

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Zaústění nové transformační stanice 110/22 kV Střed
v Českých Budějovicích**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Lukáš PETÝREK**
Osobní číslo: **E18N0059P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektroenergetika**
Téma práce: **Zaústění nové transformační stanice 110/22 kV Střed v Českých Budějovicích**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Zásady pro vypracování

1. Popište metody pro výpočty sítí VN a VVN pro ustálený stav chodu sítě a výpočet zkratových poměrů.
2. Analyzujte vývoj zatížení stávající transformovny Mladé 110/22 kV, včetně vlivu provozu Teplárny ČB a nových obnovitelných zdrojů.
3. Navrhněte zapojení vývodů VN nové transformovny Střed 110/22 kV s ohledem na optimální rozložení zatížení v síti VN a vyvedení výkonu Teplárny ČB.
4. Určete potřebnou zkratovou odolnost VN a VVN částí nové transformovny.
5. Zhodnoťte navržené řešení zaústění nové transformovny 110/22 kV z pohledu technického a ekonomického.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60 stran**
Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**


Seznam doporučené literatury:

1. Orságová, Jaroslava. Rozvodná zařízení. VUT Brno, 2007
2. Mertlová, Jiřina; Noháčová, Lucie. Elektrické stanice a vedení. 1. vyd. V Plzni : Západočeská univerzita, 2008
3. ČSN EN 60909-0 Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – Část 0: Výpočet proudů. 2002

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **4. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**




Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan

L.S.


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

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zaměřuje na návrh nové transformovny 110/22 kV Střed v Českých Budějovicích. V práci je popsán momentální stav transformační stanice Mladé, která napájí spínací stanici Střed. Z důvodu přestavby jsou upraveny vývody 22 kV stanice Střed, které ovlivní zatížení stanic Mladé a Sever. V práci jsou navrženy varianty provozu nové transformovny 110/22 kV Střed a vypočítána zkratová odolnost navrženého výsledného řešení. Závěr práce je věnován ekonomickému zhodnocení stavby nové transformovny Střed a porovnáním s již postavenou transformovnou Brno - Opuštěná.

Klíčová slova

Distribuční soustava, spínací stanice, transformovna, rekonfigurace vývodů, zkratová odolnost, ekonomické zhodnocení.

Abstract

The thesis deals with the design of a new 110/22 kV transformer station in České Budějovice (Střed). The current state of the Mladé transformer station, feeding the switching station Střed, is also described. The reconstruction of the 22 kV Střed station will result in feeder reconfiguration and changes in the loading of the Mladé and Sever stations. The work proposes variants of operation of the new 110/22 kV transformer station Střed. Short-circuit currents after feeder reconfiguration are calculated and short-circuit strength is assessed. Finally, the economic evaluation of the construction of the new transformer station Střed and a comparison with the already built transformer station Brno - Opuštěná is made.

Key words

Distribution system, switching station, transformer station, feeder reconfiguration, short-circuit strength, economic evaluation.

Prohlášení

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

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

.....

podpis

V Plzni dne 11.6.2020

Bc. Lukáš Petýrek

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych rád poděkoval konzultantovi diplomové práce Ing. Jiřímu Čeledovi ze společnosti E.ON za profesionální rady, konzultace a dostupné materiály. Následně bych také rád poděkoval Ing. Petru Hochovi ze společnosti E.ON za rady a návody v programu Daisy Bizon. Nakonec bych chtěl poděkovat rodině a kamarádům, kteří mě ve studiu podporovali.

Obsah

ÚVOD	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	11
1 INFRASTRUKTURA SÍTĚ	13
1.1 DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA	13
1.2 SÍŤ VYSOKÉHO NAPĚTÍ	14
1.2.1 Městské síť.....	14
1.2.2 Venkovní síť.....	16
1.2.3 Síť vysokého napětí 22 kV v Českých Budějovicích.....	17
1.3 SÍŤ VELMI VYSOKÉHO NAPĚTÍ 110 kV V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH	19
1.4 PROVEDENÍ STANIC	20
1.4.1 Vzduchem izolované systémy (AIS).....	21
1.4.2 Hybridní systémy (HIS)	21
1.4.3 Rozvodny izolované plynem (GIS).....	21
2 METODY PRO VÝPOČET VN A VVN SÍTÍ PRO USTÁLENÝ STAV CHODU SÍTĚ.....	23
2.1 USTÁLENÝ CHOD SÍTĚ	23
2.1.1 Odvození admitanční matice.....	24
2.2 VÝPOČET USTÁLENÉHO CHODU - NELINEÁRNÍ ŘEŠENÍ.....	24
2.2.1 Gauss–Seidelova iterační metoda.....	24
2.2.2 Newton-Raphsonova iterační metoda.....	26
2.3 ZKRATOVÉ PROUDY	28
2.3.1 Metoda superpozice.....	28
2.3.2 Metoda ekvivalentního napěťového zdroje	29
3 ZÁKLADNÍ INFORMACE O SPÍNACÍ STANICI STŘED	30
3.1 SOUČASNÝ STAV SPÍNACÍ STANICE.....	31
3.2 VLASTNÍ SPOTŘEBA SPÍNACÍ STANICE	33
3.3 OCHRANY VYUŽÍVAJÍCÍ SPÍNACÍ STANICE.....	34
3.4 TRASA NOVÉHO VVN KABELU K TR STŘED.....	35
3.5 DOSTAVBA STRANY 110 kV TRANSFORMOVNY 110/22 kV STŘED	36
4 ANALÝZA TRANSFORMOVNY 110/22 kV MLADÉ ČB.....	37
4.1 STÁVAJÍCÍ STAV A ZMĚNY V OBLASTI TR MLADÉ V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH.....	38
4.2 ANALÝZA ZATÍŽENÍ TR MLADÉ	39
4.3 VÝVOJ ZATÍŽENÍ NA SPÍNACÍ STANICI STŘED.....	47
5 SIMULACE VÝKONOVÝCH POMĚRŮ NA VÝVODECH V OBLASTI STANICE STŘED	49
5.1 SOUČASNÝ STAV STANICE STŘED A TR MLADÉ PRO MAXIMÁLNÍ A MINIMÁLNÍ ZATÍŽENÍ.....	50
5.2 NÁVRH ZAPOJENÍ VÝVODŮ VN NOVÉ TR 110/22 kV STŘED.....	56
5.2.1 Zatížení jednotlivých vývodů stanic Střed, Mladé, Východ a KIN	60
5.3 NÁVRH VARIANT PROVOZU TRANSFORMOVEN STŘED A MLADÉ	61
5.3.1 Provoz transformovny Střed s dvěma transformátory včetně Teplárny ČB s jedním transformátorem na rozvodně Mladé	61
5.3.2 Provoz transformovny Střed a Mladé s využitím dvou transformátorů na každé stanici - Teplárna ČB odstavena.	63
5.3.3 Provoz transformovny Střed s jedním transformátorem a transformovny Mladé s využitím dvou transformátorů včetně dodávky výkonu z Teplárny ČB.	64
5.4 POROVNÁNÍ VARIANT.....	67
6 ZKRATOVÁ ODOLNOST TRANSFORMOVNY STŘED	67

7 NÁKLADY NA VÝSTAVBU NOVÉ TRANSFORMOVNY STŘED	73
ZÁVĚR.....	75
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....	76
PŘÍLOHY	1

Úvod

V současné době dochází k nárůstu spotřeby elektřiny ve městech i na vesnicích. Každé nové SMART zařízení musí být napájeno elektřinou, a proto je nutné počítat s dlouhodobě zvětšující se spotřebou. To má za následek větší nároky na rozvoj a dimenzování rozvodných zařízení, ale i na soustavu jako celek. Dále je zde otázka elektromobility, která by mohla v budoucnosti velmi ovlivnit síť, ať už z pohledu řízení nebo z pohledu bezpečného provozu. Proto je nutné průběžně rozvíjet soustavu, modernizovat a rozšiřovat transformovny 110/22 kV a také modernizovat elektrické stanice nebo stavět nové.

V této diplomové práci řeším budoucí výstavbu nové transformovny 110/22 kV Střed v Českých Budějovicích. Dojde k doplnění neboli přístavby rozvodny 110 kV a transformátorů 110/22 kV do spínací stanice, která je aktuálně provozována na hladině 22 kV. Tato výstavba slibuje zlepšení spolehlivosti a nepřetržitosti dodávky elektrické energie především pro centrum města České Budějovice a také k odlehčení transformovny 110/22 kV Mladé, kde v minulých letech došlo k nárůstu zatížení a chyběl dodávaný výkon.

Dále se zaměřím na analýzu zatížení transformovny 110/22 kV Mladé, na kterou je připojená spínací stanice Střed, městská teplárna a další decentralizované zdroje. Následuje samotná výstavba transformovny Střed. Zde navrhnu zapojení vývodů vysokého napětí z nové transformovny s ohledem na optimální rozložení zatížení a vytipování manipulačních trafostanic pro rychlejší manipulace v městské kabelové síti a to opět s ohledem na zatížení vývodů. Pro výsledný návrh sítě vysokého napětí 22 kV analyzuji zkratovou odolnost ve vybraných místech sítě a to především v rozvodně 22 kV v nové zamýšlené transformovně Střed. Poté se zaměřím na hladinu velmi vysokého napětí 110 kV. Zde do schématu implementuji novou TR Střed a vypočítám zkratové proudy, respektive zkratové výkony v části soustavy TR Dasný - TR Lipno, ve které se nachází zmiňované rozvodny. Tento výsledek porovnam s výsledky studie z roku 2006. V poslední části se budu zabývat předběžnou kalkulací výstavby nové transformovny Střed a následným porovnáním s již postavenou zapouzdřenou transformovnou Brno - Opuštěná.

Seznam symbolů a zkratk

ES	Elektrizační soustava	
ZVN	Zvláště vysoké napětí	
VVN	Velmi vysoké napětí	
VN	Vysoké napětí	
NN	Nízké napětí	
TR	Transformační stanice	
R	Rozvodna	
ČB.....	České Budějovice	
SKO	TR Škoda ČB	
MLA	TR Mladé ČB	
SEV.....	TR Sever ČB	
ZAP.....	TR Západ ČB	
KAP	TR Kaplice	
TTE.....	R Velešín	
TTB.....	R Nemanice	
ELI.....	TR Lipno nad Vltavou	
GIS.....	Geografický informační systém	
S	Zdánlivý výkon	(MVA)
P	Činný výkon	(MW)
Q	Jalový výkon	(MVA _r)
U _f	Fázové napětí	(kV)
I.....	Proud	(A)
S	Průřez	(mm ²)
AIS.....	Air insulated substations (Vzduchem izolované stanice)	
HIS.....	Hybrid insulated substations (Hybridní systém stanic)	
GIS	Gas insulated substations (Plynem izolované stanice)	
OZ.....	Opětovné zapnutí	
\vec{I}	Sloupcový vektor proudů	
\vec{U}_f	Sloupcový vektor fázových napětí v uzlech	
\vec{A}	Uzlová admitanční matice	
ε	Přesnost výpočtu	
\vec{U}_i	Fázor sdružených napětí	

\bar{I}_i	Fázor sdružených proudů	
\bar{S}_i	Komplexní výkon	(VA)
p_{\max}	Kritérium maximálního počtu iterací	
θ_{ik}	Rozdíl fázového posunu sdruženého napětí uzlů i a k	
c	Napěťový součinitel	
I''_K	Rázový zkratový proud	(kA)
U_n	Sdružené napětí	(kV)
Z_k	Zkratová impedance	(Ω)
\bar{J}	Jacobián	
$I_{K3\text{dyn}}$	Zkratová dynamická odolnost	(kV)
$I_{K3\text{th}}$	Zkratová tepelná odolnost	(kV)
I''_{K3}	Rázový zkratový proud pro třífázový zkrat	(kA)
I''_{K1}	Rázový zkratový proud pro jednofázový zkrat	(kA)
i_p	Nárazový zkratový proud	(kA)
I_{th}	Ekvivalentní oteplovací zkratový proud	(kA)
κ	Součinitel pro určení nárazového zkratového proudu	
m	Součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky zkratového proudu	
n	Součinitel pro tepelné účinky střídavé složky zkratového proudu	

1 Infrastruktura sítě

1.1 Distribuční soustava

Jedná se o část sítě, která slouží k přivedení elektrické energie koncovým odběratelům. Distribuční soustava začíná od svorek sekundární části transformátoru 400/110 kV. Tento transformátor dělí rovinu přenosové a distribuční části ES. Přenosová soustava je v České republice vlastněná společností ČEPS a vlastní linky a transformovny 400 kV, 220 kV a některé linky 110 kV.

Distribuční sítě jsou v České republice vlastněny především nejznámějšími provozovateli a to jsou: ČEZ Distribuce, a.s., E.ON Distribuce, a.s. a PRE Distribuce, a.s. Tyto společnosti mají rozdělené působení v celé republice. ČEZ Distribuce se zaměřuje na oblasti Západočeského, Severočeského, Středočeského, Východočeského a Severomoravského kraje. E.ON Distribuci nalezneme na území bývalých společností JČE a JME. Jedná se tedy o oblast Jihočeského a Jihomoravského kraje. PRE Distribuce nalezneme již od svého názvu na území Prahy a města Roztoky u Prahy. Do distribuční soustavy patří napěťové hladiny velmi vysokého napětí (110 kV), vysokého napětí (35 kV, 22 kV, 10 kV) a nakonec sítě nízkého napětí (0,4 kV). Velmi často v distribučních sítích nalezneme připojené výrobní zdroje menších výkonů, ať už se jedná o teplárny, obnovitelné zdroje nebo malé průmyslové elektrárny.

Jak již bylo řečeno, tak do distribuční sítě patří hladiny NN, VN a VVN. Tyto hladiny mají rozdílný provoz z hlediska zapojení uzlu transformátoru sítě, které udává tabulka 1.

Tab. 1: Rozdělení hladin napětí a zapojení uzlu transformátoru.

	Velikost sdruženého napětí sítě	Způsob zapojení uzlu transformátoru
Zvláště vysoké napětí (ZVN)	400 kV	Soustava účinně uzemněná
Velmi vysoké napětí (VVN)	220 kV, 110 kV	Soustava účinně uzemněná
Vysoké napětí (VN)	35 kV, 22 kV, (10 kV)	Soustava izolovaná nebo neúčinně uzemněná
Nízké napětí (NN)	400 V	Soustava účinně uzemněná

Sítě ZVN, VVN a NN využívají uzel transformátoru účinně uzemněn. U sítí VN se využívá nejčastěji soustava neúčinně uzemněná. Tam, kde je převaha venkovního vedení, tak se využívá zhašecí tlumivka, která v případě zemního spojení vykompenzuje kapacitní proudy. Soustavu je možné provozovat do doby, než dojde k identifikaci

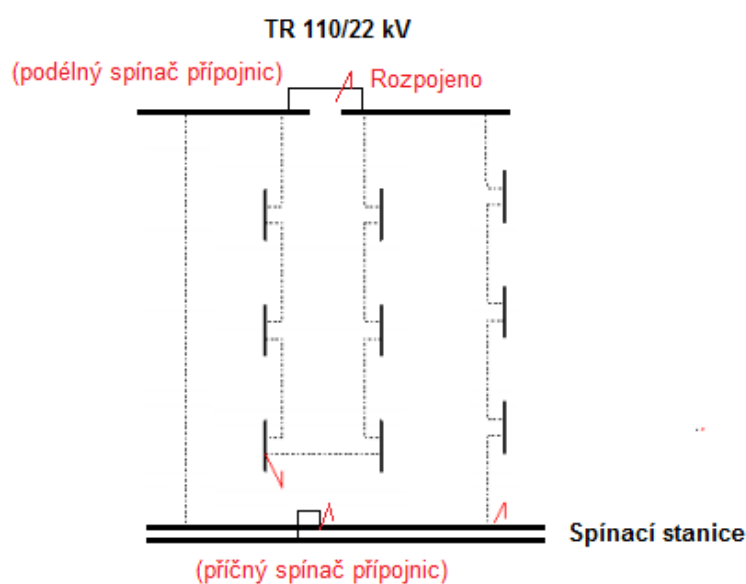
místa poruchy. V praxi se vedení vypíná a zapíná se pouze pro lokalizaci poruchy. U městských sítí, kde je převaha kabelových tras VN se používá uzemnění uzlu přes odpor, který sníží procházející proud při poruše a nedojde k dalšímu poškození kabelu.

1.2 Sítě vysokého napětí

Ať už se jedná o síť městské nebo venkovní, tak je důležité síť VN navrhovat co nejjednodušeji a nejpřehledněji s minimem redundantních propojení. Toto je důležité pro přehlednost při řízení provozu, lokalizaci poruch a úspory investičních nákladů. Dnešní trend ve městech a přilehlých zastavěných území je kabelizace. Kabelizace má za následek zvýšení spolehlivosti provozu, snížení plánovaných přerušení dodávky elektrické energie a snížení provozních nákladů.

1.2.1 Městské sítě

Jak již bylo řečeno, tak ve městech dochází ke kabelizaci. Úseky kabelových sítí můžeme rozdělit na běžnou distribuční síť, přímé páteřní kabely a ostatní případy. Běžná distribuční síť slouží k napájení distribučních a velkoodběratelských trafostanic. Páteřní kabely slouží k propojení transformovny a přilehlých spínacích stanic. Tyto sítě se využívají k rychlé obnově napájení při výpadcích. Provozovány jsou velmi často paralelně, aby dopad na zákazníky byl minimální. Sítě jsou na obou koncích vybaveny vypínačem, ochranou a dálkovým ovládáním. Je důležité, aby se na kabely nepřipojovaly běžné trafostanice, protože jsou vyhrazeny pouze na určitou funkci. Ostatními případy pro kabelizaci se rozumí napájení významných zákazníků nebo výroben.



Obr.1: Kabelové městské sítě (převzato s úpravami) [4]

Kabelové sítě vysokého napětí jsou navrhovány jako kruhové a trafostanice jsou připojovány zasmyčkováním průběžného kabelu. Napájecí okruh tedy začíná vždy odbočkou od přípojnice napájecí transformovny a končí buď na jiné přípojnici této trafostanice, ve spínací stanici, nebo na přípojnici jiné trafostanice. Každý okruh je rozpojen a napájení je provedeno jako paprskové (dva paprsky), které je možné sepnout dle potřeby. Dnes se pro návrh uvažuje maximálně 20 stanic na jeden okruh. Na obr. 1 je zobrazeno kabelové řešení sítě VN.

Používané kabely a průřezy

Průřez kabelu volíme podle dvou kritérií. Ať už se jedná o předpokládané zatížení při náhradním provozu (pro n-1). Dále o požadovanou zkratovou odolnost. Do tohoto uvažujeme napájecí transformátor 110/22 kV a všechny důležité zdroje pracující do tohoto místa na hladině 22 kV a maximální hodnotu příspěvku ze sítě 110 kV.

Společnost E.ON využívá kabel NA2XS(F)2Y, který je na obr. 2 a velikosti a průřezy jsou sepsány v tabulce č.2.



Obr.2: Kabel NA2XS(F)2Y (převzato s úpravami) [3]

Tab. 2.: Průřezy kabelu VN [2]

Hodnoty pro kabely NA2XS(F)2Y	Zatížitelnost svazku kabelu v zemi	Ekvivalentní zkratový proud
1x150/25	319 A	14,1 kA
1x240/25	417 A	22,6 kA

Ve většině podmínkách se využívá průřez 150 mm², protože vystačí jak z hlediska zkratové odolnosti (běžná hodnota rázového zkratového proudu za transformátorem 110/22 kV odpovídá 8,5 kA, takže lze říci, že vyhovuje s dostatečnou rezervou) a i z hlediska přenosových schopností. Průřez 150 mm² slouží jako sekundární napájecí kabely ve městech. Větší průřez (240 mm²) se využívá u páteřních kabelů, vývodů z transformoven. Tento průřez využijí tehdy, když výpočet ukáže, že průřez nevyhoví z hlediska zkratového nebo přenosového. Kabel s průměrem 240 mm² se také využívá

k primárnímu rozvodu elektrické energie (primární kabely). Jedná se o hlavní přívody zajišťující dodávku elektrické energie při výpadku části sítě pro možné větší zatížení. Lze se setkat ještě s kabely s olejovou izolací, které dožívají a postupně dochází k nahrazením modernějšími kabely. Životnost kabelů VN se uvádí ve společnosti E.ON 40 let, která ale není podmínkou k výměně. Důležité je brát v potaz parametry poruchovosti daného úseku. Odstavec částečně vychází ze zdroje [2].

Maximální proudové zatížení v základním stavu kabelové sítě je doporučená hodnota 300 A (při 75 % jmenovitého proudu vodičů). Maximální závazná hodnota proudového zatížení kabelu v náhradním napájení je 400 A (90 % jmenovitého proudu vodičů). Maximální závazná hodnota napětí v síti 22 kV je 24 kV. [2]

1.2.2 Venkovní sítě

Jedná se o sítě, které jsou tažené převážně nadzemními linkami (vedením). Ať už se jedná o vedení s holými vodiči, s jednoduchými izolovanými vodiči nebo se závěsnými kabely. Do těchto sítí lze zahrnout i kabely, které např. z důvodu spolehlivosti nahradily venkovní vedení. Nutné je, aby převážná část byla z nadzemního vedení a to zejména kmenové linky. Jsou provozovány paprskově, ale musí být napájeny minimálně ze dvou směrů. Standardně používáme venkovní sítě s holými vodiči. Je možné využít i izolované vodiče v místech menších vzdáleností od okolních porostů (lesy). Závěsné kabely využíváme jako provizorní řešení nebo v problémových (lesních) úsecích. Pro vývody z transformátoroven navrhujeme vedení jako dvojité, kde je možné jeden potah nechat jako rezervu pro budoucí zatížení.

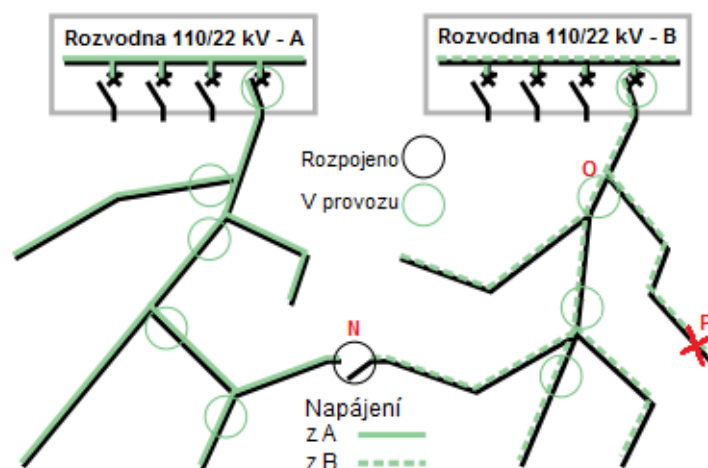
Pro maximální proudové zatížení v základním stavu venkovního vedení je doporučená hodnota 160 A (při 75 % jmenovitého proudu vodičů). Maximální závazná hodnota proudového zatížení venkovního vedení v náhradním napájení je 240 A (100 % jmenovitého proudu vodičů). Maximální závazná hodnota napětí v síti 22 kV je 24 kV. Pro napětí na konci vedení v základním stavu se bere doporučená hodnota 21 kV. Při náhradním provozu nesmí napětí klesnout pod 20,5 kV (závazná hodnota). Životnost venkovního vedení vysokého napětí uvádí společnost E.ON 45 let. Kapitola částečně vychází ze zdroje [2].

Využívané průřezy

- **Kmenové linky** - Jedná se o vedení, které začíná odbočením od přípojnice v transformovně a končí na přípojnici jiné transformovny, spínací stanice nebo jiné kmenové lince. Nalezneme zde vhodný počet úsečníků, které ji dělí na několik

částí. Dále se zde umísťují dálkově řízené úsečníky, ale o jejich poloze rozhoduje dispečink. Na kmenové linky se využívá lano 110/22 AlFe nebo 120 JIV.

- **Propojky** - Jde o úsek vedení, který začíná odbočením od kmenové linky a končí na jiné kmenové lince. Propojky jsou navrhovány dle zatížení a poruchovosti kmenových linek. V místě odbočení od kmenové linky je umístěn úsečník. Pro propojky využijeme 110/22 nebo 70/11-1 AlFe, 120 nebo 70 JIV.
- **Odbočky** - Zde se jedná o úsek odbočky od kmenové linky, který slouží pro připojení více trafostanic. Pokud je odbočka delší, tak se zde umísťuje úsečník, jinak je zde umístěn pouze výjimečně. Pro přípojky k trafostanicím se využívá 42/7 AlFe, 50 JIV. Pokud je nutné použít větší průřez dle zkratové odolnosti, tak se používá 70/11-1 AlFe či 70 JIV.



Obr. 3: Vzhled venkovní sítě vysokého napětí (převzato s úpravami) [5]

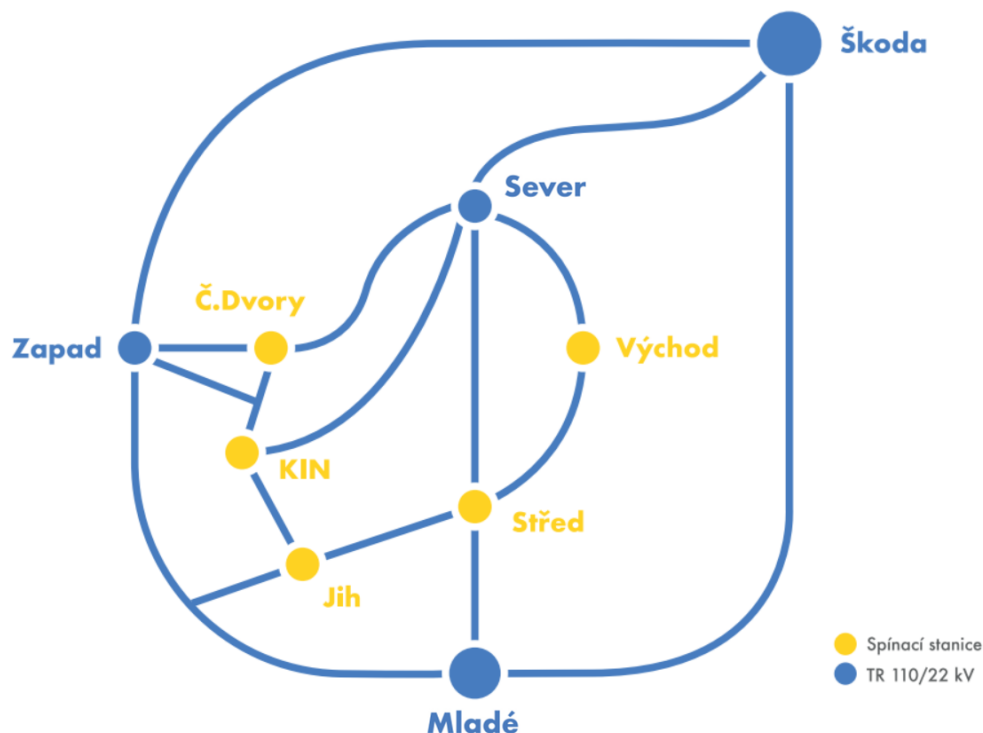
Na obr. 3 je zobrazeno řešení sítě vysokého napětí mezi dvěma rozvodnami. V případě poruchy, která se nachází v bodě P, je síť na tento stav připravena. Dojde k rozpojení v bodě O a připojení úsekovým odpojovačem N k síti z rozvodny A. Tímto spínacím pochodem se obnoví napájení v úseku bez poruchy.

1.2.3 Síť vysokého napětí 22 kV v Českých Budějovicích

Hladina vysokého napětí je rozvedena přes celé město České Budějovice, což odpovídá katastrálnímu území 55,56 km². Na celé město je k dispozici pět transformoven vysokého napětí 110/22 kV. Je jasné, že pouze pětice transformoven nebude stačit k rozdělení výkonu na celé město, proto je zde ještě další pětice spínacích stanic.

Jedna z nejdůležitějších rozveden v Českých Budějovicích je TR Škoda s transformací 110/22 kV. Jak již bylo řečeno, jedná se o místo v síti, kde se setkává velký a malý okruh napájení. Jinak TR Škoda vznikla už od svého názvu pro společnost Škoda,

kteřá ji využívá k napájení slévárny. Další důležitá rozvodna je TR Sever. Jedná se také o rozvodnu 110/22 kV, která slouží pro napájení severní části Českých Budějovic a pro Borek, který je nedaleko Českých Budějovic. Následuje rozvodna Mladé. Jde o klasickou rozvodnu 110/22 kV typu H. Do této rozvodny je vyveden výkon teplárny. Tato rozvodna slouží k napájení jižní části města a jihozápadní přilehlé oblasti. Následuje rozvodna Západ. Slouží pro napájení západní části města. Jako poslední je rozvodna Nemanice. Jedná se o stanici, sloužící k napájení vlakové dopravy.



Obr.4: Zobrazení elektrických stanic v Českých Budějovicích

Z těchto transformátoroven je přiveden výkon do následujících spínacích stanic. Velmi časté u spínacích stanic je, že přivádí výkon do výrobních závodů nebo je na ně přiveden zdroj elektrické energie s přívodem do distribuční sítě. Spínací stanice Východ napájí smaltovnu a mlékárnu. Další spínací stanice je Čtyři Dvory. Tato stanice byla postavena z důvodu výstavby velkého množství panelových domů. Spínací stanice K.I.N. je důležitá z pohledu rozvodu elektrické energie a hlavně také z důvodu přívodu elektrické energie do společnosti KOH-I-NOOR HARDTMUTH. Předposlední stanice v Českých Budějovicích je spínací stanice Jih. Poslední stanice je Střed, kterou se zabývá tato diplomová práce.

Všechny sítě vysokého napětí 22 kV v Českých Budějovicích jsou zapojeny jako sítě okružní, ale smyčky jsou rozpojené a pracují jako paprskové. K tomuto zapojení velmi dopomáhají zmíněné spínací stanice, které jsou napájeny z více rozveden. Při poruše nebo

odstávce dané části sítě tímto nedojde k výpadku elektrické energie. Příloha č.1 ukazuje detail části sítě vysokého napětí v Českých Budějovicích. Příklad ukáží na spínací stanici Střed a rozvodně Mladé. Napájení je vedeno z transformátorovny Mladé pomocí vývodu S1, S2, S3 nebo S4, který napájí část sítě a spínací stanici Střed (azurová barva). Ze spínací stanice vychází vývod Tesla, který napájí část průmyslové sítě. V místě Centrum Křižíkova se tyto dvě části setkávají a v případě potřeby je lze propojit (zkruhovat) a docílit okružní sítě. Může se jednat o mimořádné situace nebo revize na stanici.

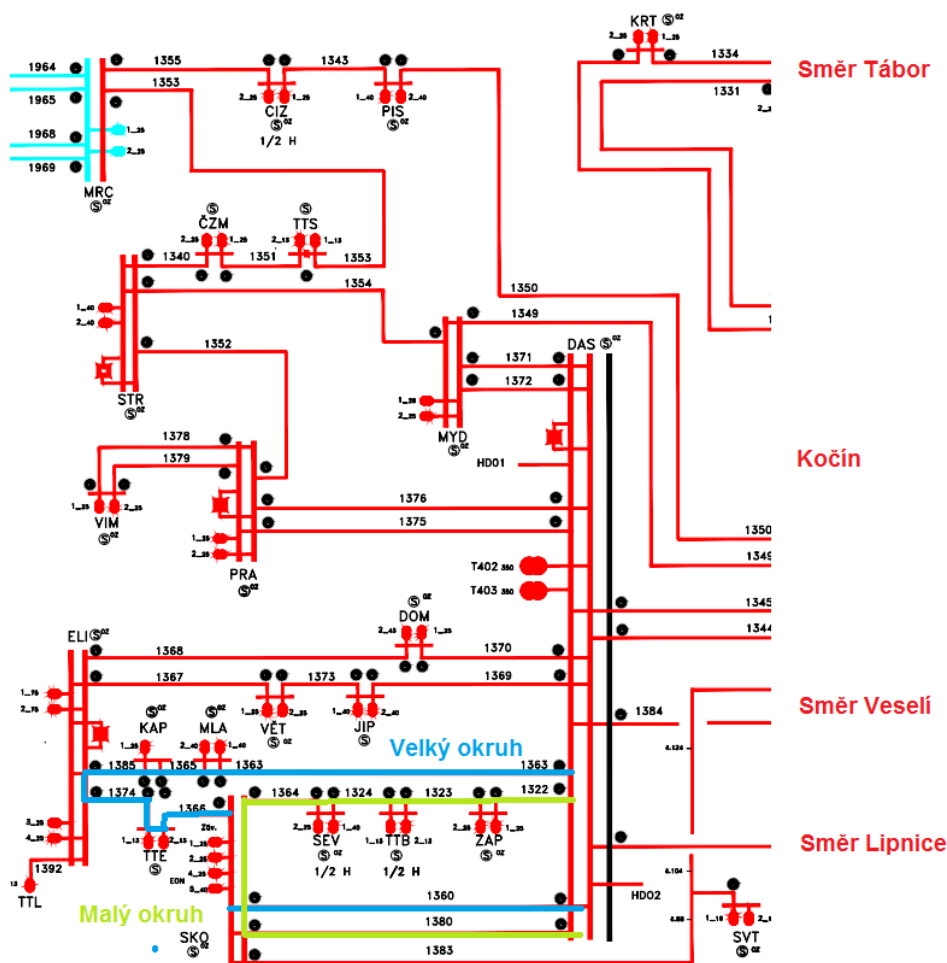
1.3 Sítě velmi vysokého napětí 110 kV v Českých Budějovicích

Město České Budějovice leží v Jihočeském kraji. Jedná se o město s přibližně 94 000 obyvateli a velkým množstvím průmyslových firem, proto je nutné mít správné umístěné napájení. Páteřní místo pro napájení leží vedle Českých Budějovic a tím je rozvodna Dasný. Jedná se o rozvodnu 400/110 kV, kde strana 400 kV je vlastněná společností ČEPS a strana 110 kV vlastní E.ON. Dělicí část jsou svorky klesaček na průchodkách transformátoru na straně 110 kV.

Celé město je připojeno pomocí 4 linek, které propojují elektrárny a elektrické stanice. Napájení těchto linek je vyvedené z rozvodny Dasný na napěťové hladině 110 kV. Z TR Dasný je vytvořen malý a velký okruh pro napájení celého města. Velký okruh začíná a končí na rozvodně Dasný. Okruh je veden směrem na jih přes transformovnu Mladé a Kaplici až k vodní elektrárně Lipno. Z Lipna se vrací přes stanici Velešín a pokračuje přes rozvodnu 110/22 kV Škoda v Českých Budějovicích. Od TR Škoda je vedení přivedeno zpět na rozvodnu Dasný.

Malý okruh začíná opět z TR 400/110 kV Dasný a pokračuje do rozvodny Západ. Malý okruh následně prochází přes rozvodnu Nemanice. Z rozvodny Nemanice vedení pokračuje do TR Sever a odtud je přivedeno do transformovny Škoda. Z této transformovny se opět vrací do TR Dasný. Rozvodna Nemanice a Velešín neslouží k dalšímu rozvodu elektrické energie, ale využívá se jako napájení pro elektrické dráhy. Pomocí tohoto zapojení vzniká v Českých Budějovicích okružní síť 110 kV a celá síť poblíž Českých Budějovic je zálohovaná ze dvou stran. Je patrné, že velmi důležité místo je rozvodna Škoda, kde se setkávají oba okruhy.

Na obr. 5 je patrné schéma velkého a malého okruhu napájení. Pro vysvětlení: SKO - TR Škoda ČB, TTE - R22 Velešín, MLA - TR Mladé ČB, KAP - TR Kaplice, ELI - TR Lipno, SEV - TR Sever ČB, TTB - R22 Nemanice, ZAP - TR Západ ČB.



Obr. 5: Část sítě 110 kV E.ON

1.4 Provedení stanic

Elektrické stanice je nejprve nutné rozdělit dle jejich účelu na:

Transformovny - jedná se o místo v síti, kde dochází k transformaci elektrického napětí na jinou napěťovou hladinu a následně k rozčlenění vývodu elektrické energie.

Měničny - zajišťují přeměnu střídavého napětí na stejnosměrné nebo naopak a dále rozdělují stejnosměrnou energii.

Spínací stanice - významné místo v síti napájené z více směrů, které slouží k rozvětvení elektrické energie.

V základu lze rozvodny rozdělit z hlediska využívaného izolačního média:

1. Vzduchem izolované (AIS)
2. Hybridní systém (HIS)
3. Izolované plynem (GIS)

Základní rozdělení dle provedení rozvoden záleží na důležitých parametrech, které ovlivňují celkový výběr provedení. Ať se jedná o prostorovou náročnost, druh izolačního média nebo celkových nákladů na stavbu.

1.4.1 Vzduchem izolované systémy (AIS)

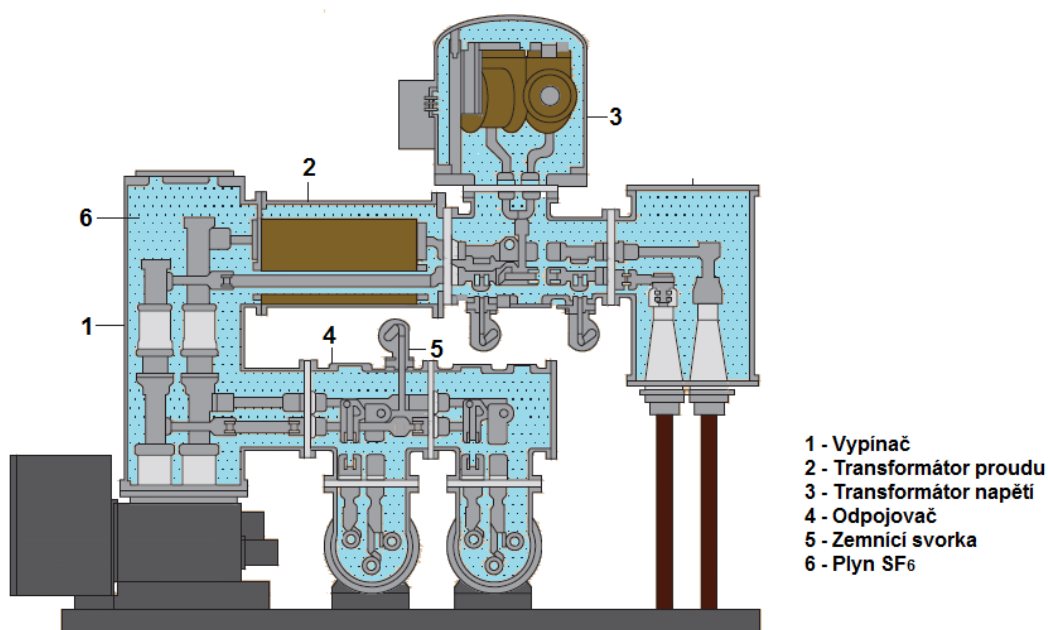
Vzduchem izolované rozvodny jsou nejčastěji využívané u rozvoden vvn a zvn. Tyto rozvodny jsou velmi náročné na prostor, proto se staví v místech, kde je cena pozemků co nejmenší. Tato varianta je z pohledu ekonomického nejlepší a využívaná technologie je nejjednodušší. Umisťují se v blízkosti měst a obcí. U těchto rozvoden je izolace vůči zemi a mezi fázemi provedena vzduchem o atmosférickém tlaku.

1.4.2 Hybridní systémy (HIS)

Hybridní systémy (HIS) kombinují AIS komponenty s GIS. Jedná se o rozvodny, kde přípojnice jsou izolované vzduchem a plynem izolované (SF_6) jsou silová zařízení. Tento typ rozvoden spojuje výhody vzduchem izolovaných rozvoden a plynem izolovaných rozvoden. Staví se v místech, kde pozemky jsou drahé, tj. ve městech. Rozvodna má vyšší spolehlivost než klasické rozvodny. Jejich cena je větší, ale vlivem úspory místa při pořízení pozemků dojde v některých případech k vyrovnání nákladů.

1.4.3 Rozvodny izolované plynem (GIS)

Jedná se o plně zapouzdřené rozvodny, kde jsou jak přípojnice, tak i silová zařízení zapouzdřené v plynu SF_6 . Tyto rozvodny mají velmi malé požadavky na prostor, proto je lze umístit i do budovy. Tento typ rozvodny se využije při přestavbě rozvodny Střed v Českých Budějovicích. Mezi jejich přednosti patří velká provozní bezpečnost, spolehlivost, dlouhá životnost (dle výrobců až dvojnásobná oproti klasickému provedení), bezpečná ochrana proti dotyku, jednoduchá kontrola plynu, nenáročná obsluha, jednoduchá a rychlá montáž, protože dochází pouze k seskládání dílů. Každý díl je samostatný a zvlášť naplněný plynem SF_6 , proto lze vytvořit různé variace dle přání zákazníka. Přístroje odboček a propojení bývají zapouzdřeny jednopólově a přípojnice buď třípólově, nebo jednopólově. Vypínač je řešen se zhášecím plynem buď o stejném tlaku jako má izolační, nebo o větším tlaku u zvláště výkonných vypínačů. Pohon je samostatný pro každý pól, aby bylo možné udělat i jednopólový OZ. Jelikož se nejedná o klasické zařízení, tak zde nalezneme větší množství zemnicích bodů pro případnou údržbu. Průřez zapouzdřenou rozvodnou je zobrazen na obr.6. Obsahuje prvky, které jsou společné pro všechny typy rozvoden, jen zde jsou zapouzdřené a naplněné plynem SF_6 .



Obr. 6: Průřez zapouzdřenou rozvodnou GIS (převzato s úpravami z : [6])

Plyn SF₆ v normálním stavu je inertní, bezbarvý, není jedovatý, nehořlavý, je bez zápachu a pětikrát těžší než vzduch. Jeho nevýhoda je, že se jedná o silně skleníkový plyn, proto je nutná jeho detekce a zamezení úniků do prostředí, což má za následek zmenšování ozonové vrstvy. Dochází k postupnému zákazu téměř ve všech oblastech průmyslu. V energetice se zatím ještě nezakázal, ale je třeba se na to pomalu připravit, proto již některé společnosti nabízí náhradu tohoto plynu. Jelikož náhrady nejsou tolik efektivní, tak se nemůže nahradit pouze plyn ve stávajících rozvodnách, ale musí dojít i ke zvětšení celkové rozvodny. Například Siemens tuto náhradu nazval SF6 Blue 8DAB-12. Tato kapitola částečně vychází ze zdrojů [6, 7, 8, 15].



Obr. 7: Transformovna Karlín [7]

Na obr. 7 je vidět nová rozvodna Karlín společnosti PRE distribuce, která využívá po rekonstrukci zařízení GIS 8DN8 - 123 kV. Jedná se o rozvodnu s 2 přípojnicemi s podélným dělením a 6 polí s vypínači (2 kabelové vývody, 3 transformátory a příčný spínač přípojníc). Rozvodna je kompletně třípólově zapouzdrěna a její bezrevizní interval je 25 let, ale je nutné vždy po 8 letech zkontrolovat stav. [7]

Siemens dále garantuje velmi malý únik plynu, proto nebude docházet k velkému vlivu na životní prostředí a vznik ozonových děr. Jediná nevýhoda je vysoká cena, která se vlivem dlouhé a bezúdržbové životnosti může vyrovnat běžné rozvodně (při započtení všech nákladů na provoz, pozemek a údržbu). Odstavec částečně vychází ze zdroje [7].

2 Metody pro výpočet VN a VVN sítí pro ustálený stav chodu sítě

Metody pro výpočet sítí pro ustálený stav chodu sítě se v praxi využívají pro návrh a výpočet maximální proudové zatížitelnosti. Z tohoto návrhu se následovně určí doporučené hodnoty provozu. Do těchto výpočtů je nutné zahrnout i následné dodatečné zatížení linek při revizích a nucených odstávkách. Společnost E.ON využívá k výpočtu program od společnosti DAISY nazvaný Bizon. Tento program slouží k projektování sítí vvn, vn i nn a dokáže vypočítat nastavení ochran, jištění a umožňuje propojení s GIS.

2.1 Ustálený chod sítě

Když je síť v ustáleném stavu, tak nedochází k přechodovým dějům a lze považovat proměnné parametry za konstantní. Přechodové děje v síti mohou být způsobeny spínáním prvků, vypínáním zátěže, zkraty atd. Výpočet ustáleného stavu je velmi důležité z důvodu analýzy sítě, ať už se jedná o velikost a úhel napětí, proudu, odběru nebo dodávky činného a jalového výkonu a také pro rozbor zatížení jednotlivých linek sítí. Obvykle se provádí výpočet ustálené sítě pro minimální a maximální zatížení. Při výpočtu se uvažuje soustava jako souměrná a lze ji vypočítat jako jednofázovou souslednou síť. Nejprve se musí nahradit prvky v síti. Nahrazují je jejich modely (transformátory, vedení, zátěže, zdroje). Využívá se metoda uzlových napětí, kde je nutné vytvořit admitanční matici. Většinou se vychází z odběrů a dodávek činného a jalového výkonu. To má za následek, že výsledek ustáleného chodu sítě vede k nelineárnímu řešení a musí se využít jedna z iteračních metod, která povede ke konvergenci výsledku. Nejrozšířenější metody jsou Gauss-Seidelova a Newton-Raphsonova iterační metoda. Pomocí těchto metod se z rovnic vypočítá neznámé uzlové napětí a následně zjistíme toky výkonů a výkonové ztráty.

2.1.1 Odvození admitanční matice

Admitanční (uzlová) matice popisuje elektrizační soustavu pomocí admitancí, které jsou vypočteny z admitancí pasivních parametrů všech prvků soustavy. Pro vyjádření napěťových nebo proudových poměrů se vychází z následující rovnice:

$$\bar{\mathbf{I}} = \bar{\mathbf{A}} \cdot \bar{\mathbf{U}}_f \quad (2.1.1)$$

$\bar{\mathbf{I}}$ - Sloupcový vektor proudů

$\bar{\mathbf{U}}_f$ - Sloupcový vektor fázových napětí v uzlech

$\bar{\mathbf{A}}$ - Uzlová admitanční matice

$$\begin{bmatrix} \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \\ \vdots \\ \bar{I}_i \\ \bar{I}_k \\ \vdots \\ \bar{I}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{A}_{11} & \bar{A}_{12} & \cdots & \bar{A}_{1i} & \bar{A}_{1k} & \cdots & \bar{A}_{1n} \\ \vdots & \ddots & & & & & \\ \vdots & & \ddots & & & & \\ \bar{A}_{i1} & \bar{A}_{i2} & & \bar{A}_{ii} & \bar{A}_{ik} & & \bar{A}_{in} \\ \vdots & & & & \ddots & & \\ \vdots & & & & & \ddots & \\ \bar{A}_{n1} & \bar{A}_{n2} & & \bar{A}_{ni} & \bar{A}_{nk} & & \bar{A}_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \bar{U}_{1f} \\ \bar{U}_{2f} \\ \vdots \\ \bar{U}_{if} \\ \bar{U}_{kf} \\ \vdots \\ \bar{U}_{nf} \end{bmatrix} \quad (2.1.2)$$

Admitanční matice je tvořena vedeními, transformátory a kompenzačními prvky. Jednotlivé řádky a sloupce zobrazují čísla uzlů soustavy. Ve výsledku je admitanční matice tvořena větším počtem nul, protože daný uzel není propojen s uzlem, který je vyšetřován. Tato kapitola částečně vychází ze zdroje [16].

2.2 Výpočet ustáleného chodu - nelineární řešení

Při výpočtu nelineárního řešení se využívají numerické metody. Jak již bylo řečeno nejpoužívanější jsou: Gauss–Seidelova metoda a Newton–Raphsonova metoda. Využívají iteračních cyklů, kde dosazují a porovnávají hodnoty a naleznou řešení. Zásadní nevýhoda těchto metod spočívá v konečném výsledku, který může konvergovat ke špatné hodnotě nebo nemusí konvergovat vůbec, proto je důležité vždy promyslet správnost využití dané metody pro potřebnou problematiku.

2.2.1 Gauss–Seidelova iterační metoda

Jedná se o jednu z matematicky nejjednodušších iteračních metod, kterou lze využít. Tato metoda není vhodná pro velké množství prvků v síti, protože její jednoduchost zvyšuje počet iterací. Využívá se do 50 uzlů. Její iterační krok vyžaduje velmi malý čas, ale velkou nevýhodou je pomalá konvergence řešení a nutností je volit vysokou přesnost výpočtu ε . Při špatné volbě přesnosti výpočtu se může stát, že nepřesně vypočítané napětí

způsobí značnou chybu v tocích výkonu. Dnes se využívá pro velmi přesné výsledky. Metoda vychází ze znalosti admitanční matice, výkonů v uzlech, znalosti velikostí napětí v uzlech včetně referenčního uzlu. Na začátku řešení dojde k nalezení referenčního uzlu, který je pak u všech iterací neřešen.

Rovnice vychází ze závislosti fázorů sdružených napětí \bar{U}_i a proudů \bar{I}_i :

$$\bar{U}_i^{(p)} = \frac{1}{\bar{A}_{ii}} \left[\sqrt{3} \bar{I}_i - \sum_{k=1}^{i-1} \bar{A}_{ik} \bar{U}_k^{(p)} - \sum_{k=i+1}^n \bar{A}_{ik} \bar{U}_k^{(p-1)} \right], i = 1, 2 \dots n \quad (2.2.1.1)$$

Dosadím za proud \bar{I}_i ze vzorce pro komplexní výkon \bar{S}_i :

$$\bar{I}_i = \frac{P_i - jQ_i}{\sqrt{3} U_i^*} \quad (2.2.1.2)$$

V následujícím kroku dosadím do výrazu 2.2.1.1 vzorec 2.2.1.2 a dostanu výsledný algoritmus řešení. Jedná se o algoritmus pro odběrový uzel.

$$\bar{U}_i^{(p+1)} = \frac{1}{\bar{A}_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{\bar{U}_i^{(p)*}} - \sum_{k=1}^{i-1} \bar{A}_{ik} \bar{U}_k^{(p+1)} - \sum_{k=i+1}^n \bar{A}_{ik} \bar{U}_k^{(p)} \right], i = 1, 2 \dots n \quad (2.2.1.3)$$

Pro elektrárenské uzly, které jsou definovány jako uzly s přímo připojeným elektrárenským blokem či elektrárnou je před začátkem výpočtu metody určit hodnotu Q_i . Následně vypočítám rovnici 2.2.1.1 a jako poslední vypočítám náhradu vypočtené velikosti zadanou hodnotou (2.2.1.5). Jedná se o korekci, aby velikost napětí byla rovna původní hodnotě U_{i_set} .

$$Q_i^{(p+1)} = \text{Im} \left\{ \bar{U}_i^{(p)} \left[\sum_{k=1}^{i-1} \bar{A}_{ik}^* \bar{U}_k^{*(p+1)} - \sum_{k=i}^n \bar{A}_{ik}^* \bar{U}_k^{*(p)} \right] \right\} = Q_{Gi}^{(p+1)} + Q_{Li}, \quad (2.2.1.4)$$

$i = 1, 2 \dots n$

$$\bar{U}_i^{(p+1)} = \frac{\bar{U}_i^{(p+1)}}{|\bar{U}_i^{(p+1)}|} \cdot U_{i_set} \quad (2.2.1.5)$$

Ukončení cyklu sleduji pomocí dvou konvergenčních kritérií. Tato kritéria sledují maximální odchylky velikostí napětí a odchylky mezi úhly.

$$\max_i \frac{|\bar{U}_i^{(p+1)} - \bar{U}_i^{(p)}|}{\bar{U}_i^{(p)}} \leq \varepsilon \quad \max_i \left| \bar{\theta}_i^{(p+1)} - \bar{\theta}_i^{(p)} \right| \leq \varepsilon \quad (2.2.1.6)$$

ε značí přesnost výpočtu, která je dána $\varepsilon \leq 10^{-6}$

Další kritérium pro ukončení cyklu je kritérium maximálního počtu iterací, který nesmí být vyšší než hodnota maximální (p_{max}). Je-li tato hodnota dosažena, cyklus se zastaví bez výsledku.

Výhody této metody jsou hlavně ve snadném matematickém modelu, velké spolehlivosti dosažení výsledku a nízké výpočtové a časové nároky na iteraci. Nevýhodou pro tuto metodu je hlavně práce s komplexními čísly. Dále závislost počtu iterací na velikost sítě. Metoda má velký počet iterací a delší dobu výpočtu. Tato podkapitola částečně vychází ze zdroje [9].

2.2.2 Newton-Raphsonova iterační metoda

Tato metoda je nejpoužívanější pro výpočet ustáleného chodu sítě. Využívá metodu tečen, která umožní rychle najít řešení (vysoká rychlost konvergence). V algoritmu metody se počítá s reálnými čísly, což je velká výhoda. Počet iterací v této metodě nezávisí na velikosti sítě, proto se využívá i u velmi náročných sítí (většinou 3-7 iterací).

Tato metoda má i své nevýhody. Ať už se jedná o komplikovanější matematický model, kde využíváme matice, derivace atd. Dále tato metoda není z hlediska matematické stability tolik spolehlivá jako Gauss–Seidelova. Metoda může konvergovat ke špatnému výsledku, pokud vložíme chybné odhadované stavové veličiny. Jako další nevýhodu lze považovat větší nároky na paměť počítače při výpočtu diferenciálních kořenů. Tato metoda má problém řešit řídkce propojené a špatně podmíněné soustavy.

Důležitým krokem pro tuto metodu je vycházet ze znalosti injektovaných jalových a činných výkonů do uzlu i a znalosti proudů \bar{I}_i závislých na sdružených napětí \bar{U}_i .

$$\sqrt{3}\bar{I}_i = \bar{U}_i \cdot \bar{A}_{ii} + \sum_{k=1}^n \bar{A}_{ik} \cdot \bar{U}_k \quad (2.2.2.1)$$

Dále využijí vztah pro rozdíl fázových posunů sdruženého napětí uzlů i a k .

$$\theta_{ik} = \theta_i - \theta_k \quad (2.2.2.2)$$

Dosažením těchto rovnic do rovnice 2.2.2.2 získám následující vztah:

$$P_i - jQ_i = \left(\bar{U}_i \cdot \bar{A}_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ i \neq k}}^n \bar{A}_{ik} \cdot \bar{U}_k \right) \bar{U}_i \quad (2.2.2.3)$$

$$= (G_{ii} + jB_{ii}) \cdot U_i^2 + \sum_{\substack{k=1 \\ i \neq k}}^n U_i \cdot U_k ((\cos \theta_{ik} - j \sin \theta_{ik}) \cdot (G_{ik} + jB_{ik})) \quad (2.2.2.4)$$

Dále je nutné rovnici separovat na reálnou a imaginární část. Tyto rovnice mi dají činné a jalové výkony do uzlu i .

$$P_i = G_{ii} \cdot U_i^2 + U_i \cdot \sum_{\substack{k=1 \\ i \neq k}}^n U_k \cdot (G_{ik} \cdot \cos \theta_{ik} + B_{ik} \cdot \sin \theta_{ik}) \quad (2.2.2.5)$$

$$Q_i = -B_{ii} \cdot U_i^2 + U_i \cdot \sum_{\substack{k=1 \\ i \neq k}}^n U_k \cdot (G_{ik} \cdot \sin \theta_{ik} - B_{ik} \cdot \cos \theta_{ik}) \quad (2.2.2.6)$$

Z těchto rovnic dostanu výkonový rozdíl činného ΔP_i a jalového výkonu ΔQ_i v uzlu i (výkonový mismatch vektor).

$$\Delta P_i = P_i - U_i \cdot \sum_{k=1}^n U_k \cdot (G_{ik} \cdot \cos \theta_{ik} + B_{ik} \cdot \sin \theta_{ik}) \quad (2.2.2.7)$$

$$\Delta Q_i = Q_i - U_i \cdot \sum_{k=1}^n U_k \cdot (G_{ik} \cdot \sin \theta_{ik} - B_{ik} \cdot \cos \theta_{ik}) \quad (2.2.2.8)$$

Výpočetní algoritmus pro řešení je zapsán takto:

$$\begin{bmatrix} \underline{\Delta P}^{(p)} \\ \underline{\Delta Q}^{(p)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{H}^{(p)} & \underline{N}^{(p)} \\ \underline{J}^{(p)} & \underline{L}^{(p)} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{\Delta \theta}^{(p+1)} \\ \underline{\Delta U}^{(p+1)} \\ \underline{U}^{(p)} \end{bmatrix} \quad (2.2.2.9)$$

Pro uzly PQ , které jsou definovány jako odběrové či napájecí (je zde zadán činný a jalový výkon), tak musí být zadány obě rozdílové rovnice ($\Delta P_i, \Delta Q_i$). Pro uzly PU , které jsou regulační či kompenzační (zadáný je pouze činný výkon), tak musí být zadána pouze jedna rozdílová rovnice ΔP_i . Pro referenční uzel žádná rovnice.

Základem výpočetního algoritmu je Jacobián, který je složen ze čtyř submatic H, N, J a L . Tyto parametry jsou definovány příslušnou parciální derivací. Prvky určují fyzické propojení uzlů (topologie).

$$\underline{J} = \begin{bmatrix} \underline{H}^{(p)} & \underline{N}^{(p)} \\ \underline{J}^{(p)} & \underline{L}^{(p)} \end{bmatrix} \quad (2.2.2.10)$$

Pro PU uzel je nutné vypočítat hodnotu Q_i , kterou momentálně neznám.

$$Q_i^{(p-1)} = U_i^{(p-1)} \cdot \sum_{i=1}^n U_k^{(p-1)} \cdot (G_{ik} \cdot \sin \theta_{ik}^{(p-1)} - B_{ik} \cdot \cos \theta_{ik}^{(p-1)}) \quad (2.2.2.11)$$

$$Q_i^{(p-1)} = Q_{Gi}^{(p-1)} + Q_{Li} \quad (2.2.2.12)$$

Nyní ještě chybí ve výpočtovém algoritmu vypočítat přírůstkový vektor. Tento vektor je složen z přírůstku úhlů napětí $\Delta\theta$ a přírůstku velikosti napětí $\frac{\Delta U}{U}$. Tyto hodnoty připočítávám v každé iteraci k předchozím hodnotám a dostanu tak další hodnotu (update proces stavových proměnných).

$$\theta_i^{(p)} = \theta_i^{(p-1)} + \Delta\theta_i^{(p)} \quad (2.2.2.13)$$

$$U_i^{(p)} = U_i^{(p-1)} + \left(\frac{\Delta U_i^{(p)}}{U_i^{(p-1)}} \right) \cdot U_i^{(p-1)} \quad (2.2.2.14)$$

Tímto jsem vyřešil výpočtový algoritmus dané iterace. Teď je důležité ještě zastavení algoritmu. První způsob zastavení je konvergenční kritérium. Kde ε je menší nebo rovno 10^{-5} .

$$\max_i = \left[\frac{\Delta P}{\Delta Q} \right] \leq \varepsilon \quad (2.2.2.15)$$

Druhý způsob ukončení je kritérium pro překročení maximálního počtu iterací. Mám-li hodnotu p větší než p_{max} , tak dojde k zastavení cyklu bez výsledného řešení. Kde p_{max} je větší nebo rovno 20ti iterací.

$$p \leq p_{max} \quad (2.2.2.16)$$

Tato podkapitola částečně vychází ze zdrojů [10, 11].

2.3 Zkratové proudy

Zkrat je vodivé spojení mezi více vodivými částmi, které před dotykem měly rozdílný potenciál. Zkrat může vzniknout selháním izolace, přeskokem, vlivem počasí, ale i lidským faktorem. Má za následek prudký nárůst proudu a pokles napětí. Metody pro výpočet zkratových proudů jsou následující:

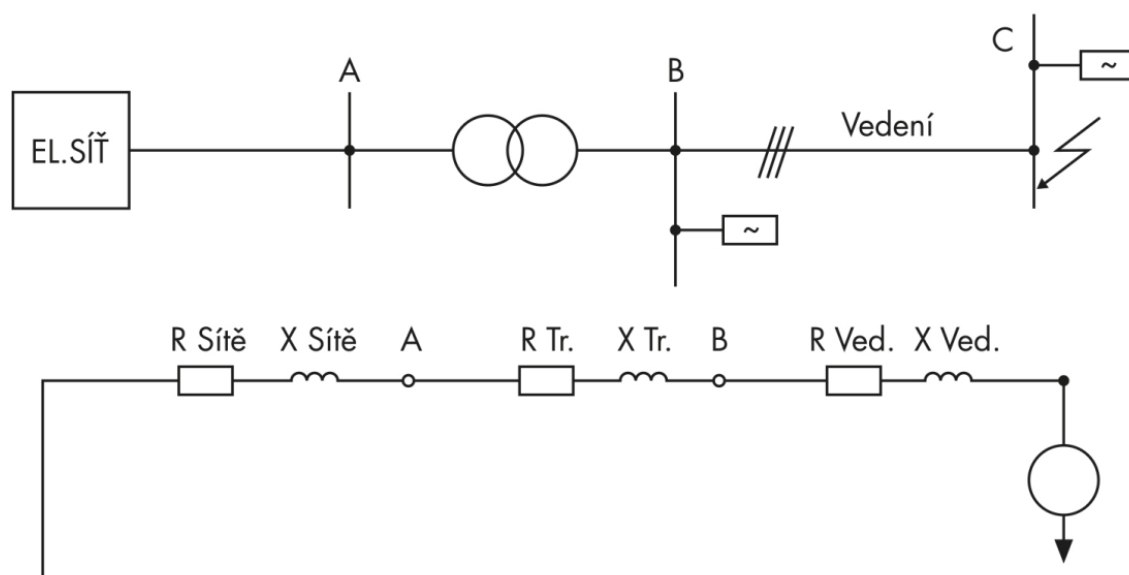
2.3.1 Metoda superpozice

Superpoziční metoda udává zkratový proud jen k jednomu stavu zatížení sítě, proto výsledek nemusí vést k maximálnímu zkratovému proudu. U této metody se vychází ze znalosti odběrů a zatížení v ustáleném chodu soustavy (normální provozní stav před zkratem - počáteční podmínky). Z počátečních podmínek je nutné si vyjádřit diferenciální rovnici, která je složena ze dvou složek (obecné a partikulární řešení). Vyřešením těchto složek a následné superpozice výsledků se obdrží výsledný zkratový proud. Popisem metody se zabývá norma ČSN EN 60909-0 ed. 2, která nabyla účinnosti v roce 2016.

2.3.2 Metoda ekvivalentního napěťového zdroje

Tato metoda vychází z metody superpozice, která využívá zavedení ekvivalentního napěťového zdroje do místa zkratu. Tento zdroj je jediným aktivním místem v síti dodávající do sítě napětí. Veškeré prvky v obvodu (motory, generátory, transformátory, ...) jsou nahrazeny svojí zkratovou impedancí. Napětí ekvivalentního zdroje se vypočítá vynásobením fázového napětí napěťovým součinitelem c . Tento parametr se udává z důsledku kolísání napětí, zanedbáním zátěže a kapacitních reaktancí, chováním generátorů a motorů v přechodových jevech.

Při výpočtu maximálních zkratových proudů se využije parametr c_{max} , jehož doporučené hodnoty jsou uvedeny v normě, tj. 1,05 a 1,1. Pro výpočet minimálních zkratových proudů norma uvádí hodnoty parametru $c_{min} = 0,95$ pro zkrat v hladině nízkého napětí a 1,0 pro zkrat v sítích vyšších napětí.



Obr. 8: Zobrazení metody ekvivalentního zdroje napětí (převzato s úpravami: [12])

Jedná se o velmi přesný výpočet, kde dojde k vypočtení rázového zkratového proudu I_k'' .

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (A) \quad (2.3.2.1)$$

kde: c je napěťový součinitel, U_n je sdružené napětí, Z_k je výsledná zkratová impedance.

Náhradní schéma této metody je uvedeno na obr 8. Popisem metody se zabývá norma ČSN EN 60909-0 ed. 2 (zdroj [12]) a postup výpočtu je uveden v knize ve zdroji [1].

3 Základní informace o spínací stanici Střed

Spínací stanice Střed v Českých Budějovicích tvoří jednu z hlavních částí městské sítě v distribuční soustavě E.ON Distribuce. Je umístěna, jak již vyplývá z jeho názvu, ve středu města hned vedle Teplárny ČB. Nachází se na pozemku E.ON Distribuce jižně od Mánesovy ulice, východně od ulice U elektrárny a spolu s Muzeem energetiky, ústřední spisovnou a archivem tvoří celý objekt. Spínací stanice byla vystavěna v roce 1965 z důvodu rozvodu elektrické energie a připojení nové Teplárny. Rozvádí elektrickou energii do důležitých centrálních a historických částí města, ať už se jedná o nádraží, prodejnu Prior, výrobní závody, nemocnici, aj. Koncem minulého století proběhla rekonstrukce do stávajícího stavu (r.1999). Spínací stanice je bez obsluhy, ale má ji na starosti tým, který spravuje více rozveden ve městě a probíhá zde občasný dohled.



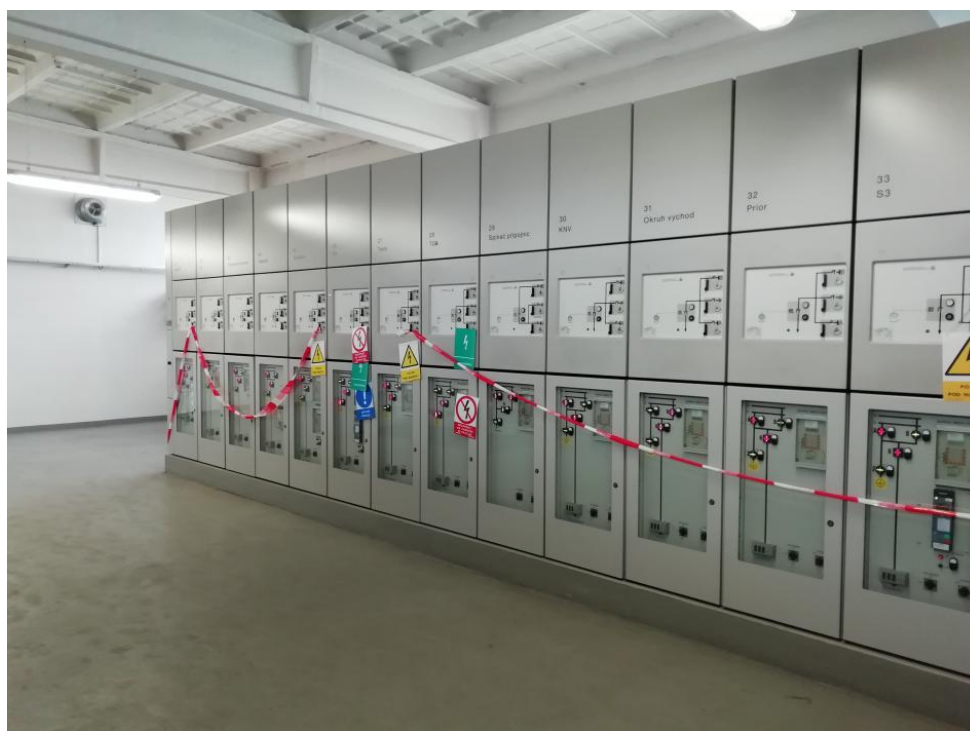
Obr. 9: Objekt spínací stanice Střed

Jak již bylo řečeno, spínací stanice se nachází hned vedle Teplárny ČB. Tato teplárna je schopná vyrobit pomocí 3 generátorů celkový výkon až 51,6 MW (jedná se o součet generátorů TG4, TG5 a TG6). Výkon z generátorů TG4 a TG5 je dle provozního režimu teplárny primárně vyváděn pomocí dvojitého třís vazkového kabelového vedení VN ($2 \times 3 \times 3 \times 240 \text{ mm}^2$) do transformovny Mladé. Do spínací stanice Střed je přímo vyveden pouze výkon generátoru TG6 pomocí jednoho třís vazkového kabelu VN ($1 \times 3 \times 3 \times 240 \text{ mm}^2$).

Spínací stanice pracuje na hladině vysokého napětí 22 kV, je rozvaděčová a zapouzdřená. Obr. 9 ukazuje stávající objekt, kde samotná spínací stanice je umístěna v budově na levé straně. Jedná se o dvoupodlažní stavbu, kde v suterénu je kabelový prostor a v prvním podlaží je samotná stanice.

3.1 Současný stav spínací stanice

V současné době je spínací stanice 22 kV Střed vnitřního provedení a využívá částečně zapouzdřené technologie s plynem SF₆. Jedná se o skříňové provedení stanice, které jsou sestaveny ze samostatných modulů. Stávající rozvaděče jsou typu WSB 6/24-2/627 od společnosti ALSTOM. Každý panel sestává z vysokonapěťové sekce, nízkonapěťového oddílu a oddílu kabelových koncovek. Právě vysokonapěťová sekce je izolována plynem a vytváří hermeticky uzavřenou sekci vyplněnou plynem. Rozvodna má dva systémy přípojnic, které obsahují 18 polí (AJA 21 - AJA 38). Spínací stanice je napájena z transformovny 110/22 kV Mladé kabelovým vedením. Zjednodušené schéma zapojení spínací stanice 22 kV Střed je uvedené v příloze 1. Napájení je tedy zajištěno kabely S1, S2, S3 a S4 (přípojnice A). Přípojnice B je napájena vývodem okruh Sever. Dále je na spínací stanici přiveden výkon z teplárny TG6 (12 MVA) a vývod generátorů z TG5 nebo TG4 (Teplárna). Pro napájení stanice slouží 7 polí. Dále zde je jedno pole vlastní spotřeby a jedno pole sloužící pro příčný spínač přípojnic. Ostatních 9 polí slouží jako vývodové a dodávají elektrickou energii do určitých částí města.



Obr. 10: Skutečný stav spínací stanice Střed 22 kV

Rozvodna má tyto základní parametry: jmenovité napětí 23 kV, jmenovitý proud přípojníc 1250 A, ovládací napětí 110 V DC, zkratová dynamická odolnost $I_{K3dyn} = 50$ kA, zkratová tepelná odolnost $I_{K3th} = 20$ kA.

Jedná se tedy o rozvodnu se dvěma systémy přípojníc s příčným spínačem přípojníc, které v případě potřeby dokáže propojit obě přípojnice a zajistit napájení pro obě přípojnice, aby nedošlo k výpadku. Většinou se využívá při revizích a poruchových stavech. Zde je umístěn v poli č. 29 spolu s odpojovači a měřícím transformátorem proudu.

Jako první pole spínací stanice je AJA 21, což značí pole vlastní spotřeby transformátoru T21 a měření. V tomto poli se nachází dva měřící transformátory napětí, které jsou zapojeny paralelně a na každou přípojnici využijeme jeden. Z obr. 11 je vidět zapojení pole 21 (vlastní spotřeba + měření). Je patrné rozdělení na 2 přípojnice, měřící transformátor napětí dané přípojnice a následné rozdělení měření na třech fázích. U polí Nádraží (AJA 24) a Alešova (AJA 36) je umístěn měřící transformátor napětí na daném vývodu. Sekundární napětí na transformátoru napětí je 100 V.

Téměř všechna pole rozvodny mají stejné vybavení. Na přívodním / vývodním kabelu z rozvodny je umístěn průvlekový součtový transformátor proudu, který je určený k jistění rozvodných zařízení vysokého napětí vnitřního provedení. Primární proudy jsou proudy rozdílové jednotlivých fází v poruchových stavech (zemní spojení). Sekundární strana je připojena na vstupy indikátorů nebo nulových proudových článků ochrany, díky tomu určíme postižený vývod rozvodny se zemní poruchou.



Obr. 11: Spínací stanice 22kV - pohled zezadu

Dále jsou zde umístěny měřicí transformátory proudu, které slouží ke změně rozsahů z vysoké hodnoty proudu na měřitelnou a jsou dvoujádrové pro hladinu vysokého napětí. Nejčastější hodnota převodu jmenovitého sekundárního proudu je 1A (resp. i 5A).

V každém skříňovém provedení zapouzdřené rozvodny nalezneme vypínač s motorovým pohonem a přípojnicový odpojovač také s motorovým pohonem. Odpojovač má tři polohy (zapnuto, vypnuto a uzemněno). Vypínač se využívá vakuový, který se nachází ve spodní části skříně. Je umístěn na kolečkách, aby při výměně nebo revizi šlo s vypínačem dobře manipulovat.

3.2 Vlastní spotřeba spínací stanice

Vlastní spotřeba u spínací stanice je velmi důležitá, aby při výpadku elektrické energie nedošlo k přerušení u významných zařízení v rozvodně. Ať se jedná o systémy ochran, ovládání vypínačů, signalizace, informační a telekomunikační systémy, systém HDO, obchodní měření, protipožární a bezpečnostní systémy. Proto je elektrická energie pro vlastní spotřebu zajištěná z více možností napájení. Vlastní spotřeba je zde umístěna v jednom prostoru se spínací stanicí.

Nejprve se zaměřím na transformátor vlastní spotřeby. Jedná se o transformátor o výkonu 160 kVA, který převádí napětí z 22/0,4 kV. Transformátor je třífázový, chlazený vzduchem. Z transformátoru vlastní spotřeby T21 je napětí 400V přivedeno do rozvaděče vlastní spotřeby ANG.



Obr. 12: Transformátor vlastní spotřeby a rozvaděč ANG

Další zálohou napájení jsou baterie. Jedná se o dvě skupiny baterií. Každá je tvořena z 55 článků spojených do série. Jednotlivý článek má 2 V a tvoří dvě skupiny po 110 V.

Energie z baterií se přivádí do rozvaděčů stejnosměrné vlastní spotřeby ANM. Některá zařízení využívají stejnosměrnou energii a jiná zase střídavou, proto je potřeba v rozvodně mít měniče napětí, které slouží k její transformaci. Mají svůj speciální rozvaděč GUM.



Obr. 13: Baterie pro vlastní spotřebu

Rozvaděč, který spojuje veškeré rozvaděče (ANG, ANM, GUN) se nazývá rozvaděč zajištěného napájení ANJ.

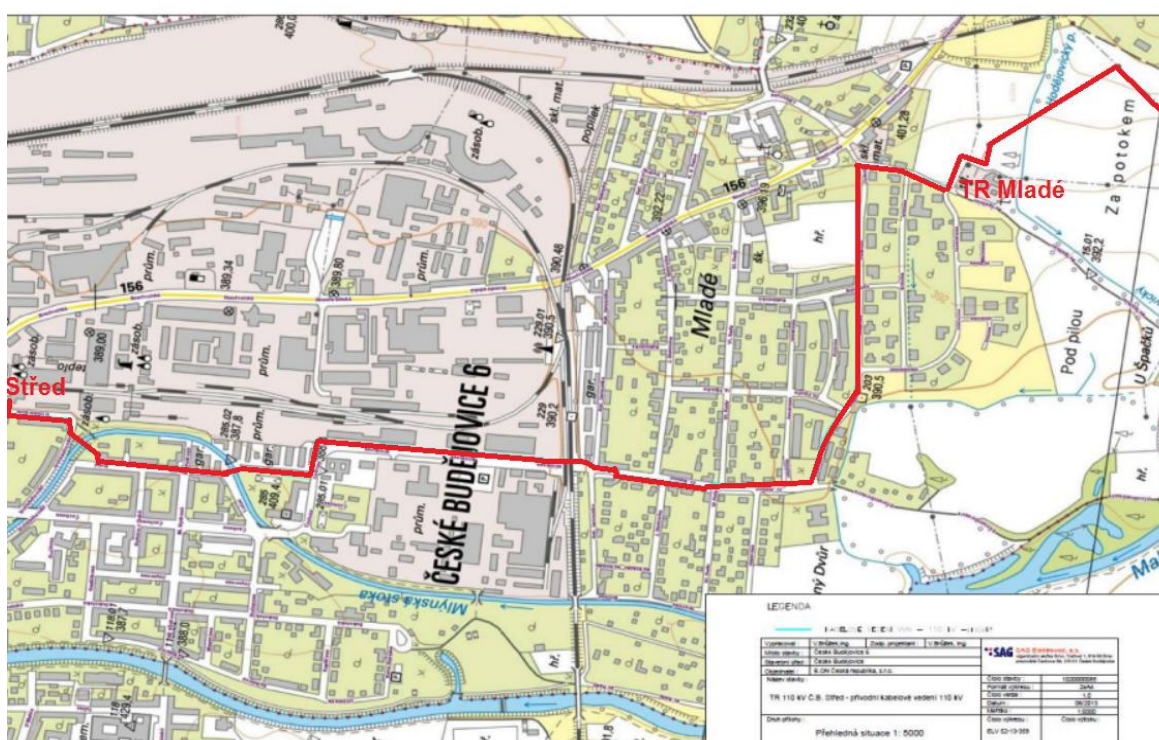
3.3 Ochrany využívající spínací stanice

Ve spínací stanici je na každém vývodu umístěna nadproudová směrová ochrana. Jde o ochrany, které sledují procházející proud a při přetížení nebo zkratu dojde k nárůstu hodnoty proudu. Tento proud ochrana porovnává s nastavenou hodnotou a při překročení dá ochrana povel vypínači k odpojení daného úseku. V rozvodně se využívá směrová nadproudová ochrana, která působí pouze v nastaveném směru průchodu proudu.

Dále se v některých odbočkách využívá srovnávací ochrana. Např. pole přívodu S1, S3, S4 a vývod do Teplárny. Jedná se o ochranu, která porovnává fázový posun vstupního proudu a proudu výstupního chráněného objektu. Při normálním provozu nebo vnějším zkratu jsou fázové úhly proudů stejné. Při zkratu na chráněném objektu se vytvoří fázový posun 180°. Srovnávací ochrana se používá v místech, kde pro krátkou vzdálenost nelze použít ochranu distanční, která se v hladině vn nevyužívá.

3.4 Trasa nového VVN kabelu k TR Střed

V následujících letech se plánuje spínací stanici Střed předělat na transformovnu 110/22 kV. Dostavba nové části rozvodny 110 kV slibuje zlepšení spolehlivosti dodávky elektrické energie pro obyvatele středu města České Budějovice a také odlehčení zatížené TR 110/22 kV Mladé, kde v posledních letech docházelo k nárůstu zatížení a chyběl dodávaný výkon. Velmi důležitý krok před začátkem stavby nové transformovny je přívod nového napájecího kabelu 110 kV. Kabelová trasa je plánovaná od nového stožáru č. 105 venkovního vedení V1366. Toto vedení je vedeno z rozvodny Škoda 110 kV v Českých Budějovicích do TR 110 kV Velešín a jako vedení V1374 je přivedeno do TR 110 kV Lipno a jedná se tedy o velký okruh (Dasný - Lipno) popsany v kapitole 1.3.



Obr. 14: Vedení kabelu 110 kV do rozvodny Střed (převzato s úpravami: [13])

Stožár č. 105 bude speciálně upravený a bude prvním svého typu na území jižních Čech. Od tohoto stožáru bude kabel vvn sveden do země. Kabel bude uložen v ochranném pásmu venkovního vedení směrem k TR Mladé, aby bylo možné v budoucnosti kabel zaústit i do TR Mladé. Kabel povede přes hospodářské pozemky, dále bude podcházet Hodějovický potok, Mlýnskou stoku, křížit železniční trať, vlečku a následně procházet ulicemi města České Budějovice. Celková délka kabelové trasy je plánována na 2910 m. Využije se vysokonapěťový kabel 2 x 3 x 110 kV s XLPE izolací s přenosovou schopností minimálně 720 A. Trasa kabelu je vyznačena na obr. 14 červenou barvou. Předpokládaný průřez vodiče bude 1000 mm². V trase bude uloženo 6 jednožilových kabelů a přibližně

každých 1000 metrů bude provedena kabelová spojka. Jedná se celkem o dvě kabelové spojky na každý jednožilový kabel. V souběhu s kabely budou položeny zemnicí pásy FeZn 30/4mm a položena trubka HDPE. Do kabelové trasy bude následně ještě umístěn optický kabel. Tato podkapitola částečně vychází ze zdroje [13].

3.5 Dostavba strany 110 kV transformovny 110/22 kV Střed

Aby se mohlo začít s výstavou nové zapouzdřené rozvodny 110/22 kV je nutná úprava stávajícího terénu. Nejprve se musí provést demolice sousedních objektů spínací stanice. Jedná se o budovu archivu, muzea a konferenční místnosti. Místo této budovy se postaví nová, do které se umístí nové zapouzdřené rozvaděče 110 kV, stanoviště transformátorů 110/22 kV, tlumivky a odporníky. Objekt bude navazovat na stávající budovu spínací stanice 22 kV. V budově 22 kV se provedou nové příčky, čímž vzniknou nové prostory pro rozvaděče řídicího systému, ochran a rozvaděče vlastní spotřeby. U samotné rozvodny 22 kV musí dojít jen k nepatrným změnám. Je nutné dodat dvě pole přívodu od výkonových transformátorů zapouzdřené rozvaděče VN od transformátorů.

Při návrhu nové transformovny ze strany 110 kV se zatím počítá s rozvodnou typu „H“ plně zapouzdřenou plynem SF₆. Rozvodna se bude nejspíš skládat ze 2 přívodních polí kabelového vedení velmi vysokého napětí 110 kV, dvou polí transformátorových a z pole podélného dělení. U transformátorů se prozatím počítá s využitím dvou jednotek 110/22 kV o výkonu 40 MVA. Dále bude nutné zakoupit tlumivku pro jeden transformátor (po předělání na všech vývodů na kabelovou síť již nebude potřeba), dva uzlové odporníky a další potřebné vybavení.

U nové 110 kV rozvodny je nutné dodat i potřebné ochrany. Dnes se nejčastěji využívají digitální ochrany od společnosti Siemens SIPROTEC 5, které slouží k chránění, měření, monitorování energetických systémů, sledování parametrů kvality sítě a ukládání poruchových záznamů. Dále je nutná ochrana linek 110 kV, ochrany transformátoru, ochrany tlumivky, ochrana uzlového odporníku a rozdílová ochrana přípojnic.

Další důležitá část při stavbě nové transformační stanice je vlastní spotřeba. Vlastní spotřeba musí mít řadu zálohování. Bude nutné přikoupit jeden transformátor vlastní spotřeby 22/0,4 kV ke stávajícímu 160 kVA transformátoru. Bude se volit transformátor stejných parametrů. Tyto transformátory jsou napájené z rozdílných větví sítě, aby při výpadku jednoho transformátoru byl druhý v provozu. Jelikož ochrany a jiné zařízení v rozvodně využívají stejnosměrné napětí na hladině 110 V DC pro provoz, tak jsou potřeba měniče napětí. Dále v rozvodně nalezneme baterie pro automatický záskok vlastní

spotřeby. Tyto baterie jsou složeny z článků a většinou opět zálohovány druhou záložní skupinou baterií. Baterie jsou přivedeny do rozvaděče, kde mohou napájet stejnosměrnou síť nebo mohou být střídačem přeměněné na střídavé napětí pro provoz dalších potřebných zařízení.

4 Analýza transformovny 110/22 kV Mladé ČB

Transformovna Mladé je součástí distribuční soustavy E.ON Distribuce, a.s. Slouží k transformaci napětí 110 kV na 22 kV a následnému rozvodu elektrické energie po části České Budějovice 6 a jihozápadní oblasti. Rozvodna je venkovního provedení, typu H a obsahuje dvě pole vývodová, dvě pole pro transformátory a dvě pole pro příčný spínač přípojníc. Rozvodna je dimenzovaná na následující parametry: jmenovité napětí 123 kV, zkratová tepelná odolnost 2 sec 20 kA, zkratová odolnost dynamická 50 kA, jmenovitý provozní proud přípojníc 1600 A, jmenovitý proud vypínačů 1250 A, zkratový proud $I_{K3f} = 11,07$ kA, $I_{K1f} = 9,56$ kA. Transformátory jsou od společnosti Končar o jmenovitém výkonu 40 MVA. Dále je zde použita dvojice tlumivek o jmenovitém výkonu 40 MVar. Důležitý je zde také kompenzační odpor, který je složen z jednotlivých odporníků. Na obr. 15 je zobrazen satelitní snímek rozvodny.



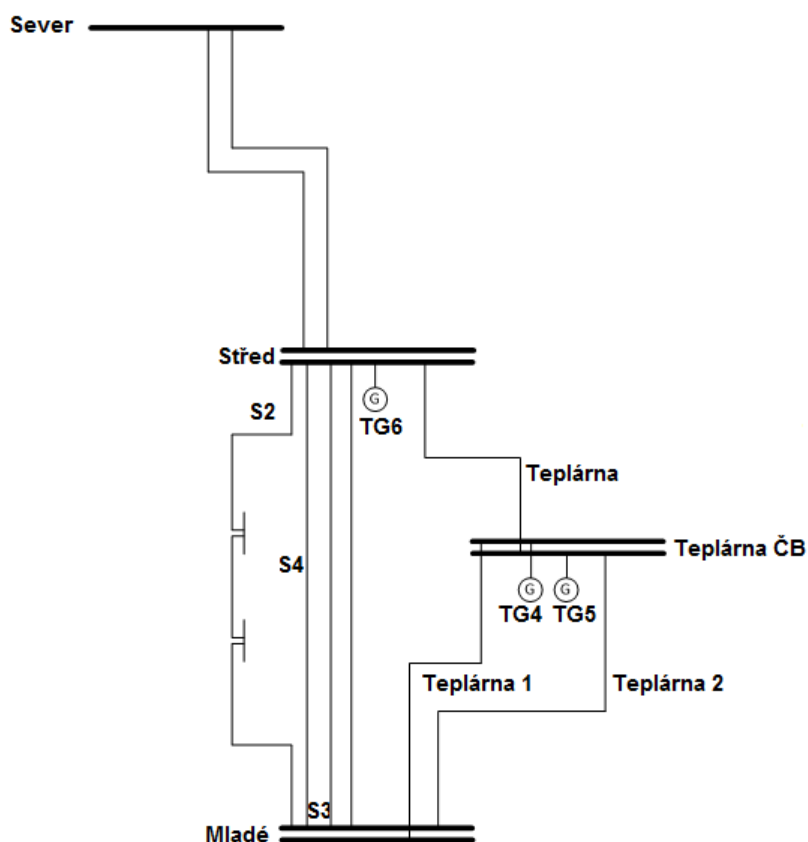
Obr. 15: Rozvodna TR 110/22 kV Mladé v Českých Budějovicích [14]

Rozvodna 22 kV je řešená vnitřním kobkovým provedením do tvaru dvojitého L. Má dva systémy přípojníc, které jsou podélně dělené. Je zde umístěno 30 kobek s následujícími parametry: maximální provozní napětí 25 kV, jmenovitý proud přípojníc je

1250 A, jmenovitý proud vývodů 630 A, zkratová tepelná odolnost 1s 16kA. V areálu dále nalezneme vysílač HDO na napěťové hladině 22 kV. Jak již bylo řečeno na TR Mladé jsou připojené dva vývody z Teplárny ČB.

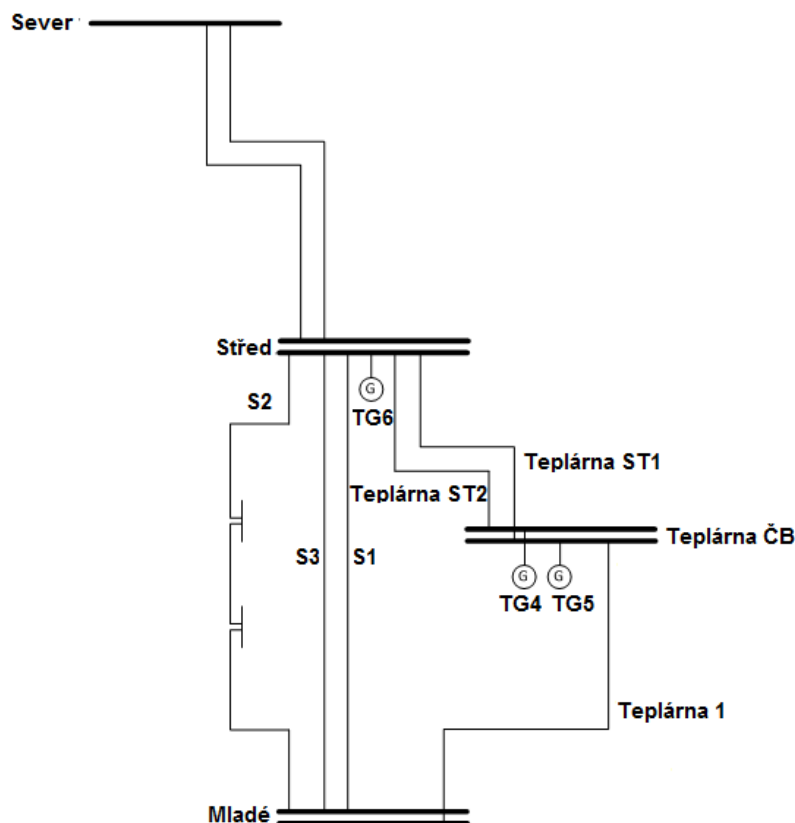
4.1 Stávající stav a změny v oblasti TR Mladé v Českých Budějovicích

Z historického měření se ukázalo, že napájení oblasti TR Mladé začíná být přetěžováno, protože již v posledních letech vycházela záporná bilance dodávky elektrické energie. Proto se začala plánovat výstavba nové TR Střed, která má za cíl odlehčit stávající transformovnu Mladé. Momentální stav je patrný na obr. 16. Část vyrobené elektřiny z Teplárny ČB je připojena přímo do stanice Střed (TG6). Téměř celý výkon je vyveden do TR Mladé přes kabely Teplárna 1 a Teplárna 2. Do spínací stanice Střed je výkon přiveden pomocí kabelů S1, S3 a S4. Od roku 2011 byl v teplárně zaveden letní a zimní provoz. V letních měsících (květen - říjen) pracuje generátor TG4 + TG6 nebo TG5 + TG6, kde každý generátor je přiveden do vlastní sběrný. V zimních měsících TG6 nepracuje. Provoz je omezen na TG4 nebo TG5 nebo TG4 + TG5. V případě využití obou generátorů je jeden přiveden do rozvodny Mladé a druhý do stanice Střed. Výkon generátoru TG4 = 25 MW, TG5 = 14,6 MW a TG6 = 12 MW.



Obr. 16: Stávající stav části sítě 22 kV

Nový stav již bere v potaz novou transformovnu Střed. Dojde k odlehčení kabelů S1, S3 a S4, které sloužily pro napájení spínací stanice. Plán je takový, že dojde k odstranění vývodu S4 a tento kabel se částečně využije pro kabel, který bude přiveden přímo z Teplárny ČB (nová Teplárna ST2) do TR Střed. Starý kabel Teplárna 2 se zruší. Tímto dojde k odlehčení oblasti TR Mladé.



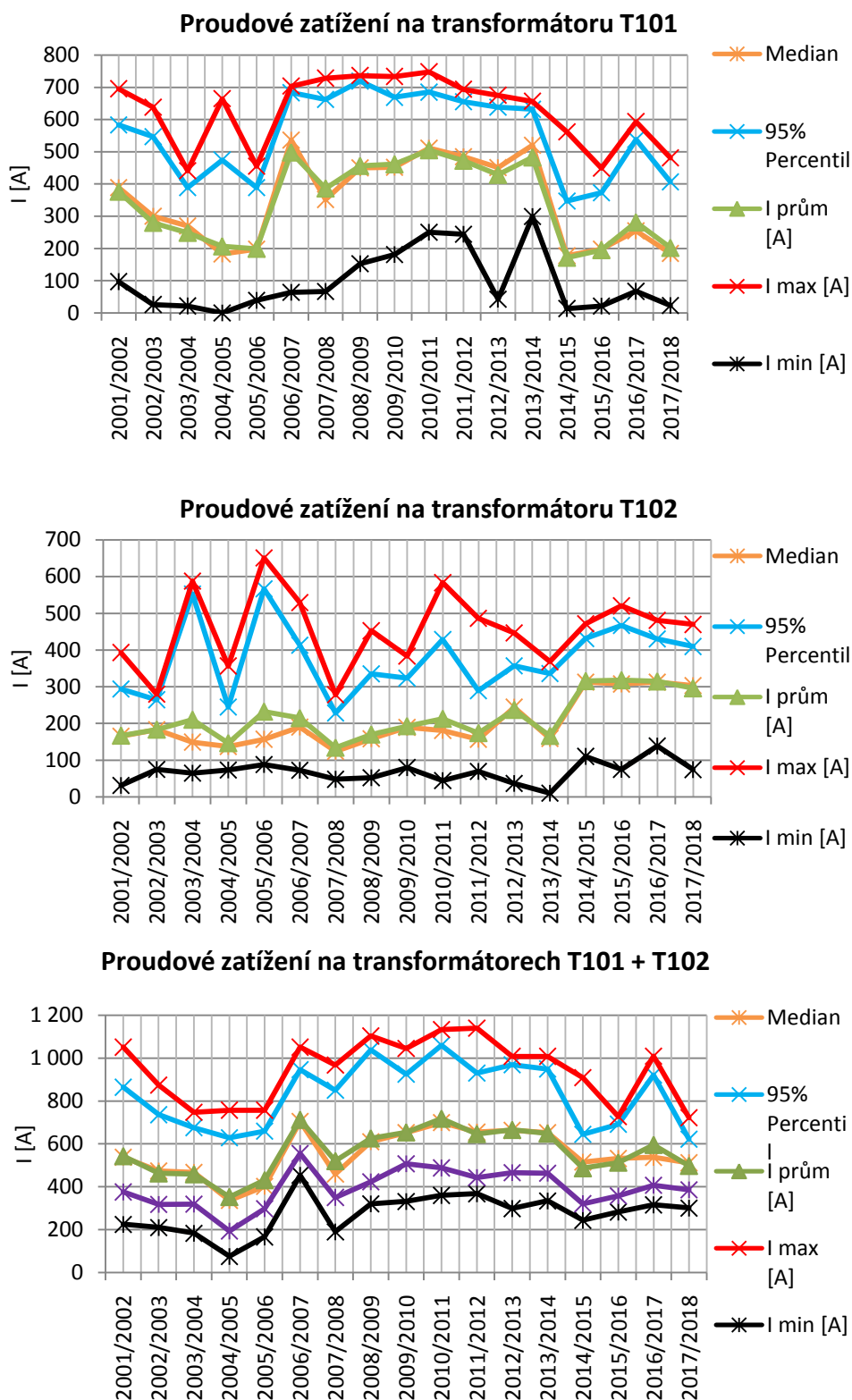
Obr. 17: Plánovaný stav části sítě 22 kV

4.2 Analýza zatížení TR Mladé

Analýza zatížení je velmi důležitá, protože z těchto dat následně vychází studie pro návrh nových stanic a úpravy sítí. Tato data následně využijí pro návrh vývodů TR Střed a k optimalizaci napájecí oblasti rozveden Sever a Mladé. Popisované měření bylo prováděno každou druhou středu v měsíci. Jedná se o zatížení v celé hodiny od listopadu do dubna následujícího roku, tj. pouze pro zimní měsíce. Data v grafech jsou k dispozici od listopadu roku 2001 do dubna 2018. Z těchto dat jsem provedl analýzu pomocí maximální, průměrné a minimální hodnot proudového zatížení jednotlivých vývodů transformovny. Následně jsem do každého grafu přidal medián, 95% percentil a 15% percentil. Tyto percentily jsem použil z důvodu odfiltrování špiček minim a maxim z grafů, protože občas u některých vývodů jsou hodnoty nulové, ať už z důvodů poruch, odstávek pro opravu a revizi. Od roku 2010 jsou zde umístěny i jiné obnovitelné zdroje,

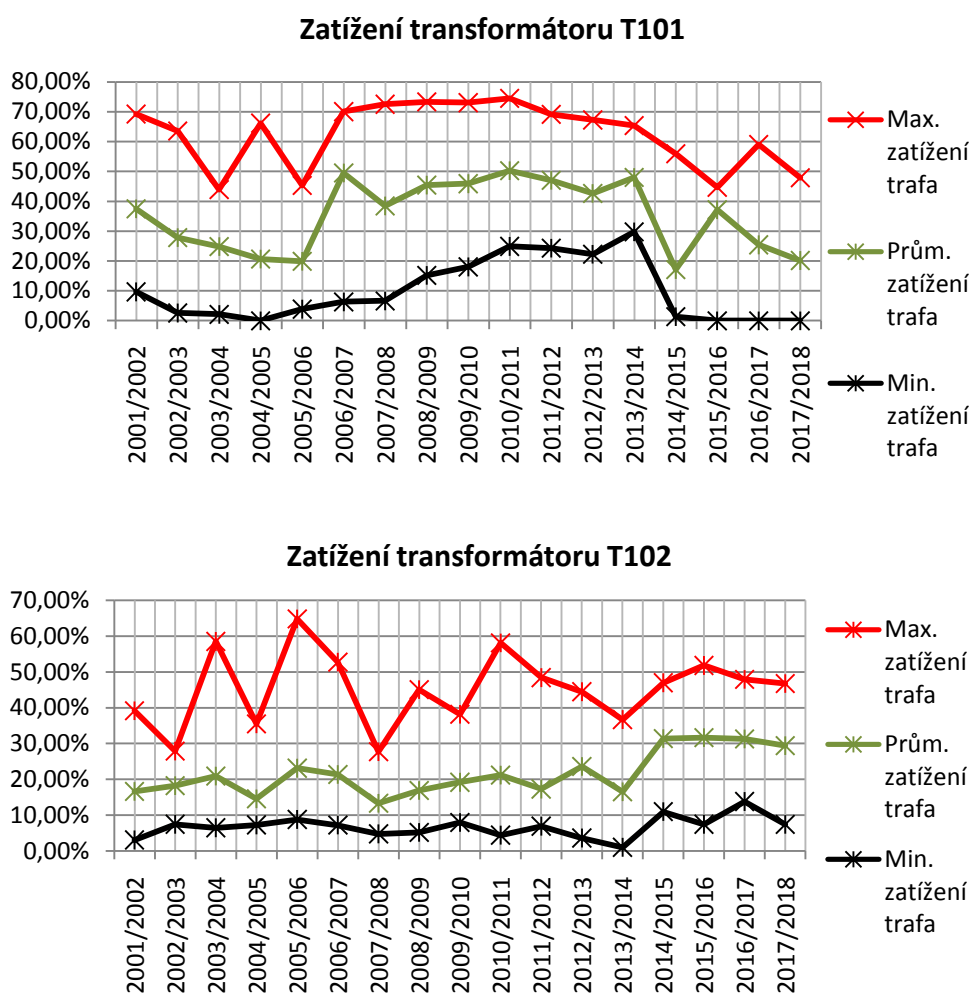
ale jejich vliv v období zimního měření není velký. Jejich oddělení z parametrů měření je velmi obtížné, proto jsem se rozhodl je neoddělovat.

Transformátory na rozvodně Mladé jsou označeny T101 a T102. Vývoj ročních dodávek do transformovny je zobrazen na grafech obrázku č. 18.



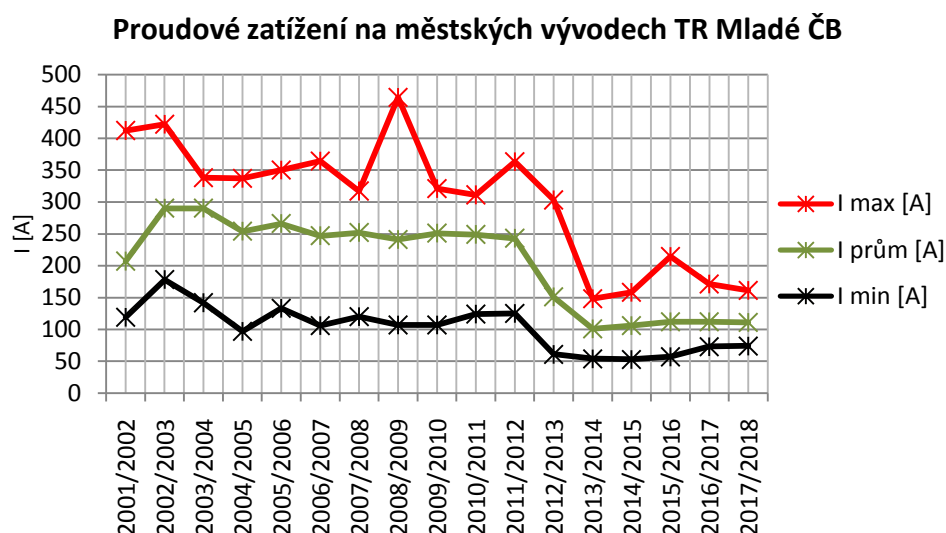
Obr. 18: Proudové zatížení transformátoru T101 a T102 a součet obou transformátorů

Na obr. 19 jsou zobrazené grafy zatížení transformátorů. Lze si všimnout, že v maximech u T101 docházelo přetěžování transformátorů až k 75 %, ale v průměrné hodnoty zatížení ustálí na 50 %, což je povolené dlouhodobé zatížení na transformátorech vvn/vn. Od roku 2011 je T101 odlehčován. U T102 je vidět od roku 2001 do 2014 provoz v průměru na 20 %. Transformátor sloužil k vyrovnávání špiček při odpojení fotovoltaik, proto hodnoty maxima dosahovaly místy až k 65 %. Od roku 2014 se hodnoty postupně navyšují, protože dochází k výstavbě nových rodinných domů na linkách, které napájí transformátor T102.



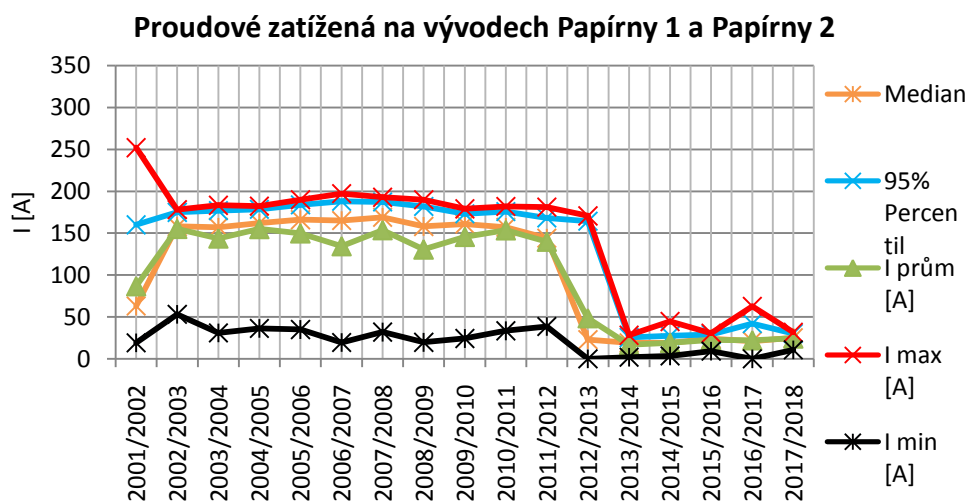
Obr. 19: Procentuální zatížení transformátorů T101 a T102

V roce 2015 došlo k rekonfiguraci sítě a následně se transformovna odlehčila. Je to i z důvodu poklesu odběrů průmyslových závodů, kde probíhala rekonstrukce a rušení výrobních závodů. Lze si tento pokles ukázat na grafu pro městské vývody (S2, Papírny 1, Papírny 2, Východ 2, Okruh 1). V maximech je zde pokles o 300 A, což v přepočtu odpovídá pokles o zdánlivému výkonu 11,95 MVA (30% pokles zatížení).



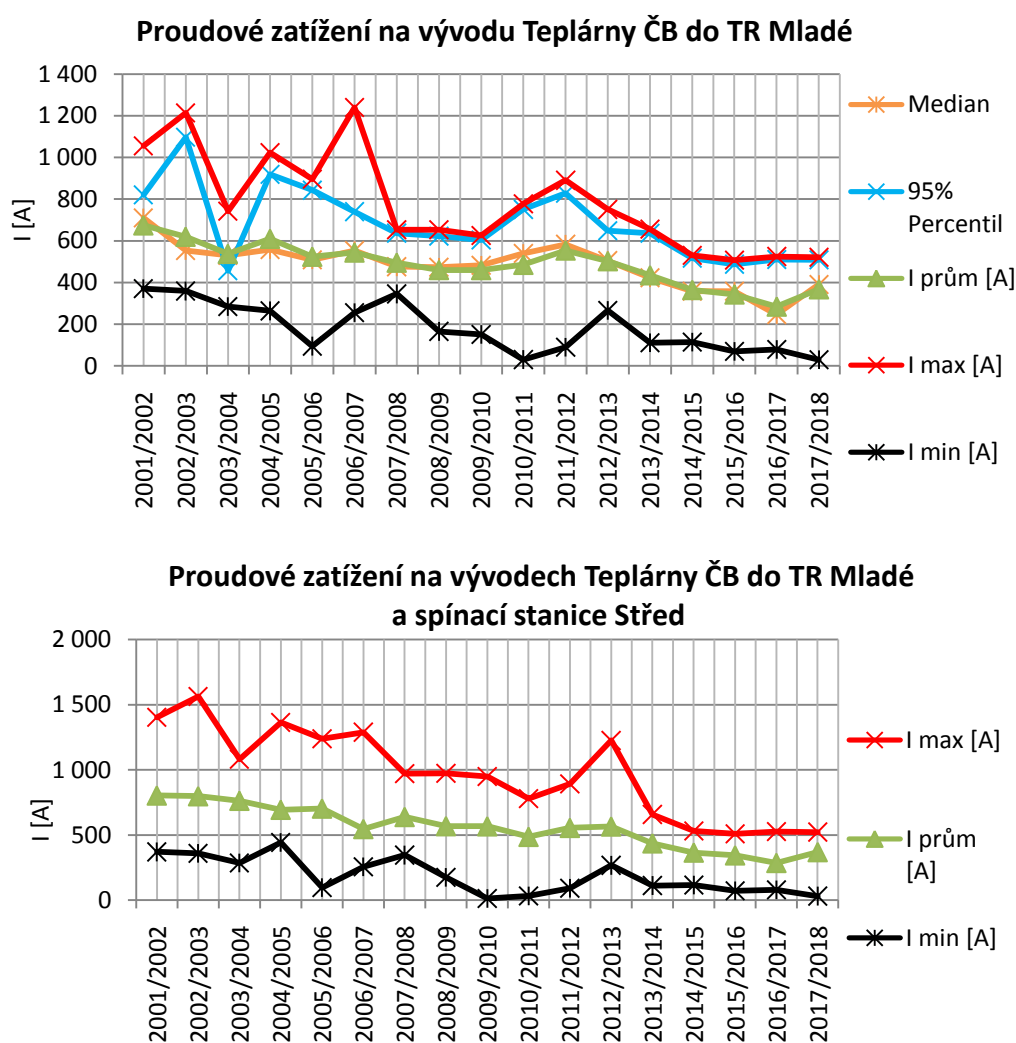
Obr. 20: Proudové zatížení na městských vývodech TR Mladé ČB

Úbytek zatížení byl způsoben v roce 2012 z důvodu odkoupení společnosti Duropack Bupak Papírny, s.r.o. firmou Mondi. Tento nový vlastník se rozhodl uzavřít linku na výrobu papíru, který začal odebírat z výroby Větrní. Tímto krokem byla dotčená i společnost Teplárna České Budějovice, protože do českobudějovické papírny dodávala nejen teplo (od roku 1951), ale i elektrickou energii. Odběr tepla, který dodávala Teplárna ČB do papírny činil téměř 23 % z celkového množství vyrobeného tepla. Dále společnost Mondi činila další kroky k úspoře elektrické energie. Ať se jedná o provozní úspory, ale i o výměnu starších strojů s velkým odběrem za stroje modernější. Tento pokles elektrické energie je patrný na obr. 21, který zobrazuje meziroční propad odběru. Nově se v roce 4 / 2020 v Mondi Bupak, s.r.o staví nová linka na výrobu vlnité lepenky, která nahradí stávající.



Obr. 21: Proudové zatížení na vývodech Papírny 1 a Papírny 2

Jak již bylo řečeno, tyto skutečnosti mají velký vliv na výrobu Teplárny ČB, která dodává teplo po Českých Budějovicích. Od roku 2013 Teplárna provedla velkou optimalizaci, proto je patrný prudký pokles výroby v maximech až o 680 A (což je až 27,1 MVA). V průměrných hodnotách se pohybujeme okolo 300 A (12 MVA). Na odběr z teplárny má také vliv okolní prostředí. Z důvodu teplejších zimních měsíců také klesá potřeba vyrábět takové množství tepla, které bylo potřeba před 10 - 15 lety, proto je z grafů patrný velký pokles výroby. Teplárně dále klesnou odběry tepla z důvodu stavby nového teplovodu z jaderné elektrárny Temelín do Českých Budějovic. Napájet má především sídliště na začátku Českých Budějovic. Počítá se s celkovým poklesem vyrobeného tepla v teplárně o 1 / 3 ze současného stavu.

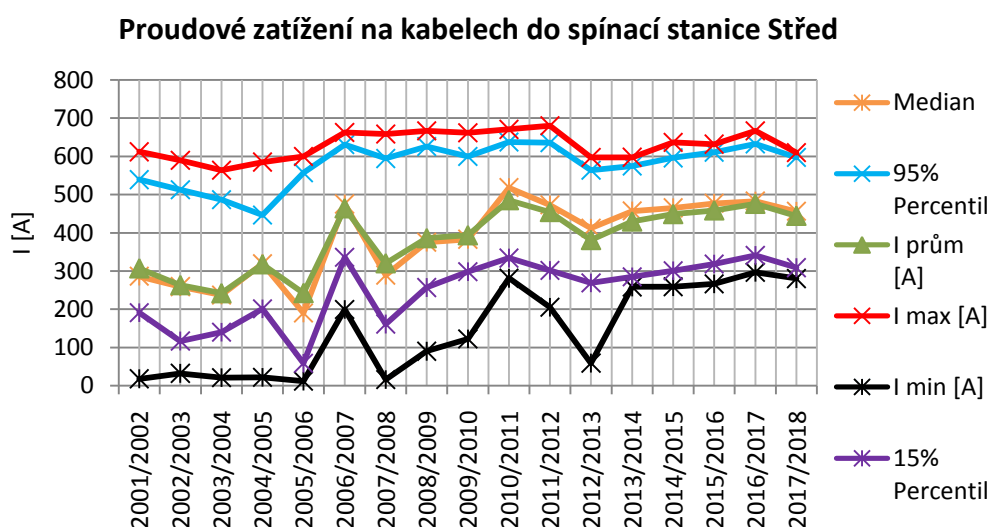


Obr. 22: Proudové zatížení na vývodech Teplárny ČB do TR Mladé a celkový součet všech vývodů vycházející z Teplárny ČB

Nutno říci, že Teplárna ČB provádí velké úpravy na technologii, aby splnila potřebné ekologické normy a potřebnou poptávku na teplo a elektrickou energii.

Například v roce 2011 došlo k náhradě dřívějšího generátoru TG3 novým TG6 o výkonu 12 MW. V roce 2015 dokončila odsíření uhelných kotlů a provedla úpravu generátoru TG5 z výkonu 29,2 MW na 14,6 MW, kde došlo ke zvětšení účinnosti turbosoustrojí.

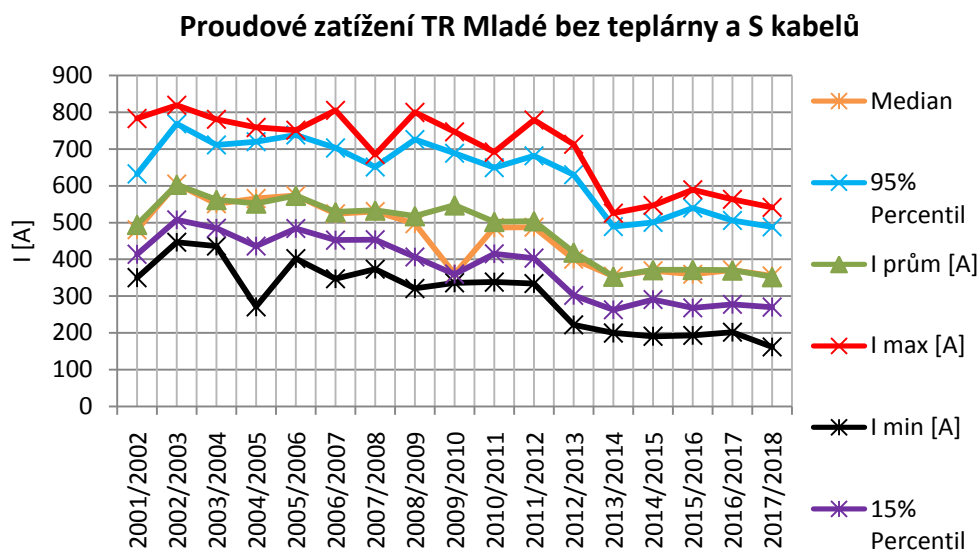
Dále se zaměřím na napájení samotné spínací stanice Střed. Jak již bylo řečeno, tak stanice je napájena pomocí třech kabelů 3 x AXEKCEY 240. Celkové zatížení je zobrazeno na obr. 23. Je zde také započítáno občasné napájení pomocí kabelu S2. Tento kabel slouží pro napájení 22 kV spotřeby, ale lze ho i využít pro částečné napájení samotné stanice. Jednotlivé zatížení kabelů je uvedeno v příloze 2.



Obr. 23: Proudové zatížení na vývodech do spínací stanice Střed

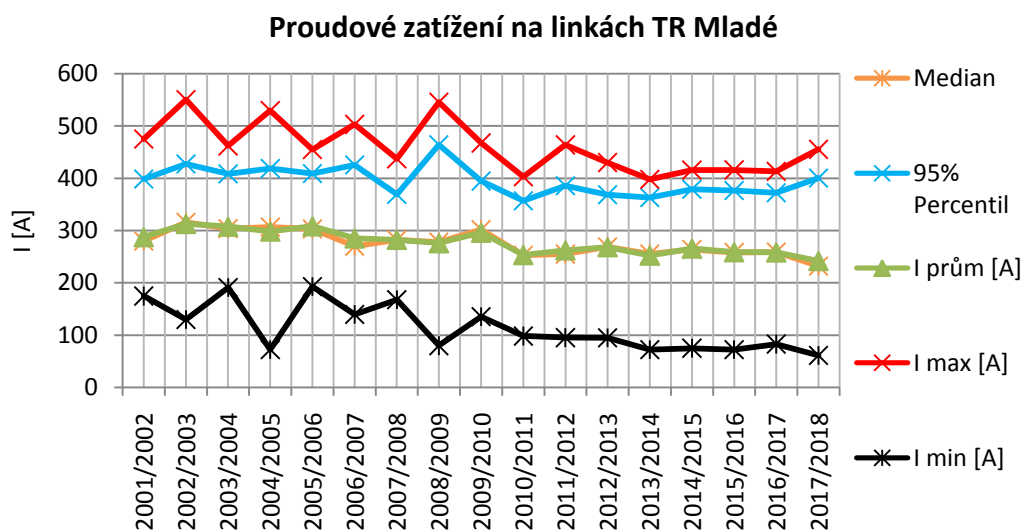
Z grafu obr. 23 proudového zatížení je patrný postupný nárůst odběrů elektrické energie. Od druhé poloviny roku 2012 je vidět, jak množství distribuované elektrické energie na vývodech ze spínací stanice meziročně roste až k druhé polovině roku 2017. Jedná se nejspíše o pokles napájení pro vlastní spotřebu Teplárny ČB. Maxima a minima v grafech mohou být způsobena náhodnými poruchami a přepojením části sítě mezi spínacími stanicemi. Spínací stanice Střed je spojena s dalšími spínacími stanicemi jako je Východ a Jih, které jsou následně propojené s transformovny 110/22 kV Škoda a Sever.

Následující graf (obr. 24) ukazuje zatížení transformovny Mladé bez napájení spínací stanice a bez přívodu teplárny. Celkové odběry ze stanice jsou od roku 2013 téměř konstantní. Důvodem téměř konstantního odběru spínací stanice je proměnlivost odběrů na některých vývodech, tj. zatížení u některých vývodů (linky) během roku klesají a některé zase stoupají. Zprůměrováním těchto hodnot získám právě tuto hodnotu cca 350 A, což odpovídá výkonu 14 MVA.



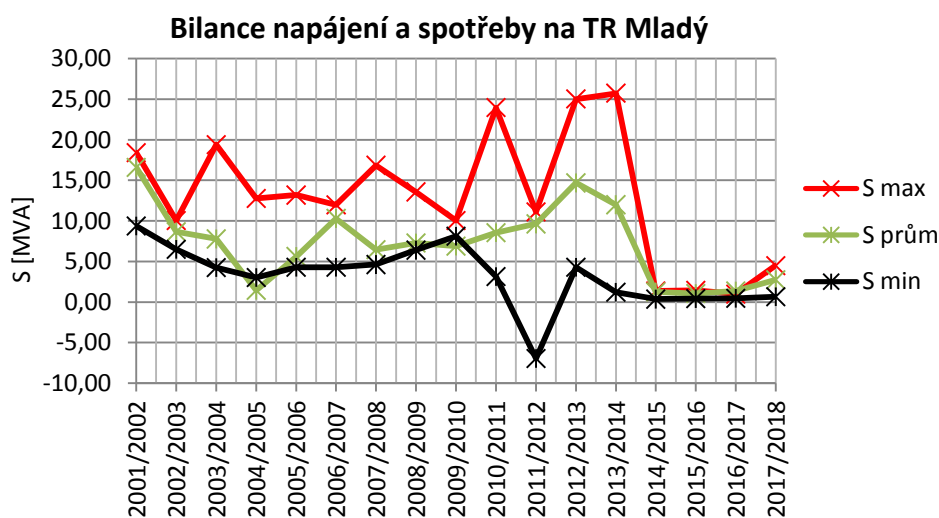
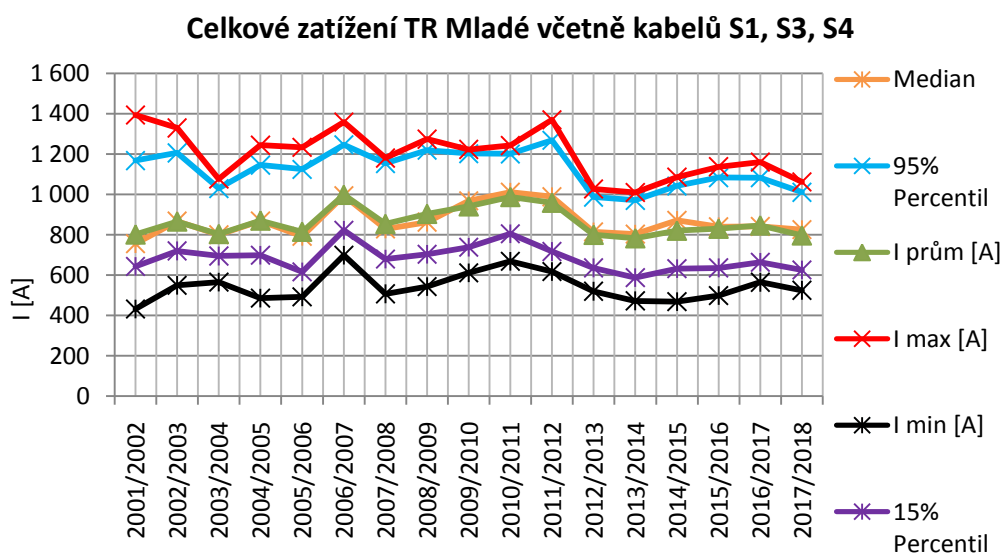
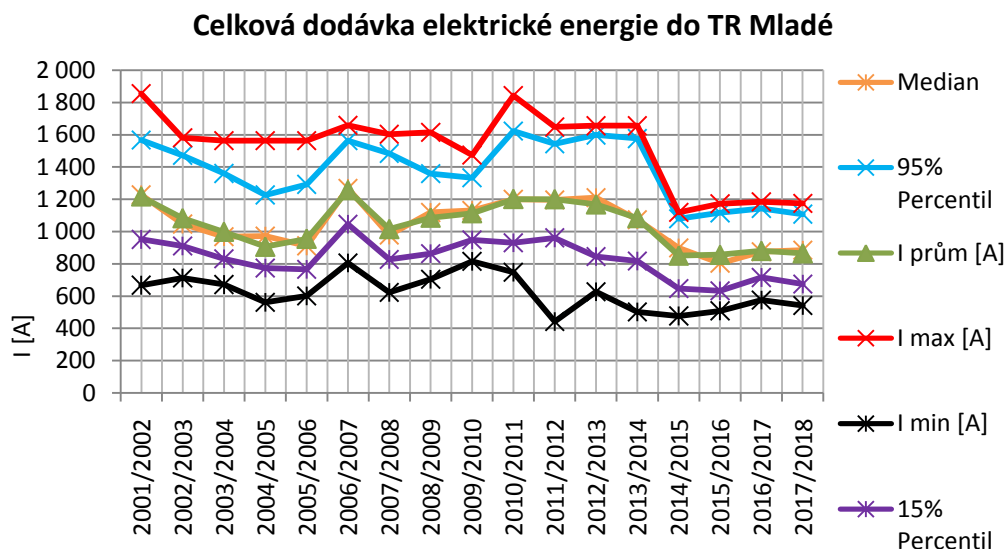
Obr. 24: Proudové zatížení TR Mladé bez S kabelů a přívodu teplárny

Vývoj proudového zatížení na linkách Velešín, Borovany, Vidov, Ločenice a Plav je znázorněn na obrázku 25. V tomto grafu není uvedena linka Okruh 1, protože je zahrnuta v grafu pro městské vývody. Je patrné, že průměr těchto linek se do roku 2006 pohybuje okolo hodnoty 300 A. Poté zatížení lehce kleslo k hodnotě 250 A (10 MVA).



Obr. 25: Proudové zatížení linek na TR Mladé

Nakonec se zaměřím na celkovou bilanci transformovny Mladé. Celková dodávka do transformovny je znázorněna na horním obr. 26. Ten zobrazuje stav, o kterém jsem se zmiňoval již dříve. Od roku 2012 došlo ke snížení přívodu elektrické energie. Stabilizace nastala po roce 2015, která je pravděpodobně zapříčiněna rekonfigurací sítě a dokončenými úpravami generátorů v Teplárně ČB.



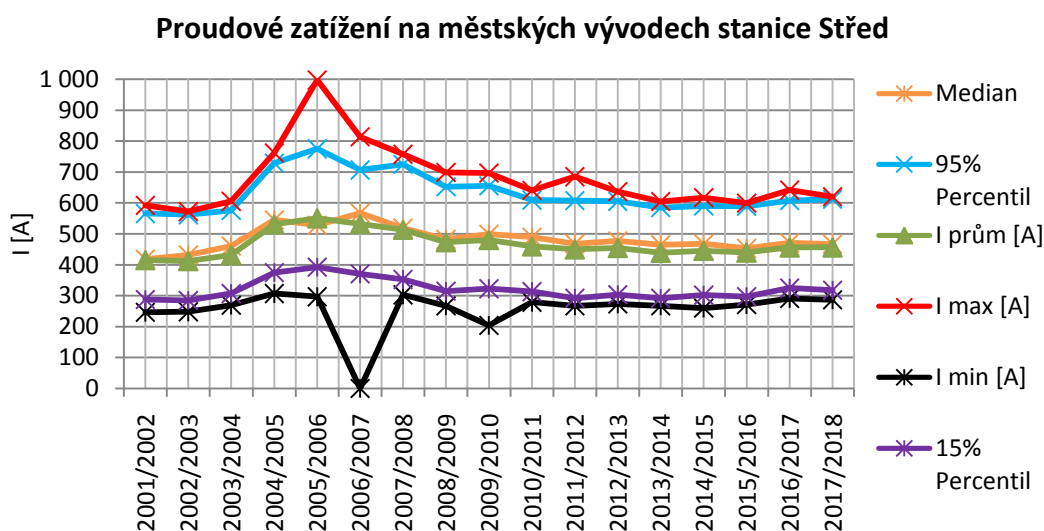
Obr. 26: Celkové zatížení, dodávka a bilance pro TR Mladé

Následuje graf zobrazující celkový vývod z transformovny (obr. 26 uprostřed). Zde vidím postupný nárůst zatížení i po odlehčení sítě od roku 2012. Tento trend bude postupovat i v následujících letech.

Celková bilance přívodu k vývodu je zobrazena na spodním grafu obr. 26. Poslední čtyři roky vychází průměrné hodnoty přívodu a vývodu téměř vyrovnané. Dle upravených dat, které jsou k dispozici nevykazuje měření v maximech ani průměrných hodnotách zápornou bilanci. V minimech se v posledních letech objevila záporná bilance, která může být způsobená i chybou v úpravě dat z měření. Z interní dokumentace společnosti E.ON vyplývá, že i když se to ve vypracované analýze nepotvrdilo, tak dochází k záporné bilanci v posledních letech, proto je v plánu této stanici do budoucnosti ulevit a postavit novou 110 kV rozvodnu Střed a připravit síť na následující roky dopředu.

4.3 Vývoj zatížení na spínací stanici Střed

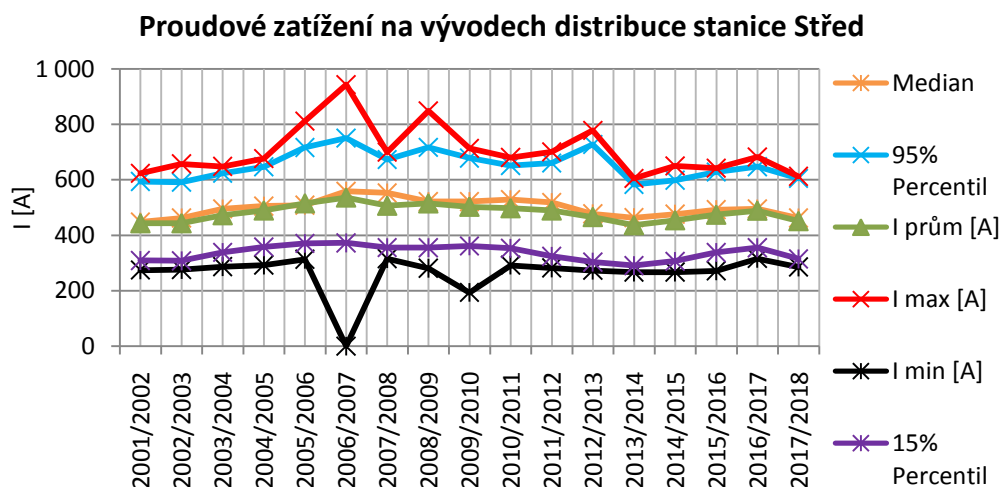
Zatížení na spínací stanici Střed je zobrazeno na obr. 27. Jedná se o zobrazení městských vývodů a obr. 28 zobrazuje vývody pro distribuci, do které se zahrnuje i vlastní spotřeba teplárny. Graf proudového zatížení na městských vývodech vykazuje pomalu rostoucí charakter s průměrnou hodnotou 450 A (18 MVA). V grafu je zobrazení napájení obou přípojníc (TR Mladé + TR Sever).



Obr. 27: Proudové zatížení na městských vývodech spínací stanice Střed

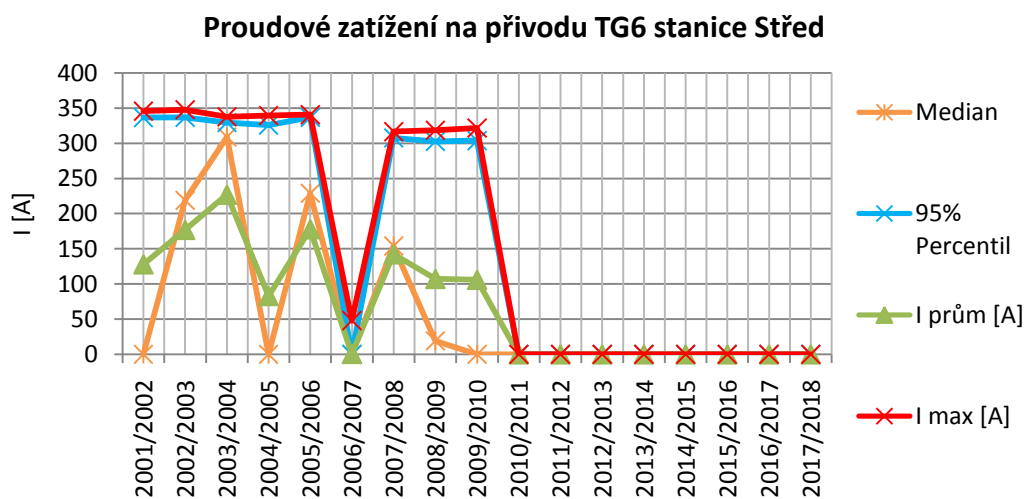
Do městských vývodů se zahrnují vývody: Východ, Sever, H. Kolonie, Jih, Nádraží, Tesla, KNV, Alešova a Prior. Vývoj zatížení na vývodech pro distribuci má lehce sinusový tvar. Jelikož je do grafu zahrnut i odběr pro vlastní spotřebu teplárny, tak s ní je spojen i tvar charakteristiky. Lze si i ověřit správnost grafů, kde je vidět, že např. v měřeném období 2017/2018 se přivádí do stanice 612 A a vývod do distribuce je 610 A.

Proudové zatížení distribuce zahrnuje vlastní spotřebu Teplárny ČB, H. Kolonii, Jih, Nádraží, Teslu, KNV, Alešova a Prior. Proudové zatížení na vývodech distribuce napájí transformovna Mladé (přípojnice A stanice Střed).



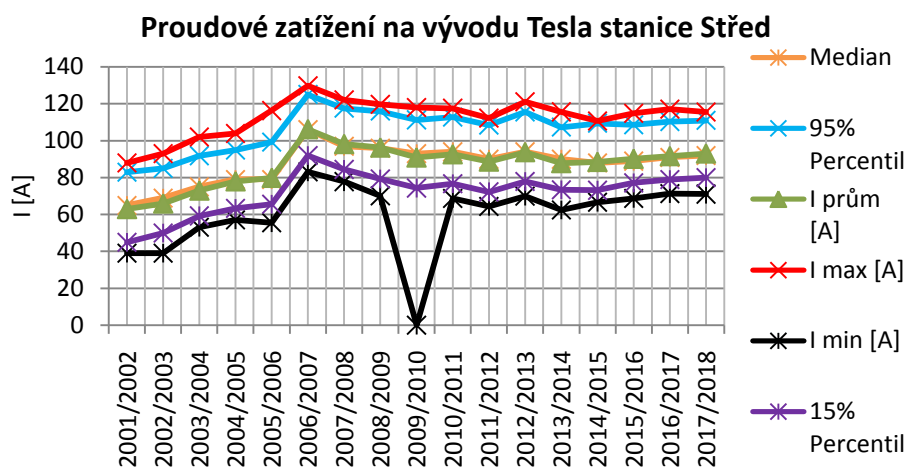
Obr. 28: Proudové zatížení na vývodech distribuce spínací stanice Střed

Do spínací stanice Střed je přiveden generátor TG6. Průběh výroby je zobrazen na obr. 29. Od roku 2011 je v zimních měsících generátor odstaven, protože provoz Teplárny ČB se optimalizoval na zimní a letní režim výroby. Vývod Teplárna, který vyvádí výkon z generátoru TG5 na spínací stanici Střed byl využit pouze jednou v prosinci roku 2012, kde se do stanice dodával v maximech 10,3 MW.



Obr. 29: Proudové zatížení generátoru TG6 spínací stanice Střed

Pro ukázkou vývodů stanice Střed je zde zobrazen vývod Tesla. Tento vývod zásobuje průmyslové závody a výrobní. Ať už se jedná o zásobení elektrické energie pro společnosti EGE, Dopravní podnik, Akuterm, Prádelnu ČB a další. V příloze 3 jsou uvedeny další vývody spínací stanice Střed.



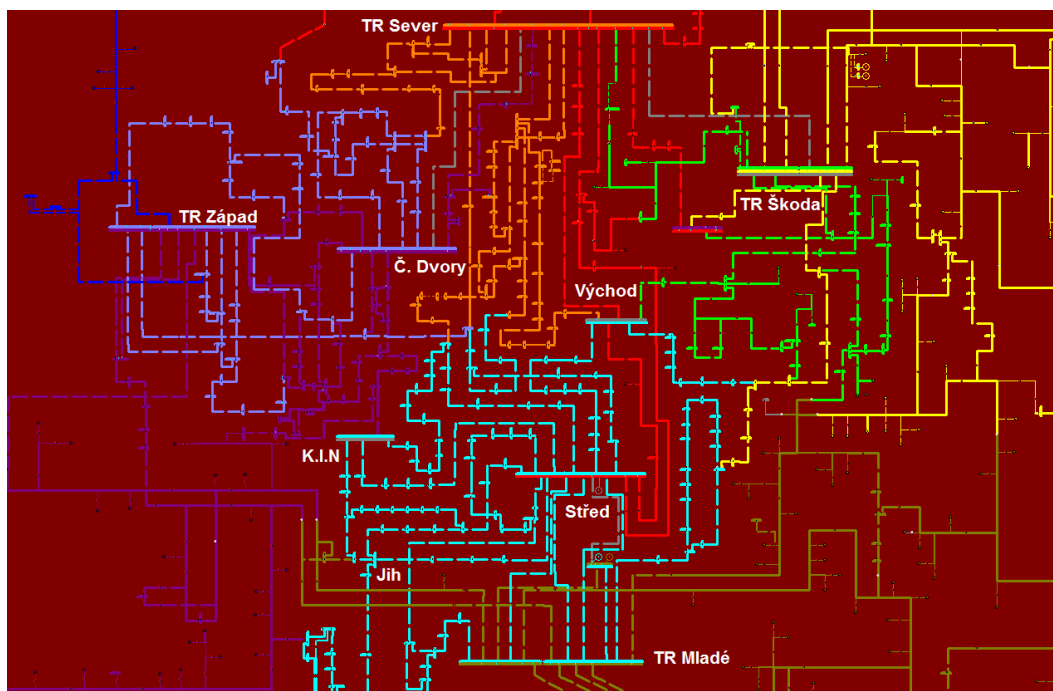
Obr. 30: Proudové zatížení vývodu Tesla spínací stanice Střed

5 Simulace výkonových poměrů na vývodech v oblasti stanice Střed

V této kapitole se zaměřím na zobrazení zapojení stanic v Českých Budějovicích dle platného dispečerského schématu v programu Daisy Bizon. Tyto data ve studii nejprve odladím na zobrazení minimálního a maximálního stavu sítě vysokého napětí dle naměřených hodnot zatížení a poté tuto spínací stanici předělám na transformovnu. Úkolem této kapitoly je navrhnout a upravit vývody vysokého napětí nové transformovny Střed, které povedou k optimalizaci celé struktury sítě 22 kV. Dále se budu zabývat volbou počtu nových transformátorů, jejich nasazení a zálohování takto vytvořené stanice.

Nejprve je nejdůležitější vytvořit a upravit studii. Struktura sítě v navržené studii je patrná z obrázku 31. Toto zapojení je momentálně platné a veškeré vývody jsou zapojené dle schématu. Na obrázku jsou zobrazené stanice pro napájení sítě vn v Českých Budějovicích. Jedná se o čtveřici rozvodů 110/22 kV (Sever, Škoda, Mladé a Západ) a pětici spínacích stanic (Východ, Jih, KIN, Střed a Čtyři Dvory). Program není moc intuitivní, ale již při vytváření každé nové přípojnice se musí nastavit, zda se jedná o přípojnicí napájecí, odběrovou, meziodběrovou nebo pomocnou. Tímto staniční přípojnicí dostane své barevné označení (TR Mladé - světle modrá přípojnice A, tmavě zeleně je zobrazená přípojnice B, TR Západ - světle fialová přípojnice A a purpurově je zobrazená přípojnice B, atd). Jedná-li se o spínací stanici, tak napájená přípojnice přejímá barevné označení dle transformovny, která ji napájí. Každý vývod ze stanice se musí definovat jako kmenová linka, který nese své označení a parametry (délku, odběry, typ vodiče, atd.). Pomocí této linky se vypočítá proudové zatížení daného vývodu a následně výkonové zatížení.

U Teplárny ČB je patrné ze schématu zjednodušení, protože teplárna má generátory na napěťové hladině 6,3 kV. Z teplárny je odebírána vlastní spotřeba pro provoz a následně se výkon vyvádí na stanice Střed a Mladé již transformovaný na hladinu 22 kV. Já jsem zobrazil pouze dodávaný výkon z přípojníc 22 kV (pro výpočet zkratových poměrů se toto zjednodušení použít nedá a je nutné schéma dodělat na kompletní zapojení).



Obr. 31: Znárodnění sítě VN v Českých Budějovicích

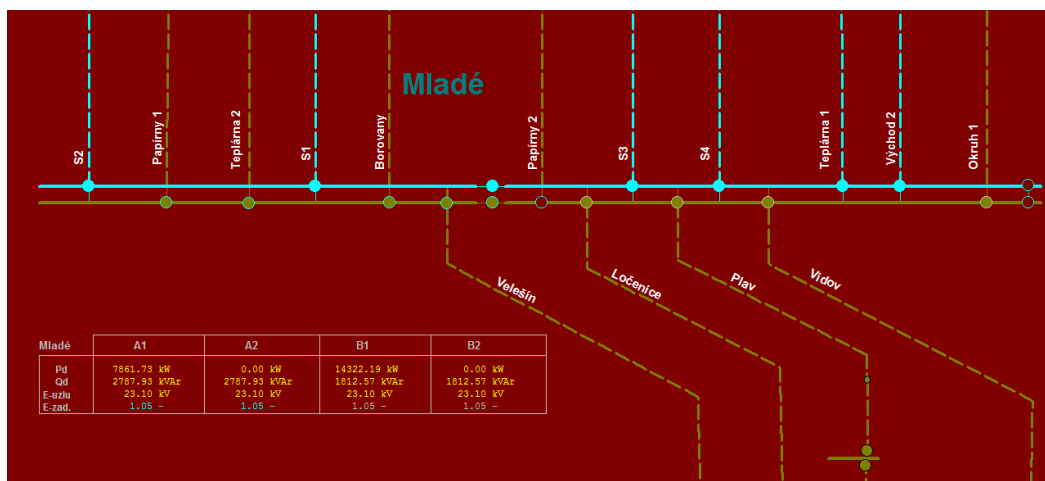
5.1 Současný stav stanice Střed a TR Mladé pro maximální a minimální zatížení

Pro zobrazení správného výsledku sítě je důležité si do připravené studie vložit data a provést nezbytné výpočty (zatížení kmenových linek, spočítat propojení sítě a výpočty ustáleného chodu sítě). Využijí nejnovější dostupná data z přelomu roku 2017/2018.

Nejprve se zaměřím na maximální zatížení. Hodnoty, které do programu vkládám, jsem vybral jako maximální výsledný součet zatížení všech vývodů za jednotlivé měřené hodiny v daných měsících. Měření probíhalo vždy každou druhou středu v měsíci celý den (v celé hodiny). Výsledné maximum zatížení jsem našel dne 13.12.2017 v 8:00.

Nejdříve se zaměřím na TR Mladé. Tato stanice má dva systémy přípojníc. Na přípojnicí A jsou zapojené veškeré kabelové sítě (S1, S2, S3, S4, Teplárna 1 a Východ 2). Na tuto přípojnicí je přiveden zdroj TG4, který na přípojnicí dodává činný výkon 20,1 MW, proto je transformátor T101 na dané přípojnicí zatížen pouze na 25,6 %. Pokud by teplárna nedodávala výkon, tak dojde k přetížení transformátorů v maximech až k 70,1 %, což by odpovídalo pro maxima na transformátorech pro předchozí roky.

Přípojnice B je využívána pro linky venkovního vedení (Papírny 1, Borovany, Velešín, Ločenice, Plav, Vidov, Okruh 1 a Teplárna 2 (TG5)). Teplárna dodává na přípojnici výkon 0,5 MW.



Obr. 32: Maximální zatížení pro TR Mladé

Přípojnice B je využívána pro linky venkovního vedení (Papírny 1, Borovany, Velešín, Ločenice, Plav, Vidov, Okruh 1 a Teplárna 2 (TG5)). Teplárna dodává na přípojnici výkon 0,5 MW. Transformátor T102 na dané přípojnici je v maximu zatížen na 37 %. Toto zatížení odpovídá 14,8 MVA a splňuje zatížení transformátorů vn do 50 %. Porovnání skutečnosti a výpočtu ze studie je znázorněn v tabulce č.3.

Tab. 3: Maximální zatížení vývodů TR Mladé - přípojnice A

Vývod	S2	S1	S3	S4	Teplárna 1	Východ 2
Naměřený I [A]	27,42	186,03	202,8	204,8	496,7	40,17
Vypočtený I [A]	24,84	209,6	213,68	222,45	496,12	36,41

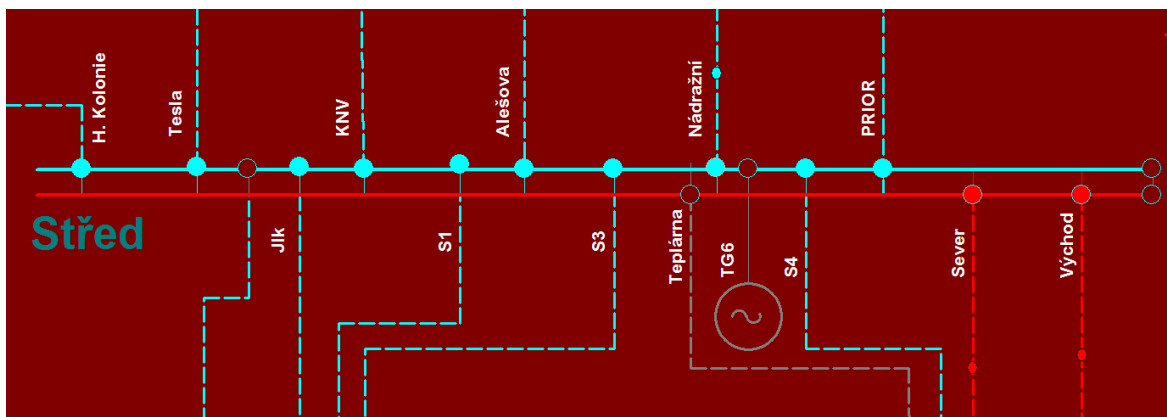
Je patrné, že veškeré hodnoty, které jsou v tabulce, až na kabely, které napájí spínací stanici téměř odpovídají měření. Jednotlivé rozdíly mohou být způsobeny výpočetní metodou, ale i vlivem zaokrouhlování. U kabelů S1, S3, S4 jsou hodnoty vyšší z důvodu větších vypočítaných odběrů ze spínací stanice Střed, protože vývody a zátěže jsem nastavil na nejhorší možný stav.

Do přípojnice B jsou připojené dvě fotovoltaické elektrárny (FVE Borovany a FVE Ledenice), které jsou v zobrazeném stavu odpojené. Pokud je do studie započítám, tak výsledné zatížení transformátoru T102 klesne na 35,8 %.

Tab.4: Maximální zatížení vývodů TR Mladé - přípojnice B

Vývod	Papírny 1	Teplárna 2	Borovany	Velešín	Ločenice	Plav	Vidov	Okruh 1
Naměřený I [A]	22,59	11	57,84	108,22	79,9	3,4	90,7	39,02
Vypočtený I [A]	20,68	10,6	54,62	103,14	76,46	4,47	86,55	36,36

Dále se zaměřím na spínací stanici Střed. Spínací stanice má jednu přípojnicí (A) napájenou z TR Mladé, druhá (B) je napájena z TR Sever. Obě přípojnice je možné propojit, pokud by došlo k problému na jedné z trafostanic, jen je nutné dát pozor na paralelní chod.



Obr. 33: Spínací stanice Střed

Ze spínací stanice Střed jsou napájeny z přípojnice A další tři spínací stanice. Pomocí vývodu Nádraží je napájena spínací stanice Východ. Spínací stanice Jih má vlastní vývod ze Středu, který je přiveden společně s vývodem KNV do spínací stanice KIN. Další aktivní vývody jsou: Tesla (firemní odběry), Alešova, H. Kolonie, Prior. Na přípojnici B je umístěn pouze jediný vývod Východ.

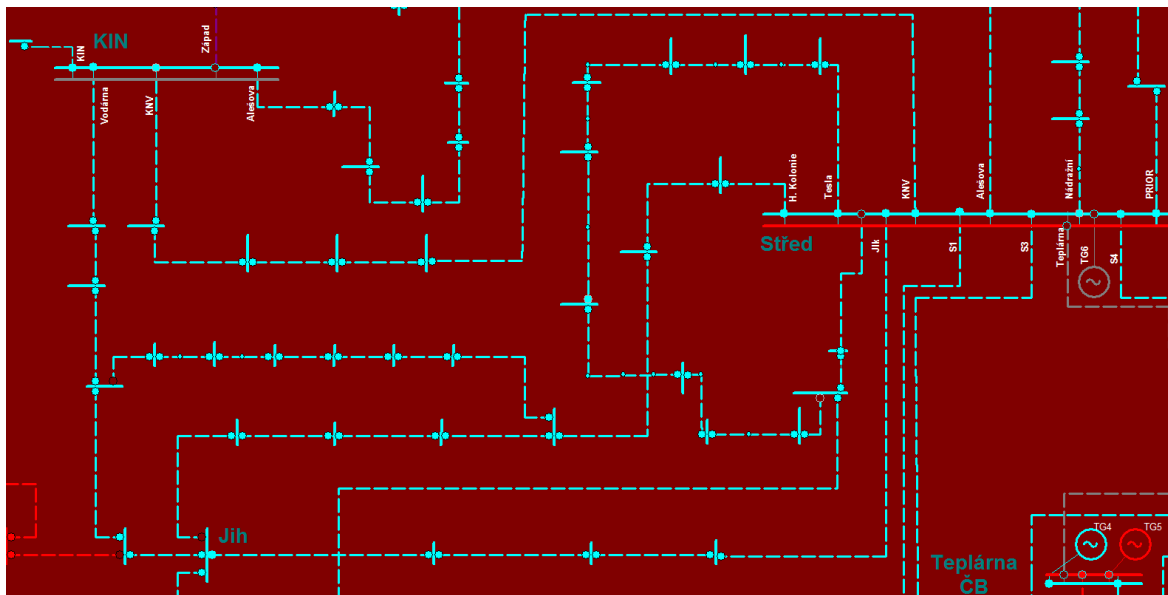
Tab.5: Maximální zatížení vývodů stanice Střed

Vývod	H.Kolonie	Tesla	Jih	KNV	Alešova	Sever	Nádraží	Prior	Východ
Naměřený I [A]	59,42	113,8	113,57	123,67	28,36	4,69	92,95	66,23	4,57
Vypočtený I [A]	55,24	108,06	97,28	190,2	30,86	8,2	106,63	62,24	4,15

Pokud prohlédnu tabulku vývodů, tak zjistím, že jediný vývod, který se liší velkou hodnotou je KNV. Tento vývod napájí velké odběratele jako jsou Střední průmyslová škola strojní a elektrotechnická ČB, školní jídelna U Tří lvů, Jihočeská vědecká knihovna, Krajský úřad, atd. Přívod do spínací stanice KIN má být dle měření 101,6 A, proto mi nepřijde jako reálná hodnota 123,67 A na spínací stanici Střed. Spínací stanice KIN napájí výrobu KOH-I-NOR, vývod Alešova, vývod Vodárna a část sítě Jih, která vede do Nemocnice ČB, která musí mít zajištěný 1. stupeň zabezpečení dodávky (napájení ze dvou zdrojů). U stanice Nemocnice je ještě záložní vývod napájený z TR Západ, ale ten je momentálně odpojený. Z reálného měření ze stanice KIN je nutné poznamenat, že vývod Vodárna odebírá ze stanice 16,17 A, proto jsou hodnoty KNV trochu jiné. Ve výpočtu dodává výkon do stanice KIN jak vývod Vodárna, tak i KNV, proto je o tuto hodnotu zmenšený i vývod Jih TR Střed. Mapka zapojení je zobrazena na obr. 34.

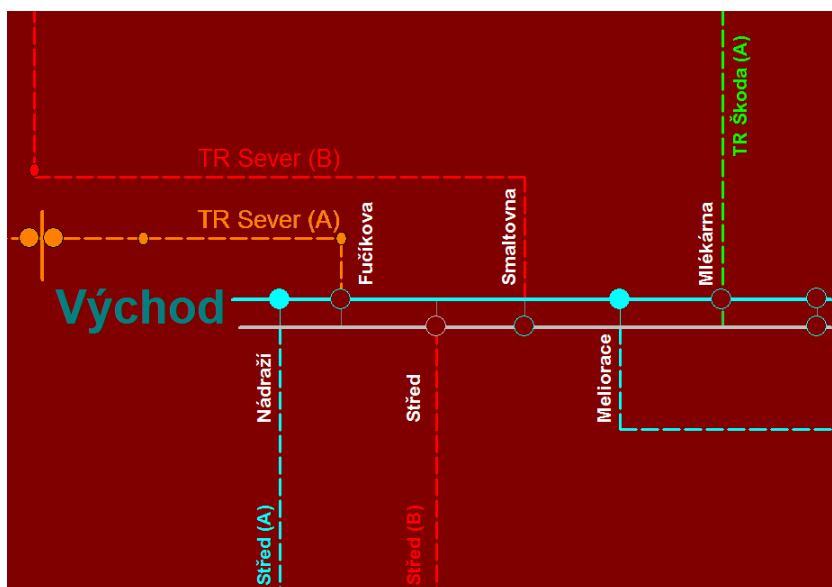
Tab.6: Tabulka maximálního zatížení spínací stanice KIN

Vývod	KIN	KNV	Alešova	Vodárna
Naměřený I [A]	29,54	101,6	57,19	16,17
Vypočtený I [A]	26,52	76,7	58,1	10,2



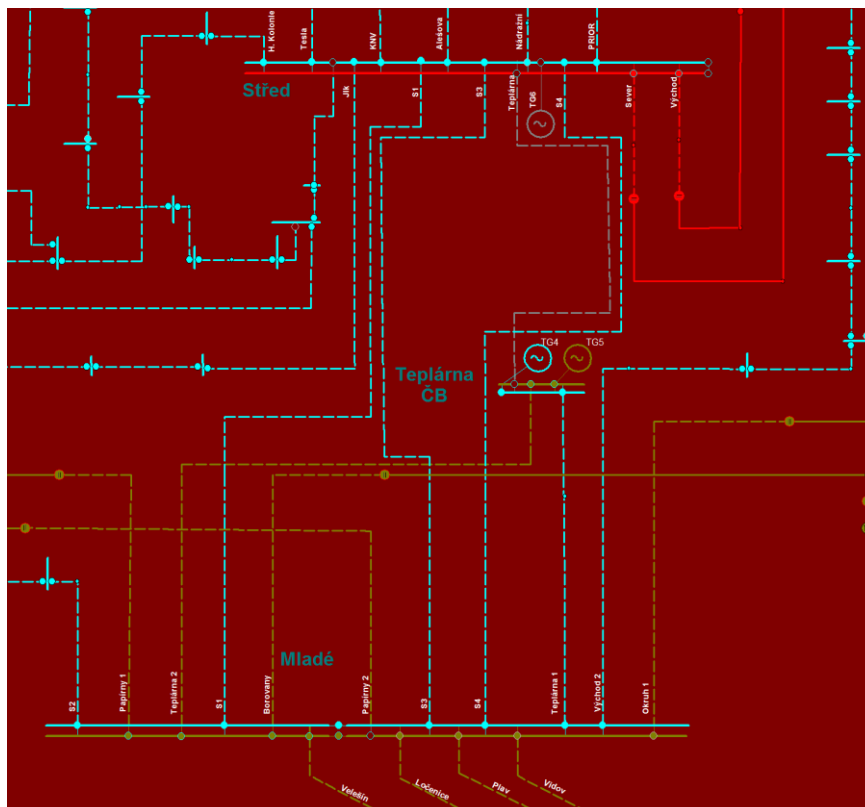
Obr. 34: Zapojení spínací stanice KIN ze spínací stanice Střed

Spínací stanice Východ má napájenou aktivní (A) přípojnici z TR Střed přes vývod Nádrazí. Z této stanice se napájí vývod Meliorace. Tento vývod odebírá dle skutečného měření v maximech 19,95 A. Dle výpočtu vychází 18,02 A, což je v toleranci.



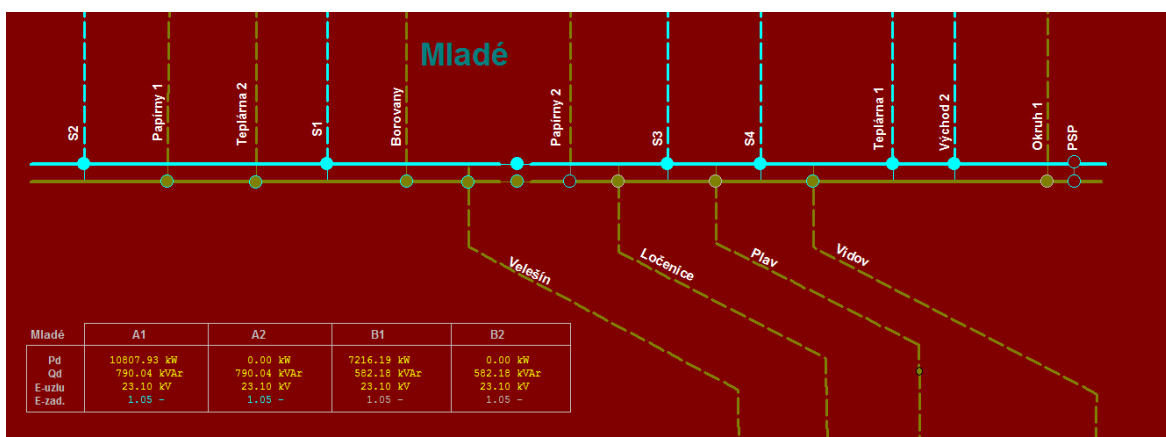
Obr. 35: Spínací stanice Východ

Zobrazení oblasti mezi TR Mladé a stanicí Střed je zobrazen v detailu na obr. 36. Takto vypracovaná studie odpovídá maximálnímu zatížení vývodů z jednotlivých stanic ze dne 13.12.2017.



Obr. 36: Oblast mezi TR Mladé a spínací stanicí Střed

Simulace minimálního zatížení sítě se využívá k zobrazení sítě při minimálním odběru z měřeného období, aby bylo možné nastavit síť. Ať už se jedná o využívání výkonu z Teplárny ČB, ale i jiných obnovitelných zdrojů. Nejmenší odběr je v měřeném období dne 11.4.2018 ve 24:00. Minimální zatížení popíši schématem pouze pro TR Mladé, zbytek tabulkově, abych neopakoval schémata zapojení, která jsou stejná a mění se pouze hodnoty zatížení. Opět nejprve začnu transformovnou Mladé. Zde je na přípojnici A přiveden výkon z Teplárny ČB o velikosti 4,55 MW, proto výsledné zatížení transformátoru je 27,5 %.



Obr. 37: TR Mladé - minimální zatížení

Transformátor T102 přípojnice B je zatížen v minimálním stavu sítě na 18 %. Teplárna dodává na přípojnici B výkon 0,5 MW z generátoru TG5. Zatížení jednotlivých vývodů je zobrazeno v tabulce 7 a 8.

Tab. 7: Minimální zatížení vývodů TR Mladé - přípojnice A

Vývod	S2	S1	S3	S4	Východ 2	Teplárna 1
Naměřený I [A]	13,7	105,6	105,3	107,5	18,9	113,9
Vypočtený I [A]	12,77	116,12	118,36	123,2	16,52	113,4

Tab.8: Minimální zatížení vývodů TR Mladé - přípojnice B

Vývod	Papírny 1	Teplárna 2	Borovany	Velešín	Ločenice	Plav	Vidov	Okruh 1
Naměřený I [A]	23,38	11,13	31,91	46,77	28,13	3	57,76	18,11
Vypočtený I [A]	21,42	11,01	29,76	43,47	26,02	4	55,83	16,52

Opět zde jsou zvýšené odběry vývodů do spínací stanice Střed, které vysvětlím v následujícím odstavci. Ostatní vývody jsou dle předpokladů. Hodnoty jsou menší než požadované, ale to je způsobeno dle zvolené výpočetní metody a nastavení odběrů. Zatížení spínací stanice Střed je zobrazené v tabulce 9.

Tab.9: Minimální zatížení vývodů stanice Střed

Vývod	H.Kolonie	Tesla	Jih	KNV	Alešova	Nádraží	Prior	Východ	Sever
Naměřený I [A]	25,78	83,92	45,94	43,7	11,02	53,56	22,5	0	0
Vypočtený I [A]	23,42	79,11	47,82	125,08	10,01	56,11	20,5	0	0

U vývodu KNV je stejný problém jak v maximálním zatížení, proto je hodnota více jak 2,5 krát větší. Vývod Jih s vývodem KIN souvisí, proto je jeho hodnota také zvýšená. Na vývodu Východ je odběr nulový a tudíž odpojený. Ostatní hodnoty odpovídají téměř naměřeným hodnotám.

Spínací stanici KIN je znázorněna v tabulce č. 10. Je patrné, že přívod do spínací stanice je tentokrát přiveden z větší míry přes přívod Vodárna (vývod Jih ze spínací stanice Střed). Oproti měření, kde vypadá, že ze spínací stanice odebírá vývod Vodárna energii (ze spínací stanice KIN), tak zde je energie přiváděna (nejspíše dle logiky výpočtu).

Tab.10: Tabulka minimálního zatížení spínací stanice KIN

Vývod	KIN	KNV	Alešova	Vodárna
Naměřený I [A]	6	38,56	22,15	12,07
Vypočtený I [A]	5,9	13,17	21,91	16,26

Spínací stanice Východ je v minimální zátěži vytížená velmi málo. Zde v simulaci si vývod Meliorace odebírá 6,6 A. Při měření je odečteno 6,12 A.

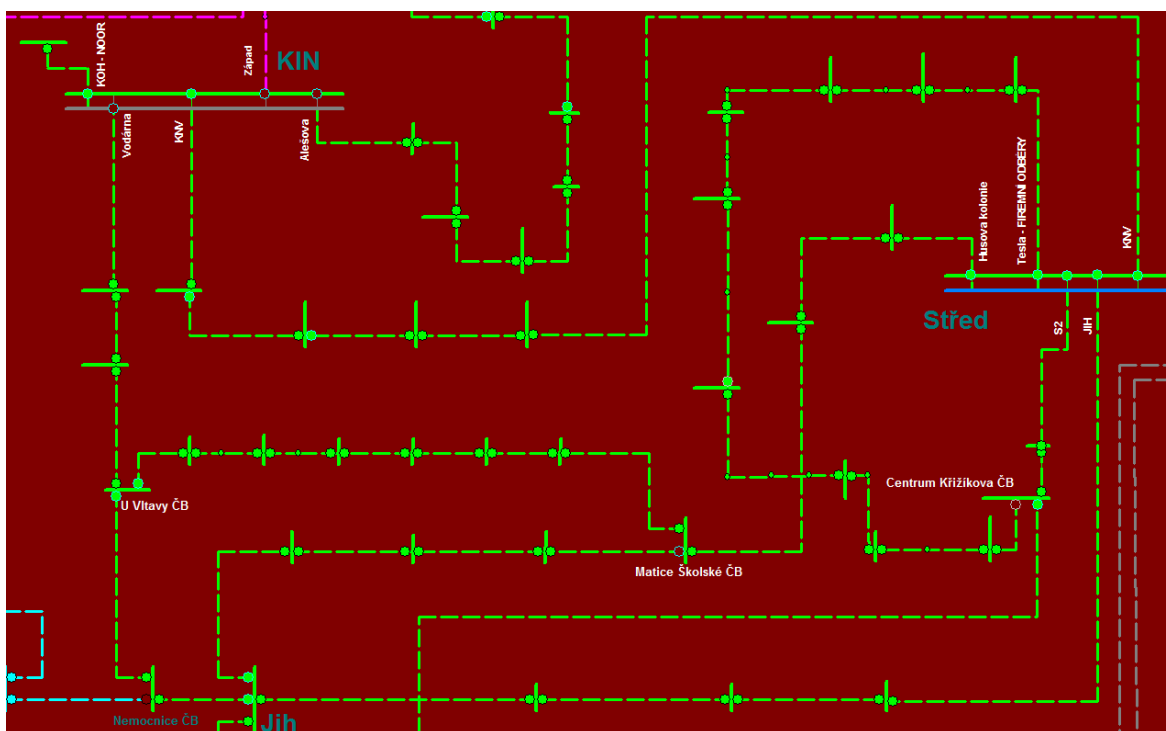
5.2 Návrh zapojení vývodů VN nové TR 110/22 kV Střed

Z připravených studií pro minimální a maximální zatížení nejprve upravím schéma zapojení dle obr. 17. Důležitá je změna napájení, kde se ze spínací stanice stává transformovna, proto dojde k odpojení kabelů S1, S3. Tyto kabely zde budou zachovány a následně je zde možné v nouzových případech propojit přípojnice TR Střed a TR Mladé (při odstavení transformátoru). Při návrhu budu brát v potaz více variant napájení nové stanice, proto je na obr. 39 využito napájení z jedné přípojnice. Nejprve vysvětlím jednotlivé vývody nové transformovny Střed, kde největší změny v návrhu jsou zapsané v tabulce č.11. Výsledné zapojení vývodů na přípojnicích stanice Střed bude zobrazeno až ve variantách provozu. Důležité je poznamenat, že veškeré úpravy na vývodech provádím pouze na stanicích se třemi vývody, protože se jedná o dálkově ovládané stanice nebo o stanice, kde bude dálkové ovládání doplněno.

Tab.11: Tabulka zobrazující úpravu vývodů TR Střed

Vývody	Stávající zapojení	Nové zapojení
Husova Kolonie	Ve stanici U Vltavy - rozpojeno Stanice Jih - vývod do Matice Školské odpojen KIN - vývod Vodárna připojen	U Vltavy - připojeno (nově napájí vývod Vodárna) Stanice Matice Školské - vývod do stanice Jih odpojen KIN - vývod Vodárna odpojen (propojení s vývodem Jih ve stanici Nemocnice ČB)
Tesla	U stanice Centrum Křižíkova vývod rozpojen	Shodné se stávajícím zapojením
S2	U stanice Střed vývod odpojen Za stanicí Policie Plavská - vývod odpojen	Nově rozdělené na S2 - Střed a S2 - Mladé Mladé S2 - Napájení je vedené do stanice K. Lavičky (přes Policie Plavská) a stanice Janouškova (včetně) Střed S2 - Napájení vede přes Centrum Křižíkova do stanice Janouškova
KNV	Vývod napájí spínací stanici KIN	Shodné se stávajícím zapojením
Jih	Přes stanici Jih až do stanice Policie Plavská	Nové zapojení prochází přes stanici K. Lavičky až do stanice Rožnov konečná.
S1	Napájení z TR Mladé	Odpojen
S3	Napájení z TR Mladé	Odpojen
S4	Napájení z TR Mladé.	Kabel zrušen
Alešova	Vývod ukončen ve stanici Hradební	Vývod napájí stanici Hradební, vývod Alešova stanice KIN a pokračuje až do stanice Resslerova
Nádraží	Napájí spínací stanici Východ	Již nenapájí spínací stanici Východ (vývod odpojen)
Prior	Vývod končí u MR2 - Jeronýmova Vývod prochází stanicí Archiv a končí v Baarova	Vývod prodloužen do stanice Pražská Vývod pokračuje ze stanice Baarova (přes Staroměstská) až do Resslerova
Sever	Přívod z TR Sever na přípojnicích B stanice Střed	Samostatný vývod napájený nově z TR Střed. Napájí část sítě.
Východ	Ve stanici Východ rozpojen	Nově napájí spínací stanici Východ
Teplárna ST1	Přívod z Teplárny ČB	Přívod z Teplárny ČB
Teplárna ST2	Neexistoval	Nově náhrada kabelu S4

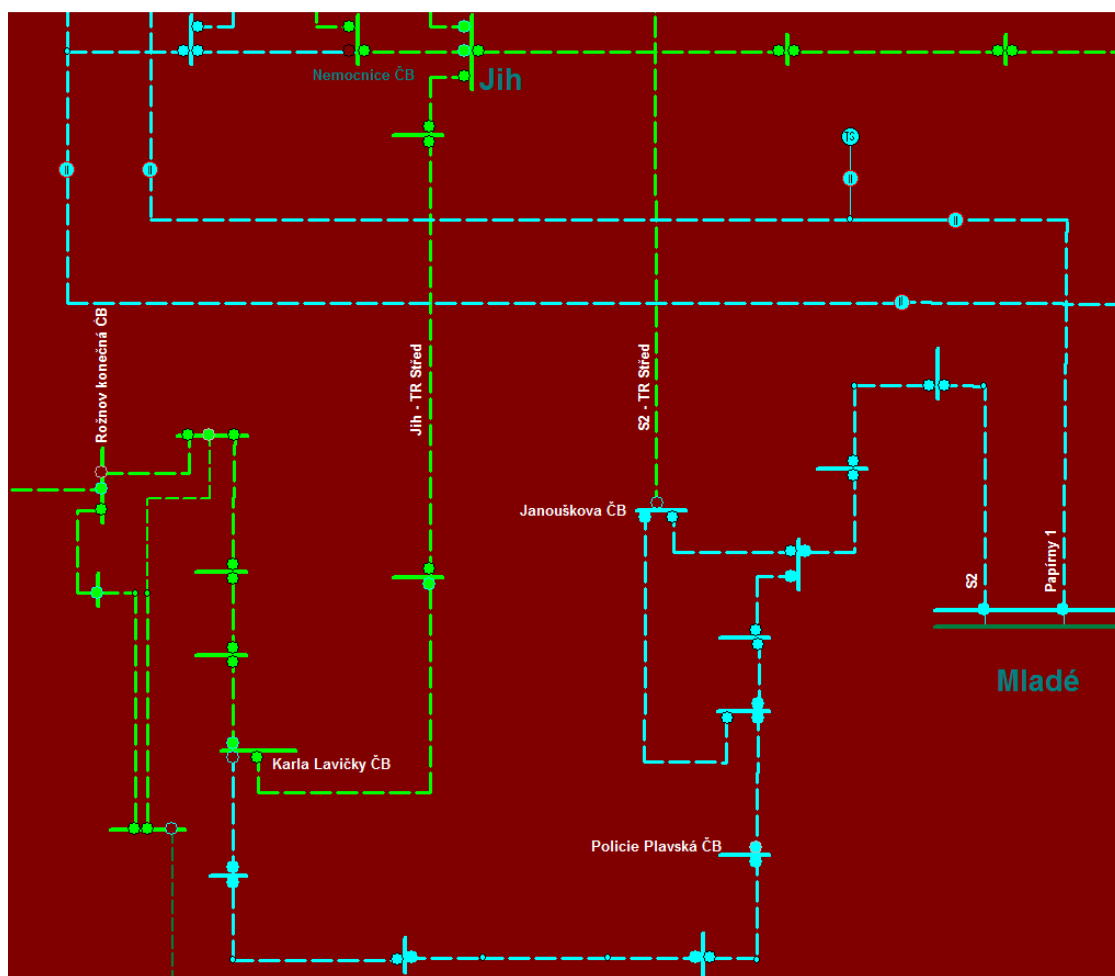
První je vývod Husova Kolonie. Tento vývod se po přepojení od současného stavu liší hlavně v odpojení přímého propojení se spínací stanicí Jih. H. Kolonie napájí vývod stanice KIN - Vodárna, prochází přes stanici U Vltavy a následně je připojen jako druhé napájení do Nemocnice ČB z důvodu zabezpečení 1. stupně dodávky elektrické energie (propojení s vývodem Jih). Následuje vývod Tesla, který napájí velké firemní odběratele a jeho zapojení jsem zanechal stejné. Jedná se o průmyslovou oblast, ve které jsou společnosti Tesla, Gama, Gamex, K-Rent, EGE, Akuterm, Prádelna ČB, atd. Tento vývod je rozpojen ve stanici Centrum Křižíkova.



Obr. 38: Nový návrh zapojení TR Střed

Vývod S2 prošel rozsáhlou úpravou. Nově je rozdělen na S2 Střed a S2 Mladé. Z TR Střed je vývod veden až do stanice Janouškova. U transformovny Mladé je vývod S2 veden přes stanici Janouškova až ke stanici K. Lávičky. Další vývod je Jih. Tento vývod napájí jako sekundární zdroj napájení Nemocnici ČB. Ze spínací stanice Jih se dále napájí část bývalého okruhu S2, který byl napájen dříve z TR Mladé. Na obr. 39 je vidět napájení celého okruhu Jih. Tento okruh je rozpojený až za stanicí Rožnov konečná ČB. Následuje vývod KNV, který se nezměnil a stále napájí stanici KIN. Na přípojnicí je také vývod Alešova. Tento vývod jsem prodloužil ze stanice Hradební až do stanice Resslova. Tímto došlo k odlehčení přípojnice A transformační stanice Sever o 1,014 MVA. Vývod Nádraží již nenapájí spínací stanici Východ a je na spínací stanici odpojen, ale může být k tomuto účelu v budoucnu použit, protože kabel není moc zatížen.

Následuje vývod Prior. Na tomto vývodu jsem provedl úpravy k opětovnému odlehčení transformovny Sever. Vývod jsem prodloužil až do stanice Pražská. Další prodloužení vývodu je ze stanice Baarova do stanice Resslera (včetně stanice Staroměstská). V současném zapojení vývod Prior končí ve stanici Jeronýmova a Baarova. Tímto přepojením se přípojnice A transformovny Sever odlehčila o dalších 2,44 MVA. Celkově se tak transformovna Sever odlehčila o 3,45 MVA, což odpovídá odlehčení transformátoru na přípojnici A o 9 %. Celkové zatížení přípojnice A transformovny Sever je díky odlehčení 49 %.

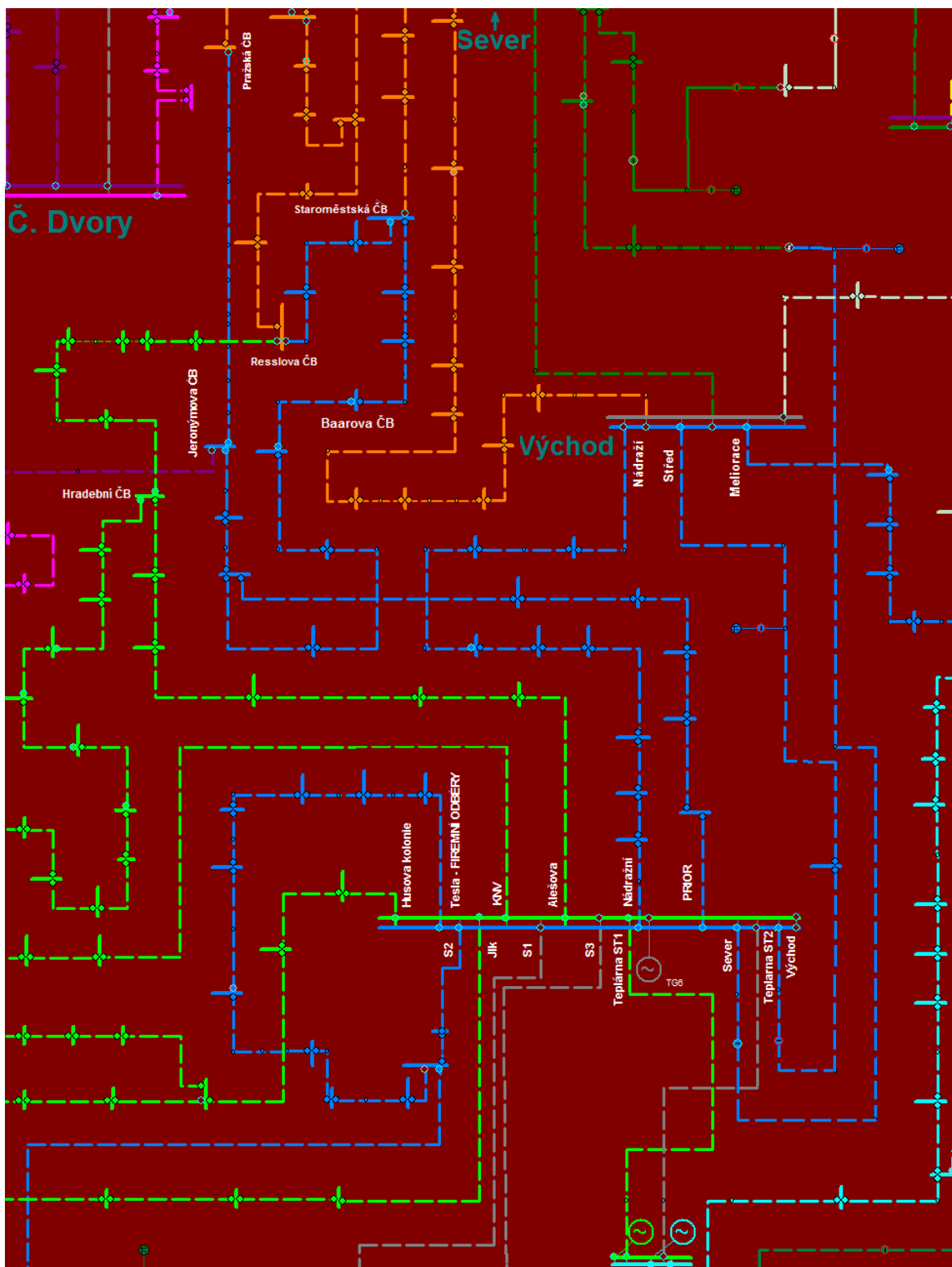


Obr. 39: Nový návrh zapojení TR Střed (vývod S2, Jih)

Pro napájení stanice Východ slouží vývod Východ z přípojnice transformovny Střed. Tento vývod je momentálně tvořen smíšeným zapojením kabelu a venkovního vedení s izolací ze zesíťného polyetylenu PE. Posledním vývodem transformovny Střed je vývod Sever. Tímto vývodem byla napájena přípojnice B tehdejší spínací stanice, proto jsem se rozhodl pomocí úsekového odpojovače přepojit část sítě na transformovnu Střed. Jedná se o zátěž rovnou 400 kVA. Tento vývod je také tvořen kombinací kabelu a venkovního vedení s izolací. V plánu je také tyto vývody předělat do kabelu.

Na rozvodně Střed jsou ještě dva kabely pro přívod výkonu z teplárny (Teplárna ST1 a Teplárna ST2). Vývod Teplárna ST2 je ve schématu odpojen.

Na spínací stanici Východ se nic nemění a zapojení je stále stejné. Napájí se zde pouze vývod Meliorace. Spínací stanice KIN, jak již bylo řečeno, je napájena z vývodu KNV. Slouží hlavně pro napájení závodu KOH-I-NOOR.



Obr. 40: TR Střed - kompletní schéma

Na transformovně Mladé nastalo také pár změn. Došlo k odstranění kabelu S4, kabelu Teplárny 2 a přepojení vývodu S2. Jak je patrné z obrázku 39, tak vývod S2 TR Mladé ohraničují stanice Karla Lavičky a Janouškova. Veškeré kabelové vývody zůstaly na přípojnicí A a smíšené vývody tvořené spíše venkovním vedením jsou na přípojnicí B (Velešín, Vidov, Ločenice a Plav). Výkon Teplárny ČB (TG5 - přípojnice B) je přiveden stále na přípojnicí A TR Mladé. Dále nastala novinka v kabelizaci vývodů Papírny 1, Papírny 2, Borovany a Okruh 1, které přibyly na přípojnicí A. Na tento krok má velký vliv modernizace sítě v oblastech Rožnova, Litvínovice, Mladé, Srubec a Dobré Vody, kde dochází k výstavbě velkého množství nových rodinných domů a je nutné tuto síť připravit na větší zátěž a také na případnou elektromobilitu, kde se počítá s větším množstvím připojených vozidel.



Obr. 41: TR Mladé po odlehčení od kabelů S1, S3, S4 bývalé stanice Střed

5.2.1 Zatížení jednotlivých vývodů stanic Střed, Mladé, Východ a KIN

Předchozí kapitola shrnula novou oblast napájení z nové transformovny. Při návrhu nové transformovny dimenzují vývody na maximální zátěž na všech vývodech. Vývody mají maxima v různých časech, proto nelze určit, kdy toto maximum nastane. Kabely jsou dimenzované na maximální (jmenovité) zatížení 417 A. Doporučená provozní hodnota kabelových vedení VN je omezena na 300 A. Z tabulky 12 je patrné, že nejvyšší zatížení ze všech vývodů je na přívodním kabelu z teplárny. Tento kabel je však ztrojený $3 \times 3 \times 240 \text{ mm}^2$, tj. jedna fáze je tvořena třemi kabely. Ale ani toto zatížení také nepřekračuje maximální zatížení kabelu 417 A. U ostatních vývodů nepřekračuje zatížení 150 A, proto tyto kabely vyhovují provozu při maximálním možném zatížení.

Tab.12: Tabulka maximálního zatížení TR Střed

Vývod	H.Kolonie	Teplárna ST1	Tesla	Jih	KNV	Alešova	Nádraží	Prior	Východ	Sever	S2
Zatížení I [A]	70,14	284,67	109,44	65,58	147,42	134,31	73,07	133,43	23,72	7,53	10,02

U spínací stanice KIN je jediný vývod KOH-I-NOOR, který odpovídá zatížení 34,5 A. Spínací stanice Východ napájí také pouze jeden vývod. Jedná se o vývod Meliorace, který odebírá 22,8 A.

Zatížení transformovny Mladé je patrné z tabulky 13. Zatížení jednotlivých vývodu nepřesahuje více než 120 A, proto i toto navržení vyhovuje. Při porovnání vývodu S2 v maximálním momentálním zatížení oproti navrženému, tak je patrný rozdíl téměř 26,9 A. Důležité je říci, že tento okruh není celý. Jedná se o přidání zátěže právě z vývodu Střed - Jih, proto tato hodnota narostla. Ostatní vývody jsou již shodné nebo téměř shodné s momentálním stavem.

Tab. 13: Maximální zatížení vývodů TR Mladé

Vývod	Papírny 1	Borovany	Velešín	Ločnice	Plav	Vidov	Okruh 1	S2	Východ 2
Naměřený I [A]	28,63	72,48	114,7	89,46	62,38	102,61	52,66	54,27	45,51

5.3 Návrh variant provozu transformoven Střed a Mladé

Při provozu stanice je důležité správně zvolit provoz Teplárny ČB. S tím úzce souvisí i navržený počet transformátorů v transformovně, které budou v provozu. Tuto zátěž je nutné rozvrhnout do více scénářů, proto jsem zvolil více variant, které jsou:

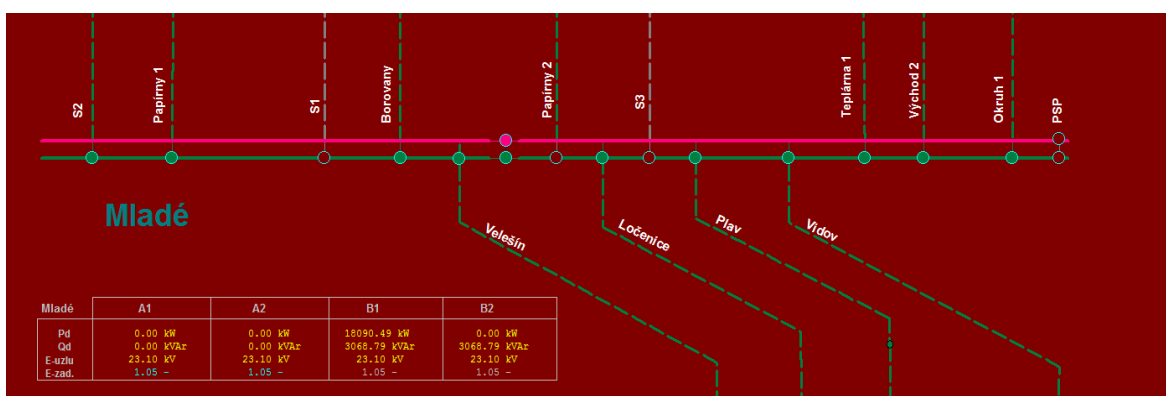
- Provoz 2 transformátorů TR Střed, 1 transformátorem TR Mladé s připojenou Teplárnou ČB.
- Provoz 2 transformátorů TR Střed, 2 transformátory TR Mladé, bez Teplárny ČB
- Provoz 1 transformátoru TR Střed, 2 transformátory TR Mladé s Teplárnou ČB

5.3.1 Provoz transformovny Střed s dvěma transformátory včetně Teplárny ČB s jedním transformátorem na rozvodně Mladé

Při tomto provozu nejprve nastavím Teplárnu ČB. Pro trafostanici Střed jsem zvolil dle budoucího zatížení výkon TG4 11,4 MW. Na tento výkon má také vliv zmenšování výroby tepla a v této době už bude v provozu teplovod z jaderné elektrárny Temelín do Českých Budějovic, proto nejspíše dojde i ke zmenšení výroby elektrické energie. Dodávku TG5 do TR Mladé jsem nastavil na 6 MW.

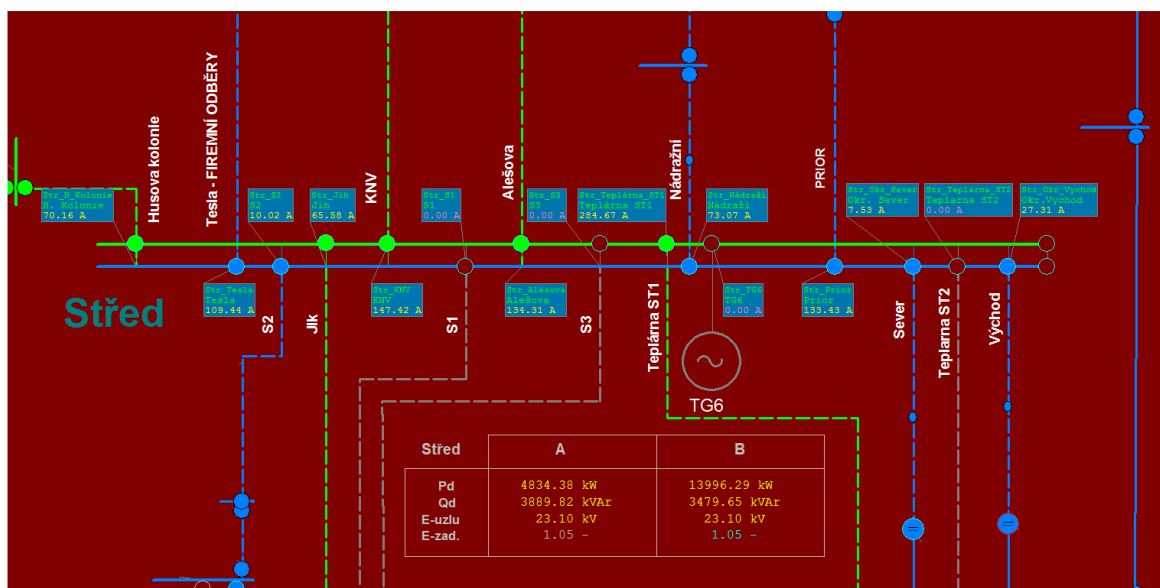
Nejprve se zaměřím na TR Mladé. Tato varianta nepočítá s přestavbou vývodů Papírny 1, Papírny 2, Borovany a Okruh 1 do kabelů. Zde jsem se rozhodl veškerou zátěž převést na přípojnicí B. Jedná se o spojení kabelové sítě a sítí venkovních vedení, proto je nutné počítat s provozem smíšené sítě s převahou venkovního vedení. TR Mladé má dva stejné transformátory, dvě tlumivky se stavebnicovými odpory a odporník pro provoz kabelové sítě. Tento odporník je umístěn na T101 a lze ho odpojit a provozovat oba

transformátory s tlumivkou. Pro provoz takto zapojené rozvodny stačí dle potřebného výkonu pouze jeden transformátor. Provoz těchto transformátorů by se musel střídát, aby jejich opotřebování bylo stejné a nedocházelo k degradování dlouhodobě odpojeného transformátoru. Tímto by jedna přípojnice potřebovala výkony $P = 18,09$ MW a společný jalový výkon $Q = 6,136$ MVar. Tyto výkony odpovídají zdánlivému výkonu $S = 19,1$ MVA. Transformátor o jmenovitém výkonu $S = 40$ MVA je tedy zatížen na 47,75 %, což odpovídá provozu zatíženého vn/vn transformátoru do 50 %. Znárodnění takto zapojené stanice je na obr.42. Zálohování je u TR Mladé zajištěno pomocí druhého záložního transformátoru na přípojnici T101.



Obr. 42: TR Mladé v zapojení při využití jednoho transformátoru

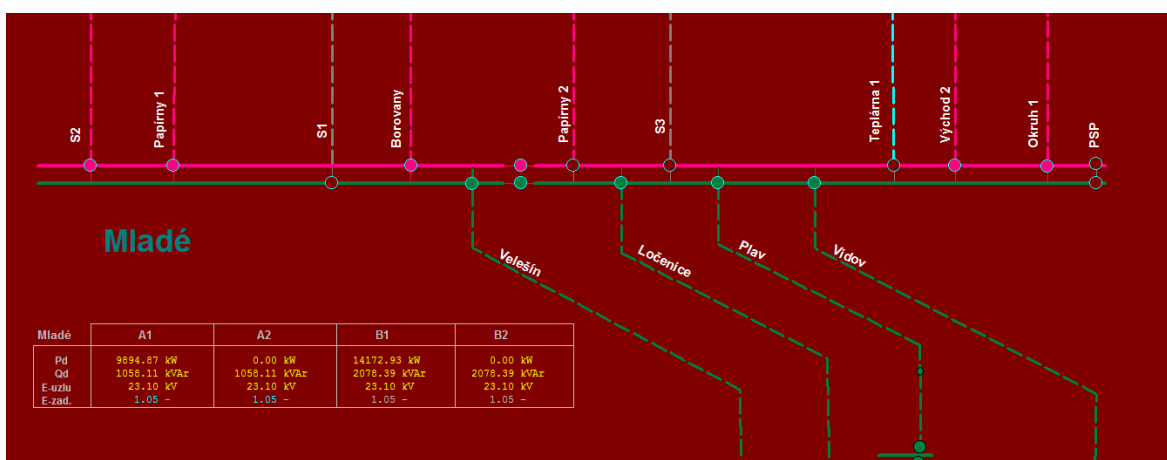
Transformovnu Střed jsem se v tomto zapojení rozhodl provozovat na dva transformátory. Jedná se o zapojení pro zimní měsíce, proto je vidět generátor TG6 odpojený. Oba transformátory je možné po přestavbě vedení (Sever + Východ) na kabelovou síť provozovat pouze s odporníky. Zatížení je patrné na obr. 43. Zatížení přípojnice B je $P = 14$ MW a $Q = 3,48$ MVar, což odpovídá $S = 14,42$ MVA. Transformátor o jmenovitém výkonu $S = 40$ MVA je zatížen na 36 %. Přípojnice A je zatížena výkony $P = 4,83$ MW a $Q = 3,89$ MVar. Transformátor je zatížen výkonem $S = 6,2$ MVA. Procentuálně je tento transformátor zatížen na 16 %. Provoz takto zatíženého transformátoru není optimální, ale v budoucnu se počítá s nárůstem zatížení a tento transformátor by se měl postupně více a více zatěžovat. V síti vn v Českých Budějovicích se také vyskytuje takto zatížený transformátor (TR Sever přípojnice B). V případě nutnosti je takto připravená transformovna na záskok pro napájení blízké transformovny Mladé nebo převzetí dalších stanic pro odlehčení ostatních stanic. Zálohování u tohoto provozu je zajištěno u TR Střed pomocí dvou transformátoru propojením příčného spínače přípojnic.



Obr. 43: TR Střed v zapojení při využití dvou transformátorů

5.3.2 Provoz transformovny Střed a Mladé s využitím dvou transformátorů na každé stanici - Teplárna ČB odstavena.

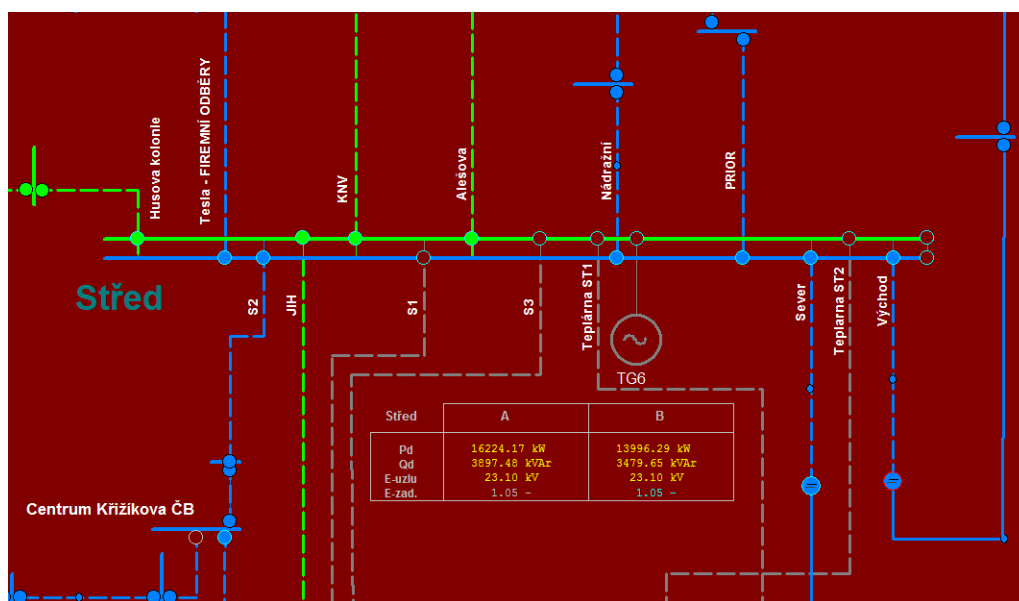
Při úplné odstávce Teplárny ČB je nutné počítat se změnou zatížení. Nejprve se zaměřím na zatížení rozvodny Mladé. Tato varianta již počítá s kabelizací vývodů Papírny 1, Papírny 2, Borovany a Okruh 1 a velmi souvisí s variantou provozu z bodu (5.3.3). Zde by při napájení jedním transformátorem docházelo k přetěžování transformátoru až k hranici 61 %. Proto jsem se rozhodl zatížení rozdělit na dva transformátory. Na přípojnici A jsou připojené veškeré kabelové vývody (Papírny 1, Papírny 2, Borovany, Okruh 1, S2 a Východ 2). Na přípojnici B jsou připojené linky vedoucí mimo České Budějovice (Velešín, Plav, Ločenice, Vidov). Tyto linky jsou tvořené smíšeným zapojením kabelu a venkovního vedení, dále jsou na společné přípojnici z důvodu možného propojení.



Obr. 44: TR Mladé v zapojení s použitím dvou transformátorů

Zatížení transformátoru na přípojnici A ($P = 9,89$ MW a $Q = 2,12$ MVar) dává celkový zdánlivý výkon $S = 10,11$ MVA. Transformátor je tedy zatížen na 25,3 %. Transformátor T102 je zatížen výkonem $S = 14,8$ MVA ($P = 14,2$ MW a $Q = 4,16$ MVar). Přípojnice B zatěžuje transformátor na 37 % a takto zatížené transformátory lze provozovat. Při výpadku jednoho z transformátorů TR Mladé je k dispozici potřebný výkon pro napájení všech vývodů z druhého transformátoru. Pokud by byl výpadek krátkého charakteru, lze síť provozovat pomocí příčného spínače přípojnic, popř. delšího výpadku se veškeré vývody přepnou na druhou přípojnici.

Rozvodna Střed je zobrazena na obrázku 45. Je patrný prudký nárůst zatížení po odpojení teplárny. Zapojení zůstává stejné jako v předchozím případě. Transformátor A je zatížen ($P = 16,2$ MW a $Q = 3,89$ MVar) zdánlivým výkonem $S = 16,66$ MVA. To odpovídá zatížení transformátoru na 42 %. Na přípojnici B nalezneme v maximech výkony $P = 13,99$ MW a $Q = 3,48$ MVar, což odpovídá zdánlivému výkonu $S = 14,41$ MVA. Přípojnice B zatíží transformátor na 36 %. Tyto hodnoty splňují požadavky pro bezproblémový provoz a v případě potřeby lze takto síť provozovat.



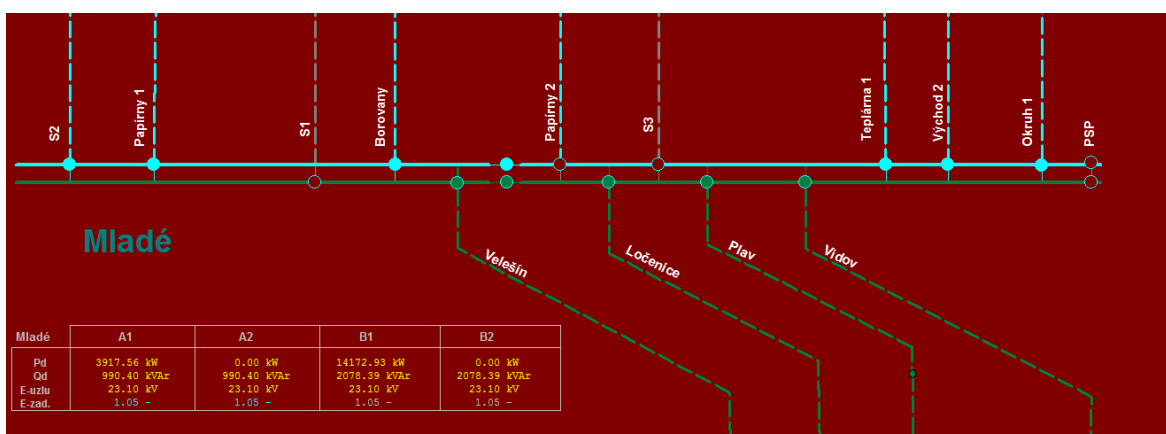
Obr. 45: TR Střed - zobrazení vývodů bez přívodu výkonu z Teplárny ČB.

5.3.3 Provoz transformovny Střed s jedním transformátorem a transformovny Mladé s využitím dvou transformátorů včetně dodávky výkonu z Teplárny ČB.

Dostávám se k nejreálnějšímu zapojení trafostanic Střed a Mladé. Jak je patrné, tak pomocí Teplárny ČB je možné velmi ovlivňovat dodávku činného výkonu na přípojnice. Z měření vyplývá, že dodávka z městské teplárny je nepřetržitá a dodává výkon 24 hodin, 7 dní v týdnu. Je tedy možné tento výkon regulovat a nastavit provoz na denní režim (5. - 22. hodina) a noční režim.

Beru v potaz měření ze zimních měsíců (listopad - duben), proto v letních měsících tyto hodnoty mohou být odlišné (menší požadavky na odběr tepla). V letních měsících se uvádí do provozu TG6, kterým je možné dodávat maximálně 12 MW. Je zde snaha využít maximální potenciál teplárny. Toto zapojení velmi souvisí s předchozím zapojením, protože pomocí těchto dvou reálných variant by se provozovaly stanice Mladé a Střed.

Transformovna Mladé je ve stejném zapojení jako v 5.3.2. Využívají se obě přípojnice. Přípojnice A tvoří kabelové vývody, proto se provozuje transformátor s odporníkem. Přípojnice B je pro smíšené sítě a je zde použit transformátor s tlumivkou.

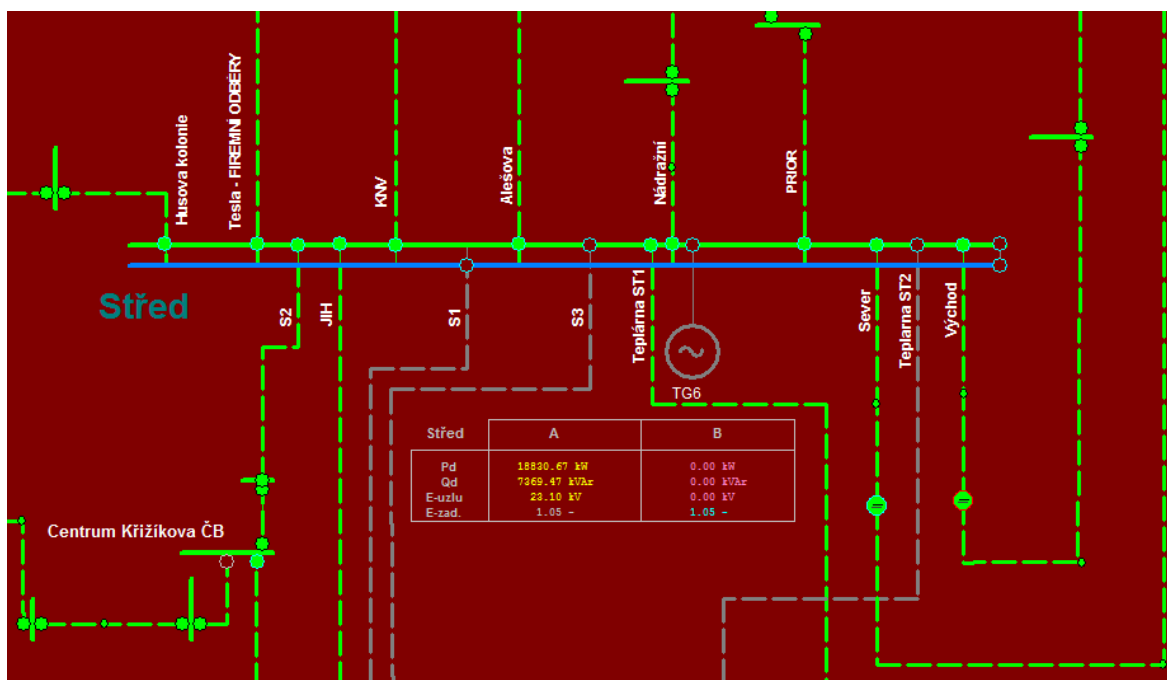


Obr. 46: TR Mladé - zapojení s transformátory T101 a T102.

Zatížení transformátorů je patrné na obr. 46. Ze zátěží je patrné, že transformátor na přípojnici B (zelená barva) je zatížen výkonem $P = 14,17$ MW a $Q = 4,16$ MVar. To odpovídá zatížení $S = 17,77$ MVA a transformátor je zatížen na 37 %. U přípojnice A (azurová barva) je zatížení velmi malé ($P = 3,91$ MW a $Q = 1,98$ MVar). Toto zatížení je tedy rovné $S = 4,38$ MVA a transformátor je zatížen na 11 %. Toto vypočítané předběžné zatížení odpovídá momentálnímu stavu, proto při dostavbě nové transformovny budou již vývody (Papírny 1, Papírny 2, Borovany a Okruh 1) v kabelech s větším zatížením než je zde zobrazeno. V roce 2017/2018 ještě nebyly připojené veškeré zátěže (nové rodinné domy v jižní části Č. Budějovic) a dochází k postupnému zatěžování těchto vývodů sítě. To bude mít za následek, že v době dostavby bude transformátor více zatížený, ale stále s dostatečnou rezervou pro elektromobilitu. V případě potřeby je možné některé zátěže přepojit na TR Střed a zatížit i druhý transformátor rozvodny. Zálohování je u TR Mladé řešené vlastním provozem dvou transformátorů. Při výpadku jednoho, tak druhý převezme zátěž. Nejprve se sepne příčný spínač přípojnic a následně se vývody přepojí.

Hlavní změna nastává na nové transformovně Střed. Zde využijí možnost napájení pomocí jednoho transformátoru. Veškerou zátěž převedu na přípojnici A a celá přípojnice bude napájena transformátorem T101. Zde pro provoz nepotřebují tlumivku, ale stačí

kompenzační odporník. Během výstavby stanice, jak již bylo řečeno, tak dojde k rekonstrukci venkovního vedení vývodů Východ a Sever a předělají se do kabelu.



Obr. 47: TR Střed - provoz na jeden transformátor

Zatížení této stanice je patrné na obr. 47. Výkony potřebné pro přípojnici jsou: $P = 18,83 \text{ MW}$ a $Q = 7,36 \text{ MVar}$. To odpovídá zdánlivému výkonu $S = 20,2 \text{ MVA}$. Transformátor je tedy zatížen na 50,5 %. Transformátor je zatížen lehce nad 50 %, ale stále lze takto zatížený transformátor v maximech všech vývodů provozovat.

Zálohování je u TR Střed řešené náhradním transformátorem na přípojnici B, který při výpadku převezme zatížení. Momentálně by stačil pouze jeden transformátor (záloha by byla zajištěna pomocí TR Mladé), ale do stanice je problémové dostat se s větším nákladem a musí se uzavřít mnoho ulic, proto se již při výstavbě počítá s dvěma transformátory.

Jak je patrné z obrázků, tak zde jsou ještě nevyužité kabely S1 a S3. Pomocí nich je možné zajistit zálohu n-2, která zde není nutná, ale zle ji využít. Transformátor T102 stanice Střed by byl v případě výpadku T101 zatížen na 50,5 % a v případě potřeby napájení by transformátor byl schopný provozovat i přípojnici A TR Mladé. Výsledné zatížení transformátoru vychází na 60 %. Toto zatížení sice překračuje 50% mez provozování, ale v případě potřeby takto lze transformátor zatížit. Touto výhodou odpadá problém propojení venkovních linek a kabelů na TR Mladé. Při využití této možnosti poteče kabelem S1 proud $I = 54,4 \text{ A}$ a kabelem S3 proud $I = 55,4 \text{ A}$. Kabely mají maximální zatížení $I = 413 \text{ A}$. Pouze dojde ke zhoršení zkratové odolnosti.

5.4 Porovnání variant

První varianta (5.3.1), která využívá provozu dvou transformátorů na TR Střed a jednoho na TR Mladé se jeví jako nejméně vhodná, protože při upuštění od kabelizace vývodů Papírny 1, Papírny 2, Borovany a Okruhu 1 by mohlo dojít v budoucnosti k problému dodávky elektrické energie. Jelikož elektromobilita zasáhne linky velkými odběry. Již při dostavbě nové stanice je potřeba postupně připravovat celou síť, proto bych od této varianty upustil a zaměřil se na následující dvě varianty nastavení sítě.

Druhá varianta (5.3.2) provozu je velmi reálná a lze takto síť využívat při odpojení Teplárny ČB. U transformovny Mladé by v případě odpojení teplárny nenastala žádná změna, pouze odpojení kabelu s Teplárnou ČB. Než by došlo k odstávce, je potřeba rozložit vývody z jednoho transformátoru stanice Střed na dva, aby nedošlo k přetížení transformátoru až k 78 % (opět se jedná o maxima na všech linkách z důvodu dimenzování).

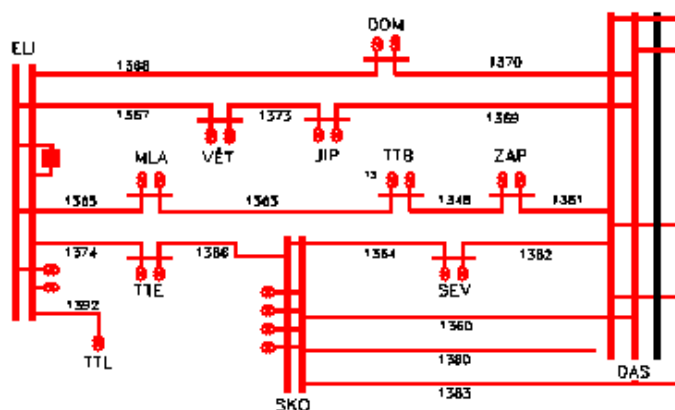
Poslední varianta (5.3.3) je pro normální provoz transformovny nejlepší. Pomocí této varianty bude nejspíše provozovaná nová transformovna Střed. Provoz bude pomocí jedné přípojnice (jednoho transformátoru) a v budoucnosti při zvětšení odběru je možné zatížit i druhý transformátor. Tímto krokem bude síť připravena na řadu let dopředu a v budoucnu by neměl být problém s nedostatkem energie pro město České Budějovice.

6 Zkratová odolnost transformovny Střed

Tato kapitola se věnuje výpočtu zkratových proudů před vybudováním nové transformovny Střed. Dále zde zobrazím výsledky zkratového proudu ze studie z roku 2006, které zobrazí vývoj sítě za posledních 14 let. Následně provedu výpočet zkratových proudů navrženého řešení nové transformovny Střed. Pro výpočet je nejreálnější nové zapojení 5.3.3, proto zobrazím ve výpočtech pouze toto řešení. U této varianty provedu výpočet jak pro hladinu 22 kV, tak i pro stranu 110 kV. Tento výpočet bude probíhat ve výpočetním nástroji Bizon od společnosti Daisy. Samotný výpočet zkratového proudu je vysvětlen v kapitole 2.3.

Nejprve se zaměřím na výpočet zkratového proudu před výstavbou nové transformovny. Zkratový proud vypočítám pro naměřené maximum ze dne 13.12.2017. Síť 22 kV je zobrazená v kapitole 5. Síť 110 kV, pro kterou zkratový proud počítám, je zobrazen na obr 4. Důležité je upozornit, že studie z roku 2006 je nastavená na zapojení před úpravou sítě 110 kV, proto výsledné proudy nelze porovnávat. Oproti studii z roku 2006 došlo k celkové změně zapojení rozveden z TR Dasný (viz obr. 5 - velký a malý

okruh) a také ke stavbě nové transformovny 110/22 kV v Kaplici. Tato rozvodna přispěla k výši zkratovému proudu také novým vedením, které spojuje TR Mladé s TR Kaplice. TR Kaplice je momentálně provozována s jedním transformátorem, ale postupně dochází ke zvětšování zatížení, proto dojde v příštích letech k instalaci druhého transformátoru. Změna zapojení je patrná z obrázku 48.



Obr. 48: Síť 110 kV před změnou konfigurace a stavbou nové TR Kaplice

Pro vysvětlení: SKO - TR Škoda ČB, TTE - R22 Velešín, MLA - TR Mladé ČB, ELI - TR Lipno n. Vltavou, SEV - TR Sever ČB, TTB - R22 Nemanice ČB, ZAP - TR Západ ČB, DAS - TR Dasný.

Změna je hlavně v okruhu MLA, TTB a ZAP. Rozvodny TTB a ZAP jsou ve skutečném zapojení přidány do malého okruhu napájení před stanicí Sever (SEV). Tímto vzniklo zapojení DAS - ZAP - TTB - SEV - SKO. Dále za stanicí Mladé je nově postavená TR Kaplice (nové vedení V1385). Odebráním rozvoden a přidání TR Kaplice vzniklo zapojení DAS - MLA - KAP - ELI.

Nejprve je nutné namodelovat studii 110 kV pro rok 2020. Dle schématu jsem si odečetl z mapových podkladů v systému GIS jednotlivé délky vedení. Jedná se o vedení: V1363, V1365, V1385, V1322, V1323, V1324, V1364, V1366 a V1374. Délky a typy vedení dle názvu linek jsou zobrazeny v příloze č. 4. Dále pro tyto dva okruhy napájení nastavím zatížení jednotlivých rozvoden a zkontroluji zatížení veškerých spínacích stanic, transformoven a zdrojů (Teplárny). Tyto data vkládám z kapitoly 5.1.

Ve výpočtu je dále nutné uvažovat i veškeré zdroje, které jsou na hladině 110 kV s výkonem nad 5 MVA. Ostatní se z hlediska malého příspěvku do zkratu zanedbávají. Při správném nastavení sítě 110 kV vypočítám rázový zkratový proud pro třífázový a jednofázový zkrat. Pro správný výsledek je potřeba do výpočtu zkratů zahrnout příspěvky z nadřazené soustavy. Po vypočítaném zkratovém proudu pro hladinu 110 kV se zaměřím na nižší hladinu 22 kV. Z jednotlivých výpočtů zkratových proudů na hladině

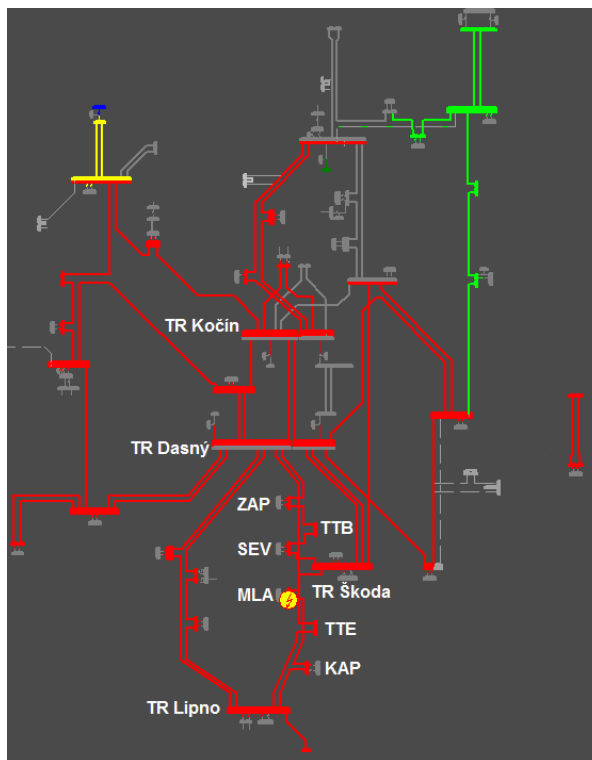
110 kV jsem si zapsal zkratové příspěvky (nadřazená soustava). Tyto zkratové příspěvky (impedance) dosadím do jednotlivých transformoven na hladině 22 kV. Na této hladině vypočítám pouze třífázový proud, protože zkrat v kabelové síti 22 kV obvykle znamená zkrat ve všech fázích, proto se v této hladině jednofázový zkrat nepočítá. Výsledný zkratový proud skutečného stavu je zobrazený v následující tabulce.

Tab. 14: Zkratové proudy ve skutečném stavu zapojení

Počáteční rázový zkratový proud	Studie z roku 2006				Studie ze dne 13.12.2017			
	R 110 kV		R 22 kV		R 110 kV		R 22 kV	
	I''_{K3} [kA]	I''_{K1} [kA]	I''_{K3} [kA]		I''_{K3} [kA]	I''_{K1} [kA]	I''_{K3} [kA]	
Název uzlu			T101	T102			T101	T102
TR Mladé	8,184	6,541	10,983	10,4	10,022	8,186	10,78	8,4
TR Kaplice	-	-	-	-	5,284	3,67	5,28	-
TR Lipno n/Vlt.	10,41	11,403	3,939	-	9,27	10,62	3,98	-
Střed z TR Mladé	-	-	9,92	-	-	-	9,93	-
Střed z TR Sever	-	-	-	7,456	-	-	-	5,43

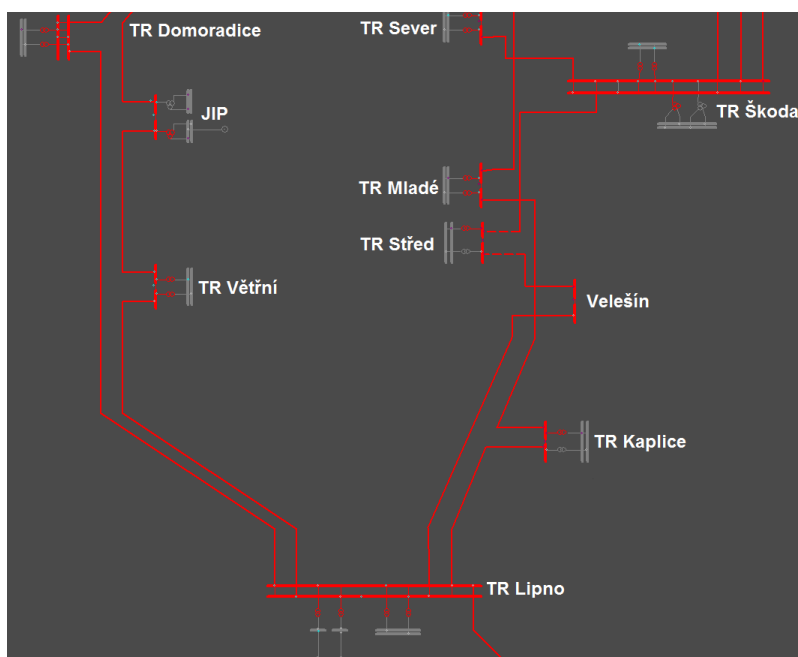
Počáteční rázové zkratové proudy skutečného stavu pro TR Mladé, stanici Střed a další rozvodny jsou zobrazené v tabulce 14. Vlivem přepojení je oproti studii z roku 2006 patrný rozdíl téměř 2 kA u I''_{K3} TR Mladé. U nového zapojení je zkratový proud větší, protože je blíže k nadřazené soustavě TR 400/110 kV Dasný a směrem dál od této transformovny zkratový proud klesá, výpočet tento stav potvrdil (TR Kaplice). U TR Lipno se zkratový proud opět zvětšuje z důvodu připojených zdrojů do sítě. U spínací stanice Střed vyšel počáteční rázový zkratový proud u přípojnice A téměř totožný a u přípojnice B nižší o 2 kA, protože v době měření na přípojnici B (vývodech) nejsou naměřené maxima. U TR Lipno je patrný pokles na straně 110 kV. Zkrat na přípojnici A (22 kV) TR Lipna vyšel téměř totožný. Veškeré zkratové proudy vyšly dle předpokladů. Dimenzování kabelů a přípojnic stanic a rozvoden je dostatečné a zkratové proudy vydrží.

Na obr. 49 je patrná část sítě 110 kV zobrazená v programu Bizon. Je zde vidět zkrat na přípojnici na straně 110 kV na TR Mladé. Jedná se o překreslené zapojení podle obrázku 4.



Obr. 49: Síť 110 kV - výpočet zkratového proudu

Následuje výpočet zkratového proudu pro nový stav včetně TR 110/22 kV Střed. Tato nová transformovna se bude napájet kabelem 110 kV, který je umístěn od stožáru 105 linky vedení V1366. Tento stožár je vzdálený 5,2 km od TR Škoda a z TR Střed bude pokračovat linkou V1366 do rozvodny Velešín. Z této rozvodny se vedením V1374 přivádí na TR Lipno (obr.4). Na obr. 50 je zobrazená upravená studie včetně nové transformovny Střed.



Obr. 50: Síť 110 kV - upravená studie 110 kV s TR Střed

Ve studii u TR Střed je patrný i nový VVN napájecí kabel. Pro takto zobrazenou 110 kV studii vypočítám opět zkratový proud a následně upravím ve studii 22 kV zkratové příspěvky. Výsledné hodnoty zkratových proudů pro novou TR Střed a všech okolních rozvodn jsou zobrazeny v tabulce 15.

Tab. 15: Zkratové proudy pro zapojení s novou transformovnou Střed

Počáteční rázový zkratový proud v kA		Návrh nové TR Střed			
		R 110 kV		R 22 kV	
		I_{K3}'' [kA]	I_{K1}'' [kA]	I_{K3}'' [kA]	
T101	T102				
Název uzlu					
MLA	TR Mladé	9,770	7,680	8,870	7,880
KAP	TR Kaplice	5,279	3,634	4,960	-
ELI	TR Lipno n/Vlt.	9,803	11,240	4,009	4,008
TTV	R Velešín	6,230	5,700	-	-
STD	TR Střed	9,050	7,310	9,860	-
SKO	TR Škoda - W1 přípojnice	12,650	11,830	8,480	4,997
DAS	TR Dasný 110 kV	25,500	30,590	-	-
ZAP	TR Západ	15,960	15,490	6,005	5,940
TTB	R Nemanice	12,460	11,404	-	-
SEV	TR ČB Sever	12,805	11,450	8,175	5,960
SKO	TR Škoda -W2 přípojnice	13,580	12,130	-	-

Veškeré zkratové proudy odpovídají logice výpočtu zkratového proudu, protože při zhodnocení výsledků je patrné, že čím blíže je stanice k nadřazené soustavě (TR Dasný) a ke zdroji z TR Lipno, tak dochází k nárůstu zkratového proudu. U TR Dasný je výsledný zkratový proud menší než v roce 2006, proto tento proud lze vyhodnotit, že je dle požadavků. Nutné je definovat, že veškeré rozvodny 110 kV splňují minimální požadavky na zkratovou dynamickou odolnost (50 kA) a tepelnou odolnost zkratového proudu 2s (20 kA).

Nejprve se zaměřím na dynamickou odolnost. Tuto odolnost vypočítám pro největší hodnotu zkratového proudu po TR Dasný a tou je rozvodna TR Západ. Zde vychází výsledná hodnota třífázového počátečního rázového zkratového proudu $I_{K3}'' = 15,96$ kA. Výpočet dynamického zkratového proudu (nárazový zkratový proud) je zobrazen ve vzorci 6.1.

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (6.1)$$

Kde: součinitel κ je se vypočítá pomocí vzorce 6.2 [12]

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R}{x}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{0,661}{4,502}} = 1,65 \quad (6.2)$$

$$i_p = 1,65 \cdot \sqrt{2} \cdot 15,95 = 37,24 \text{ kA} \quad (6.3)$$

Tento výsledek porovnám s předepsanou hodnotou dynamického zkratového proudu na rozvodně. Z dokumentace jsem našel že $I_{K3dyn} = 50 \text{ kA}$. Tento výsledek splňuje podmínku dynamického zkratového proudu $I_{K3dyn} \geq i_p$ ($50 \geq 37,24 \text{ kA}$).

Další parametr, který je nutný otestovat slouží k zjištění tepelných účinků zkratových proudů. Výpočet je uveden ve vzorci 6.4.

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m + n} \quad (6.4)$$

Kde: m je součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky zkratového proudu, n je součinitel pro tepelné účinky střídavé složky zkratového proudu. Z normy ČSN EN 60909-0 ed.2 lze vyčíst, že pro vzdálené zkraty je $m + n = 1$. [12]

$$I_{ke} = 1 \cdot 15,95 = 15,95 \text{ kA} \quad (6.5)$$

Tento výsledek je nastaven na dobu zkratu 2s, pro kterou mám dostupnou hodnotu 20 kA. I v tomto případě je výsledek v pořádku a stanice ve zkratu odolá tepelným účinkům zkratového proudu ($20 \geq 15,95 \text{ kA}$).

Největší hodnota zkratového proudu je na rozvodně Dasný. Jedná se o rozvodnu 400/110 kV, proto je logické, že zkratový proud je největší. U této rozvodny je strana 110 kV dimenzována na dynamickou odolnost $I_{K3dyn} = 75 \text{ kA}$. Výsledná hodnota zde vychází $i_p = 66,7 \text{ kA}$ ($75 \geq 66,7 \text{ kA}$).

Teď se zaměřím na novou TR Střed. Zkratový proud na straně 22 kV téměř odpovídá hodnotám před stavbou transformovny, proto nemusím tento stav ověřovat a lze tento návrh s výsledným zkratovým proudem považovat za výsledek, který je v pořádku. Na straně 110 kV vychází zkratový proud $I_{K3}'' = 9,05 \text{ kA}$. Při porovnání se zkratovým proudem na TR Západ, je patrné, že výsledné dimenzování rozvodny stačí také nastavit na zkratovou dynamickou odolnost (50 kA) a tepelnou odolnost zkratového proudu 2s (20 kA), ale při výstavbě bych raději novou rozvodnu dimenzoval na větší parametry. U TR Mladé je patrné vlivem odlehčení rozvodny 22 kV pokles zkratového proudu za T101 o cca 2 kA (přípojnice A) a na T102 pokles o 0,5 kA (přípojnice B).

Z výsledků zkratového proudu je patrné, že nastavený model splňuje předepsané hodnoty a lze takto navrženou síť provozovat.

7 Náklady na výstavbu nové transformovny Střed

Tato kapitola se bude zabývat ekonomickým zhodnocením nákladů potřebných pro výstavbu nové transformovny Střed. Zaměřím se na vyčíslení nákladů na výstavbu nové budovy 110 kV se zapouzdřenou rozvodnou, dále na úpravu stávající 22 kV zapouzdřené rozvodny. Jednou z nejdůležitějších částí nové stanice je přívod 110 kV kabelu přes České Budějovice do transformovny Střed, který finančně bude tvořit velký díl rozpočtu. Další část této kapitoly se bude zabývat srovnáním nákladů na výstavbu a modernizaci transformovny Střed se zapouzdřenou transformovnou Brno – Opustěná, která byla dostavěná v roce 2018.

V úvodu se soustředím na stavební úpravy celého areálu. Do stavebních úprav je nutné zahrnout samotnou demolici stávajícího Muzea energetiky společně s budovou archivu, úpravu komunikací a oplocení. Dále do této položky patří výstavba stání pro tlumivky a odporníky, stavba samotné budovy pro zapouzdřenou stranu 110 kV rozvodny, úprava budovy 22 kV a další technologické budovy. Tyto náklady jsou předběžně odhadnuty na 22 mil. Kč.

Po dokončení stavebních úprav je na řadě samotné vybavení rozvodny. Na straně 22 kV dojde k přidání dvou zapouzdřených polí z transformátorů 110/22 kV. Do těchto nákladů patří i kabelové propoje 22 kV a s tím spojené potřebné úpravy. Odhad těchto nákladů je do 3 mil Kč. Hladina 110 kV bude tvořit velkou část nákladů na novou transformovnu, protože do této položky zahrnuji veškeré potřebné přístroje a systémy pro provoz, ať už se jedná o samotnou zapouzdřenou technologii, vlastní spotřebu, řídicí systémy, ochrany atd. Celkový součet odhadovaných nákladů je zhruba 45 mil. Kč.

Následují náklady na nové transformátory 110/22 kV, tlumivky a odporníky. Ty jsou vyčíslena na 22 mil. Kč. Ostatní další náklady potřebné pro výstavbu nebo úpravu, budoucí transformovny, např. rezervní části stanice, úpravy parovodu atd., jsou stanoveny společně s rezervou na 21 mil. Kč. Celkové náklady na výstavbu a úpravy nové transformační stanice 110/22 kV Střed jsou odhadnuty na 113 mil. Kč.

Plán výstavby 110 kV kabelu je již schválen od roku 2012 a dochází k postupnému projednávání trasy přes soukromé pozemky. Jak to již při projednávání bývá, tak všechny pozemky se nepodařilo zajistit, proto docházelo i k úpravě trasy a v některých částech i k procesu vyvlastnění. Další problém je i ochranné pásmo kabelu, protože kabel je veden

zastavěnou částí Českých Budějovic. Samotná trasa pro uložení kabelu je také velmi problematická, protože v místech uložení nevedou kabelové kanály ani jiné podzemní kolektory. Celý rozpočet dále navyšuje drahý koncový stožár VVN se svody, který je nutné do linky vřadit. Celkový odhad na realizaci nového kabelu, který povede do nové transformovny Střed je 118 mil. Kč. Plánované dokončení stavby kabelu a celé transformovny je předpokládáno do konce roku 2022.

Pro technickou ekonomickou analýzu celé stavby využiji dokončené, velice podobné zapouzdřené transformovny 110/22 kV Brno – Opuštěná. Tato transformovna byla dokončena a uvedena do provozu začátkem roku 2018. Zde se skutečná cena nákladů na výstavbu nové transformovny vyšplhala až na necelých 106 mil. Kč, i když prvotně plánovaná cena byla vyšší. Náklady na realizaci kabelu se ve výsledku zastavily na částce skoro 20 mil. Kč.

Porovnáním nákladů na stavbu transformovny Střed a Brno – Opuštěná je patrné, že odhad je u transformovny Střed vyšší cca o 7 mil. Kč. Tato cena u stanice Střed není konečná a výsledná cena může být vyšší, ale i nižší. Vždy velmi záleží na problémech a změnách před dokončením stavby. Největší rozdíl je u ceny na výstavbu nového kabelu. Tento rozdíl je rovný 98 mil. Kč. Cena je o tolik vyšší z důvodu toho, že u stanice Opuštěná vedl nový kabel v již připraveném společném kabelovém kolektoru, tím došlo k úspoře financí k zajištění dotčených pozemků, stavbě kolektoru a celkovým stavebním úpravám. Dále nebyl potřeba drahý VVN stožár, proto výsledná cena je téměř šestinová. Při finálním testování kabelu u TR Brno – Opuštěná se zjistil zajímavý fakt. Došlo k porušení izolace v jedné fázi, tudíž bylo nutné vyměnit celý úsek jedné žíly kabelu.

Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout zapojení vývodů 22 kV nové transformovny 110/22 kV Střed v Českých Budějovicích. Jedná se o rekonstrukci stávající spínací stanice, která je napájena z transformovny Mladé. Tato nová rozvodna bude sloužit k převzetí části zátěže od rozvoden 110/22 kV Sever a Mladé, kde v posledních letech dochází k postupnému navyšování odběru elektrické energie, ať už z důvodů stavby rodinných domů kolem Č. Budějovic, ale i nových nákupních center a hobby marketů. Při stavbě nových transformoven se myslí hodně do budoucnosti a momentálně se počítá s příchodem elektromobility, proto se celková síť začíná upravovat na prudký vzrůst odběru elektrické energie.

Pro samotný návrh nové transformovny jsem vybral tři možné varianty provozu transformátorů. Nejreálnější variantou je využití jednoho transformátoru na rozvodně Střed. Tento jeden 40 MVA transformátor je pro momentální využití dostačující a pokud by všechny odběry odebíraly maximum v jeden čas, tak by byl zatížen na 50,5 %. Záloha této transformovny je zajištěna pomocí druhého transformátoru. Jelikož transformovna Mladé dříve napájela spínací stanici Střed, tak po přestavbě na transformovnu jsou tyto kabely nevyužité. Transformovna Mladé momentálně využívá dva transformátory. S tímto provozem je počítáno v i budoucnosti. Jeden slouží pro kabelové vývody a druhý pro smíšené vývody s převahou venkovního vedení. Pro zálohu napájení kabelových vývodů (na přípojnicí A) transformovny Mladé je možné využít právě těchto nevyužitých kabelů a napájet tak transformovnu při výpadku nebo plánované odstávce transformátoru z TR Střed (záložním transformátorem).

Z důvodu přepojení sítě byla provedena kontrola zkratové odolnosti. Výpočet byl proveden pro hladinu 22 kV a také pro 110 kV. Z výsledků je patrný závěr, že celý návrh je v pořádku a soustava odolá zkratovému proudu. Pokud bych provozoval záložní napájení TR Mladé (A) ze stanice Střed (B), tak je výsledný zkratový proud na přípojnicí B roven 9,3 kA. Z tohoto usuzuji, že je možné využít zálohu z TR Střed.

Závěr práce je věnován ekonomickému zhodnocení výstavby nové transformovny a porovnáním rozpočtu s již postavenou TR Brno - Opuštěná. Celkový odhad nákladů na výstavbu a úpravy nové transformační stanice 110/22 kV Střed a kabelu VVN jsou odhadnuty na 231 mil. Kč. Plánované uvedení nové transformovny Střed do provozu je předpokládáno do konce roku 2022.

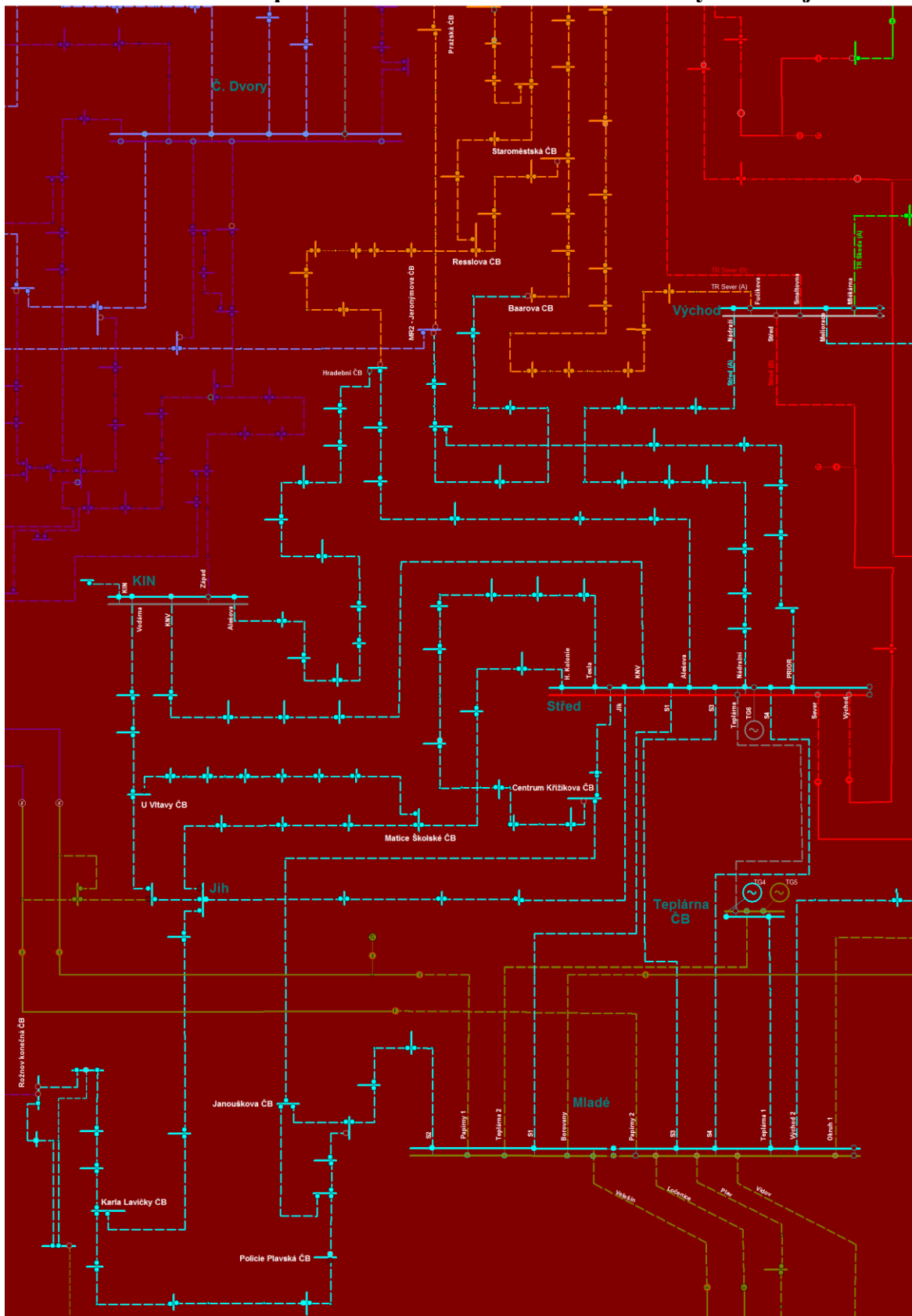
Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] TESAŘOVÁ, Miloslava. *Průmyslová elektroenergetika*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-7082-703-3.
- [2] *Koncepce sítě 22 kV* - interní soubor společnosti E.ON. [cit. 15.01.2020].
- [3] PRAKAB PRAŽSKÁ KABELOVNA - kabel NA2XSF2Y [online]. [cit. 15.01.2020]. Dostupné z : prakab.cz/upload/products/NA2XSF2Y.pdf
- [4] KOCOUREK, Tomáš, František ŠTEFEK, Jozef TOMČÍK, Viktor BLAŽEK a Ladislav MIKULÁŠ. *Principy budování sítí ve městech*: Konference ČK CIRED 2012.
- [5] Didier FULCHIRON. *Cahier technique no. 203 - Basic selection of MV public distribution networks*. Schneider Electric 2001.
- [6] L. I. Ruiz Flores, N. A. Hernandez Munoz, I. Salazar Castro and V. Martinez Torres, *Gas-Insulated and Hybrid Substations: Substation Modernization in the Mexican Petrochemical Industry*, in IEEE Industry Applications Magazine, vol. 20, no. 5, pp. 64-70, Sept.-Oct. 2014.
- [7] MERTLOVÁ, Jiřina, NOHÁČOVÁ, Lucie. *Elektrické stanice a vedení*. V Plzni: Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická, 2008. ISBN 978-80-7043-724-7.
- [8] *Siemens Česká republika* [online]. Copyright © Siemens, s.r.o. 1996 [cit. 15.01.2020]. Dostupné z : <https://www.siemens.cz/energo/rekordni-pocet-dodavek-zapouzdenych-rozvodem-123-kv-siemens-v-ceske-republice>
- [9] VELEBA, Jan. *Řešení chodu soustavy I. Přednáška k předmětu Teorie přenosu a rozvodu*. [online]. [cit. 15.01.2020]. Dostupné z : <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kee/tpr/prednasky.html>
- [10] VELEBA, Jan. *Řešení chodu soustavy II. Přednáška k předmětu Teorie přenosu a rozvodu*. [online]. [cit. 15.01.2020]. Dostupné z : <https://portal.zcu.cz/portal/studium/courseware/kee/tpr/prednasky.html>
- [11] NOHÁČ, Karel. *Přednáška předmětu PJS - Řízení a stabilita elektrické soustavy*. [online]. [cit. 15.01.2020]. Dostupné z : http://home.zcu.cz/~nohac/PJS/MODES/Rizeni_a_stabilita_elektrizacni_soustavy_Cast3.pdf
- [12] ČSN EN 60909-0 ed. 2. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016

- [13] Česká informační agentura životního prostředí [online]. [cit. 15.01.2020]. Dostupné z: https://portal.cenia.cz/eiasea/download/RUIBX09WMjA1NF9vem5hbWVuaURPQ18zMTg5ODIwNTc2NjEwMTU2NDkyLnBkZg/OV2054_oznameni.pdf
- [14] Mapy.cz. *Rozvodna Mladé - České Budějovice* [online]. [cit. 15.01.2020]. Dostupné z: <https://mapy.cz/letecka?x=14.4928216&y=48.9547726&z=20>
- [15] *Siemens* [online]. Copyright © Siemens 1996 [cit. 15.01.2020]. Dostupné z: <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/medium-voltage/systems/8da-b12.html>
- [16] HEJTMÁNKVÁ, Pavla. *Přednáška předmětu PEC - Definování elektrické sítě*. [online]. [cit. 15.01.2020]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~hejtman/PEC/Prednasky/pred2a.pdf>

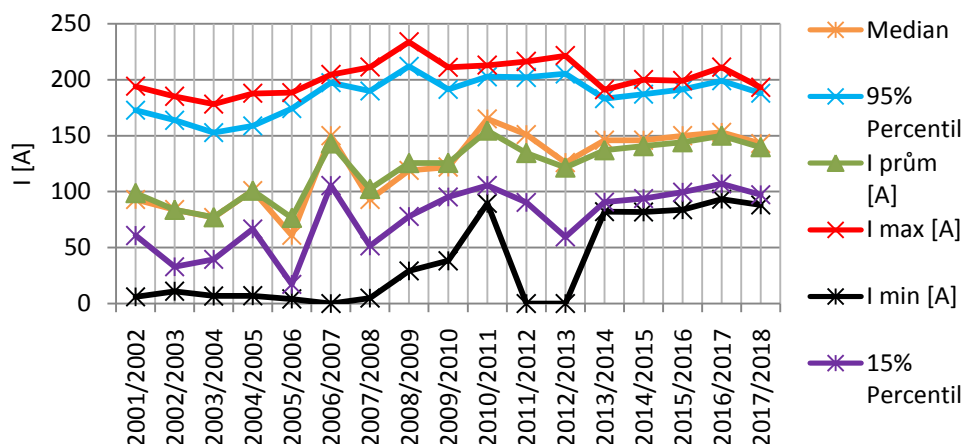
Přílohy

Příloha č. 1 - Část dispečerského schématu sítě VN v Českých Budějovicích

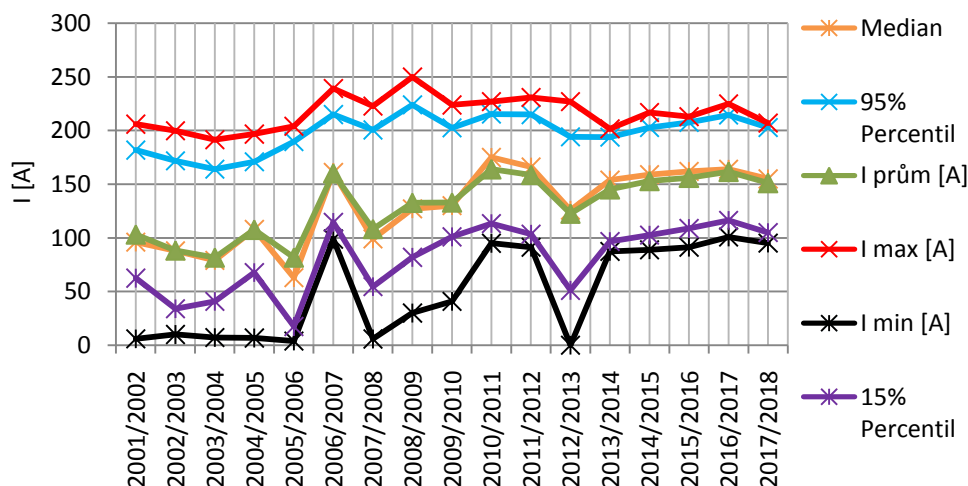


Příloha č. 2 - Vývody kabelů S1, S3 a S4 z TR Mladé

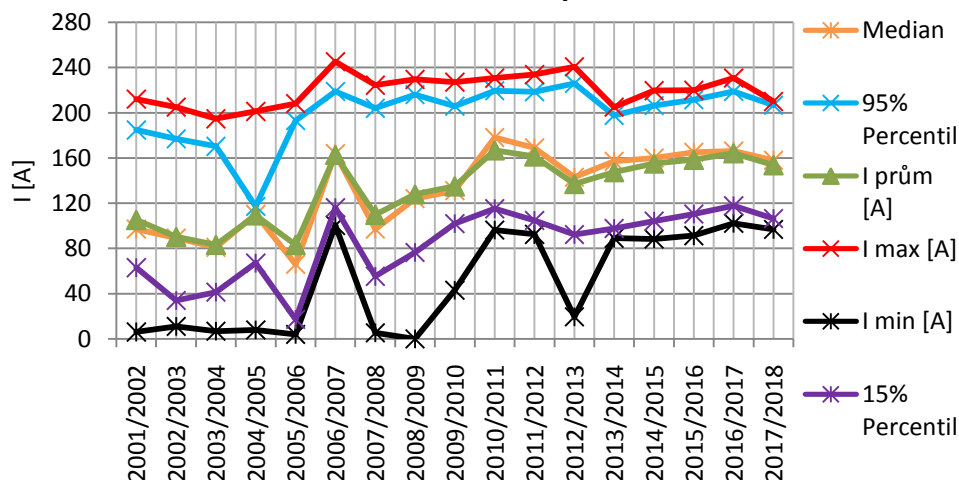
Proudové zatížení na vývodu S1



Proudové zatížení na vývodu S3

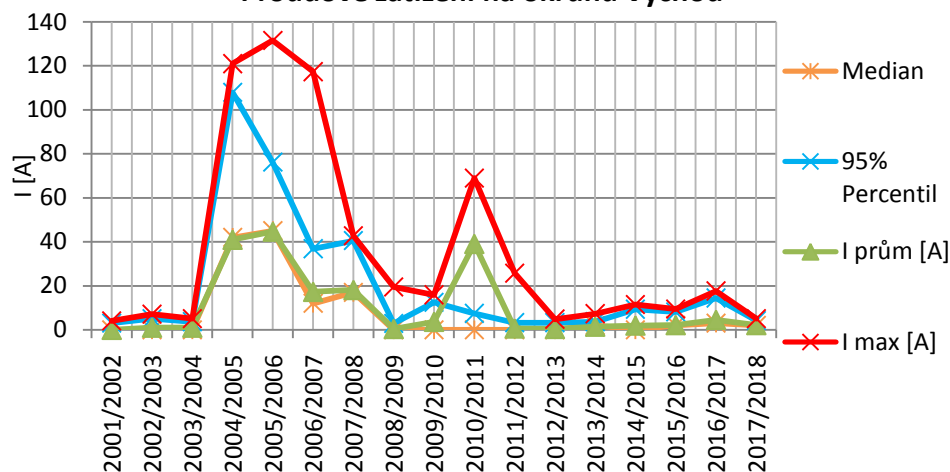


Proudové zatížení na vývodu S4

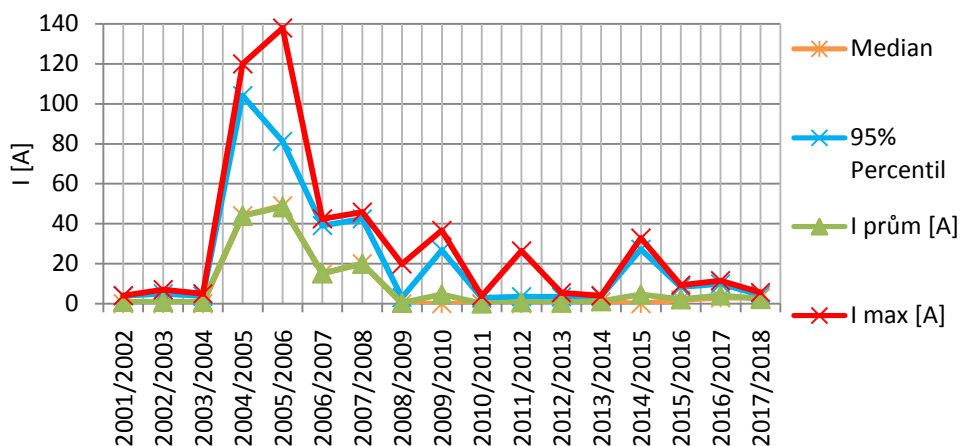


Příloha č. 3 - Vývody stanice Střed v Českých Budějovicích

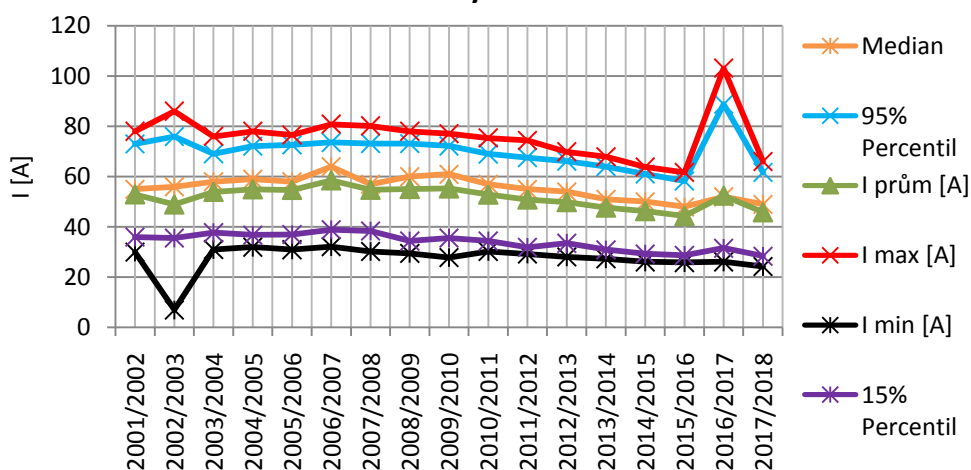
Proudové zatížení na okruhu Východ



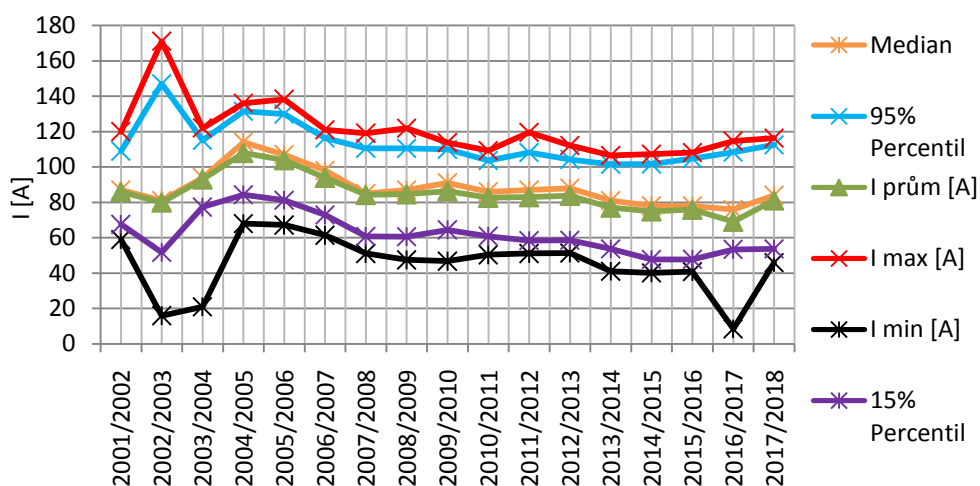
Proudové zatížení na okruhu Sever



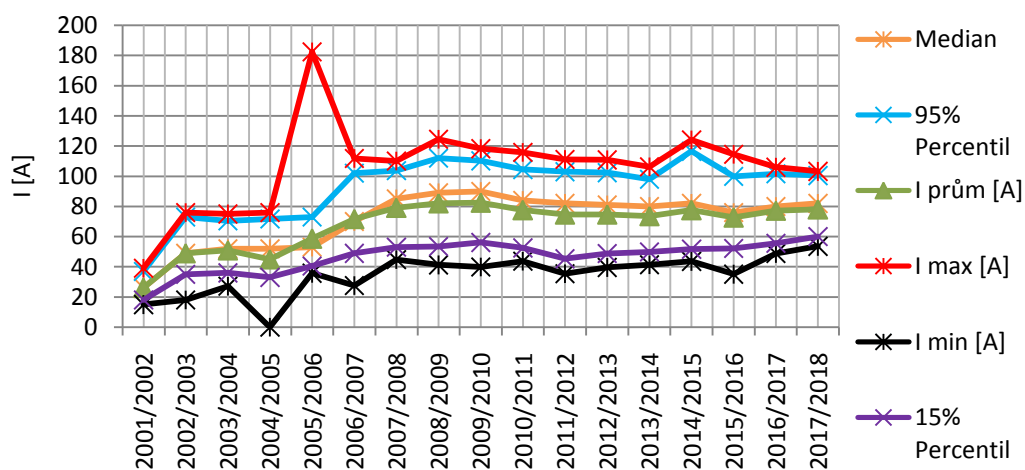
Proudové zatížení na vývodu Havlíčkova kolonie



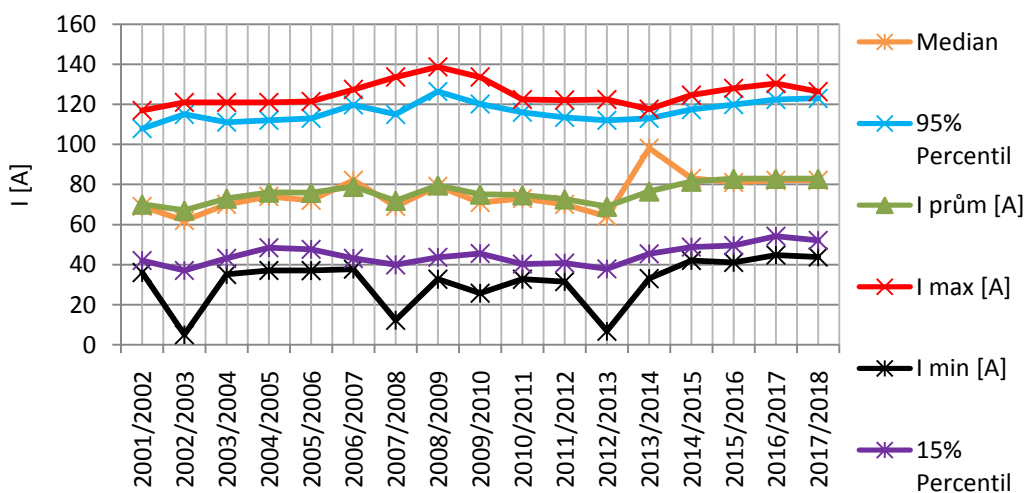
Proudové zatížení na vývodu Jih



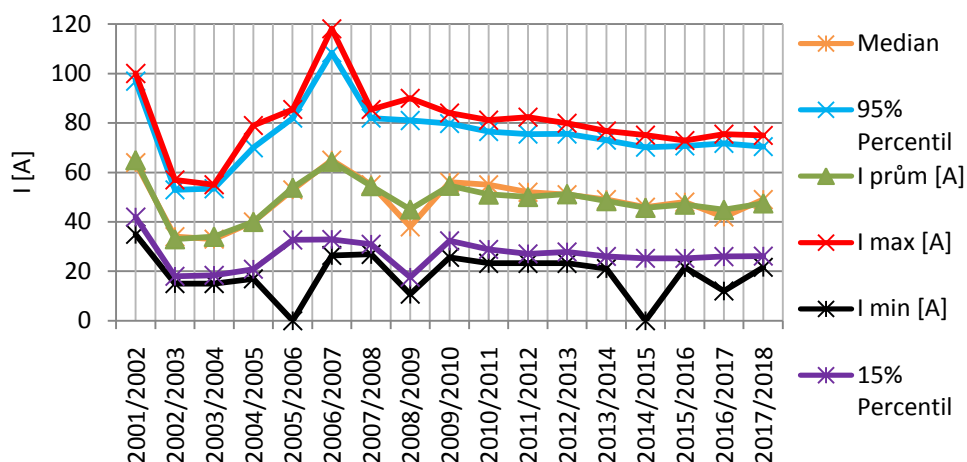
Proudové zatížení na vývodu Nádraží



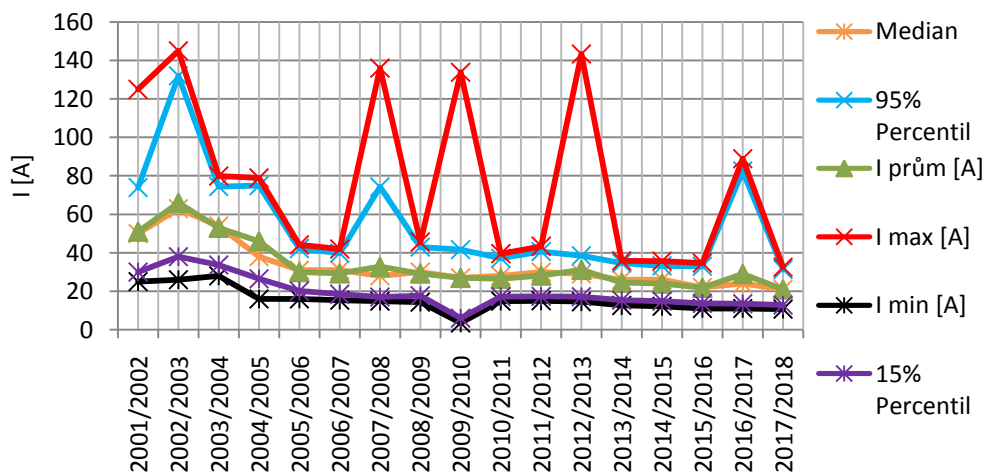
Proudové zatížení na vývodu KNV



Proudové zatížení na vývodu Prior



Proudové zatížení na vývodu Alešova



Příloha č. 4 - Délky a typy jednotlivých vedení VVN

Číslo vedení	Název vedení	Délka ze systému GIS [m]	Násobnost vedení	Počet vodičů na fázi	Napěťová hladina	Druh vedení
V1322	R Dasný - TR Č.B. Západ	4867	2	1	VVN	Nadzemní vedení - holé
V1323	TR Č.B. Západ - R Č.B. Nemanice	8978	2	1	VVN	Nadzemní vedení - holé
V1324	Č.B. Nemanice - TR Č.B. Sever	2603	2	1	VVN	Nadzemní vedení - holé
V1364	TR Č.B. Sever - TR Č.B. Škoda	2303	2	1	VVN	Nadzemní vedení - holé
V1366	TR Č.B. Škoda - R Velešín	27214	2	1	VVN	Nadzemní vedení - holé
V1374	R Velešín - E Lipno	29841	2	1	VVN	Nadzemní vedení - holé
V1363	R Dasný - TR Č.B. Mladé	13218	2	1	VVN	Nadzemní vedení - holé
V1365	TR Č.B. Mladé - TR Kaplice	40704	2	1	VVN	Nadzemní vedení - holé
V1385	TR Kaplice - E Lipno	34290	2	1	VVN	Nadzemní vedení - holé