



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

# POROVNÁNÍ VOLNĚ DOSTUPNÝCH SOFTWARE PRO VÝPOČET PARAMETRŮ ELEKTRICKÉ SÍTĚ

COMPARISON OF FREE AVAILABLE SOFTWARE FOR THE CALCULATION OF ELECTRIC NETWORK  
PARAMETERS

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radim Dvořák

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

BRNO 2022

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Radim Dvořák

**ID:** 220760

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2021/22

## NÁZEV TÉMATU:

**Porovnání volně dostupných softwarů pro výpočet parametrů elektrické sítě**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Zhodnocení dostupných SW – vymezení a možnosti použití, požadavky, grafické rozhraní, ovladatelnost
2. Provedení technické analýza zadané distribuční sítě
3. Realizace výpočtů parametrů sítě prostřednictvím jednotlivých SW
4. Zhodnocení výpočtů a rozdílů jednotlivých výpočtů

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího závěrečné práce a dle pokynů konzultanta

**Termín zadání:** 7.2.2022

**Termín odevzdání:** 31.5.2022

**Vedoucí práce:** Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

**prof. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je porovnáním volně dostupných softwarů pro výpočet parametrů elektrické sítě. První část se zabývá přiblížením práce v programech Sichr, DOC, Pavouk (xSpider) a SIMARIS design a jejich zhodnocení z hlediska možností použití, požadavků, grafického rozhraní a ovladatelnosti. Dále je v práci provedena technická analýza konkrétních topologií zadaných distribučních sítí. Ve druhé části byla provedena realizace výpočtů parametrů sítí prostřednictvím výše uvedených SW. Nakonec byly realizované výpočty úbytků napětí a zkratových proudů pomocí jednotlivých programů vůči sobě porovnávány.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Distribuční síť; Sichr; DOC; Pavouk; SIMARIS design; software; výpočetní program; kabelové vedení; dimenzování; projektování;

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor thesis is to compare freely available software for calculating the parameters of electrical networks. The first part is used to give an idea how to operate in the programs Sichr, DOC, Spider (xSpider) and SIMARIS design and their evaluation in terms of usability, requirements, graphical interface and controllability. Furthermore, a technical analysis of specific topologies of specified distribution networks is performed in the work. In the second part, the calculation of network parameters was performed using the SW above. Finally, the realized calculations of voltage drops and short-circuit currents using individual programs were compared with each one another.

## **KEYWORDS**

Distribution network; Sichr; DOC; xSpider; SIMARIS design; software; calculation program; cable line; dimensioning; designing;

DVOŘÁK, Radim. *Porovnání volně dostupných softwarů pro výpočet parametrů elektrické sítě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav výkonové elektrotechniky a elektroniky, 2022, 64 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

## Prohlášení autora o původnosti díla

**Jméno a příjmení autora:** Radim Dvořák  
**VUT ID autora:** 220760  
**Typ práce:** Bakalářská práce  
**Akademický rok:** 2021/22  
**Téma závěrečné práce:** Porovnání volně dostupných softwarů pro výpočet parametrů elektrické sítě

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora\*

---

\*Autor podepisuje pouze v tištěné verzi.

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Michalu Ptáčkovi, Ph.D. a firemnímu konzultantovi Ing. Janu Novotnému za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>12</b>
<b>1 Zhodnocení dostupných SW</b>	<b>13</b>
1.1 Sichr . . . . .	13
1.2 DOC . . . . .	14
1.3 Pavouk . . . . .	14
1.4 SIMARIS design . . . . .	15
<b>2 Distribuční soustava</b>	<b>17</b>
2.1 Topologie distribučních sítí . . . . .	17
2.1.1 Paprsková síť . . . . .	18
2.1.2 Okružní síť . . . . .	18
2.1.3 Mřížová síť . . . . .	18
2.2 Vedení distribučních sítí . . . . .	19
2.2.1 Venkovní vedení . . . . .	19
2.2.2 Kabelové vedení . . . . .	20
2.3 Návrh a dimenzování vedení . . . . .	21
2.3.1 Dimenzování vodičů dle dovolené provozní teploty . . . . .	21
2.3.2 Dimenzování vodičů z hlediska hospodárnosti . . . . .	21
2.3.3 Dimenzování vodičů dle mechanické pevnosti . . . . .	21
2.3.4 Dimenzování vodičů podle úbytku napětí . . . . .	21
2.3.5 Dimenzování vodičů podle účinků zkratových proudů . . . . .	22
2.4 Návrh a dimenzování jistění . . . . .	22
2.4.1 Ochrana proti proudovému přetížení . . . . .	23
2.4.2 Ochrana před zkratovými proudy . . . . .	24
<b>3 Zadané distribuční sítě</b>	<b>25</b>
3.1 Síť A . . . . .	25
3.2 Síť B . . . . .	37
3.3 Rozdíly jednotlivých SW . . . . .	52
3.4 Úbytky napětí v síti . . . . .	52
3.5 Zkratové proudy v síti . . . . .	53
<b>Závěr</b>	<b>54</b>
<b>Literatura</b>	<b>55</b>
<b>Seznam symbolů a zkratk</b>	<b>57</b>

<b>Seznam příloh</b>	<b>58</b>
<b>A Řez lanem a kabelem</b>	<b>59</b>
<b>B Vypracované zadání v programu Sichr</b>	<b>60</b>
B.1 Síť A	60
B.1.1 Běžný provoz, část 1/2	60
B.1.2 Běžný provoz, část 2/2	60
B.1.3 Napájení při výpadku T4	60
B.2 Síť B	60
B.2.1 Běžný provoz	60
B.2.2 Napájení přes S2	60
B.2.3 Napájení přes S3	60
<b>C Vypracované zadání v programu Pavouk</b>	<b>61</b>
C.1 Síť A	61
C.2 Síť B	61
<b>D Vypracované zadání v programu Simaris design</b>	<b>62</b>
D.1 Síť A	62
D.2 Síť B	62
<b>E Vypracované zadání v programu DOC</b>	<b>63</b>
E.1 Síť A	63
E.2 Síť B	63
<b>F CD</b>	<b>64</b>
F.1 Bakalářská práce	64
F.2 Vypracované zadání v programu Sichr	64
F.2.1 Síť A	64
F.2.2 Síť B	64
F.3 Vypracované zadání v programu Pavouk	64
F.3.1 Síť A	64
F.3.2 Síť B	64
F.4 Vypracované zadání v programu Simaris design	64
F.4.1 Síť A	64
F.4.2 Síť B	64
F.4.3 Síť A	64
F.4.4 Síť B	64

# Seznam obrázků

2.1	Topologie paprskové a okružní sítě . . . . .	19
2.2	Vypínací ampérsekundová charakteristika pojistky PNA1gG 125 A . . .	24
3.1	Schéma zapojení sítě A . . . . .	28
3.2	Schéma zapojení sítě B . . . . .	39
A.1	Řez AlFe lanem, převzato z [13] . . . . .	59
A.2	Řez kabelem AYKY, převzato z [14] . . . . .	59

# Seznam tabulek

3.1	Parametry transformátoru Eaton Dry-Al-Eco1-12-630 . . . . .	25
3.2	Jistící přístroje, kabely a velikosti odběrů sítě A . . . . .	26
3.3	Jistící přístroje, kabely a velikosti odběrů sítě A pokračování . . . . .	27
3.4	Sít A - Běžný stav trafo úbytek . . . . .	29
3.5	Sít A - Běžný stav přípojnice úbytek . . . . .	29
3.6	Sít A - Běžný stav odběry úbytek . . . . .	30
3.7	Sít A - Běžný stav trafo zkraty . . . . .	31
3.8	Sít A - Běžný stav přípojnice zkraty . . . . .	31
3.9	Sít A - Běžný stav odběry zkraty . . . . .	32
3.10	Sít A - Porucha T4 trafo úbytek . . . . .	33
3.11	Sít A - Porucha T4 přípojnice úbytek . . . . .	33
3.12	Sít A - Porucha T4 odběr úbytek . . . . .	34
3.13	Sít A - Porucha T4 trafo zkraty . . . . .	35
3.14	Sít A - Porucha T4 přípojnice zkraty . . . . .	35
3.15	Sít A - Porucha T4 odběry zkraty . . . . .	36
3.16	Parametry transformátoru Eaton Dry-Al-Eco1-12-630 . . . . .	37
3.17	Jistící přístroje, kabely a velikosti odběrů sítě B . . . . .	38
3.18	Sít B - Běžný stav trafo úbytek . . . . .	40
3.19	Sít B - Běžný stav přípojnice úbytek . . . . .	40
3.20	Sít B - Běžný stav odběry úbytek . . . . .	41
3.21	Sít B - Běžný stav trafo zkraty . . . . .	41
3.22	Sít B - Běžný stav přípojnice zkraty . . . . .	42
3.23	Sít B - Běžný stav odběry zkraty . . . . .	43
3.24	Sít B - Napájení přes S2 trafo úbytek . . . . .	44
3.25	Sít B - Napájení přes S2 přípojnice úbytek . . . . .	44
3.26	Sít B - Napájení přes S2 odběry úbytek . . . . .	45
3.27	Sít B - Napájení přes S2 trafo zkraty . . . . .	45
3.28	Sít B - Napájení přes S2 přípojnice zkraty . . . . .	46
3.29	Sít B - Napájení přes S2 odběry zkraty . . . . .	47
3.30	Sít B - Napájení přes S3 trafo úbytek . . . . .	48
3.31	Sít B - Napájení přes S3 přípojnice úbytek . . . . .	48
3.32	Sít B - Napájení přes S3 odběry úbytek . . . . .	49
3.33	Sít B - Napájení přes S3 trafo zkraty . . . . .	49
3.34	Sít B - Napájení přes S3 přípojnice zkraty . . . . .	50
3.35	Sít B - Napájení přes S3 odběry zkraty . . . . .	51

# Úvod

S postupem času se stále zvyšují nároky na elektrizační soustavu. V roce 2020 celková spotřeba elektrické energie v ČR činila 71,4 TWh. Oproti předchozímu roku se jednalo o pokles o 3,5 %, který byl způsobený menší poptávkou ze strany podniků z důvodu pandemie Covid-19. Naopak spotřeba elektrické energie u domácností vzrostla, protože lidé trávili více času doma a na home office a tento růst dosáhl 4,7 % [1]. Aby tato energie mohla být odběratelem využita, tak je potřeba dbát na spolehlivost a bezpečnost distribuční soustavy. Projektant distribučních soustav nízkého napětí (dále jen nn) musí strávit mnoho času a úsilí k vytvoření dokonalého projektu, který vyhoví všem normám i předpisům a uspokojí požadavky investora.

Projektanti dnes využívají mnoho volně dostupných softwarů (dále jen SW) pro projektování distribučních sítí. Každý má své unikátní ovládání, grafické rozhraní, možnosti použití, požadavky i způsob výpočtu. Při projekci distribuční sítě se postupuje dle norem a zákonů, ve kterých se každý projektant musí orientovat, aby byl schopen všechny požadavky a aspekty správného návrhu.

Tato práce přiblíží vybrané SW, vymezí jejich možnosti použití, rozdílnosti při návrhu sítí a zhodnotí dané programy. Praktická část práce se zabývá návrhem dvou sítí. První sítí je paprsková sítí s 29 odběrnými místy. Druhou sítí je sítí okružní s 20 odběrnými místy. Obě uvedené sítě budou realizovány ve čtyřech výpočetních programech. Těmito programy jsou Sichr, DOC, Pavouk (xSpider) a SIMARIS design.

Práce je rozdělena do čtyř částí. V první části práce jsou zhodnoceny dostupné SW sloužící pro návrh a výpočet parametrů elektrické sítě. Druhá část práce analyzuje zadané sítě a uvádí zadání projektu. Ve třetí části jsou zadané distribuční sítě realizovány pomocí jednotlivých SW. V poslední části je realizováno celkové zhodnocení výsledků a porovnání rozdílů výpočtů jednotlivých SW.

# 1 Zhodnocení dostupných SW

Pro tvorbu projektové dokumentace se v dnešní době využívají výpočetní SW, díky kterým jsou projektanti schopni velmi rychle a lehce realizovat a zpracovávat projekty v distribučních soustavách. Mezi nejpoužívanější výpočetní programy pro řešení distribučních sítí patří: Sichr, DOC, Pavouk (xSpider) a SIMARIS design. Tyto SW budou v této práci dále řešeny.

## 1.1 Sichr

Výpočtový program Sichr od firmy OEZ se využívá při řešení paprskových sítí TN-C, TN-C-S a IT sítě bez vyvedeného středního vodiče při hodnotách sdruženého napětí od 100 do 690 V střídavých. Program obsahuje uzavřenou databázi jisticích a spínacích prvků, proudových chráničů a svodičů přepětí produkce OEZ (vlastní prvky vkládat nelze) a otevřenou databázi generátorů, transformátorů a silových kabelů, která lze doplnit vlastními prvky [2].

Po otevření programu Sichr je automaticky vygenerován nový projekt sítě TN s jmenovitým napětím 230/400 V AC. Pro výběr sítě IT, či změny napěťové hladiny, je potřeba vytvořit projekt nový. Při tvorbě nového projektu je na výběr ze 7 připravených šablon: IT 3x400 V, IT 3x500 V, IT 3x690 V, TN 115/220 V, TN 220/380 V, TN 230/400 V a TN 400/690 V. Pokud jsou tyto šablony nevyhovující lze vytvořit šablony vlastní, v rozmezí sdruženého napětí 100 až 690 V.

SW je snadno ovladatelný, díky jeho panelu nástrojů, pomocí kterých se uživatel může přepínat mezi mnoha nástroji a schémata. Vkládání prvků do projektu je intuitivní. Každý projekt může mít maximální rozsah 25 řádků a až 500 sloupců, do kterých lze vkládat přístroje, přípojnice, kabely, apod. Při každém vložení, či úpravě, Sichr všechny vložené prvky přepočítává a vyhodnocuje správný návrh. Tedy při tvorbě a následné úpravě většího projektu může být práce zdoluhavá.

*„Po snadném sestavení obvodu program vypočtené zkratové proudy porovná s mezní zkratovou vypínací schopností jističů a pojistek, přičemž vyhodnotí i velikosti omezených proudů za omezujícími přístroji a výsledky využije k posouzení možnosti vzájemného kaskádování jednotlivých přístrojů.“* [2] Dále se kontroluje funkce ochran proti nadproudům spínačů, proudových chráničů a přepětových ochran. Program také kontroluje správné dimenzování a ochranu proti nadproudům silových kabelů jednak z hlediska přetížení, ale i zkratu. Sichr vyhodnocuje úbytky napětí na transformátoru a jednotlivých kabelech. Výsledný úbytek porovnává s maximálním povoleným úbytkem napětí, který lze nastavit [2].

*„Při výpočtu impedančních smyček se bere v úvahu impedance celého obvodu včetně impedance vysokonapěťového rozvodu, napájecího zdroje, vnitřní impedance*

*jisticích přístrojů a kabelů, přičemž se uvažuje i se zvýšením činného odporu kabelů v závislosti na jeho oteplení protékajícím proudem.*“ [2] V obvodu lze nastavovat různou maximální dobu odpojení od zdroje. 30s je používáno v energetických rozvodech, 5s v rozvodech distribučních a 0,4s v koncových obvodech. Selektivita je vyhodnocována pomocí porovnání vypínacích charakteristik obvodu v oblasti přetížení nebo také pomocí databáze mezí selektivity v oblastech zkratových proudů. Program nabízí i pokročilou možnost výpočtu ekonomicky optimálního průřezu vodičů na základě pořizovacích a provozních nákladů a době životnosti vedení [2].

## 1.2 DOC

SW DOC od firmy ABB je využíván pro výpočet a dimenzování distribučních sítí a osazení přístroji ABB. Lze použít pro střídavé sítě nízkého napětí i sítě vysokého napětí (dále jen vn), ale jen do 36kV, pro síťové frekvence 50 nebo 60 Hz, a pro distribuční systémy TN-C, TN-S, TN-C-S, TT a IT. SW řeší radiální i mřížové sítě a umožňuje práci s neomezeným počtem uzlů. Také lze použít několik distribučních systémů ve stejné síti a umožňuje připojení jednofázových a dvoufázových zátěží do sítě třífázové. Dále v tomto programu lze dimenzovat závody se servisním generátorem, s kogenerací a se záložními transformátory, nebo také ostrovní síť bez omezení počtu generátorů [3].

Program pracuje v grafickém rozhraní JPCAD, což je 2D prostředí s jednoduchým ovládáním odpovídající programu AutoCAD.

Mezi hlavní funkce SW patří výpočet proudů a úbytků napětí jednotlivých větví, výpočty zkratových proudů, dimenzování nn i vn kabelů, dimenzování spínacích i jisticích přístrojů, výpočet teplotních nárůstů v rozváděcích ABB, nastavení a koordinace jisticích přístrojů, kontrola správného dimenzování kabelů, simulace provozních stavů sítě a tisk schématu a projektové dokumentace [3].

## 1.3 Pavouk

Pavouk je graficky orientovaný návrhový systém od firmy Eaton, který slouží pro dimenzování nn sítí osazených jisticími přístroji značky Eaton/Moeller. Umožňuje řešit paprskové i zauzlené sítě TN, TT, IT do napětí 1000 V, dále také sítě napájené z jednoho nebo více různých zdrojů nebo sítě paralelně napájené z různých zdrojů. SW automaticky dimenzuje vodiče a jisticí a spínací přístroje. Tuto funkci lze vypnout. SW dovoluje provedení veškerých výpočtů úbytků napětí, rozložení proudů, velikosti zkratových proudů, impedance smyček, apod. dle platných norem.

Dále také umožňuje kontrolovat logistiku zapojení sítě, kontrolovat síť při jednofázovém nebo třífázovém symetrickém zkratu, kontrolovat selektivitu jističů a simulovat různé provozní stavy sítě odpínáním zdrojů a zátěží. Program obsahuje otevřenou databázi prvků, které lze uživatelem doplnit a uzavřenou databázi přístrojů firmy Eaton [4].

Pavouk pracuje v grafickém prostředí podobné standardním CAD, což umožňuje snadné a rychlé ovládání programu. Lze mít otevřené více projektů zároveň a přenášet objekty z jednoho projektu do druhého, což usnadňuje práci. Při prvním spuštění lze uživatelem nastavit jazykovou verzi programu a tu pak později kdykoliv změnit [4].

## 1.4 SIMARIS design

SIMARIS design je SW určen pro návrh a dimenzování elektrických sítí nn od 200 do 1000 V s možností automatického výběru příslušných prvků. Dimenzování se provádí podle přijatých pravidel, dlouholeté praxe a všech platných norem. Síťové provozní režimy a spínací stavy lze uživatelem volně definovat. Systémy přípojnic sloužící pro přenos a rozvod elektrické energie lze také zahrnout do koncepce návrhu. Pro ekonomicky a technicky optimální návrh elektrické sítě je potřebný správný výběr a koordinace všech použitých komponentů, což je umožněno pomocí funkce automatického výběru těchto prvků v radiálních sítích. Zkratový proud, symetrické rozložení proudů, úbytky napětí a energetická bilance jsou v radiálních sítích automaticky počítány a při těchto výpočtech jsou zohledněny požadavky na ochranu osob, ochrana proti zkratu a přetížení. Dále lze také uvažovat případné požadované ochrany před účinky blesku a přepětí. Pravidelně aktualizované databáze přístrojů obsažené v programu zaručují správnost dimenzování a umožňují výpočet dynamické selektivity. Dále tento SW dokáže navrhnout kapacity potřebných zdrojů a řešit problematiku zdrojů záložních [5].

SW pracuje v uživatelsky přívětivém prostředí s intuitivní manipulací. Grafický editor umožňuje snadnou tvorbu projektu a ovládání funkcí. Snadné zadání změn a úprav v průběhu projektování a i v průběhu realizace.

Pro dokumentaci výsledků je k dispozici široká škála možností výstupů:

- Dokumentace projektu
- Provozní režimy
- Seznam přístrojů seřazený podle obvodů
- Nastavení přístrojů
- Seznam přípojnicových systémů
- Kabelový list
- Zkratové proudy

- Vypínací charakteristiky
- Schéma sítě (PDF)
- Schéma sítě (DWG/DXF)
- SIMARIS exchange soubor (SX), který lze využít pro následnou práci v programu SIMARIS project, který slouží pro stanovení prostorové náročnosti elektroenergetických rozvodů a jejich rozpočtování.

Dokumentace projektu obsahuje titulní stranu, přehled provedených výchozích nastavení, parametry sítě, definované provozní režimy, seznamy zařízení a normy použité pro výpočty.

Provozní režimy obsahují list pro každý definovaný provozní stav, který ukazuje specifikované polohy spínače.

SIMARIS exchange soubor (SX), který lze využít pro následnou práci v programu SIMARIS project, který slouží pro stanovení prostorové náročnosti elektroenergetických rozvodů a jejich rozpočtování.

## 2 Distribuční soustava

Distribuční soustava zajišťuje propojení mezi přenosovou soustavou a odběrnými místy elektrické energie. Při distribuci elektrické energie je postupně transformována její napěťová úroveň s cílem minimalizovat ztráty způsobené přenosem energie [6].

### Dělení distribuční sítě dle napěťové urovně:

- síť vvn 110 kV,
- síť vn 3, 6, 10, 22 a 35 kV,
- síť nn 400/230 V.

Síť vvn slouží pro rozvod elektrické energie z přenosové soustavy nebo z menších zdrojů (desítky MW), které jsou do ní zapojeny. Vedení 110 kV se vyznačuje vysokou spolehlivostí, je dostatečně zálohováno, propojeno a chráněno pomocí distančních ochran. Díky okružnímu uspořádání lze předejít přerušení dodávky elektrické energie z důvodu poruchy v síti [6].

Síť vn transformují napětí vvn 110 kV na úroveň vn. V České republice převládá hladina 22 kV. Lze se setkat i s napětím 35 kV v severní části východních Čech nebo také napětím 3, 6, a 10 kV, které se již dále nerozvíjejí a nahrazují se standardním napětím 22 kV. Vedení bývá topologicky většinou paprskovité, kdy z transformační stanice jde vedení vn do všech směrů. Důležitá vedení pak bývají často napájena ze dvou i více transformoven z důvodu zajištění dodávky elektrické energie [6].

Síť nn tvoří poslední stupeň transformace elektrické energie a slouží k napájení koncových odběratelů. Vedení nn bývá většinou paprskovité, napájené z transformační stanice, která transformuje napětí vn na nn. Ve městech se převážně využívá uzlová síť, která je podzemními kabelovými rozvody [6].

### 2.1 Topologie distribučních sítí

Síť z hlediska uspořádání lze rozdělit na síť otevřenou, kde je elektrická energie dodávána ke spotřebiči vždy jednou cestou nebo uzavřenou, kde napájení je zajištěno ze dvou nebo více stran [7]. Dle topologie lze síť rozdělit na:

- paprskové,
- dvoupaprskové,
- průběžné,
- okružní,
- hřebenové,
- mřížové.

### 2.1.1 Paprsková síť

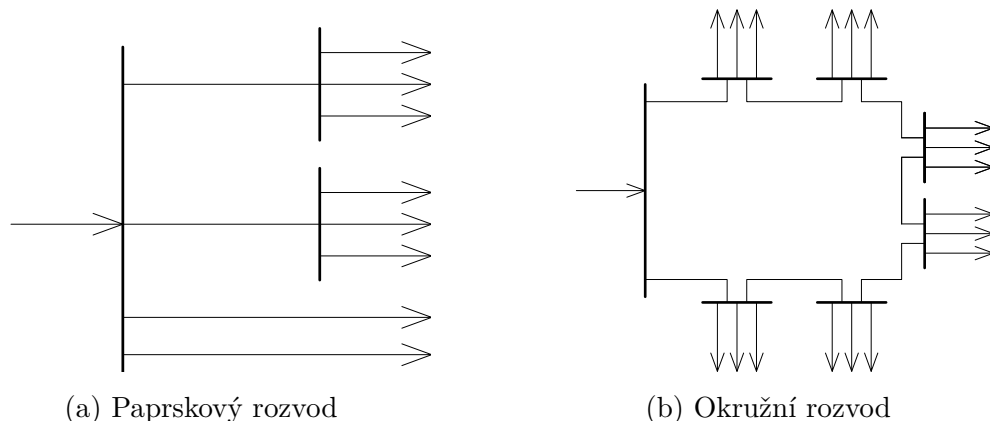
Jednotlivé odbočky nebo spotřebiče jsou napájeny zvláště jedním vedením (viz obr. 2.1a). Tato síť je nejjednodušším typem sítě, která lze realizovat s minimálními finančními náklady, ale také nejméně spolehlivá, jelikož při poruše vedení je přerušeno napájení příslušné větve. V sítích nn se využívá tam, kde není potřeba zvýšených nároků na spolehlivost dodávky, tedy k napájení maloodběratelů nebo napájení pouličního osvětlení. Napájení z jedné strany může způsobit kolísání napětí na konci vedení. Tato topologie se využívá i v sítích vn, kde je celá větev napájena z jednoho místa. V případě poruchy ji lze lokalizovat postupným odpínáním jednotlivých úseků nebo odboček [6].

### 2.1.2 Okružní síť

Okružní síť, která je znázorněná na obr. 2.1b je již spolehlivější, protože každé odběrné místo lze napájet ze dvou stran. Vzniká zasmyčkováním vedení, tedy připojením volného konce paprsku na stejnou přípojnicí. Výhodami této sítě je možnost napájení ze dvou stran, menší kolísání napětí, vyšší spolehlivost dodávky elektrické energie a v případě poruchy se zasažená oblast odpojí a síť se do odstranění poruchy provozuje jako dvě sítě paprskové. Využívají se v sítích nn u kabelových rozvodů a také v sítích vvn [6].

### 2.1.3 Mřížová síť

Z pohledu dodávky elektrické energie je mřížová síť ještě bezpečnější než síť okružní. Vzniká propojením velkého množství podružných rozváděčů napájenými minimálně dvěma zdroji připojených pomocí distribučních transformátorů. Charakteristickou vlastností je možnost napájení odběrného místa minimálně ze dvou stran. Tato síť je využívána v husté městské zástavbě a k napájení větších průmyslových podniků. Výhodou těchto sítí je nejmenší kolísání napětí ze všech topologických celků a vyšší provozní spolehlivost. Nevýhodami je vysoká finanční náročnost a větší zkratové poměry v důsledku propojení [6].



Obr. 2.1: Topologie papřskové a okružní sítě

## 2.2 Vedení distribučních sítí

Distribuční sítě jsou budovány buď venkovním vedením nebo kabelovým vedením, což závisí na účelu dané sítě. Kabelová i venkovní vedení mají svůj rozsah použití závisící na technických a ekonomických podmínkách napájení dané oblasti.

### 2.2.1 Venkovní vedení

Venkovní vedení jsou používány v oblastech, kde je dostatek místa. Tento způsob vedení je nejrozšířenějším způsobem přenosu elektrické energie. Náklady na výstavbu vedení jsou několikanásobně nižší než u kabelových vedení, ovšem provozní náklady a náklady na údržbu u venkovního vedení jsou vyšší.

Venkovní vedení jsou tvořena nejčastěji holými vodiči (AlFe lany), případně vodiči izolovanými. Tyto vodiče jsou pomocí izolátorů zavěšeny na konzolách jednotlivých podpěrných bodů. Pro venkovní vedení se v minulosti používalo měděných vodičů, ale ty postupem času byly nahrazeny AlFe lany. AlFe lana jsou složena z pozinkovaných ocelových drátů, které plní nosnou funkci a z dalších vrstev hliníkových drátů, které tvoří funkci vodivou viz obr A.1 [8].

## 2.2.2 Kabelové vedení

Kabelová vedení používáme v místech, kde nelze použít vedení venkovní, neboli v místech s hustou zástavbou. Kabelová vedení vn a nn se tedy běžně využívají pro napájení větších měst. Rozvod elektrické energie je zhotoven pomocí kabelů uložených v zemi. Páteřní trasy bývají především vedeny v podzemních kolektorech a uloženy na kabelových lávkách. Zbylá vedení bývají uloženy v zemi do pískového lože nebo jiné ochrany proti mechanickému poškození [6].

Výhodou kabelového vedení je absence jakéhokoliv vedení a drátů v ulicích, což zvyšuje spolehlivost i bezpečnost vedení. Vedení je též chráněno před povětrnostními vlivy a před vznikem atmosférického přepětí. Nevýhodou je, že v případě poruchy je její odstranění nákladné i obtížné a musí být znovu zasahováno do terénu. Cena kabelového vedení je dražší než cena venkovního vedení. To je dáno náročností výkopových prací a následnou finální úpravou povrchu.

Základními požadavky na jištění kabelových sítí nn je, aby při vzniku zkratu byla vadná část odpojena do 30 s a byla dodržena selektivita jištění. K jištění kabelového vedení nn se využívá tavných pojistek s charakteristikou gG [8].

### **Kabelová síť lze rozdělit na tři typy:**

- páteřní síť
- odbočka
- přípojka

Páteřní síť nazýváme hlavní vedení, které vyvádí výkon z distribuční trafostanice. Toto vedení má největší průřez a může být propojeno s dalšími trafostanicemi. Tato vedení se navrhují a provozují převážně jako okružní vedení. Odbočka je ta část vedení, která slouží k napájení menší skupiny odběratelů a zpravidla má menší průřez. Přípojka je koncová část kabelového vedení nn sloužící k připojení odběrného místa [8].

V distribuční soustavě se pro rozvod elektrické energie nn využívá kabelů CYKY a AYKY. Tento kabel je složený ze tří plných nebo lanových fázových žil a z žíly pro PEN vodič. Tyto vodiče jsou od sebe navzájem izolovány pomocí polyvinylchloridu (PVC). Kolem všech žil se nachází výplňový obal, který je vyroben z pryže nebo PVC, což ovšem závisí na průřezu kabelu. Do průřezu 70 mm<sup>2</sup> se používá pryž a od 95 do 240 mm<sup>2</sup> je to obal vinutý ze dvou pásků PVC. Celkový plášť kabelu je také vyroben z PVC [8].

## 2.3 Návrh a dimenzování vedení

Vodiče silnoprůdového elektrického rozvodu musí být dimenzovány tak, aby [7]:

- v běžném stavu jejich provozní teplota nepřekročila teplotu dovolenou,
- průřezy vodičů se pohybovali v hospodárných mezích,
- byly dostatečně mechanicky pevné,
- úbytek napětí byl ve stanovených mezích,
- odolávaly dynamickým a tepelným účinkům zkratových proudů.

### 2.3.1 Dimenzování vodičů dle dovolené provozní teploty

Vodiče musí být z bezpečnostních a hospodárných důvodů dimenzovány tak, aby oteplení vodičů nedosáhlo vysokých hodnot. Při vysokých teplotách dochází k rekrystalizaci materiálu, čímž dochází ke změně mechanických vlastností vodiče. Izolace vodičů při vysokých teplotách rychleji degraduje, čímž se snižuje doba životnosti vedení. Z těchto důvodů byly normou stanoveny nejvyšší dovolené provozní teploty  $\vartheta_{\text{dov}}$  a tím i dovolené proudové zatížení vodiče, kterým můžeme vodiče trvale zatěžovat za daných referenčních podmínek. Provozní teplota vodiče  $\vartheta_z$  a také přípustné zatížení vodičů při běžných provozních podmínkách závisí na typu vodiče nebo kabelu, charakteristice provozu, prostředí, uložení, zátěže [7].

### 2.3.2 Dimenzování vodičů z hlediska hospodárnosti

Vodiče a kabely mají být dimenzovány tak, aby nebyli zatěžováni více než na hospodárný proud. Hospodárný proud je takový proud, kdy celkové roční náklady na pořízení, provoz a údržbu vedení jsou v optimálních mezích [7].

### 2.3.3 Dimenzování vodičů dle mechanické pevnosti

Vodiče a kabely mají být dimenzovány tak, aby dokázali odolat mechanickému namáhání, kterému budou při běžném provozu vystavovány. U vodičů venkovního vedení je hlavním namáháním namáhání větrem, namáhání námrazou nebo kombinací těchto dvou. U kabelových vedení jsou vodiče mechanicky namáhané zejména při pokládce kabelů, zatahování vodičů do trubek apod. Hodnoty nejmenších hodnot dovolených průřezů s ohledem na mechanické namáhání jsou uvedeny v normách ČSN [7].

### 2.3.4 Dimenzování vodičů podle úbytku napětí

Úbytek napětí je odchylka napětí na svorkách spotřebičů od jmenovité hodnoty, která je způsobena ztrátami na vedení. Odchylku napětí a její kolísání využíváme

jako kvalitativní ukazatel dodávky elektrické energie. Vodiče a kabely musí proto být dimenzovány tak, aby u odběratele nezpůsobili úbytek napětí na svorkách spotřebiče vyšší než je dovoleno [9].

Dovolená tolerance napětí koncových obvodů je definována normou ČSN 33 2130 ed.3 [10], která říká, že pro světelné vývody je dovolený úbytek napětí 4 %, u vývodů pro topidla a vařidla 6 % a u ostatních vývodů 8 %.

### 2.3.5 Dimenzování vodičů podle účinků zkratových proudů

Při namáhání vedení zkratovým proudem, jsou vodiče zatěžovány tepelnými a dynamickými účinky zkratového proudu. Kontrola na tepelné účinky se provádí u všech druhů vedení, zatímco na dynamické účinky se kontrolují převážně pouze holé vodiče, přípojnice apod. Kontrola na dynamické účinky zkratového proudu se provádí pro případy, kde může dojít k vytržení vedení z pevného uchycení (přípojnice), dotknutí se dvou živých částí apod. Jelikož kabely jsou pohyblivé a živé části jsou od sebe navzájem izolovány, tak nehrozí poškození vodiče vlivem těchto sil [9].

Pro kontrolu pevnosti vodičů na dynamické účinky zkratových proudů se uvažuje maximální působící síly  $F_m$ , která je způsobena nárazovým zkratovým proudem  $i_p$ . Při výpočtu bude uvažována korekce, která respektuje tvar a velikost průřezu a také prostorové uspořádání vodičů a fázový posuv proudu v jednotlivých vodičích [7].

Při dimenzování vedení na tepelné účinky zkratových proudů se určuje minimální průřez jader vodičů  $S_{min}$ , při kterém se teplota vodiče nedostane nad dovolenou teplotu vodiče při zkratu  $\vartheta_k$ , což je teplota stanovená s ohledem na podmínky stárnutí izolace a zmenšení mechanické pevnosti při tepelném nárazu. Pro kontrolu dimenzování podle tepelných účinků zkratových proudů se uvažuje nejvyšší možná doba působení zkratu  $t_k$ , jelikož kvůli krátké době trvání zkratu se veškeré vyvinuté teplo akumuluje v materiálu jádra vodiče [7].

## 2.4 Návrh a dimenzování jištění

Veškeré vodiče a kabely musí být chráněny před zkraty a přetížením. Jistící prvky musí být navrženy tak, aby zvládly odpojit jakýkoliv nadproud dříve, než by mohlo dojít k trvalému poškození vodiče či kabelu.

Hlavní zásady pro volbu jisticích prvků:

- Teplota jádra jištěného vodiče nesmí při nadproudech překročit dovolenou teplotu.
- V prostředí, kde je stanovena nejvyšší dovolená teplota povrchu, nesmí povrch vedení tuto teplotu překročit.
- Při běžném provozu nesmí nastat nežádoucí působení jisticích prvků.

- Jistící prvky mají odpojit pouze postiženou část vedení [7].

Pro jištění kabelového vedení se používá přístrojů zaručujících zároveň ochranu proti proudovému přetížení i zkratovému proudu. Mezi tyto přístroje se řadí:

- jističe se spouští proti zkratu i proudovému přetížení,
- pojistky s vypínací charakteristikou typu gG [9].

### 2.4.1 Ochrana proti proudovému přetížení

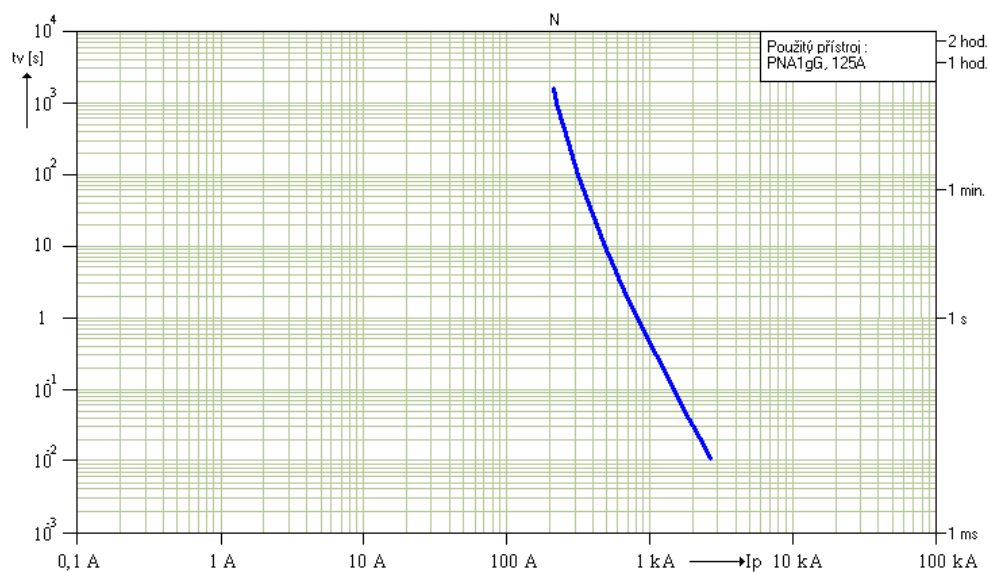
Podle [9] platí, že funkční (ampérsekundové) charakteristiky jistících prvků musí vyhovovat základní podmínce:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z, \quad (2.1)$$

kde  $I_B$  je skutečný proud tekoucí vedením,  $I_N$  je jmenovitý proud jistícího prvku nebo zvolené proudové nastavení u nastavitelných prvků a  $I_Z$  je dovolené proudové zatížení vedení. Reference [9] dále uvádí, že v některých případech ale ochrana navržená podle vztahu 2.1 nemusí ochranu zajistit, proto se doporučuje jištění vodiče zkontrolovat na základě oteplovací charakteristiky vodiče. Pokud kontrola nevyhoví, použije se kabelu s větším průřezem. Pro kabelové vedení se předpokládá, že:

- základní teplota okolí pro kabely v zemi je 20 °C,
- nejvyšší dovolená provozní teplota PVC izolace je 70 °C,
- nejvyšší dovolená teplota PVC izolace při přetížení je 120 °C.

Vypínací ampérsekundová charakteristika (viz obr. 2.2) je závislost doby vypnutí jistícího prvku na velikosti přetížení. Na obou osách se používá logaritmické stupnice. Tato charakteristika je udávána výrobcem a tolerance proudu se nesmí vychýlit o více jak  $\pm 10\%$  [7].



Obr. 2.2: Vypínací ampérsekundová charakteristika pojistky PNA1gG 125 A

## 2.4.2 Ochrana před zkratovými proudy

Zkratové proudy tekoucí vodiči a kabely a jističí přístroje musí být určeny pro každý obvod dle ČSN 33 2000-4-43 ed.2 [11]. Maximální hodnoty zkratových proudů musí být určeny, aby se s ohledem na jejich velikost mohli volit odpovídající jističí přístroje s vyhovující jmenovitou vypínací schopností. Pro správnou ochranu je potřeba určit nejen maximální zkratový proud na začátku vedení, ale i minimální zkratový proud na konečných obvodech.

Maximální zkratový proud je potřebný k ověření, zda:

- ochranný přístroj spolehlivě odpojí jištěný obvod,
- nebude překročeno dovolené namáhání vodičů jak dynamické, tak i tepelné.

Minimální zkratový proud je potřebný k ověření, zda:

- s použitím jističe, je schopen zajistit odpojení i při nejvzdálenějším zkratu,
- s použitím pojistky, není překročeno dovolené tepelné namáhání vodičů [12].

### 3 Zadané distribuční sítě

Při projektování elektrických rozvodů je nutnost se řídit aktuálními normami a zákony platnými v České republice. Veškeré dimenzování, návrh kabelů a jistících prvků byl proveden využitím jednotlivých výpočetních programů, které pracují s aktuálními normami ČSN a ČSN EN. Zadané sítě byly v těchto programech překresleny a dimenzovány na jejich nejhorší provozní stav. Vedení je realizováno pomocí kabelového a venkovního vedení kabely CYKY a AYKY s příslušnými parametry. Pro zaručení správné ochrany vedení je v projektech použito pojistek s vypínací charakteristikou gG nebo při větších proudech jističů s odpovídající vypínací schopností. Sledovanými veličinami, které budou následně porovnávány jsou:

1. Rozdíly jednotlivých SW
2. Jmenovité napětí  $U$ (V)
3. Jmenovitý úbytek napětí  $\Delta U$ (%)
4. Počáteční rázový zkratový proud pro třífázový zkrat  $I_k''$ (kA)
5. Nárazový zkratový proud pro třífázový zkrat  $i_p$ (kA)

#### 3.1 Síť A

Síť A (viz obr. 3.1) je sítí paprskovou napájenou ze dvou stran s podélnou spojkou přípojníc. Strana vysokého napětí je definována pomocí zkratového výkonu vn síť  $S_k = 500\text{MVA}$  Při návrhu bylo použito transformátorů Eaton Dry-Al-Eco1-12-630, jehož parametry jsou zobrazeny v tabulce 3.1.

Tab. 3.1: Parametry transformátoru Eaton Dry-Al-Eco1-12-630

$S_n$ (kVA)	$u_k$ (%)	$U_1$ (kV)	$U_2$ (kV)	$P_0$ (kW)	$P_k$ (kW)	$I_1$ (A)	$I_2$ (A)
630	6	6	0,4	1,1	7,6	60,4	909

Tato síť byla dimenzována na dva provozní stavy:

1. Běžný stav, kdy je síť provozována jako dvě sítě paprskové a podélná spojka přípojníc J8 je rozpojena. Transformátory T1, T2, T3 jsou navzájem propojeny paralelně a společně napájí přípojnici S1. Přípojnice S9 je napájena z transformátoru T4.
2. Porucha T4 je stav, ve kterém došlo k výpadku transformátoru T4. V tomto případě dojde k sepnutí podélné spojky přípojníc J8 a napájení celé přípojnice S9 převezmou transformátory T1, T2, T3. V tomto případě by ale došlo k tomu, že by transformátory musely pracovat na 100% svého výkonu, proto

současně dojde k odpojení přípojnice S7, aby transformátory byly schopny přidatý odběr utáhnout.

Při dimenzování sítě bylo uvažováno nejhoršího stavu, tedy výpadku T4 a napájení přes podélnou spojku přípojnic. V této síti se nachází 4 transformátory, 13 přípojnic, 45 jisticích a spínacích přístrojů, 45 kabelových vedení a 29 odběrných míst s celkovým instalovaným výkonem 1795 kW a celkovým odebíraným proudem 2727 A. Jednotlivé velikosti a typy jisticích prvků a kabelů, použité v této síti jsou uvedeny v tabulkách 3.2, 3.3.

Tab. 3.2: Jisticí přístroje, kabely a velikosti odběrů sítě A

x	Jx	Kx	Rx
T1	PN4agG $I_n = 800A$	3xCYKY 4x240 3m	-
T2	PN4agG $I_n = 800A$	3xCYKY 4x240 3m	-
T3	PN4agG $I_n = 800A$	3xCYKY 4x240 3m	-
T4	PN4agG $I_n = 800A$	3xCYKY 4x240 3m	-
1	JISTIČ $I_n = 3200A, I_r = 2560A$	7xCYKY 4x240 10m	-
011	PNA2gG $I_n = 250A$	CYKY 4x240 132m	100 kW
012	PNA2gG $I_n = 250A$	CYKY 4x240 86m	150 kW
2	PNA2gG $I_n = 250A$	2XCYKY 4x240 91m	-
21	PNA1gG $I_n = 100A$	AYKY 4x70 117m	25 kW
22	PNA1gG $I_n = 160A$	AYKY 4X150 105m	60 kW
23	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 98m	40 kW
3	PNA2gG $I_n = 400A$	3xCYKY 4x240 106m	-
31	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 108m	45 kW
32	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 82m	60 kW
33	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 80m	45 kW
4	PNA2gG $I_n = 400A$	3xCYKY 4x240 150m	-
41	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 111m	45 kW
42	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x150 109m	50 kW
43	PNA1gG $I_n = 100A$	AYKY 4x95 92m	35 kW
5	PNA2gG $I_n = 400A$	3xCYKY 4x240 145m	-
51	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 138m	35 kW
52	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 102m	50 kW
53	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 100m	45 kW

Tab. 3.3: Jistící přístroje, kabely a velikosti odběrů sítě A pokračování

x	J <sub>x</sub>	K <sub>x</sub>	R <sub>x</sub>
6	PNA2gG $I_n = 250A$	2XCYKY 4x240 107m	-
61	PNA1gG $I_n = 100A$	AYKY 4x95 143m	25 kW
62	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 94m	50 kW
63	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 104m	40 kW
7	PN4a gG $I_n = 800A$	5xCYKY 4x240 93m	-
71	PNA2gG $I_n = 250A$	CYKY 4x240 94m	100 kW
72	PNA3gG $I_n = 630A$	4xCYKY 4x240 87m	350 kW
8	JISTIČ $I_n = 1000A, I_r = 800A$	8xCYKY 4x240 140m	-
9	JISTIČ $I_n = 1000A, I_r = 800A$	3xCYKY 4x240 91m	-
10	PNA2gG $I_n = 250A$	2XCYKY 4x240 113m	-
101	PNA1gG $I_n = 100A$	AYKY 4x120 140m	25 kW
102	PNA1gG $I_n = 100A$	AYKY 4x95 112m	20 kW
103	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 100m	30 kW
11	PNA3gG $I_n = 355A$	3xCYKY 4x240 139m	-
111	PNA1gG $I_n = 100A$	AYKY 4x185 150m	30 kW
112	PNA1gG $I_n = 100A$	AYKY 4x150 137m	30 kW
113	PNA1gG $I_n = 100A$	AYKY 4x150 135m	30 kW
114	PNA1gG $I_n = 100A$	AYKY 4x120 85m	30 kW
12	PNA3gG $I_n = 355A$	3xCYKY 4x240 137m	-
121	PNA1gG $I_n = 160A$	CYKY 4x185 115m	50 kW
122	PNA1gG $I_n = 224A$	2xCYKY 4x240 149m	100 kW
13	PNA1gG $I_n = 250A$	CYKY 4x240 140m	100 kW



Tab. 3.4: Síť A - Běžný stav trafo úbytek

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)
T1	389	2,7	392,1	1,98	391,3	2,18	390,7	2,34
T2	389	2,7	392,1	1,98	391,3	2,18	390,7	2,34
T3	389	2,7	392,1	1,98	391,3	2,18	390,7	2,34
T4	390	2,5	392,2	1,96	391,4	2,16	390,8	2,31

Tab. 3.5: Síť A - Běžný stav přípojnice úbytek

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)
ST1	-	-	392,0	2,02	391,2	2,21	390,5	2,38
ST2	-	-	392,1	1,99	391,2	2,19	390,6	2,35
S1	389	2,7	391,4	2,16	390,6	2,35	389,8	2,55
S2	388	3,0	389,7	2,58	389,0	2,74	388,4	2,90
S3	388	3,0	389,8	2,55	389,1	2,72	388,4	2,90
S4	388	3,0	389,5	2,64	388,8	2,80	388,2	2,95
S5	388	3,0	389,6	2,62	388,9	2,78	388,2	2,95
S6	388	3,0	389,6	2,61	388,9	2,77	388,2	2,95
S7	387	3,2	389,0	2,77	388,3	2,93	387,5	3,13
S9	390	2,5	391,6	2,10	390,8	2,29	390,1	2,47
S10	388	3,0	390,4	2,42	389,6	2,59	389,0	2,75
S11	388	3,0	390,0	2,51	389,3	2,68	388,7	2,83
S12	388	3,0	389,6	2,61	388,9	2,77	388,3	2,93

Tab. 3.6: Síť A - Běžný stav odběry úbytek

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)
R011	386	3,5	387,5	3,13	387,0	3,26	386,4	3,41
R012	386	3,5	387,6	3,11	387,0	3,24	386,3	3,42
R21	386	3,5	385,6	3,61	385,3	3,68	385,0	3,74
R22	385	3,7	385,4	3,66	385,1	3,73	384,7	3,82
R23	386	3,5	386,4	3,40	386,0	3,5	385,6	3,59
R31	385	3,7	385,8	3,57	385,4	3,65	385,0	3,74
R32	385	3,7	385,7	3,59	385,3	3,67	384,9	3,77
R33	386	3,5	386,8	3,31	386,4	3,41	385,9	3,53
R41	385	3,7	385,3	3,69	385,0	3,76	384,7	3,83
R42	385	3,7	385,8	3,57	385,4	3,65	384,4	3,91
R43	386	3,5	386,1	3,48	385,7	3,57	385,4	3,65
R51	385	3,7	385,5	3,64	385,1	3,72	384,1	3,97
R52	385	3,7	385,3	3,70	384,9	3,77	384,7	3,84
R53	385	3,7	385,8	3,57	385,4	3,65	385,1	3,73
R61	386	3,5	385,8	3,55	385,5	3,63	385,2	3,70
R62	385	3,7	385,6	3,60	385,3	3,68	385,0	3,76
R63	386	3,5	386,1	3,49	385,7	3,58	385,4	3,66
R71	384	4,0	386,2	3,46	385,7	3,58	385,1	3,73
R72	385	3,7	386,7	3,33	386,2	3,46	385,5	3,63
R101	387	3,2	387,4	3,15	387,0	3,26	386,6	3,34
R102	387	3,2	388,0	3,01	387,5	3,13	387,1	3,22
R103	387	3,2	387,9	3,05	387,0	3,24	386,7	3,32
R111	386	3,5	387,4	3,15	386,9	3,27	386,6	3,35
R112	386	3,5	387,2	3,22	386,7	3,33	386,4	3,40
R113	386	3,5	387,2	3,21	386,7	3,32	386,4	3,40
R114	387	3,2	387,8	3,05	387,3	3,17	386,9	3,27
R121	386	3,5	387,5	3,14	387,0	3,26	386,5	3,37
R122	386	3,5	387,4	3,15	386,8	3,29	386,4	3,40
R13	386	3,5	387,5	3,13	387,0	3,26	386,4	3,39

Tab. 3.7: Sít A - Běžný stav trať zkraty

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)
T1	44,8	92,3	48,1	120,5	-	-	-	-
T2	-	-	48,1	120,5	-	-	-	-
T3	-	-	48,1	120,5	-	-	-	-
T4	14,8	32,6	16,2	41,5	-	-	-	-

Tab. 3.8: Sít A - Běžný stav přípojnice zkraty

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)
ST1	-	-	48,4	121,7	47,58	-	46,4	-
ST2	-	-	16,1	40,6	16,34	-	16,0	-
S1	43,6	88,6	47,2	116,7	45,39	-	44,0	-
S2	22,9	38,8	25,5	50,3	24,76	-	25,1	-
S3	25,7	44,4	28,5	57,6	27,63	-	26,5	-
S4	21,9	36,8	24,3	47,6	23,66	-	24,0	-
S5	22,3	37,5	24,7	48,5	24,05	-	24,4	-
S6	21,1	35,3	23,5	45,7	22,87	-	23,2	-
S7	32,1	58,2	35,3	75,9	34,01	-	33,9	-
S9	14,5	31,5	15,8	39,2	15,74	-	15,4	-
S10	10,7	20,2	11,8	25,3	11,71	-	11,7	-
S11	11,3	21,6	12,4	27,1	12,30	-	12,3	-
S12	11,3	21,7	12,4	27,2	12,34	-	12,3	-

Tab. 3.9: Síť A - Běžný stav odběry zkrat

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)
R011	11,8	18,7	13,2	24,1	12,97	-	-	-
R012	15,9	25,9	17,8	33,3	17,4	-	-	-
R21	3,87	5,58	4,3	7,1	4,41	-	-	-
R22	7,27	10,6	8,1	13,5	8,21	-	-	-
R23	6,68	9,68	7,4	12,3	7,56	-	-	-
R31	6,39	9,24	7,1	11,8	7,24	-	-	-
R32	7,90	11,4	8,8	14,6	8,92	-	-	-
R33	8,04	11,7	8,9	14,9	9,08	-	-	-
R41	6,00	8,68	6,6	11,0	6,79	-	-	-
R42	6,97	10,2	7,7	13,0	7,87	-	-	-
R43	5,91	8,54	6,5	10,8	6,7	-	-	-
R51	5,07	7,33	5,6	9,3	5,75	-	-	-
R52	6,43	9,31	7,1	11,8	7,27	-	-	-
R53	6,52	9,45	7,2	12,0	7,38	-	-	-
R61	4,10	5,92	4,5	7,5	4,66	-	-	-
R62	6,72	9,74	7,4	12,4	7,59	-	-	-
R63	6,24	9,04	6,9	11,5	7,06	-	-	-
R71	13,3	21,2	14,8	27,3	14,53	-	-	-
R72	24,3	41,5	26,9	53,7	26,14	-	-	-
R101	4,28	6,27	4,7	7,9	4,80	-	-	-
R102	4,35	6,35	4,8	8,0	4,88	-	-	-
R103	5,27	7,81	5,8	9,9	5,52	-	-	-
R111	5,15	7,76	5,7	9,8	5,74	-	-	-
R112	4,97	7,38	5,5	9,3	5,56	-	-	-
R113	5,01	7,45	5,5	9,4	5,6	-	-	-
R114	5,93	8,85	6,5	11,2	6,61	-	-	-
R121	6,78	11,1	7,5	14	7,46	-	-	-
R122	8,2	14,3	9,0	18,1	8,98	-	-	-
R13	7,62	13,1	8,4	16,6	8,36	-	-	-

Tab. 3.10: Síť A - Porucha T4 trafo úbytek

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)
T1	389	2,7	392,1	1,98	391,3	2,17	390,7	2,34
T2	389	2,7	392,1	1,98	391,3	2,17	390,7	2,34
T3	389	2,7	392,1	1,98	391,3	2,17	390,7	2,34
T4	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 3.11: Síť A - Porucha T4 přípojnice úbytek

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)
ST1	-	-	392	2,01	391,2	2,21	390,5	2,38
ST2	-	-	-	-	-	-	-	-
S1	389	2,7	391,4	2,15	390,6	2,34	389,8	2,55
S2	388	3,0	389,8	2,57	389,1	2,73	388,4	2,90
S3	388	3,0	389,9	2,54	389,2	2,71	388,4	2,90
S4	388	3,0	389,5	2,63	388,8	2,79	388,2	2,95
S5	388	3,0	389,6	2,61	388,9	2,77	388,2	2,95
S6	388	3,0	389,6	2,6	388,9	2,77	388,2	2,95
S7	-	-	-	-	-	-	-	-
S9	387	3,2	389,2	2,72	388,5	2,88	387,8	3,05
S10	386	3,5	387,9	3,03	387,3	3,17	386,7	3,33
S11	386	3,5	387,5	3,13	386,9	3,27	386,4	3,40
S12	385	3,7	387,1	3,23	386,6	3,35	386	3,50

Tab. 3.12: Síť A - Porucha T4 odběr úbytek

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)
R011	386	3,5	387,6	3,12	387,0	3,25	386,4	3,41
R012	386	3,5	387,7	3,1	387,1	3,23	386,3	3,42
R21	386	3,5	385,7	3,6	385,3	3,67	385	3,74
R22	385	3,7	385,5	3,65	385,1	3,72	384,7	3,82
R23	386	3,5	386,5	3,4	386,0	3,49	385,6	3,59
R31	386	3,5	385,8	3,57	385,4	3,65	385	3,74
R32	385	3,7	385,7	3,58	385,4	3,66	384,9	3,77
R33	386	3,5	386,9	3,3	386,4	3,40	385,9	3,53
R41	385	3,7	385,3	3,68	385,0	3,76	384,7	3,83
R42	385	3,7	385,8	3,56	385,4	3,65	384,4	3,91
R43	386	3,5	386,1	3,48	385,8	3,56	385,4	3,65
R51	385	3,7	385,5	3,63	385,2	3,71	384,1	3,98
R52	385	3,7	385,3	3,69	385,0	3,76	384,7	3,84
R53	385	3,7	385,8	3,56	385,4	3,65	385,1	3,73
R61	386	3,5	385,9	3,55	385,5	3,63	385,2	3,70
R62	385	3,7	385,7	3,59	385,3	3,67	385	3,76
R63	386	3,5	386,1	3,48	385,7	3,57	385,4	3,66
R71	-	-	-	-	-	-	-	-
R72	-	-	-	-	-	-	-	-
R101	384	4,0	385,0	3,77	384,6	3,85	384,3	3,92
R102	385	3,7	385,6	3,62	385,2	3,71	384,8	3,80
R103	384	4,0	385,4	3,67	384,7	3,82	384,4	3,90
R111	384	4,0	385,0	3,77	384,6	3,85	384,3	3,93
R112	384	4,0	384,7	3,84	384,4	3,91	384,1	3,98
R113	384	4,0	384,8	3,83	384,4	3,90	384,1	3,98
R114	384	4,0	385,4	3,67	385,0	3,76	384,6	3,85
R121	384	4,0	385,0	3,76	384,6	3,85	384,2	3,95
R122	383	4,2	385,0	3,77	384,5	3,87	384,1	3,98
R13	383	4,2	385,1	3,75	384,6	3,85	384,1	3,97

Tab. 3.13: Sít A - Porucha T4 trafa zkraty

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)
T1	44,8	92,3	48,1	120,5	-	-	-	-
T2	-	-	48,1	120,5	-	-	-	-
T3	-	-	48,1	120,5	-	-	-	-
T4	-	-	-	-	-	-	-	-

Tab. 3.14: Sít A - Porucha T4 přípojnice zkraty

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)
ST1	-	-	48,4	121,7	47,58	-	46,9	-
ST2	-	-	-	-	-	-	-	-
S1	43,6	88,6	47,2	116,7	45,39	-	44,0	-
S2	22,9	38,8	25,5	50,3	24,76	-	25,1	-
S3	25,7	44,4	28,5	57,6	27,63	-	26,5	-
S4	21,9	36,8	24,3	47,6	23,66	-	24,0	-
S5	22,3	37,5	24,7	48,5	24,05	-	24,4	-
S6	21,1	35,3	23,5	45,7	22,87	-	23,2	-
S7	-	-	-	-	-	-	-	-
S9	32,6	59,4	35,9	77,5	23,53	-	34,4	-
S10	17,5	28,7	19,5	37,0	19,10	-	19,5	-
S11	19,2	31,6	21,3	40,9	20,80	-	21,2	-
S12	19,3	31,8	21,4	41,1	20,93	-	21,3	-

Tab. 3.15: Síť A - Porucha T4 odběry zkrat

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)
R011	11,8	18,7	13,2	24,1	12,97	-	-	-
R012	15,9	25,9	17,8	33,3	17,40	-	-	-
R21	3,87	5,58	4,3	7,1	4,41	-	-	-
R22	7,28	10,6	8,1	13,5	8,21	-	-	-
R23	6,68	9,68	7,4	12,3	7,56	-	-	-
R31	6,39	9,24	7,1	11,8	7,24	-	-	-
R32	7,9	11,4	8,8	14,6	8,92	-	-	-
R33	8,04	11,7	8,9	14,9	9,08	-	-	-
R41	6,00	8,68	6,6	11,0	6,79	-	-	-
R42	6,97	10,2	7,7	13,0	7,87	-	-	-
R43	5,91	8,54	6,5	10,8	6,70	-	-	-
R51	5,07	7,33	5,6	9,3	5,75	-	-	-
R52	6,43	9,31	7,1	11,8	7,27	-	-	-
R53	6,52	9,45	7,2	12,0	7,38	-	-	-
R61	4,10	5,92	4,5	7,5	4,66	-	-	-
R62	6,72	9,74	7,4	12,4	7,59	-	-	-
R63	6,24	9,04	6,9	11,5	7,06	-	-	-
R71	-	-	-	-	-	-	-	-
R72	-	-	-	-	-	-	-	-
R101	4,74	6,85	5,2	8,7	5,36	-	-	-
R102	4,79	6,93	5,3	8,8	5,43	-	-	-
R103	5,59	8,10	6,7	11,2	6,32	-	-	-
R111	5,98	8,74	6,6	11,1	6,73	-	-	-
R112	5,67	8,24	6,3	10,5	6,41	-	-	-
R113	5,73	8,33	6,4	10,6	6,48	-	-	-
R114	6,98	10,1	7,7	12,9	7,87	-	-	-
R121	8,69	13,3	9,7	17,0	9,62	-	-	-
R122	11,4	18,1	12,8	23,3	12,57	-	-	-
R13	10,3	16,3	11,5	20,9	11,35	-	-	-

## 3.2 Síť B

Síť B (viz obr. 3.2) je sítí okružní napájenou pomocí paralelní spolupráce dvou transformátorů T1 a T2, které napájí společnou přípojnicí ST. Výhodou této sítě je možnost napájení ze dvou míst, tedy v případě poruchy vedení je možné odběrná místa stále napájet. Nevýhodou ale je kumulace úbytků napětí na vedení. Aby bylo možné dosáhnout dovoleného napětí na konci vedení, bylo potřeba zvýšit napětí na sekundární straně transformátoru na 420 V. Strana vysokého napětí je definována pomocí zkratového výkonu vn sítě  $S_k = 500\text{MVA}$ .

V této síti bylo použito transformátorů Eaton Dry-Al-Eco1-12-630, jehož parametry jsou zobrazeny v tabulce 3.16.

Tab. 3.16: Parametry transformátoru Eaton Dry-Al-Eco1-12-630

$S_n$ (kVA)	$u_k$ (%)	$U_1$ (kV)	$U_2$ (kV)	$P_0$ (kW)	$P_k$ (kW)	$I_1$ (A)	$I_2$ (A)
630	6	6	0,42	1,1	7,6	60,4	866

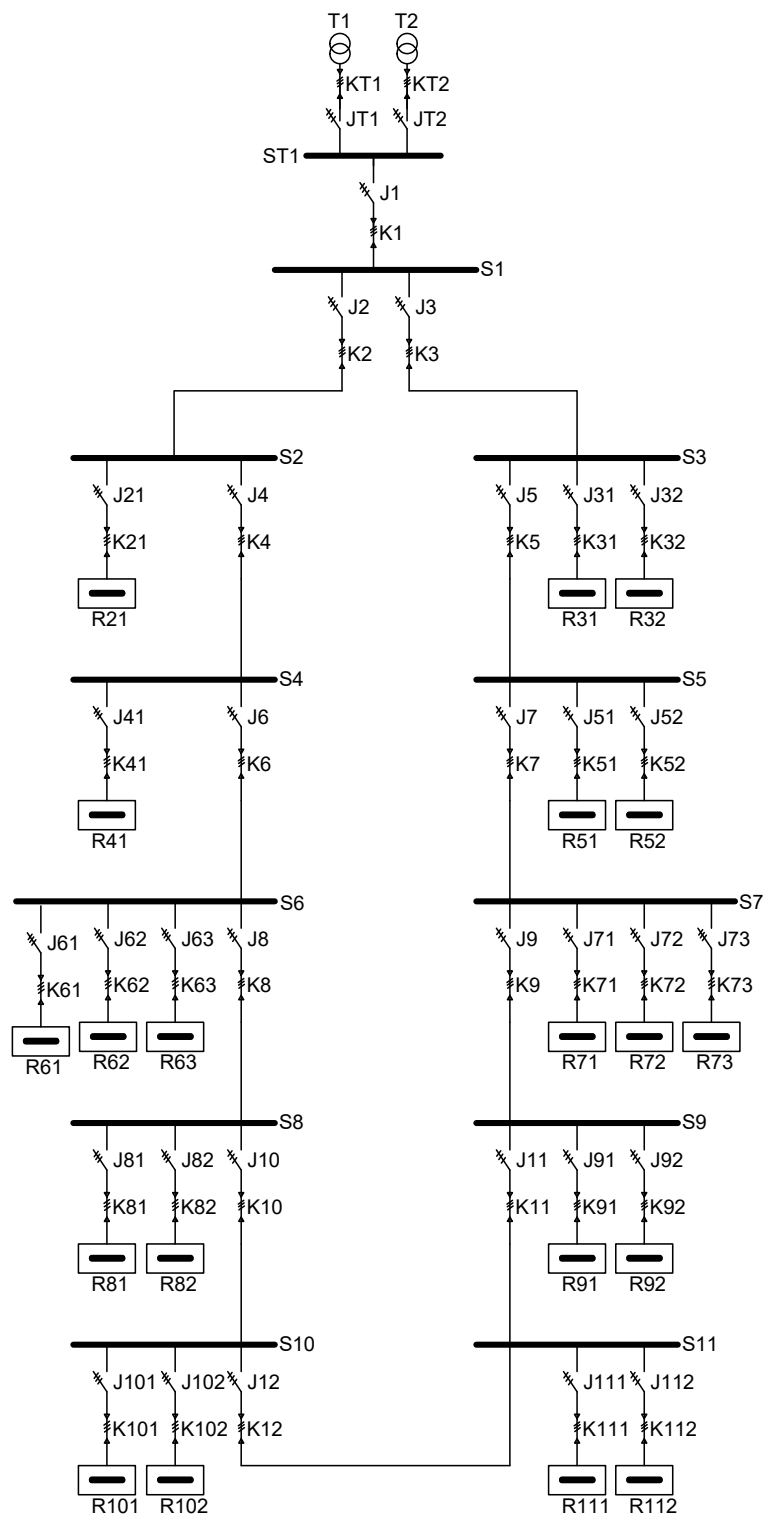
Tato síť je dimenzována na tři provozní stavy:

1. Běžný stav, kdy je síť provozována jako síť průběžná, tedy J12 je rozpojen. Část zátěže je přenášena přes přípojnicí S2 a druhá část přes přípojnicí S3.
2. Napájení přes S2 je stav, kdy došlo k poruše kabelového vedení K3 a není tedy dále možné síť napájet přes přípojnicí S3, proto celý odběr je napájen přes přípojnicí S2.
3. Napájení přes S3 je obdobný stav jako u předchozího případu, pouze jsou prohozeny přípojnice S2 a S3.

Při dimenzování bylo uvažováno nejhorších stavů. Nejprve přerušení vedení K3, kdy všechen proud protékal přes přípojnicí S2 a poté přerušení vedení K2, kdy celý výkon byl přenášán přes přípojnicí S3. V této síti se nachází 2 transformátory, 12 přípojníc, 35 jisticích a spínacích přístrojů, 35 kabelových vedení a 20 odběrných míst s celkovým instalovaným výkonem 966 kW a celkovým odebíraným proudem 1468 A. Jednotlivé velikosti a typy jisticích prvků a kabelů, použité v této síti jsou uvedeny v tabulce 3.17.

Tab. 3.17: Jistící přístroje, kabely a velikosti odběrů sítě B

x	Jx	Kx	Rx
T1	JISTIČ $I_n = 800A$	3xCYKY 4x240 3m	-
T2	JISTIČ $I_n = 800A$	3xCYKY 4x240 3m	-
1	JISTIČ $I_n = 1600A$	5xCYKY 4x240 94m	-
2	JISTIČ $I_n = 1600A$	10xCYKY 4x240 87m	-
21	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 150m	40 kW
3	JISTIČ $I_n = 1600A$	10xCYKY 4x240 105m	-
31	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x150 140m	40 kW
32	PNA1gG $I_n = 160A$	CYKY 4x185 133m	80 kW
4	JISTIČ $I_n = 1600A$ $I_r = 1360A$	10xCYKY 4x240 123m	-
41	PNA1gG $I_n = 224A$	CYKY 4x240 108m	110 kW
5	JISTIČ $I_n = 1600A$ $I_r = 1360A$	8xCYKY 4x240 108m	-
51	PNA1gG $I_n = 100A$	AYKY 4x120 137m	35 kW
52	PNA1gG $I_n = 125A$	CYKY 4x120 116m	55 kW
6	JISTIČ $I_n = 1360A$	8xCYKY 4x240 116m	-
61	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 126m	45 kW
62	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 116m	45 kW
63	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 89m	45 kW
7	JISTIČ $I_n = 1250A$	8xCYKY 4x240 148m	-
71	PNA1gG $I_n = 125A$	AYKY 4x120 99m	55 kW
72	PNA1gG $I_n = 125A$	CYKY 4x120 104m	65 kW
73	PNA1gG $I_n = 200A$	CYKY 4x150 106m	75 kW
8	JISTIČ $I_n = 1125A$ $I_r = 1063A$	6xCYKY 4x240 100m	-
81	PNA1gG $I_n = 100A$	AYKY 4x95 124m	36 kW
82	PNA1gG $I_n = 100A$	AYKY 4x95 102m	36 kW
9	JISTIČ $I_n = 1000A$	6xCYKY 4x240 131m	-
91	PNA1gG $I_n = 224A$	CYKY 4x185 107m	90 kW
92	PNA1gG $I_n = 100A$	AYKY 4x70 82m	35 kW
10	JISTIČ $I_n = 1000A$	6xCYKY 4x240 97m	-
101	PNA1gG $I_n = 80A$	AYKY 4x50 91m	20 kW
102	PNA1gG $I_n = 80A$	AYKY 4x50 93m	20 kW
11	JISTIČ $I_n = 1000A$ $I_r = 900A$	6xCYKY 4x240 121m	-
111	PNA1gG $I_n = 100A$	AYKY 4x70 115m	20 kW
112	PNA1gG $I_n = 100A$	AYKY 4x70 118m	19 kW
12	JISTIČ $I_n = 1000A$ $I_r = 950A$	6xCYKY 4x240 94m	-



Obr. 3.2: Schéma zapojení sítě B

Tab. 3.18: Síť B - Běžný stav trafo úbytek

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)
T1	407	3	411,1	2,13	409,25	2,56	409,5	2,51
T2	407	3	411,1	2,13	409,25	2,56	409,5	2,51

Tab. 3.19: Síť B - Běžný stav přípojnice úbytek

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)
ST	-	-	410,9	2,16	406,14	3,30	409,3	2,55
S1	407	3,2	410,4	2,29	408,53	2,73	408,7	2,69
S2	407	3,4	409,4	2,52	407,53	2,97	407,9	2,88
S3	406	3,5	408,7	2,67	406,81	3,14	407,2	3,05
S4	405	3,7	408,2	2,81	406,27	3,27	406,9	3,12
S5	404	3,9	407,1	3,09	405,05	3,56	405,5	3,45
S6	404	3,9	407,2	3,05	405,43	3,47	406,0	3,33
S7	402	4,4	405,2	3,53	403,12	4,02	403,8	3,86
S8	404	4,0	406,7	3,17	405,01	3,57	405,5	3,45
S9	401	4,6	404,2	3,77	402,07	4,27	402,9	4,07
S10	404	4,1	406,5	3,21	404,84	3,61	405,4	3,48
S11	404	4,1	404,0	3,82	401,86	4,32	402,7	4,12

Tab. 3.20: Síť B - Běžný stav odběry úbytek

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)
R21	404	4,1	404,6	3,66	402,65	4,13	404,0	3,81
R31	404	4,1	405,1	3,55	403,07	4,03	404,2	3,77
R32	403	4,3	405	3,57	402,95	4,06	403,9	3,83
R41	402	4,5	404,9	3,60	402,82	4,09	403,9	3,84
R51	402	4,5	403,2	4,00	401,14	4,49	402,4	4,19
R52	402	4,5	403,8	3,86	401,73	4,35	402,8	4,10
R61	402	4,6	402,7	4,13	400,81	4,57	402,3	4,23
R62	402	4,5	403,1	4,04	401,18	4,48	402,5	4,16
R63	403	4,4	404,0	3,81	402,15	4,25	403,3	3,96
R71	400	5,1	400,9	4,57	398,71	5,07	400,2	4,72
R72	400	5,0	401,8	4,35	399,59	4,86	400,8	4,56
R73	400	5,1	401,9	4,31	399,71	4,83	400,9	4,54
R81	401	4,7	402,2	4,24	400,51	4,64	401,9	4,31
R82	402	4,5	403,0	4,05	401,31	4,45	402,5	4,16
R91	398	5,4	400,9	4,57	398,62	5,09	399,9	4,78
R92	399	5,2	400,4	4,68	398,20	5,19	399,7	4,83
R101	402	4,5	403,2	4,02	401,44	4,42	402,7	4,13
R102	402	4,5	403,1	4,03	401,35	4,44	402,6	4,14
R111	400	5,1	400,9	4,55	398,75	5,06	400,2	4,71
R112	400	5,1	401,0	4,53	398,83	5,04	400,3	4,70

Tab. 3.21: Síť B - Běžný stav traťa zkrat

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)
T1	14,1	31	30,7	77,2	-	-	-	-
T2	14,1	31	30,7	77,2	-	-	-	-

Tab. 3.22: Sít B - Běžný stav přípojnice zkraty

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)
ST	28,3	62,1	30,7	77,2	30,7	-	29,9	-
S1	27,7	59,9	30,0	74,5	29,5	-	29,1	-
S2	25,2	51,8	27,5	64,7	26,9	-	26,9	-
S3	24,8	50,4	27,0	62,9	26,4	-	26,4	-
S4	22,4	43,4	24,5	54,5	23,9	-	24,1	-
S5	21,8	41,8	23,8	52,4	23,3	-	23,5	-
S6	19,7	36,5	21,6	45,9	21,7	-	21,4	-
S7	18,6	33,9	20,4	42,6	20,0	-	20,3	-
S8	17,3	30,8	19,0	38,8	19,6	-	18,9	-
S9	15,8	27,7	17,4	34,9	17,1	-	17,4	-
S10	15,4	26,8	17,0	33,8	17,5	-	17,0	-
S11	13,9	23,7	15,3	29,9	15,1	-	15,4	-

Tab. 3.23: Síť B - Běžný stav odběry zkratky

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)
R21	5,22	7,55	5,7	9,6	5,89	-	-	-
R31	5,51	7,98	7,1	11,8	7,21	-	-	-
R32	9,36	14,7	10,3	18,6	10,28	-	-	-
R41	10,9	17,9	12,0	22,7	11,86	-	-	-
R51	4,57	6,6	6,0	10,0	6,12	-	-	-
R52	8,19	12,2	9,0	15,5	9,06	-	-	-
R61	5,64	8,19	6,2	10,4	6,39	-	-	-
R62	6,00	8,71	6,6	11,0	6,81	-	-	-
R63	7,28	10,6	8,0	13,4	8,23	-	-	-
R71	6,62	9,64	7,3	12,2	7,41	-	-	-
R72	8,18	12,3	9,0	15,6	9,04	-	-	-
R73	8,78	13,5	9,7	17,1	9,65	-	-	-
R81	4,69	6,78	5,1	8,6	5,37	-	-	-
R82	5,45	7,89	6,0	10,0	6,24	-	-	-
R91	8,48	13,3	9,4	16,9	9,33	-	-	-
R92	5,08	7,33	5,6	9,3	5,72	-	-	-
R101	3,61	5,21	4,0	6,6	4,14	-	-	-
R102	3,54	5,11	3,9	6,5	4,06	-	-	-
R111	3,77	5,44	4,1	6,9	4,26	-	-	-
R112	3,69	5,33	4,1	6,7	4,18	-	-	-

Tab. 3.24: Síť B - Napájení přes S2 trafo úbytek

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)
T1	407	3	411,1	2,13	409,25	2,56	409,2	2,58
T2	407	3	411,1	2,13	409,25	2,56	409,2	2,58

Tab. 3.25: Síť B - Napájení přes S2 přípojnice úbytek

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)
ST	-	-	410,9	2,16	409,08	2,60	409,0	2,62
S1	407	3,2	410,4	2,29	408,53	2,73	408,5	2,74
S2	405	3,7	408,1	2,85	406,52	3,21	406,4	3,24
S3	-	-	386,4	8,02	385,01	8,33	387,2	7,81
S4	402	4,5	404,9	3,60	402,78	4,10	403,6	3,90
S5	-	-	386,8	7,91	385,48	8,22	387,6	7,71
S6	398	5,4	401,6	4,39	400,05	4,75	400,7	4,60
S7	-	-	387,9	7,66	386,61	7,95	388,5	7,50
S8	395	6,2	398,5	5,14	397,61	5,33	398,0	5,24
S9	-	-	390,3	7,08	389,13	7,35	390,7	6,98
S10	392	7,0	395,7	5,79	394,76	6,01	395,6	5,81
S11	389	7,6	393,3	6,37	392,20	6,62	393,3	6,36

Tab. 3.26: Síť B - Napájení přes S2 odběry úbytek

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)
R21	402	4,4	403,3	3,99	401,23	4,47	402,5	4,16
R31	-	-	382,7	8,89	381,36	9,20	384,2	8,52
R32	-	-	382,7	8,90	381,23	9,23	383,9	8,58
R41	399	5,4	401,6	4,39	399,34	4,92	400,7	4,60
R51	-	-	383,0	8,83	381,61	9,14	384,5	8,46
R52	-	-	383,6	8,68	382,20	9,00	384,8	8,38
R61	395	6,2	397,1	5,47	395,47	5,84	397,0	5,47
R62	396	6,1	397,4	5,38	395,81	5,76	397,3	5,40
R63	396	5,9	398,4	5,15	396,82	5,52	398,1	5,21
R71	-	-	383,5	8,70	382,20	9,00	384,9	8,35
R72	-	-	384,5	8,48	383,08	8,79	385,6	8,20
R73	-	-	384,6	8,44	383,21	8,76	385,7	8,18
R81	392	7,0	394,0	6,20	393,08	6,41	394,4	6,10
R82	393	6,8	394,8	6,01	393,88	6,22	395,0	5,95
R91	-	-	387,0	7,87	385,69	8,17	387,7	7,68
R92	-	-	386,5	7,99	385,22	8,28	387,5	7,73
R101	390	7,5	392,4	6,59	391,36	6,82	392,9	6,45
R102	390	7,5	392,3	6,61	391,27	6,84	392,8	6,46
R111	-	-	390,2	7,11	389,09	7,36	390,8	6,95
R112	-	-	390,3	7,09	389,17	7,34	390,9	6,94

Tab. 3.27: Síť B - Napájení přes S2 trafo zkratky

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)
T1	14,1	31	30,7	77,2	-	-	-	-
T2	-	-	30,7	77,2	-	-	-	-

Tab. 3.28: Síť B - Napájení přes S2 přípojnice zkraty

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)
ST	28,3	62,1	30,7	77,2	30,7	-	29,9	-
S1	-	-	30,0	74,5	29,5	-	29,1	-
S2	25,2	51,8	27,5	64,7	26,9	-	26,9	-
S3	-	-	10,5	19,7	10,7	-	10,6	-
S4	22,4	43,3	24,5	54,5	23,9	-	24,1	-
S5	-	-	11,2	21,0	11,4	-	11,3	-
S6	19,7	36,5	21,6	45,9	21,7	-	21,4	-
S7	-	-	12,2	23,1	12,5	-	12,3	-
S8	17,3	30,8	19,0	38,8	19,6	-	18,9	-
S9	-	-	13,7	26,3	14,0	-	13,7	-
S10	15,4	26,8	17,0	33,8	17,5	-	17,0	-
S11	13,9	23,7	15,3	30,0	15,8	-	15,3	-

Tab. 3.29: Síť B - Napájení přes S2 odběry zkrat

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)
R21	5,22	7,55	5,7	9,6	5,89	-	-	-
R31	-	-	5,0	8,4	5,10	-	-	-
R32	-	-	6,4	11,2	6,45	-	-	-
R41	10,9	17,9	12,0	22,7	11,86	-	-	-
R51	-	-	4,6	7,8	4,79	-	-	-
R52	-	-	6,2	10,7	6,36	-	-	-
R61	5,64	8,19	6,2	10,4	6,39	-	-	-
R62	6,77	8,71	6,6	11,0	6,81	-	-	-
R63	7,28	10,6	8,0	13,4	8,23	-	-	-
R71	-	-	5,8	9,8	6,03	-	-	-
R72	-	-	6,9	11,9	7,03	-	-	-
R73	-	-	7,3	12,8	7,40	-	-	-
R81	4,69	6,78	5,1	8,6	5,37	-	-	-
R82	5,45	7,89	6,0	10,0	6,24	-	-	-
R91	-	-	8,1	14,6	8,28	-	-	-
R92	-	-	5,1	8,5	5,33	-	-	-
R101	3,61	5,21	4,0	6,6	4,14	-	-	-
R102	3,54	5,11	3,9	6,5	4,06	-	-	-
R111	-	-	4,1	6,9	4,32	-	-	-
R112	-	-	4,1	6,7	4,23	-	-	-

Tab. 3.30: Síť B - Napájení přes S3 trafo úbytek

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)
T1	407	3	411,1	2,13	409,25	2,56	409,3	2,56
T2	407	3	411,1	2,13	409,25	2,56	409,3	2,56

Tab. 3.31: Síť B - Napájení přes S3 přípojnice úbytek

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)
ST	-	-	410,9	2,16	409,08	2,60	409,1	2,60
S1	407	3,2	410,0	2,29	408,53	2,73	408,6	2,71
S2	-	-	389,3	7,31	387,07	7,84	389,3	7,31
S3	405	3,8	407,6	2,96	405,59	3,43	406,0	3,33
S4	-	-	389,5	7,28	387,24	7,80	389,5	7,26
S5	401	4,6	404,4	3,72	402,28	4,22	403,3	3,98
S6	-	-	390,1	7,14	387,70	7,69	390,0	7,14
S7	397	5,7	400,5	4,65	398,24	5,18	399,9	4,79
S8	-	-	391,4	6,83	388,75	7,44	391,3	6,83
S9	394	6,6	397,1	5,45	394,72	6,02	396,8	5,52
S10	389	7,7	393,0	6,44	390,39	7,05	392,8	6,48
S11	391	7,2	394,7	6,03	392,20	6,62	394,5	6,07

Tab. 3.32: Síť B - Napájení přes S3 odběry úbytek

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)	$U$ (V)	$\Delta U$ (%)
R21	-	-	384,5	8,46	382,20	9,00	385,4	8,24
R31	402	4,4	403,9	3,83	401,90	4,31	402,4	4,20
R32	401	4,6	403,9	3,85	401,77	4,34	402,8	4,10
R41	-	-	386,2	8,06	383,84	8,61	386,5	7,98
R51	399	5,3	400,6	4,63	398,37	5,15	399,4	4,91
R52	399	5,3	401,2	4,49	398,96	5,01	400,5	4,65
R61	-	-	385,5	8,22	383,12	8,78	386,3	8,02
R62	-	-	385,9	8,13	383,50	8,69	386,6	7,95
R63	-	-	386,9	7,90	384,47	8,46	387,4	7,76
R71	394	6,4	396,2	5,68	393,83	6,23	396,2	5,66
R72	395	6,4	397,1	5,46	394,72	6,02	396,9	5,50
R73	394	6,4	397,2	5,43	394,84	5,99	397,0	5,48
R81	-	-	386,9	7,89	384,22	8,52	387,7	7,70
R82	-	-	387,7	7,70	385,01	8,33	388,3	7,54
R91	391	7,4	393,8	6,25	391,27	6,84	393,8	6,23
R92	391	7,2	393,3	6,37	390,81	6,95	393,6	6,28
R101	-	-	389,6	7,25	386,99	7,86	390,1	7,11
R102	-	-	389,5	7,27	386,90	7,88	390,1	7,13
R111	389	7,7	391,6	6,77	389,09	7,36	392,1	6,65
R112	389	7,7	391,7	6,75	389,13	7,35	392,1	6,64

Tab. 3.33: Síť B - Napájení přes S3 trafo zkratky

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I''_k$ (kA)	$i_p$ (kA)
T1	14,4	30,8	30,7	77,2	-	-	-	-
T2	-	-	30,7	77,2	-	-	-	-

Tab. 3.34: Síť B - Napájení přes S3 přípojnice zkraty

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)
ST	28,7	61,6	30,7	77,2	30,7	-	29,9	-
S1	28,1	59,4	30,0	74,5	29,5	-	29,1	-
S2	-	-	10,5	19,5	10,6	-	10,6	-
S3	25,1	50,0	27,0	62,9	26,4	-	26,4	-
S4	-	-	11,0	20,7	11,2	-	11,1	-
S5	22,0	41,6	23,8	52,4	23,3	-	23,5	-
S6	-	-	11,8	22,3	11,9	-	11,9	-
S7	18,7	33,7	20,4	42,6	20,0	-	20,3	-
S8	-	-	12,8	24,4	12,6	-	12,8	-
S9	15,9	27,6	17,4	34,9	17,1	-	17,4	-
S10	-	-	14,0	26,9	13,8	-	14,0	-
S11	13,9	23,6	15,3	29,9	15,1	-	15,4	-

Tab. 3.35: Síť B - Napájení přes S3 odběry zkrat

	Sichr		Pavouk		Simaris		DOC	
	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)
R21	-	-	4,3	7,1	4,40	-	-	-
R31	6,42	9,35	7,1	11,8	7,21	-	-	-
R32	9,37	14,6	10,3	18,6	10,28	-	-	-
R41	-	-	7,4	13,5	7,52	-	-	-
R51	5,43	7,87	6,0	10,0	6,12	-	-	-
R52	8,19	12,2	9,0	15,5	9,06	-	-	-
R61	-	-	5,0	8,4	5,12	-	-	-
R62	-	-	5,3	8,8	5,38	-	-	-
R63	-	-	6,1	10,3	6,22	-	-	-
R71	6,61	9,62	7,3	12,2	7,41	-	-	-
R72	8,18	12,3	9,0	15,6	9,04	-	-	-
R73	8,79	13,5	9,7	17,1	9,65	-	-	-
R81	-	-	4,6	7,6	4,66	-	-	-
R82	-	-	5,2	8,7	5,30	-	-	-
R91	8,49	13,3	9,4	16,9	9,32	-	-	-
R92	5,07	7,32	5,6	9,3	5,72	-	-	-
R101	-	-	3,8	6,3	3,90	-	-	-
R102	-	-	3,7	6,2	3,84	-	-	-
R111	3,77	5,44	4,1	6,9	4,26	-	-	-
R112	3,69	5,33	4,1	6,7	4,18	-	-	-

### 3.3 Rozdíly jednotlivých SW

Sichr dovoluje maximálně práci s dvěma transformátory, na rozdíl od ostatních programů, které umožňují práci s neomezeným počtem transformátorů. Nastavování provozních stavů není možné pouze v programu Sichr, proto byla potřeba pro každý provozní stav vytvořit vlatní výkres, což je velmi zdlouhavé. Dále v něm nelze kopírovat celé větve schématu, ale lze pouze klonovat předchozí větev na přípojnici. Také je omezen 25 řádky, do kterých lze vkládat kabely, jističí a spínací přístroje a další prvky schématu. Proto v síti B při kreslení provozních stavů napájení přes S2 a napájení přes S3, nebylo možné nakreslit celou síť, ale pouze její část, proto velká část kabelů a odběrných míst není dimenzována a nelze ani porovnávat.

Nejlépe zpracovaným SW je Simaris, který běží plynule a současně provádí veškeré výpočty. Pavouk je též plynulý, pouze při výpočtu úbytků napětí, zkratových proudů a dalších veličin SW neumožní další práci, ale je potřeba počkat do konce jeho výpočtu. SW DOC při každém přiblížení, či oddálení výkresu vykresluje danou síť, což zpomaluje práci v jeho prostředí a při výpočtech a dimenzování taktéž neumožňuje práci s programem. Program Sichr je nejpomalejší, jelikož při každém vložení nebo úpravě prvku schématu vždy několik vteřin přepočítává celou síť, proto při tvorbě větších sítí není výhodné tento SW používat.

### 3.4 Úbytky napětí v síti

Největší chybu tvoří výpočet úbytku napětí na transformátorech. Tento úbytek každý program vypočetl odlišný (viz tab. 3.4, 3.10, 3.18, ??, ?? a proto jsou pak i úbytky v jednotlivých bodech sítě odlišné. Největší úbytek na transformátoru vypočetl SW Sichr. Jelikož Sichr dovoluje maximálně práci s dvěma transformátory, bylo proto v síti A potřeba provést zjednodušení. Tři transformátory, které jsou v ostatních programech zadané, byly nahrazeny jedním transformátorem s trojnásobným výkonem, sekundárním proudem a ztrátami nakrátko. Tohle zjednodušení není ale lineární, proto Sichr počítá s většími úbytky napětí. Nejnižší úbytek napětí byl vypočítán v programu Pavouk, což bylo způsobeno tím, že byl vybrán transformátor přímo z databáze tohoto programu a byl určen měřením skutečných hodnot v praxi. V ostatních programech bylo potřeba stejný transformátor zadefinovat. Programy DOC a Simaris také pracují s databází jejich transformátorů, se kterou daný transformátor porovnávají a počítají skutečný úbytek napětí. V síti B se z důvodu zvýšení sekundárního napětí zvýšil i úbytek napětí na transformátoru. V tabulkách 3.6, 3.12, 3.20, 3.26, 3.32, jsou zobrazeny velikosti napětí a úbytků napětí na odběrných místech. Úbytky napětí na kabelovém vedení se v jednotlivých SW skoro neliší, maximálně v setinách procenta, jelikož byly nastavené totožné parametry. Vedení

bylo dimenzováno tak, aby maximální možný úbytek na odběrných místech byl 4 % jmenovité hodnoty napětí, jelikož dovolená tolerance napětí koncových obvodů je definována normou ČSN 33 2130 ed.3 [10], která říká, že pro světelné vývody je dovolený úbytek napětí 4 %. V síti B pak dovolený úbytek činil 9 %, jelikož z důvodu rozsáhlé sítě bylo napětí zvýšeno o 5 %, aby bylo možné jmenovitou hodnotu napětí na koncových obvodech dodržet

### **3.5 Zkratové proudy v síti**

Výpočty zkratových proudů byly v programech Pavouk, Simaris a DOC velmi podobné a lišili se pouze v desetínách kW, na rozdíl od programu Sichr, který se lišil o jednotky kW. Programy DOC a Simaris neumožňují výpočet počátečního rázového zkratového proudu a nárazového zkratového proudu u transformátorů, dále také nárazového zkratového proudu na přípojnicích a také na odběrných místech. DOC na odběrných místech neumožňuje ukázat ani počátečního rázové zkratového proudu. SW Sichr i Pavouk umožňují výpočet a zobrazení počátečního rázového zkratového proudu a nárazového zkratového proudu na všech prvcích sítě.

## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo zhodnotit dostupné výpočetní programy Sichr, DOC, Pavouk a SIMARIS design, které se používají pro návrh a výpočet parametrů elektrické sítě a přiblížit problematiku projektování distribučních sítí. Dále si také osvojit práci s danými programy a vypracovat výkresy sítí v jednotlivých programech a nakonec zhodnotit výpočty a rozdíly jednotlivých programů. V první části jsou zhodnoceny jednotlivé SW z hlediska možností použití, požadavků, dostupných funkcí, grafického rozhraní a ovladatelnosti. Tyto znalosti byly získány z manuálů a prací v daných programech. Ve druhé části byl proveden teoretický rozbor elektrických částí distribučních sítí. Tato část se věnuje popisu různých typů distribučních sítí a dále popisuje zásady spojené s dimenzováním vedení a jištění. Dále jsou uvedeny zadané sítě, jejich zapojení (viz obr. 3.1, 3.2), rozbor a dimenzování. Jističe a kabely, které byly v jednotlivých SW použity jsou uvedeny v tabulkách 3.2, 3.3, 3.17.

Druhá část práce byla věnována vypracování projektů v zadaných programech. Cílem této části bylo nadimenzováním zadaných sítí pomocí stejných kabelů, jisticích a spínacích prvků a transformátorů, aby následně mohlo být provedeno porovnání jednotlivých výpočtů. Dimenzování bylo prováděno s ohledem na hospodárnost, spolehlivost a bezpečnost osob a věcí při provozu sítě. V této části jsme sledovali jmenovité hodnoty napětí, úbytek napětí, počáteční rázový zkratový proud a nárazový zkratový proud. Úbytky napětí na kabelovém vedení byly pomocí všech programů spočítány s rozdílem setin procent. Úbytek napětí na transformátoru byl v každém programu rozdílný, lišil se v desetinách procent a představoval tak největší chybu ve výpočtu. Zkratové proudy byly v programech Pavouk, Simaris design a DOC obdobně s chybou desetin kW, ale program Sichr se lišil až v jednotkách kW. Z tohoto důvodu jsou pro tvorbu rozsáhlejších distribučních sítí nejlepší programy Pavouk, Simaris design a DOC.

# Literatura

- [1] Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy ČR za rok 2020. *Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů, z. s.* [online]. [cit. 22. 1. 2022]. Dostupné z: <http://www.spvez.cz/pages/aktuality/akt576.htm>
- [2] O EZ s.r.o. *Manuál programu Sichr* [online]. Uživatelský manuál. [cit. 4. 12. 2021]. 109 s. Dostupné z: Programu Sichr stiskem klávesy F1.
- [3] ABB. *Manuál programu DOC* [online]. Uživatelský manuál. [cit. 4. 12. 2021]. 181 s. Dostupné z: [https://library.e.abb.com/public/a7a540898e0685bdcd1257e1a0048b3ef/DOC\\_UserManual\\_EN\\_SLD.pdf](https://library.e.abb.com/public/a7a540898e0685bdcd1257e1a0048b3ef/DOC_UserManual_EN_SLD.pdf).
- [4] Eaton. *Manuál programu Pavouk* [online]. 1. vyd., verze 3.5.1. Uživatelský manuál. [cit. 4. 12. 2021]. 193 s. Dostupné z: Programu Pavouk stiskem klávesy F1.
- [5] SIEMENS. *SIMARIS design Help* [online]. Uživatelský manuál. [cit. 4. 12. 2021]. 119 s. Dostupné z: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:9b960a1fced84e1decf229f26b5c5db26182959e/help-simaris-design-9-en.pdf>.
- [6] Energetika zblízka: Distribuce elektrické energie podrobně. *Svět energie: Vzdělávací portál ČEZ* [online]. [cit. 6. 12. 2021]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/distribuce-elektriny>
- [7] ORSÁGOVÁ, J. *Elektrické stanice a vedení*. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Brno. 2015. 179 s.
- [8] SVĚDÍNEK, T. *Návrh rozšíření distribuční sítě nízkého napětí*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, 2021. 108 s. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.
- [9] FOLTÝN, P. *Řešení elektrizace nové lokality elektrickou energií*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 67 s. Vedoucí diplomové práce Ing. David Topolánek.
- [10] ČSN 33 2130 ed.3. *Elektrické instalace nízkého napětí – Vnitřní elektrické rozvody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 44 s.
- [11] ČSN 33 2000-4-43 ed.2. *Elektrické instalace nízkého napětí – Část 4-43: Bezpečnost – Ochrana před nadproudy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 32 s.

- [12] KŘÍŽ, Michal. *Zkratové proudy, základní veličiny, jejich výklad. Požadavky na ochranu před zkratovými proudy. Příklady výpočtu*. IN-EL [online]. 30. 1. 2013 [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: <https://www.in-el.cz/referat/103020/zkratove-proudy-zakladni-veliciny-jejich-vyklad-pozadavky-na-ochranu-pred-zkratovymi-proudy-priklady-vypoctu#3.1>
- [13] Laná, a.s. *Katalog lanových vodičů* [online]. [cit. 27.12.2021]. Dostupné z: [http://vbconsulting.cz/lana/wp-content/uploads/Lana\\_Katalog\\_2016.pdf](http://vbconsulting.cz/lana/wp-content/uploads/Lana_Katalog_2016.pdf).
- [14] allkabel s.r.o. *1-AYKY. Silový kabel s PVC izolací a hliníkovými vodiči 0,6/1kV* [online]. [cit. 28.12.2021]. Dostupné z: <http://www.allkabel.eu/silove-kabely-ayky/>.
- [15] OEZ s.r.o. *Sichr 21.02* [software]. Duben 2021 [cit. 23.11.2021]. Dostupné z: <https://www.oez.cz/sluzby/vypoctovy-program-sichr>.
- [16] ABB. *DOC 3.7.25.0000* [software]. 10.6.2021 [cit. 4.12.2021]. Dostupné z: <https://new.abb.com/low-voltage/support/software/download>.
- [17] Eaton. *Pavouk 3.5.1* [software]. [cit. 4.12.2021]. Dostupné z: <http://www.eatonelektrotechnika.cz/pavouk-verze-3.html>.
- [18] SIEMENS. *SIMARIS design 10.2.0* [software]. 25.11.2021 [cit. 4.12.2021]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/medium-voltage/simaris.html>.

## Seznam symbolů a zkratek

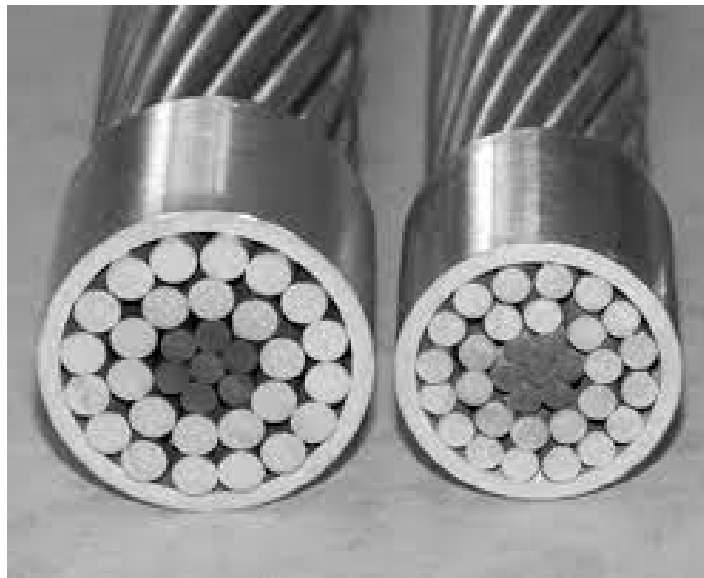
SW	software
nn	nízké napětí
vn	vysoké napětí
vvn	velmi vysoké napětí
T	transformátor
J	jistící přístroj
K	kabelové vedení
S	přípojnice (sběrnice)
R	odběrné místo (rozdávěč)
PEN	vodič sdružující funkce ochranného a středního vodiče
PVC	polyvinylchlorid
ČSN	Česká technická norma
$\vartheta_{\text{dov}}$	nejvyšší dovolená provozní teplota vodiče
$\vartheta_z$	provozní teplota vodiče
$F_m$	síla působící na vodič při zkratu
$S_{\text{min}}$	minimální průřez jádra vodiče
$\vartheta_k$	dovolená teplota vodiče při zkratu
$t_k$	doba působení zkratu
$I_B$	proud tekoucí vedením
$I_N$	jmenovitý proud jistícího prvku
$I_Z$	dovolené proudové zatížení vedení
$I_Z$	počáteční rázový zkratový proud pro třífázový zkrat
$i_p$	nárazový zkratový proud pro třífázový zkrat

# Seznam příloh

<b>A</b>	<b>Řez lanem a kabelem</b>	<b>59</b>
<b>B</b>	<b>Vypracované zadání v programu Sichr</b>	<b>60</b>
B.1	Sít A	60
B.1.1	Běžný provoz, část 1/2	60
B.1.2	Běžný provoz, část 2/2	60
B.1.3	Napájení při výpadku T4	60
B.2	Sít B	60
B.2.1	Běžný provoz	60
B.2.2	Napájení přes S2	60
B.2.3	Napájení přes S3	60
<b>C</b>	<b>Vypracované zadání v programu Pavouk</b>	<b>61</b>
C.1	Sít A	61
C.2	Sít B	61
<b>D</b>	<b>Vypracované zadání v programu Simaris design</b>	<b>62</b>
D.1	Sít A	62
D.2	Sít B	62
<b>E</b>	<b>Vypracované zadání v programu DOC</b>	<b>63</b>
E.1	Sít A	63
E.2	Sít B	63
<b>F</b>	<b>CD</b>	<b>64</b>
F.1	Bakalářská práce	64
F.2	Vypracované zadání v programu Sichr	64
F.2.1	Sít A	64
F.2.2	Sít B	64
F.3	Vypracované zadání v programu Pavouk	64
F.3.1	Sít A	64
F.3.2	Sít B	64
F.4	Vypracované zadání v programu Simaris design	64
F.4.1	Sít A	64
F.4.2	Sít B	64
F.4.3	Sít A	64
F.4.4	Sít B	64

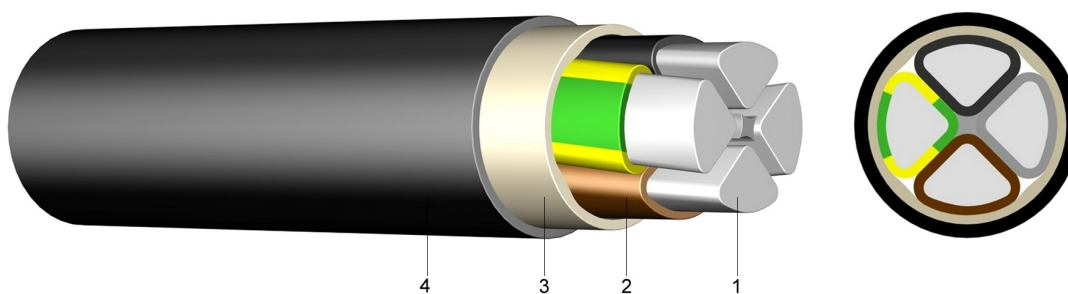
## A Řez lanem a kabelem

### Řez AlFe lanem



Obr. A.1: Řez AlFe lanem, převzato z [13]

### Řez kabelem AYKY



Obr. A.2: Řez kabelem AYKY, převzato z [14]

#### Konstrukce [14]:

1. Hliníkový vodič, plný (RE), laněný (RM,SM)
2. Izolace žil z polyvinylchloridu (PVC)
3. Výplň z PVC (FM) nebo ovin páskou (BD)
4. Vnější plášť z polyvinylchloridu (PVC), černý, UV stabilní

## **B Vypracované zadání v programu Sichr**

### **B.1 Síť A**

#### **B.1.1 Běžný provoz, část 1/2**

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do bakalářské práce.

#### **B.1.2 Běžný provoz, část 2/2**

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do bakalářské práce.

#### **B.1.3 Napájení při výpadku T4**

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do bakalářské práce.

### **B.2 Síť B**

#### **B.2.1 Běžný provoz**

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do bakalářské práce.

#### **B.2.2 Napájení přes S2**

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do bakalářské práce.

#### **B.2.3 Napájení přes S3**

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do bakalářské práce.

## **C Vypracované zadání v programu Pavouk**

### **C.1 Síť A**

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do bakalářské práce.

### **C.2 Síť B**

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do bakalářské práce.

## **D Vypracované zadání v programu Simaris design**

### **D.1 Síť A**

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do bakalářské práce.

### **D.2 Síť B**

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do bakalářské práce.

## **E Vypracované zadání v programu DOC**

### **E.1 Síť A**

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do bakalářské práce.

### **E.2 Síť B**

Tento výkres je vypracován na samostatném listě a volně vložen do bakalářské práce.

## **F CD**

### **F.1 Bakalářská práce**

### **F.2 Vypracované zadání v programu Sichr**

#### **F.2.1 Síť A**

Běžný provoz, část 1/2

Běžný provoz, část 2/2

Napájení při výpadku T4

#### **F.2.2 Síť B**

Běžný provoz

Napájení přes S2

Napájení přes S3

### **F.3 Vypracované zadání v programu Pavouk**

#### **F.3.1 Síť A**

#### **F.3.2 Síť B**

### **F.4 Vypracované zadání v programu Simaris design**

#### **F.4.1 Síť A**

#### **F.4.2 Síť B**

Vypracované zadání v programu DOC

#### **F.4.3 Síť A**

#### **F.4.4 Síť B**