem na účinky zkratového proudu

##### 4.4.5.1 Výpočet souměrného zkratového proudu $I''_{k3}$

Celkový činný odpor a reaktance do místa poruchy jsou stanoveny z rovnic:

$$R_c = R_S + R_{v1} + R_{v2} + K_T \cdot R_T + R_{v3} \quad [\Omega; \Omega, \Omega, \Omega-, \Omega, \Omega] \quad (4.48)$$

$$X_c = X_S + X_{v1} + X_{v2} + K_T \cdot X_T + X_{v3} \quad [\Omega; \Omega, \Omega, \Omega-, \Omega, \Omega] \quad (4.49)$$

Po dosazení získáme:

$$R_S = 9,71 \cdot 10^{-5} \Omega; R_{v1} = 1,23 \cdot 10^{-3} \Omega; R_{v2} = 3,22 \cdot 10^{-5} \Omega; R_{v3} = 8,26 \cdot 10^{-4} \Omega$$

$$R_T = 1,05 \cdot 10^{-3} \Omega; X_S = 9,71 \cdot 10^{-4} \Omega; X_{v1} = 1,06 \cdot 10^{-3} \Omega; X_{v2} = 1,88 \cdot 10^{-5} \Omega;$$

$$X_T = 9,599 \cdot 10^{-3} \Omega; X_{v3} = 1,01 \cdot 10^{-3} \Omega; K_T = 1,0087$$

$$\begin{aligned}
 X_c &= X_S + X_{v1} + X_{v2} + K_T \cdot X_T + X_{v3} = \\
 &= 9,71 \cdot 10^{-4} + 1,06 \cdot 10^{-3} + 1,88 \cdot 10^{-5} + 1,0087 \cdot 9,599 \cdot 10^{-3} + 1,01 \cdot 10^{-3} = \\
 &= 12,74 \cdot 10^{-3} \Omega
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_c &= R_S + R_{v1} + R_{v2} + K_T \cdot R_T + R_{v3} = \\
 &= 9,71 \cdot 10^{-5} + 1,23 \cdot 10^{-3} + 3,22 \cdot 10^{-5} + 1,0087 \cdot 1,05 \cdot 10^{-3} + 8,26 \cdot 10^{-4} = \\
 &= 2,30 \cdot 10^{-3} \Omega
 \end{aligned}$$

Po vypočtení činného odporu a reaktance můžeme stanovit zkratový proud za transformátorem na straně nízkého napětí.

$$Z_c = \sqrt{R_c^2 + X_c^2} = \sqrt{(2,30 \cdot 10^{-3})^2 + (12,74 \cdot 10^{-3})^2} = 12,95 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_c} = \frac{1,1 \cdot 0,4}{\sqrt{3} \cdot 12,95} = 19,617 \text{ kA}$$

#### 4.4.5.2 Výpočet ekvivalentního zkratového proudu

Stanovení přepočítávacího koeficientu  $n$ :

$$I_k = I_{k3}'' = 19,617 \text{ kA}$$

$$n = \frac{I_{k3}''}{I_k} = \frac{19,617}{19,617} = 1$$

Stanovení přepočítávacího koeficientu  $m$ :

$$R_c = 2,30 \cdot 10^{-3} \Omega; X_c = 12,95 \cdot 10^{-3} \Omega; T_k = 0,1 \text{ s}; f = 50 \text{ Hz}$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R_c}{X_c}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{2,30 \cdot 10^{-3}}{12,95 \cdot 10^{-3}}} = 1,59$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} \cdot [e^{4 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1] = \\
 &= \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot \ln(1,59 - 1)} \cdot [e^{4 \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot \ln(1,59 - 1)} - 1] = 0,19
 \end{aligned}$$



Stanovit ekvivalentní oteplovací zkratový proud  $I_{th}$ :

$$I_{k3}'' = 19,617 \text{ kA}; n = 1; m = 0,19$$

$$I_{th} = I_{k3}'' \cdot \sqrt{m + n} = 19,617 \cdot \sqrt{0,19 + 1} = 21,398 \text{ kA}$$

#### 4.4.5.3 Ověření na minimální průřez vodiče

$$c_0 = 3,5; \vartheta_f = 234,5^\circ\text{C}; \rho_{20} = 0,01786\Omega; \vartheta_k = 250^\circ\text{C}; \vartheta_1 = 90^\circ\text{C}; T_K = 0,1\text{s};$$

$$I_{th} = 21,398 \text{ kA}$$

$$K = \sqrt{\frac{c_0 \cdot (20 + \vartheta_f)}{\rho_{20}} \cdot \ln \frac{\vartheta_f + \vartheta_k}{\vartheta_f + \vartheta_1}} = \sqrt{\frac{3,5 \cdot (20 + 234,5)}{0,01786} \cdot \ln \frac{234,5 + 250}{234,5 + 90}} = 141,39$$

$$S_{min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{T_K}}{K} = \frac{21,398 \cdot \sqrt{0,1}}{141,39} = 0,0478 \text{ m}^2 \Rightarrow 47,8 \text{ mm}^2$$

$$S_{min} \leq S \Rightarrow 47,8 \text{ mm}^2 \leq 3 \times 150 \text{ mm}^2$$

Kabel  $V_4$  vyhovuje všem účinkům zkratového proudu a lze jej instalovat.

## 4.5 Návrh ochranného vodiče PEN

Ochranný vodič musí splňovat všechny podmínky uvedené v ČSN 33 2000-5-54 ed.3 čl. 543 Ochranné vodiče.

*„Průřez každého ochranného vodiče musí splňovat podmínky pro automatické odpojení od zdroje požadované v článku 411.3.2 IEC 60364-4-41:2005 a musí být schopný vydržet mechanické a tepelné namáhání způsobené předpokládaným poruchovým proudem v průběhu doby, po kterou probíhá odpojování ochranným přístrojem.“ [19]*

Ochranný vodič musí být stanoven výpočtem

$$S = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k} \quad [\text{mm}^2; A, \text{s}, -] \quad (4.50)$$

kde  $S$  – průřez ochranného vodiče

$I$  – efektivní hodnotou předpokládaného poruchového proudu

$t$  – doba zapůsobení ochranného přístroje

$k$  – součinitel závisející na materiálu ochranného vodiče

nebo musí být zvolen podle tabulky 54.2 v ČSN 33 2000-5-54 ed.3.

Ochranný vodiče budou v BPS stanoveny podle vzorce 4.50.

Po dosazení získáme:

$$I''_{k3V3} = 21,480kA, I''_{k3V4} = 17,641kA, t = 5s, k = 141,39$$

$$S_{PENV3} = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k} = \frac{\sqrt{21,480^2 \cdot 5}}{141,39} = 0,340m^2 = 340mm^2$$

$$S_{PENV4} = \frac{\sqrt{I^2 \cdot t}}{k} = \frac{\sqrt{17,641^2 \cdot 5}}{141,39} = 0,310m^2 = 310mm^2$$

Jestliže je vypočten nenormalizovaný průřez vodiče, musí být použit vodič nejbližšího vyššího normalizovaného průřezu.

Pro ochranný vodič bude v BPS použit kabel **2 x E – 2X2Y 1x185mm<sup>2</sup>**.

#### 4.6 Návrh elektroinstalace BPS

Návrh rozvodné sítě v BPS bude proveden pomocí výkresové dokumentace, která bude obsahovat:

- Příloha 4 - Jednopolové schéma BPS
- Příloha 5 - Třípolové schéma technologie BPS
- Příloha 6 - Třípolové schéma provozní budovy
- Příloha 7 - Třípolové schéma budovy separace

## 5 Ochrana kabelů před nadproudy a podmínky jištění

K tomu, aby nedošlo k poškození elektrických spotřebičů a jejich přívodů, musí být chráněny jak před proudovým přetížením, tak i před zkratovými proudy. Vhodná volba ochranných přístrojů a jejich přívodů je tedy zásadním faktorem pro návrh z hlediska bezpečnosti provozu.

### Druhy ochranných přístrojů

Ochranné přístroje musí zajišťovat ochranu před všemi nadproudy a v případě jističů i zapnout jakýkoliv nadproud až do velikosti předpokládaného zkratového proudu v místě připojení.

Ochranné přístroje se dělí dle tří základních kategorií:

- přístroje zajišťující ochranu před proudy přetížení i před zkratovými proudy,
- přístroje zajišťující ochranu pouze před proudy přetížení,
- přístroje zajišťující ochranu pouze před zkratovými proudy.

### 5.1 Podmínky jištění

Mezi základní podmínky pro ochranu proti nadproudům při použití jističů patří:

$$I_p \leq I_u \leq I_z \quad (A; A; A) \quad (5.1)$$

$$i_p \leq I_{cm} \quad (kA; kA) \quad (5.2)$$

$$I_k'' \leq I_{CS} \leq I_{CU} \quad (kA; kA; kA) \quad (5.3)$$

$$I_{th,1} \leq I_{CW,1} \quad (kA; kA) \quad (5.4)$$

kde  $I_u$  – jmenovitý proud jističe

$i_p$  – nárazový zkratový proud

$I_{cm}$  – zapínací schopnost jističe

$I_{CS}$  – zkratová schopnost jističe

$I_{CU}$  – mezní vypínací zkratová schopnost jističe

$I_{CW,1}$  – krátkodobý výdržný proud jističe po dobu trvání zkratu 1s

$I_{th,1}$  – ekvivalentní oteplovací proud přepočten na dobu trvání zkratu 1s

Použití pojistek musí splňovat:

$$I_1 \geq i_p \quad (5.5)$$

kde  $I_1$  – vypínací schopnost pojistky

Nárazový zkratový proud je vrcholnou hodnotou nesymetrického zkratového proudu. Je hlavním kritériem při kontrole dynamického namáhání zařízení. Pro zkraty v nezauzlených sítích se nárazový zkratový proud  $i_p$  stanoví podle:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (kA; -, kA) \quad (5.6)$$

Ekvivalentní oteplovací proud přepočten na dobu trvání zkratu 1s je stanoven podle:

$$I_{th,1} = I_{th} \cdot \sqrt{\frac{T_k}{T_{k,1}}} \quad (kA; kA, s, s) \quad (5.7)$$

## 5.2 Ochrana před proudovým přetížením

Ochrana proti přetížení závisí na charakteru prvku jistícího vedení, který přeruší nadproud protékající obvodem dříve, než nadměrné oteplení zapříčiní poškození izolace, přípojovacích a spojovacích míst, případně okolních zařízení.

Jednou z dalších podmínek, která musí být pro správnou funkci ochrany; splněna, je:

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \quad (A; A) \quad (5.8)$$

kde  $I_2$  – proud zajišťující účinné zapůsobení ochranného přístroje ve smluvené době

Ochrana v souladu s výše uvedeným vztahem nemusí za jistých případů ochranu vodiče zajistit, např. když průchod trvalého nadproudu je menší než  $I_2$ . Není-li splněna podmínka 5.8, nemusí ochrana pracovat spolehlivě. Vzhledem k této okolnosti je doporučeno ověřit jištění vodiče na základě ampérsekundové vypínací charakteristiky jistícího prvku. Tato vypínací charakteristika graficky znázorňuje dobu, za kterou jistící prvek vybaví v případě nadproudů, aby nedošlo k překročení maximální provozní teploty kabelu.

Ověření oteplení kabelu se provádí na výpočtový zatěžovací proud  $I_p$  a nadproudů, které jsou násobky jmenovitého proudu jističe  $I_{NP}$ .

Pro výpočet oteplení jsou použity následující rovnice:

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_m \cdot (1 - e^{-\tau'}) \quad (\text{K; K, -}) \quad (5.9)$$

$$\Delta\vartheta_m = \vartheta_m - \vartheta_0 \quad (\text{K; } ^\circ\text{C, } ^\circ\text{C}) \quad (5.10)$$

$$\tau' = \frac{t}{\tau} \quad (-; -, s) \quad (5.11)$$

kde  $\Delta\vartheta$  – oteplení jádra (nebo povrchu) vodiče (kabelu) za čas  $t$  od počátku průchodu konstantního proudu nebo nadproudu

$\Delta\vartheta_m$  – největší ustálené oteplení jádra (nebo povrchu) vodiče (kabelu)

$\tau'$  – poměrný čas od počátku průchodu proudu nebo nadproudu

$\vartheta_m$  – největší ustálená teplota jádra (nebo povrchu) vodiče (kabelu)

$\vartheta_0$  – počáteční teplota jádra (nebo povrchu) vodiče (kabelu)

$\tau$  – časová oteplovací konstanta jádra (nebo povrchu) vodiče (kabelu)

$t$  – vypínací čas nadproudu v  $s$ , stanoví se z vypínací charakteristiky jističe

Velikost oteplení  $\Delta\vartheta_m$  jádra (nebo povrchu) vodičů (kabelů) v závislosti na proměnném nadproudu  $i$  při ustáleném stavu se stanoví z rovnice:

$$\Delta\vartheta_m = \Delta\vartheta_z \cdot i^x \quad (\text{K; K, -}) \quad (5.12)$$

$$\Delta\vartheta_z = \vartheta_m - \vartheta_0 \quad (\text{K; } ^\circ\text{C, } ^\circ\text{C}) \quad (5.13)$$

$$i = \frac{I_p}{I_z} \quad (-; A, A) \quad (5.14)$$

kde  $\Delta\vartheta_m$  – oteplení jádra (nebo povrchu) vodiče (kabelu), odpovídající nadproudu  $i$

$\Delta\vartheta_z$  – oteplení jádra (nebo povrchu) vodiče (kabelu), odpovídající dovolenému proudu  $I_z$

$i$  – poměrný nadproud

$x$  – mocnitel stanovený konvencí na základě měření, pro izolované vodiče se udává

$$x = 2,492$$

Celkově tedy pro oteplení vodiče platí:

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_z \cdot \left(\frac{I_p}{I_z}\right)^x \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (^\circ\text{C; K, A, A, -, -, s}) \quad (5.15)$$

$$t_c = \vartheta_{prov} + \Delta\vartheta \quad (-; ^\circ\text{C, } ^\circ\text{C}) \quad (5.16)$$

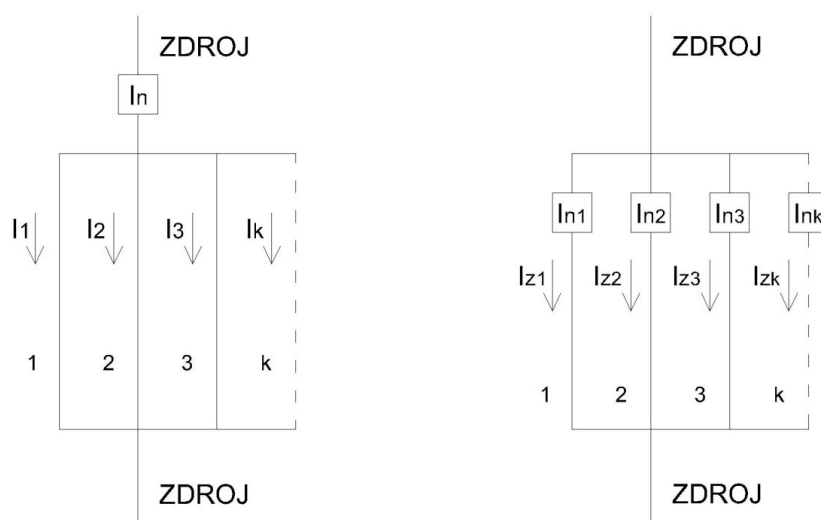
$$\vartheta_{prov} = \vartheta_0 + \Delta\vartheta_z \cdot \left(\frac{I_p}{I_z}\right)^x \quad (^\circ\text{C}; K, K, A, A, -) \quad (5.17)$$

kde  $t_c$  – konečná teplota vodiče (kabelu) při  $I_p$

$\vartheta_{prov}$  – provozní teplota vodiče

### 5.2.1 Ochrana paralelních vodičů před přetížením

Klíčové faktory, které ovlivňují symetrické zatížení kabelů, jsou zejména stejný průřez, materiál, délka a uložení vodičů. Vznikne-li v symetrickém obvodu nadproud, zvyšuje se přetížení proudem v každém vodiči stejnoměrně a je tedy možné všechny tyto vodiče chránit jedním přístrojem. Dovolené proudové zatížení  $I_z$  se rovná součtu dovolených proudových zatížení jednotlivých vodičů. Je ovšem nutné doplnit, že se počítá s příslušnými součiniteli seskupení a dalšími součiniteli, které přicházejí v úvahu.



Obrázek 7: Ochrana paralelního vodičů před přetížením

Proudové zatížení, na které by měl být vodič navržen, je možné počítat z celkového zatížení a impedance každého vodiče.

$$I_{Bk} = \frac{I_p}{\left(\frac{Z_k}{Z_1} + \frac{Z_k}{Z_2} + \dots + \frac{Z_k}{Z_{k-1}} + \frac{Z_k}{Z_k} + \frac{Z_k}{Z_{k+1}}\right)} \quad (A; A, \Omega) \quad (5.18)$$

Výsledný proud musí, v závislosti na způsobu jištění, odpovídat těmto podmínkám:

pro jištění jedním ochranným přístrojem:

$$I_p \leq I_u \leq \sum I_{zk} \quad (5.19)$$

pro jištění každého vodiče zvlášť:

$$I_{Bk} \leq I_{uk} \leq I_{zk} \quad (5.20)$$

kde  $I_{Bk}$  – proud, na nějž je navržen vodič  $k$

$Z_k$  – impedance vodiče  $k$

$I_{zk}$  – maximální proudové zatížení vodiče  $k$

$I_{uk}$  – jmenovitý proud ochranného přístroje pro vodič  $k$

### 5.3 Ochrana před zkraty

Jmenovitá vypínací schopnost ochranných přístrojů chránící obvod nesmí být menší než maximální předpokládaný zkratový proud v místě, kde je přístroj instalován. Jednoduše řečeno, ochrana proti zkratům spočívá v použití jisticích prvků, které přeruší nadproud dříve, než nadměrné oteplení způsobí nevratné poškození vodiče (kabelu).

Všeobecně pro zkraty s dobou trvání do 5s, se doba trvání zkratu  $t$  přibližně vypočítá ze vzorce 5.22. Tato doba  $t$  představuje čas, ve kterém zkratový proud zvýší provozní teplotu vodiče z nejvyšší dovolené provozní teploty v normálním provozu na mezní teplotu.

$$I^2 \cdot t = k^2 \cdot S^2 \quad (A, s; -, mm^2) \quad (5.21)$$

$$t = \left(k \cdot \frac{S}{I}\right)^2 \quad (s; -, mm^2, A) \quad (5.22)$$

kde  $t$  – přibližný maximální čas doby zkratu

$S$  – průřez vodiče

$I$  – efektivní hodnota zkratového proudu

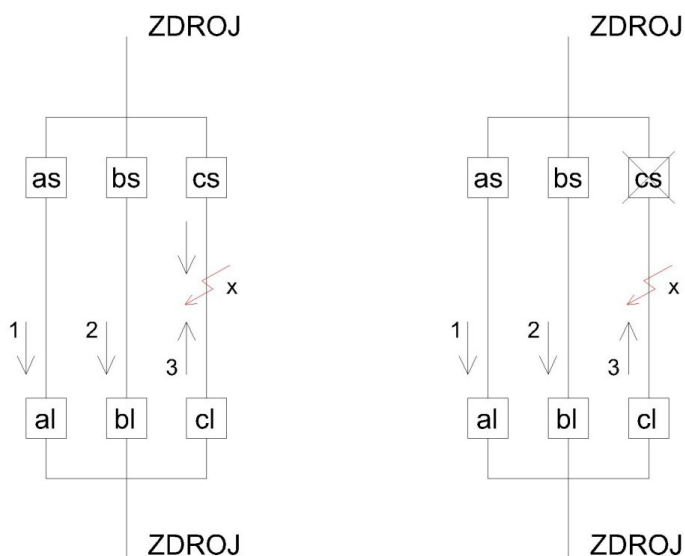
$k$  – koeficient uvedený v c

Při velmi krátkých vypínacích časech ( $< 0,1s$ ) musí být  $k^2 \cdot S^2$  větší než výrobcem daná hodnota  $I^2 \cdot t$  jisticího prvku.

$$I^2 \cdot t < k^2 \cdot S^2 \quad (5.23)$$

### 5.3.1 Ochrana paralelních vodičů před zkratem

V případě, že jsou vodiče zapojeny paralelně, může se objevit více proudových drah a v důsledku toho může pokračovat napájení zkratu z druhé strany místa s poruchou. To by mělo vést k zajištění ochrany před zkratem z obou stran. Tento stav je znázorněn na obrázku 8.



Obrázek 8. Ochrana paralelního vodičů před zkratem

První obrázek znázorňuje, proč se paralelní vedení jistí na obou koncích. Při zapůsobení jisticího prvku **cs** je místo poruchy **x** stále napájeno pomocí vodičů 1 a 2 z druhé strany. Vzhledem k tomu, že se jedná o paralelní vedení, nemusí vodiči 1 a 2 protékat dostatečný proud k tomu, aby zapůsobily ochranné přístroje **as** a **bs** v požadovaném čase. Z tohoto důvodu je na konci vodiče instalován ochranný přístroj **cl**, který zajišťuje ochranu obvodu proti zpětným proudům.

Při jištění paralelního vedení nezáleží na selektivitě jištění. Proto mohou být jmenovité proudy ochranných přístrojů na obou koncích stejné.

Alternativou k šesti ochranným přístrojům je použití spřaženého ochranného přístroje, který zajistí odpojení i ostatních vodičů.



## 5.4 Ochrana proti nebezpečnému dotyku

Jedna z nejdůležitějších částí návrhu je ochrana před úrazem elektrickým proudem. Z hlediska ochrany rozvodných elektrických zařízení se setkáváme s pojmy živé a neživé části elektrického zařízení.

- *„Za živou část, kterou je nutné chránit proti přímému dotyku, je považován vodič, včetně vodiče středního, nebo vodivá část určená k tomu, aby byla při obvyklém užívání pod napětím; podle dohody však nezahrnuje vodič PEN (ČSN 33 0050, č. termínu 826-03-01).“ [43]*
- *„Za neživou část, která je třeba chránit proti nepřímému dotyku, je považována vodivá část elektrického zařízení, které se lze dotknout a která není při obvyklém užívání živá, ale může se stát živou v případě poruchy. S ohledem na předchozí odstavec je za neživou část v distribuční síti dodavatele elektřiny považován i vodič PEN (viz ČSN 33 0050-826, č. termínu 826-03-02).“ [43]*

Ochrana proti nebezpečnému dotyku tedy spočívá v zamezení přístupu ke všem živým částem a včasném vypnutí poruchy při vzniku nebezpečného dotykového napětí na všech neživých částech.

Ochrana proti nebezpečnému dotyku je v sítích TN realizována pomocí automatického odpojení od zdroje. V síti TN je maximální doba pro odpojení zdroje, která navíc platí pro koncové obvody nepřekračující 32A, stanovena na  $t_{max} = 5s$ . Mezní dovolené dotykové napětí je pro nebezpečné prostory stanoveno na  $U_{dl} = 50V$ .

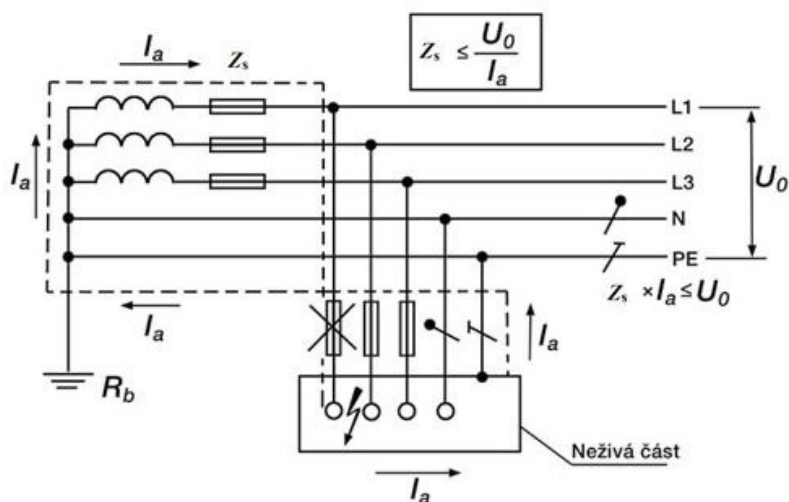
V případě použití jističů s nastavitelnou zkratovou spouští, jako ochranného přístroje, je nutné vynásobit proud zkratové spouště  $I_t$  hodnotou uvedenou v katalogu výrobce daného jističe. Nejčastěji je touto hodnotou 1,1, která představuje 10% toleranční pásmo zkratové spouště.

Ochrana proti nebezpečnému dotyku bude provedena pomocí:

- **ochranného uzemnění**, kde všechny neživé části jsou spojeny s ochranným vodičem. Toto spojení musí splňovat podmínky uvedené v čl. 411.4 až 411.6

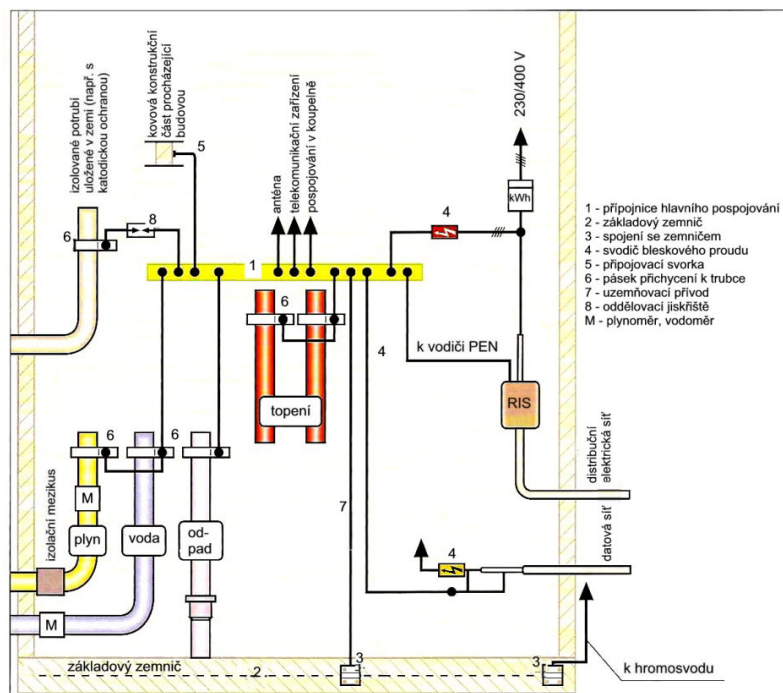
ČSN 33 2000-4-41 ed. 2, PNE 33 2000-1 ed.5 a vodiče ochranného uzemnění vyhovovat HD 60364-5-54.

- **automatického odpojení od zdroje.** Jedná se o stav, kdy ochranný přístroj musí automaticky odpojit napájení vodičů nebo zařízení v případě poruchy. To znamená, že všechny neživé části sítě TN jsou prostřednictvím PEN (PE) vodiče spojeny se středem (uzlem) vinutí zdroje, který je vždy uzemněn. Uzemnění středu vinutí bude provedeno podle ČSN 33 2000-4-41 ed. 2.



Obrázek 9: Ochrana automatickým odpojením od zdroje v síti TN [4]

- **ochranného pospojování,** které je doplňkovou ochranou k ochrannému uzemnění. Spočívá v pospojování všech neživých částí a ostatních cizích vodivých částí v okolí. Jsou-li neživé části přiváděny do budovy zvenčí, musí být pospojovány v co nejbližším místě, kde vstupují do budovy. Dimenzování vodičů pro pospojování se provede podle ČSN 33 2000-5-54 ed. 3.



Obrázek 10: Ochrana pospojováním [6]

#### 5.4.1 Podmínky použití ochrany proti nebezpečnému dotyku

„Charakteristiky nadproudových ochranných přístrojů a impedance obvodů musí být takové, aby v případě poruchy o zanedbatelné impedanci, která může vzniknout kdekoli v distribuční síti TN mezi fázovým vodičem, a neživou částí nebo vodičem PEN (PE), došlo k automatickému odpojení příslušné části distribuční sítě od zdroje napájení v předepsaném čase do 30 s. Vzniklá dotyková napětí musí vyhovovat čl. 3.3.1. Nadproudové ochranné přístroje odpojují v případě poruchy zdroje napájení té části distribuční sítě, pro kterou zajišťují ochranu při poruše (ochranu před dotykem neživých částí.“ [43]

Pro správnou funkci ochrany musí být splněny tyto podmínky:

$$Z_{ps} \leq Z_{sv} \quad (5.24)$$

$$Z_{PE} \leq \frac{U_{sL}}{U_0} \cdot Z_s \quad (5.25)$$

kde  $Z_{ps}$  – impedanční poruchové smyčky zahrnující zdroj, fázový vodič k místu poruchy a vodič PEN nebo PE

$Z_{PE}$  – impedance ochranného vodiče

$U_{sL}$  – dovolené dotykové napětí

$U_0$  – jmenovité napětí DS proti zemi (230V)

$$Z_S \cdot I_a \leq c \cdot U_0 \quad [\Omega, A, -, V] \quad (5.26)$$

kde  $Z_S$  – maximální hodnota impedanční poruchové smyčky

$I_a$  – proud zajišťující automatické zapůsobení nadproudové ochrany (5s)

$c$  – koeficient podle ČSN EN 60909-0, pro síť 230/400V je  $c = 0,95$

Maximální impedance poruchové smyčky je stanovena pomocí upraveného vzorec 4.23:

$$Z_S = \frac{c \cdot U_0}{I_a} \quad [\Omega; -, V, A] \quad (5.27)$$

Dále je výsledná hodnota zatížená konstantou, která zohledňuje provozní vlivy, tolerance a napěťové součinitele.

$$Z_{sv} = \frac{Z_S}{k_v} \quad [\Omega; \Omega, -] \quad (5.28)$$

kde  $Z_{sv}$  – maximální hodnota impedancí při výpočtu

$k_v$  – přepočítávací konstanta, pro výpočty je stanovena na  $k_v = 1,25$

V případě výpočtu impedanční smyčky je vhodné vynásobit činný odpor součinitelem teplotní závislosti odporu  $r_\vartheta$ . To zajistí, že impedanční celé smyčka bude ověřena i na situaci, kdy bude vodič provozován na maximální provozní teplotu.

$$r_\vartheta = 1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta_m - \vartheta_0) \quad [-; -, ^\circ C, ^\circ C] \quad (5.29)$$

kde  $\alpha_{20}$  – teplotní součinitel materiálu vodiče při 20°C

Pokud budou splněny podmínky 5.24 a 5.25 můžeme pro informaci stanovit maximální délku vedení, pro kterou by tyto podmínky byly ještě splněny.

$$L = \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S}{1,5 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot I_a} \quad [m; V, mm^2, mm^2/m, -, A] \quad (5.30)$$

kde 0,8 – konstanta respektující pokles napětí

1,5 – konstanta respektující oteplení při zkratu

$\rho$  – rezistance jádra vodiče, pro  $C_u = 0,018 \Omega mm^2/m$

$m$  – poměr fázového vodiče k ochrannému

$$m = \frac{S}{S_{PE}} \quad [-; mm^2, mm^2] \quad (5.31)$$

## 5.5 Ochrana generátorů

Synchronní generátor je sofistikované zařízení vybavené souborem ochran, které mají za úkol, v případě poruchy ohrožující stroj nebo stabilitu DS, generátor odpojit nebo signalizovat poruchu. [7]

Ochrany generátorů se dělí na:

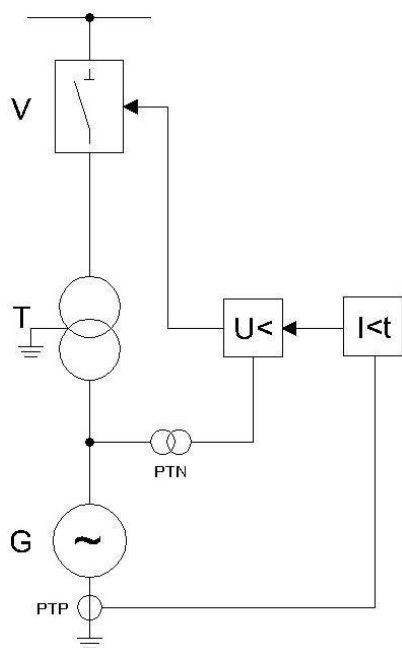
- a) ochrany vyhodnocující zkraty a zemní spojení
  - vnitřní zkrat mezi fázemi
  - vnější zkrat mezi fázemi
  - závitový zkrat na statoru nebo rotoru
  - zemní spojení statoru nebo rotoru
- b) ochrany vyhodnocující abnormální provozní stavy
  - přetížení
  - přepětí, podpětí
  - motorický chod (zpětný tok výkonu)
  - nesymetrické zatížení fází
  - ztráta buzení
  - podsynchronní a nadsynchronní otáčky
  - ložiskové proudy
  - ochrana proti samobuzení

V této části uvedu pouze jednu z ochran vyhodnocující zkraty, a to ochranu proti vnějším zkratům mezi fázemi.

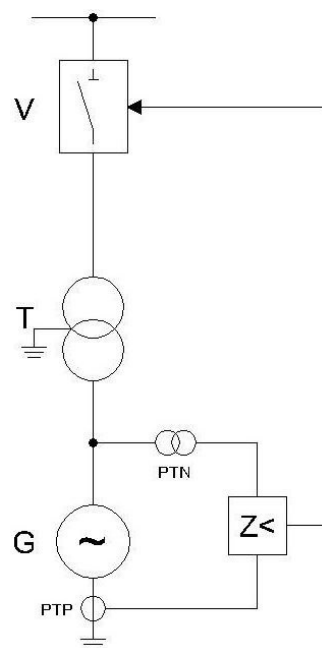
Pokud vznikne zkrat, ne zemní spojení, jedná se vždy o velmi závažnou poruchu vyžadující rychlé odstavení zařízení z provozu.

Pro ochranu generátoru proti vnějším zkratům se používá nadproudová zkratová ochrana časově nezávislá - zpožděná, viz obrázek 15. Tato ochrana je i záložní ochrannou k ochraně rozdílové, která slouží pro ochranu proti vnitřním zkratům mezi fázemi. [7]

Vznikne-li zkrat mimo vinutí generátoru, zvýší se protékající proud a tím dojde k sepnutí nadproudového členu a časového obvodu. V případě blízkých zkratů dojde k poklesu napětí, který zaregistruje podpěťový člen. Po aktivování obou členů a uplynutí nastaveného času dojde k vypnutí generátoru. Pokud se jedná o vzdálený zkrat nebo přetížení, nedochází k poklesu napětí a nadproudová zkratová ochrana nereaguje. Nevýhoda při použití časového obvodu je v samotném obvodu, neboť dochází ke zpoždění vypnutí. Teto čas je ovšem vhodný pro vytvoření selektivity celého seskupení, do kterého je generátor zapojen. Alternativou k časovému obvodu použití impedanční ochrany, viz obrázek 16. [7]



Obrázek 11: Podpěťová nadproudová ochrana generátoru



Obrázek 12: Impedanční nadproudová ochrana generátoru

## 5.6 Selektivita jištění

Selektivita je v mnoha elektrických normách uvedena jako základní podmínka pro bezpečnost a spolehlivost dodávek elektrické energie. Při projektování energetických celků, jsou tyto dvě kritéria nejdůležitější a správná koordinace jisticích přístrojů tyto požadavky zajišťuje.

Pravidla pro koordinaci NN přístrojů zajišťující selektivitu a jištění elektrických rozvodů jsou uvedeny v mnoha normách. Pro správný výběr jisticích přístrojů je nutné

postupovat dle parametrů a vlastností jisticích přístrojů, které jsou uvedeny ve výrobních normách a specifikovány výrobcí jisticích přístrojů. [8]

Jedny z nejdůležitějších norem jsou:

- ČSN EN 60269 - Pojistky nízkého napětí
- ČSN EN 60898 - Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací
- ČSN EN 60947 - Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí

Problematika koordinace NN přístrojů týkající se selektivity a jištění elektrických rozvodů, je velmi složitá a prochází neustálým vývojem. Proto není možné rozvést tuto problematiku podrobně a budou zde uvedeny pouze nejdůležitější aspekty potřebné k vytvoření mého návrhu. [8]

### Hlavní jisticí prvky používané v NN rozvodech:

#### ➤ Pojistky

Používají se v mnoha aplikacích. Hlavní výhodou je, že mají velkou proudovou omezovací schopnost a účinně snižují hodnotu propouštěné energie, která se v instalaci vyskytuje během zkratového proudu. V ČSN EN 60269 jsou uvedeny parametry a typy vypínacích charakteristik ( $gG$  – pro ochranu vedení,  $gM$  – pro ochranu motorů,  $gR$  – pro ochranu polovodičů atd.) [8]

Pro zajištění selektivity mezi dvěma pojistkami se stejnými charakteristikami splněna podmínka:

$$I_{n1} \geq 1,6 \cdot I_{n2} \quad [A; A] \quad (5.32)$$

#### ➤ Jističe

Mají podobnou funkci jako pojistky. U jističů se setkáváme se dvěma základními druhy: [8]

- **modulární jističe** - slouží k jištění domovních a podobných instalací, tam kde jsou zařízení obsluhována laicky nebo nekvalifikovanými osobami. V ČSN EN 60898 jsou uvedeny vypínací charakteristiky  $A, B, C$  (používané pro běžné aplikace) a  $Z, K, S$  (používané pro speciální aplikace).

- **jističe pro průmyslové aplikace** - jsou využívána pro instalace, kde se očekává obsluha kvalifikovanými osobami. Základem pro tyto jističe je norma ČSN EN 60947. [8]

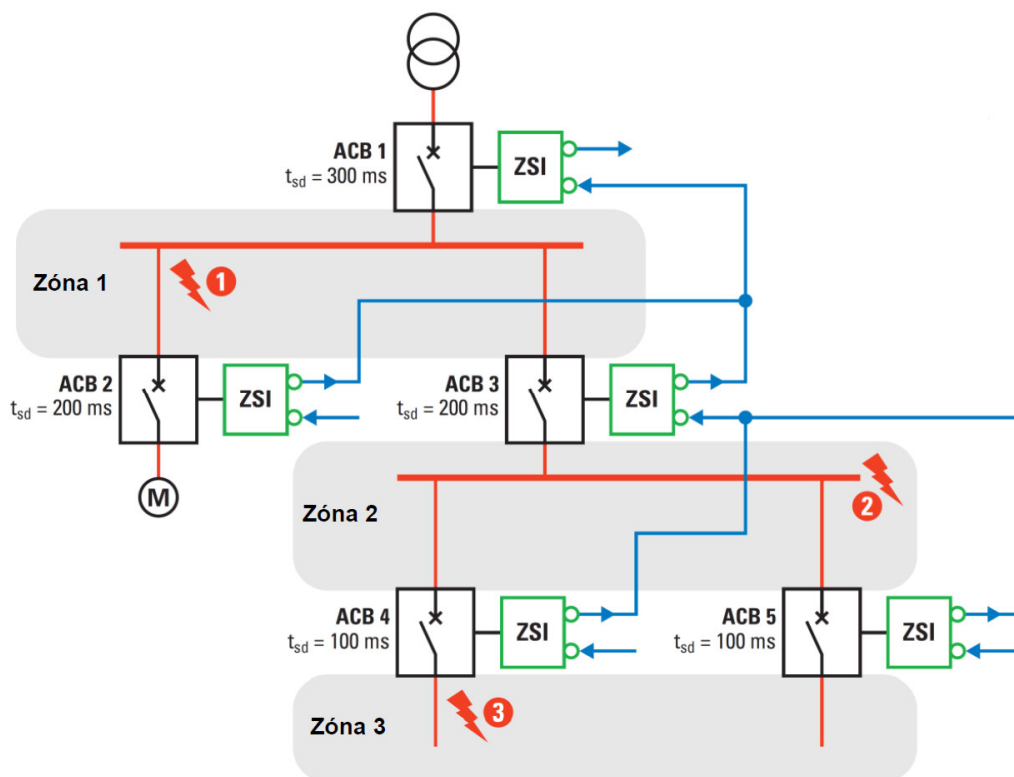
### Selektivita mezi jistíci prvky

V případě nadproudů má vybavit pouze nejbližší jistící prvek, to znamená, že vybaví pouze přiřazený jistící prvek, zatímco předřazený jistící prvek zůstane v sepnutém stavu. Pro zapojení jistících prvků v sérii existují různé druhy vypínacích charakteristik. [8]

- **Proudová selektivita** znamená, že nastavení proudu přiřazeného jistícího prvku musí být nižší než nastavení proudu předřazeného jistícího prvku. Proudová selektivita se rozděluje na dvě kategorie:
  - **Úplná selektivita** je optimální řešení jištění, ale bohužel ji lze realizovat pouze za specifických situací.
  - **Částečná selektivita** je stav, kdy při průchodu nižších proudů zapůsobí přiřazený jistící prvek a při průchodu vyšších proudů zapůsobí přiřazený i předřazený jistící prvek.
- **Časová selektivita** je stav, kdy předřazený jistící prvek využívá časového zpoždění, které umožní přiřazenému jistícímu prvku ochránit zařízení v blízkosti zkratu. K dosažení časové selektivity se využívají tzv. zkratové spouště. Musíme si bohužel uvědomit, že při časovém zpoždění se výrazně zvyšuje hodnota protékané energie. Proto se časová selektivita musí navrhovat s ohledem na hodnotu krátkodobých výdržných proudů  $I_{CW}$ .
- **Energetická selektivita** je zajištěna, pokud mají jistící přístroje funkci omezení proudů. Reakční doba přiřazeného jistícího prvku je do 10 ms, což výrazně snižuje propouštěnou energii.
- **Selektivita zónovým blokováním** někdy také označována jako logická ochrana je úplnou selektivní ochranou, kdy se vytvoří komunikace mezi spouštěmi jističů tak, aby se v případě zkratů zabránilo vypnutí celého energetického celku. Tato ochrana výrazně snižuje hodnotu protékané energie.



- **Ověření selektivity** se provádí pomocí softwaru, který poskytuje každá společnost zabývající se výrobou jisticích přístrojů.



Obrázek 13: Selektivní zónová (logická) ochrana [8]

## 5.7 Návrh jištění

### 5.7.1 Návrh jištění paralelního vedení V<sub>4</sub>

Pro jištění paralelního vedení V<sub>4</sub> budou použity tři jističe *Deon NZMN3 – AE630*, které budou připojeny na SKŘ k zajištění zónového blokování.

#### 5.7.1.1 Ochrana proti proudovému přetížení

Při ověření oteplení kabelu proti proudovému přetížení budou použity tyto násobky jmenovitého proudu jističe:

$$1,1; 1,3; 1,5; 1,6; 1,63; 1,66; 1,77$$

Po dosazení získáme:

$$I_p = 799A; Z_1 = 8,77 \cdot 10^{-4}\Omega; Z_2 = 8,77 \cdot 10^{-4}\Omega; Z_3 = 8,77 \cdot 10^{-4}\Omega; I_z = 1400,7A;$$

$$I_{uk} = 275A; I_2 = 499A, I_{Nk} = 667A; \tau = 700s; x = 2,492; \vartheta_0 = 30^\circ C; \vartheta_m = 90^\circ C$$

$$I_{Bk} = \frac{I_p}{\left(\frac{Z_k}{Z_1} + \frac{Z_k}{Z_2} + \dots + \frac{Z_k}{Z_{k-1}} + \frac{Z_k}{Z_k} + \frac{Z_k}{Z_{k+1}}\right)} = \frac{799}{\left(\frac{8,77 \cdot 10^{-4}}{8,77 \cdot 10^{-4}} + \frac{8,77 \cdot 10^{-4}}{8,77 \cdot 10^{-4}} + \frac{8,77 \cdot 10^{-4}}{8,77 \cdot 10^{-4}}\right)} = 266,33A$$

$$I_{zk} = k_1 \cdot k_2 \cdot I_{Nk} = 1 \cdot 0,70 \cdot 667 = 466,9A$$

$$I_{Bk} \leq I_{uk} \leq I_{zk} \Rightarrow 266,33A \leq 275A \leq 466,9A$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \Rightarrow 499A \leq 677A$$

Z výše uvedených podmínek je zřejmé, že kabel **E – 2X2Y 1x185mm<sup>2</sup>** vyhovuje. Nicméně je vhodné tyto podmínky ještě ověřit na oteplení jádra vodiče.

$$\Delta\vartheta_z = 90 - 30 = 60^\circ C$$

$$\vartheta_{prov} = \vartheta_0 + \Delta\vartheta_z \cdot \left(\frac{I_{Bk}}{I_{zk}}\right)^x = 30 + 60 \cdot \left(\frac{266,33}{466,9}\right)^{2,492} = 44,82^\circ C$$

$$\Delta\vartheta = \Delta\vartheta_z \cdot \left(\frac{I}{I_{zk}}\right)^x \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right) = 60 \cdot \left(\frac{303}{466,9}\right)^{2,492} \cdot \left(1 - e^{-\frac{3096}{700}}\right) = 20,18^\circ C$$

$$t_c = \vartheta_{prov} + \Delta\vartheta = 44,82 + 20,18 = 65,0^\circ C$$

$I_{NP}$	$I [A]$	$t [s]$	$\Delta\vartheta [K]$	$t_c [^\circ C]$
1,1	303	3096	20,18	65,00
1,3	353	2184	28,57	73,39
1,5	402	1686	27,60	82,42
1,6	438	1044	39,65	84,47
1,63	448	960	40,39	85,21
1,66	458	804	39,05	83,87
1,77	488	594	38,31	83,13

Tabulka 4: Výpočet hodnot oteplení

Z výsledných hodnot je zřejmé, že navrhovaný kabel vyhovuje proti proudovému přetížení. Normou ČSN 33 2000-4-43 ed. 2 však doporučuje, aby se rozdělení proudů mezi jednotlivé vodiče paralelního vedení ověřilo měřením.

### 5.7.1.2 Ochrana proti zkratu

Jak bylo v předchozí kapitole zmíněno, paralelní vedení  $V_4$  bude jištěno pomocí jističů, které budou navíc připojené na SKŘ. To zajistí, aby v případě poruchy na jakémkoli vodiči, došlo k odpojení celého paralelního vedení. Následně zkratová ochrana generátoru vyhodnotí vzniklou poruchu a odstaví generátor. Tím zabráníme, aby došlo k napájení zkratu z druhé strany a zničení generátoru.

### 5.7.1.3 Ověření podmínek jištění

Po dopočítání  $i_p, I_{th,1}$  a dohledání parametrů  $I_u, I_{cm}, I_{CS}, I_{CU}, I_{CW,1}$  z katalogu výrobce jističe ověříme podmínky jištění pro *Deon NZMN3 – AE630*.

$$I_k'' = 19,617kA; I_{th} = 21,398kA; I_{cm} = 105kA; I_{CW,1} = 3,3kA; I_{CU} = 50kA; I_{CS} = 50kA; \\ T_k = 0,02s; T_{k,1} = 1s; \kappa = 1,59$$

$$I_{th,1} = I_{th} \cdot \sqrt{\frac{T_k}{T_{k,1}}} = 21,398 \cdot \sqrt{\frac{0,02}{1}} = 3,03kA$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,59 \cdot \sqrt{2} \cdot 19,617 = 44,126kA$$

Po dosazení do podmínek 4.2 – 4.4 získáme:

$$i_p \leq I_{cm} \Rightarrow 44,126kA \leq 105kA$$

$$I_k'' \leq I_{CS} \leq I_{CU} \Rightarrow 19,617kA \leq 50kA \leq 50kA$$

$$I_{th,1} \leq I_{CW,1} \Rightarrow 3,03kA \leq 3,3kA$$

Z uvedených podmínek vidíme, že daný jistič vyhovuje pro jištění paralelního vedení  $V_4$ .

### 5.7.1.4 Ochrana proti nebezpečnému dotyku

Po dosazení získáme:

$$X_T = 9,6 \cdot 10^{-3} \Omega; X_{v3} = 3,03 \cdot 10^{-3} \Omega; X_{v4} = 7,24 \cdot 10^{-4} \Omega; X_{PENv3} = 1,45 \cdot 10^{-3} \Omega;$$

$$X_{PENv4} = 3,62 \cdot 10^{-4} \Omega; R_T = 1,05 \cdot 10^{-4} \Omega; R_{v3} = 2,48 \cdot 10^{-3} \Omega; R_{v4} = 4,95 \cdot 10^{-4} \Omega;$$

$$R_{PENv3} = 9,91 \cdot 10^{-4} \Omega; R_{PENv4} = 2,48 \cdot 10^{-4} \Omega; S = 3 \times 185 \text{mm}^2; S_{PEN} = 2 \times 185 \text{mm}^2;$$

$$I_i = 275 \text{A}; K_T = 1,0087; k_v = 1,25; U_0 = 230 \text{V}; t_{max} = 5 \text{s}; \rho_k = 0,018 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$$

$$\alpha_{20} = 3,77 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}; c = 0,95$$

$$m_s = \frac{S}{S_{PEN}} = \frac{3 \cdot 185}{2 \cdot 185} = 1,5$$

$$r_{\vartheta v3} = 1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta_m - \vartheta_0) = 1 + 3,77 \cdot 10^{-3} \cdot (90 - 20) = 1,26$$

$$r_{\vartheta v4} = 1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta_m - \vartheta_0) = 1 + 3,77 \cdot 10^{-3} \cdot (90 - 30) = 1,22$$

$$I_a = 1,1 \cdot I_i = 1,1 \cdot 275 = 302,5 \text{A}$$

$$Z_S = \frac{c \cdot U_0}{I_a} = \frac{0,95 \cdot 230}{302,5} = 722,31 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$Z_{sv} = \frac{Z_S}{k_v} = \frac{722,31 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 577,85 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_{ps} = K_T \cdot X_T + X_{v3} + X_{v4} + X_{PENv3} + X_{PENv4} = 1,0087 \cdot 9,6 \cdot 10^{-3} + 3,03 \cdot 10^{-3} +$$

$$+ 7,24 \cdot 10^{-4} + 1,45 \cdot 10^{-3} + 3,62 \cdot 10^{-4} = 15,24 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{ps} = K_T \cdot R_T + r_{\vartheta v3} \cdot R_{v3} + r_{\vartheta v3} \cdot R_{PENv3} + r_{\vartheta v4} \cdot R_{v4} + r_{\vartheta v4} \cdot R_{PENv4} =$$

$$= 1,0087 \cdot 1,05 \cdot 10^{-4} + 1,26 \cdot 2,48 \cdot 10^{-3} + 1,26 \cdot 9,91 \cdot 10^{-4} + 1,22 \cdot$$

$$\cdot 4,95 \cdot 10^{-4} + 1,22 \cdot 2,48 \cdot 10^{-4} = 5,41 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$Z_{ps} = \sqrt{R_c^2 + X_c^2} = \sqrt{(5,41 \cdot 10^{-3})^2 + (15,24 \cdot 10^{-3})^2} = 16,17 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$Z_{PENv4} = \sqrt{(r_{\vartheta v3} \cdot R_{PENv3} + r_{\vartheta v4} \cdot R_{PENv4})^2 + (X_{PENv3} + X_{PENv4})^2} =$$

$$= \sqrt{(1,26 \cdot 9,91 \cdot 10^{-4} + 1,22 \cdot 2,48 \cdot 10^{-4})^2 + (1,45 \cdot 10^{-3} + 3,62 \cdot 10^{-4})^2} =$$

$$= 2,28 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$Z_{ps} \leq Z_{sv} \Rightarrow 16,15 \cdot 10^{-3} \Omega \leq 577,85 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$Z_{PE} \leq \frac{U_{SL}}{U_0} \cdot Z_s \Rightarrow 2,19 \cdot 10^{-3} \Omega \leq 125,62 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Pro úplnou kontrolu můžeme ještě stanovit maximální délku poruchové impedanční smyčky:

$$L = \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S}{1,5 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot I_a} = \frac{0,8 \cdot 230 \cdot 185}{1,5 \cdot 0,018 \cdot (1 + 1,5) \cdot 302,5} = 1667,1m$$

Paralelní vedení  $V_4$  splnilo všechny podmínky, které jsou potřebné pro správný návrh, a můžeme tedy na závěr říci, že paralelní vedení  $V_4$  je správně nadimenzováno.

### 5.7.2 Návrh jištění paralelního vedení $V_3$

Pro jištění paralelního vedení  $V_3$  budou použity pojistky *PNA2gG 315A* umístěné v pojistkových odpínačích *FH2 – 3S/F* se signalizací stavu a vzduchový jistič *IZMX16N3 – U10W* sloužící současně i jako hlavní vypínač. Oba tyto systémy budou napojeny na SKŘ k zajištění zónového blokování.

#### 5.7.2.1 Ochrana proti proudovému přetížení

Po dosazení získáme:

$$I_p = 799A; Z_1 = 3,91 \cdot 10^{-3} \Omega; Z_2 = 3,91 \cdot 10^{-3} \Omega; Z_3 = 3,91 \cdot 10^{-3} \Omega; I_z = 1521A;$$

$$I_2 = 1700A, I_z = 909A; I_{uk} = 315A; I_{zk} = 473,2A; \tau = 614s; x = 2,492; \vartheta_0 = 20^\circ C;$$

$$\vartheta_m = 90^\circ C$$

$$I_{Bk} = \frac{I_p}{\left( \frac{Z_k}{Z_1} + \frac{Z_k}{Z_2} + \dots + \frac{Z_k}{Z_{k-1}} + \frac{Z_k}{Z_k} + \frac{Z_k}{Z_{k+1}} \right)} =$$

$$= \frac{799}{\left( \frac{3,91 \cdot 10^{-3}}{3,91 \cdot 10^{-3}} + \frac{3,91 \cdot 10^{-3}}{3,91 \cdot 10^{-3}} + \frac{3,91 \cdot 10^{-3}}{3,91 \cdot 10^{-3}} \right)} = 266,33A$$

Vzhledem k tomu, že budou použity oba způsoby jištění, musí být splněny obě podmínky.

$$I_p \leq I_u \leq \sum I_{zk} \Rightarrow 799A \leq 909A \leq 1521A$$

$$I_{Bk} \leq I_{uk} \leq I_{zk} \Rightarrow 266,33A \leq 315A \leq 473,2A$$

$$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z \Rightarrow 1700A \leq 2205,45A$$

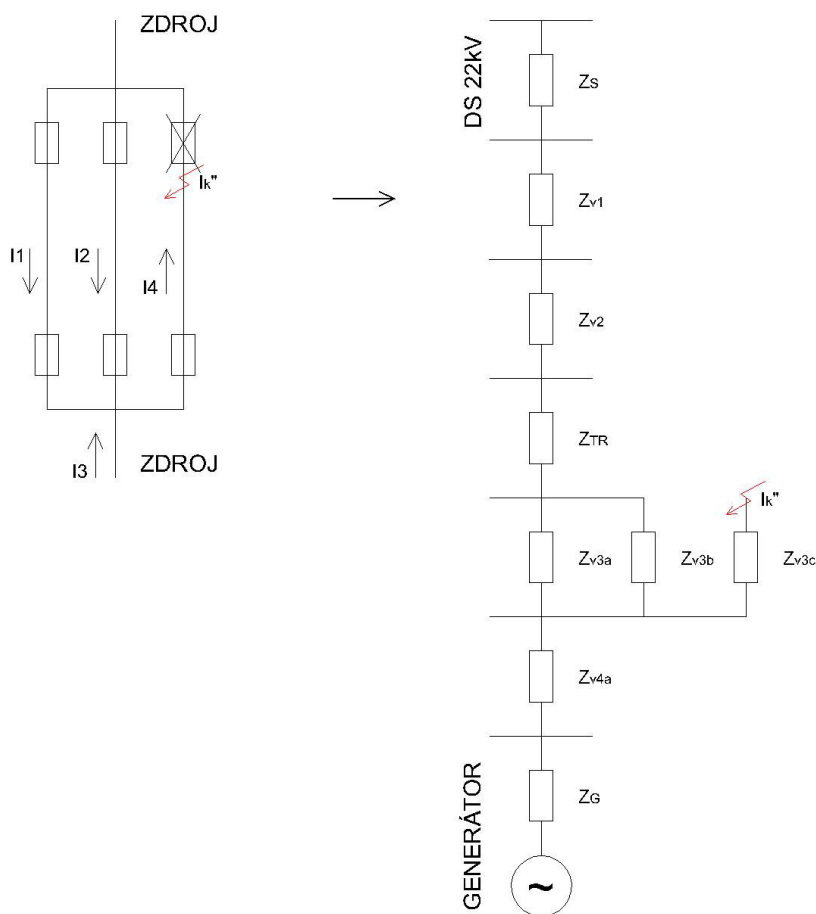
Z výše uvedených podmínek je zřejmé, že kabel **E – 2X2Y 1x150mm<sup>2</sup>** vyhovuje. U tohoto způsobu jištění není nutné ověřovat oteplení jádra vodiče. Nicméně je normou ČSN 33 2000-4-43 ed. 2 doporučeno, aby se rozdělení proudů mezi paralelní vodiče ověřilo měřením.

### 5.7.2.2 Ochrana proti zkratu

Velká výhoda pojistek je jejich jednoduchost, spolehlivost a nízká cena. Bohužel při jištění paralelního vedení mají tu nevýhodu, že mohou vybavit všechny pojistky. Dvě pojistky vybaví vlivem zkratu a zbylé čtyři pojistky vlivem přetížení. Neboť při odpojení vodiče, na kterém vznikla porucha, dojde ke zvýšení přenášeného proudu ve zbylých dvou vodičích, tím k překročení jmenovitého proudu zbylých pojistek a tedy i k jejich vybavení.

Před tím, než navrheme řešení jištění paralelního vodičů proti zkratům, musíme ověřit, zda je průřez kabelu dostatečně dimenzován i na zkratový příspěvek generátoru. Ověření bude provedeno pro dva nejnepríznivější stavy, které mohou nastat.

První stav, znázorněn na obrázku 14, je zkrat, který nastane na začátku vodiče (těsně za pojistkou).



Obrázek 14: Náhradní schéma pro výpočet zkratového proudu, varianta A

Pro stanovení impedance generátoru  $Z_g$  budou použity následující vzorce:

$$X_g = x_g'' \cdot \frac{U_n^2}{S_{ng}} \quad [\Omega; -, \text{kV}, \text{kVA}] \quad (5.33)$$

kde  $X_g$  – reaktance generátoru  
 $x_g''$  – rázová zkratová reaktance  
 $S_{ng}$  – jmenovitý zdánlivý výkon generátoru

$$R_g = 0,15 \cdot X_g \quad [\Omega; -, \Omega] \quad (5.34)$$

kde  $R_g$  – rezistance generátoru  
 0,15 – konstanta pro fiktivní rezistanci generátoru  $U_{ng} \leq 1000V$

$$K_g = \frac{U_n}{U_{ng}} \cdot \frac{c_{max}}{1 + x_g'' \cdot \sin \varphi_{ng}} \quad [-; V, V, -, -] \quad (5.35)$$

kde  $K_g$  – korekční součinitel generátoru

$U_n$  – jmenovité napětí soustavy

$U_{ng}$  – jmenovité napětí generátoru

$c_{max}$  – napěťový součinitel soustavy

$\sin \varphi_{ng}$  – fázový úhel

$$Z_g = \sqrt{(K_g \cdot R_g^2 + K_g \cdot X_g^2)} \quad (5.36)$$

kde  $Z_g$  – impedance generátoru

Po dosazení získáme:

$$X_S = 9,71 \cdot 10^{-4} \Omega; X_{v1} = 1,06 \cdot 10^{-3} \Omega; X_{v2} = 1,88 \cdot 10^{-5} \Omega; X_T = 9,6 \cdot 10^{-3} \Omega;$$

$$X_{v3a} = X_{v3b} = X_{v3c} = 3,03 \cdot 10^{-3} \Omega; X_{v4} = 2,41 \cdot 10^{-4} \Omega; R_S = 9,71 \cdot 10^{-5} \Omega;$$

$$R_{v1} = 1,23 \cdot 10^{-3} \Omega; R_{v2} = 3,22 \cdot 10^{-5} \Omega; R_T = 1,05 \cdot 10^{-4} \Omega; R_{v4} = 1,65 \cdot 10^{-4} \Omega;$$

$$R_{v3a} = R_{v3b} = R_{v3b} = 2,48 \cdot 10^{-3} \Omega; k = 143; S = 450 \text{mm}^2; I_u = 1000 \text{A};$$

$$K_T = 1,0087; x_g'' = 0,09; U_n = 400 \text{V}; S_{ng} = 880 \text{kVA}; c_{max} = 1,1; T_k = 0,011 \text{s};$$

$$\sin \varphi_{ng} = 0,312; f = 50 \text{Hz}; K = 141,39; S = 150 \text{mm}^2$$

$$K_g = \frac{U_n}{U_{ng}} \cdot \frac{c_{max}}{1 + x_g'' \cdot \sin \varphi_{ng}} = \frac{400}{400} \cdot \frac{1,1}{1 + 0,09 \cdot 0,312} = 1,07$$

$$X_g = x_g'' \cdot \frac{U_n^2}{S_{ng}} = 0,09 \cdot \frac{0,4^2}{0,88} = 16,36 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_g = 0,15 \cdot X_g = 0,15 \cdot 16,36 \cdot 10^{-3} = 2,45 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_1 = X_S + X_{v1} + X_{v2} + K_T \cdot X_T = 9,71 \cdot 10^{-4} + 1,06 \cdot 10^{-3} + 1,88 \cdot 10^{-5} + \\ + 1,0087 \cdot 9,6 \cdot 10^{-3} = 11,73 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_1 = R_S + R_{v1} + R_{v2} + K_T \cdot R_T = 9,71 \cdot 10^{-5} + 1,23 \cdot 10^{-3} + 3,22 \cdot 10^{-5} + \\ + 1,0087 \cdot 1,05 \cdot 10^{-4} = 1,47 \cdot 10^{-3} \Omega$$



$$X_2 = X_{v4} + K_g \cdot X_g = 2,41 \cdot 10^{-4} + 1,07 \cdot 16,36 \cdot 10^{-3} = 17,75 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_2 = R_{v4} + K_g \cdot R_g = 1,65 \cdot 10^{-4} + 1,07 \cdot 2,45 \cdot 10^{-3} = 2,8 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_3 = \left( \frac{1}{X_{v3a}} + \frac{1}{X_{v3b}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{3,03 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{3,03 \cdot 10^{-3}} \right)^{-1} = 1,51 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_3 = \left( \frac{1}{R_{v3a}} + \frac{1}{R_{v3b}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{2,48 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2,48 \cdot 10^{-3}} \right)^{-1} = 1,24 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_{13} = X_1 + X_3 = 11,73 \cdot 10^{-3} + 1,51 \cdot 10^{-3} = 13,25 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{13} = R_1 + R_3 = 1,47 \cdot 10^{-3} + 1,24 \cdot 10^{-3} = 2,71 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_{123} = \left( \frac{1}{X_{13}} + \frac{1}{X_2} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{13,25 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{17,75 \cdot 10^{-3}} \right)^{-1} = 7,58 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{123} = \left( \frac{1}{R_{13}} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{2,71 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2,8 \cdot 10^{-3}} \right)^{-1} = 1,37 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_C = X_{123} + X_{v3c} = 7,58 \cdot 10^{-3} + 3,03 \cdot 10^{-3} = 10,61 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_C = R_{123} + R_{v3c} = 1,37 \cdot 10^{-3} + 2,48 \cdot 10^{-3} = 3,85 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$Z_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} = \sqrt{(3,85 \cdot 10^{-3})^2 + (10,61 \cdot 10^{-3})^2} = 11,3 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_C} = \frac{1,1 \cdot 0,4}{\sqrt{3} \cdot 11,3 \cdot 10^{-3}} = 22,497 \text{ kA}$$

$$I_k = I_{k3}'' = 22,497 \text{ kA}$$

$$n = \frac{I_{k3}''}{I_k} = \frac{22,497}{22,497} = 1$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R_C}{X_C}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{3,85 \cdot 10^{-3}}{10,61 \cdot 10^{-3}}} = 1,35$$

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

$$= \frac{1}{2 \cdot f \cdot 0,011 \cdot \ln(1,35 - 1)} \cdot [e^{4 \cdot 50 \cdot 0,011 \cdot \ln(1,35 - 1)} - 1] = 0,78$$

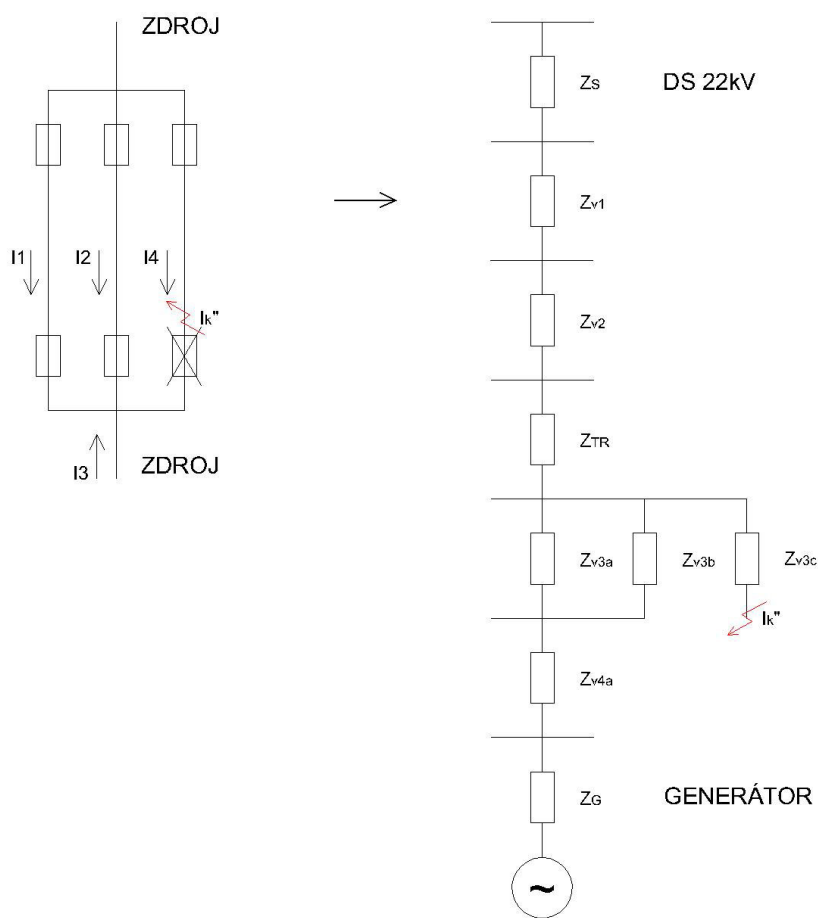
$$I_{th} = I_{k3}'' \cdot \sqrt{m+n} = 22,497 \cdot \sqrt{0,78+1} = 30,01 \text{ kA}$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k3}'' = 1,35 \cdot \sqrt{2} \cdot 22,497 = 42,937 \text{ kA}$$

$$S_{min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{T_k}}{K} = \frac{30,01 \cdot \sqrt{0,011}}{141,39} = 0,0223 \text{ m}^2 \Rightarrow 22,3 \text{ mm}^2$$

$$S_{min} \leq S \Rightarrow 22,3 \text{ mm}^2 \leq 150 \text{ mm}^2$$

Druhý stav, znázorněn na obrázku 15, je zkrat, který nastane na konci vodiče (těsně před pojistkou).



Obrázek 15: Náhradní schéma pro výpočet zkratového proudu, varianta B

Po dosazení získáme:

$$X_S = 9,71 \cdot 10^{-4} \Omega; X_{v1} = 1,06 \cdot 10^{-3} \Omega; X_{v2} = 1,88 \cdot 10^{-5} \Omega; X_T = 9,6 \cdot 10^{-3} \Omega;$$

$$X_{v3a} = X_{v3b} = X_{v3c} = 3,03 \cdot 10^{-3} \Omega; X_{v4} = 2,41 \cdot 10^{-4} \Omega; R_S = 9,71 \cdot 10^{-5} \Omega;$$

$$R_{v1} = 1,23 \cdot 10^{-3} \Omega; R_{v2} = 3,22 \cdot 10^{-5} \Omega; R_T = 1,05 \cdot 10^{-4} \Omega; R_{v4} = 1,65 \cdot 10^{-4} \Omega;$$

$$R_{v3a} = R_{v3b} = R_{v3c} = 2,48 \cdot 10^{-3} \Omega; k = 143; S = 450 \text{mm}^2; I_u = 1000 \text{A}; f = 50 \text{Hz};$$

$$K_T = 1,0087; U_n = 400 \text{V}; c_{max} = 1,1; T_k = 0,011 \text{s}; \sin \varphi_{ng} = 0,312; K = 141,39;$$

$$R_g = 2,45 \cdot 10^{-3} \Omega; X_g = 16,36 \cdot 10^{-3} \Omega; K_g = 1,07; S = 150 \text{mm}^2$$

$$X_1 = X_S + X_{v1} + X_{v2} + K_T \cdot X_T = 9,71 \cdot 10^{-4} + 1,06 \cdot 10^{-3} + 1,88 \cdot 10^{-5} + \\ + 1,0087 \cdot 9,6 \cdot 10^{-3} = 11,73 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_1 = R_S + R_{v1} + R_{v2} + K_T \cdot R_T = 9,71 \cdot 10^{-5} + 1,23 \cdot 10^{-3} + 3,22 \cdot 10^{-5} + \\ + 1,0087 \cdot 1,05 \cdot 10^{-4} = 1,47 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_2 = \left( \frac{1}{X_{v3a}} + \frac{1}{X_{v3b}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{3,03 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{3,03 \cdot 10^{-3}} \right)^{-1} = 1,51 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_2 = \left( \frac{1}{R_{v3a}} + \frac{1}{R_{v3b}} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{2,48 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{2,48 \cdot 10^{-3}} \right)^{-1} = 1,24 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_3 = X_2 + X_{v4} + K_g \cdot X_g = 1,51 \cdot 10^{-3} + 1,65 \cdot 10^{-4} + 1,07 \cdot 16,36 \cdot 10^{-3} = \\ = 19,26 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_3 = R_2 + R_{v4} + K_g \cdot R_g = 1,24 \cdot 10^{-3} + 1,65 \cdot 10^{-4} + 1,07 \cdot 2,45 \cdot 10^{-3} = \\ = 4,03 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_{13} = \left( \frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_3} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{11,73 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{19,26 \cdot 10^{-3}} \right)^{-1} = 7,03 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_{13} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_3} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{1,47 \cdot 10^{-3}} + \frac{1}{4,03 \cdot 10^{-3}} \right)^{-1} = 1,08 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$X_C = X_{13} + X_{v3c} = 7,03 \cdot 10^{-3} + 3,03 \cdot 10^{-3} = 10,31 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$R_C = R_{13} + R_{v3c} = 1,08 \cdot 10^{-3} + 2,48 \cdot 10^{-3} = 3,56 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$Z_C = \sqrt{R_C^2 + X_C^2} = \sqrt{(3,56 \cdot 10^{-3})^2 + (10,31 \cdot 10^{-3})^2} = 10,92 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$I_{k3}'' = \frac{c \cdot U_N}{\sqrt{3} \cdot Z_C} = \frac{1,1 \cdot 0,4}{\sqrt{3} \cdot 10,92 \cdot 10^{-3}} = 23,272 \text{kA}$$

$$I_k = I_{k3}'' = 23,272kA$$

$$n = \frac{I_{k3}''}{I_k} = \frac{23,272}{23,272} = 1$$

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R_C}{X_C}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{3,56 \cdot 10^{-3}}{10,31 \cdot 10^{-3}}} = 1,37$$

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

$$= \frac{1}{2 \cdot f \cdot 0,011 \cdot \ln(1,37 - 1)} \cdot [e^{4 \cdot 50 \cdot 0,011 \cdot \ln(1,37 - 1)} - 1] = 0,81$$

$$I_{th} = I_{k3}'' \cdot \sqrt{m + n} = 23,272 \cdot \sqrt{0,81 + 1} = 31,302kA$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,37 \cdot \sqrt{2} \cdot 23,272 = 45,035kA$$

$$S_{min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{T_k}}{K} = \frac{31,302 \cdot \sqrt{0,011}}{141,39} = 0,0232m^2 \Rightarrow 23,2mm^2$$

$$S_{min} \leq S \Rightarrow 23,2mm^2 \leq 150mm^2$$

Navrhovaný vodič **E – 2X2Y 1x150mm<sup>2</sup>** paralelního vedení vyhovuje u obou variant tepelným účinkům zkratového proudu. Proto můžeme přejít k návrhu jištění vodičů proti zkratovým proudům.

Jak již bylo výše uvedeno, paralelní vedení má tu nevýhodu, že při vzniku nadproudů hrozí vybavení nejen pojistek na postiženém vodiči, ale i na ostatních vodičích vlivem přetížení. Takto jištěné vedení může být realizováno, neboť splňuje všechny podmínky jištění, ale z mého pohledu je nepřijatelné, aby při vzniku poruchy na jednom z vodičů hrozilo vybavení všech pojistek. Proto jsem se rozhodl tento problém vyřešit následovně:

Místo 315A pojistek, které by dostačovali a splňovali podmínky jištění, budou použity pojistky se jmenovitým proudem 400A. To způsobí, že ostatní pojistky nevybaví vlivem přetížení a že zbylé neporušené vodiče zůstanou v provozu. Tento stav může trvat pouze krátkou dobu, neboť ostatní dva kabely nejsou dimenzovány k tomuto provozu a došlo by,

vlivem nadměrného oteplení vodičů, k nevratnému poškození izolace kabelů a následné destrukci samotných kabelů.

Čas, po který mohou být kabely takto provozovány, stanovíme z upraveného vzorce 5.15, který vypadá následovně:

$$t = -\tau \cdot \log e \cdot \left( 1 - \frac{\Delta\vartheta}{\Delta\vartheta_z \cdot \left(\frac{I_p}{I_z}\right)^x} \right) \quad (\text{s}; -, -, ^\circ\text{C}, \text{K}, \text{A}, \text{A}, -, ) \quad (5.37)$$

Po dosazení získáme:

$$\tau = 614; \Delta\vartheta = 90^\circ\text{C}; \Delta\vartheta_z = 70^\circ\text{C}; I_p = 799\text{A}; I_z = 933,8\text{A}; x = 2,492$$

$$t = -\tau \cdot \log e \cdot \left( 1 - \frac{\Delta\vartheta}{\Delta\vartheta_z \cdot \left(\frac{I_p}{I_z}\right)^x} \right) = -614 \cdot \log e \cdot \left( 1 - \frac{90}{70 \cdot \left(\frac{799}{933,8}\right)^{2,492}} \right) \cong 254\text{s}$$

Z výsledné hodnoty vyplývá, že ostatní neporučené kabely mohou být v provozu přibližně 4 minuty. Výsledná hodnota je tedy mezní hodnotou pro odpojení zbylých vodičů. Toho docílíme následovně. Pojistky na začátku paralelního vedení  $V_3$ , umístěné v NN rozvaděči blokového transformátoru, budou osazeny v pojistkových odpojovačích se signalizací stavu pojistek. Tato signalizace bude napojen na systém řízení a kontroly (dále jen „SKŘ“). Na SKŘ budou také připojeny jističe chránící paralelní vedení  $V_4$ , hlavní jistič umístěn v NN rozvaděči blokového transformátoru a nadproudová zkratová ochrana generátoru. To umožní, aby SKŘ vyhodnotilo vzniklou poruch na vodiči a odpojilo příslušný jistič.

Zde jsou uvažovány opět dva stavy, které mohou nastat:

**První** provozní stav je navržen tak, aby při vzniku poruch na paralelním vedení, vybavilo SKŘ hlavní jistič. Tím přejde BPS do tzv. ostrovního provozu. To znamená, že výkon BPS bude snížen na 50% jmenovitého výkonu a tedy zajištění napájení technologie BPS, která musí být stále v provozu.

**Druhý** provozní stav uvažuje se situací, kdy SKŘ vybaví jističe na paralelním vedení  $V_4$ . Tím dojde k odpojení generátoru od sítě a následnému odstavení KGJ. Odstavení musí být

pozwolné, aby nedošlo k poškození motoru KGJ. Napájení technologie BPS bude zajištěno napájením z DS.

### 5.7.2.3 Podmínky jištění

Po dopočítání  $i_p, I_{th,1}$  a dohledání parametrů  $I_u, I_{cm}, I_{CS}, I_{CU}, I_{CW,1}$  z katalogu výrobce jističe ověříme podmínky jištění hlavního jističe.

Po dosazení získáme:

$$I_p = 799A; I_u = 909A; I_z = 1521A; I_k'' = 19,617kA; I_{cm} = 105kA; I_{CW} = 42kA, \\ I_{CU} = 42kA; I_{CS} = 42kA; I_{th} = 21,398kA; I_{CW,1} = 42kA; T_k = 0,3s; T_{k,1} = 1s; \kappa = 1,59$$

$$I_{th,1} = I_{th} \cdot \sqrt{\frac{T_k}{T_{k,1}}} = 21,398 \cdot \sqrt{\frac{0,3}{1}} = 11,72kA$$

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,59 \cdot \sqrt{2} \cdot 19,617 = 44,13kA$$

Po dosazení do podmínek 5.1 – 5.4 získáme:

$$I_p \leq I_u \leq I_z \Rightarrow 799A \leq 909A \leq 1521A$$

$$i_p \leq I_{cm} \Rightarrow 44,13kA \leq 105kA$$

$$I_k'' \leq I_{CS} \leq I_{CU} \Rightarrow 19,617kA \leq 42kA \leq 42kA$$

$$I_{th,1} \leq I_{CW,1} \Rightarrow 11,72kA \leq 42kA$$

Z uvedených podmínek vidíme, že daný jistič vyhovuje.

Po dosazení do podmínky 5.5 získáme:

$$I_1 = 120kA; i_p = 45,035kA$$

$$I_1 \geq i_p \Rightarrow 120kA > 45,035kA$$

Použití pojistek vyhovuje uvedené podmínce.

### 5.7.2.4 Ochrana proti nebezpečnému dotyku

Po dosazení získáme:

$$X_T = 9,6 \cdot 10^{-3}\Omega; X_{v3} = 3,03 \cdot 10^{-3}\Omega; X_{PENV3} = 1,45 \cdot 10^{-3}\Omega; R_T = 1,05 \cdot 10^{-4}\Omega;$$

$$R_{v3} = 2,48 \cdot 10^{-3} \Omega; R_{v4} = 4,95 \cdot 10^{-4} \Omega; R_{PENv3} = 9,91 \cdot 10^{-4} \Omega; S = 3 \times 150 \text{mm}^2;$$

$$S_{PEN} = 2 \times 185 \text{mm}^2; I_i = 400 \text{A}; K_T = 1,0087; k_v = 1,25; U_0 = 230 \text{V}; t_{max} = 5 \text{s};$$

$$\rho_k = 0,018 \Omega \text{mm}^2 / \text{m}; \alpha_{20} = 3,77 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}; c = 0,95; r_{\vartheta v3} = 1,26$$

$$m_s = \frac{S}{S_{PEN}} = \frac{3 \cdot 150}{2 \cdot 185} = 1,216$$

$$I_a = 1,1 \cdot I_i = 1,1 \cdot 400 = 440 \text{A}$$

$$Z_S = \frac{c \cdot U_0}{I_a} = \frac{0,95 \cdot 230}{440} = 496,6 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$Z_{sv} = \frac{Z_S}{k_v} = \frac{496,6 \cdot 10^{-3}}{1,25} = 397,27 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$\begin{aligned} X_{ps} &= K_T \cdot X_T + X_{v3} + X_{PENv3} = 1,0087 \cdot 9,6 \cdot 10^{-3} + 3,03 \cdot 10^{-3} + 1,45 \cdot 10^{-3} \\ &= 14,16 \cdot 10^{-3} \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{ps} &= K_T \cdot R_T + r_{\vartheta v3} \cdot R_{v3} + r_{\vartheta v3} \cdot R_{PENv3} = 1,0087 \cdot 1,05 \cdot 10^{-4} + 1,26 \cdot 2,48 \cdot 10^{-3} \\ &\quad + 1,26 \cdot 9,91 \cdot 10^{-4} = 4,5 \cdot 10^{-3} \Omega \end{aligned}$$

$$Z_{ps} = \sqrt{R_c^2 + X_c^2} = \sqrt{(4,5 \cdot 10^{-3})^2 + (14,16 \cdot 10^{-3})^2} = 14,85 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$\begin{aligned} Z_{PENv3} &= \sqrt{(r_{\vartheta v3} \cdot R_{PENv3})^2 + X_{PENv3}^2} = \\ &= \sqrt{(1,26 \cdot 9,99 \cdot 10^{-4})^2 + (1,45 \cdot 10^{-3})^2} = 1,91 \cdot 10^{-3} \Omega \end{aligned}$$

$$Z_{ps} \leq Z_{sv} \Rightarrow 14,85 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} \Omega \leq 175,4 \cdot 10^{-3} \Omega$$

$$Z_{PE} \leq \frac{U_{SL}}{U_0} \cdot Z_S \Rightarrow 1,91 \cdot 10^{-3} \Omega \leq 125,62 \cdot 10^{-3} \Omega$$

Pro úplnou kontrolu můžeme ještě stanovit maximální délku poruchové impedanční smyčky:

$$L = \frac{0,8 \cdot U_0 \cdot S}{1,5 \cdot \rho \cdot (1 + m) \cdot I_a} = \frac{0,8 \cdot 230 \cdot 150}{1,5 \cdot 0,018 \cdot (1 + 1,216) \cdot 440} = 1048,4 \text{m}$$

Paralelní vedení  $V_3$  splnilo všechny podmínky, které jsou potřebné pro správný návrh, a můžeme tedy na závěr říci, že paralelní vedení  $V_3$  je správně nadimenzováno.



## 6 Závěr

Cílem této práce je bylo vytvoření návrhu elektrické instalace bioplynové stanice. Pro vytvoření kvalitního a správného projektu je nezbytně nutné, aby projektant znal podrobně danou technologii, která se v projektu nachází.

V mé bakalářské práci na téma „Využití bioplynových stanic“ jsem se podrobně zabýval, co je to bioplyn, jak vzniká, jaké jsou procesy, které probíhají při vzniku bioplynu a hlavně samotnou technologií, která se v bioplynové stanici nachází. Proto jsem se rozhodl navázat na svou bakalářskou práci a vytvořit, v rámci časových možností, návrh elektroinstalace, která by mohla být realizována i v praxi.

Pro případ, že tuto práci bude číst i laická veřejnost, jsem se rozhodl uvést v první kapitole definice výrazů, se kterými se v této práci setkáme.

V druhé kapitole se již zabývám danou problematikou, a to konkrétně podmínkami pro připojení bioplynových stanic k distribučním sítím. Jsou zde uvedeny legislativní a technické požadavky, které musí každá bioplynová stanice splňovat.

Ve třetí kapitole je vytvořen předběžný návrh, jak by daná bioplynová stanice mohla být realizována. Je zde řešeno technické provedení připojení bioplynové stanice k distribuční síti, jednotlivé rozvaděče, které se budou nacházet v bioplynové stanici a hlavně je zde vypočtena výkonová bilance, která je potřebná v dalších fázích návrhu. Bohužel v této práci není navržen rozvaděč kogenerační jednotky, neboť je dodáván společně s kogenerační jednotkou.

Čtvrtá kapitola řeší návrhy jednotlivých částí elektroinstalace bioplynové stanice, a to od přípojného bodu přes návrh distribučního transformátoru až po motorové vývody k jednotlivým spotřebičům. Tato kapitola je rozdělena do dvou částí. První část, ve které je řešeno kabelové vedení vysokého napětí, distribuční transformátor a paralelní vedení, je řešeno výpočetně. Druhá část je řešena pomocí výkresové dokumentace, kterou naleznete v přílohách 1 až 7 této diplomové práce.

Při tvorbě projektů je jednou z nejdůležitějších věcí bezpečnost. V páté kapitole se touto problematikou zabývám a navrhuji zde ochranu vodičů proti nadproudům a hlavně ochranu proti nebezpečnému dotyku.

## Seznam obrázků:

Obrázek 1: <i>Trasa distribučního vedení z rozvodny v Sedlčanech k přípojnému místu BPS</i> .....	21
Obrázek 2: <i>Náhradní schéma pro výpočet zkratových poměrů v místě připojení</i> .....	22
Obrázek 3: <i>Energetická bilance</i> .....	31
Obrázek 4: <i>Náhradní schéma pro výpočet zkratového proudu na začátku kabelového vedení V<sub>2</sub></i> .....	48
Obrázek 5: <i>Náhradní schéma pro výpočet zkratového proudu za transformátorem</i> .....	52
Obrázek 6: <i>Náhradní schéma pro výpočet zkratového proudu na konci kabelu V<sub>3</sub></i> .....	61
Obrázek 7: <i>Ochrana paralelního vodičů před přetížením</i> .....	70
Obrázek 8: <i>Ochrana paralelního vodičů před zkratem</i> .....	72
Obrázek 9: <i>Ochrana automatickým odpojením od zdroje v síti TN [4]</i> .....	74
Obrázek 10: <i>Ochrana pospojováním [6]</i> .....	75
Obrázek 11: <i>Podpěťová nadproudová ochrana generátoru</i> .....	78
Obrázek 12: <i>Impedanční nadproudová ochrana generátoru</i> .....	78
Obrázek 13: <i>Selektivní zónová (logická)ochrana [8]</i> .....	81
Obrázek 14: <i>Náhradní schéma pro výpočet zkratového proudu, varianta A</i> .....	87
Obrázek 15: <i>Náhradní schéma pro výpočet zkratového proudu, varianta B</i> .....	90

## Seznam tabulek:

Tabulka 1: <i>Výkonová bilance</i> .....	32
Tabulka 2: <i>Srovnání cen a nákladu transformátorů pro první provozní stav</i> .....	41
Tabulka 3: <i>Srovnání cen a nákladu transformátorů pro druhý provozní stav</i> .....	42
Tabulka 4: <i>Výpočet hodnot oteplení</i> .....	82

## Seznam grafů:

Graf 1: <i>Množství vyrobené elektrické energie v roce 2013</i> .....	38
---	----

## Použité zdroje:

### Internetové zdroje:

- [1] ČEZ DISTRIBUCE, a.s. *Přípojovací podmínky pro výrobní elektrárny pro připojení na síť ČEZ Distribuce, a.s.* [online]. 2012 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: [http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/technicke-informace/cezdistribuce\\_pripojovacipodminkyve\\_201206\\_preview7.pdf](http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/technicke-informace/cezdistribuce_pripojovacipodminkyve_201206_preview7.pdf)
- [2] ČEZ DISTRIBUCE, a.s., E.ON Distribuce, a.s., PREdistribuce, a.s. *Pravidla provozování distribuční soustavy: Příloha 4: Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy* [online]. 2014 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2014/ppds-2014-priloha-4.pdf>
- [3] ČEZ DISTRIBUCE, a.s., E.ON Distribuce, a.s., PREdistribuce, a.s. *Pravidla provozování distribuční soustavy: Příloha 5: Fakturační měření* [online]. 2014 [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/2014/ppds-2014-priloha-5.pdf>
- [4] DOLENSKÝ, Milan. *Měření impedance poruchové smyčky* [online]. 2015, 4.2. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/mereni-impedance-poruchove-smycky/view>
- [5] Fázování synchronního generátoru. *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava: Katedra elektroenergetiky* [online]. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: [http://fe1.vsb.cz/kat410/studium/studijni\\_materialy/se/cast\\_B\\_el\\_stroje/se\\_es\\_c2\\_fazovani.pdf](http://fe1.vsb.cz/kat410/studium/studijni_materialy/se/cast_B_el_stroje/se_es_c2_fazovani.pdf)
- [6] KŘÍŽ, Michal. *Pospojování* [online]. 2008, 16.5. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.in-el.cz/index.php?t=201&p=101283>
- [7] MIŠÁK, Stanislav. *Model sítě: Chránění generátorů* [online]. 2006, 5.1. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: [http://www.stanislav-misak.com/index.php?option=com\\_phocadownload&view=category&download=23:ms3&id=4:model-site&Itemid=1044](http://www.stanislav-misak.com/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=23:ms3&id=4:model-site&Itemid=1044)

- [8] Selektivita, záložní ochrana a koordinace přístrojů pro ochranu motorů. *Eaton Elektrotechnika s.r.o.* [online]. 2015, 1.2. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: [http://www.eatonelektrotechnika.cz/pdf/tiskoviny\\_pdf\\_475.pdf](http://www.eatonelektrotechnika.cz/pdf/tiskoviny_pdf_475.pdf)
- [9] THE EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION. *Wind in power 2011: European statistics* [online]. 2012 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: [http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/Wind\\_in\\_power\\_2011\\_European\\_statistics.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/Wind_in_power_2011_European_statistics.pdf)
- [10] THE EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION. *Wind in power 2012: European statistics* [online]. 2013 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: [http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/Wind\\_in\\_power\\_annual\\_statistics\\_2012.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/Wind_in_power_annual_statistics_2012.pdf)
- [11] THE EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION. *Wind in power 2013: European statistics* [online]. 2014 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: [http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA\\_Annual\\_Statistics\\_2013.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA_Annual_Statistics_2013.pdf)
- [12] THE EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION. *Wind in power 2014: European statistics* [online]. 2015 [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: <http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/statistics/EWEA-Annual-Statistics-2014.pdf>

***České technické normy a podnikové normy energetiky:***

Pro vytvoření návrhu elektrické instalace byly zpracovány níže uvedené normy, čerpány z internetových stránek ČSN online (<https://csnonlinefirmy.unmz.cz>), avšak tyto normy nebyly doslovně citovány.

- [13] ČSN 33 2000-1 ed. 2. *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 1: Základní hlediska, stanovení základních charakteristik, definice.* ČNI Praha, 2009.
- [14] ČSN 33 2000-4-41 ed. 2. *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-41: Ochranná opatření pro zajištění bezpečnosti - Ochrana před úrazem elektrickým proudem.* ČNI Praha, 2007.

- [15] ČSN 33 2000-4-42 ed. 2. *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-42: Bezpečnost - Ochrana před účinky tepla*. ČNI Praha, 2012.
- [16] ČSN 33 2000-4-43 ed. 2. *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 4-43: Bezpečnost - Ochrana před nadproudy*. ČNI Praha, 2010.
- [17] ČSN 33 2000-4-473. *Elektrotechnické předpisy. Elektrická zařízení - Část 4: Bezpečnost. Kapitola 47: Použití ochranných opatření pro zajištění bezpečnosti. Oddíl 473: Opatření k ochraně proti nadproudům*. ČNI Praha, 1994.
- [18] ČSN 33 2000-5-52 ed. 2. *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-52: Výběr a stavba elektrických zařízení - Elektrická vedení*. ČNI Praha, 2012.
- [19] ČSN 33 2000-5-54 ed. 3. *Elektrické instalace nízkého napětí - Část 5-54: Výběr a stavba elektrických zařízení - Uzemnění a ochranné vodiče*. ČNI Praha, 2012.
- [20] ČSN 33 2130 ed. 3. *Elektrické instalace nízkého napětí: Vnitřní elektrické rozvody*. ČNI Praha, 2014.
- [21] ČSN 33 3022-1. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 1: Součinitele pro výpočet zkratových proudů podle IEC 60909-0*. ČNI Praha, 2004.
- [22] ČSN 34 1610. *Elektrotechnické předpisy ČSN: Elektrický silnoproudý rozvod v průmyslových provozovnách*. ČNI Praha, 1964.
- [23] ČSN 38 0810. *Použití ochrany před přepětím v silových zařízeních*. ČNI Praha, 1986.
- [24] ČSN 73 6005. *Prostorové uspořádání sítí technického vybavení*. ČNI Praha, 1994.
- [25] ČSN EN 12464-1. *Světlo a osvětlení - Osvětlení pracovních prostorů - Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. ČNI Praha, 2012.
- [26] ČSN EN 1838. *Světlo a osvětlení: Nouzové osvětlení*. ČNI Praha, 2014.
- [27] ČSN EN 60076-1. *Výkonové transformátory - Část 1: Obecně*. ČNI Praha, 2012.
- [28] ČSN EN 60269-1 ed. 3. *Pojistky nízkého napětí - Část 1: Všeobecné požadavky*. ČNI Praha, 2008.
- [29] ČSN EN 60598-2-3 ed. 2. *Svítilna - Část 2-3: Zvláštní požadavky - Svítilna pro osvětlení pozemních komunikací*. ČNI Praha, 2003.

- [30] ČSN EN 60898-1. *Elektrická příslušenství - Jističe pro nadproudové jištění domovních a podobných instalací - Část 1: Jističe pro střídavý provoz (AC)*. ČNI Praha, 2003.
- [31] ČSN EN 60909-0. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů*. ČNI Praha, 2002.
- [32] ČSN EN 60947-1 ed. 4. *Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 1: Všeobecná ustanovení*. ČNI Praha, 2008.
- [33] ČSN EN 60947-2 ed. 3. *Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 2: Jističe*. ČNI Praha, 2007.
- [34] ČSN EN 60947-3 ed. 3. *Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 3: Spínače, odpojovače, odpínače a pojistkové kombinace*. ČNI Praha, 2010.
- [35] ČSN EN 60947-4-1 ed. 3. *Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 4-1: Stykače a spouštěče motorů - Elektromechanické stykače a spouštěče motorů*. ČNI Praha, 2010.
- [36] ČSN EN 60947-4-2 ed. 3. *Spínací a řídicí přístroje nízkého napětí - Část 4-2: Stykače a spouštěče motorů - Polovodičové regulátory a spouštěče motorů na střídavý proud*. ČNI Praha, 2012.
- [37] ČSN EN 62305-1 ed. 2. *Ochrana před bleskem - Část 1: Obecné principy*. ČNI Praha, 2011.
- [38] ČSN EN 62305-2 ed. 2. *Ochrana před bleskem - Část 2: Řízení rizika*. ČNI Praha, 2013.
- [39] ČSN EN 62305-3 ed. 2. *Ochrana před bleskem - Část 3: Hmotné škody na stavbách a ohrožení života*. ČNI Praha, 2012.
- [40] ČSN EN 62305-4 ed. 2. *Ochrana před bleskem - Část 4: Elektrické a elektronické systémy ve stavbách*. ČNI Praha, 2011.
- [41] ČSN 38 1754. *Dimenzování elektrického zařízení podle účinku zkratových proudů*. ČNI Praha, 1974.

- [42] ČSN EN 50522. *Uzemňování elektrických instalací AC nad 1 kV*. ČNI Praha, 2011.
- [43] PNE 33 0000-1 ed. 5. *Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě*. ČNI Praha, 2011. Dostupné z: [http://ecdv.sweb.cz/pne%202012/PNE\\_33\\_0000-1\\_ed.5.pdf](http://ecdv.sweb.cz/pne%202012/PNE_33_0000-1_ed.5.pdf)
- [44] PNE 33 2000-2 ed. 4. *Stanovení základních charakteristik vnějších vlivů působících na rozvodná zařízení distribuční a přenosové soustavy*. ÚJV Řež, a.s., 2010. Dostupné z: [http://www.csres.cz/Upload/PNE\\_33\\_0000\\_2\\_revize\\_4\\_vyd%C3%A1n%C3%AD.pdf](http://www.csres.cz/Upload/PNE_33_0000_2_revize_4_vyd%C3%A1n%C3%AD.pdf)

## **Seznam příloh:**

*Příloha 1* – Situační výkres

*Příloha 2* – Detail A - přípojny bud

*Příloha 3* – Detail B - blokový transformátor

*Příloha 4* – Jednopolové schéma BPS

*Příloha 5* – Třípólové schéma technologie BPS

*Příloha 6* – Třípólové schéma provozní budovy

*Příloha 7* – Třípólové schéma budovy separace