

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh nové distribuční transformovny

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Předkládaná práce se zabývá návrhem nové distribuční transformovny 110/22 kV. Práce je členěna do pěti kapitol, kde první dvě jsou teoretickým uvedením do problematiky distribuční soustavy a elektrických stanic, jejich rozdělení a použití. Třetí kapitola se zabývá vlastním návrhem rozvodny od požadavku investora o navýšení výkonu přes situační řešení až po technické navržení transformovny 110/22 kV. Ve čtvrté kapitole je realizováno numerické řešení výpočtu zkratových proudů a následná kontrola jejich tepelných a dynamických účinků na navržené zařízení. V páté kapitole je řešena ekonomická stránka projektu s vyčíslením ekonomických ukazatelů a vyhodnocení návratnosti projektu a čisté současné hodnoty projektu.

Klíčová slova

Distribuční soustava, elektrické stanice, distribuční transformovna, zkratový proud, účinky zkratového proudu, ekonomické hodnocení

Abstract

This work deals with the design of a new 110/22 kV distribution substation. The work is divided into five chapters, where the first two are theoretical introduction to the problems of distribution system and electrical substations. The third chapter deals with the design of substation from the investor's request to increase power through situational solutions to the technical design of electrical part of 110/22 kV substation. In the fourth chapter, a numerical solution of short-circuit current calculation and subsequent control of their thermal and dynamic effects on the designed device is realized. In the fifth chapter is solved the economic aspect of the project with the quantification of economic indicators and evaluation of the project payback period and the net present value.

Key words

Distribution system, electric substations, distribution substation, short-circuit current, effects of short-circuit current, economic evaluation

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou/bakalářskou 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 23.5.2019

Jméno příjmení

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce doc. Ing. Lucii Noháčové, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále chci poděkovat panu Ing. Václavu Kropáčkovi Ph.D. za ochotu podělit se o zkušenost, profesionální přístup a především za čas věnovaný našim společným konzultacím.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
1 DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA	12
1.1 DISTRIBUČNÍ SÍŤ VELMI VYSOKÉHO NAPĚTÍ	12
1.2 DISTRIBUČNÍ SÍŤ VYSOKÉHO NAPĚTÍ	12
1.3 DISTRIBUČNÍ SÍŤ NÍZKÉHO NAPĚTÍ	13
2 ELEKTRICKÉ STANICE	15
2.1 OBECNÉ DĚLENÍ ELEKTRICKÝCH STANIC	15
2.2 KATEGORIZACE STANIC DLE ČEZ DISTRIBUCE A.S.	16
2.3 ZÁKLADNÍ PRVKY STANIC	17
3 NÁVRH NOVÉ DISTRIBUČNÍ TRANSFORMOVNY	18
3.1 LOKALIZACE KONKRÉTNÍHO POŽADAVKU NA ZVÝŠENÍ ODBĚRU	18
3.1.1 <i>Vlastní požadavek</i>	18
3.1.2 <i>Vhodné situování nové transformovny</i>	18
3.2 ZAŘÍZENÍ NOVÉ DISTRIBUČNÍ TRANSFORMOVNY	19
3.2.1 <i>Rozvodna vvn</i>	19
3.2.2 <i>Rozvodna vn</i>	23
3.2.3 <i>Stanoviště transformátorů vvn/vn</i>	26
4 KONTROLA NAVRŽENÉHO ZAŘÍZENÍ NA ÚČINKY ZKRATOVÝCH PROUDŮ	27
4.1 VÝPOČET ZKRATOVÝCH VÝKONŮ A ZKRATOVÝCH PROUDŮ NA PŘÍPOJNICÍCH 110 kV A 22 kV	27
4.1.1 <i>Výpočet třífázového zkratového proudu a výkonu na přípojnici 110 kV</i>	28
4.1.2 <i>Výpočet třífázového zkratového proudu a výkonu na přípojnici 22 kV</i>	32
4.1.3 <i>Výpočet jednofázového zkratového proudu a výkonu na přípojnici 110 kV</i> ...	35
4.2 KONTROLA ZAŘÍZENÍ NA TEPELNÉ A DYNAMICKÉ ÚČINKY ZKRATOVÝCH PROUDŮ ..	39
4.2.1 <i>Kontrola oteplení přípojnic 110 kV při zkratu</i>	39
4.2.2 <i>Kontrola oteplení přípojnic 22 kV při zkratu</i>	40
4.2.3 <i>Kontrola dynamických účinků na přípojnici 110 kV při zkratu bez působení automatiky OZ</i>	41
4.2.4 <i>Kontrola dynamických účinků na podpěry přípojnic 110 kV bez působení automatiky OZ</i>	43
4.2.5 <i>Kontrola dynamických účinků na přípojnici 110 kV při zkratu s působením automatiky OZ</i>	43
4.2.6 <i>Kontrola dynamických účinků na podpěry přípojnic 110 kV s působením automatiky OZ</i>	46

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZDŮVODNĚNÍ PŘÍNOSU ZPROVOZNĚNÍ NOVÉ DISTRIBUČNÍ TRANSFORMOVNY	47
5.1 KRITÉRIUM EKONOMICKÉHO HODNOCENÍ	47
5.1.1 <i>Cash flow (CF)</i>	47
5.1.2 <i>Diskontovaný cash flow (DCF)</i>	48
5.1.3 <i>Čistá současná hodnota (NPV)</i>	48
5.1.4 <i>Doba návratnosti</i>	48
5.2 VLASTNÍ EKONOMICKÉ HODNOCENÍ KONKRÉTNÍ INVESTICE.....	49
5.2.1 <i>Naměřené hodnoty spotřeby ve třech PZ v různých fázích života</i>	49
5.2.2 <i>Spotřeba řešené PZ a potenciaální tržby provozovatele DS</i>	50
5.2.3 <i>Vstupy do výpočtového modelu návratnosti a cash flow projektu</i>	52
5.2.4 <i>Výstupy výpočtového modelu</i>	53
ZÁVĚR.....	55
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	57
PŘÍLOHA A JEDNOPÓLOVÉ SCHÉMA ZAPOJENÍ NAVRHOVANÉ TRANSFORMOVNY.....	58
PŘÍLOHA B TABULKOVÉ MODELY PRO VÝPOČET EKONOMICKÝCH UKAZATELŮ PROJEKTU	59

Seznam symbolů a zkratk

a_m	Účinná vzdálenost mezi hlavními vodiči [m]
A	Spotřeba energie [MWh]
c_0	Specifické teplo pro 0°C [$J \cdot cm^{-3} \cdot ^\circ C^{-1}$]
CF	Cash flow [CZK]
d	Vnitřní průměr trubky [m]
d_s	Nominální diskontní sazba [%]
D	Vnější průměr trubky [m]
D_t	Daň z příjmu v roce t [CZK]
DCF	Diskontovaný cash flow [CZK]
E	Modul pružnosti v tahu (Youngův modul) [$N \cdot m^{-2}$]
f	Síťový kmitočet [Hz]
f_{cm}	Vlastní kmitočet hlavního vodiče [Hz]
F_{m3}	Síla mezi hlavními vodiči při souměrném trojfázovém zkratu [N]
$F_{r,d}$	Síla působící na podpěru tuhých vodičů [N]
i_p	Nárazový zkratový proud [A]
I_k''	Rázový zkratový proud [A]
I_b	Vypínací zkratový proud [A]
I_{th}	Ekvivalentní oteplovací zkratový proud [A]
J_m	Moment setrvačnosti plochy průřezu hlavního vodiče [m^4]
k_{Al}	Koeficient respektující teplotu před a po zkratu (Al) [$A \cdot s^{1/2} \cdot mm^{-2}$]
k_{Cu}	Koeficient respektující teplotu před a po zkratu (Cu) [$A \cdot s^{1/2} \cdot mm^{-2}$]
m	Činitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky [-]
m'	Hmotnost přípojnice [kg]
n	Činitel pro tepelné účinky střídavé složky [-]
N_{it}	Investiční náklady v roce t [CZK]
N_{pt}	Provozní náklady v roce t [CZK]

NPV	Čistá současná hodnota [CZK]
OZ	Funkce opětovného zapnutí
P_m	Využití výkonové maximum [MW]
P_t	Podíl zákazníka v roce t [CZK]
PS	Přenosová soustava
PSP	Podélný spínač přípojníc
PTN	Přístrojový transformátor napětí
PTP	Přístrojový transformátor proudu
PVE	Přečerpávací vodní elektrárna
PZ	Průmyslová zóna
q	Součinitel plasticity [-]
R_k	Celkový odpor při zkratu [Ω]
$R_{p0,2}$	Namáhání odpovídající mezi průtažnosti [$N \cdot m^{-2}$]
RP	Rezervovaný příkon [MW]
$\check{R}S$	Řídicí systém
S_k''	Zkratový výkon [VA]
S_{\min}	Minimální průřez vodiče [mm^2]
SF_6	Hexafluorid síry
t_k	Doba působení zkratu [s]
T_p	Doba porovnání v letech [rok]
T_s	Doba návratnosti [rok]
$TR3$	Distribuční transformovna typu H
$T101, T102$	Transformátory 110/22 kV
U_n	Jmenovité napětí [V]
$U_{výp}$	Výpočtové napětí ekvivalentního napěťového zdroje [V]
vn	Vysoké napětí
vvn	Velmi vysoké napětí
zvn	Zvlášť vysoké napětí
V	Objem [m^3]
V_F	Poměr dynamické a statické síly působící na podpěry [-]

V_t	Výnosy v roce t [CZK]
V_σ	Poměr dynamického a statického příspěvku namáhání hlavního vodiče [-]
V_r	Poměr dynamického namáhání způsobeného silami mezi hlavními vodiči při neúspěšném trojfázovém automatickém opětném zapínání a dynamického namáhání při úspěšném trojfázovém automatickém opětném zapínání [-]
W_m	Průřezový modul hlavního vodiče [m^3]
X_k	Celková zkratová reaktance [Ω]
Z_k	Celková zkratová impedance [Ω]
α	Součinitel pro výpočet síly na podpěru [-]
β	Součinitel respektující snížení namáhání ohybu v místě podpěr [-]
γ	Součinitel pro odhad vlastního kmitočtu vodiče [-]
γ_T	Koeficient využití transformátoru [-]
ϑ	Fiktivní teplota vodiče [$^{\circ}\text{C}$]
ϑ_1	Teplota vodiče před zkratem [$^{\circ}\text{C}$]
ϑ_k	Maximální dovolená teplota vodiče při zkratu [$^{\circ}\text{C}$]
κ	Součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu [-]
μ_0	Magnetická permeabilita vakua [$\text{H} \cdot \text{m}^{-1}$]
ρ	Hustota [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
ρ_{20}	Specifický odpor při 20°C [$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$]
σ_m	Namáhání v ohybu způsobené silami mezi hlavními vodiči [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$]

1 Distribuční soustava

Provozovatel distribuční soustavy zajišťuje spolehlivé provozování, obnovu a rozvoj distribuční soustavy na území vymezeném licenci, poskytuje služby distribuční soustavy a řídí toky elektřiny v distribuční soustavě při respektování přenosů elektřiny mezi ostatními distribučními soustavami a přenosovou soustavou ve spolupráci s provozovateli ostatních distribučních soustav a provozovatelem přenosové soustavy (Zákon č.458/200 Sb §25)[1]. Hlavním cílem distribuční soustavy je hospodárným a bezpečným způsobem zásobovat spotřebitele elektrickou energií v požadovaném množství a kvalitě v daném čase. V distribučních soustavách ČR jsou používány napěťové hladiny 110 kV, 35 kV, 22 kV, 10 kV, 6 kV, 3 kV, 1,5 kV a 0,4/0,23 kV.[2]

1.1 Distribuční síť velmi vysokého napětí

Jsou základní páteří distribuční soustavy. Slouží k propojení a distribuci elektrické energie z uzlových transformoven přenosové soustavy do distribučních transformoven vvn/vn. Hlavním zdrojem napájení těchto sítí je nadřazená přenosová soustava zvn, ale také je zde vyveden výkon elektráren v řádech stovek MW. Tyto sítě jsou zpravidla provozovány jako okružní. Vyznačují se vysokou spolehlivostí a díky způsobu provozu a zálohování je většina poruch řešena bez přerušení dodávky elektrické energie spotřebitelům. Vedení jsou obvykle konstruována jako dvojité venkovní s přímo uzemněným uzlem transformátoru.

1.2 Distribuční síť vysokého napětí

Převážná většina sítí vysokého napětí je provozována na napěťových hladinách 22 kV a 35 kV. Vedení o jiných napěťových hladinách již nejsou dále rozvíjena a jsou nahrazována právě 22 kV, v případě části severních a východních Čech pak 35 kV. Vedení jsou v současné době realizována převážně jako venkovní, nicméně v zastavěných oblastech a městech je použito kabelových vedení. Sítě jsou provozovány paprskově, případně rozvodem průběžným. V místech s vyšší hustotou odběrových míst a průmyslovými odběry je zpravidla možné zapojení do dvojpaprskového nebo okružního rozvodu. Sítě vysokého napětí jsou provozovány:

- *S izolovaným uzlem transformátoru*

V případě, že kapacitní proud při zemním spojení nepřesahuje 20 A, nemusí být síť

kompenzována. S touto realizací se setkáváme v malých průmyslových distribučních sítích.

– ***S neúčinně uzemněným uzlem transformátoru***

Uzel transformátoru je v tomto případě spojen se zemí přes velkou impedanci, která je realizována tzv. Petersenovou tlumivkou. V případě zemní poruchy mezi uzlem transformátoru a bodem zemního potenciálu vzniká netočivá složka napětí. Tlumivkou je tedy do země dodáván proud induktivního charakteru, který kompenzuje kapacitní proud vtékající do země místem poruchy. Do vyhledání poruchy lze tedy síť provozovat i při zemním spojení.

– ***S uzlem transformátoru uzemněným přes uzlový odporník***

Tato konfigurace se zpravidla používá v kabelových sítích. Poruchový proud uzavírající se přes odporník je činným odporem tlumen a dochází k „samozhašení“. Omezena jsou i přepětí vznikající při zemním spojení. Nejúčinnější je tato metoda při jednopólových poruchách. V jiném případě jsou poměry téměř shodné jako v soustavách s izolovaným uzlem nebo neúčinně uzemněným uzlem.

1.3 Distribuční sítě nízkého napětí

Tyto sítě jsou zpravidla provozovány s přímo uzemněným středem distribučního transformátoru vn/ 0,4kV v zapojení vinutí Dyn. Dle stupně důležitosti zajištění dodávky el. energie a hustoty napájených objektů jsou sítě řešeny jako:

– ***Sítě paprskové***

Jedná se o nejlevnější a nejjednodušší řešení za cenu nejmenší jistoty zajištění dodávky energie. V těchto sítích se setkáváme s největšími úbytky napětí a výrazným kolísáním U. Přednostmi jsou vysoká přehlednost sítě a nízké zkratové proudy.

– ***Sítě okružní***

Okružní síť lze provozovat jako rozepnutou nebo sepnutou. V případě rozepnuté je provoz stejný jako paprsek, nicméně při ztrátě napájení je zde možnost síť sepnout (ručně nebo automaticky) do uzavřené smyčky a napájet ji z druhé strany.

– ***Sítě mřížové***

Tyto sítě se používají ve větších městech s měrnou hustotou 1 MW/km a více. Síť je napájena minimálně dvěma, nejlépe 3-5 napáječi vn. Vyznačují se nejnižší

pravděpodobností výpadku a největší jistotou zajištění dodávky, jelikož poruchy v sítích vn i nn neovlivní napájení odběratelů. Setkáváme se ale s nejvyššími zkratovými proudy a malou přehledností sítě.

2 Elektrické stanice

Elektrizační soustava se skládá z výroben, rozvodných a přenosových zařízení a spotřebičů elektrické energie. Rozvodná zařízení mají za úkol právě přenos a rozvod této energie a sestávají z elektrických vedení a elektrických stanic. Právě elektrické stanice slouží ať už za účelem přenosu, rozdělení či potřebě úpravy jiných specifických vlastností energie ke změnám vlastností (transformace, usměrnění) nebo pouze jako prvek sloužící k rozdělení energie bez transformace (spínací stanice).[2]

2.1 Obecné dělení elektrických stanic

Elektrické stanice dělíme z různých hledisek

1. Dle účelu

a) *Spínací stanice*

Zajišťují rozvod a rozdělení elektrické energie na jedné napěťové hladině.

b) *Transformovny*

Uskutečňují transformaci mezi napěťovými hladinami a další rozvod elektrické energie.

c) *Měničrny*

Zajišťují usměrnění, případně rozstřídání elektrické energie.

2. Dle umístění

a) *Elektrické stanice výroben*

Stanice zajišťující spolehlivé spojení výrobních bloků s přenosovou sítí. Transformují svorkové napětí alternátorů na jinou napěťovou hladinu. Pokud se nejedná o PVE, je směr toku energie vždy od výroby do sítě. Počet odboček je dán počtem bloků výroby.

b) *Elektrické stanice v přenosové soustavě*

▪ *Uzlové elektrické stanice*

Spínací stanice rozdělující elektrickou energii o stejném napětí mezi větvemi okružní přenosové sítě.

▪ *Transformační stanice*

Zde je přenášena elektrická energie mezi přenosovými soustavami různých napěťových hladin

c) Elektrické stanice spotřeby**▪ Distribuční elektrické stanice**

Transformují napětí, rozdělují a dodávají elektrickou energii odběratelům.

▪ Průmyslové elektrické stanice

Rozdělují elektrickou energii v průmyslových podnicích přímo ke spotřebičům a transformují napětí na nn.

d) Měničrny**▪ Měničrny přenosu**

Zpravidla v místech propojení elektrizačních soustav o rozdílných kmítočtech stejnosměrným vedením. Usměřňují a rozstřídávají elektrickou energii.

▪ Měničrny spotřební

Usměřňují elektrickou energii pro trakci a některé průmyslové rozvody.[3][4]

2.2 Kategorizace stanic dle ČEZ Distribuce a.s.**Kategorie TR 1 – Uzlová transformovna**

Tato stanice obecně tvoří spojení mezi přenosovou sítí zvn (v majetku ČEPS a.s.) a distribuční soustavou vvn (v majetku ČEZd), v němž je transformována elektrická energie z PS do DS. Konkrétně kategorie TR 1 zahrnuje tu část této stanice ve vlastnictví ČEZd. Tento typ transformovny dále rozděljuje el. energii o stejném napětí vvn do distribuční soustavy a zároveň ji transformuje na napěťovou hladinu vn, na které je opět energie rozdělena jako napájení pro distribuční soustavu v okolí rozvodny. Část vvn je zpravidla řešena trojitým systémem přípojnic.

Kategorie TR 2 – Distribuční elektrická stanice

Jedná se o stanici, která propojuje více oblastí rozvodné sítě 110 kV, případně transformuje a rozděljuje elektrickou energii do distribuční soustavy vn. V rozvodně vvn je zpravidla více polí než 4. Pole jsou napájena dvojitým systémem přípojnic. Do TR 2 spadají také rozvodny s počtem vvn polí větším než 2. Jedná se o stanice bez transformace na hladinu vn.

Kategorie TR 3 – Distribuční transformovna typu H

Tato stanice disponuje dvěma vývodovými poli a dvěma poli transformátorů 110kV/vn. Slouží jako napájecí bod distribuční soustavy vn. Počet polí je menší nebo roven 4, bez započtení pole podélného dělení. Do kategorie TR 3 jsou rovněž zahrnuty stanice vvn s počtem linkových polí menším nebo rovno 2 pro napájení zákazníků připojených na hladinu vvn. Disponuje zpravidla jednoduchým systémem přípojnic.

2.3 Základní prvky stanic

– *Přípojnice*

Jsou to holé vodiče, jejichž průřez je dán proudovým zatížením, požadavky na pevnost a zkratovými poměry. K přípojnicím je elektrická energie přiváděna přívodními odbočkami a odváděna ke spotřebičům vývodovými odbočkami.

– *Odbočky*

Skládají se ze série propojených přístrojů, pomocí kterých zajišťujeme spínání, měření a ochranu vývodů, přívodů nebo přípojnic. Základními zařízeními jsou:

1. *Vypínače* – slouží k bezpečnému odpojení části systému nebo sítě, při protékajícím proudu ať už jmenovitém (při běžném zatížení) nebo poruchovém (např. při zkratu na vedení)
2. *Přípojnicové odpojovače* – slouží k viditelnému odpojení odbočky od systému přípojnic. Manipulace je přípustná pouze bez zatížení.
3. *Vývodové odpojovače* – zajišťují viditelné odpojení přívodního vedení do rozvodny. Pro zabezpečení a zajištění beznapětového stavu, zkratování a uzemnění vedení bývají tyto odpojovače vybaveny zemními noži.
4. *Měřicí transformátory* – měřící velikost napětí a protékajícího proudu jako vstupních veličin pro ochrany a další zařízení.[5]

3 Návrh nové distribuční transformovny

V dnešní době panuje nezastavitelný rozmach průmyslových zón a s tímto rostou i nároky na distribuční soustavu a její konfiguraci. Pro připojení nového velkoodběratele je třeba distribuční síť upravit a rozšířit, jelikož s každým novým připojením rostou energetické toky sítí, než na které je dimenzována. V případě požadavku na odběr v jednotkách až desítkách MW už síť nedokáže napájet odběratele přivedením linky vysokého napětí, ale pokud možno v blízkosti místa odběru rozdělit stávající okružní vedení vvn a zprovoznit novou distribuční transformovnu, přes kterou bude nový odběratel připojen.

3.1 Lokalizace konkrétního požadavku na zvýšení odběru

3.1.1 Vlastní požadavek

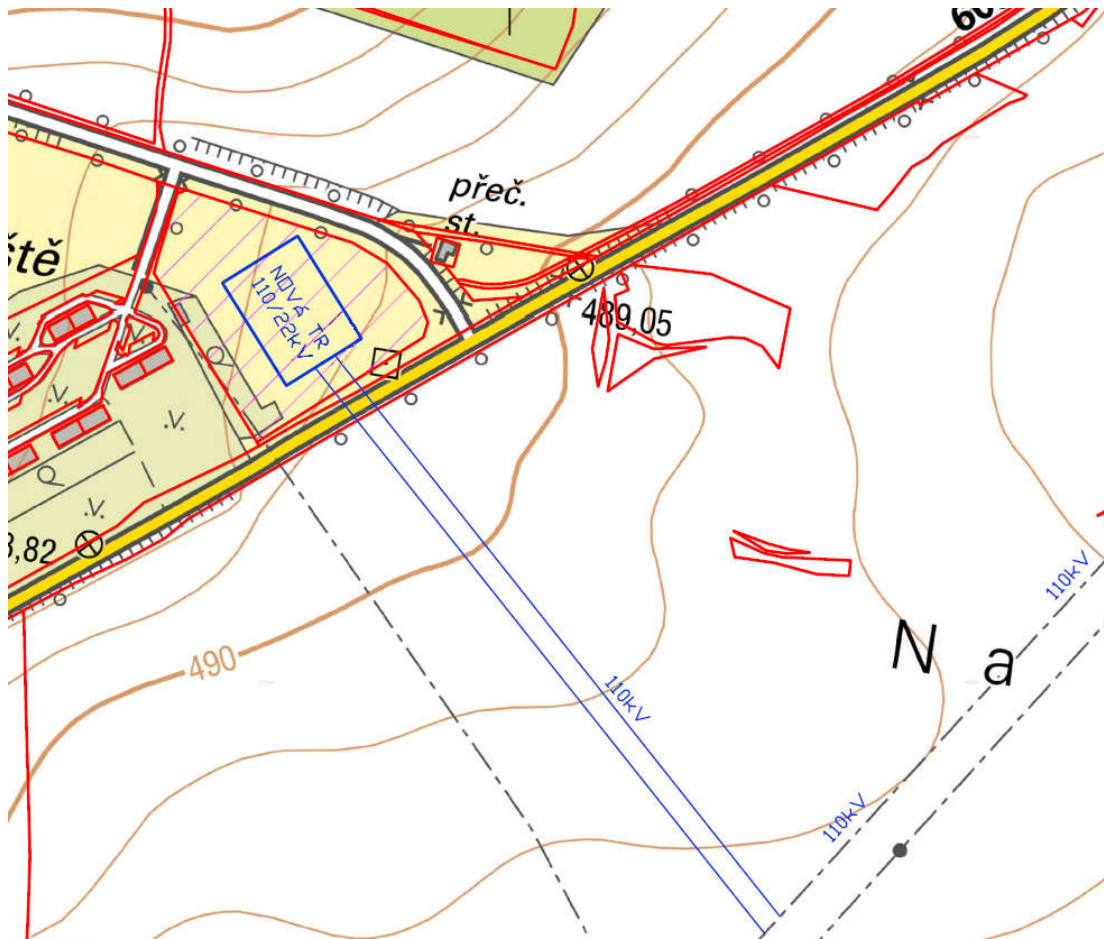
Po dohodě s konzultantem nyní specifikuji stav a lokalitu poblíž obce Mlýnec (okres Tachov). Budoucí průmyslová zóna (dále PZ) je situována přibližně 2 km od vedení 110 kV. Aktuálně je připojen odběr 2,7 MW a v souvislosti s výstavbou nové PZ má být navýšen o +10 MW. Vzhledem k tomu, že v blízkém okolí je PZ s podobnou funkční náplní o rozloze 110 ha a odběrem 20 MW (tedy cca 180 kW/ha), je velice pravděpodobné, že se požadovaný odběr zvýší.

Uvažujme, že zatížení na jednotku plochy bude stejné – tedy 180 kW/ha. V tom případě by zařízení mělo být dimenzováno minimálně na odběr 25 MW s rezervou.

3.1.2 Vhodné situování nové transformovny

Vzhledem k blízkosti vedení 110 kV V1246, je vhodné transformovnu situovat co nejbližší této lince, nejlépe na pozemek investora PZ, případně pozemek v obecním vlastnictví poblíž asfaltové silnice (pro dopravu materiálu, zařízení a transformátorů). Přibližným odhadem se jedná o pozemek o rozloze 100 × 100 metrů.

Po zvážení vhodnosti pozemků byl zvolen pozemek poblíž komunikace 605 mezi obcemi Muckov a Vysočany. Zvolený pozemek je v blízkosti případného napájecího vedení V1246 pro novou rozvodnu, v blízkosti silniční komunikace a ve vlastnictví města Bor. Situování a připojení rozvodny na linku V1246 ukazuje Obr. 3.1.



Obr. 3.1 Návrh situačního uspořádání nové transformovny a jejího napájecího vedení [7][8]

Červená – hranice pozemků (katastrální mapa)

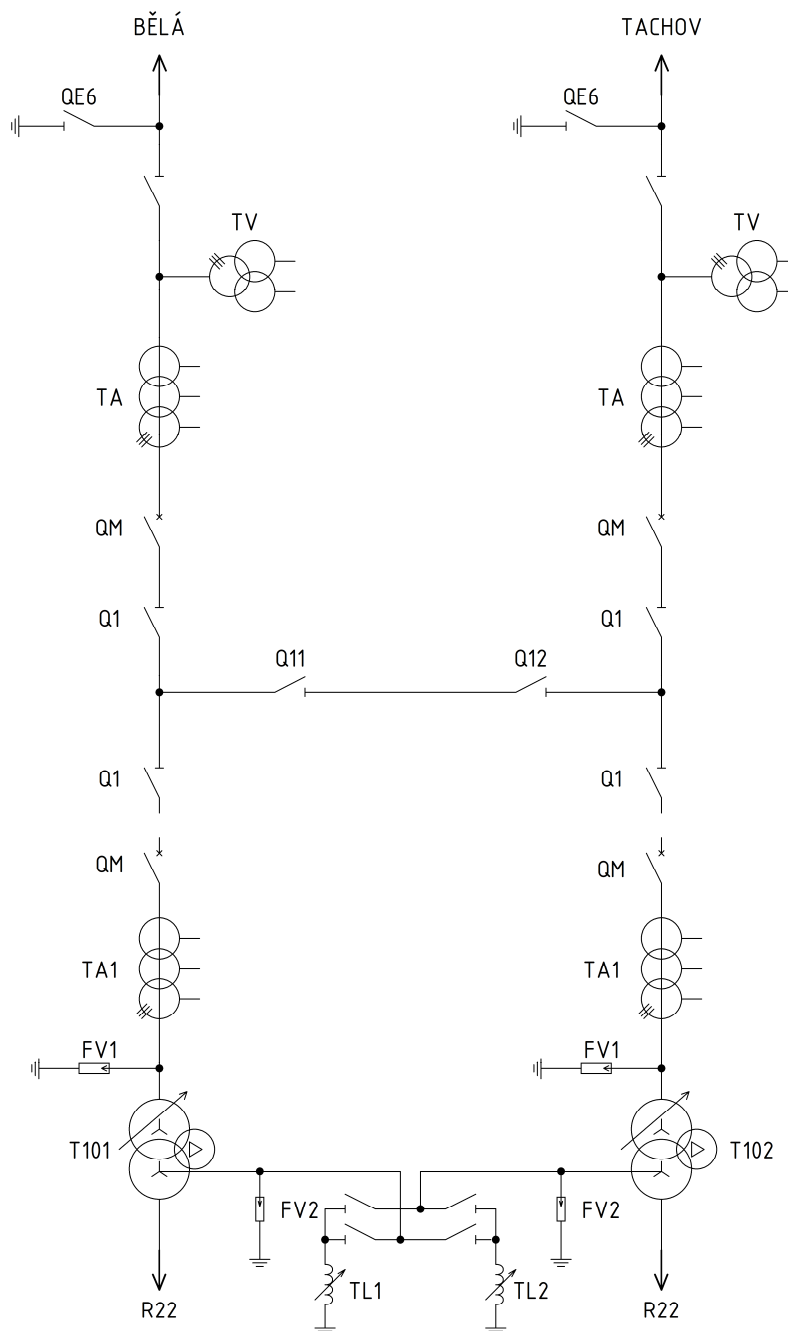
Růžový šraf – zvolený pozemek ve vlastnictví města Bor

Modrá – Navržené situování nové distribuční transformovny a přívodního vedení 110 kV

3.2 Zařízení nové distribuční transformovny

3.2.1 Rozvodna vvn

Pro tento případ se zpravidla volí kategorie TR 3 - Distribuční transformovna typu H. Počet polí vvn je menší nebo roven 4, bez započtení pole podélného dělení (zpravidla 2 vývodová pole a 2 pole transformátorů 110/vn). Podélné dělení je realizováno pouze odpojovači. Přípojnice jsou realizovány trubkovými vodiči. Odbočky jsou lanové, pokud je to možné, pak trubkové. Schéma navrhovaného zapojení je na Obr.3.2.



Obr.3.2 Schéma rozvodny vvn

3.2.1.1 Specifikace navrhovaného vybavení rozvodny části vvn

Pro správnou funkčnost a schopnost odolat poruchovým stavům, jsou na jednotlivé přístroje a prvky vybavení kladeny určité nároky. Tyto nároky a požadavky musí být v každém případě bezpodmínečně splňovány. Pro transformovny typu TR3 platí:

3.2.1.1.1 Vypínače QM

Bude použit vypínač se třemi samostatnými elektromotorickými pohony s pružinovými střadači pro každý pól (pro schopnost provozu jednopólového OZ) a s možností ručního ovládání a nastřádání pohonu. S roztečí pólů min. 1750 mm. Elektrický oblouk musí být hašen ve zhašecí komoře s izolačním plynem SF6.

Technické parametry vypínače QM:

- jmenovitý proud: 2500 A,
- jmenovitý krátkodobý výdržný proud: 40 kA,
- jmenovitý dynamický výdržný proud: 100 kA,
- nejvyšší napětí soustavy: 123 kV,
- ovládací napětí: 110/230V.

3.2.1.1.2 Přípojnicový odpojovač Q

Budou použity trojpólové odpojovače s póly vedle sebe s horizontálním pohybem ramen, elektromotorickým pohonem s možností ručního ovládání pohonu.

Technické parametry přípojnicových odpojovačů Q:

- jmenovitý proud: min. 1600 A, podélné dělení min. 2000 A,
- jmenovitý krátkodobý výdržný proud: 40 kA,
- jmenovitý dynamický výdržný proud: 100 kA,
- rozteč pólů vedle sebe: min. 2000 mm.

3.2.1.1.3 Vývodový odpojovač s uzemňovačem Q6 + QE6

Troj­pólové odpojovače se zemními noži, s póly odpojovače vedle sebe s horizontálním pohybem ramen, elektromotorickým pohonem odpojovače i uzemňovače s možností ručního ovládání těchto pohonů.

Technické parametry vývodových odpojovačů s uzemňovačem:

- jmenovitý proud: min. 1600 A,
- jmenovitý krátkodobý výdržný proud: 40 kA,

- jmenovitý dynamický výdržný proud: 100 kA,
- rozteč pólů vedle sebe: min. 2000 mm.

3.2.1.1.4 Kombinovaný přístrojový transformátor proudu a napětí TW1 (TA+TV)

Parametry TA:

Přístrojový transformátor proudu bude obsahovat jedno až tři jistící jádra (dle potřeby), jedno měřící jádro pro dispečerské měření a v případě potřeby měřící jádro pro fakturační a bilanční měření.

Technické parametry PTP:

- připojitelný primární proud 300 – 600 A, 400 – 800 A – dle dimenze přívodní linky vvn,
- jmenovitý krátkodobý výdržný proud: 40 kA,
- jmenovitý dynamický výdržný proud: 100 kA,
- sekundární proud 1 A,
- zatížitelnost $1,2 I_N$,
- izolační médium SF6.

Parametry TV:

Technické parametry PTN:

- jmenovitý převod napětí: $\frac{110000/\sqrt{3}}{100/\sqrt{3}}$,
- izolační médium SF6.

3.2.1.1.5 Omezovače přepětí FV1

Omezovač přepětí na bázi ZnO s kompozitní izolací a energetickou třídou III, bez čítače přeskoků. Omezovač je uzemněn nejkratší cestou na hlavní zemnicí síť.

3.2.2 Rozvodna vn

Z koncepčního hlediska ČEZ Distribuce a.s. jsou všechny nové rozvodny vn v provedení vnitřní zapouzdřené rozvodny vn s izolací SF6. Rozvodna je realizována kovově krytými rozvaděči vn s izolací SF6, kde každé pole nebo modul rozvaděče svým provedením a konstrukcí odolává obloukovému zkratu dle ČSN EN 62271 – 200. Používá se buď jedno nebo dvou přípojnicové provedení. Navrhují jedno-přípojnicové provedení.

3.2.2.1 Specifikace navrhovaného vybavení rozvodny vn

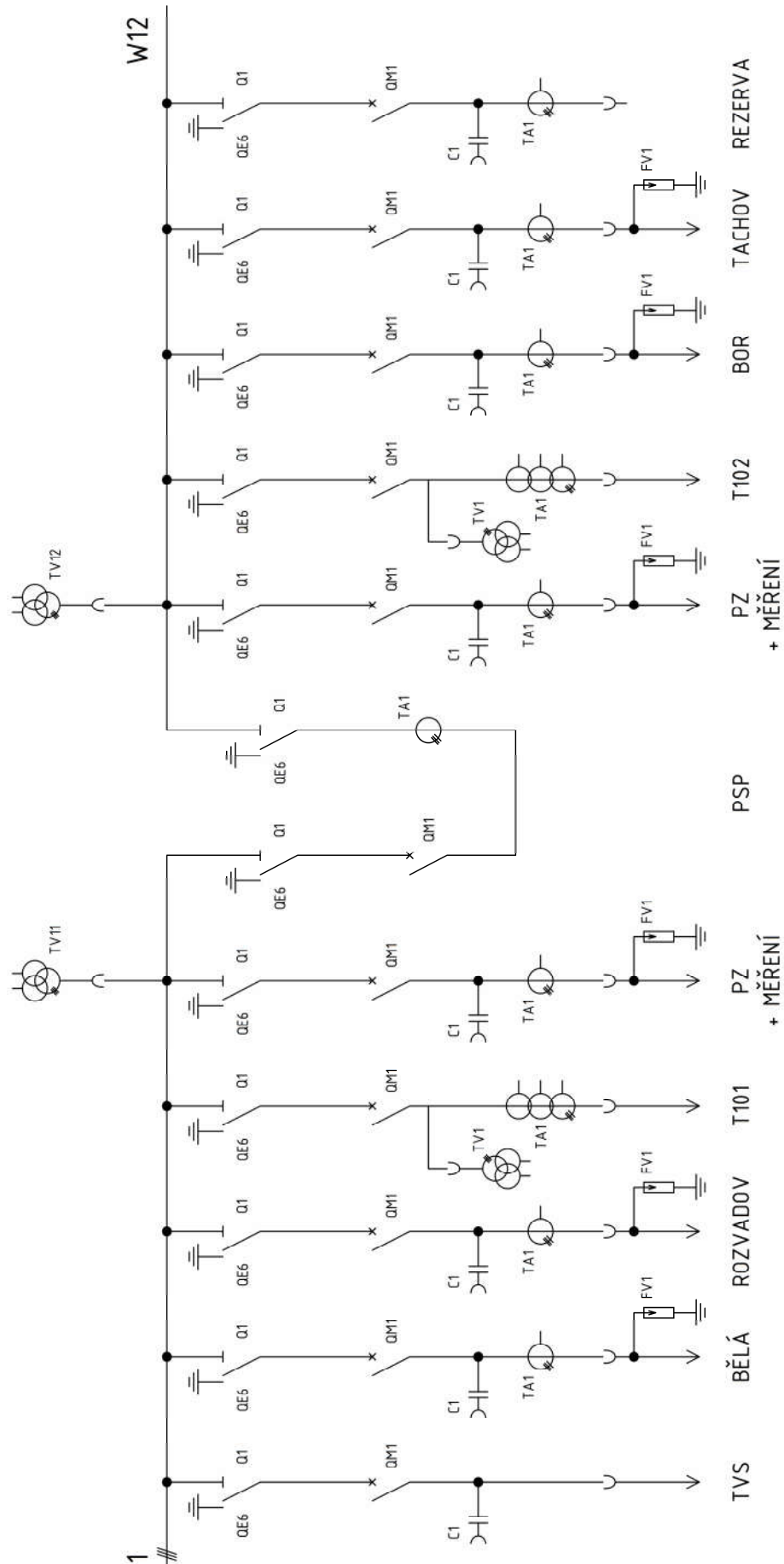
V našem případě se jedná o jednosystémovou rozvodnu, tzn. rozvodna s jedním systémem přípojnic s jedním vypínačem na odbočku. Přípojnice bude dělena podélně pomocí podélného spínače přípojnic PSP, který se skládá z vypínače a odpojovačů s uzemňovači přípojnic. Do jedné sekce bude přiveden přívod od T101 a do druhé přívod od T102. Tyto přívody budou prioritně dispozičně osazeny jako druhá skříň od pole PSP z každé strany. Navržené schéma rozvodny vn je na Obr 3.3.

3.2.2.1.1 Vypínače QM

Trojpolový vakuový vypínač s jedním pohonem pro všechny póly izolovaný pomocí SF6. Pohon je elektromotorický s pružinovým střadačem s možností dálkového ovládní a možností ručního ovládní a nastřádní pohonu.

Technické parametry vypínačů QM:

- jmenovitý proud: 2000 A na PSP, 1250 A na vývodu, 2000 A na přívodech z T101 (T102),
- jmenovitý krátkodobý výdržný proud: 25 kA,
- jmenovitý dynamický výdržný proud: 63 kA,
- nejvyšší napětí soustavy: 25 kV,
- ovládací napětí: 110/230V.



Obr 3.3 Schéma rozvodny vn

3.2.2.1.2 Odpojovače přípojnicové s uzemňovačem Qx+QEx

Budou použity třípolohové spínače (zapnuto – vypnuto – uzemněno), s uzemňovačem na straně vypínače, izolací médiem SF₆, elektromotorickým pohonem s dálkovým ovládáním a s možností ručního ovládání pohonu.

Technické parametry přípojnicových odpojovačů s uzemňovači Qx+QEx:

- jmenovitý proud: 2000 A na PSP, 1250 A na vývodu, 2000 A na přívodech z T101 (T102),
- jmenovitý krátkodobý výdržný proud: 25 kA,
- jmenovitý dynamický výdržný proud: 63 kA,
- nejvyšší napětí soustavy: 25 kV,
- ovládací napětí: 110/230V.

3.2.2.1.3 Přístrojové transformátory proudu TA1

Induktivní typ zalitý v epoxidové pryskyřici. Jsou jimi osazeny všechny fáze. Jedno jádro slouží pro ochrany a dispečerské měření, v případě potřeby druhé měřící jádro pro fakturační a bilanční měření.

Technické parametry PTP:

- jmenovitý primární proud: min. 300 A,
- jmenovitý krátkodobý výdržný proud: 25 kA,
- jmenovitý dynamický výdržný proud: 63 kA,
- sekundární proud 1 A,
- zatížitelnost 1,2 I_N.

3.2.2.1.4 Kapacitní indikátory zpětného napětí C1

Mají dva signalizační výstupy do ŘS, dále nutnost vizuální signalizace zpětného napětí. Nutnost instalace ve všech fázích.

3.2.2.1.5 Omezovače přepětí FV1

Omezovače přepětí na bázi ZnO (ve stíněném provedení) se jmenovitým výbojovým proudem 10 kA.[9]

3.2.3 Stanoviště transformátorů vvn/vn

Dle standardů provozovatele distribuční soustavy ČEZ Distribuce a.s. se v případě výstavby nových transformoven staví minimálně dvě samostatná pole výkonových transformátorů

3.2.3.1 Výkonové transformátory vvn/vn T101 a T102

Bude použit trojfázový olejový regulační transformátor se třemi vinutími 110±8×2%/23/(6,3) kV.

- Zapojení YNyn0/(d)
- Terciární vinutí zapojené do trojúhelníku slouží k eliminaci třetí harmonické z napájené sítě a je vyvedeno pouze dvěma průchodkami pro měřicí účely.
- Regulace napětí je realizována přepínačem odboček na straně 110 kV a musí být možná při zatížení místně i dálkově

Výkon transformátorů určíme dle vztahu:

$$S_T = \frac{P_p}{\gamma_T \cdot \cos \varphi} = \frac{25 \cdot 10^6}{0,6 \cdot 0,95} = 39,583 \cdot 10^6 \Rightarrow 40 \text{ MVA} \quad (3.1)$$

kde: P_p je výkonové zatížení PZ

γ_T je koeficient využití transformátoru (volba s ohledem na budoucí rozšíření)

$\cos \varphi$ je jmenovitý účinník PZ.

Dle těchto požadavků byl zvolen typ transformátoru s následujícími štítkovými hodnotami
Tab 3.1 Štítkové hodnoty navrhovaných transformátorů T101 a T102

U_{n1} [kV]	110	I_{n1} [A]	210
U_{n2} [kV]	23	I_{n2} [A]	1004
S_T [MVA]	40	i_0 [%]	0,25
P_k [kW]	170	P_0 [kW]	29,3
u_k [%]	11,5	YNyn0/(d) 110±8×2%/23/(6,3) kV	

3.2.3.2 Tlumivky vn se sekundárním odporníkem TL1 a TL2

Obě transformátorová pole budou vybavena zhášecími tlumivkami o výkonech 4000 kVAr. Rozvodna nenapájí kabelové sítě, tak není zapotřebí odporníků. Záložně bude však napájet přibližně polovinu rozsahu vn sítě napájené sousední TR Tachov.

4 Kontrola navrženého zařízení na účinky zkratových proudů

Navržené zařízení je nutné zkontrolovat na účinky nejhorší možné elektrické poruchy. Zda navržené přístroje jsou schopny tepelně a mechanicky odolat účinkům poruchového proudu a zda výkonové vypínače jsou schopny tento poruchový proud vypnout. Pro výpočet zkratového proudu je nutné znát zkratové poměry v místě výstavby námi navrhované rozvodny. Panem konzultantem mi byl poskytnut výpis zkratových poměrů v rozvodně Přeštice a parametry venkovních vedení zkratové oblasti.

4.1 Výpočet zkratových výkonů a zkratových proudů na přípojnicích 110 kV a 22 kV

Dle normy ČSN EN 60909-0 zkratový proud I_k'' vypočteme metodou využívající zavedení ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu, kdy tento zdroj je jediným aktivním napětím soustavy. Všechny síťové napáječe (v našem případě nadřazená soustava z uzlové rozvodny Přeštice), transformátory, venkovní vedení atd. jsou nahrazeny jejich zkratovými impedancemi.

Tab 4.1 Známé hodnoty zkratových poměrů na přípojnicích 110kV v rozvodně Přeštice

Přeštice	Známá maxima				Zkr. odolnost
	$I_k''_{3f}$ [kA]	$S_k''_{3f}$ [MVA]	$I_k''_{1f}$ [kA]	$S_k''_{1f}$ [MVA]	I_{th}/I_{km} [kA]
	29,96	5714	26,91	5124	20/50

Tab 4.2 Poskytnuté parametry vedení ve zkratové oblasti navrhované rozvodny

Jméno	Vodič	Zemní lano	Délka [km]	R [Ω]	X [Ω]	B [mmS]	R0/R1	X0/X1	I_{max} [A]
V1269	3x185AlFe6	1xKZL	33,7926	5,2784	14,0442	93,8658	3,5	3,5	483
V1270	3x185AlFe6	1xKZL	33,6184	5,2512	13,9718	93,3819	3,5	3,5	483
V1248a	3x240AlFe6	1xKZL	24,4142	3,0518	9,5704	70,7768	2	2	572
V1248b	3x240AlFe6	1xKZL	0,8906	0,1113	0,3613	2,537	3,5	3,5	572
V1246a	3x240AlFe6	1xKZL	28,098	3,5123	11,0144	81,4562	2	2	572
V1246b	3x240AlFe6	1xKZL	0,863	0,1079	0,3501	2,4584	3,5	3,5	572
V1277a	3x185AlFe6	1xKZL	6,6046	1,0316	2,7449	18,3455	3,5	3,5	483
V1277b	3x185AlFe6	1x185AlFe6	2,4845	0,3881	0,9913	7,1172	2	2	483
V1277c	3x185AlFe6	1x70Fe	22,2673	3,4781	8,8846	63,7868	3	3	483
V1273a	3x185AlFe6	1x185AlFe6	1,3548	0,2116	0,5631	3,7634	3,5	3,5	483
V1273b	3x185AlFe6	1x185AlFe6	2,6527	0,4144	1,1025	7,3684	3,5	3,5	483
V1274a	3x185AlFe6	1x70Fe	17,1834	2,684	7,1414	47,7303	5	5	483
V1274b	3x185AlFe6	1x185AlFe6	2,6261	0,4102	1,0914	7,2945	3,5	3,5	483
V1274c	3x185AlFe6	1x185AlFe6	4,5287	0,7074	1,8821	12,5794	3,5	3,5	483
V1274d	3x240AlFe6	1x185AlFe6	0,1595	0,0199	0,0647	0,4543	3,5	3,5	572

V1275a	3x185AlFe6	1x185AlFe6	1,3395	0,2092	0,5567	3,7206	3,5	3,5	483
V1275b	3x185AlFe6	1x70Fe	6,4229	1,0033	2,6693	17,8408	5	5	483
V1275c	3x243-AL1/39-ST	1x185AlFe6	0,0566	0,0067	0,023	0,1613	3,5	3,5	518
V1271a	3x243-AL1/39-ST	1x185AlFe6	0,0695	0,0083	0,0282	0,198	3,5	3,5	518
V1271b	3x185AlFe6	1x70Fe	10,7419	1,6779	4,4643	29,8378	5	5	483
V1271c	3x185AlFe6	1x185AlFe6	6,9231	1,0814	2,8773	19,2304	3,5	3,5	483
V1271d	3x185AlFe6	1x70Fe	8,3764	1,3084	3,4812	23,2671	5	5	483
V1272a	3x185AlFe6	1x185AlFe6	6,9328	1,0829	2,8813	19,2572	3,5	3,5	483
V1272b	3x185AlFe6	1x70Fe	8,3807	1,3091	3,483	23,279	5	5	483
V1272c	3x185AlFe6	1x185AlFe6	4,5225	0,7064	1,8795	12,5621	3,5	3,5	483
V1272d	3x240AlFe6	1x185AlFe6	0,1688	0,0211	0,0685	0,4808	3,5	3,5	572
V1215a	3x240AlFe6	1x185AlFe6	0,1549	0,0194	0,0628	0,4412	3,5	3,5	572
V1215b	3x185AlFe6	1x185AlFe6	0,8907	0,1391	0,3702	2,4742	3,5	3,5	483

4.1.1 Výpočet třífázového zkratového proudu a výkonu na přípojnicí 110 kV

Pro výpočet 3f zkratového proudu a výkonu je nutno vypočítat celkovou zkratovou impedanci zkratové oblasti. Po nahrazení nadřazené soustavy náhradní reaktancí X_S a všech venkovních vedení jejich impedancemi Z_{KX} resp. činnými odpory R_{KX} a reaktancemi X_{KX} získáme náhradní schéma zkratové oblasti znázorněné na Obr 4.1, kde vedení V1246 uvažují pro výhodnou polohu navrhované rozvodny rozdělené na dvě stejné části. Celková zkratová impedance je sérioparalelním součtem všech impedancí mezi bodem zemního potenciálu a místem zkratu. Jelikož pro výpočet 3f zkratového proudu a výkonu počítáme pouze se souslednými složkami reaktancí, můžeme částečné odpory a reaktance vedení v Tab 4.2 jednoduše sečíst:

$$\begin{aligned}
 R_{1274} &= R_{1274a} + R_{1274b} + R_{1274c} + R_{1274d} = \\
 &= 2,684 + 0,4102 + 0,7074 + 0,0199 = 3,8215 \Omega
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

$$\begin{aligned}
 X_{1274} &= X_{1274a} + X_{1274b} + X_{1274c} + X_{1274d} = \\
 &= 7,1414 + 1,0914 + 1,8821 + 0,0647 = 10,1796 \Omega
 \end{aligned}
 \tag{4.2}$$

Po sečtení všech dílčích úseků vedení získáme celkové hodnoty odporu a reaktance pro jednotlivá vedení.

Tab 4.3 Celkové hodnoty odporů a reaktancí vedení ve zkratové oblasti

Jméno	R [Ω]	X [Ω]
V1269	5,2784	14,0442
V1270	5,2512	13,9718
V1248	3,1631	9,9317
V1246	3,6202	11,3645
V1277	4,8978	12,6208
V1273	0,626	1,6656
V1274	3,8215	10,1796
V1275	1,2192	3,249
V1271	4,076	10,851
V1272	3,1195	8,3123
V1215	0,1585	0,433

Pro výpočet zkratové impedance síťového napáječe dle ČSN EN 60909-0 platí:

$$Z_S = \frac{c_{\max} \cdot U_{nS}}{\sqrt{3} \cdot I''_{KS}} = \frac{1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 29,96 \cdot 10^3} = 2,3318 \Omega = X_S \quad (4.3)$$

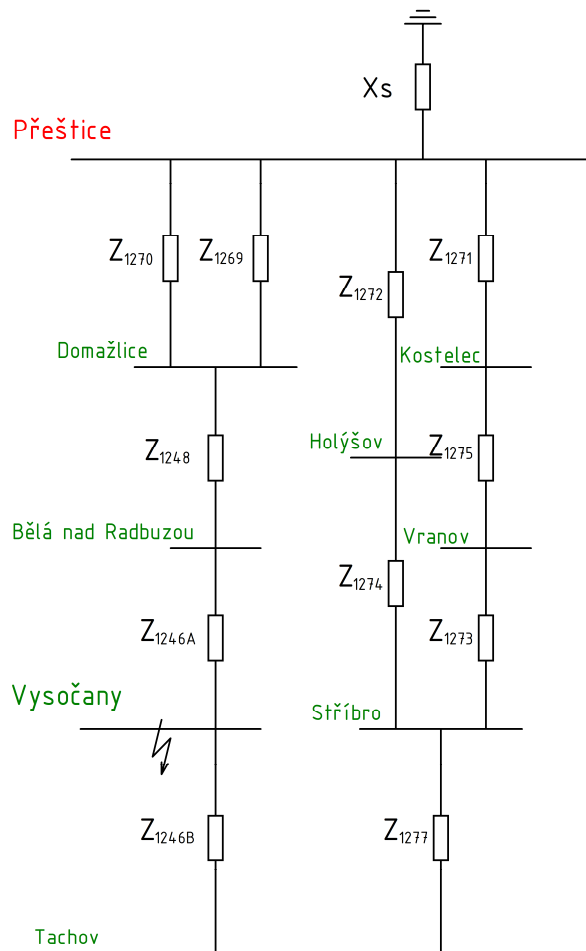
Kde napěťový součinitel je $c_{\max} = 1,10$, dle ČSN EN 60909-0 tab. 1, dále pro síťové napáječe se jmenovitým napětím nad 35 kV napájených venkovním vedením platí:

$$Z_S = X_S \quad (4.4)$$

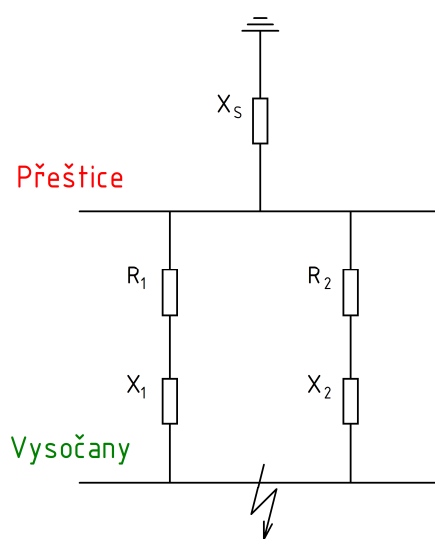
Pro zjednodušení výpočtu upravíme zkratové schéma na paralelní reaktance a rezistence dvou větví, jimiž je napájena porucha a reaktanci síťového napáječe viz. Obr 4.2.

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{R_{1270} \cdot R_{1269}}{R_{1270} + R_{1269}} + R_{1248} + \frac{R_{1246}}{2} = \\ &= \frac{5,2512 \cdot 5,2784}{5,2512 + 5,2784} + 3,1631 + \frac{3,6202}{2} = 7,6055 \Omega \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{X_{1270} \cdot X_{1269}}{X_{1270} + X_{1269}} + X_{1248} + \frac{X_{1246}}{2} = \\ &= \frac{13,9718 \cdot 14,0442}{13,9718 + 14,0442} + 9,9317 + \frac{11,3645}{2} = 22,6179 \Omega \end{aligned} \quad (4.6)$$



Obr 4.1 Náhradní schéma zkratové oblasti



Obr 4.2 Zjednodušené náhradní schéma zkratové oblasti

$$\begin{aligned}
 R_2 &= \frac{(R_{1272} + R_{1274}) \cdot (R_{1271} + R_{1275} + R_{1273})}{(R_{1272} + R_{1274}) + (R_{1271} + R_{1275} + R_{1273})} + R_{1277} + \frac{R_{1246}}{2} = \\
 &= \frac{(3,1195 + 3,8215) \cdot (4,076 + 1,2192 + 0,626)}{(3,1195 + 3,8215) + (4,076 + 1,2192 + 0,626)} + 4,8978 + \frac{3,6202}{2} = \\
 &= 9,9032 \Omega
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

$$\begin{aligned}
 X_2 &= \frac{(X_{1272} + X_{1274}) \cdot (X_{1271} + X_{1275} + X_{1273})}{(X_{1272} + X_{1274}) + (X_{1271} + X_{1275} + X_{1273})} + X_{1277} + \frac{X_{1246}}{2} = \\
 &= \frac{(8,3123 + 10,1796) \cdot (10,851 + 3,249 + 1,6656)}{(8,3123 + 10,1796) + (10,851 + 3,249 + 1,6656)} + 12,6208 + \frac{11,3645}{2} = \\
 &= 26,8004 \Omega
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

Potom pro celkový odpor a celkovou reaktanci platí:

$$R_k = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{7,6055 \cdot 9,9032}{7,6055 + 9,9032} = 4,3018 \Omega \tag{4.9}$$

$$X_k = \frac{X_1 \cdot X_2}{X_1 + X_2} + X_s = \frac{22,6179 \cdot 26,8004}{22,6179 + 26,8004} + 2,3318 = 14,5979 \Omega \tag{4.10}$$

Dále pro výpočtové napětí ekvivalentního napěťového zdroje platí:

$$U_{výp} = \frac{c_{\max} \cdot U_n}{\sqrt{3}} = \frac{1,10 \cdot 110}{\sqrt{3}} = 69,859 \text{ kV} \tag{4.11}$$

Kde napěťový součinitel $c_{\max} = 1,10$, dle ČSN EN 60909-0 tab. 1

Výsledný rázový zkratový proud je:

$$I_k'' = \frac{U_{výp}}{Z_k} = \frac{U_{výp}}{\sqrt{R_k^2 + X_k^2}} = \frac{69,859}{\sqrt{4,3018^2 + 14,5979^2}} = 4,5904 \text{ kA} \tag{4.12}$$

Výsledný třífázový zkratový výkon:

$$S_{k3}'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_k'' = \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 4590,4 = 874,589 \text{ MVA} \quad (4.13)$$

Před výpočtem nárazového zkratového proudu je nutná znalost koeficientu κ , který jsem vypočetl dle ČSN EN 60909-0 následovně:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{R_k}{X_k}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \cdot \frac{4,3018}{14,5979}} = 1,42484 \quad (4.14)$$

Výpočet nárazového zkratového proudu i_p :

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' = 1,42484 \cdot \sqrt{2} \cdot 4,5904 = 9,2498 \text{ kA} \quad (4.15)$$

Vypínací zkratový proud je v případě vzdáleného zkratu roven počátečnímu rázovému

$$I_b = I_k'' = 4,5904 \text{ kA} \quad (4.16)$$

Ekvivalentní oteplovací zkratový proud je:

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} \quad (4.17)$$

kde pro distribuční síť (elektricky vzdálené zkraty) platí:

$$n = 1$$

$$m = \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} \cdot [e^{4 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa - 1)} - 1] = \quad (4.18)$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot 1 \cdot \ln(1,42484 - 1)} \cdot [e^{4 \cdot 50 \cdot 1 \cdot \ln(1,42484 - 1)} - 1] = 0,011682$$

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m+n} = 4,5904 \cdot \sqrt{0,011682 + 1} = 4,6171 \text{ kA} \quad (4.19)$$

4.1.2 Výpočet třífázového zkratového proudu a výkonu na přípojnicí 22 kV

Po dohodě s panem konzultantem jsme rozhodli, že příspěvky zkratových proudů z napájené vn sítě jsou zanedbatelné oproti příspěvku z nadřazené sítě 110kV. Přípojnice 22kV může být v nejnepríznivějším případě napájena paralelně oběma transformátory T101 a T102 viz Obr 4.3.

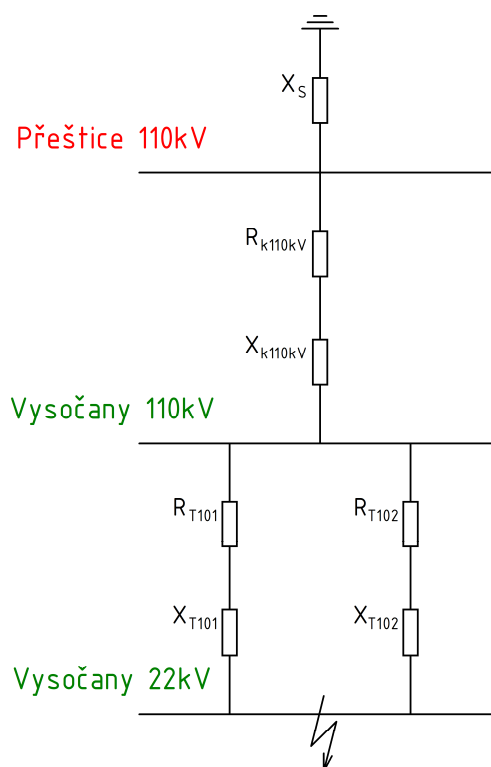
$$Z_{T101} = Z_{T102} = \frac{u_{k\%}}{100} \cdot \frac{U_{nT}^2}{S_{nT}} = \frac{11,5}{100} \cdot \frac{(23 \cdot 10^3)^2}{40 \cdot 10^6} = 1,5209 \Omega \quad (4.20)$$

$$R_{T101} = R_{T102} = \frac{P_k}{3 \cdot I_{n2}^2} = \frac{170 \cdot 10^3}{3 \cdot 1004^2} = 0,05621 \Omega \quad (4.21)$$

$$X_{T101} = X_{T102} = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{1,5209^2 - 0,05621^2} = 1,51986 \Omega \quad (4.22)$$

$$R_{k22} = \frac{R_{T101}}{2} + R_k \cdot \left(\frac{1}{p}\right)^2 = \frac{0,05621}{2} + 4,3018 \cdot \left(\frac{23}{110}\right)^2 = 0,2162 \Omega \quad (4.23)$$

$$X_{k22} = \frac{X_{T101}}{2} + X_k \cdot \left(\frac{1}{p}\right)^2 = \frac{1,51986}{2} + 14,5979 \cdot \left(\frac{23}{110}\right)^2 = 1,3981 \Omega \quad (4.24)$$



Obr 4.3 Náhradní schéma zkratové oblasti pro zkrat na přípojnici 22 kV

$$I''_{k22} = \frac{c_{\max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{c_{\max} \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{k22}^2 + X_{k22}^2}} = \frac{1,1 \cdot 22 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0,2162^2 + 1,3981^2}} = 9,87609 \text{ kA} \quad (4.25)$$

$$S''_{k22} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k22} = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 9,876,09 = 376,33 \text{ MVA} \quad (4.26)$$

Před výpočtem nárazového zkratového proudu je opět nutná znalost koeficientu κ , který jsem vypočetl dle ČSN EN 60909-0 následovně:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R_{k22}}{X_{k22}}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{0,2162}{1,3981}} = 1,63628 \quad (4.27)$$

Výpočet nárazového zkratového proudu i_p :

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_k = 1,63628 \cdot \sqrt{2} \cdot 9,87609 = 22,85376 \text{ kA} \quad (4.28)$$

Vypínací zkratový proud je v případě vzdáleného zkratu roven počátečnímu rázovému.

$$I_b = I''_k = 9,87609 \text{ kA} \quad (4.29)$$

Ekvivalentní oteplovací zkratový proud je:

$$I_{th} = I''_k \cdot \sqrt{m+n} \quad (4.30)$$

kde pro distribuční síť (elektricky vzdálené zkraty) platí:

$$\begin{aligned} n &= 1 \\ m &= \frac{1}{2 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa-1)} \cdot [e^{4 \cdot f \cdot T_k \cdot \ln(\kappa-1)} - 1] = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot 1 \cdot \ln(1,63628-1)} \cdot [e^{4 \cdot 50 \cdot 1 \cdot \ln(1,63628-1)} - 1] = 0,02212 \end{aligned} \quad (4.31)$$

Po dosazení do (4.30), tedy:

$$I_{th} = I''_k \cdot \sqrt{m+n} = 9,87609 \cdot \sqrt{0,02212+1} = 9,98472 \text{ kA} \quad (4.32)$$

4.1.3 Výpočet jednofázového zkratového proudu a výkonu na přípojnici 110 kV

Pro výpočet jednofázového zkratového proudu a výkonu je potřeba znát kromě sousledné složky impedance ještě zpětnou a netočivou. Jednofázový zkratový proud jsem vypočetl dle ČSN EN 60909-0 takto:

$$I''_{k1} = \frac{\sqrt{3} \cdot c_{\max} \cdot U_n}{Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}} \quad (4.33)$$

Hodnoty sousledných složek impedancí jsou již vypočteny v kapitole 4.1.1. Hodnoty zpětných složek impedancí se při vzdáleném zkratu rovnají hodnotám složek sousledných. Pro netočivé složky impedancí je u každého úseku vedení v Tab 4.2 dán vztah mezi netočivou složkou a souslednou složkou odporu (R_0/R_1) a reaktance (X_0/X_1). Tento vztah se liší na základě realizace elektrického vedení, zda je jednoduché nebo dvojitě, či jakým materiálem je realizováno zemní lano. Pro přepočítání parametrů na netočivé složky tedy platí:

$$R_{1274a(0)} = R_{1274a} \cdot \frac{R_{(0)}}{R_{(1)}} = 2,684 \cdot 5 = 13,42 \Omega$$

$$X_{1274a(0)} = X_{1274a} \cdot \frac{X_{(0)}}{X_{(1)}} = 7,1414 \cdot 5 = 35,707 \Omega \quad (4.34)$$

Stejným způsobem jsem přepočítal hodnoty všech dílčích vedení pomocí tabulkového kalkulátoru viz Tab 4.4. Následně bylo třeba hodnoty opět sečíst obdobným způsobem, jako je uvedeno v rovnicích (4.1) (4.2). Výsledné hodnoty netočivých složek odporů a reaktancí jsou uvedeny v Tab 4.5.

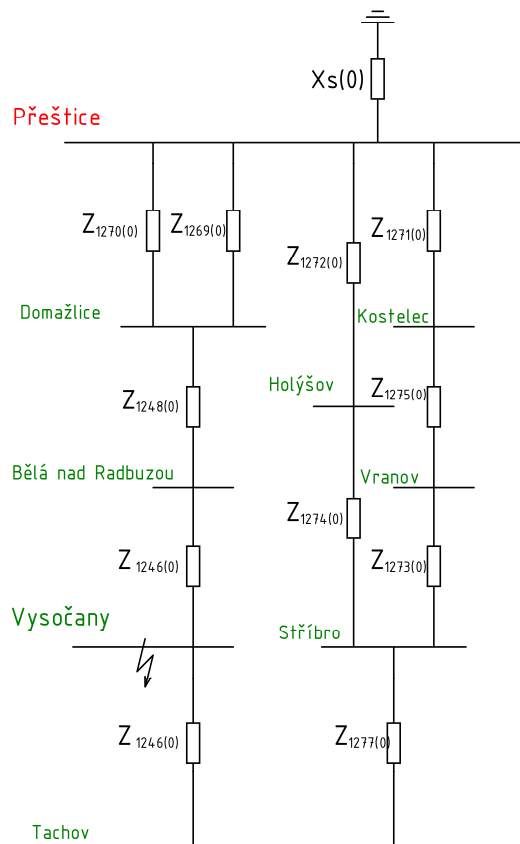
Jelikož znám zkratové poměry na 110 kV přípojnici v uzlové rozvodně, potom pro netočivou složku reaktance síťového napáječe platí:

$$X_{S(0)} = U_{\text{výp}} \cdot \left(\frac{3}{I''_{k3S}} - \frac{2}{I''_{k1S}} \right) = 69,859 \cdot \left(\frac{3}{29,96} - \frac{2}{26,91} \right) = 1,8032 \Omega \quad (4.35)$$

Pro zjednodušení výpočtu celkových hodnot netočivých složek odporu a reaktance zjednodušíme schéma stejným způsobem, jako při výpočtu sousledných složek viz Obr 4.2.

$$\begin{aligned} R_{1(0)} &= \frac{R_{1270(0)} \cdot R_{1269(0)}}{R_{1270(0)} + R_{1269(0)}} + R_{1248(0)} + \frac{R_{1246(0)}}{2} = \\ &= \frac{18,3792 \cdot 18,4744}{18,3792 + 18,4744} + 6,49315 + \frac{7,40225}{2} = 19,4086 \Omega \end{aligned} \quad (4.36)$$

$$\begin{aligned} X_{1(0)} &= \frac{X_{1270(0)} \cdot X_{1269(0)}}{X_{1270(0)} + X_{1269(0)}} + X_{1248(0)} + \frac{X_{1246(0)}}{2} = \\ &= \frac{48,9013 \cdot 49,1547}{48,9013 + 49,1547} + 20,40535 + \frac{23,25415}{2} = 56,5463 \Omega \end{aligned} \quad (4.37)$$



Obr 4.4 Náhradní schéma zkratové oblasti s netočivými složkami impedancí

Tab 4.4 Přepočtené hodnoty netočivých složek odporu a reaktancí dílčích vedení

Jméno	$R_{(0)}$ [Ω]	$X_{(0)}$ [Ω]
V1269	18,4744	49,1547
V1270	18,3792	48,9013
V1248a	6,1036	19,1408
V1248b	0,38955	1,26455
V1246a	7,0246	22,0288
V1246b	0,37765	1,22535
V1277a	3,6106	9,60715
V1277b	0,7762	1,9826
V1277c	10,4343	26,6538
V1273a	0,7406	1,97085
V1273b	1,4504	3,85875
V1274a	13,42	35,707
V1274b	1,4357	3,8199
V1274c	2,4759	6,58735
V1274d	0,06965	0,22645
V1275a	0,7322	1,94845
V1275b	5,0165	13,3465
V1275c	0,02345	0,0805
V1271a	0,02905	0,0987
V1271b	8,3895	22,3215
V1271c	3,7849	10,07055
V1271d	6,542	17,406
V1272a	3,79015	10,08455
V1272b	6,5455	17,415
V1272c	2,4724	6,57825
V1272d	0,07385	0,23975
V1215a	0,0679	0,2198
V1215b	0,48685	1,2957

Tab 4.5 Dopočítané celkové hodnoty netočivých složek odporů a reaktancí vedení

Jméno	$R_{(0)}$ [Ω]	$X_{(0)}$ [Ω]
V1269	18,4744	49,1547
V1270	18,3792	48,9013
V1248	6,49315	20,40535
V1246	7,40225	23,25415
V1277	14,8211	38,24355
V1273	2,191	5,8296
V1274	17,40125	46,3407
V1275	5,77215	15,37545
V1271	18,74545	49,89675
V1272	12,8819	34,31755
V1215	0,55475	1,5155

$$\begin{aligned}
R_{2(0)} &= \frac{(R_{1272(0)} + R_{1274(0)}) \cdot (R_{1271(0)} + R_{1275(0)} + R_{1273(0)})}{(R_{1272(0)} + R_{1274(0)}) + (R_{1271(0)} + R_{1275(0)} + R_{1273(0)})} + R_{1277(0)} + \frac{R_{1246(0)}}{2} = \\
&= \frac{(12,8819 + 17,40125) \cdot (18,74545 + 5,77215 + 2,191)}{(12,8819 + 17,40125) + (18,74545 + 5,77215 + 2,191)} + 14,8211 + \\
&\quad + \frac{7,40225}{2} = 32,7141 \Omega
\end{aligned} \tag{4.38}$$

$$\begin{aligned}
X_2 &= \frac{(X_{1272(0)} + X_{1274(0)}) \cdot (X_{1271(0)} + X_{1275(0)} + X_{1273(0)})}{(X_{1272(0)} + X_{1274(0)}) + (X_{1271(0)} + X_{1275(0)} + X_{1273(0)})} + X_{1277(0)} + \frac{X_{1246(0)}}{2} = \\
&= \frac{(34,31755 + 46,3407) \cdot (49,89675 + 15,37545 + 5,8296)}{(34,31755 + 46,3407) + (49,89675 + 15,37545 + 5,8296)} + 38,24355 + \\
&\quad + \frac{23,25415}{2} = 87,6602 \Omega
\end{aligned} \tag{4.39}$$

$$\begin{aligned}
Z_{k(0)} &= \sqrt{\left(\frac{R_{1(0)} \cdot R_{2(0)}}{R_{1(0)} + R_{2(0)}}\right)^2 + \left(\frac{X_{1(0)} \cdot X_{2(0)}}{X_{1(0)} + X_{2(0)}} + X_{S(0)}\right)^2} = \\
&= \sqrt{\left(\frac{19,4086 \cdot 32,7141}{19,4086 + 32,7141}\right)^2 + \left(\frac{56,5463 \cdot 87,6602}{56,5463 + 87,6602} + 1,8032\right)^2} = 36,1904 \Omega
\end{aligned} \tag{4.40}$$

$$Z_{K(1)} = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} = \sqrt{4,3018^2 + 14,5979^2} = 15,2185 \Omega \tag{4.41}$$

Výsledný jednofázový zkratový proud je potom:

$$\begin{aligned}
I''_{k1} &= \frac{\sqrt{3} \cdot c_{\max} \cdot U_n}{Z_{k(1)} + Z_{k(2)} + Z_{k(0)}} = \frac{\sqrt{3} \cdot c_{\max} \cdot U_n}{|2 \cdot Z_{k(1)} + Z_{k(0)}|} = \\
&= \frac{\sqrt{3} \cdot 1,1 \cdot 110 \cdot 10^3}{|2 \cdot 15,2185 + 36,1904|} = 3,1455 \text{ kA}
\end{aligned} \tag{4.42}$$

Odpovídající jednofázový zkratový výkon tedy:

$$S''_{k1} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k1} = \sqrt{3} \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 3,1455 \cdot 10^3 = 599,303 \text{ MVA} \quad (4.43)$$

4.2 Kontrola zařízení na tepelné a dynamické účinky zkratových proudů

U nově vystavěných distribučních transformoven kategorie TR3 je dle standardů provozovatele distribuční soustavy požadavek na zkratovou odolnost $I_{th}/I_{dyn} = 31,5/80 \text{ kA}$ pro rozvodny vvn a $I_{th}/I_{dyn} = 25/63 \text{ kA}$ pro rozvodny vn. Výpočetními metodami uvedenými v normách ČSN 38 1754 a ČSN EN 60865-1, jsem určil tepelné a dynamické účinky, kterým při uvedené zkratové odolnosti musí vybavení vvn rozvodny odolat (výpočty jsou realizovány s hodnotami navrhované zkratové odolnosti).

4.2.1 Kontrola oteplení přípojnic 110 kV při zkratu

Koncepce stanic typu TR3 uvažuje realizaci 110kV přípojnic trubkami typu EN AW-6101 B $\varnothing 100/5$. Trubky jsou s odpojovačem podélného dělení spojeny lany 362-AL1/59-ST1A. Vzorec pro určení minimálního průřezu dle ČSN 38 1754:

$$S_{\min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{k} \quad (4.44)$$

Kde k je koeficient respektující teplotu před zkratem a po zkratu:

$$k_{Al} = \sqrt{\frac{(\vartheta + 20) \cdot c_0}{\rho_{20,Al}} \cdot \ln\left(\frac{\vartheta + \vartheta_k}{\vartheta + \vartheta_1}\right)} \quad (4.45)$$

Kde tyto hodnoty udává norma ČSN 60865-1 ed.2:

$$\vartheta = 228 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$\vartheta_1 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\rho_{20,Al} = 0,02941 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$$

$$c_{0,Al} = 2,417 \text{ J/cm}^3/\text{ }^\circ\text{C}$$

Potom:

$$k_{Al} = \sqrt{\frac{(228 + 20) \cdot 2,417}{0,0241} \cdot \ln\left(\frac{228 + 200}{228 + 70}\right)} = 85,899 \quad (4.46)$$

Pro minimální průřez trubkové přípojnice tedy platí:

$$S_{\min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{k} = \frac{31500 \cdot \sqrt{1}}{85,899} = 366,71 \text{ mm}^2 \quad (4.47)$$

Skutečný průřez navržené trubkové přípojnice je:

$$S_{Al} = \pi \cdot r_{vnějš}^2 - \pi \cdot r_{vnitřní}^2 = \pi \cdot 50^2 - \pi \cdot 45^2 = 1492,26 \text{ mm}^2 \geq 366,71 \text{ mm}^2 \quad (4.48)$$

$$S_{Al} \geq S_{\min}$$

Trubka typu EN AW-6101 B $\varnothing 100/5$ (s tloušťkou stěny 5 mm) vyhovuje.

Pro lano propojující trubku s odpojovačem podélného dělení je postup obdobný, kromě hodnoty koeficientu k , pro který platí:

$$k_{AlFe} = k_{Al} \cdot \sqrt{1 + \frac{S_{Fe} \cdot c_{Fe}}{S_{Al} \cdot c_{Al}}} = 85,599 \cdot \sqrt{1 + \frac{59 \cdot 3,77}{362 \cdot 2,417}} = 96,2 \quad (4.49)$$

Pro minimální průřez lana potom platí:

$$S_{\min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{k} = \frac{31500 \cdot \sqrt{1}}{96,2} = 327,44 \text{ mm}^2 \quad (4.50)$$

Průřez elektrovedné hliníkové části lana je:

$$S_{AlFe} = 362 \text{ mm}^2 \geq 327,44 \text{ mm}^2 \quad (4.51)$$

$$S_{Al} \geq S_{\min}$$

Lano typu 362-AL1/59-ST1A vyhovuje.

4.2.2 Kontrola oteplení přípojnic 22 kV při zkratu

V tomto případě bude rozvodna vn realizována ve skříňovém provedení s izolací plynem SF₆. Skříňové moduly jsou propojeny měděnými přípojnici o průřezu daném typem modulu. Pro tento případ musí být průřez takový, aby odolal po vypínací čas 1s ekvivalentnímu oteplovacímu proudu 25 kA.

$$S_{\min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{k} \quad (4.52)$$

Kde k je koeficient respektující teplotu před zkratem a po zkratu:

$$k_{Cu} = \sqrt{\frac{(\vartheta + 20) \cdot c_0 \cdot \ln\left(\frac{\vartheta + \vartheta_k}{\vartheta + \vartheta_1}\right)}{\rho_{20Cu}}} \quad (4.53)$$

kde:

$$\vartheta = 234,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

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

$$\vartheta_1 = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\rho_{20Cu} = 0,01786 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$$

$$c_{0Cu} = 3,5 \text{ J/cm}^3 / ^\circ\text{C}$$

potom:

$$k_{Cu} = \sqrt{\frac{(234,5 + 20) \cdot 3,5 \cdot \ln\left(\frac{234,5 + 200}{234,5 + 70}\right)}{0,01786}} = 133,029 \quad (4.54)$$

Pro minimální průřez měděné přípojnice platí:

$$S_{\min} = \frac{I_{th} \cdot \sqrt{t_k}}{k} = \frac{25000 \cdot \sqrt{1}}{133,029} = 187,929 \text{ mm}^2 \quad (4.55)$$

Dle výrobce je přípojnice v modulárním rozvaděči s požadovanou proudovou zatížitelností realizována dvěma paralelními měděnými tyčemi s kruhovým průřezem o průměru 16 mm.

$$S_{Cu} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 16^2}{4} = 1695,408 \text{ mm}^2 \geq 187,929 \text{ mm}^2 \quad (4.56)$$

$$S_{Cu} \geq S_{\min}$$

Měděná přípojnice modulární rozvodny vn vyhovuje.

4.2.3 Kontrola dynamických účinků na přípojnici 110 kV při zkratu bez působení automatiky OZ

Pomocí následujících výpočtů dle normy ČSN EN 60865-1 ed.2 jsem zkontroloval, zda navržený přípojnicový systém v rozvodně 110 kV odolá dynamickým účinkům zkratových proudů bez OZ a s trojpólovým OZ.

Pro vrcholovou sílu mezi hlavními vodiči při trojfázovém zkratu platí:

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_p^2 \cdot \frac{l}{a_m} \quad (4.57)$$

kde: i_p je maximální hodnota nárazového třífázového zkratového proudu
 l je maximální osová vzdálenost mezi sousedícími podpěrami – dle metodiky provozovatele $l = 9$ m a
 a_m je účinná vzdálenost mezi hlavními vodiči.

Potom:

$$F_{m3} = \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 80000^2 \cdot \frac{9}{2} = 4988,3 \text{ N} \quad (4.58)$$

Pro výpočet namáhání tuhých vodičů zanedbávám osovou sílu. Potom vztah vypadá takto:

$$\sigma_m = V_\sigma \cdot V_r \cdot \beta \cdot \frac{F_{m3} \cdot l}{8 \cdot W_m} \quad (4.59)$$

kde: $V_\sigma \cdot V_r$ jsou součinitele respektující dynamické působení bez OZ dle ČSN EN 60865-1 ed.2,
 β je součinitel respektující snížení namáhání v ohybu v místě podpěr
 W_m je průřezový modul trubkového vodiče, který jsem vypočetl následovně:

$$W_m = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D^4 - d^4}{D} = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{0,1^4 - 0,09^4}{0,1} = 3,37623 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \quad (4.60)$$

Potom pro namáhání bez OZ platí:

$$\sigma_m = 1 \cdot 1 \cdot \frac{4988,3 \cdot 9}{8 \cdot 3,37623 \cdot 10^{-5}} = 166,216 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (4.61)$$

Pro součinitele plasticity průřezu q dle ČSN EN 60865-1 ed.2 tab.4 tedy platí:

$$q = 1,7 \frac{1 - \left(1 - \frac{2t}{D}\right)^3}{1 - \left(1 - \frac{2t}{D}\right)^4} = 1,7 \frac{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot 0,005}{0,1}\right)^3}{1 - \left(1 - \frac{2 \cdot 0,005}{0,1}\right)^4} = 1,3396 \quad (4.62)$$

Přípojnice je dynamicky odolná vůči zkratovým proudům bez působení automatiky OZ pokud platí:

$$\sigma_m \leq q \cdot R_{p0,2} \quad (4.63)$$

Dle katalogového listu výrobce trubky EN AW-6101 B \varnothing 100/5 je hodnota namáhání odpovídající mezi pružnosti $R_{p0,2} = 160 \text{ MPa} = 160 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$. Potom tedy:

$$\begin{aligned} 166,216 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} &\leq 1,3396 \cdot 160 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \\ 166,216 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} &\leq 214,336 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \end{aligned} \quad (4.64)$$

Podmínka je splněna a trubka EN AW-6101 B \varnothing 100/5 dynamicky odolá účinkům zkratových proudů při provozu bez automatiky opětovného zapnutí.

4.2.4 Kontrola dynamických účinků na podpěry přípojnic 110 kV bez působení automatiky OZ

Ekvivalentní statickou sílu na podpěry tuhých vodičů jsem vypočítal dle vztahu:

$$F_{r,d} = V_F \cdot V_{rm} \cdot \alpha \cdot F_{m3} \quad (4.65)$$

kde hodnota součinitele pro uspořádání podpěr vodičů je dle ČSN EN 60865-1 ed.2 tab.3 $\alpha = 0,5$ a hodnoty součinitelů jsou dle této normy z tab.2 dány:

$$\frac{\sigma_m}{0,8 \cdot R_{p0,2}} = \frac{166,216}{0,8 \cdot 160} = 1,299 \geq 1 \quad (4.66)$$

Pro tuto nerovnost platí hodnota součinitelů $V_F \cdot V_{rm} = 1$. Pro ekvivalentní statickou sílu na podpěry tedy platí:

$$F_{r,d} = 1 \cdot 0,5 \cdot 4988,3 = 2494,15 \text{ N} \quad (4.67)$$

4.2.5 Kontrola dynamických účinků na přípojnici 110 kV při zkratu s působením automatiky OZ

V budoucím provozu bude v případě poruchy uplatňována trojfázová automatika opětovného zapínání. Při tomto procesu působí na zařízení rozdílné síly, proto tyto účinky nesmíme zanedbat.

4.2.5.1 Zjednodušená metoda (horní meze součinitelů namáhání)

Pro výpočet mechanického namáhání použijeme opět vztah (4.59), ovšem s dosazením součinu součinitelů $V_\sigma \cdot V_r = 1,8$. Tuto hodnotu udává norma ČSN EN 60865-1 ed.2 pro druhý průchod nulou při trojfázovém působení automatiky OZ.

$$\sigma_m = 1,8 \cdot 1 \cdot \frac{4988,3 \cdot 9}{8 \cdot 3,37623 \cdot 10^{-5}} = 299,189 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (4.68)$$

Součinitel plasticity průřezu q zůstává stejný jako v případě bez OZ. Přípojnice je odolná působení automatiky OZ pokud platí nerovnost:

$$\sigma_m \leq q \cdot R_{p0,2} \quad (4.69)$$

$$299,189 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \leq 1,3396 \cdot 160 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (4.70)$$

$$299,189 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \leq 214,336 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$$

Nerovnost neplatí, tzn., že podmínka není splněna. V tomto případě jsem řešil ověření namáhání pomocí horních mezí kmitavých a namáhavých součinitelů $V_\sigma \cdot V_r$. Podrobnou metodou vlastního kmitočtu dosáhnou přesnějšího určení součinitelů $V_\sigma \cdot V_r$ a přiblížím se reálnému možnému namáhání přípojnic během působení automatiky OZ.

4.2.5.2 Podrobná metoda pomocí vlastního kmitočtu

Výpočet vlastního kmitočtu udává vztah v ČSN EN 60865-1 ed.2 rovnice 16

$$f_{cm} = \frac{\gamma}{l^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J_m}{m'_m}} \quad (4.71)$$

kde:

$$\gamma = 1,57 \text{ - dle ČSN EN 60865 - 1 ed.2 tab.3}$$

$$E = 6,5 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 \text{ dle fyzikálních tabulek}$$

$$J_m = 1,6873 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4$$

Hmotnost přípojnice na jednotku délky jsem vypočetl následovně:

$$m' = m = V \cdot \rho \quad (4.72)$$

kde: V je objem přípojnice na jeden metr délky
 $\rho = 2690 \text{ kg/m}^3$ je hustota materiálu přípojnice udávaná výrobcem.

Potom:

$$m' = 1492,26 \cdot 10^{-6} \cdot 2690 = 4,014 \text{ kg} \quad (4.73)$$

Po dosazení do rovnice (4.71) tedy:

$$f_{cm} = \frac{1,57}{9^2} \cdot \sqrt{\frac{6,5 \cdot 10^4 \cdot 1,6873 \cdot 10^{-6}}{4,014}} = 3,204 \text{ Hz} \quad (4.74)$$

Podíl frekvencí, pomocí kterého odečtu hodnoty součinitelů V_σ, V_r, V_F je:

$$\frac{f_{cm}}{f} = \frac{3,204}{50} = 0,06408 \quad (4.75)$$

Této hodnotě poměru vlastního a jmenovitého kmitočtu zařízení odpovídají hodnoty součinitelů dle ČSN EN 60865-1 ed.2 Obr.4 tyto hodnoty:

$$\begin{aligned} V_\sigma &= 0,55 \\ V_r &= 1,75 \\ V_F &= 0,58 \end{aligned} \quad (4.76)$$

Potom pro namáhání při OZ opět po dosazení do rovnice (4.59) platí:

$$\sigma_m = 0,55 \cdot 1,75 \cdot \frac{4988,3 \cdot 9}{8 \cdot 3,37623 \cdot 10^{-5}} = 159,983 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \quad (4.77)$$

$$\sigma_m \leq q \cdot R_{p0,2} \quad (4.78)$$

$$\begin{aligned} 159,983 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} &\leq 1,3396 \cdot 160 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \\ 159,983 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} &\leq 214,336 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2} \end{aligned} \quad (4.79)$$

Nerovnost platí a podmínka je tedy splněna. Přípojnice 110 kV realizované trubkami typu EN AW-6101 B \varnothing 100/5 jsou dynamicky odolné vůči namáhání trojfázovým zkratovým proudem i při působení automatiky trojpólového opětovného zapnutí při zatěžování nárazovým proudem $i_p = 80 \text{ kA}$.

4.2.6 Kontrola dynamických účinků na podpěry přípojnic 110 kV s působením automatiky OZ

Pro výpočet ekvivalentní statické síly použijí hodnotu součinitelů V_F a V_r získané podrobnou metodou pomocí vlastního kmitočtu uvedenou v (4.76). Po dosazení do vztahu (4.65) platí:

$$F_{r,d} = 0,58 \cdot 1,75 \cdot 0,5 \cdot 4988,3 = 2531,562 \text{ N} \quad (4.80)$$

Projektant rozvodny vvn musí podpěry a stoličky dimenzovat tak, aby odolaly silovému působení vypočítaném v (4.80). Jedná se o hodnotu vrcholovou (projektovou).

5 Technicko-ekonomické zdůvodnění přínosu zprovoznění nové distribuční transformovny

Volné finanční prostředky jsou provozovatelem DS využívány především k obnově, modernizaci, rozšíření sítě a k připojování zákazníků. U zamýšleného projektu se porovnávají náklady a výnosy plynoucí z této stavby po dobu hodnocení s uvažováním časové hodnoty peněz, odpisů a daní. Rozhodujícím ukazatelem toho to porovnání je ekonomické kritérium.

5.1 Kritérium ekonomického hodnocení

Pro výpočet ekonomického hodnocení projektu použijí kritérium aktualizovaného zisku počítané jako čistá současná hodnota (NPV) za dobu hodnocení projektu. Výpočty jsou prováděny zásadně na hodnotové bázi výpočtem diskontovaného toku hotovosti, tj. diskontovaný součet každoročního rozdílu příjmů a výdajů posuzované investice. Tento diskontovaný cash flow představuje současnou hodnotu ročních hodnot cash flow. Výhodou postupu je možnost posoudit a sledovat bilanci finančních prostředků v každém roce a to od počátku realizace.

Základním kritériem pro investora rozhodujícího se pro realizaci projektu je to, zda budoucí peněžní toky generované investicí (v současné hodnotě) jsou vyšší než v současnosti investovaná částka do projektu. Pokud ano, je tento projekt pro investora za daných podmínek efektivní. V případě provozovatele distribuční soustavy slouží hodnota NPV, kromě výše uvedené podmínky taktéž k porovnání jednotlivých investičních projektů mezi sebou a ke stanovení priorit při zařazování jednotlivých investic do plánu a realizace

5.1.1 Cash flow (CF)

Cash flow nebo-li „tok hotovosti“ je rozdíl mezi příjmy a výdaji v daném roce hodnocení projektu.

$$CF_t = V_t - N_{pt} - N_{it} - D_t + P_t \quad (5.1)$$

kde: V_t jsou výnosy v roce t
 N_{pt} jsou provozní náklady v roce t
 N_{it} jsou investiční náklady v roce t
 D_t je daň z příjmu v roce t
 P_t je podíl zákazníka v roce t .

5.1.2 Diskontovaný cash flow (DCF)

Diskontovaný cash flow představuje současnou hodnotu ročních hodnot CF a určí jej vztahem:

$$DCF_t = CF_t \cdot (1 + d)^{-t} \quad (5.2)$$

kde: CF_t je cash flow (tok hotovosti) v roce t
 d je nominální diskontní sazba
 t je počet let mezi daným rokem a počátkem hodnoceného období.

5.1.3 Čistá současná hodnota (NPV)

Čistá současná hodnota projektu je součet čistých diskontovaných cash flow za hodnocené období.

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_p} CF_t \cdot (1 + d)^{-t} \quad (5.3)$$

kde: T_p je doba porovnání v letech.

5.1.4 Doba návratnosti

Doba návratnosti vyjadřuje dobu potřebnou pro úhradu vloženého kapitálu do projektu jeho čistými výnosy. Udává tedy rok, kdy převáží tvorba finančních zdrojů nad jejich čerpáním. Jedná se pouze o pomocný ukazatel ekonomické efektivity.

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_s} CF_t \cdot (1 + d)^{-t} = 0 \quad (5.4)$$

kde: T_s je doba návratnosti za podmínky platné rovnosti této rovnice.

5.2 Vlastní ekonomické hodnocení konkrétní investice

Hodnota investice byla po konzultaci s provozovatelem distribuční soustavy stanovena na základě historicky realizovaných obdobných projektů. Aby predikce tržeb byla co nejbližší možné realitě, byly použity naměřené hodnoty spotřebované energie a maximálních hodnot odebíraného výkonu u tří podobných zákazníků v různých fázích náběhu spotřeby jejich odběrného místa. Tento model postupného náběhu byl aplikován na celou PZ.

5.2.1 Naměřené hodnoty spotřeby ve třech PZ v různých fázích života

Pro zmapování využitého výkonu z celkového rezervovaného příkonu jsem zvolil tři zákazníky v různých stádiích rozvoje odběrného místa. První zákazník (dále Z1) je analyzován v době právě po připojení (nebo navýšení rezervovaného příkonu) před značnějším rozšířením výroby. Hodnoty rezervovaného příkonu R_p , využitého maxima výkonu P_m , využití RP , spotřeby A a dalších ukazatelů Z1 je zmapováno v Tab 5.1.

Tab 5.1 Hodnoty Z1

Měsíc	R _p (MW)	P _m (MW)	Využití R _p (%)	A (MWh)	Využití R _p (h)	Využití P _m (h)	% R _p	%P _m
1	5	1,569	31%	763	152,6	486,2970045	21%	68%
2	5	1,481	30%	635	127	428,7643484	18%	60%
3	5	1,392	28%	655	131	470,545977	18%	65%
4	5	1,555	31%	615	123	395,4983923	17%	55%
	Průměr využ. R _p :		30%			Průměr využ. P _m		62%

Zákazník Z2 je již v další fázi života a jeho rozvoj a náběh výroby je již po zkušebním provozu plynule navyšován. Zákazník v tomto stadiu odebírá maximální výkon P_m přibližně poloviční hodnoty rezervovaného příkonu RP . Znamená to, že na další rozšíření a větší odběr maximálního výkonu je zde prostor a není nutné žádat provozovatele DS o zvýšení rezervovaného příkonu.

Tab 5.2 Hodnoty Z2

Měsíc	R _p (MW)	P _m (MW)	Využití R _p (%)	A (MWh)	Využití R _p (h)	Využití P _m (h)	% R _p	%P _m
1	6	3,05	51%	1 525	254,1666667	500	35%	69%
2	6	3,03	51%	1 409	234,8333333	465,0165017	33%	65%
3	6	3,04	51%	1 525	254,1666667	501,6447368	35%	70%
4	6	2,89	48%	1 346	224,3333333	465,7439446	31%	65%
	Průměr využ. R _p :		50%			Průměr využ. P _m		67%

V případě zákazníka Z3 se jedná již o kompletní provoz, kde nejsou plánovaná další rozšíření. V případě plánování dalšího rozšiřování výroby je nutné navýšení hodnoty rezervovaného příkonu provozovatelem DS.

Tab 5.3 Hodnoty Z3

Měsíc	Rp (MW)	Pm (MW)	Využití Rp (%)	A (MWh)	Využití Rp (h)	Využití Pm (h)	% Rp	%Pm
1	5,5	4,55	83%	2 370	430,9090909	520,8791209	60%	72%
2	5,5	4,57	83%	2 272	413,0909091	497,1553611	57%	69%
3	5,5	4,52	82%	2 330	423,6363636	515,4867257	59%	72%
4	5,5	4,39	80%	1 956	355,6363636	445,5580866	49%	62%
	Průměr využ. Rp:		82%			Průměr využ. Pm		69%

5.2.2 Spotřeba řešené PZ a potencionální tržby provozovatele DS

Plánovaná navýšení rezervovaného příkonu stávající PZ díky zprovoznění řešené transformovny Vysočany 110/22 kV jsou rozvržena následovně:

Tab 5.4 Plánovaná navýšení rezervovaného příkonu

Rok	Stávající RP (MW)	Navýšení RP (MW)
2021	2,7	5
2025	7,7	3
2028	10,7	5
2031	15,7	5
2035	20,7	3,4

Pro řešení se nabízejí tři různé postupy vycházející z možných průběhů života PZ. Jako reálnou možnost chování spotřeby rozšiřující se PZ předpokládám odpovídající všem třem variantám v kapitole 5.2.1 a to tak, že v obdobích mezi plánovanými navýšeními se bude chovat takto: první rok(y) po navýšení rezervovaného příkonu podobně jako Z1 (tzn. využito 30% z dílčího navýšení RP), předposlední rok před dalším plánovaným navýšením jako Z2 (tzn. využito 50% z dílčího navýšení RP) a každý závěrečný rok před následujícím navýšením jako Z3 (tzn. využito 82% z dílčího navýšení RP)

Pesimistické chování PZ budu popisovat stálým chováním v celém časovém horizontu obdobně jako Z1, tedy že s každým dílčím navýšením RP bude využito pouze 30% z této hodnoty. Situaci si můžeme představit tak, že provozovatel PZ nemá dostatek finančních či jiných prostředků pro rozšiřování a další růst výroby této PZ. Tato možnost života PZ je pro provozovatele DS nejméně výnosná, odtud název „pesimistické“.

Naopak optimistické chování popisují tak, že při každém dílčím navýšení RP bude PZ odebírat stejným způsobem jako Z3. To znamená okamžitý nárůst využitého výkonového maxima na hodnotu 82% každého dílčího navýšení RP. Znamenalo by to, že provozovatel PZ má tolik prostředků, aby PZ byla rozšiřována ještě před navýšením RP a právě při každém tomto navýšení by byla jen zprovozněna další hotová a fungující část PZ. Tato varianta je pro provozovatele DS nejvýnosnější proto název „optimistické“. Ve všech případech využívám průměrnou hodnotu využití Rp (v Tab 5.1, Tab 5.2 a Tab 5.3 vyznačeno barevně).

Tab 5.5 Přehled předpokládaných využití výkonových maxim Pm při pesimistickém, reálném a optimistickém chování spotřeby PZ (zelená – chování dle vzoru Z1, žlutá – chování dle vzoru Z2 a oranžová – chování dle vzoru Z3)

Roky	Rp (MW)	Pm pes (MW)	Pm real (MW)	Pm opt (MW)	A (MWh)
2019	2,7	1,7	1,7	1,7	15396,48
2020	2,7	1,7	2,2	2,2	15396,48
2021	7,7	2,31	3,7	6,3	43908,48
2022	7,7	2,31	3,7	6,3	43908,48
2023	7,7	2,31	5,7	6,3	43908,48
2024	7,7	2,31	6,3	6,3	43908,48
2025	10,7	3,21	6,9	8,8	61015,68
2026	10,7	3,21	7,3	8,8	61015,68
2027	10,7	3,21	8,8	8,8	61015,68
2028	15,7	4,71	10,3	12,9	89527,68
2029	15,7	4,71	11,3	12,9	89527,68
2030	15,7	4,71	12,9	12,9	89527,68
2031	20,7	6,21	14,4	17	118039,7
2032	20,7	6,21	14,4	17	118039,7
2033	20,7	6,21	15,4	17	118039,7
2034	20,7	6,21	17	17	118039,7
2035	24,1	7,23	18,1	19,7	137427,8
2036	24,1	7,23	18,7	19,7	137427,8

V Tab 5.5 je barevně vyznačeno použití vzorů chování Z1, Z2 a Z3 a dále spotřeba A, která je úměrná Rp. Po vynásobení využití výkonových maxim Pm odpovídající cenou za využitou kapacitu a dále po vynásobení spotřeby A odpovídající cenou za použití sítí vn jsem získal jejich součtem hodnotu roční tržby viz Tab 5.6. Kde roční cena za kapacitu je rovna 171 000,- Kč/MW a za použití sítí vn činí 44,16 Kč/MWh, kdy s každým následujícím rokem rostou tyto ceny s koeficientem $k = 1,02$, kterým respektujeme inflační růst cen na trhu. Tržby jsem vypočítal vztahem uvedeným ve vztahu (5.5).

$$\begin{aligned}
 \text{Tržby} &= \frac{12 \cdot P_m \cdot \text{Cena za kapacitu} + A \cdot \text{Cena za použití sítí vn}}{1000} = \\
 &= \frac{12 \cdot 1,7 \cdot 171 + 15396,48 \cdot 0,04416}{1000} = 4,1683 \text{ MCZK}
 \end{aligned}
 \tag{5.5}$$

Tab 5.6 Roční ceny za kapacitu a využití sítí vn a tržby

Roční cena za kapacitu (kCZK/MW)	Použití sítí vn (kCZK/MWh)	Tržby pes (MCZK)	Tržby real (MCZK)	Tržby opt (MCZK)
171,000	0,044	4,168	4,168	4,168
174,420	0,045	4,252	5,298	5,298
177,908	0,046	6,949	9,916	15,467
181,467	0,047	7,088	10,115	15,777
185,096	0,048	7,230	14,759	16,092
188,798	0,049	7,374	16,414	16,414
192,574	0,050	10,452	18,979	23,370
196,425	0,051	10,661	20,302	23,838
200,354	0,052	10,875	24,314	24,314
204,361	0,053	16,275	29,984	36,360
208,448	0,054	16,601	33,085	37,087
212,617	0,055	16,933	37,829	37,829
216,869	0,056	22,772	44,086	50,852
221,207	0,057	23,227	44,968	51,869
225,631	0,058	23,692	48,575	52,907
230,143	0,059	24,166	53,965	53,965
234,746	0,061	28,698	59,318	63,825
239,441	0,062	29,272	62,228	65,102

5.2.3 Vstupy do výpočtového modelu návratnosti a cash flow projektu

Pro výpočet návratnosti investičních prostředků a cash flow projektu jsem použil model poskytnutý provozovatelem DS uvedený v příloze (zde bude křížový odkaz na přílohu). Jako vstupní veličiny modelu jsem uvedl roční tržby vypočtené v kapitole 5.2.2, dále tržby mimořádné, které respektují poplatek zákazníka za navýšení rezervovaného příkonu v každém období navyšování (0,8MCZK/MW). Jako další vstupní veličiny uvádím hlavní investiční výdaje v letech 2020 až 2022, které zahrnují koupi pozemku, terénní a zemní úpravy (2020 odp. 15 MCZK), výstavbu elektrických částí a celé infrastruktury transformovny (2021 odp. 100 MCZK a 2022 odp. 38 MCZK), nutné úpravy a rozšíření zařízení pro navýšení Rp pro PZ (2031 a 2036 po 5 MCZK) a provozní náklady respektující údržbu zařízení, které jsou trvalé po celý život transformovny

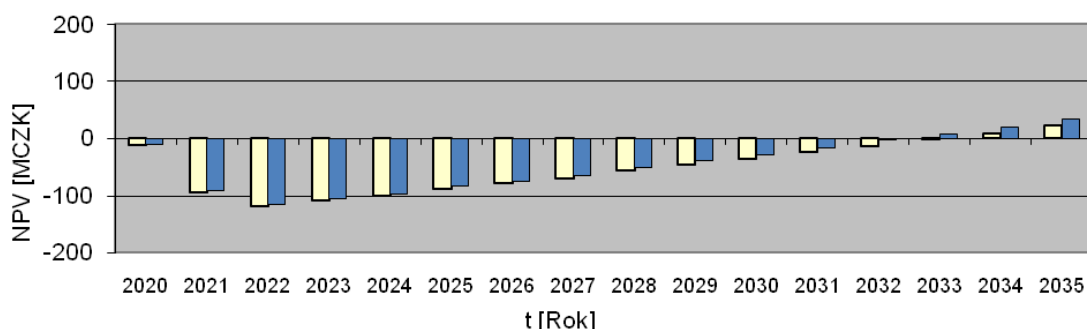
($0,4 + 2\%$ MCZK/rok). Odpisová sazba odpovídá období 25 let a tedy 4% /rok. Ostatní vstupní hodnoty jsou uvedené v Tab 5.7.

Tab 5.7 Ostatní vstupní hodnoty

Daň z příjmu	15%
Inflace	2%
Odpisová sazba	4%
Diskontní sazba upravená o inflaci	5,88%

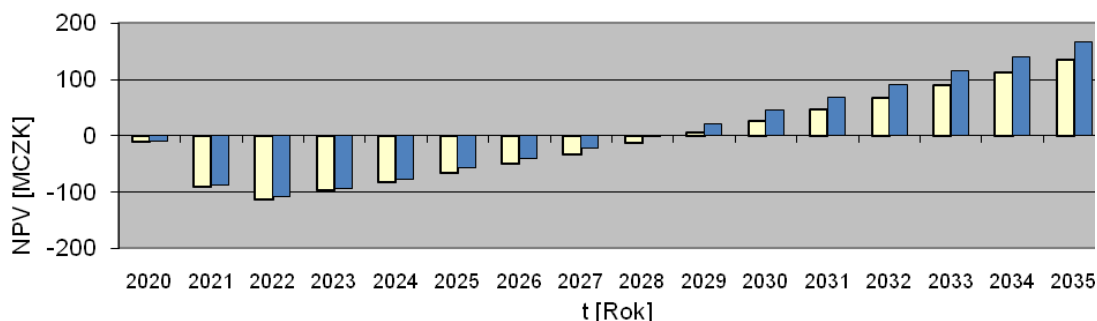
5.2.4 Výstupy výpočtového modelu

Kumulované diskontované CF projektu (pesimistický vývoj)



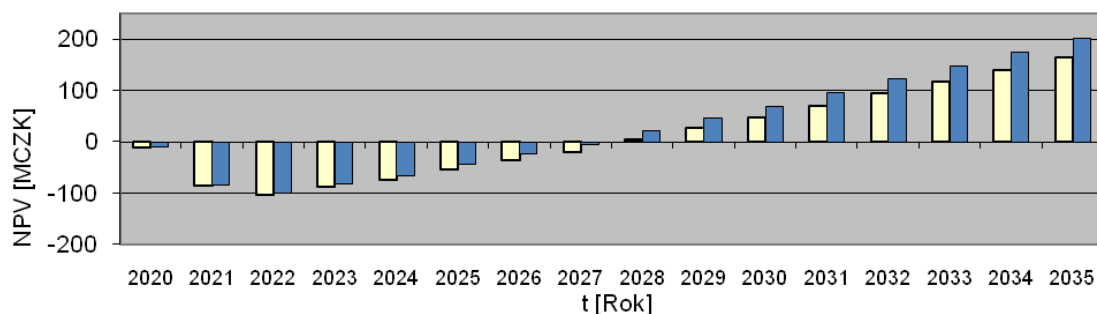
Obr 5.1 Graf kumulovaných diskontovaných CF projektu při pesimistickém vývoji

Kumulované diskontované CF projektu (reálný vývoj)



Obr 5.2 Graf kumulovaných diskontovaných CF projektu při reálném vývoji

Kumulované diskontované CF projektu (optimistický vývoj)



Obr 5.3 Graf kumulovaných diskontovaných CF projektu při optimistickém vývoji

Pro lepší možnost porovnání CF v závislosti na možných vývoích odběrného místa jsou stěžejní hodnoty uvedeny v Tab 5.8.

Tab 5.8 Výstupy z matematického modelu při třech možných vývoích odběrného místa

Vývoj	NPV před zdaněním [MCZK]	NPV po zdanění [MCZK]	Doba návratnosti T_s [Rok]
Pesimistický	33,71	21,91	13
Reálný	166,92	135,13	8
Optimistický	201,62	164,62	8

Pro správnou interpretaci výsledů je pro mě stěžejním údajem hodnota NPV. Pokud by se pohybovala v záporných číslech nebo byla rovna nule, je vhodné odsunout realizaci navrhovaného projektu nejméně o jeden rok. V tomto případě při všech třech možnostech vývoje odběrného místa se pohybuje hodnota NPV v kladných hodnotách, z čehož usuzuji, že je ekonomicky efektivní realizovat projekt podle záměru navrhovatele. V případě reálného (nejpravděpodobnějšího) vývoje je doba návratnosti 8 let.

Závěr

Jako první část návrhu jsem musel stanovit, kde bude tento projekt realizován. Po zkoumání územních katastrálních map a situování stávajících vedení vvn jsem vybral pozemek naznačený na Obr. 3.1, který po drobných úpravách a dohodě s provozovatelem distribuční sítě bude pro výstavbu nové distribuční transformovny TR Vysočany použit. Při výběru bylo rozhodující obecní vlastnictví pozemku, rovina terénu, blízkost rozšiřované PZ, blízkost silniční komunikace, blízkost vedení vvn (linky V1246) a především plocha dostatečně veliká pro výstavbu rozvodny typu TR3 a zároveň respektování všech ochranných pásem. Uvedené přístrojové vybavení je dané standardy provozovatele DS, transformátory jsem navrhl dle předpokládaného výkonového zatížení budoucí PZ vynásobeného koeficientem budoucího rozšíření, což odpovídá jmenovitému výkonu 40 MVA. Transformátorová pole budou vybavena zhášecími tlumivkami 4000 kVAr. Není zde třeba vybavení uzlovým odporníkem, jelikož napájená síť vn je realizována vzdušným vedením.

Transformovna typu TR3 musí být na straně vvn dimenzována na $I_{th}/I_{dyn} = 31,5/80$ kA a na straně vn na $I_{th}/I_{dyn} = 25/63$ kA. Kontrolními výpočty velikostí zkratových proudů a výkonů na přípojnících 110 a 22 kV jsem potvrdil, že v ani jedné rozvodně nedochází k překročení těchto hodnot zkratové odolnosti, ale dosahují ve skutečnosti do 20 % těchto hodnot v případě rozvodny 110 kV a do 40 % těchto hodnot v případě rozvodny 22 kV. Všechny výpočty zkratových proudů odpovídají aktuálnímu znění normy ČSN EN 60909-0 pro výpočet zkratových proudů v třífázových střídavých soustavách.

Kontrolu přípojníc na tepelné účinky zkratových proudů jsem prováděl s hodnotami zkratových odolností uvedenými výše a v obou částech rozvodny přípojnice těmito účinkům odolávají s výraznou rezervou. S přihlédnutím ke skutečnosti, že vypočítané hodnoty možných ekvivalentních oteplovacích proudů nabývají menších, než polovičních hodnot dané zkratovou odolností, jsem usoudil, že je zařízení dimenzováno správně a je připravené na další rozšiřování sítě a připojování nových zákazníků. Všechny výpočty tepelných účinků zkratových proudů jsem realizoval dle platné normy ČSN 38 1754 o dimenzování elektrických zařízení podle účinků zkratových proudů.

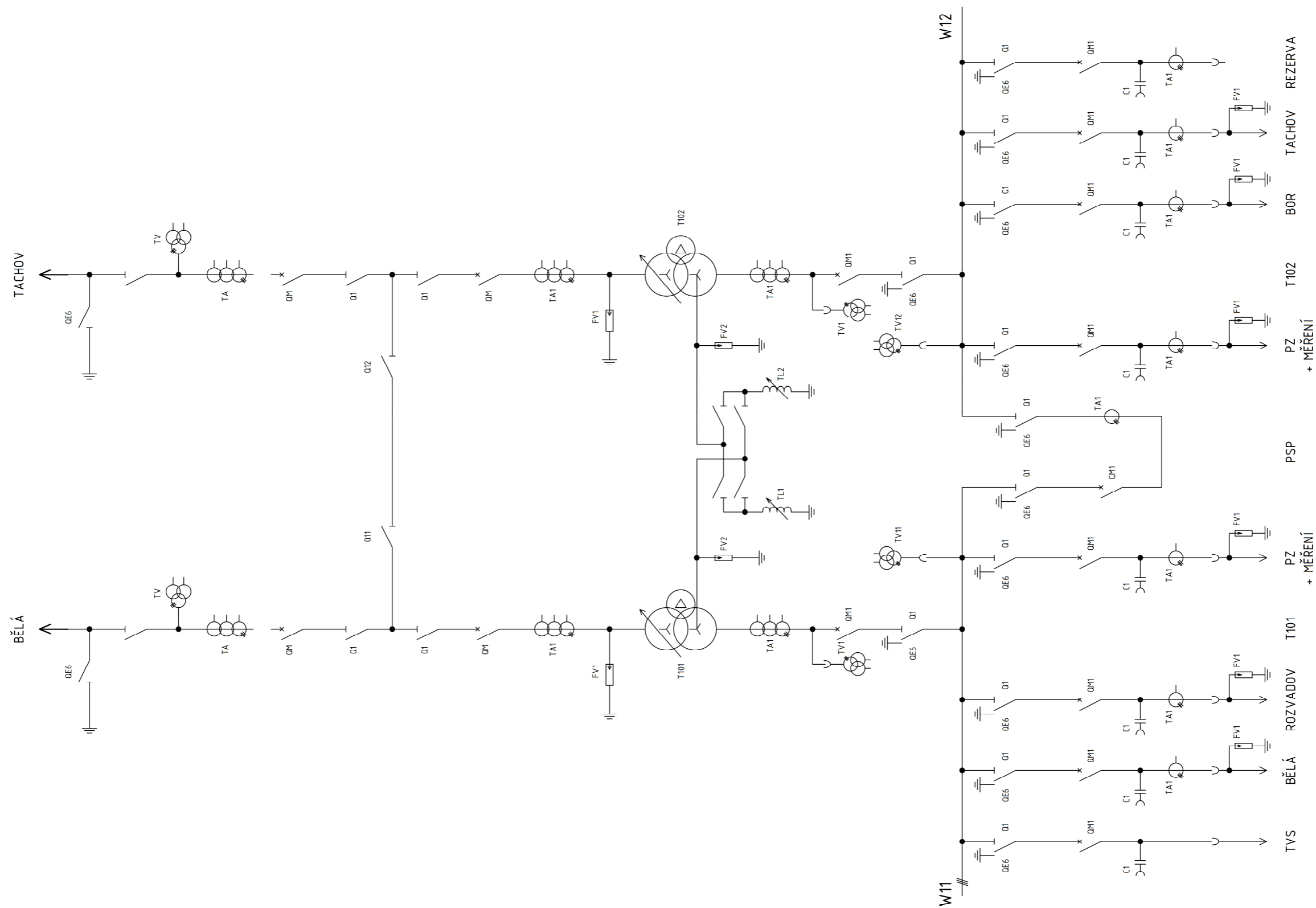
Kontrolu dynamických účinků pro dimenzování přípojnic a podpěr jsem řešil pouze v případě rozvodny 110 kV, jelikož rozvodna 22 kV je řešena modulárními rozvaděči, které jsou na dynamické namáhání dimenzovány. Přípojnice jsou odolné dynamickým účinkům navržených přípojnic s i bez působení automatiky opětovného zapnutí. Co se týče odolnosti podpěr, lze při projektování patek, stoliček a podpěrných izolátorů vycházet z hodnoty vypočítané v 4.2.6 a tedy 2531,6 N. Tato vypočtená hodnota je maximální neboli projektová a není třeba ji násobit dalšími koeficienty bezpečnosti. Veškeré výpočty dynamických účinků jsem realizoval dle platné normy ČSN EN 60865-1 ed.2 pro výpočet účinků zkratových proudů.

Pro ekonomické zhodnocení projektu mi byly provozovatelem DS poskytnuty hodnoty spotřeby a využití výkonového maxima tří zákazníků v různých stádiích rozšíření výroby. Z těchto hodnot jsem sestavil hodnoty tržeb po připojení zákazníka, díky němuž vznikl podnět na výstavbu této distribuční transformovny. Tržby jsem spočetl pro tři různé scénáře vývoje spotřeby přípojného místa a to scénář pesimistický, reálný a optimistický. Čistá současná hodnota projektu (NPV) vyšla pro všechny scénáře kladně a projekt je výhodné realizovat. Záleží pouze na provozovateli DS k jakému scénáři přihlédne při rozhodování o prioritě realizace projektu, kde jako rozhodující veličinu uvažuje hodnotu NPV při porovnávání mezi dalšími projekty. Dle mého názoru a s přihlédnutím na hodnotu NPV při reálném scénáři vývoje (135,13 MCZK po zdanění), je projekt velice zajímavý a výhodně realizovatelný. V neposlední řadě realizací tohoto projektu budou vylepšeny napěťové poměry, zkratová odolnost, možnost konfigurace napájení sítí vn a zastoupení sousedních stávajících rozveden napájejících tuto oblast.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Energetika: energetický zákon, zákon o podporovaných zdrojích energie, zákon o hospodaření energií: 24 prováděcích vyhlášek ke všem zákonům: Redakční uzávěrka 7.3.2016.* Ostrava: Sagit, 2016-. ÚZ. ISBN 978-80-7488-162-6.
- [2] TOMAN, Petr, DRÁPELA Jiří, MIŠÁK Stanislav, ORSÁGOVÁ Jaroslava, PAAR Martin, TOPOLÁNEK David a kolektiv. *Provoz distribučních soustav.* Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. 264 s. ISBN 978-80-01-04935-8
- [3] MERTLOVÁ, Jiřina a KOČMICH Martin. *Elektrické stanice a vedení.* 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1994. 169 s. ISBN 80-7082155-8
- [4] MERTLOVÁ, Jiřina. *Elektrické stanice a vedení.* 2., přeprac. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1984. 229 s.
- [5] MERTLOVÁ, Jiřina a NOHÁČOVÁ Lucie. *Elektrické stanice a vedení.* 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008. 170 s. ISBN 978-80-7043-724-7
- [6] MERTLOVÁ, Jiřina a SCHEJBAL, Konstantin. *Rozvodná zařízení.* 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 1990. 302 s. ISBN 80-7082-017-9.
- [7] *Český úřad zemědělský a katastrální – katastrální mapy.* [online]. <https://www.cuzk.cz/>
- [8] *Turistické mapy.* [online]. <https://www.mapy.cz/>
- [9] KOSNAR, Kamil. *Koncepce elektrických stanic VVN/VN, VN/VN a VN:* ČEZ Distribuce a.s., 2017. 99 s.
- [10] ČSN EN 60909-0. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách – výpočet proudů.* Praha: Český normalizační institut, 2002. 62 s. Třídící znak 33 3022
- [11] ČSN 38 1754. *Dimenzování elektrického zařízení podle účinku zkratových proudů.* Praha: Český normalizační institut, 1976. 40 s. Třídící znak 38 1754
- [12] ČSN EN 60865-1. *Zkratové proudy – Výpočet účinků – Část I: Definice a výpočetní metody.* Praha: Český normalizační institut, 2012. 45 s. Třídící znak 33 3040
- [13] *Katalogový list trubkové přípojnice – Alloy Data Sheet EN-AW 6101B.* [online]. <https://www.nedal.com/>
- [14] DERNER, Pavel. *Uživatelská příručka: Ekonomie.* ČEZ, 2011. 46 s.

Příloha A Jednopolové schéma zapojení navrhované transformovny



Obr A.1 Jednopolové schéma zapojení navrhované transformovny

Příloha B Tabulkové modely pro výpočet ekonomických ukazatelů projektu

Tab B.0.1 Tabulkový model pro výpočet ekonomických ukazatelů projektu (pesimistický scénář)



Výpočet návratnosti investičních prostředků CASH FLOW projektu

Název projektu: **Výstavba rozvodny**

Vstupy:

Daň z příjmu	15%		
Inflace	2%		
Odpisová sazba	4%		
Diskontní sazba	8%	Upravená o inflaci:	5,88%
Počáteční rok projektu	2020		

Roky		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investiční výdaje	MCZK	15,000	100,000	38,000									5,000				
Tržby	MCZK	3,82	9,69	5,80	5,92	6,04	10,96	8,73	8,90	17,32	13,59	13,86	22,64	19,01	19,39	19,78	26,21
Tržby řádné	MCZK	3,82	5,69	5,80	5,92	6,04	8,56	8,73	8,90	13,32	13,59	13,86	18,64	19,01	19,39	19,78	23,49
Tržby mimořádné	MCZK		4,00				2,40			4,00			4,00				2,72
Odpisy	MCZK	0,60	4,60	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,32	6,32	6,32	6,32	6,32
Provozní náklady	MCZK	0,41	0,39	0,40	0,40	0,41	0,42	1,43	0,44	0,45	0,45	0,46	1,47	0,48	0,49	0,50	0,51
standardní trvalé	MCZK	0,38	0,39	0,40	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50	0,51
mimořádné jednorázové	MCZK	0,03						1,00					1,00				
Cash Flow projektu																	
diskontované CF	MCZK	-10,99	-81,32	-23,61	9,80	9,34	12,52	9,52	9,78	14,56	11,51	11,02	11,99	12,52	12,00	11,50	13,58
kumulované diskontované CF	MCZK	-10,99	-92,31	-115,92	-106,12	-96,78	-84,26	-74,74	-64,96	-50,41	-38,90	-27,88	-15,88	-3,37	8,63	20,13	33,71
kumulované diskontované CF po zdanění	MCZK	-11,44	-93,98	-118,16	-108,85	-99,93	-88,31	-79,08	-69,79	-56,43	-45,66	-35,30	-24,34	-12,68	-1,46	9,33	21,91
diskontované výnosy	MCZK	4,01	13,13	10,28	9,80	9,34	12,52	9,52	9,78	14,56	11,51	11,02	14,66	12,52	12,00	11,50	13,58
doba návratnosti	roky																13

NPV před zdaněním (MCZK)	33,71
Výsledná NPV projektu (MCZK)	21,91

Tab B.2 Tabulkový model pro výpočet ekonomických ukazatelů projektu (reálný scénář)



Výpočet návratnosti investičních prostředků
CASH FLOW projektu

Název projektu: Výstavba rozvodny

Vstupy:		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Roky		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Daň z příjmu	15%																
Inflace	2%																
Odpisová sazba	4%																
Diskontní sazba	8%																
Upravená o inflaci:	5,88%																
Počáteční rok projektu	2020																
Investiční výdaje	MCZK	15,000	100,000	38,000									5,000				
Tržby	MCZK	4,86	12,66	8,83	13,45	15,08	19,48	18,37	22,34	31,03	30,07	34,76	43,95	40,75	44,28	49,58	56,83
Tržby řádné	MCZK	4,86	8,66	8,83	13,45	15,08	17,08	18,37	22,34	27,03	30,07	34,76	39,95	40,75	44,28	49,58	54,11
Tržby mimořádné	MCZK		4,00				2,40			4,00			4,00				2,72
Odpisy	MCZK	0,60	4,60	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,32	6,32	6,32	6,32	6,32
Provozní náklady	MCZK	0,41	0,39	0,40	0,40	0,41	0,42	1,43	0,44	0,45	0,45	0,46	1,47	0,48	0,49	0,50	0,51
standardní trvalé	MCZK	0,38	0,39	0,40	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50	0,51
mimořádné jednorázové	MCZK	0,03						1,00					1,00				
Cash Flow projektu																	
diskontované CF	MCZK	-9,95	-78,51	-20,91	16,14	16,54	18,92	16,36	18,78	23,24	21,37	22,82	23,36	23,47	23,83	24,89	26,58
kumulované diskontované CF	MCZK	-9,95	-88,46	-109,38	-93,23	-76,69	-57,77	-41,41	-22,62	0,61	21,98	44,80	68,15	91,62	115,45	140,34	166,92
kumulované diskontované CF po zdanění	MCZK	-10,55	-90,71	-112,59	-97,89	-82,86	-65,79	-50,75	-33,80	-13,06	6,08	26,47	47,09	68,06	89,33	111,51	135,13
diskontované výnosy	MCZK	5,05	15,93	12,98	16,14	16,54	18,92	16,36	18,78	23,24	21,37	22,82	26,02	23,47	23,83	24,89	26,58
doba návratnosti	roky	8															
NPV před zdaněním (MCZK)		166,92															
Výsledná NPV projektu (MCZK)		135,13															

Tab B.3 Tabulkový model pro výpočet ekonomických ukazatelů projektu (optimistický scénář)



Výpočet návratnosti investičních prostředků
CASH FLOW projektu

Název projektu: Výstavba rozvodny

Vstupy:

Daň z příjmu	15%		
Inflace	2%		
Odpisová sazba	4%		
Diskontní sazba	8%	Upravená o inflaci:	5,88%
Počáteční rok projektu	2020		

Roky		2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Investiční výdaje	MCZK	15,000	100,000	38,000									5,000				
Tržby	MCZK	4,86	18,21	14,49	14,78	15,08	23,87	21,90	22,34	37,41	34,08	34,76	50,72	47,65	48,61	49,58	61,32
Tržby řádné	MCZK	4,86	14,21	14,49	14,78	15,08	21,47	21,90	22,34	33,41	34,08	34,76	46,72	47,65	48,61	49,58	58,62
Tržby mimořádné	MCZK		4,00				2,40			4,00			4,00				2,70
Odpisy	MCZK	0,60	4,60	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,12	6,32	6,32	6,32	6,32	6,32
Provozní náklady	MCZK	0,41	0,39	0,40	0,40	0,41	0,42	1,43	0,44	0,45	0,45	0,46	1,47	0,48	0,49	0,50	0,51
standardní trvalé	MCZK	0,38	0,39	0,40	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,50	0,51
mimořádné jednorázové	MCZK	0,03						1,00					1,00				
Cash Flow projektu																	
diskontované CF	MCZK	-9,95	-73,27	-15,86	17,27	16,54	22,22	18,87	18,78	27,27	23,76	22,82	26,97	26,94	25,89	24,89	28,48
kumulované diskontované CF	MCZK	-9,95	-83,22	-99,08	-81,82	-65,28	-43,06	-24,18	-5,40	21,87	45,63	68,45	95,42	122,36	148,25	173,14	201,62
kumulované diskontované CF po zdanění	MCZK	-10,55	-86,25	-103,84	-88,19	-73,15	-53,28	-36,11	-19,16	5,01	26,19	46,57	70,26	94,18	117,21	139,39	164,62
diskontované výnosy	MCZK	5,05	21,17	18,03	17,27	16,54	22,22	18,87	18,78	27,27	23,76	22,82	29,63	26,94	25,89	24,89	28,48
doba návratnosti	roky																8

NPV před zdaněním (MCZK)	201,62
Výsledná NPV projektu (MCZK)	164,62