

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY



NOVÝ NAPÁJECÍ BOD 400 kV
PRAHA-SEVER
DIPLOMOVÁ PRÁCE
ADIP25

Autor práce: Bc. Marek Haicl

Vedoucí práce: prof. Ing. Josef Tlustý, CSc.

Rok: 2016

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Marek Haicl**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Nový napájecí bod 400 kV Praha-sever**

Pokyny pro vypracování:


1. Analyzujte napěťové a výkonové poměry pro nový napájecí bod.
2. Stanovte základní parametry a schéma rozvodny 400/110 kV.
3. Navrhněte základní vybavení rozvodny s potřebným dimenzováním.
4. Proveďte základní technicko-ekonomické zhodnocení.

Seznam odborné literatury:

- [1] Weedy, B.M.: Electric Power Systems. UK, 1992
- [2] Das, J.C.: Power System Analysis. US, 2002
- [3] Pravidla provozování přenosové soustavy 2011
- [4] Zákon 458/2000 Sb., zákon 183/2006 Sb.

Vedoucí: prof. Josef Tlustý Ing., CSc.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2017/2018


doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 18. 4. 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci na téma Nový napájecí bod 400 kV Praha-sever vypracoval samostatně a v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů pro vypracování závěrečných prací a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje. Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 20. května 2016

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Josefu Tlustému, CSc. za pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady, které vždy ochotně poskytl při tvorbě této práce. Dále bych rád poděkoval odborníkům ze společnosti ČEPS, a.s. za poskytnutí podkladů a nezbytných informací pro vypracování diplomové práce.

V Praze dne 20. května 2016

.....

podpis autora

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá novou rozvodnou v 400kV síti. V úvodu jsou uvedena základní fakta o české přenosové soustavě. Poté práce stručně pojednává o hlavních úkolech a činnostech provozovatele přenosové soustavy, kam lze zařadit zajištění rozvoje soustavy. Na náhradu systému o napětí 220 kV se zaměřuje následující část. Zde je popsán nejen dnešní stav a zapojení ve středních Čechách, ale také řešení náhrady 220kV sítí v oblasti s uvedením napěťových a výkonových poměrů po realizaci. Následuje kapitola, která popisuje vlastnosti elektrických stanic se zaměřením na přenosovou soustavu. V další části je prezentován návrh nové rozvodny na severu Prahy, která má svoji důležitou úlohu při útlumu systému 220 kV. Oddíl obsahuje konkrétní umístění stanice, zapojení silové části se základním dimenzováním a výběrem skutečných prvků. Na závěr práce přichází na řadu ekonomické zhodnocení včetně odhadu časové náročnosti realizace.

Klíčová slova

Přenosová soustava, rozvoj přenosové soustavy, náhrada systému 220 kV, elektrická stanice, zapouzdřená rozvodna, umístění nové rozvodny v Praze, dimenzování, ekonomické zhodnocení

Abstract

The master's thesis deals with the new substation of 400kV network. The work launches general characteristics of the Czech transmission system. Then the thesis shortly describes the fundamental roles and activities of a transmission system operator, which include ensuring the network development. The following part focuses on a replacement of a 220kV system where not only the present situation and the connection in Central Bohemia, but also the solution to the replacement of 220kV system in the area with voltage and power conditions after the implementation are described. The next chapter deals with the properties of electrical substations mainly in the transmission system. In the following part of the thesis the design of a new substation on the north of Prague is shown because it is important for the reduction of the system 220 kV. The chapter includes the location of the substation, the power part with a basic dimensioning and the selection of real components. In the conclusion of the thesis there is an economic evaluation including the estimation of time-consumption of the implementation.

Keywords

Transmission system, development of transmission system, replacement of a 220kV system, electrical substation, gas insulated switchgear, location of the new substation in Prague, dimensioning, economic evaluation

Obsah

Úvod.....	10
1. Elektrizáční soustava.....	11
1.1 Přenosová soustava	12
1.2 Úloha přenosové soustavy.....	14
1.2.1 Přenosové služby.....	15
1.2.1.1 Vnitrostátní přenos	15
1.2.1.2 Přeshraniční přenos	16
1.2.2 Systémové služby.....	16
1.2.2.1 Podpůrné služby	16
1.2.3 Zahraniční spolupráce	17
2. Rozvoj přenosové soustavy.....	18
2.1 Výstavba nových zdrojů.....	20
2.2 Rozložení spotřeby.....	20
2.3 Transformační vazba PS/DS	21
2.4 Vliv sousedních přenosových soustav	21
3. Náhrada systému 220 kV	23
3.1 Dnešní podoba systému 220 kV.....	23
3.2 Čechy střed.....	25
3.3 Malešice	26
3.4 Výkonové poměry	27
3.5 Napěťové poměry.....	29
4. Elektrická stanice	31
4.1 Zařízení elektrické stanice.....	31
4.2 Elektrické rozvody stanice	32
4.2.1 Přípojnice	33
4.2.1.1 Jednoduchý systém přípojníc	33
4.2.1.2 Dvojitý systém přípojníc	34
4.2.1.3 Trojitý systém přípojníc	35
4.2.1.4 Systémy s pomocnou přípojnící	36
4.2.1.5 Systémy bez přípojníc	37
4.2.2 Odbočky	38

4.2.2.1 Vypínače	39
4.2.2.2 Odpojovače	39
4.2.2.3 Přístrojové transformátory	40
4.2.2.4 Svodiče přepětí	40
4.2.3 Transformátory	40
4.3 Provedení elektrických stanic	41
4.3.1 Venkovní provedení	42
4.3.2 Vnitřní provedení	42
5. Realizace rozvodny Praha-sever	45
5.1 Umístění rozvodny	45
5.2 Elektrické řešení	49
5.2.1 Přípojnice	53
5.2.2 Vypínač	53
5.2.2.1 Hodnoty pro výpočet zkratových proudů	54
5.2.2.2 Třífázový zkrat	55
5.2.2.3 Jednofázový zkrat	59
5.2.2.4 Parametry vypínače	62
5.2.3 Odpojovač	64
5.2.4 Rychlouzemňovač	65
5.2.5 Přístrojové transformátory	66
5.2.6 Svodiče přepětí	68
5.2.7 Venkovní vedení k transformátorům T401 a T402	70
5.2.7.1 Kontrola oteplení	71
5.2.8 Zapojení rozvodny	72
5.2.9 Koordinace izolace	74
5.2.10 Ochrany rozvodny	74
5.2.10.1 Ochrana přípojnic	75
5.2.10.2 Ochrana vedení	75
5.2.10.3 Ochrana transformátorů 400/110 kV	76
5.2.10.4 Ochrana systému zapouzdření	77
5.2.11 Vlastní spotřeba	77
5.2.11.1 Síť I. kategorie (bezvýpadková)	78
5.2.11.2 Síť II. kategorie (zajištěná)	78

5.2.11.3 Sít' III. kategorie (nezajištěná)	78
5.2.11.4 Sít' stejnosměrného napětí.....	78
5.3 Celkové provedení zapouzdřené rozvodny	78
6. Ekonomické zhodnocení	82
6.1 Investiční náklady	82
6.2 Provozní náklady.....	84
6.3 Výnosy z realizace	86
6.4 Zhodnocení návratnosti.....	87
6.4.1 Peněžní tok.....	87
6.4.2 Diskontní míra.....	88
6.4.3 Prostá doba návratnosti	90
6.4.4 Diskontovaná doba návratnosti	90
6.4.5 Čistá současná hodnota	91
6.5 Časová náročnost	91
7. Závěr	93
8. Použitá literatura	95
9. Seznam obrázků	99
10. Seznam tabulek	102
11. Seznam zkratk a značek	103
12. Obsah příloženého CD	108

Úvod

Moderní společnost očekává kvalitní a spolehlivé dodávky elektrické energie, což zvyšuje požadavky na infrastrukturu provozovatele přenosové a distribuční soustavy. Mezi zákonné povinnosti provozovatelů patří kromě zajištění spolehlivého provozu a obnovy také rozvoj provozovaných soustav. Z tohoto důvodu má proces plánování rozvoje velkou důležitost a zaslouženě se mu věnuje pozornost.

Elektrizační soustava připomíná živý organismus, který se neustále vyvíjí a reaguje na vnitřní i vnější podněty. V soustavě působí mnoho autoregulačních procesů. Pro vhodný plán rozvoje je nutné vycházet z předpokládaného vývoje na straně spotřeby i na straně výroby. To se projeví jak v čase, tak v poloze a velikosti. Změny budou odrážet vývoj ve společnosti, průmyslu, politice nejen v České republice, ale prakticky na celém kontinentě. Velmi důležitá je i správná interpretace výsledků modelových výpočtů, z nichž by pak měly vycházet návrhy opatření.

Nejvýše svým významem stojí přenosová soustava, která se bude muset v příštích letech přizpůsobit změnám v elektrizační soustavě. Výstavby v elektroenergetice jsou investičně náročnými a dlouhodobými aktivitami. Jednak patří mezi největší běžně realizované projekty (příkladem velké elektrárenské bloky), což se odráží na době výstavby, jednak jsou zatíženy velkými administrativními úkony (mimo jiné elektrická vedení), přestože jsou výrazně technologicky jednodušší. Provozovatel přenosové soustavy je nucen plánovat rozvoj sítí s dlouhodobou koncepcí tak, aby byl zajištěn spolehlivý a bezpečný provoz elektrizační soustavy.

Přenosová soustava v České republice pracuje převážně na napětích 400 kV a 220 kV. Systém 220 kV s časem ztrácí na významu a pro budoucí potřeby soustavy se plánuje jeho odstavení a náhrada 400kV infrastrukturou. Pro tento účel však bude nutné vybudovat nová vedení a nové rozvodny o napětí 400 kV.

Tato práce nejprve představuje základní údaje o přenosové soustavě a hlavní činnosti jejího provozovatele společnosti ČEPS. Další část se věnuje zmíněné náhradě systému 220 kV a uvádí nutná opatření se zaměřením na oblast středních Čech. Z analýz vyplývá nutnost nového napájecího bodu v této oblasti na napětí 400 kV. V další kapitole jsou tak popsány elektrické stanice se základním vybavením a možnostmi realizace. Hlavním tématem je realizace nové 420kV rozvodny na severu Prahy pojmenované Praha-sever. Tato část obsahuje kromě přesného umístění rozvodny také návrh zapojení silové části a výběr konkrétních prvků. V poslední části je uvedena ekonomická stránka realizace nové rozvodny včetně odhadu návratnosti investice.

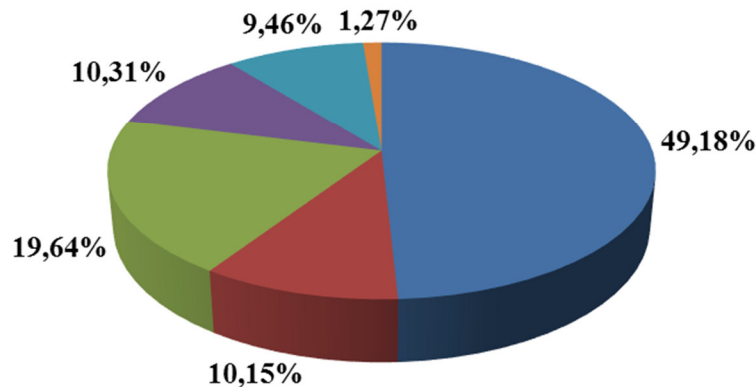
1. Elektrizační soustava

Elektrizační soustavu lze popsat jako množinu zařízení pro výrobu, přenos, transformaci, distribuci a spotřebu elektrické energie včetně přidružených zařízení s měřicí, ochrannou, řídicí a informační funkcí. Elektrická energie se vyrábí v elektrárnách. Podle způsobu výroby elektrické energie je možné je rozdělit na několik druhů, které lze dále dělit:

- Parní elektrárny PE (instalovaný výkon v ČR: 10 743,9 MW)
- Paroplynové elektrárny, plynové a spalovací elektrárny PPE+PSE (instalovaný výkon v ČR: 2 217,6 MW)
- Jaderné elektrárny JE (instalovaný výkon v ČR: 4 290 MW)
- Vodní elektrárny, přečerpávací vodní elektrárny VE+PVE (instalovaný výkon v ČR: 2 253,3 MW)
- Fotovoltaické elektrárny FVE (instalovaný výkon v ČR: 2 066,5 MW)
- Větrné elektrárny VTE (instalovaný výkon v ČR: 276,6 MW)

Graf rozložení instalovaných výkonů v jednotlivých typech elektráren v České republice

■ PE ■ PPE+PSE ■ JE ■ VE+PVE ■ FVE ■ VTE



Obr. 1.1 Graf podílu jednotlivých typů elektráren na instalovaném výkonu (pozn.: instalované výkony jsou udávány ke dni 30. 11. 2015)

Celkový instalovaný výkon na území České republiky byl 21 847,9 MW ke dni 30. 11. 2015 podle [5]. Zdroje elektrické energie o velkém výkonu (stovky MW) jsou obvykle připojeny do přenosové soustavy (PS). Menší elektrárny dodávají elektrickou energii do distribuční soustavy (DS) na nižších napěťových hladinách. Do přenosové soustavy je připojena přibližně větší polovina instalovaného výkonu, do distribuční soustavy pak zbytek výkonu. S rozvojem menších decentralizovaných zdrojů se však tento poměr změní ve prospěch distribuční soustavy.

Přenosová soustava stojí svým významem nad distribuční, neboť se jedná o páteřní síť. Přenáší elektrickou energii na velké vzdálenosti napříč republikou a díky mezinárodní spolupráci i napříč Evropou. V České republice přenosová soustava pracuje na napětí 400 kV a 220 kV, nepatrná část zařízení na 110 kV.

Distribuční soustava zajišťuje rozvod elektrické energie z přenosové soustavy k jednotlivým koncovým uživatelům. Pracuje na nižších hladinách napětí. V České republice jsou standardem napěťové hladiny 110 kV, 35 kV, 22 kV, 6 kV, 3 kV a 400/230 V.

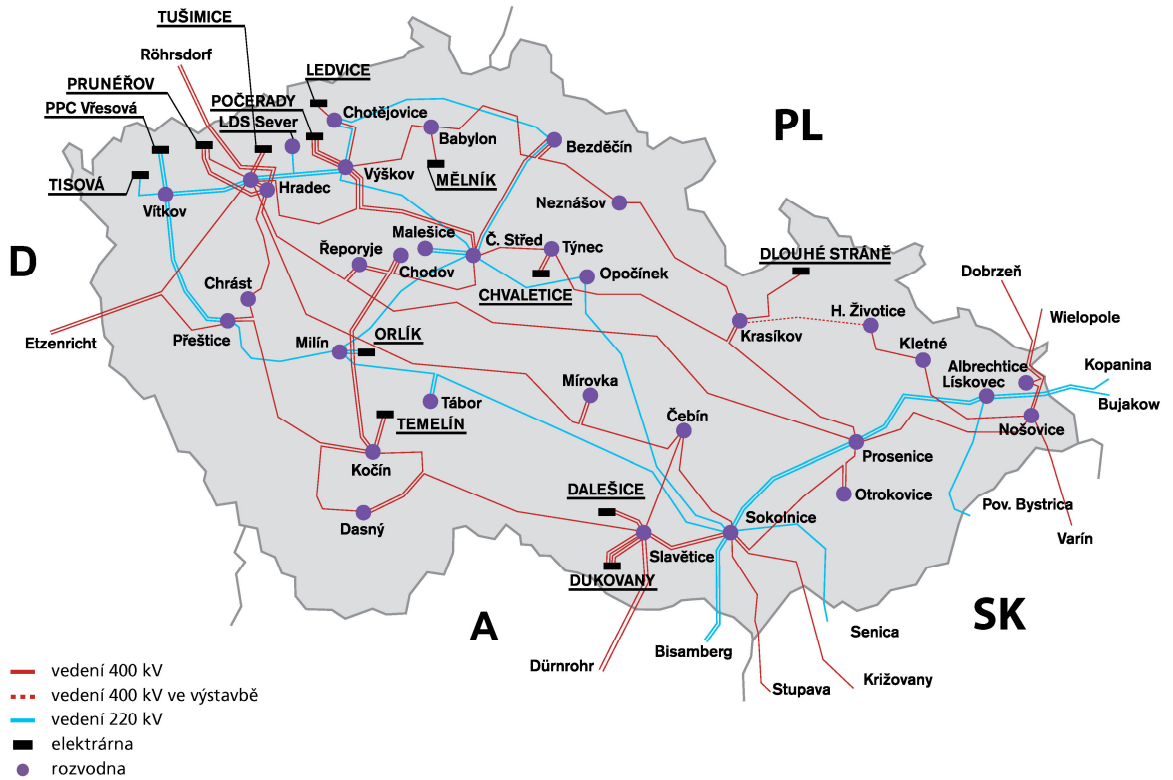
1.1 Přenosová soustava

Přenosová soustava je provozována převážně na napěťových hladinách 400 a 220 kV. Dodává do distribučních soustav elektrickou energii, která je dále rozváděna až ke konečným spotřebitelům. Přenosová soustava je propojena přeshraničními vedeními se soustavami okolních států. Tato spojení umožňují synchronní provoz současně s celou elektroenergetickou soustavou kontinentální Evropy.

Jediným a výhradním provozovatelem přenosové soustavy v České republice je společnost ČEPS, a.s. Tato činnost je umožněna licencí č. 13010001 udělené Energetickým regulačním úřadem (ERÚ) na základě Energetického zákona č. 458/2000 Sb.

Akciová společnost ČEPS je ze 100 % vlastněna státem Česká republika. Vykonavatelem práv akcionáře je Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. Společnost ČEPS, a.s. vznikla v době, kdy docházelo k liberalizaci trhu s elektřinou v České republice. Tento proces je nazýván „unbundling“. Po rozhodnutí valné hromady ČEZ, a.s. v roce 1998 došlo k vyčlenění Divize přenosové soustavy. Samostatnou činnost divize zahájila již pod dnešním jménem.

Obrázek č. 1.2 vyjadřuje schéma zapojení přenosové soustavy jak vedení 400 kV, tak 220kV vedení k 31. 12. 2015. Ve schématu jsou zakresleny také rozvodny a elektrárny zapojené do přenosové soustavy.



Obr. 1.2 Mapa vedení přenosové soustavy v České republice [1]

Přesný výčet nejdůležitější technické infrastruktury vyjadřuje tabulka č. 1.1.

Tab. 1.1 Výpis základních údajů o infrastruktuře přenosové soustavy [1]

Infrastruktura v číslech	
Trasy vedení	
400 kV	3 008 km
220 kV	1 349 km
110 kV	45 km
Délka vedení	
400 kV	3 617 km
220 kV	1 909 km
110 kV	84 km
Počet zahraničních vedení	
400 kV	11
220 kV	6
110 kV	0
Počet rozvodů	
420 kV ¹	26
245 kV ¹	14
123 kV ¹	1
Počet transformátorů	
400 kV/110 kV	48
220 kV/110 kV	21
400 kV/220 kV	4
Celkový transformační výkon	21 980 MVA

1.2 Úloha přenosové soustavy

Zákon č. 458/2000 Sb. vymezuje základní úkoly přenosové soustavy, které jsou shrnuty v šesti bodech. Provozovatel přenosové soustavy musí

- zajistit spolehlivý provoz, obnovu a rozvoj přenosové soustavy za spolupráce s provozovateli propojených přenosových soustav,
- poskytnout přenos elektřiny na základě uzavřených smluv,
- řídit toky elektřiny při respektování přenosů mezi propojenými soustavami ostatních států a ve spolupráci s provozovateli distribučních soustav,

¹ Jmenovitá napětí zařízení jsou vždy vztahována k nejvyššímu provoznímu napětí soustavy (soustava 110 kV → zařízení 123 kV, soustava 220 kV → zařízení 245 kV, soustava 400 kV → zařízení 420 kV).

- zajistit systémové služby pro elektrizační soustavu,
- účastnit se vyrovnávacího mechanismu a uskutečnit platby podle vyrovnávacího mechanismu mezi provozovateli přenosových soustav,
- informovat účastníky trhu na jejich žádost o důvodech, pro které nebyl uskutečněn přenos elektřiny z důvodu existujícího nebo jen hrozícího nedostatku přenosové kapacity. [2]

Další podnikatelské činnosti provozovatele jsou podle zákona omezené, neboť provozovatel nesmí být držitelem licence na výrobu elektřiny, distribuci elektřiny a obchod s elektřinou. Výjimku tvoří obstarávání elektrické energie pro spolehlivý provoz soustavy, což se nepovažuje za obchod s elektřinou. Ze zákona vyplývají další povinnosti provozovatele přenosové soustavy:

- připojit k přenosové soustavě zařízení každého a poskytnout přenos každému, kdo o to požádá a splňuje podmínky připojení,
- zajišťovat všem účastníkům trhu s elektřinou neznevýhodňující podmínky pro připojení jejich zařízení k přenosové soustavě,
- zajišťovat všem účastníkům trhu s elektřinou neznevýhodňující podmínky pro přenos elektřiny přenosovou soustavou. [2]

Veškeré tyto povinnosti a odpovědnosti v České republice se vztahují na společnost ČEPS, a.s. Pro dodržení všech výše zmíněných povinností společnost používá nástroje, z nichž některé budou v dalších částech popsány.

1.2.1 Přenosové služby

Přenosové služby jsou základní činností společnosti ČEPS jako provozovatele přenosové soustavy. Jedná se o zajištění přenosu elektrické energie od výrobců do míst spotřeby. Tento přenos může probíhat jak v rámci ČR (vnitrostátní přenos), tak za hranice ČR (přeshraniční přenos).

1.2.1.1 Vnitrostátní přenos

Vnitrostátní přenos probíhá na základě přenosu smluvně sjednaného množství elektrické energie do místa odběru z přenosové soustavy. Elektrická energie musí být dodána ve stanovené kvalitě podle norem. Tato služba může být poskytnuta pro nejrůznější subjekty – spotřebitele, výrobce či provozovatele distribučních soustav.

Přenos je smluven s ohledem na:

- rezervaci kapacity přenosových zařízení,
- vlastní použití sítí.

Ceny, které společnost účtuje za rezervaci kapacity a použití sítí, jsou stanoveny ERÚ. Tento ústřední orgán státní správy vydává každoročně Cenová rozhodnutí, kterým se stanovují regulované ceny související s dodávkou elektřiny.

1.2.1.2 Přeshraniční přenos

Přenosová soustava je zapojena do synchronního systému evropských provozovatelů přenosových soustav. Z polohy České republiky vyplývá bezprostřední spolupráce s pěti provozovateli v sousedních čtyřech státech. V Německu se jedná o 50Hertz a TenneT, v Polsku PSE, na Slovensku SEPS a v Rakousku APG. Tato propojení se sousedy se využívá pro mezinárodní obchod a přeshraniční přenos elektřiny mezi těmito soustavami.

Přeshraniční propojky však tvoří úzká místa, kde dochází ke vzniku převisu poptávky nad fyzikálními možnostmi vedení. Právo využít volné obchodovatelné přenosové kapacity je přidělováno v rámci ročních, měsíčních a denních aukcí. Vnitrodenní trh probíhá formou „First Come, First Served“ („Kdo dřív přijde, ten dřív mele.“). Výjimkou je přeshraniční profil se slovenským provozovatelem SEPS, kde denní alokace kapacit probíhá prostřednictvím implicitních aukcí – tzv. Market Coupling. Na této bázi se koná mezinárodní obchod v uskupení 4M Market Coupling, které sdružuje provozovatele přenosových soustav z České republiky, Slovenska, Maďarska a Rumunska.

1.2.2 Systémové služby

Provozovatel přenosové soustavy je podle zákona povinen zajistit systémové služby (viz nutné úkoly v části 1.2). Systémové služby se realizují za účelem zajištění kvality a spolehlivosti dodávek elektrické energie. Současně jsou využívány k plnění mezinárodních závazků. Kvalitou se rozumí zejména parametry frekvence a napětí, definované Kodexem PS. Spolehlivost dodávek elektrické energie se posléze hodnotí s ohledem na počet nedodávek v místě odběru z přenosové soustavy a délce trvání takového výpadku.

1.2.2.1 Podpůrné služby

Provozovatel přenosové soustavy nemá vlastní technické prostředky k zajištění některých systémových služeb. Vzniká tak trh s podpůrnými službami, které mají za úkol zajistit systémové služby. Tyto služby jsou poskytovány jednotlivými uživateli přenosové soustavy pro provozovatele přenosové soustavy.

Tito uživatelé mají právo při splnění technických a obchodních podmínek stanovených provozovatelem přenosové soustavy uvedené služby nabízet. Ceny za podpůrné služby jsou

vytvářeny tržním způsobem. Podle zákona má provozovatel přenosové soustavy tak činit za nejnižší náklady [2]. Pomocí podpůrných služeb je možné korigovat rozdíly mezi odběrem a výrobou změnou spotřeby či výkonů výroby.

1.2.3 Zahraniční spolupráce

Přenosová soustava ČR je synchronně propojena se soustavami okolních států. Z tohoto důvodu je spolupráce se zahraničními partnery nezbytnou součástí činností, které společnost ČEPS provádí.

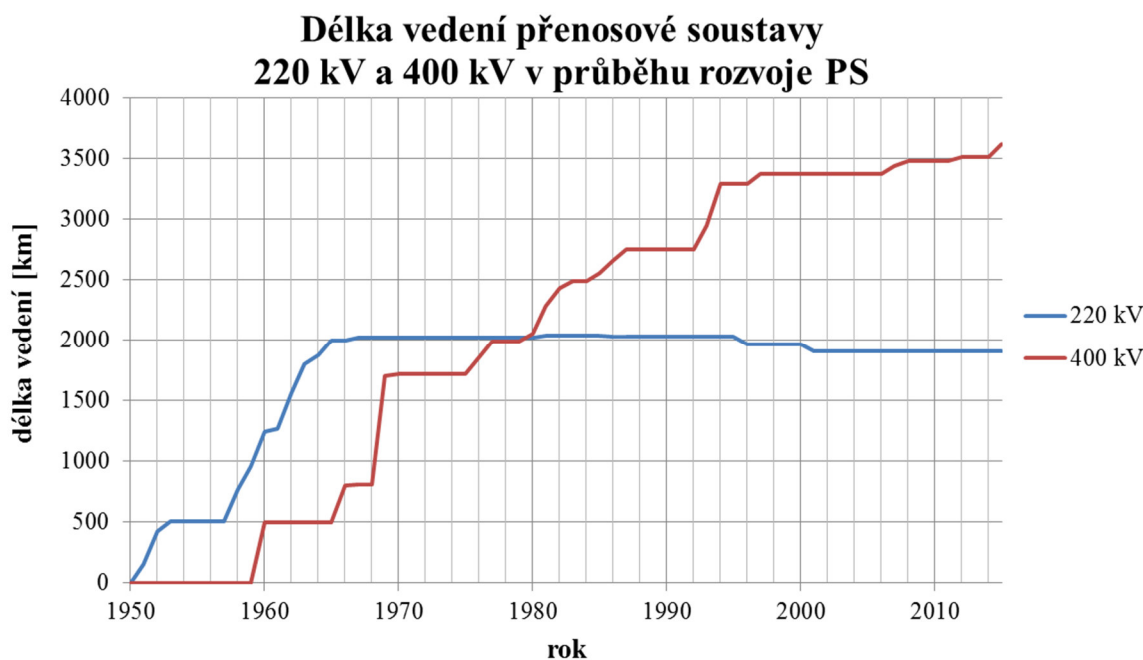
Společnost má bilaterální dohody logicky hlavně se sousedními provozovateli přenosových soustav v Německu, Rakousku, Polsku a na Slovensku. Mimo to společnost ČEPS působí jako člen v mnoha dalších evropských i celosvětových uskupeních.

Nejvýznamnějším uskupením je Evropská síť provozovatelů přenosových soustav elektřiny (v angličtině „European Network of Transmission System Operators for Electricity“, zkráceně ENTSO-E). Organizace sdružuje celkem 42 provozovatelů přenosových soustav (mezinárodní zkratka TSO, z anglických slov „transmission system operator“) z 35 zemí Evropy i mimo Evropskou unii.

Cílem ENTSO-E je zajistit správnou funkci vnitřního trhu a přeshraničního obchodu s elektřinou, optimální řízení a rozvoj přenosových soustav. Tyto aktivity jsou všechny koordinované v rámci uskupení. Neopomenutelnou činností ENTSO-E je tvorba síťových kodexů, které se posléze stávají sekundární legislativou Evropské unie (EU). Sekundární legislativa je tvořena nařízeními, směrnici, rozhodnutími, doporučeními a stanovisky směřujícími k zajištění výkonu pravomocí EU.

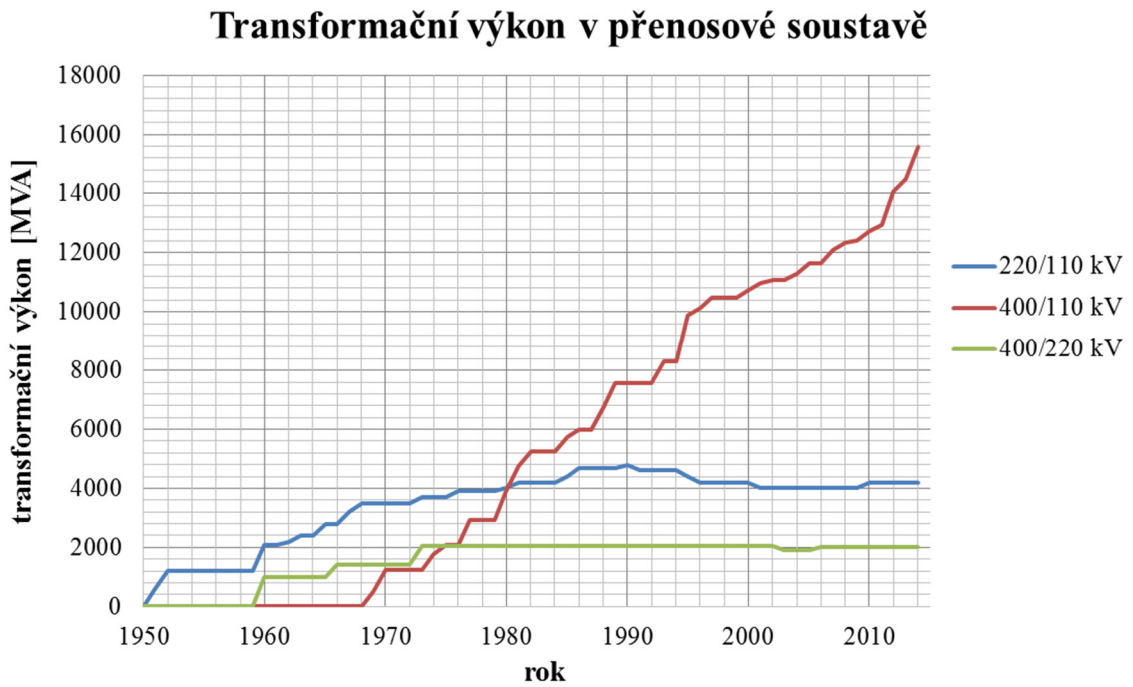
2. Rozvoj přenosové soustavy

Vývoj a rozvoj přenosové soustavy je neustálý a nekonečný proces. Většina sítí přenosové soustavy byla vystavěna ve druhé polovině 20. století. První vedení dnešní přenosové soustavy bylo v trase Výškov – Opočíněk o napětí 220 kV a jeho uvedení do provozu se datuje k roku 1951. Následoval další rozvoj 220kV vedení. Provoz první 400kV infrastruktury započal po roce 1960. První vedení o napětí 400 kV vedlo z transformovny 400/220 kV v Hradci do Prosenice. V následujících letech však i nadále převažoval rozvoj vedení 220 kV. V průběhu 70. a 80. let byl zahájen větší rozvoj 400kV vedení spolu s nárůstem instalovaných výkonů nových zdrojů (Mělník III a Dukovany). Hlavní přenosovou úlohu postupem času zastával systém 400 kV. Základní podoba dnešní přenosové soustavy byla dokončena v průběhu 90. let. V této konfiguraci zastává infrastruktura na napětí 220 kV především záložní funkci. Kromě toho však zajišťuje vyvedení výkonu z některých zdrojů, které byly připojeny v době rozvoje 220kV systému. Vývoj jednotlivých napěťových úrovní je vyjádřen v následujících grafech.

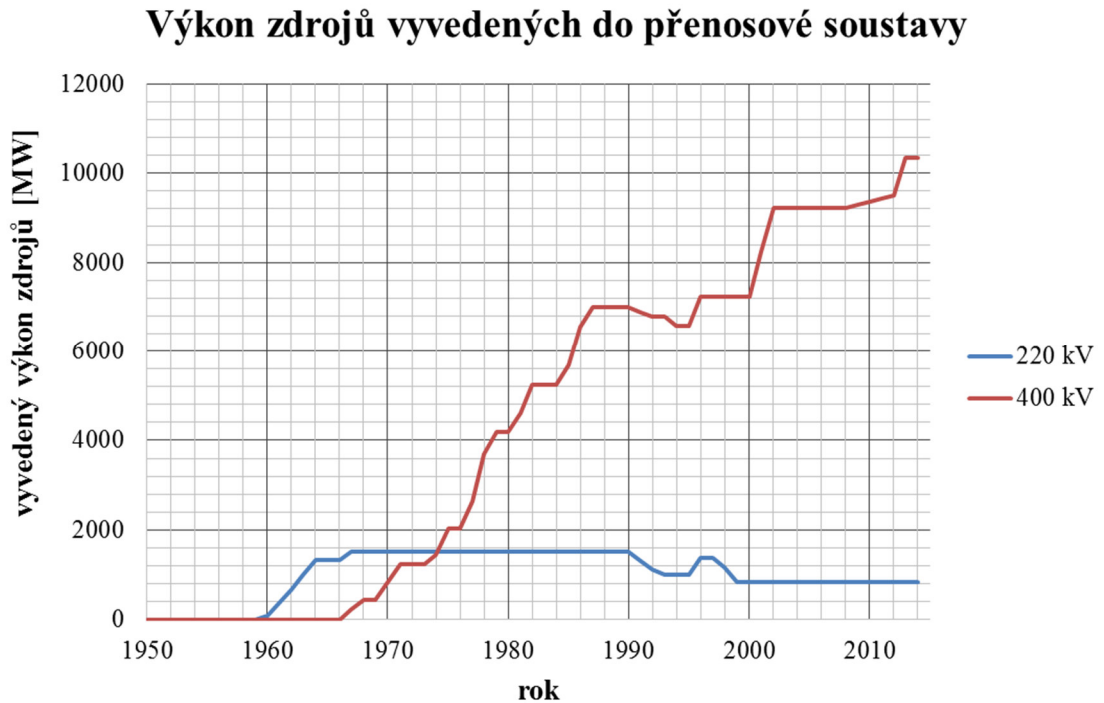


Obr. 2.1 Graf rozvoje vedení přenosové soustavy na napětí 220 kV a 400 kV

Na dalším grafu můžeme sledovat postupný útlum důležitosti 220kV infrastruktury. Transformační výkon mezi distribuční soustavou a 220 kV je skoro 4x menší než v případě 400kV hladiny. Výkon zdrojů vyvedených do přenosové soustavy na napětí 220 kV je pak 12x menší než do hladiny 400 kV.



Obr. 2.2 Graf vývoje transformačního výkonu mezi PS/DS a mezi hladinami 400 kV a 220 kV



Obr. 2.3 Graf vývoje zdrojů připojených do přenosové soustavy

Dnes spoléhají na systém 220 kV pouze tři zdroje zapojené do přenosové soustavy o celkovém výkonu 846 MW. Jedná se o paroplynovou elektrárnu Vřesová (2x 185 MW), parní elektrárnu Tisová II (1x 112 MW) a vodní elektrárnu Orlick (4x 91 MW).

Z historických důvodů prvky soustavy 220 kV byly nejstarší, proto byly tyto prvky obnoveny a rekonstruovány již v minulých letech. Avšak z technického hlediska musíme počítat s postupným útlumem této části přenosové soustavy. Rozvoj hladiny 220 kV byl prakticky zastaven a nové zdroje již nejsou do ní připojovány. Měl by tak být postupně navržen plán náhrady tohoto systému dnes dominující hladinou 400 kV. Náhrada by měla respektovat postupné dožívání 220kV infrastruktury pro maximální využití její technické životnosti a útlum zdrojů zapojených do 220kV systému. Během plánu náhrady systému 220 kV je nutné zachovat spolehlivost provozu přenosové soustavy, zajistit dostatečné napájení všech distribučních oblastí a vyvedení výkonu všech připojených zdrojů do přenosové sítě. Rozvoj systému 400 kV by však neměl být navržen pouze s ohledem na náhradu 220kV hladiny, ale také se započítáním dalších vlivů působících na přenosovou soustavu. Tyto vlivy můžeme rozdělit do tří skupin - výstavba nových zdrojů, změna rozložení spotřeby s návazností na transformační vazbu PS/DS a vliv sousedních přenosových soustav.

2.1 Výstavba nových zdrojů

Budování nových zdrojů elektrické energie musí být vždy spojeno s výstavbou nových vedení, která zajistí spolehlivé vyvedení výkonů. Investoři uzavírají smluvní vztahy s ČEPS jako provozovatelem přenosové soustavy - Smlouvu o připojení a Smlouvy o smlouvě budoucí o připojení. Požadavky jsou uvedeny v Kodexu přenosové soustavy. Vyvedení výkonu z běžných elektráren je navrhováno podle základního kritéria spolehlivosti a bezpečnosti N-1, které zajistí, že při náhlém výpadku jednoho vedení se nepřetíž zbylá vedení a nedojde k ohrožení bezpečnosti a spolehlivosti provozu. U jaderných elektráren je úroveň zabezpečení zvýšena kritériem N-2.

2.2 Rozložení spotřeby

Spotřeba elektrické energie v minulých letech spíše stagnovala. V příštích letech bude však opět spotřeba elektrické energie růst a to po celém území. Rostou tak nároky na transformační výkon v jednotlivých uzlech přenosové soustavy. Vedle vývoje lokální spotřeby má významný vliv také trend rozvoje obnovitelných zdrojů. Většina obnovitelných zdrojů je však charakteristická svou proměnlivou výrobou. Tento faktor bude navíc zesílen procesem postupného odstavování klasických zdrojů, které překračují svou životnost, nebo nesplňují současné přísné ekologické požadavky.

2.3 Transformační vazba PS/DS

Vlivy určující rozvoj přenosové soustavy v předchozích dvou oddílech 2.1 a 2.2 souvisí také se stavem předacích míst mezi PS a DS. Osazení transformoven konkrétním počtem transformátorů s určitým výkonem vychází z faktorů, mezi které patří zatížení uzlové oblasti, výkony elektrárenských bloků pracujících do dané distribuční oblasti, nutné rezervy v transformačním výkonu nebo zatížení 110kV vedení.

Uzlové oblasti distribuční soustavy na úrovni 110 kV bývají provozovány odděleně. Každá oblast je napájena z přenosové soustavy. Tento způsob se používá kvůli problémům, které sebou nese paralelní provoz sítí 110 kV. Jedná se především o přetoky jalových výkonů mezi oblastmi, což by si vyžádalo nemalé investice do posílení vedení.

Omezením při provozu distribučních sítí je někdy nedostatečná přenosová schopnost sítí 110 kV mezi jednotlivými oblastmi. V řadě případů tak není možné nahradit výpadek transformátoru PS/DS přivedením chybějícího výkonu ze sousední transformovny. Úkolem provozovatelů DS a PS je tak rozhodnout zda posílit transformaci PS/DS, nebo vzájemné propojení distribučních oblastí.

Podle napájení můžeme uzlové oblasti rozdělit do dvou skupin [3]:

a) Uzlová oblast čistě spotřební

- Tato oblast je převážně napájena z přenosové soustavy. Do distribuční soustavy jsou zapojeny pouze malé zdroje, které mají jen velmi omezený vliv na výkonové poměry v distribuční soustavě.

b) Uzlová oblast převážně spotřební

- Zdroje zapojené do distribuční soustavy zajišťují významnou část lokální spotřeby. Místní zdroje tak mohou ovlivnit bilanční poměry v síti. Zbývající výkon pokrývají dodávky z přenosové soustavy.

Potřeba zvýšení transformačního výkonu vede v důsledku ke zvýšení počtu transformátorů v uzlu, výměně transformátorů za výkonnější, nebo vybudování nového napájecího bodu.

2.4 Vliv sousedních přenosových soustav

Česká republika svou polohou v Evropě je přirozeně tranzitní zemí. Tento fenomén se objevuje nejen v dopravě, při přepravě plynu, ale i při přenosech elektrické energie. V poslední době tyto toky energie výrazně zesílily zejména ve směru ze severu na jih. Nadměrná výroba elektrické energie v severním Německu z obnovitelných zdrojů (především z větrných elektráren) vyvolává přetoky výkonu. Elektrické energie je naopak nedostatek v zemích na jih od našeho území (například Rakousko či Itálie).

Několik dalších skutečností problém ještě zhoršuje. Jedná se o nedostatečnou výstavbu přenosových sítí v Německu právě v severojižním směru. Dalším faktorem je postupné ukončení provozu všech jaderných elektráren v Německu do roku 2022, čímž již dnes vzniká nedostatek elektrické energie na jihu Německa, což při nedostatečné přenosové kapacitě způsobuje další toky přes naše území.

Během nepříznivých okolností se již několik posledních let česká přenosová soustava dostává do velkých problémů. Vznikají situace, kdy je soustava provozována bez dodržení bezpečnostního kritéria N-1 a výpadek jakéhokoliv prvku sítě způsobí řetězovité odpojování vedení, což by vedlo k přetížení zbývajících vedení a kolapsu celé sítě. Nebylo by vůbec možné zajistit bezpečný a spolehlivý provoz přenosové soustavy.

Společnost ČEPS musí na vzniklou situaci reagovat a připravit opatření k omezení výskytu těchto nebezpečných situací.

3. Náhrada systému 220 kV

Do systému 220 kV odvádí vyrobenou energii tři elektrárny. Jedná se o elektrárny Tisová II a Vřesová připojené do rozvodny Vítkov a Orlík připojený do rozvodny Milín. Ukončení provozu elektrárny Tisová II je plánováno do roku 2030 a elektrárny Vřesová okolo roku 2040 podle předpokládané životnosti. V případě elektrárny Orlík se uvažuje o její přestavbě na přečerpávací elektrárnu, kde by se již při návrhu počítalo s přestavbou a připojením na 400kV systém. Pro tyto zdroje se doporučuje zajistit vyvedení výkonu do 220kV hladiny v těchto časových horizontech, což se musí odrazit v plánech náhrady. Úplné odstavení 220 kV nastane kvůli elektrárně Vřesová až v roce 2040.

3.1 Dnešní podoba systému 220 kV

V předchozí kapitole 2 již bylo zmíněno, že systém 220 kV neplní svou základní funkci a má spíše záložní úlohu. V roce 2015 činila délka 220kV vedení 1 909 km s celkovou délkou tras vedení 1 349 km. Elektrickou energii v systému 220 kV rozvádí do dalších částí elektrizační soustavy 14 rozveden, z nichž 13 obsahuje transformaci 220/110 kV a 4 (Sokolnice, Prosenice, Čechy střed a Hradec) s transformací 400/220 kV. Transformaci 220/110 kV celkově zajišťuje 21 transformátorů či skupin transformátorů s instalovaným výkonem 200 MVA (celkově 4 200 MVA). Transformace 400/220 kV probíhá za pomoci 3 jednofázových transformátorů v každé stanici s výkonem jedné jednotky 167 MVA, což znamená, že celkový transformační výkon skupiny činí 500 MVA.

V rámci náhrady systému 220 kV se musí vypracovat plán převedení jejích úkolů na systém 400 kV. Tento plán se týká nejen vedení, ale i rozveden a transformačního výkonu. Společnost ČEPS plánuje zahájit proces přechodu sítě 220 kV na systém 400 kV v roce 2019. V tomto roce podle současného harmonogramu dojde ke zprovoznění nové 420kV rozvodny Vítkov, což zahájí další sled operací vedoucí k útlumu systému 220 kV. Kompletní odstavení napěťové hladiny 220 kV má být hotové v roce 2040. V této době musí být stav 400kV infrastruktury schopný plně nahradit funkci odstaveného systému. Stavby před, resp. po odstavení systému 220 kV jsou tak vztahovány k roku 2020, resp. 2040 v částech 3.4 a 3.5.

Tato práce se zabývá řešením této problematiky ve středních Čechách, kde je nutné navrhnout náhradu 245kV rozveden Malešice a Čechy střed. Rozvodna Malešice patří mezi nejvíce zatěžované 245kV rozvodny v síti. V důsledku pak vznikají při velkém odběru v pražské aglomeraci situace, kdy dochází k přetěžování dvojitého vedení Malešice – Čechy střed nebo transformátorů 220/110 kV při modelových kontrolách N-1. Rozvodna Malešice je vybavena dvěma třífázovými transformátory 220/110 kV, každý o transformačním výkonu 200 MVA.

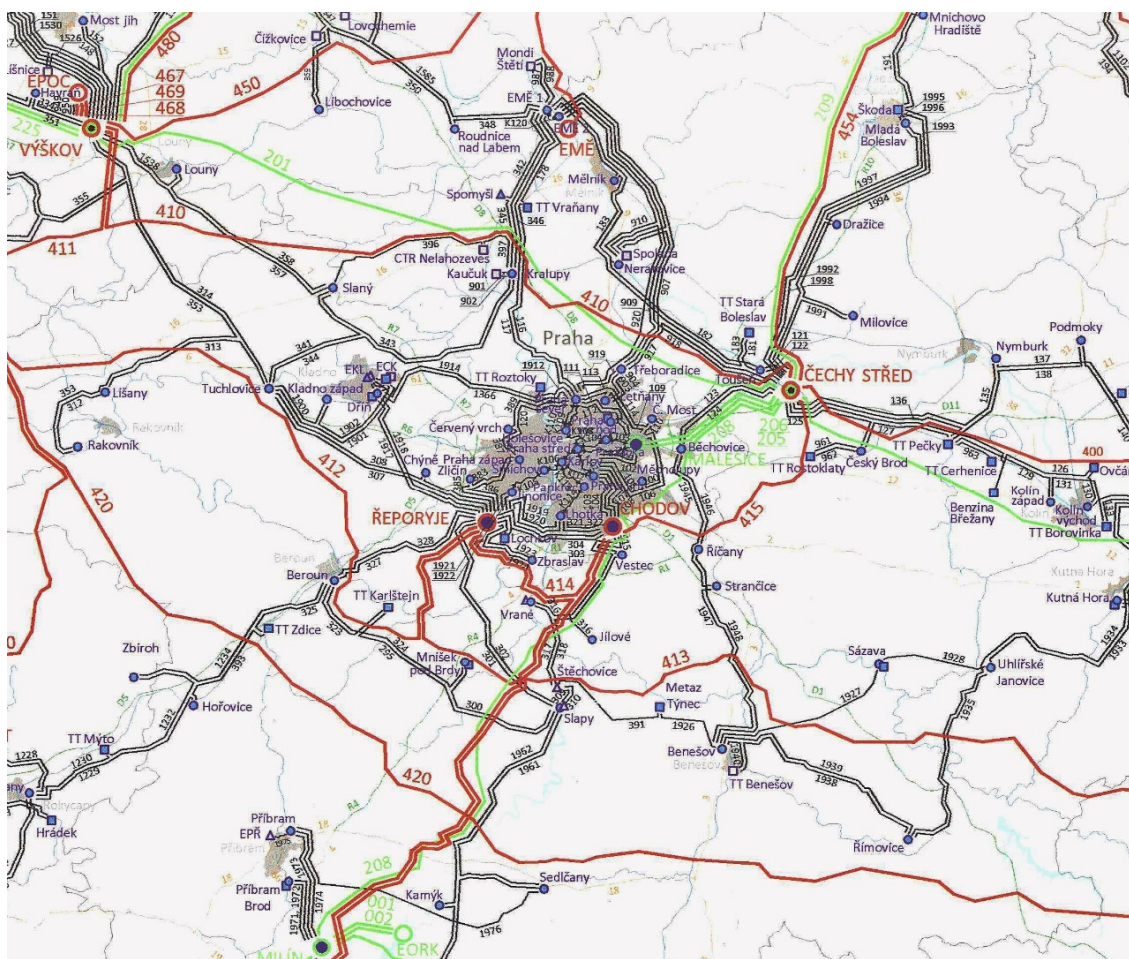
Elektrická energie se pro hlavní město a okolí dodává celkem ze tří napájecích bodů – dvě 420kV rozvodny Řeporyje a Chodov a 245kV rozvodna Malešice. Po dobu přebudování rozvodny

Malešice na systém 400 kV bude nutná náhrada prostřednictvím nového napájecího bodu. Další části této práce pak věnují pozornost tomuto novému napájecímu bodu v severní části Prahy.

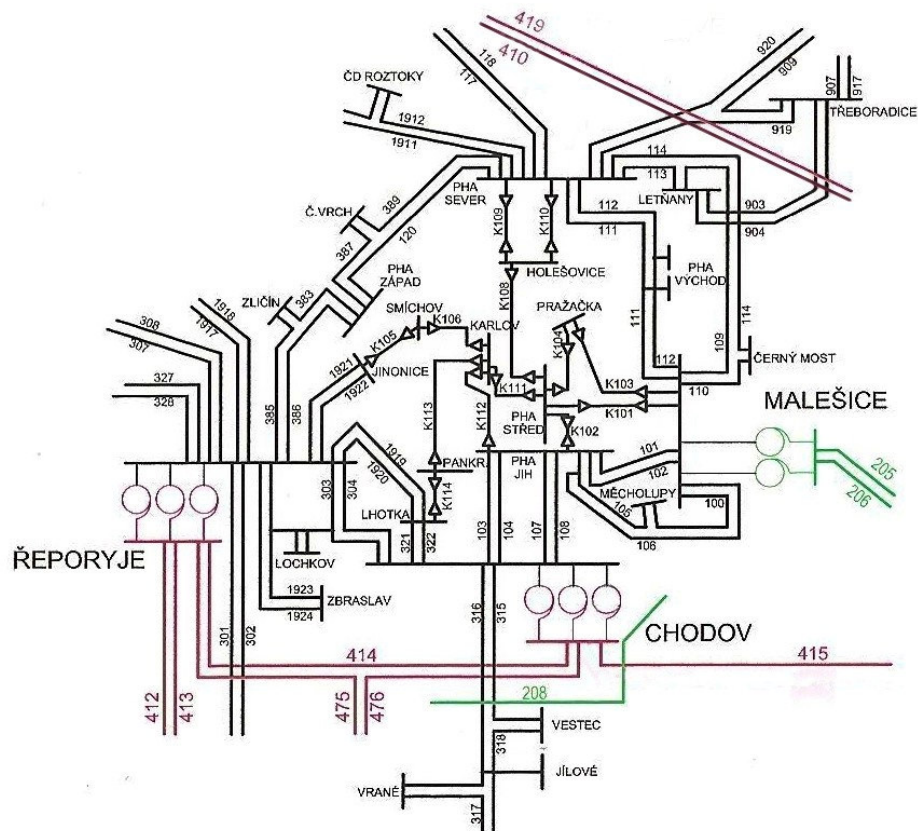
Nová 420kV malešická rozvodna bude obsahovat dva transformátory 400/110 kV se standardním transformačním výkonem 350 MVA (dnešní dosluhující transformátory disponují ještě výkonem 250 MVA) a 400kV vedení spojující rozvodnu se stanicí Čechy střed. Podrobnější rozbor obsahuje část 3.3.

Úpravy se nevyhnou ani rozvodně Čechy střed. V rozvodně pracuje transformátor 220/110 kV jako záloha pro dvojici transformátorů 400/110 kV. V rozvodně je umístěn také vazební transformátor mezi oběma systémy 400/220 kV. Z 245kV rozvodny se napájí dvojitým vedením rozvodna Malešice. Úpravy v rozvodně Čechy střed budou úzce souviset s přestavbou rozvodny Malešice. Rozvodně Čechy střed se věnuje část 3.2.

Na následujících obrázcích je vyjádřen stav zapojení v oblasti středních Čech z počátku roku 2015.



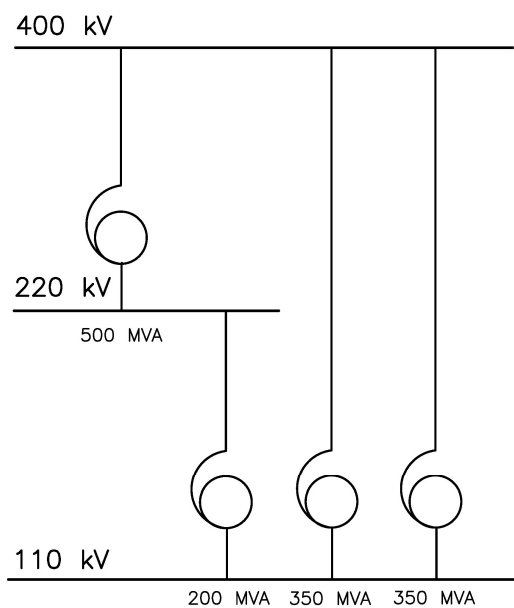
Obr. 3.1 Mapa vedení 110 kV (černá), 220 kV (zelená) a 400 kV (červená) ve středních Čechách [6]
(stav z ledna 2015, dnes je v provozu již zdvojené vedení V410/V419)



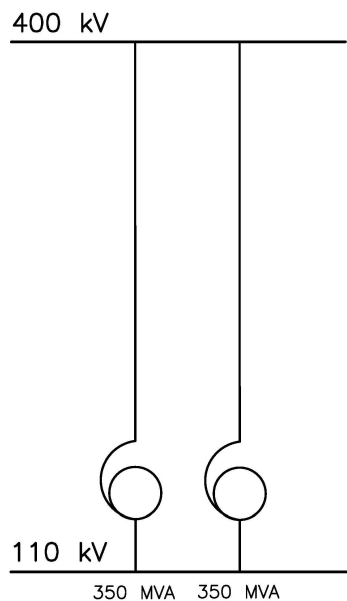
Obr. 3.2 Podrobnější schématické vyznačení vedení 110 kV (černá), 220 kV (zelená) a 400 kV (červená) na území Prahy [7]

3.2 Čechy střed

V současné době během běžného provozu bývá transformátor na rozhraní 220/110 kV využíván pouze minimálně, a tak slouží spíše jako záloha při poruše v systému 400 kV. Z tohoto důvodu je možné bez větších komplikací zrušit transformaci 220/110 kV. Nutné úpravy tak budou zahrnovat pouze zrušení rozvodny 220kV systému. Z výkonových poměrů zatím není nutné přidávat další transformační výkon 400/110 kV v rozvodně Čechy střed. Přestavba rozvodny Čechy střed se zrušením 220kV systému může proběhnout až po přestavbě rozvodny Malešice (z části 3.3 v roce 2035). Jedná se totiž o jediné napájení této 245kV rozvodny.



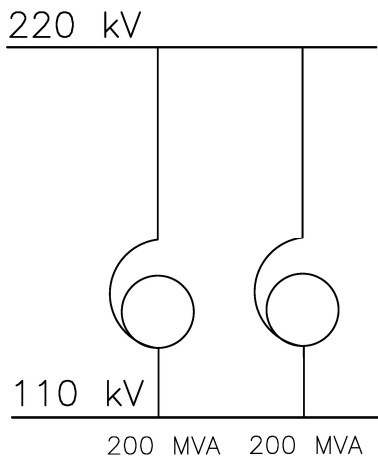
Obr. 3.3 Dnešní stav zapojení v rozvodně Čechy střed



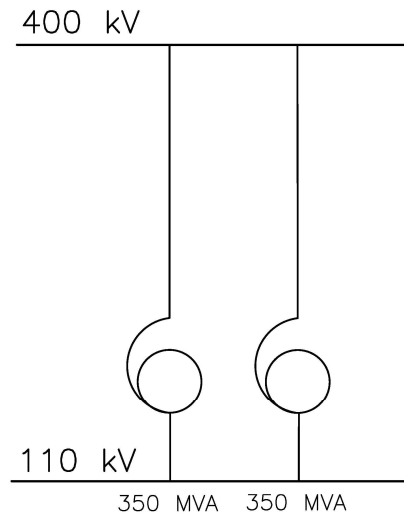
Obr. 3.4 Stav zapojení po úpravách v rozvodně Čechy střed v roce 2035

3.3 Malešice

Vývoj úprav v rozvodně Malešice bude úzce záviset na situaci v rozvodně Čechy střed. Zrušení transformátoru 220/110 kV v rozvodně Čechy střed do roku 2030 souvisí s postupnou redukcí 220kV systému, kdy dojde k jednorázovému odstavení 220kV vedení ve smyčce Čechy střed – Malešice – Výškov – Hradec – Vítkov – Přeštice – Milín – Tábor – Čechy střed. Toto hromadné řešení je nutné z důvodu vyvedení tří větších zdrojů do hladiny 220 kV s celkovým výkonem 846 MW. Nebylo by totiž možné provozovat síť 220 kV v silně redukované podobě při postupně odpojovaných hlavních vedeních. Po odstavení zůstane v provozu pouze část 220kV vedení okolo rozvodny Hradec a Vítkov (pro odvedení výkonů dvou zdrojů na 220 kV a napájení distribuční sítě LDS Sever). Po hromadném odstavení bude 245kV část rozvodny Čechy střed napájena pouze transformátorem 400/220 kV, který zajistí jediné napájení přes dvojité vedení 245kV rozvodny Malešice. Tento stav však vede ke snížení spolehlivosti provozu, které by mělo být řešeno vybudováním nové rozvodny 420 kV Praha-sever. Z toho vyplývá, že již v této době musí být realizace rozvodny Praha-sever dokončena. Realizace 420kV rozvodny Praha-sever musí být tak naplánována před rokem 2030, konkrétně okolo roku 2025. Rozvodna Praha-sever bude nezbytná kromě tohoto důvodu také v době přestavby rozvodny Malešice z 220kV systému na 400kV, kdy nová rozvodna zajistí napájení spádových oblastí distribučních sítí 110 kV. Přestavba rozvodny Malešice na 420 kV je plánována k roku 2035 spolu se zrušením 245kV části v rozvodně Čechy střed.



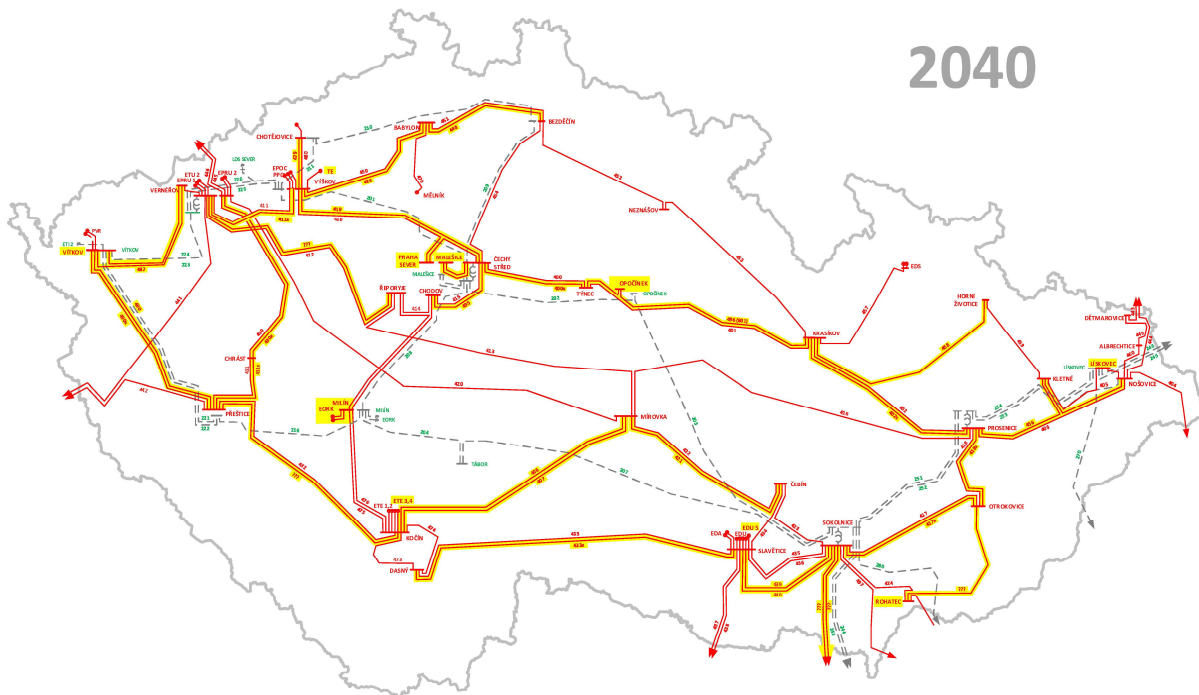
*Obr. 3.5 Dnešní stav zapojení
v rozvodně Malešice*



*Obr. 3.6 Stav zapojení po úpravě v rozvodně
Malešice v roce 2035*

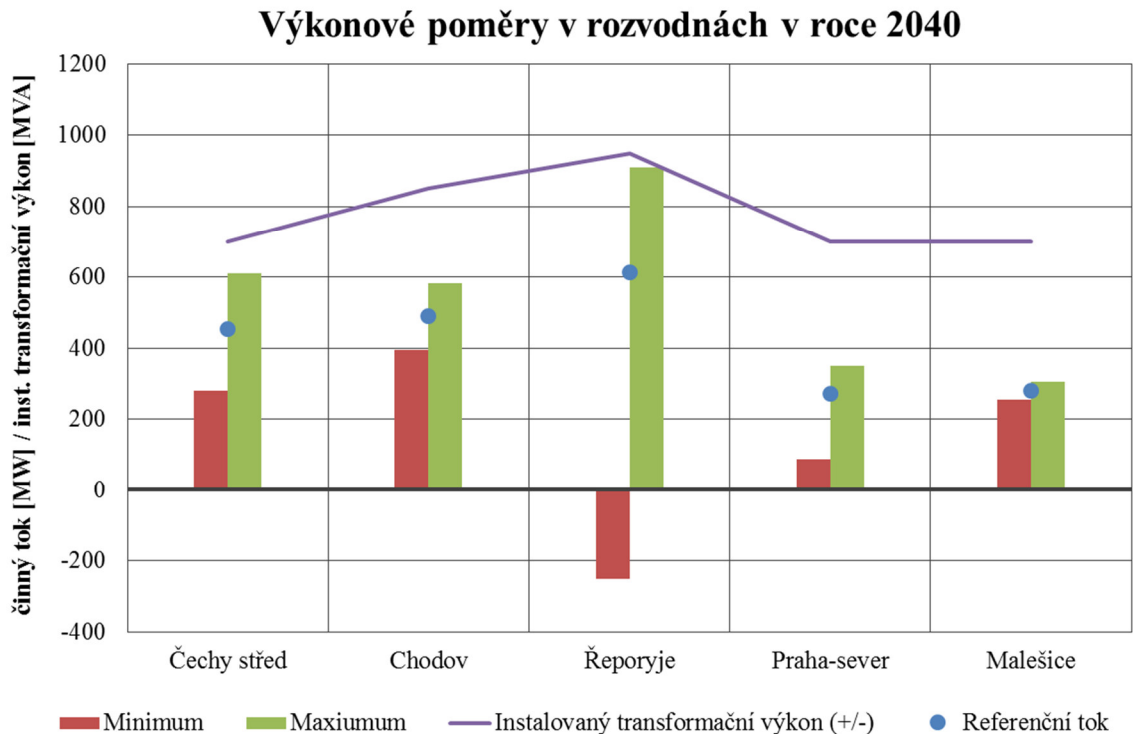
3.4 Výkonové poměry

Výkonové toky po odstavení 220kV systému se přesunou z vedení 220 kV do systému 400 kV. Navíc dojde ke vzniku nových spojení realizací dalších rozvodů a vedení na hladině 400 kV. Z plánovaného stavu přenosové soustavy v roce 2040, kterému odpovídá obrázek 3.7, lze pomocí odhadů výroby a spotřeby získat modelovým výpočtem výkonové zatížení jednotlivých transformací 400/110 kV v přenosové soustavě.



Obr. 3.7 Schéma přenosové soustavy v roce 2040 podle plánovaného rozvoje [11]

Výsledky vychází z referenčního nasazení zdrojů a z okamžitých výkonů zdrojů v rozsahu 0 – 100 % instalovaného výkonu. Struktura instalovaného výkonu byla převzata podle predikce Aktualizace státní energetické koncepce. Výsledky jsou vyjádřeny v grafu na obrázku 3.8, který popisuje referenční tok činného výkonu přes transformaci 400/110 kV v rozvodnách v roce 2040. Spotřeba počítá se zimním maximem v roce 2040. U jednotlivých rozvodnách je vyjádřena proměnlivost transformovaného výkonu v určitém pásmu podle nasazení zdrojů v rozptýlené výrobě v jednotlivých lokalitách. Do grafu byly vybrány hodnoty pouze v relevantních rozvodnách pro řešenou oblast: Čechy střed, Chodov, Řeporyje, Praha-sever a Malešice.



Obr. 3.8 Graf výkonových poměrů na přechodu PS/DS v roce 2040 (údaje převzaté z [13])

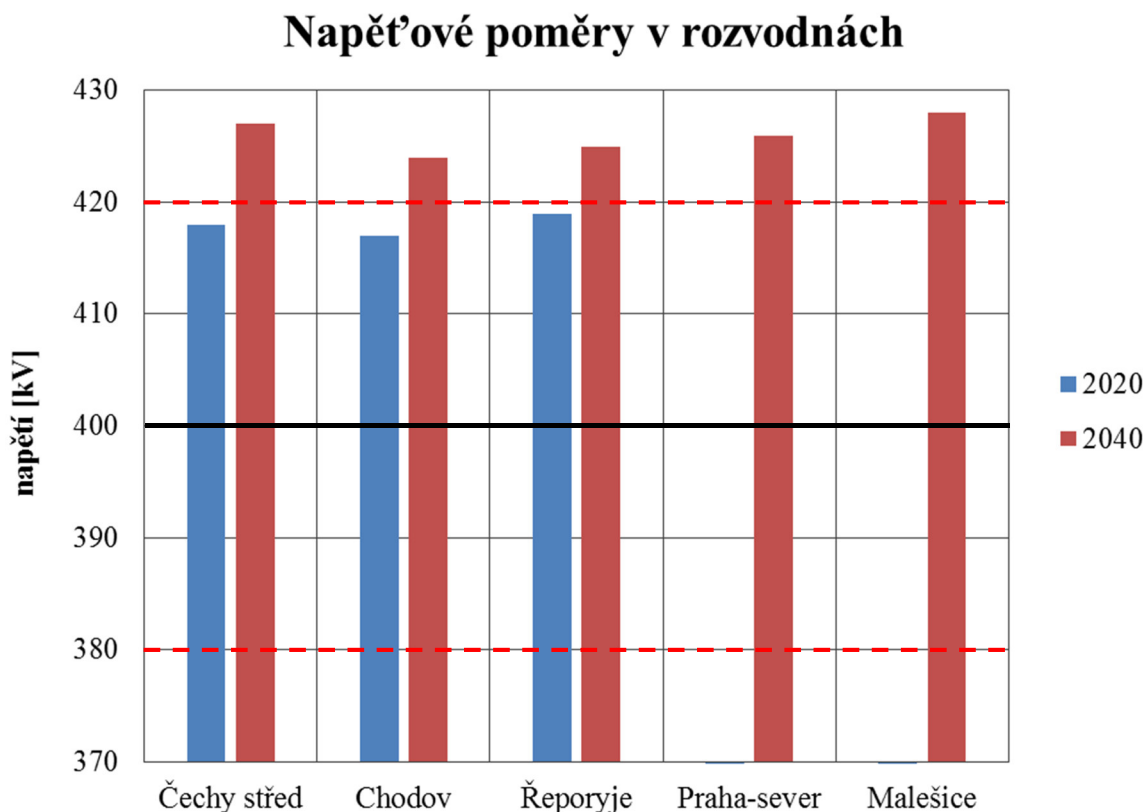
Z výsledků lze vyvodit závěry, že zásobování Prahy elektrickou energií bude spolehlivé a dostatečné. V některých situacích může docházet v rozvodně Řeporyje k provozu blízko provoznímu maximu, avšak zbývající rozvodny disponují bezpečnou výkonovou rezervou, mohou se tak vzájemně zálohovat.

Nyní jsou v rozvodně Chodov instalovány transformátory s celkovým výkonem 850 MVA (2x 250 MVA, 1x 350 MVA), v Řeporyjích též 850 MVA (2x 250 MVA, 1x 350 MVA) a v Malešicích 400 MVA (2x 200 MVA); celkově 2 100 MVA. [6] Při nepříznivém stavu (maximálním činném toku) v roce 2040 může být odběr z napájecích bodů Prahy (Chodov, Řeporyje, Praha-sever a Malešice) 2 149 MW. Při srovnání s dnešním stavem rozvoden (instalováno 2 100 MVA) by do roku 2040 muselo zcela jistě dojít k úpravám rozvoden a minimálně výměně transformátorů 250 MVA za 350 MVA bez ohledu na vývoj systému 220 kV.

3.5 Napěťové poměry

Se změnou tras výkonových toků a odlišné konfigurace sítě, která zákonitě vede ke změně impedance, dojde i ke změnám napěťových poměrů. Výpočet proběhl k roku 2040, při němž se počítalo s výrobou do přenosové soustavy především v její jižní části, neboť většina dnešních uhelných zdrojů v severních Čechách bude již odstavena. Graf obsahuje pro porovnání i hodnoty

z výpočtů pro rok 2020, který odpovídá v modelu situaci před zahájením procesu odstavení systému 220 kV. Do grafu na obrázku 3.9 jsou vyneseny pouze hodnoty napětí z rozveden z řešené oblasti. Graf počítá jen s rozvodnami 420 kV, z tohoto důvodu není uveden u Malešic v roce 2020 žádný údaj.



Obr. 3.9 Graf napěťových poměrů v rozvodnách v roce 2020 a 2040 (údaje převzaté z [13])

Tyto výsledky jsou za nejméně příznivého stavu, tj. při minimálním uvažovaném zatížení. Nárůst napětí lze vysvětlit velkým množstvím nových vedení, která budou ve sledovaném mezidobí vybudována. Na těchto vedení je generováno značné množství jalového výkonu, což způsobí nárůst napětí v rozvodnách. Tento stav můžeme také přičíst dalšímu rozvoji decentralizace zdrojů v ES vedoucí k odlehčení sítí přenosové soustavy.

Z grafu vyplývá, že dojde pro napětí 400 kV k překročení tolerovatelného pásma $\pm 5\%$. Během rozvoje přenosové soustavy tak vznikne potřeba zvýšit kapacitu kompenzačních zařízení s jejich umístěním do dalších rozveden. V současnosti napětí v síti pomáhá regulovat celkově 18 uzlových tlumivek s celkovým výkonem 1 346,2 MVar [14].

4. Elektrická stanice

Elektrizační soustava je tvořena mnoha uzlovými body a větvemi, které spojují jednotlivé uzly v přenosovou cestu. Tato uzlová zařízení se nazývají elektrické stanice a slouží k rozvádění elektrické energie v jedné napěťové hladině či transformaci elektrické energie na vhodnější napětí pro další přenos či distribuci. Existují také stanice s přeměnou elektrické energie o střídavém napětí na stejnosměrné s následným rozvodem a distribucí.

Rozvodné stanice v přenosové soustavě mají dvě základní funkce:

- 1) spínací, kdy dochází k rozdělení elektrické energie při stejném napětí;
- 2) transformační, kdy se elektrická energie transformuje na potřebné napětí.

4.1 Zařízení elektrické stanice

Základní vybavení elektrických stanic je podobné, avšak provedení se často liší v závislosti na jmenovitém napětí, úloze v elektrizační soustavě, vnitřní konfiguraci či způsobu jejich řízení.

Můžeme tak elektrické stanice rozdělit na tyto funkční celky:

a) Elektrické rozvody stanice

Mají nejdůležitější úlohu, protože zajišťují přenos a rozdělení elektrické energie.

b) Společné zařízení stanice

Do této skupiny můžeme zařadit veškeré vybavení řízení stanice od měřících, přes ochranné po signalizační prvky. Součástí bývá také napájení a zajištění vlastní spotřeby se záložními zdroji v podobě akumulátorových baterií apod.

c) Pomocné zařízení stanice

Mezi vybavení elektrické stanice tak patří mimo jiné vybavení pro opravy a údržbu přístrojů a zařízení, sklady a zařízení pro olejové hospodářství.

d) Protipožární zařízení stanice

Každá elektrická stanice musí mít sklad hasiva a zařízení pro jeho rozvod. Pro havarijní stavy jsou nutná ovládací a signalizační zařízení.

e) Komunikace

Tato skupina zahrnuje přístupové cesty do stanice, mezi které patří například železniční vlečka pro velké stroje či přístupové silnice. Nelze opomenout i vnitřní komunikace ve stanici, které musí zajistit přepravu největších zařízení na jejich pracovní stanoviště.

f) Sociální zařízení

Pro zaměstnance je nutné zajistit ochranu a hygienu práce, kam můžeme zařadit například umývárnu, toalety a místnost pro odpočinek. Vybavení závisí především na způsobu řízení stanice. Většina rozvoden přenosové soustavy dnes však disponuje dálkovým řízením, není zde tak trvalá přítomnost obsluhy stanice.

4.2 Elektrické rozvody stanice

Elektrické zařízení stanice tvoří základ samotné stanice soustavy. Nejdůležitější parametry rozvodných zařízení jsou:

- 1) jmenovité napětí,
- 2) zkratová odolnost.

Hlavní kostru elektrických rozvodů stanice vytváří přípojnice a odbočky. Přípojnice jsou vodiče, které vedou přes celou rozvodnu a rozvádí elektrickou energii do všech odboček vycházejících z rozvodny. Soustřeďuje se na nich celý přenášený výkon rozvodny. Odbočky pak tvoří soubor zařízení a přístrojů potřebných k vybavení a zabezpečení každého vývodu z rozvodny. Přístroje se liší v různých rozvodnách napětíovou hladinou i proudovou a zkratovou odolností.

Mezi základní přístrojové vybavení odboček lze zařadit:

a) Spínací přístroje

Zajišťují spínání a vypínání odboček i pod zatížením.

b) Přípojnicové odpojovače

Slouží pro viditelné oddělení celé odbočky od přípojnice z pohledu napájení ze strany přípojnice.

c) Vývodové odpojovače

Jejich úkolem je naopak viditelné oddělení vývodu od zařízení vlastní odbočky z pohledu napájení ze strany vývodu.

d) Přístrojové transformátory proudu a napětí

Tyto přístroje slouží pro napájení sekundárních obvodů měřících, řídicích a ochranných zařízení v dané odbočce.

e) Měřící a ochranná zařízení

Měřící a ochranná zařízení mají úlohu získání přenášeného výkonu odbočkou a měření dalších parametrů elektrické energie nejen pro funkci ochran.

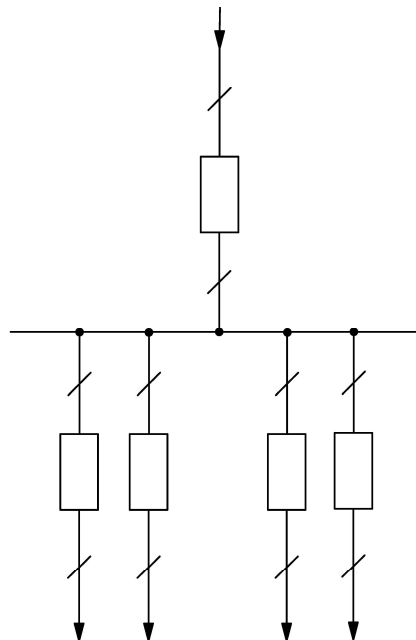
Nejdůležitějším zařízením odboček se dále věnuje část 4.2.2.

4.2.1 Přípojnice

Přípojnice tvoří kostru rozvodny a jsou charakteristickým rysem při jejich rozlišování. Spolehlivost rozvodny se odvíjí od návrhu přípojnic, neboť porucha přípojnice může vyřadit z provozu celou rozvodnu, nebo jen její část. Pro zvýšení spolehlivosti bývají tak přípojnice dělené na více částí a množství přípojnic pak odpovídá důležitosti napájených odboček. Můžeme se tak setkat se systémy s jednou, dvěma či třemi přípojnicemi. Ty lze doplnit jednou nebo dokonce dvěma pomocnými systémy přípojnic.

4.2.1.1 Jednoduchý systém přípojnic

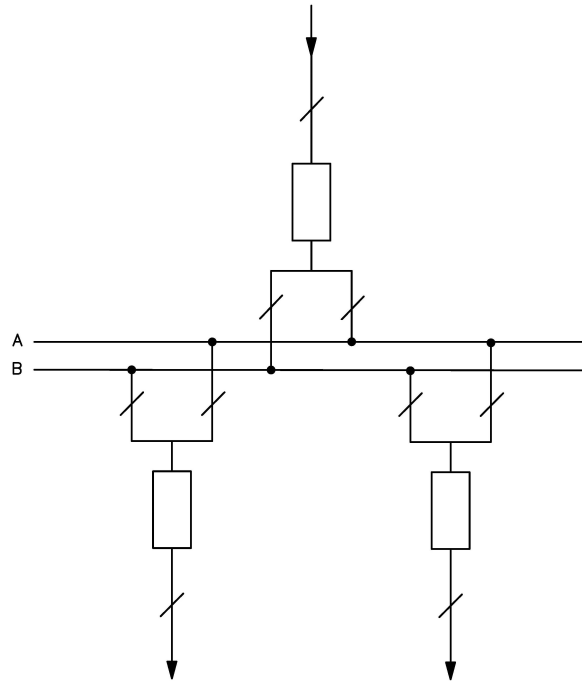
Použití nachází při aplikacích, ve kterých není kladen důraz na spolehlivost a nepřerušovaný provoz při revizích a opravách. V přenosové soustavě se tento systém nepoužívá. Tyto rozvodny mají nejmenší pořizovací náklady, ale za cenu právě nižší spolehlivosti.



Obr. 4.1 Jednoduchý systém přípojnic

4.2.1.2 Dvojitý systém přípojnic

Dvojitý systém přípojnic se používá v situacích, kdy není možné přerušit dodávku z důvodů poruchy či revize přípojnice.

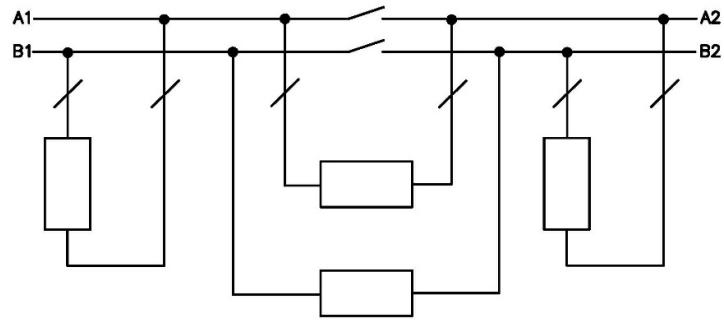


Obr. 4.2 Dvojitý systém přípojnic

Z obrázku 4.2 vyplývá, že není možné zajistit spojení obou přípojnic pouze pomocí odpojovačů. Musí být tak splněno, že dojde k připojení odbočky buď jen k systému přípojnice A, nebo jen k systému přípojnice B. Propojení mezi systémy přípojnic pak realizuje příčný spínač přípojnic.

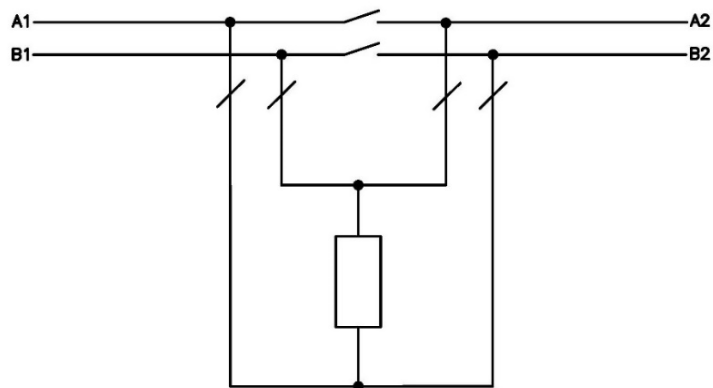
Systém přípojnic může být někdy výhodné provozovat rozdělený na více částí (například při vyvedení více zdrojů). Lze tak zaručit oddělený provoz jednotlivých částí. Dalším důvodem bývá omezení zkratových proudů rozdělením zdrojů do dvou skupin.

Propojování úseků přípojnic provádí podélný spínač přípojnic.



Obr. 4.3 Příčné a podélné spínače přípojnic (na krajích příčné spínače, uprostřed podélné spínače)

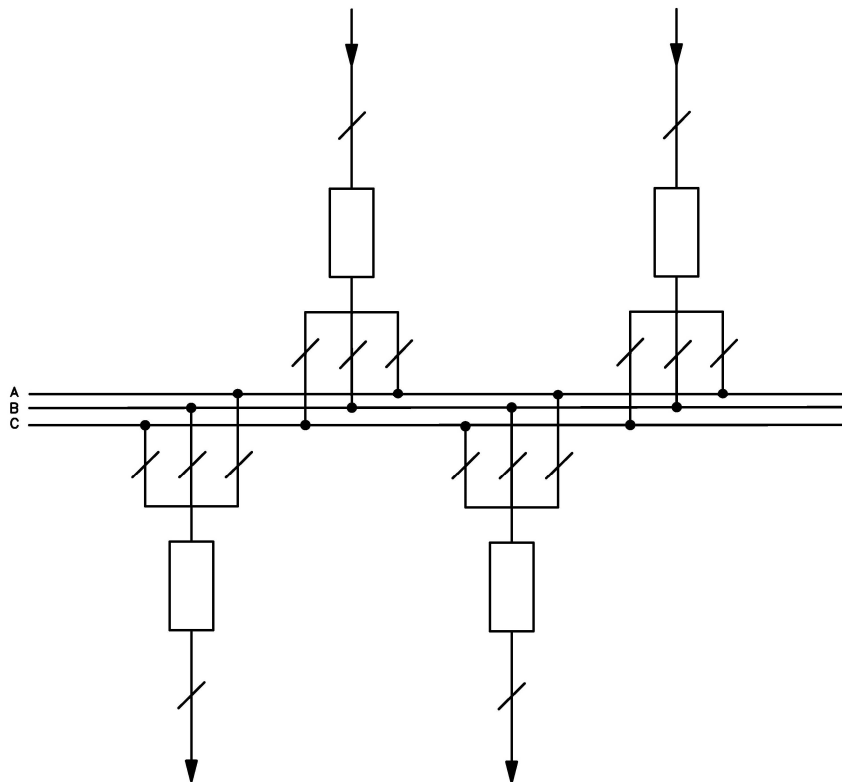
U propojení více podélných úseků při dvojitěm systému přípojnic (na obrázku 4.4 čtyři podélné úseky, na každé přípojnici dva) se pak používá kombinovaný spínač přípojnic. Ten je výhodný, neboť potřebuje pro svoji funkci pouze jeden vypínač, avšak není schopen propojit části A1-B2 a B1-A2.



Obr. 4.4 Kombinovaný spínač přípojnic

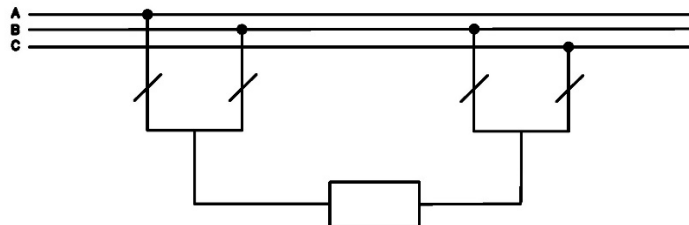
4.2.1.3 Trojitý systém přípojnic

Tento systém se používá v největších rozvodnách, kde je potřeba provozovat několik úseků přípojnic. Obvykle tyto rozvodny obsahují velký počet napájecích i vývodových odboček.



Obr. 4.5 Trojitý systém přípojnic

Příčné propojení zajistí buď tři běžné příčné spínače, nebo úspornější zapojení (viz obr. 4.6) pro případ, že není nutná jejich současná manipulace.



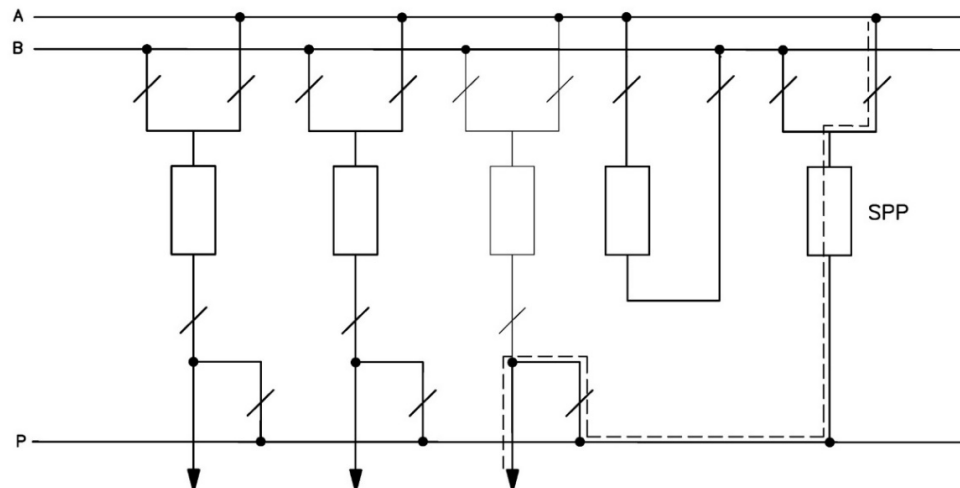
Obr. 4.6 Úsporné zapojení příčného spínače přípojnic

4.2.1.4 Systémy s pomocnou přípojnicí

Výše popsané systémy pracovaly s hlavními přípojnicemi. Vedle nich může být v rozvodně instalována jedna nebo dokonce dvě pomocné přípojnice. Pomocná přípojnice pak má za úkol zajistit vyvedení výkonu jedné vývodové odbočky v případě poruchy nebo revize vypínače či odpojovače. Funkci odstavené odbočky nahradí odbočka se spínačem pomocné přípojnice (SPP). Výhodou

pomocných přípojnic v rozvodně je zvýšení spolehlivosti dodávky elektrické energie, ale toto řešení vede k vyšším pořizovacím nákladům.

Provozu odbočky připojené přes pomocnou přípojnicí se říká náhradní. Pomocný systém přípojnic a výzbroj odbočky se spínačem se dimenzuje stejně jako nejsilnější odbočka.

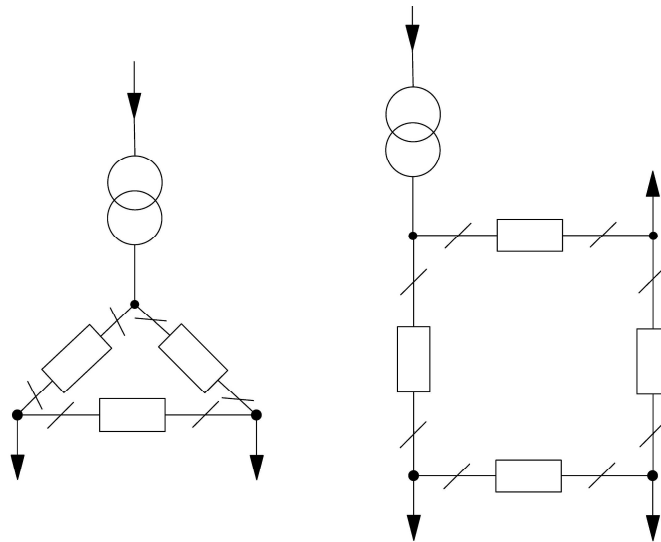


Obr. 4.7 Systém s pomocnou přípojnicí (s vyznačenou cestou elektrické energie při poruše třetí odbočky)

Rozvodna s dvojitým systémem přípojnic a s pomocnou přípojnicí je nejtypičtějším zapojením rozvodny v přenosové soustavě [18].

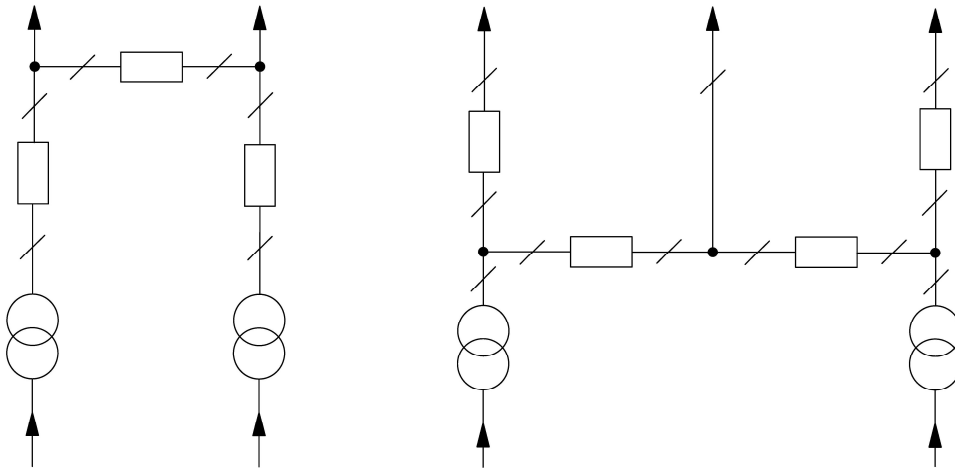
4.2.1.5 Systémy bez přípojnic

Některé rozvodny mohou být v úsporném provedení provozovány bez přípojnice. Počet uzlových bodů pak odpovídá počtu odboček vedoucích z rozvodny. Tyto systémy se nazývají okružní zapojení.



Obr. 4.8 Okružní zapojení rozvodny

Ještě úspornějším zapojením je tzv. zapojení H. V tomto případě může být počet vypínačů dokonce menší než počet odboček.



Obr. 4.9 Zapojení H v rozvodně

4.2.2 Odbočky

Na přípojnicích je soustředěn veškerý výkon přivedený do rozvodny. Tento výkon se posléze rozvádí v rozvodně do jednotlivých odboček. Odbočka bývá tvořena souborem zařízení a přístrojů. Jejich úkolem je zajistit spolehlivé a bezpečné odvedení elektrické energie z rozvodny.

4.2.2.1 Vypínače

Odbočky rozvoden VVN a ZVN mají obvykle vypínač, který je dimenzován na vypínání i zapínání zkratových proudů. Vypínač musí být schopen přerušit obvod za všech okolností. Dříve se používali tlakovzdušné vypínače, dnes se však používá výhradně zhášecí médium fluorid sírový SF₆ (také zvaný hexafluorid síry). Pohon mechanických částí může být řešen dvěma způsoby. Prvním z nich je běžný elektromotorický s pružinovým střadačem, druhým pak hydraulický s olejovým rozvodem. Parametry vypínače odpovídají typu a vlastnostem rozvodny. Základními veličinami určujícími typ vypínače jsou nejvyšší napětí soustavy, jmenovitý proud, jmenovitý vypínací proud, jmenovitý dynamický proud (někdy označovaný jako zapínací proud), vypínací a zapínací doba.

Normalizovaná řada jmenovitých proudů je následující: 1 000 A, 1 250 A, 1 600 A, 2 000 A, 2 500 A, 3 150 A a 4 000 A. Vypínacím proudům vypínačů odpovídá běžně v normalizované řadě dynamický proud (údaj v závorce): 16 kA (40 kA), 25 kA (63 kA), 40 kA (100 kA), 50 kA (125 kA), 63 kA (160 kA). Vybrané hodnoty jsou určeny pro běžnou aplikaci v oblasti velmi vysokého a zvláště vysokého napětí.

Vypínač pro jednu fázi má obvykle dvě zhášecí komory, které přerušují elektrický obvod. Pro snadnější zhášení elektrického oblouku se připojují ke komorám paralelně kondenzátory. Součástí výkonových vypínačů bývá systém synchronizace, který kontroluje rozdíl úhlu a velikosti spínaných napětí s možností fázovat napětí s určitým rozdílem frekvence.

4.2.2.2 Odpojovače

Pro viditelné, tudíž bezpečné rozpojení elektrického obvodu slouží zařízení zvané odpojovač. Jeho úkolem však není vypínání obvodu, to zajišťuje vypínač. Podle umístění v rozvodně lze rozlišovat odpojovače přípojnicové, vývodové a pro pomocnou přípojnicí.

Odpojovače vybavené zemnicími noži se nazývají uzemňovače. Jejich úkolem je přizemnění zařízení rozvodny při opravách či jejich revizi. Uzemňovače mohou být součástí odpojovačů, či jsou instalovány v rozvodně samostatně.

V dnešní době je pohon odpojovačů elektromotorický. V minulosti byly používány i odpojovače s tlakovzdušným systémem.

Elektrické parametry odpojovačů jsou velmi podobné jako u vypínačů. Sleduje se nejvyšší napětí soustavy, jmenovitý proud, jmenovitý krátkodobý nadproud (doba trvání 1 s [18]) a jmenovitý dynamický proud.

4.2.2.3 Přístrojové transformátory

Přístrojové transformátory slouží pro převedení příliš velkých hodnot proudů a napětí na nižší, které jsou lépe měřitelné. Tyto údaje poté slouží pro měřicí a chránicí přístroje. Provedení přístrojových transformátorů se liší podle způsobu izolace. Může se jednat o izolaci olejem, nebo plynem SF₆.

Přístrojové transformátory proudu. Základními parametry přístrojových transformátorů proudu kromě nejvyššího napětí soustavy je jmenovitý primární a sekundární proud. Jmenovitý sekundární proud bývá volen ze dvou hodnot: 1 A nebo 5 A. Přístrojové transformátory proudu se mohou lišit počtem jader. Neméně důležitými parametry jsou opět jmenovitý krátkodobý nadproud a jmenovitý dynamický proud. Důležité u proudového transformátoru je zajistit při odpojení spotřebiče zkratování sekundárního vinutí.

Přístrojové transformátory napětí. Napěťové transformátory ze své funkce předpokládají jiné sledované parametry. Jejich určení se znovu odvíjí od nejvyššího napětí soustavy, dále závisí na jmenovitém primárním a sekundárním napětím. Jelikož transformátory jsou realizované jednofázově s uzlem vyvedeným do zemního potenciálu, bývají jmenovité hodnoty na primární straně $400/\sqrt{3}$ kV nebo $220/\sqrt{3}$ kV. Jmenovité napětí sekundárního vinutí běžně bývá $100/\sqrt{3}$ V. Na rozdíl od proudového transformátoru musí být transformátor napětí na sekundárním vinutí připojen k zátěži, nebo být naprázdno. Svorky sekundárního vinutí nesmí být zkratovány.

4.2.2.4 Svodiče přepětí

Pro ochranu zařízení rozvodny před šířením přepětíových vln po vedení způsobených změnami v síti nebo atmosférickými výboji se používají svodiče přepětí. Obvykle bývá každý vývod v rozvodně vybaven svodičem přepětí.

Původně používané bleskojistky dnes nahrazují omezovače přepětí, které jsou nastavitelné i na nižší hodnoty přepětí.

4.2.3 Transformátory

Hlavním úkolem transformátoru je změna napětí a proudu ve střídavých sítích při konstantní frekvenci. V přenosové soustavě slouží transformátory k propojení systémů 220 kV a 400 kV a zejména pro propojení přenosové a distribuční soustavy. Výkony transformátorů a především jejich počet v rozvodně odpovídá spotřebě napájené oblasti se zahrnutím budoucího rozvoje.

Transformátory přenosové soustavy jsou třívinitového provedení. Primární a sekundární vinutí má charakter autotransformátoru [18], kdy není zajištěno mezi primární a sekundární stranou galvanické oddělení. Vinutí jsou zapojena do hvězdy. Terciární vinutí je naopak běžného

transformátorového provedení obvykle se zapojením do trojúhelníku. Terciární vinutí napájí především vlastní spotřebu rozvodny nebo připojuje kompenzační tlumivky. Někdy slouží pouze pro kompenzaci nesymetrie zatížení uzavřením proudů netočivé složky.

Transformátory v přenosové soustavě jsou regulovatelné pomocí přepínání odboček, kdy můžeme měnit převod transformátoru i za provozu.

V přenosové soustavě jsou provozovány transformátory jak třífázové, tak jednofázové ve skupině po čtyřech, kdy pracují tři jednotky a čtvrtý transformátor má funkci záložní.

V přenosové soustavě se vzhledem k její infrastruktuře používají transformátory s převody 400/121 kV, 400/231 kV a 230/121 kV (viz tabulka 4.1).

Tab. 4.1 Parametry transformátorů v přenosové soustavě [18]

Transformátory v přenosové soustavě				
Transformace	Převod	Počet odboček	Transformační výkon	Napětí terciárního vinutí
400/110 kV	400/121 kV	$\pm 8 \times 1,5 \%$	250 MVA, 350 MVA	10,5 kV
400/220 kV	400/231 kV	$\pm 6 \times 1,48 \%$	500 MVA	34 kV
220/110 kV	230/121 kV	$\pm 6 \times 2 \%$	200 MVA	10,5 kV

Na terciární vinutí se připojují ještě další transformátory vlastní spotřeby v zapojení Yy0 nebo Dy1. Jedná se o snížení napětí terciárního vinutí 10,5 kV, resp. 34 kV na hodnotu 400 V.

Velikost napětí v napájecích bodech distribuční soustavy má velkou důležitost. Z tohoto důvodu transformátory na přechodu z přenosové do distribuční soustavy jsou vybaveny hladinovými regulátory napětí. Jedná se o zařízení, které dokáže pomocí přepínání odboček automaticky regulovat napětí na distribuční straně transformátoru.

Transformátory přenosové soustavy leží obvykle ve venkovních prostorách. Stanoviště venkovních transformátorů se skládá z betonového základu. Pod transformátorem se nachází jímka pro zachycení unklého oleje.

4.3 Provedení elektrických stanic

Elektrické stanice obsahují velké množství zařízení a příslušenství, které může být umístěno uvnitř budov, nebo ve venkovních prostorách. Lze tak rozlišovat stanice s rozvodným zařízením vnitřního a venkovního provedení.

4.3.1 Venkovní provedení

Tyto rozvodny mají veškeré elektrické přístroje a zařízení umístěny v otevřeném prostoru, kde jsou trvale vystaveny nejrůznějším klimatickým podmínkám. Jedná se o běžné provedení rozvodu velmi vysokého a zvláště vysokého napětí.

Návrh rozvodny musí zajistit bezpečný a spolehlivý provoz za nejrůznějších situací – deště, bouřky, sněhu, námrazy apod. Mimo jiné si to vynucuje velké vzdálenosti mezi živými částmi zařízení, aby byla za všech okolností zajištěna dostatečně velká izolační pevnost.

Přípojnice bývají tvořeny vodiči z AlFe lan či z hliníkových trubek. Lana zavěšená na stožárech mohou být jednoduchého provedení, nebo ve svazkovém uspořádání. Vodiče přípojníc musí být nadimenzovány na odpovídající proudové zatížení a být schopny odolat silovým a tepelným účinkům zkratových proudů.

Pole rozvodny je označení prostoru rozvodny s odbočkou a jejím přístrojovým vybavením. Můžeme pak rozlišovat rozvodny jednořadové, které mají v jednom poli pouze jednu odbočku, a dvouřadové s odbočkami na obě strany v jednom poli, což vede k lepšímu využití prostoru.

4.3.2 Vnitřní provedení

Toto provedení klade větší nároky na stavební část, což výrazně zvyšuje náklady realizace. Konstrukce vnitřní rozvodny se liší podle požadavků na přenášený výkon, zkratovou odolnost či jmenovité napětí.

Můžeme je tak rozdělit do skupin:

- a) skříňové,
- b) kobkové,
- c) halové,
- d) zapouzďené.

V případě velmi vysokého a zvláště vysokého napětí u přenosové soustavy přichází v úvahu pouze typ zapouzďené rozvodny.

Zapouzďená rozvodna (často označovaná GIS, z anglických slov „gas insulated switchgear“) uzavírá vodivé části přípojníc a odboček do pouzder. Pouzdra se plní speciálními plyny, které mají výrazně lepší elektrické vlastnosti než vzduch při ostatních provedeních. Nejčastěji využívaným plynem je hexafluorid síry (SF_6), jehož elektrická pevnost je třikrát větší než u vzduchu. Mezi další výhody plynu SF_6 patří jeho zhašecí schopnost oblouku a chemická stabilita. Tyto vlastnosti vedou k podstatnému zmenšení izolačních vzdáleností, což umožňuje úsporu zastavěné plochy až o 90 % [19]. To je výhodné v městských aglomeracích z důvodů omezeného prostoru. Navíc vnitřní provedení v těchto lokalitách působí více esteticky než venkovní. Zapouzďené rozvodny se také

staví všude tam, kde se počítá s náročnými klimatickými podmínkami. K dalším výhodám zapouzdřených rozvodů kromě úspory prostoru patří vyšší spolehlivost a krátká doba výstavby. Zapouzdření také působí jako ochrana proti nebezpečnému dotyku, což zvyšuje bezpečnost obsluhy.

Rozvodny tohoto typu jsou složeny z jednotlivých dílů pouzder, které od okolí izolují plynotěsné membrány s průchodkami a jednotnými přírubami. Těmi se jednotlivá pouzdra vzájemně propojují včetně vodivých částí. Každá tato část má vlastní kontrolu tlaku izolačního plynu, jehož pokles signalizuje nutnost doplnění plynu přes redukční ventily. Toto modulární provedení umožňuje snadné rozšíření nebo přestavbu rozvodny.

Přípojnice se skládají opět z jednotlivých kusů, jejichž délka přímo odpovídá šířce pole. Plynotěsné příčné izolační přepážky zajišťují upevnění fázových vodičů. Dilataci dílů a vodičů způsobenou teplotou či tlakem plynu vyrovnávají pružná přírubová spojení. Modul každé přípojnice přímo obsahuje kombinaci uzemňovače a odpojovače. Výkonový vypínač je realizován za stejného tlaku plynu jako v dalších částech zapouzdřené rozvodny, nebo pro vyšší jmenovité proudy při vyšším tlaku plynu. Přístrojové transformátory napětí a proudu jsou řešeny s využitím plynu SF₆ jako primární izolace.

Přípojnice mohou být zapouzdřeny přímo třífázově, nebo je možné samostatně navrhnout každou fázi zvlášť (obvykle u zvláště vysokého napětí). Odbočky jsou však vždy zapouzdřeny jednofázově. Ve vnitřních prostorách rozvodů je nezbytná ventilace, jež má za úkol odvést izolační plyn. SF₆ je pětikrát těžší než vzduch, proto se ventilace soustředí ve výšce podlahy. Plyn SF₆ je bezbarvý, inertní, nehořlavý a nejedovatý plyn. Avšak při hoření elektrického oblouku v tomto plynu (například ve vypínači) vznikají produkty, které jsou už toxické pro lidský organismus. Jedná se o oxid siřičitý (SO₂), fluorovodík (HF) a thionylfluorid (SOF₂). Vypínače běžně obsahují absorbenty, které zajistí pohlcení těchto látek během krátké doby. Při jejich případném úniku do ovzduší se vyznačují zřetelným zápachem a drážděním očí a dýchacích cest i při malé bezpečné koncentraci. Lze tak velmi snadno rozeznat jejich přítomnost a umožnit veškerému personálu opuštění zamořeného prostoru. Dalším problémovým faktorem je zařazení plynu SF₆ do skupiny skleníkových plynů podle dokumentu OSN nazývaného Kjótský protokol. Tato skutečnost následně klade vysoké požadavky na technologické a pracovní postupy při výrobě i samotné montáži.

Většina rozvodů české přenosové soustavy je venkovního typu. Jediné dvě provozované rozvodny vnitřního provedení jsou Chodov (rok zprovoznění 1997) a Chotějovice (rok zprovoznění 2011).

Výhody a nevýhody provedení zapouzdřených rozvodů plněných SF₆ shrnuje tabulka 4.2.

Tab. 4.2 Výhody a nevýhody zapouzdřených rozvodů

Vlastnosti zapouzdřené rozvodny s plynem SF₆
Výhody
+ podstatně menší rozměry
+ univerzálnost modulárního provedení
+ rychlá a jednoduchá instalace
+ vysoká bezpečnost
+ malé riziko požáru
+ vyšší spolehlivost
Nevýhody
- cena servisu
- časová náročnost odstávek (doba odčerpání plynu)
- menší přehlednost zařízení (uzavřeno v pouzdech)
- vyšší pořizovací náklady (cca o 25 %) [37]

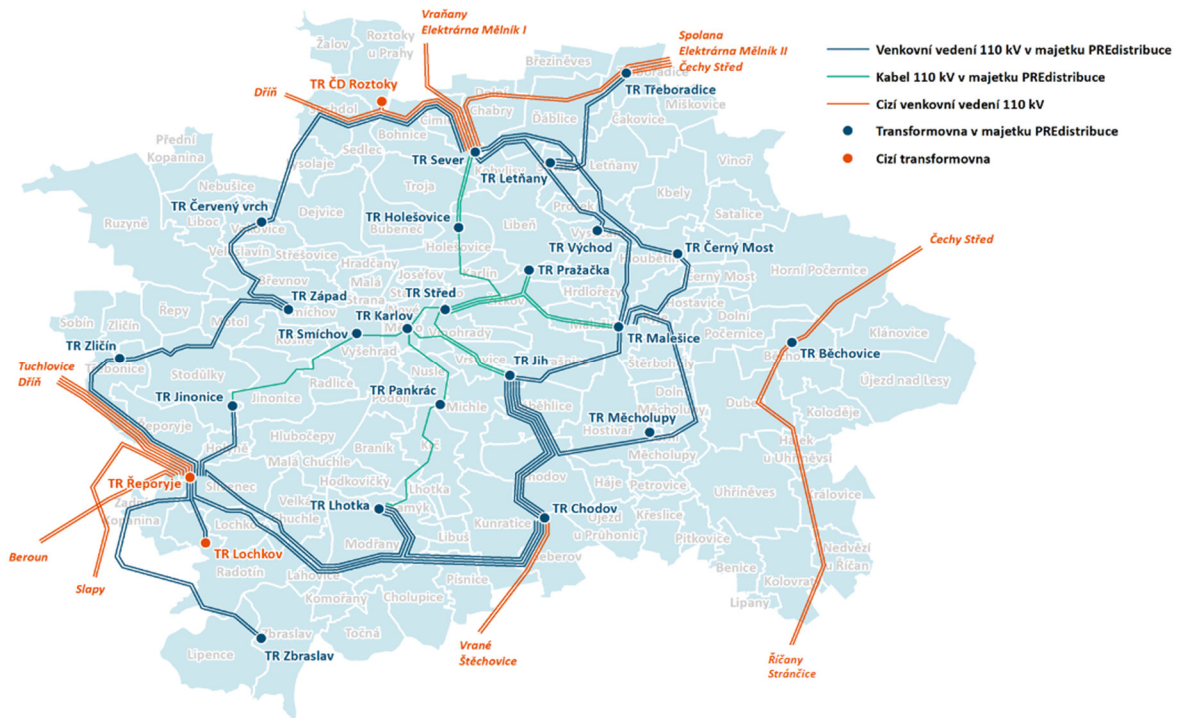
5. Realizace rozvodny Praha-sever

V předchozích částech práce byla vysvětlena důležitost realizace rozvodny Praha-sever. Mezi hlavní důvody patří výkonové napájení pražské oblasti při postupném rušení 220kV systému v rozvodně Čechy střed a přestavbě rozvodny Malešice kolem roku 2035. Zbývající 420kV rozvodny Řeporyje a Chodov by spolu s distribučními sítěmi velmi obtížně zajišťovali spolehlivé pokrytí spotřeby elektrické energie v hlavním městě. Již před tím do roku 2030 dojde ke snížení spolehlivosti provozu zrušením transformátoru 220/110 kV a vedení 220 kV v rozvodně Čechy střed, kdy rozvodna Malešice bude napájena pouze přes transformátor 400/220 kV. Realizace rozvodny Praha-sever je tak nutná před rokem 2030, což odpovídá plánům společnosti ČEPS zprovoznit novou rozvodnu v roce 2025.

5.1 Umístění rozvodny

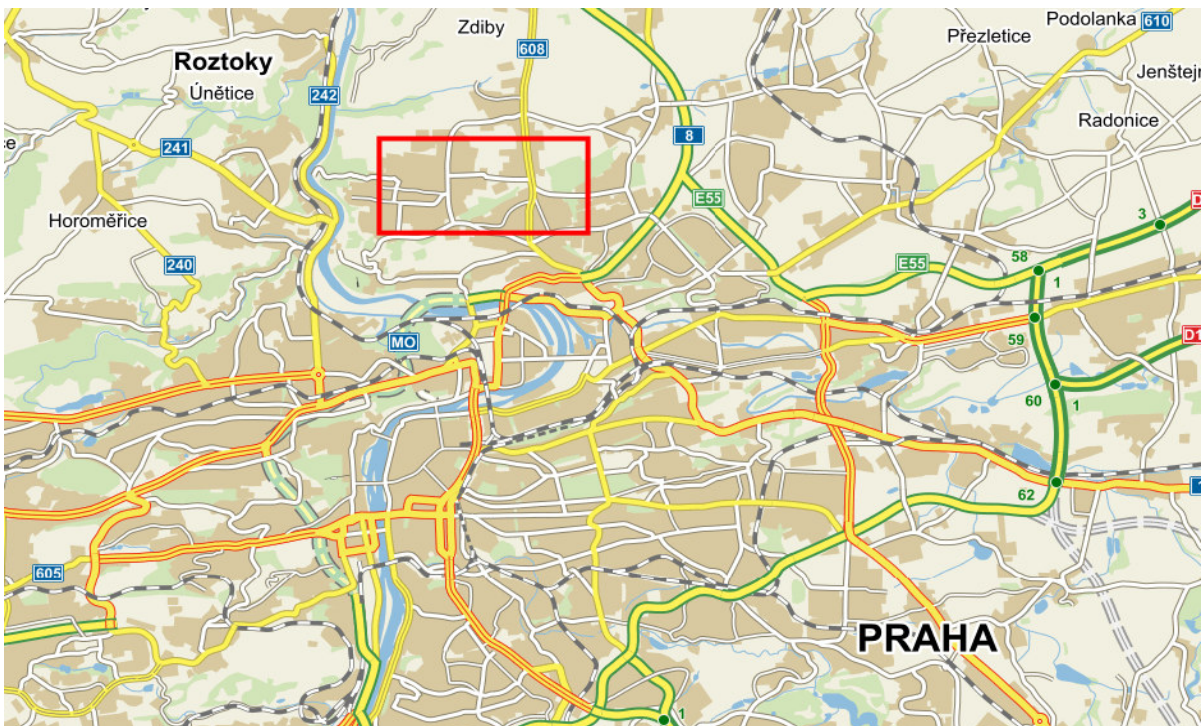
Pro umístění rozvodny nejlépe vyhovuje severní oblast Prahy, protože zbývající 400kV napájecí body leží na jihu Prahy a navíc se zde nabízí relativně blízké napojení nové rozvodny na dnes již existující vedení V410 Čechy střed – Výškov. Toto vedení bylo v roce 2015 zdvojnásobeno. Výstavba proběhla z důvodů vyvedení výkonů současných a plánovaných zdrojů v severozápadních Čechách (Ledvice, Počeradý a další). Nové 400kV vedení (označené V419) také zjednoduší provoz přenosové soustavy v dobách výkonových přetoků z Německa do Rakouska přes české území. Zkušební provoz vedení proběhl už na konci roku 2015 [38].

Rozvodna Praha-sever bude zajišťovat transformaci 400/110 kV. Z tohoto důvodu je její umístění vhodné v blízkosti některé ze 123kV rozvodn v severní oblasti Prahy. Nejvýznamnějším napájecím bodem 110 kV pro uvedenou oblast je transformovna TR Sever (viz obr. 5.1) distribuční společnosti PREdistribuce, a.s.

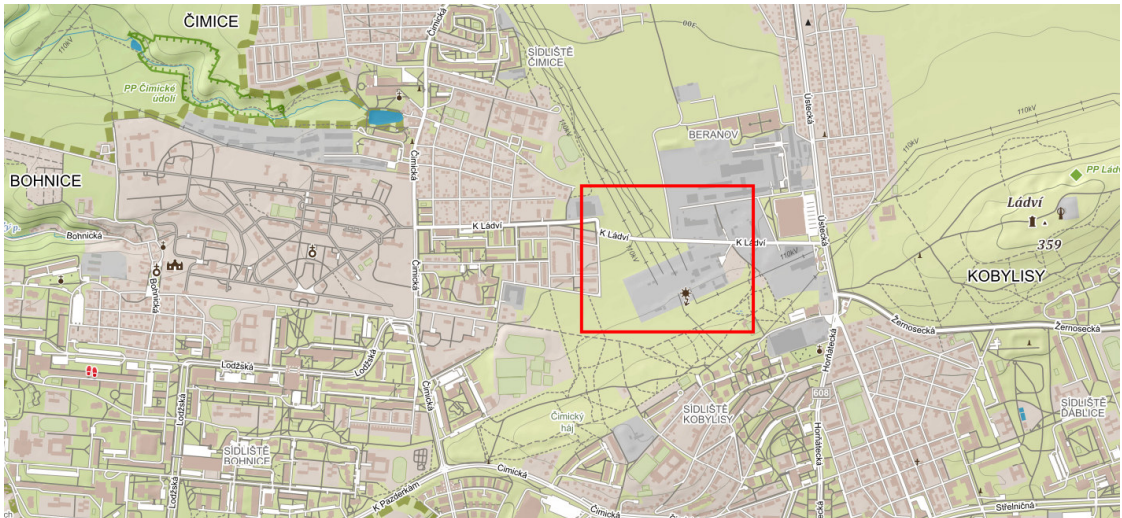


Obr. 5.1 Distribuční vedení 110 kV na území Prahy [15]

Navrhovaná lokalita umístění je vyjádřena na následujících obrázcích.

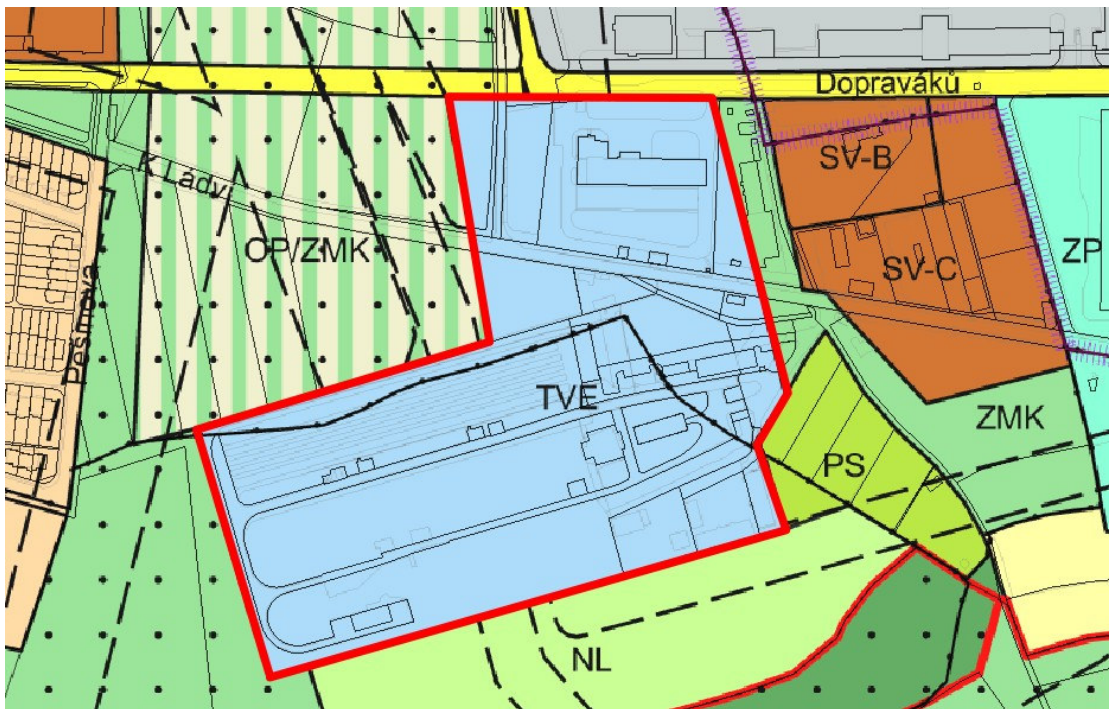


Obr. 5.2 Mapa části Prahy se zvýrazněním uvažované lokality [16]



Obr. 5.3 Mapa části Bohnic, Čimic a Kobylis se zvýrazněním lokality dnešní rozvodny TR Sever 123 kV [16]

Realizace rozvodny 420 kV s transformací 400/110 kV je v této lokalitě plánována delší dobu. Její realizace byla již dříve zanesena do územního plánu sídelního útvaru hlavního města Prahy společně s dnešní rozvodnou TR Sever 123 kV. Obrázek 5.4 tvoří výřez územního plánu v dané lokalitě ke dni 12. 1. 2016. Jedná se o oblast na rozhraní katastrálních částí Čimice a Bohnice. Území pojmenované zkratkou TVE označuje „plochy sloužící pro stavby a zařízení pro zásobování teplem, zásobování plynem a zásobování elektrickou energií“. Další plánování realizace počítá s umístěním rozvodny v tomto místě, jak je znázorněno na obrázcích 5.5 a 5.6.



Obr. 5.4 Výřez územního plánu s vyznačením plochy určené pro energetické účely [39]



Obr. 5.5 Zvýraznění dnešní rozvodny TR Sever 123 kV a uvažované polohy rozvodny Praha-sever 420 kV na katastrální mapě [17]



Obr. 5.6 Detailní výřez katastrální mapy v místě plánovaného umístění rozvodny 420 kV [17]



Obr. 5.7 Pohled na dnešní rozvodnu TR Sever 123 kV



Obr. 5.8 Pohled na dnešní stav v místě budoucí rozvodny Praha-sever 420 kV

5.2 Elektrické řešení

Úkolem této práce je navrhnout základní podobu rozvodny Praha-sever, jejíž důležitost vysvětluje kapitola 3. Vzhledem k uvažované lokalitě jejího umístění na území Prahy se nabízí realizace zapouzdřené rozvodny zejména z důvodů prostorových. Jako izolační plyn je standardně vybrán SF₆.

Transformace 400/110 kV bude pak zajištěna transformátory na venkovním stanovišti. Transformátory budou instalovány dva T401 a T402, každý o transformačním výkonu 350 MVA. Jejich stanoviště by mělo obsahovat betonové izolované vany pro zachycení alespoň 20 % oleje stroje s odtokem do sběrné jámky. Během provozních stavů může vzniknout potřeba provozovat transformátory paralelně, z tohoto důvodu musí mít oba transformátory nejen stejný výkon (350 MVA) a převod (400/121 kV), ale také hodinový úhel a napětí nakrátko.

Vyvedení vedení ze zapouzdřených vodičů zajistí venkovní průchodka (viz obrázek 5.9).



Obr. 5.9 Venkovní průchodka zapouzdřené rozvodny [20]

Spojení transformace 400/110 kV se současnou distribuční rozvodnou TR Sever 123 kV by zajistilo kabelové vedení 110 kV, protože kabelové vedení je možné lépe směřovat podle dispoziční potřeby. Důvodem je opět nedostatek prostoru a prostorová orientace přípojnic v rozvodně TR Sever.

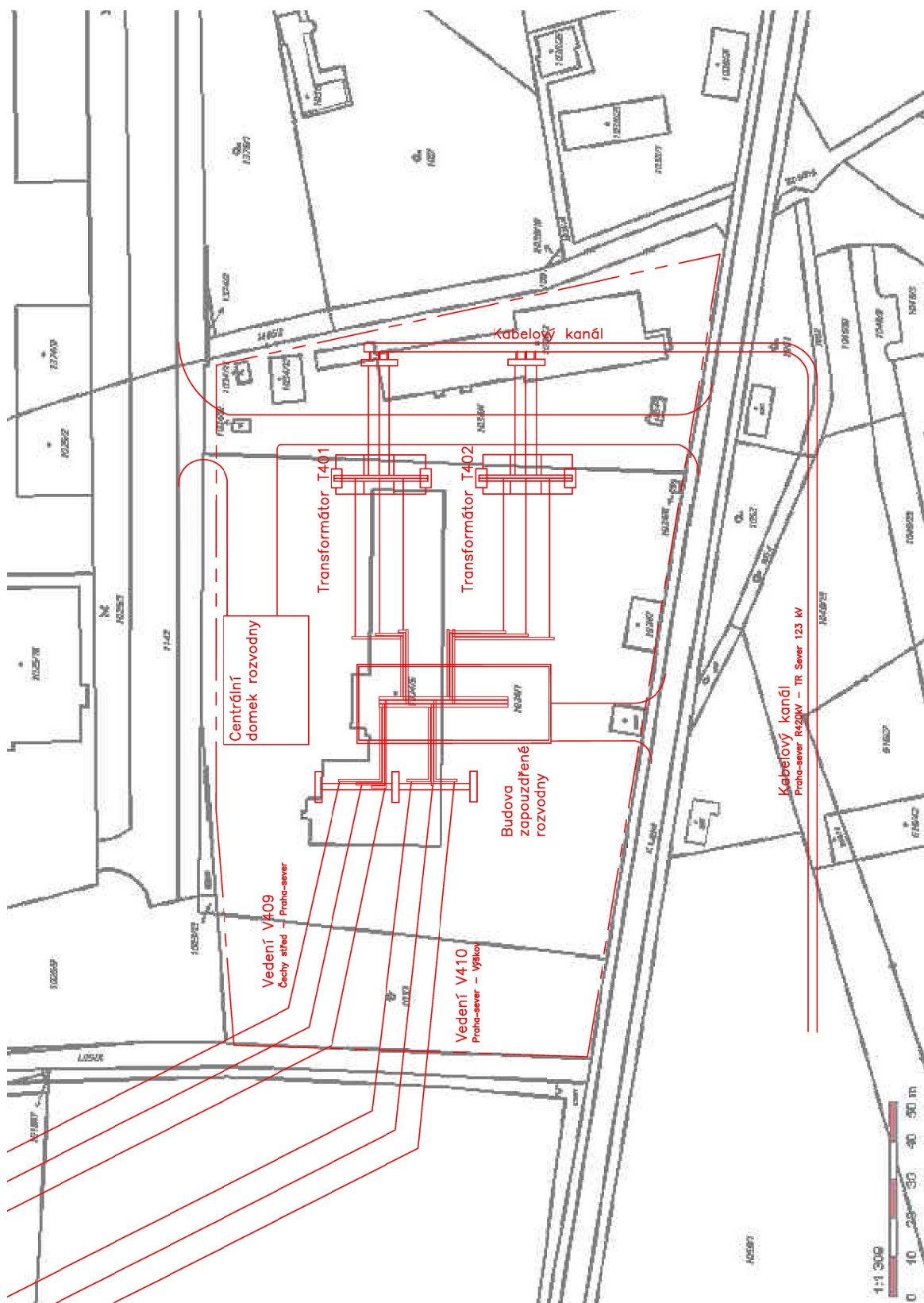
Připojení dvou kabelových vedení 110 kV z budované rozvodny 420 kV bude možné provést do rezervních polí. Stávající rozvodna 123 kV má systém tří přípojnic v jedné řadě. V rozvodně je celkem šestnáct polí vývodu, jedno pole podélného dělení, dvě pole příčného spínače přípojnic, dvě pole měření a tři pole částečně vybavené rezervy.

Budova pro technologii zapouzdřené rozvodny musí prostorově počítat i s rezervou pro budoucí možné vybudování dalšího vývodu pro třetí transformátor 400/110 kV, který bude eventuálně vynucen rostoucí spotřebou v pražské aglomeraci.

Samotná budova by měla být železobetonové konstrukce, která má ve stěnách nutné průchody pro zapouzdřené vodiče směřující ven z budovy k průchodce. Průchody musí zajistit bezpečný tepelný a dynamický pohyb technologie zapouzdření. Uvnitř budovy bude k dispozici jeřáb

s pojezdovou dráhou, který bude využit při montáži a opravách zařízení. Kromě plošin a lávek pro obsluhu bude budova vybavena vzduchotechnikou. Jejím úkolem bude větrání, vytápění, chlazení a údržba teplotního optima pro technologii zapouzdřené rozvodny.

Na obrázku 5.10 můžeme vidět dispoziční řešení budované rozvodny Praha-sever 420 kV na vybraných pozemcích.



Obr. 5.10 Dispoziční řešení rozvodny Praha-sever 420 kV

5.2.1 Přípojnice

Tato práce se v části 4.2.1 věnuje přípojnicím elektrických stanic, které patří mezi nejdůležitější části rozvodny. Většina rozvodny je provozována se dvěma přípojnicemi a jednou pomocnou. Avšak obě provozované zapouzdřené rozvodny v české přenosové soustavě (Chotějovice a Chodov) jsou provozovány pouze se dvěma. Rozvodna Praha-sever bude také obsahovat jen dvě přípojnice.

Přípojnice v rozvodně je potřeba dimenzovat na přenášený výkon. Rozvodna bude napájet dva transformátory 400/110 kV. Jelikož v následujících letech bude podle potřeby plánován třetí transformátor, měl by se tento fakt během návrhu vzít v úvahu. Pozdější úpravy rozvodny za účelem zvýšení jmenovitých proudů za provozu by byly zbytečně neefektivní. Instalovány budou transformátory s transformačním výkonem 350 MVA. Zátěžný proud při provozu všech tří transformátorů je vypočítán při nepříznivém stavu N-1, kdy dovolený pokles napětí se může blížit až k hodnotě 380 kV.

$$I_{z,P} = 3 \cdot \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{\min}} = 3 \cdot \frac{350 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 380\,000} \text{ A} = 1\,595,31 \text{ A} \quad (5.1)$$

kde S_T je zdánlivý výkon transformátoru [VA],
 U_{\min} je minimální napětí v uzlu PS za stavu N-1 [V].

Zaústěná vedení V409 a V410 budou řešena standardními vodiči Al/St 435/55 v trojsvazku s celkovým jmenovitým proudem jedné fáze 2 280 A. [3] Jmenovitý proud přípojnic musí zajistit bezproblémový průchod tohoto proudu přes rozvodnu. Z proudové řady se tak doporučuje využít přípojnic alespoň se jmenovitým proudem 2 500 A, které budou dostatečně vyhovovat maximálním zátěžným proudům okolo 2 280 A. S ohledem na možnost dynamického zatěžování jsou zvoleny přípojnice se jmenovitým proudem 4 000 A. Dodávka zapouzdřené rozvodny v této práci předpokládá využití technologie společnosti ABB typu ELK-3 [33]. Proudů 4 000 A musí vyhovovat veškeré zařízení na přípojnicích – odpojovače, vypínače a další zařízení, která jsou umístěna na přípojnicích či na příčném spínači přípojnic (viz jednopólové schéma rozvodny na obr. 5.20 na str. 73).

5.2.2 Vypínač

Vypínače patří mezi nejdůležitější zařízení v rozvodně. Při výběru vypínače je nutné kontrolovat tyto parametry:

- jmenovité napětí: 420 kV (nejvyšší napětí sítě),
- jmenovitý proud:
 - odbočka: 3 150 A (jmenovitý proud odbočky pro rozvodnu 420 kV [18]),
 - příčný spínač přípojnic: 4 000 A,

- jmenovitá frekvence: 50 Hz,
- jmenovitý vypínací a dynamický proud: podle zkratových poměrů (viz další části 5.2.2.1 až 5.2.2.4).

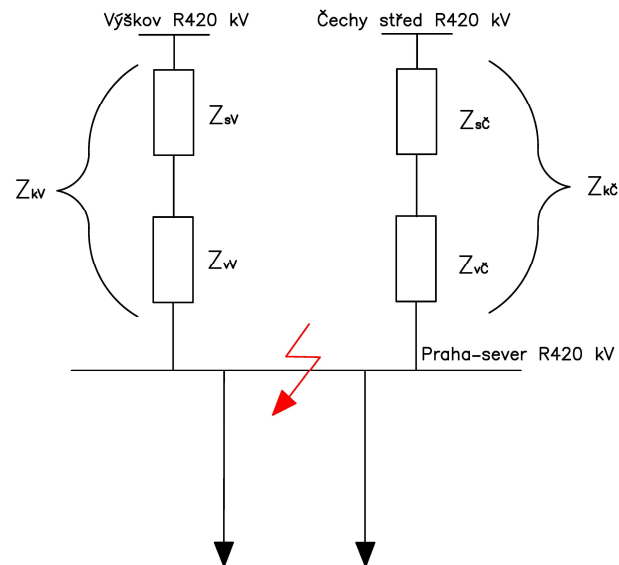
5.2.2.1 Hodnoty pro výpočet zkratových proudů

Podle Kodexu přenosové soustavy je nutné při návrhu a výpočtu zkratových proudů kontrolovat hodnoty jednofázového a třífázového zkratu.

Tab. 5.1 Použité hodnoty pro výpočet zkratových poměrů²

Hodnoty pro výpočet zkratových poměrů²		
<u>Rozvodny</u>		
Výškov	Jednofázový zkrat	Třífázový zkrat
Počáteční rázový zkratový proud $I''_{kx,V}$ (odhad k roku 2025)	54 kA [13]	51,4 kA [13]
Čechy střed	Jednofázový zkrat	Třífázový zkrat
Počáteční rázový zkratový proud $I''_{kx,Č}$ (odhad k roku 2025)	37,4 kA [13]	40,1 kA [13]
<u>Vedení</u>		
Elektrický odpor vedení trojsvazku při teplotě 20 °C, která je uvažována při maximálním zkratu $R_{l(l)}$ [21]		0,021 Ω/km [22]
Sousledná reaktance $X_{l(l)}$		0,29 Ω/km [23]
<u>Délka vedení</u>		
Praha-sever – Výškov V410 l_V		86 km [13]
Praha-sever – Čechy střed V409 $l_Č$		39 km [13]

² Zkratové příspěvky ze strany nižšího napětí nejsou uvažovány. Připojená oblast je považována za uzlovou oblast čistě spotřební (viz část 2.3).



Obr. 5.11 Náhradní schéma pro výpočet

5.2.2.2 Třífázový zkrat

Výpočet prvků ve schématu (dle normy ČSN EN 60909-0) [21]:

VYPÍNACÍ PROUD

Ekvivalentní síť

$$Z_{sV(1)} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I''_{k3,V}} = \frac{1,05 \cdot 400\,000}{\sqrt{3} \cdot 51\,400} \Omega = 4,718 \Omega \quad (5.2)$$

$$Z_{sč(1)} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot I''_{k3,č}} = \frac{1,05 \cdot 400\,000}{\sqrt{3} \cdot 40\,100} \Omega = 6,047 \Omega \quad (5.3)$$

kde c je napěťový součinitel pro napětí U_n podle normy ČSN EN 60909-0 (333022) (pro napětí nad 35 kV $c = 1,1$, avšak nesmí součin $c \cdot U_n$ překročit maximální napětí soustavy \rightarrow pro 400 kV $c = 1,05$) [-],

U_n je jmenovité napětí soustavy [V],

I''_{k3} je počáteční souměrný rázový zkratový proud při třífázovém zkratu v bodě připojení napáječe [A].

Podle [21] lze získat odpor a reaktanci ekvivalentu sítě tímto způsobem:

$$X_{sV(1)} = 0,995 \cdot Z_{sV(1)} = 4,694 \Omega \quad (5.4)$$

$$R_{sV(1)} = 0,1 \cdot X_{sV(1)} = 0,469 \Omega \quad (5.5)$$

$$X_{s\check{c}(1)} = 0,995 \cdot Z_{s\check{c}(1)} = 6,017 \Omega \quad (5.6)$$

$$R_{s\check{c}(1)} = 0,1 \cdot X_{s\check{c}(1)} = 0,602 \Omega \quad (5.7)$$

Vedení

Výpočet hodnot jednotlivých vedení:

$$R_{vV(1)} = R_{l(1)} \cdot l_V = 0,021 \cdot 86 \Omega = 1,806 \Omega \quad (5.8)$$

$$X_{vV(1)} = X_{l(1)} \cdot l_V = 0,29 \cdot 86 \Omega = 24,94 \Omega \quad (5.9)$$

$$R_{v\check{c}(1)} = R_{l(1)} \cdot l_{\check{c}} = 0,021 \cdot 39 \Omega = 0,819 \Omega \quad (5.10)$$

$$X_{v\check{c}(1)} = X_{l(1)} \cdot l_{\check{c}} = 0,29 \cdot 39 \Omega = 11,31 \Omega \quad (5.11)$$

$$Z_{kV(1)} = \sqrt{(R_{sV(1)} + R_{vV(1)})^2 + (X_{sV(1)} + X_{vV(1)})^2} = 29,721 \Omega \quad (5.12)$$

$$Z_{k\check{c}(1)} = \sqrt{(R_{s\check{c}(1)} + R_{v\check{c}(1)})^2 + (X_{s\check{c}(1)} + X_{v\check{c}(1)})^2} = 17,385 \Omega \quad (5.13)$$

Příspěvek zkratového proudu z rozvodny Výškov:

$$I''_{k3,V} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{kV(1)}} = \frac{1,05 \cdot 400\,000}{\sqrt{3} \cdot 29,721} \text{ A} = 8\,158,78 \text{ A} \quad (5.14)$$

Příspěvek zkratového proudu z rozvodny Čechy střed:

$$I''_{k3,\check{c}} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{k\check{c}(1)}} = \frac{1,05 \cdot 400\,000}{\sqrt{3} \cdot 17,385} \text{ A} = 13\,948,065 \text{ A} \quad (5.15)$$

Počáteční rázový zkratový proud v rozvodně Praha-sever:

$$I''_{k3} = I''_{k3,V} + I''_{k3,\check{c}} = 22\,106,845 \text{ A} \quad (5.16)$$

Pro vypínací proud vypínače musí platit tato nerovnost:

$$I_{n \text{ vyp}} \geq I''_k \quad (5.17)$$

kde $I_{n \text{ vyp}}$ je jmenovitý vypínací proud vypínače [A],

I''_k je počáteční souměrný rázový zkratový proud [A].

$$I_{n \text{ vyp}} \geq 22,107 \text{ kA} \quad (5.18)$$

Vypínač musí být schopný vypínat zkratové proudy přes 22,1 kA.

DYNAMICKÝ PROUD

Pro dynamický proud vypínače musí platit tato nerovnost:

$$I_{n \text{ dyn}} \geq I_{p3} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k3} \quad (5.19)$$

kde $I_{n \text{ dyn}}$ je jmenovitý dynamický proud vypínače [A],

I_p je nárazový zkratový proud [A],

κ je součinitel podle normy ČSN EN 60909-0 [-].

Nárazový zkratový proud I_p se vypočítá podle normy [21] z výše uvedeného vztahu. Pro výpočet koeficientu κ je nutné získat poměr R/X . Koeficient se pak dopočítá ze vztahu:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R}{X}} \quad (5.20)$$

Příspěvky je opět nutné počítat zvlášť.

Poměr R/X z Výškova:

$$R_{V(1)} = R_{sV(1)} + R_{vV(1)} = 2,275 \Omega \quad (5.21)$$

$$X_{V(1)} = X_{sV(1)} + X_{vV(1)} = 29,634 \Omega \quad (5.22)$$

Poměr R/X z Čechy střed:

$$R_{\check{c}(1)} = R_{s\check{c}(1)} + R_{v\check{c}(1)} = 1,421 \Omega \quad (5.23)$$

$$X_{\check{c}(1)} = X_{s\check{c}(1)} + X_{v\check{c}(1)} = 17,327 \Omega \quad (5.24)$$

$$\kappa_V = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R_{V(1)}}{X_{V(1)}}} = 1,798 \quad (5.25)$$

$$\kappa_{\check{c}} = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 \frac{R_{\check{c}(1)}}{X_{\check{c}(1)}}} = 1,786 \quad (5.26)$$

$$I_{p3,V} = \kappa_V \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k3,V} = 20\,745,787 \text{ A} \quad (5.27)$$

$$I_{p3,\check{c}} = \kappa_{\check{c}} \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k3,\check{c}} = 35\,229,819 \text{ A} \quad (5.28)$$

$$I_{p3} = I_{p3,V} + I_{p3,\check{c}} = 55\,975,606 \text{ A} \quad (5.29)$$

Na závěr se provede kontrola nerovnosti:

$$I_{n \text{ dyn}} \geq 55,976 \text{ kA} \quad (5.30)$$

Vypínač musí být dimenzován na dynamický proud přes 56 kA.

EKVIVALENTNÍ OTEPLOVACÍ PROUD

Důležitost ekvivalentního oteplovacího proudu spočívá ve schopnosti vypínače odolat tepelným účinkům zkratu pro krátkodobé proudy. Ekvivalentní oteplovací proud se definuje podle následujícího vzorce:

$$I_{ke} = \sqrt{\frac{1}{t_k} \int_0^{t_k} i_k^2(t) dt} \quad (5.31)$$

kde I_{ke} je ekvivalentní oteplovací proud [A],
 $i_k(t)$ je okamžitá hodnota zkratového proudu [A],
 t_k je doba trvání zkratu [s].

Výpočet podle normy [21] je uváděn takto:

$$I_{ke} = I''_k \sqrt{m + n} \quad (5.32)$$

kde I''_k je počáteční souměrný rázový zkratový proud [A],
 m je součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky [-],
 n je součinitel pro tepelné účinky střídavé složky [-].

Hodnoty m a n se odečítají z grafů v normě [21]. Z grafů bylo určeno pro dobu trvání zkratového proudu $t_k = 1$ s:

$$m = 0,03 \text{ a } n = 1 \quad (5.33)$$

Po dosazení získáme:

$$I_{ke3} = I''_{k3} \sqrt{m + n} = 22,436 \text{ kA} \quad (5.34)$$

Vypínač vyhoví v případě, že bude splněna tato podmínka [19]:

$$I_{1s} \geq I_{ke} \sqrt{t_k} \quad (5.35)$$

kde I_{1s} je jmenovitý krátkodobý (1 s) nadproud vypínače [A].

Pro $t_k = 1$ s:

$$I_{3,1s} \geq I_{ke3} \sqrt{t_k} = 22,436 \text{ kA} \quad (5.36)$$

5.2.2.3 Jednofázový zkrat

VYPÍNACÍ PROUD

Výpočet počátečního rázového zkratového proudu při jednofázovém zkratu je podle vzorce:

$$I''_{k1} = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}{Z_{(1)} + Z_{(2)} + Z_{(0)}} \quad (5.37)$$

Při vzdáleném zkratu je možné počítat s platností rovnosti: $Z_{(1)} = Z_{(2)}$. Hodnoty sousledné složky prvků máme vypočítány z části třífázového zkratu. Získali jsme tak hodnoty i pro zpětnou složku. Zbývá získat hodnoty netočivé složky.

Ekvivalent sítě

Pro ekvivalent sítě platí tento vzorec [23]:

$$Z_{s(0)} = c \cdot U_n^2 \cdot \left(\frac{3}{S''_{k1}} - \frac{2}{S''_{k3}} \right) \quad (5.38)$$

kde U_n je jmenovité sdružené napětí nahrazované sítě [V],

S''_{k1} je počáteční rázový zkratový výkon příspěvku soustavy při jednofázovém zkratu [VA],

S''_{k3} je počáteční rázový zkratový výkon příspěvku soustavy při třífázovém zkratu [VA].

Pro výpočet nutné získání zkratových výkonů:

při jednofázovém zkratu:

$$S''_{k1,V} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k1,V} = \sqrt{3} \cdot 400\,000 \cdot 54\,000 \text{ VA} = 37\,412,297 \text{ MVA} \quad (5.39)$$

$$S''_{k1,\check{c}} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k1,\check{c}} = \sqrt{3} \cdot 400\,000 \cdot 37\,400 \text{ VA} = 25\,911,48 \text{ MVA} \quad (5.40)$$

při třífázovém zkratu:

$$S''_{k3,V} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3,V} = \sqrt{3} \cdot 400\,000 \cdot 51\,400 \text{ VA} = 35\,610,965 \text{ MVA} \quad (5.41)$$

$$S''_{k3,\check{c}} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I''_{k3,\check{c}} = \sqrt{3} \cdot 400\,000 \cdot 40\,100 \text{ VA} = 27\,782,095 \text{ MVA} \quad (5.42)$$

Po dosazení:

$$Z_{sV(0)} = c \cdot U_n^2 \cdot \left(\frac{3}{S''_{k1,V}} - \frac{2}{S''_{k3,V}} \right) = 4,036 \, \Omega \quad (5.43)$$

$$Z_{s\check{c}(0)} = c \cdot U_n^2 \cdot \left(\frac{3}{S''_{k1,\check{c}}} - \frac{2}{S''_{k3,\check{c}}} \right) = 7,357 \, \Omega \quad (5.44)$$

Obdobně jako v prvním případě u třífázového zkratu získání rezistentní a reaktanční složky:

$$X_{sV(0)} = 0,995 \cdot Z_{sV(0)} = 4,016 \Omega \quad (5.45)$$

$$R_{sV(0)} = 0,1 \cdot X_{sV(0)} = 0,402 \Omega \quad (5.46)$$

$$X_{s\check{c}(0)} = 0,995 \cdot Z_{s\check{c}(0)} = 7,32 \Omega \quad (5.47)$$

$$R_{s\check{c}(0)} = 0,1 \cdot X_{s\check{c}(0)} = 0,732 \Omega \quad (5.48)$$

Vedení

Dále musíme získat hodnoty netočivé impedance pro vedení. Podle [23] lze vypočítat tuto hodnotu pro 400kV vedení s AlFe lany takto:

$$X_{(0)} = 2,3 \cdot X_{(1)} \quad (5.49)$$

Potom dopočítáme:

$$X_{vV(0)} = 2,3 \cdot X_{vV(1)} = 57,362 \Omega \quad (5.50)$$

$$X_{v\check{c}(0)} = 2,3 \cdot X_{v\check{c}(1)} = 26,013 \Omega \quad (5.51)$$

Odpor netočivé složky v ohmech na kilometr můžeme získat pomocí vztahu [28]:

$$R_{(0)} = \frac{R_{lv}}{n_v} + \frac{3}{4} \cdot \pi \cdot f \cdot \mu_0 \quad (5.52)$$

kde R_{lv} je elektrický odpor vodiče [Ω/km],

n_v je počet vodičů ve svazku [-],

f je frekvence sítě [Hz],

μ_0 je permeabilita vakua ($4 \cdot \pi \cdot 10^{-4}$ H/km).

Doplnění do vzorce:

$$\begin{aligned} R_{vV(0)} &= \left(\frac{3 \cdot R_{l(1)}}{n_v} + \frac{3}{4} \cdot \pi \cdot f \cdot \mu_0 \right) \cdot l_V = \left(\frac{3 \cdot 0,021}{3} + \frac{3}{4} \cdot \pi \cdot 50 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-4} \right) \cdot 86 \Omega = \\ &= 14,538 \Omega \end{aligned} \quad (5.53)$$

$$R_{v\check{c}(0)} = \left(\frac{3 \cdot 0,021}{3} + \frac{3}{4} \cdot \pi \cdot 50 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-4} \right) \cdot 39 \Omega = 6,593 \Omega \quad (5.54)$$

Výpočet pokračuje výpočtem netočivých impedancí celků:

$$Z_{kV(0)} = \sqrt{(R_{sV(0)} + R_{vV(0)})^2 + (X_{sV(0)} + X_{vV(0)})^2} = 63,17 \Omega \quad (5.55)$$

$$Z_{k\check{c}(0)} = \sqrt{(R_{s\check{c}(0)} + R_{v\check{c}(0)})^2 + (X_{s\check{c}(0)} + X_{v\check{c}(0)})^2} = 34,128 \Omega \quad (5.56)$$

Příspěvek zkratového proudu z rozvodny Výškov:

$$I''_{k1,V} = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}{2 \cdot Z_{kV(1)} + Z_{kV(0)}} = \frac{1,05 \cdot \sqrt{3} \cdot 400\,000}{2 \cdot 29,721 + 63,17} \text{ A} = 5\,933,035 \text{ A} \quad (5.57)$$

Příspěvek zkratového proudu z rozvodny Čechy střed:

$$I''_{k1,\check{c}} = \frac{c \cdot \sqrt{3} \cdot U_n}{2 \cdot Z_{k\check{c}(1)} + Z_{k\check{c}(0)}} = \frac{1,05 \cdot \sqrt{3} \cdot 400\,000}{2 \cdot 17,385 + 34,128} \text{ A} = 10\,558,526 \text{ A} \quad (5.58)$$

Počáteční rázový zkratový proud v rozvodně:

$$I''_{k1} = I''_{k1,V} + I''_{k1,\check{c}} = 16\,491,561 \text{ A} \quad (5.59)$$

Pro vypínací proud vypínače musí platit tato nerovnost:

$$I_{n \text{ vyp}} \geq I''_k \quad (5.60)$$

$$I_{n \text{ vyp}} \geq 16,492 \text{ kA} \quad (5.61)$$

DYNAMICKÝ PROUD

Pro dynamický proud vypínače musí platit opět tato nerovnost:

$$I_{n \text{ dyn}} \geq I_{p1} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k1} \quad (5.62)$$

Pro zjednodušení je dovoleno použít stejné hodnoty koeficientu κ jako u třífázového zkratu. [21]

$$\kappa_V = 1,798 \quad (5.63)$$

$$\kappa_{\check{c}} = 1,786 \quad (5.64)$$

$$I_{p1,V} = \kappa_V \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k1,V} = 15\,086,26 \text{ A} \quad (5.65)$$

$$I_{p1,\check{c}} = \kappa_{\check{c}} \cdot \sqrt{2} \cdot I''_{k1,\check{c}} = 26\,668,571 \text{ A} \quad (5.66)$$

$$I_{p1} = I_{p1,V} + I_{p1,\check{c}} = 41\,754,831 \text{ A} \quad (5.67)$$

Na závěr se provede kontrola nerovnosti pro vypínač:

$$I_{n \text{ dyn}} \geq 41,755 \text{ kA} \quad (5.68)$$

EKVIVALENTNÍ OTEPLOVACÍ PROUD

Hodnoty m a n odečtené pro získání ekvivalentního oteplovacího proudu v části 5.2.2.2 se neliší pro stejnou dobu trvání zkratového proudu $t_k = 1$ s:

$$m = 0,03 \text{ a } n = 1$$

Po dosažení získáme:

$$I_{ke1} = I''_{k1} \sqrt{m + n} = 16,737 \text{ kA} \quad (5.69)$$

Vypínač vyhoví v případě, že bude splněna tato podmínka [19]:

$$I_{1s} \geq I_{ke} \sqrt{t_k} \quad (5.70)$$

Pro $t_k = 1$ s:

$$I_{1,1s} \geq I_{ke1} \sqrt{t_k} = 16,737 \text{ kA} \quad (5.71)$$

5.2.2.4 Parametry vypínače

V Kodexu přenosové soustavy se uvádí: „Požaduje se, aby při uvedení do provozu nové rozvodny či při rekonstrukci rozvodny stávající byla rezerva cca 12 kA ekvivalentního zkratového proudu zkratové odolnosti rozvodny vůči výpočtovým hodnotám v daném místě.“ [3] V přenosové soustavě je běžné zajišťovat zkratovou odolnost rozvodny na úrovni 50/125 kA. Po přihlédnutí k údajům v kodexu doporučené hodnoty pro vypínač shrnuje tabulka číslo 5.2. Dvě hodnoty jmenovitého proudu vychází z různých umístění vypínače – v odbočce (3 150 A), nebo v příčném spínači přípojníc (4 000 A).

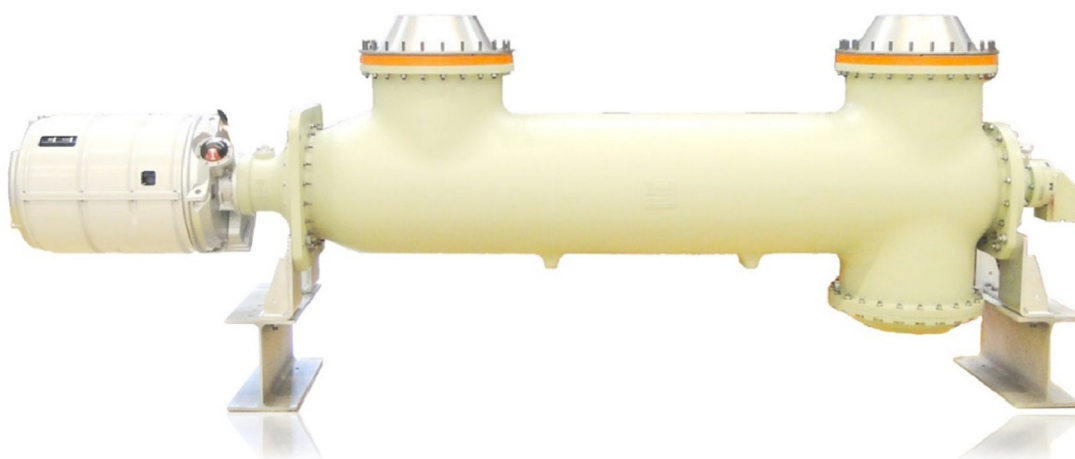
Tab. 5.2 Použité hodnoty při výběru vypínače

Parametry pro výběr vypínače		Doporučené parametry vypínače z vyráběné řady	
Jmenovité napětí [kV]	420	420	
Jmenovitý proud [A]	3 150; 4 000	3 150; 4 000	
	Jednofázový zkrat	Třífázový zkrat	
Jmenovitý vypínací proud [kA]	$\geq 16,492$	$\geq 22,107$	50
Jmenovitý dynamický proud [kA]	$\geq 41,755$	$\geq 55,976$	125
Jmenovitý krátkodobý nadproud 1 s [kA]	$\geq 16,737$	$\geq 22,436$	50

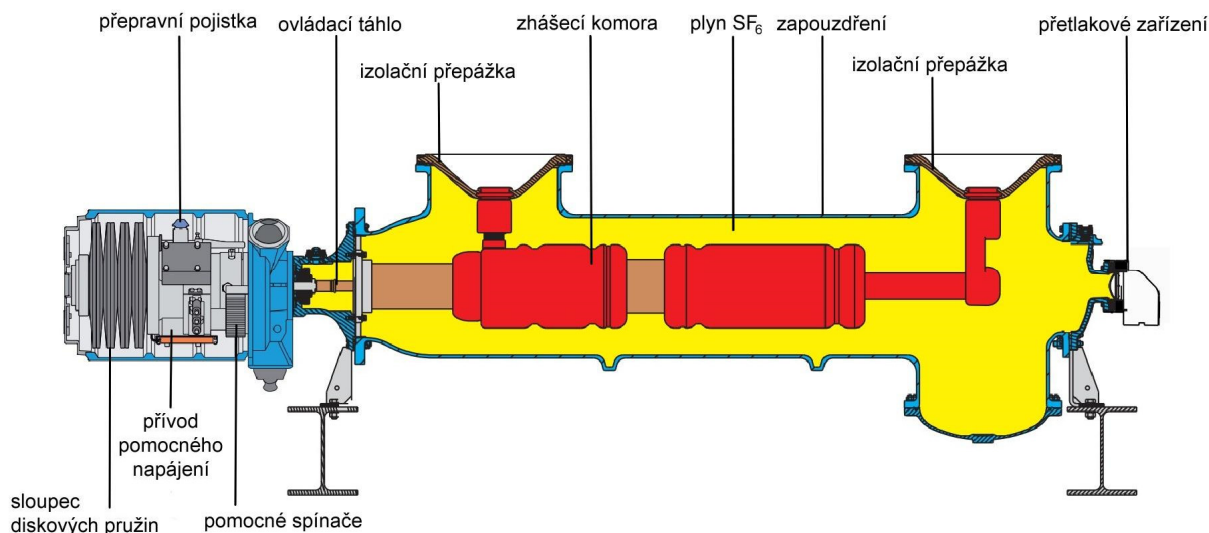
Z vypínačů nabízených pro zapouzdřené rozvodny plněné SF₆ pro napětí 400 kV můžeme vybrat od společnosti ABB typ ELK-SP3.

Tab. 5.3 Parametry vybraného vypínače ABB ELK-SP3 [30]

Hlavní parametry vypínače ABB ELK-SP3	
Jmenovité napětí [kV]	420
Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém přepětí (1,2/50 μs) [kV]	1 425
Jmenovité výdržné napětí při spínacím přepětí (250/2 500 μs) [kV]	1 050
Frekvence [Hz]	50
Jmenovitý proud [A]	4 000
Jmenovitý vypínací proud [kA]	63
Jmenovitý dynamický proud [kA]	170
Jmenovitý krátkodobý nadproud 3 s [kA]	63
Jmenovitý tlak plynu SF ₆ při 20 °C [kPa]	680
Minimální funkční tlak plynu SF ₆ při 20 °C [kPa]	600
Doba sepnutí [ms]	≤ 80
Doba vypnutí [ms]	≤ 20
Jmenovitá vypínací sekvence vypínače	O – 0,3 s – CO – 1 min – CO
	CO – 15 s – CO



Obr. 5.12 Vypínač ABB ELK-SP3 [30]



Obr. 5.13 Vnitřní stavba vypínače ABB ELK-SP3 [30]

5.2.3 Odpojovač

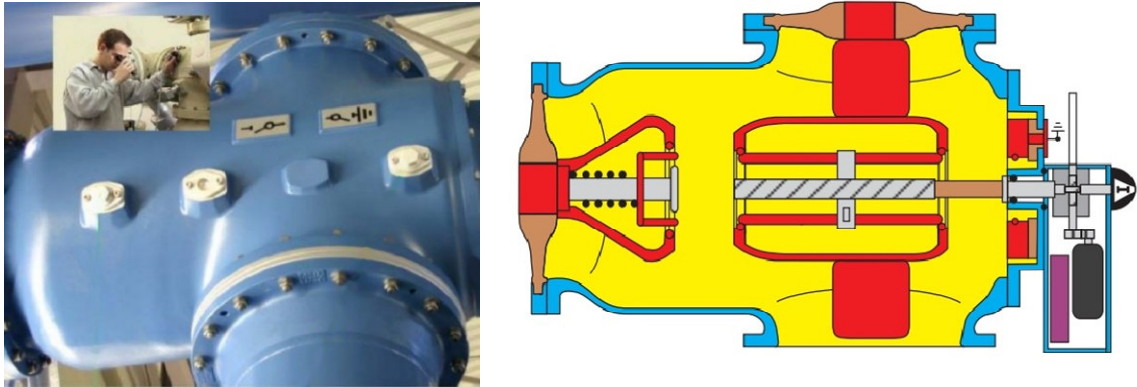
Přestože jsou odpojovače zařízení, která slouží pro spínání nebo vypínání části nezátíženého vedení, jsou dimenzovány stejně jako vypínače. Sleduje se především jmenovité napětí, jmenovitý proud a jmenovitý kmitočet. Podobně se dimenzují na zkraty prostřednictvím jmenovitého krátkodobého nadproudu a jmenovitého dynamického proudu. U odpojovače má kontrola dynamických stavů velký význam z důvodu, aby nedošlo během zkratu vlivem zkratových sil k rozpojení odpojovače. Případné rozpojení takového proudu by bezpodmínečně vedlo k poškození odpojovače.

Tab. 5.4 Doporučené parametry odpojovače

Doporučené parametry odpojovače z vyráběné řady	
Jmenovité napětí [kV]	420
Jmenovitý proud [A]	3 150; 4 000
Jmenovitý vypínací proud [kA]	50
Jmenovitý dynamický proud [kA]	125
Jmenovitý krátkodobý nadproud 1 s [kA]	50

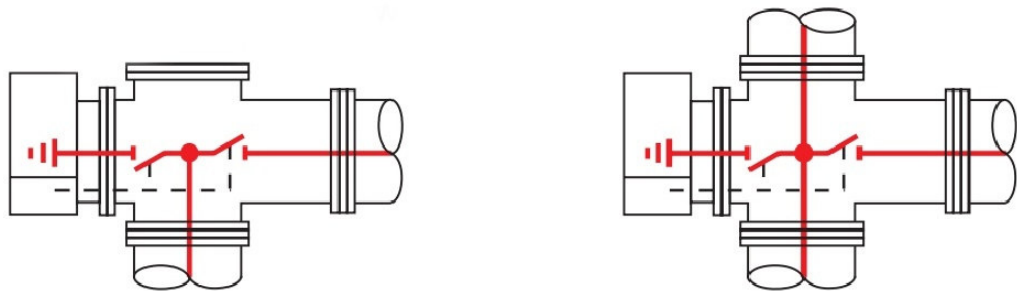
Podle výše uvedených parametrů bude vyhovovat odpojovač ELK-TK3. Ten může kombinovat přímo dvě funkce. Kromě odpojovače funguje také jako uzemňovač při údržbách. K tomu slouží jeden společný mechanismus. Výhodou tohoto řešení je nejen úspora místa pro dvě

samostatná zařízení, ale také vzájemný blokovací mechanismus. Stav kontaktů se kontroluje endoskopem pomocí připravených otvorů.



Obr. 5.14 Odpojovač ABB ELK-TK3 (vnější pohled a vnitřní stavba) [20],[33]

Příklad společného řešení odpojovače a uzemňovače můžeme vidět na obrázku 5.15.



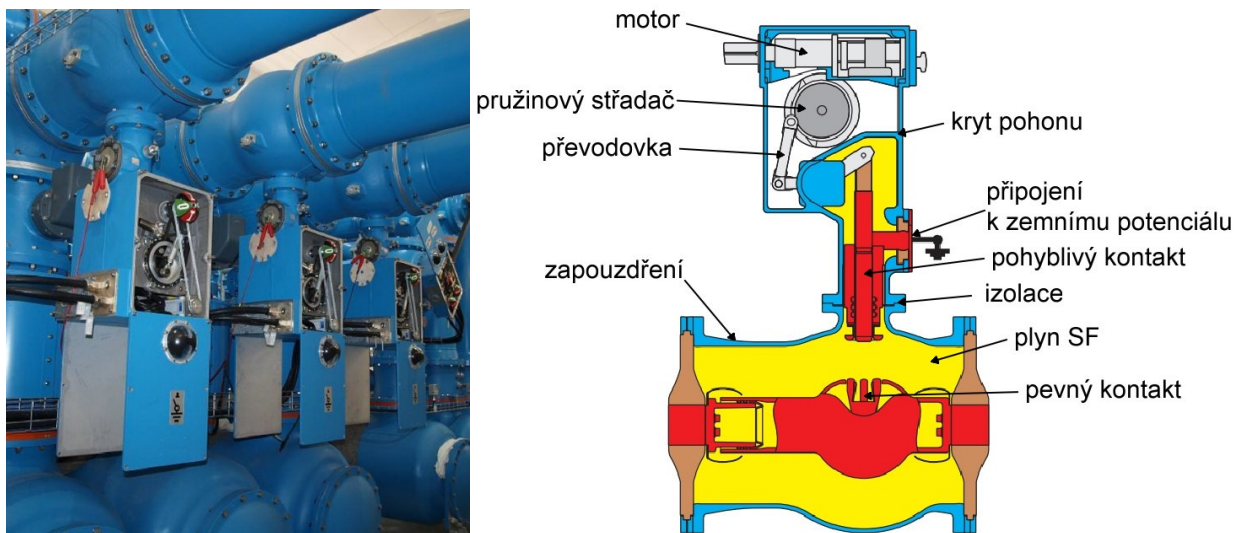
Obr. 5.15 Společné řešení odpojovače a uzemňovače [33]

5.2.4 Rychlouzemňovač

Rychlouzemňovač slouží pro zajištění bezpečnosti zaměstnanců při jeho montáži a důkladných kontrolách. Může také sloužit pro vybití náboje z vedení kapacitního charakteru, který by při manipulaci s odpojovačem i po vypnutí způsoboval destruktivní přeskoky. Rychlé uzemnění v čase do 0,5 s pak vede ke vzniku pouze krátkého oblouku a malé degradaci plynu SF₆.

Poháněcí jednotka má za úkol zejména umožnit rychlé uzemnění vedení. K tomu vypomáhá pružina, která spolu s motorem leží v části bez plynu SF₆.

Toto zařízení nese označení ELK-EB3 pro napětřovou hladinu 420 kV.

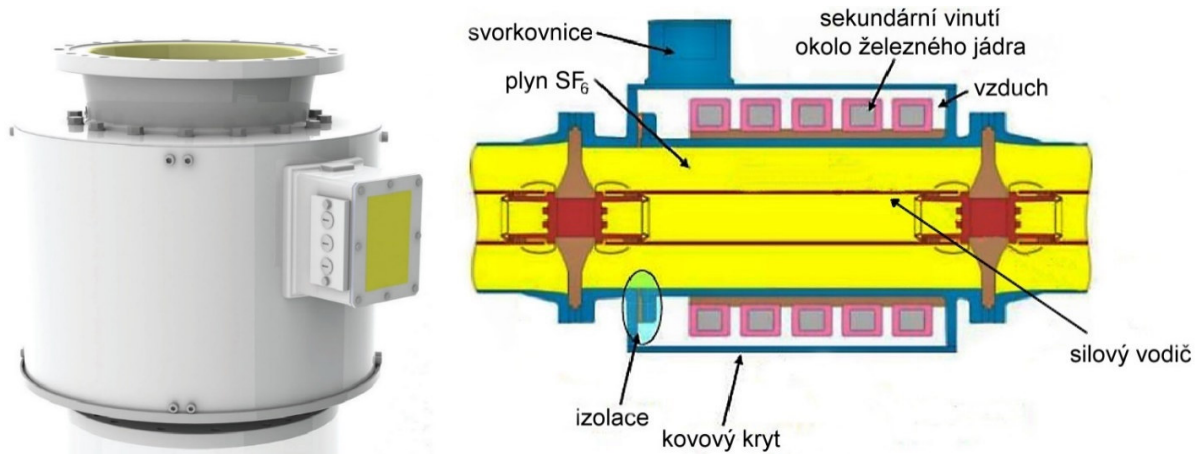


Obr. 5.16 Rychlouzemňovač ABB ELK-EB3 (vnější pohled na tři jednofázové jednotky a vnitřní stavba) [20],[33]

5.2.5 Přístrojové transformátory

Úkolem přístrojových transformátorů je převedení špatně měřitelných hodnot proudů a napětí na nižší, lépe měřitelné. Přístrojové transformátory musí nutně kromě hodnot jmenovitého napětí a proudu splňovat výkon, který jsou schopni přenášet pro měřicí a ochranné prvky. Jako většina zařízení v rozvodně musí vyhovět i zkratovým hodnotám.

Jako přístrojový transformátor proudu, který je nabízen pro zapouzdřené rozvodny, vyhovuje typ ELK-CN3 od společnosti ABB (viz obr. 5.17), jehož základní vlastnosti shrnuje tabulka 5.5.



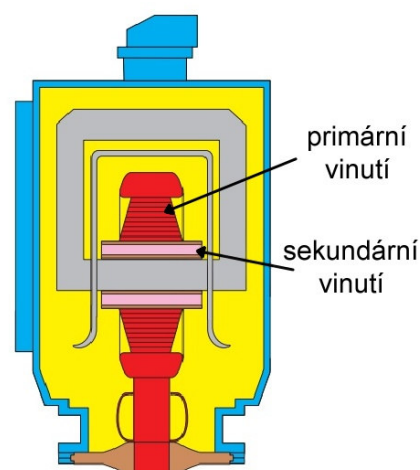
Obr. 5.17 Přístrojový transformátor proudu ABB ELK-CN3 (vnější pohled a vnitřní stavba) [32],[20]

Tab. 5.5 Parametry přístrojového transformátoru proudu ABB ELK-CN3 [32]

Hlavní parametry přístrojového transformátoru proudu ABB ELK-CN3	
Jmenovité napětí [kV]	420
Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém přepětí (1,2/50 μ s) [kV]	1 425
Jmenovité výdržné přepětí při spínacím přepětí (250/2 500 μ s) [kV]	1 050
Frekvence [Hz]	50
Jmenovitý proud na primárním vinutí [A]	4 000
Jmenovitý dynamický proud [kA]	170
Jmenovitý krátkodobý nadproud 3 s [kA]	63
Jmenovitý proud na sekundárním vinutí [A]	5
Počet sekundárních vinutí [-]	4 (maximálně 8)
Minimální funkční tlak plynu SF ₆ při 20 °C [kPa]	450

Výhoda tohoto řešení spočívá ve skutečnosti, že sekundární vinutí transformátoru leží mimo zapouzdřenou část s plynem SF₆. Sekundární vinutí tak není vůbec vystaveno vysokému napětí a nevyžaduje příliš silnou izolaci.

Vybraný typ napěťového transformátoru je od stejné společnosti ELK-PI3.



Obr. 5.18 Přístrojový transformátor napětí ABB ELK-PI3 (vnější pohled a vnitřní stavba) [33]

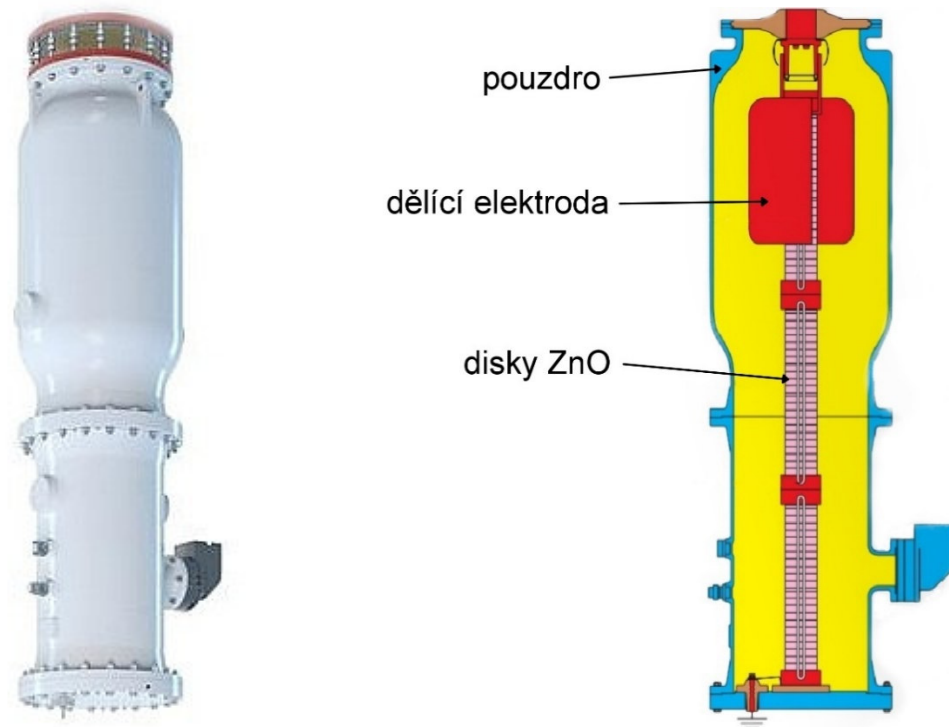
Tab. 5.6 Parametry přístrojového transformátoru napětí ABB ELK-PI3 [20], [33]

Hlavní parametry přístrojového transformátoru napětí ABB ELK-PI3	
Jmenovité napětí [kV]	420
Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém přepětí (1,2/50 μ s) [kV]	1 425
Jmenovité výdržné napětí při spínacím přepětí (250/2 500 μ s) [kV]	1 050
Frekvence [Hz]	50
Jmenovité napětí na sekundárním vinutí [V]	$100/\sqrt{3}$
Počet sekundárních vinutí [-]	3
Jmenovitý tlak plynu SF ₆ při 20 °C [kPa]	680

První sekundární vinutí transformátorů je obvykle využito právě pro měření daného elektrického parametru – proudu, respektive napětí; druhé vinutí slouží pro napájení ochran rozvodny a další vinutí bývají zapojena podle potřeby (vlastní spotřeba a podobně).

5.2.6 Svodiče přepětí

Svodiče přepětí chrání zapouzdřenou rozvodnu a přidružené zařízení proti přepětí v síti. Pro zapouzdřené rozvodny 420 kV je možné vybrat typ ELK-AZ32M. Svodič je složen ze sloupce disků. Disky jsou vyrobeny z oxidu zinečnatého (ZnO). Výhodou nelineárních odporů ZnO je především jejich téměř okamžitá reakce na přepětí v řádech desítek nanosekund. Disky jsou uloženy v atmosféře SF₆.



Obr. 5.19 Svodič přepětí ABB ELK-AZ32M (vnější pohled a vnitřní stavba) [34]

Tab. 5.7 Parametry svodiče přepětí ABB ELK-AZ32M [34], [35]

Hlavní parametry svodiče přepětí ABB ELK-AZ32M	
Jmenovité napětí [kV]	420
Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém přepětí (1,2/50 μ s) [kV]	1 425
Jmenovité výdržné napětí při spínacím přepětí (250/2 500 μ s) [kV]	1 050
Frekvence [Hz]	50
Jmenovitý vybíjecí proud [kA]	20
Rázový proud [kA]	100
Počet fází v pouzdře [-]	1
Minimální funkční tlak plynu SF ₆ při 20 °C [kPa]	450

5.2.7 Venkovní vedení k transformátorům T401 a T402

Odbočky k transformátorům T401 a T402 ve venkovní části je nutné dimenzovat zvlášť od zapouzdřené rozvodny.

Odbočka bude přenášet elektrickou energii pro jeden transformátor 350 MVA.

$$I_{z,0} = \frac{S_T}{\sqrt{3} \cdot U_{\min}} = \frac{350 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 380\,000} \text{ A} = 531,77 \text{ A} \quad (5.72)$$

Jsou vybrána lana AlFe 434-AL1/56-ST1A ve dvojsvazku. Vlastnosti vodiče vyjadřuje následující tabulka 5.8. Lana jsou vybrána tak, aby jmenovitý proud byl výrazně větší než maximální zátěžný proud v odbočce ($1\,500 \text{ A} \geq 531,77 \text{ A}$).

Tab. 5.8 Základní vlastnosti použitých AlFe lan [22]

Parametry AlFe lana 434-AL1/56-ST1A	
Průřez hliníku [mm ²]	434,29
Jmenovitý proud [A]	750
Nejvyšší dovolená provozní teplota [°C]	80
Odpor při nejvyšší provozní teplotě [Ω/km]	0,084 8
Nejvyšší doporučená teplota při zkratu [°C]	200

Umístění venkovních vodičů vyjadřuje tabulka 5.9. Hodnoty vychází z doporučených hodnot v rozvodně 400 kV podle [19] u venkovního vedení.

Tab. 5.9 Parametry umístění venkovního vedení 400 kV

Umístění venkovního vedení	
Fázová rozteč [mm]	6 500
Výška zavěšení vedení [mm]	23 000

5.2.7.1 Kontrola oteplení

Kontrola oteplení se provádí podle normy ČSN EN 60865-1, ve které se vychází ze vztahu pro hustotu jmenovitého krátkodobého proudu (vztah pro jmenovitou dobu zkratu $T_{kr} = 1$ s):

$$S_{thr} = \sqrt{\frac{\kappa_{20} \cdot c_v \cdot \rho}{\alpha_{20}} \cdot \ln \left[\frac{1 + \alpha_{20} \cdot (\theta_e - 20 \text{ °C})}{1 + \alpha_{20} \cdot (\theta_b - 20 \text{ °C})} \right]} \quad (5.73)$$

- kde S_{thr} je hustota jmenovitého krátkodobého proudu [A/m^2],
 κ_{20} je elektrická vodivost vodiče [$\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$],
 c_v je měrná tepelná kapacita vodiče [$J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$],
 ρ je hustota vodiče [$kg \cdot m^{-3}$],
 α_{20} je teplotní součinitel odporu materiálu [$°C^{-1}$],
 θ_e je nejvyšší doporučená teplota při zkratu [$°C$],
 θ_b je nejvyšší dovolená provozní teplota [$°C$].

Norma tyto materiálové konstanty přímo zadává (viz tab. 5.10).

Tab. 5.10 Materiálové konstanty pro AlFe lano [36]

Materiálové konstanty pro AlFe lano	
κ_{20} [$\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$]	$34,8 \cdot 10^6$
c_v [$J \cdot kg^{-1} \cdot °C^{-1}$]	910
ρ [$kg \cdot m^{-3}$]	2 700
α_{20} [$°C^{-1}$]	0,004

Výpočet hustoty jmenovitého krátkodobého proudu:

$$S_{thr} = \sqrt{\frac{34,8 \cdot 10^6 \cdot 910 \cdot 2\,700}{0,004} \cdot \ln \left[\frac{1 + 0,004 \cdot (200 \text{ °C} - 20 \text{ °C})}{1 + 0,004 \cdot (80 \text{ °C} - 20 \text{ °C})} \right]} A/m^2 = 83,633 \cdot 10^6 A/m^2 = 83,633 A/mm^2 \quad (5.74)$$

Výpočet odpovídající hustoty krátkodobého zkratového proudu v odbočce podle výsledku ekvivalentního oteplovacího proudu v části 5.2.2 (nejhorší případ je třífázový zkrat):

$$S_{th} = \frac{I_{ke3}}{2 \cdot A} = \frac{22\,436}{2 \cdot 434,29} \text{ A/mm}^2 = 25,831 \text{ A/mm}^2 \quad (5.75)$$

kde A je průřez hliníku [mm²].

Během výpočtů se nepočítá v souladu s normou s průřezem ocelové duše.

Nakonec porovnání hodnot pro dobu zkratu $T_k = 1$ s:

$$S_{th} \leq S_{thr} \cdot \sqrt{\frac{T_{kr}}{T_k}} \quad (5.76)$$

$$25,831 \text{ A/mm}^2 \leq 83,633 \text{ A/mm}^2$$

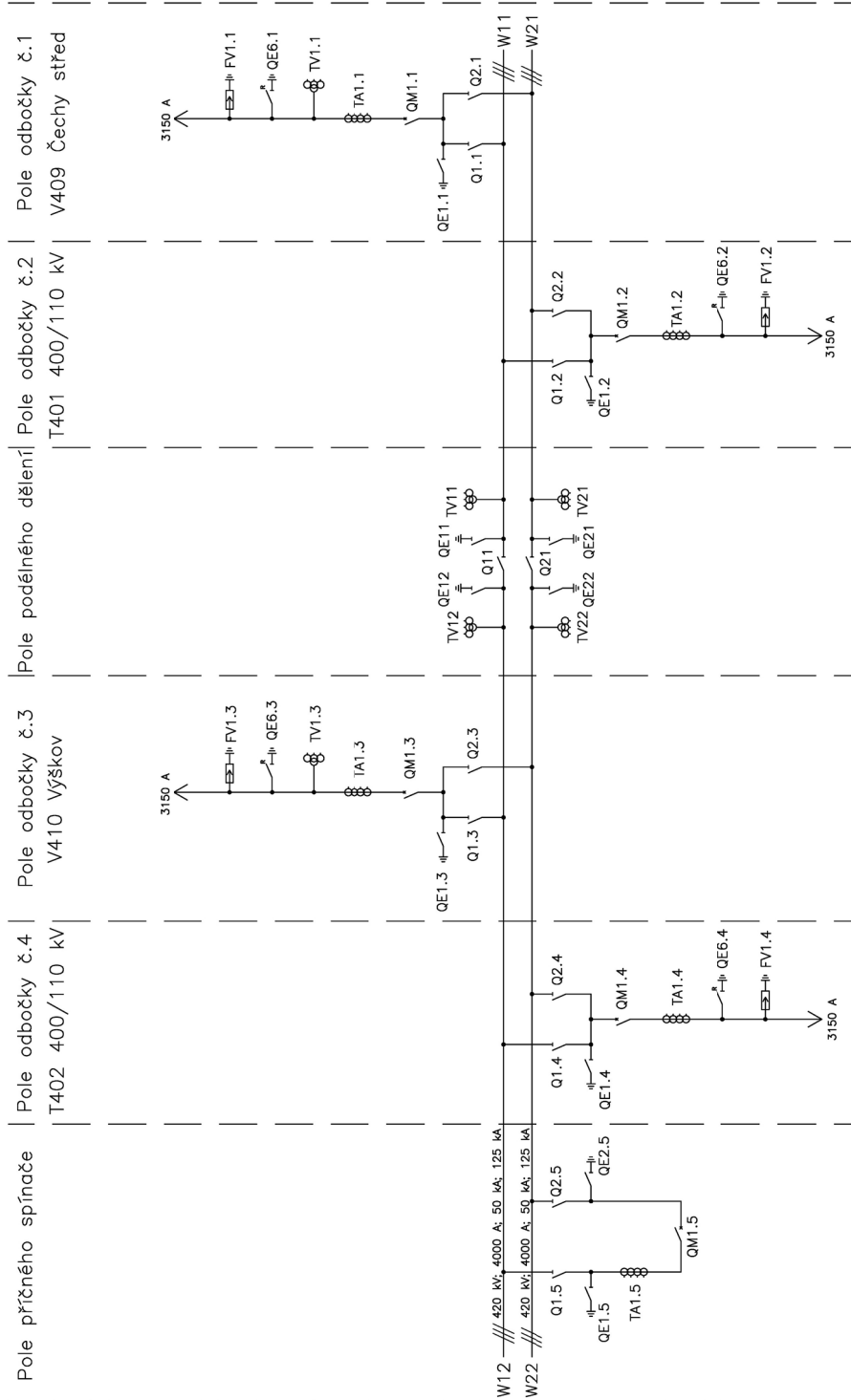
Vybraný vodič vyhovuje.

Pozn.: Při návrhu upevnění vodičů bude také nezbytné ověřit ještě odolnost vůči mechanickým účinkům zkratových proudů.

5.2.8 Zapojení rozvodny

Celkové zapojení rozvodny vyjadřuje jednopólové schéma na obrázku č. 5.20 na straně 73. Rozvodna je řešena v zapojení se dvěma přípojnici. Obsahuje šest polí a čtyři odbočky s jedním vypínačem. Přípojnice jsou rozdělené do dvou sekcí podélným dělením, které obsahuje měření napětí všech čtyř sekcí. Variabilitu provozu umožňuje příčný spínač přípojníc, který zajistí propojení obou systémů přípojníc.

rozvodna Praha-sever (jednopolové schéma)



Legenda

Značka	Označení	Popis
	QM	Vypínač ELK-SP3 počet: 5
	Q	Odpojovač ELK-TK3 počet: 12
	QE	Uzemňovač současný ELK-TK3 počet: 10
	QE6	Rychlouzemňovač ELK-EB3 počet: 4
	TA	Přístrojový transformátor proudu ELK-CN3 počet: 5
	TV	Přístrojový transformátor napětí ELK-PI3 počet: 6
	FV	Svodiče přepětí ELK-AZ32M počet: 4

Obr. 5.20 Jednopolové schéma 420kV rozvodny Praha-sever

5.2.9 Koordinace izolace

Elektrická rozvodna musí být schopna bez většího poškození vydržet nejen nejvyšší běžné napětí v síti, ale i napětí, která se mohou objevit v soustavě kvůli různým poruchovým stavům. Koordinace izolace se snaží nastavit požadavky na elektrickou pevnost zařízení tak, aby došlo k ekonomickému řešení současně s přijatelným rizikem, že výsledné napěťové namáhání (ne)způsobí poškození izolace.

Při volbě hodnot výdržných napětí je možné vycházet z hodnot uvedených v Kodexu PS [3], které vyjadřuje tabulka 5.11.

Tab. 5.11 Izolační hladiny stanice pro koordinaci izolace [3]

Izolační hladiny pro stanici 420 kV		
Druh přepětí	Jmenovité výdržné napětí [kV]	
	Povinné hodnoty	Doporučené hodnoty
Atmosférický impuls (1,2/50 μ s)	1 300	1 425
Spínací impuls (250/2 500 μ s)	950	1 050

Všechna zařízení navržená v částech 5.2.2 až 5.2.6 splňují doporučené hodnoty z Kodexu PS.

5.2.10 Ochrany rozvodny

Hlavním úkolem elektrických ochrany rozvodny je zajistit v co nejkratším čase vypnutí elektrického zařízení v případě vzniku poruchy. Náklady spojené s opravou či výměnou poškozeného zařízení dlouhotrvající poruchou jsou velmi vysoké oproti pořizovacím nákladům ochrany. Z tohoto důvodu se kladou na ochrany rozvodny odpovídající požadavky podle Kodexu přenosové soustavy [3]:

a) Vypnutí poruchy v čase do 100 ms

Rychlé odpojení zařízení s poruchou od okolí snižuje výrazně destruktivní účinky a snižuje náklady nápravy. Ekonomické ztráty totiž v důsledku souvisí s délkou trvání poruchy.

b) Selektivita ochrany

Jedná se o klíčovou funkci při působení ochrany. Ta zajistí vypnutí nejmenší možné části rozvodny s poruchou tak, aby došlo k co nejmenšímu omezení základní funkce rozvodny.

c) Záloha ochran

Tento princip zvýšené ochrany se v kodexu nazývá „místním zálohováním“. Zařízení jsou tak zálohována dvěma ochranami, které se vzájemně liší typem nebo alespoň konstrukcí. Je tak zajištěn provoz i při poruše jedné z ochran a není nutné chráněné zařízení odstavovat z provozu.

5.2.10.1 Ochrana přípojnic

Podle výše zmíněného principu „místního zálohování“ jsou nutné dva způsoby ochrany přípojnic. Oba musí působit selektivně pouze na poškozené přípojnicí.

a) Rozdílová ochrana přípojnic

Při výskytu poruchy na přípojnicí vypíná všechny vypínače připojené k dané přípojnicí. Hranicí chráněné části jsou přístrojové transformátory, do jejichž sekundárních vinutí bývá ochrana zapojena.

b) Automatika selhání vypínače

Za poruchového stavu při vypínacím povelu může dojít k poruše na vypínači. V takovém případě systém automatiky selhání vypínače zajistí vypnutí okolních vypínačů, přes které by byl dodáván zkratový výkon do poruchy.

Ochrana bude obsahovat 6 vývodových jednotek pro pole T401, T402, V409, V410, příčný spínač a podélné dělení. Centrální jednotka bude umístěna v centrálním domku.

Běžně bývá použito rozdílové ochrany přípojnic a automatiky selhání vypínače typu REB500. [3]

5.2.10.2 Ochrana vedení

Ochrana vedení opět probíhá více způsoby.

a) Distanční ochrana

Základním prvkem ochrany vedení je distanční ochrana. Princip spočívá v měření velikosti a úhlu impedance v místě měření. Kromě selektivity lze vyzdvihnout schopnost distanční ochrany zajistit vzdálené zálohování. Jejich impedanční charakteristika je rozdělena do zón poruchové impedance chráněného zařízení. Ve směru chránění jsou obvykle nastaveny tři zóny a směrem do přípojnice rozvodny pouze jedna zóna [18]. Zóny se liší svým vypínacím časem. První chrání obvykle 80 % délky vedení [18], druhá zóna tak zasahuje do sousední rozvodny a dalších vedení. Záloha se řeší instalací ochran z obou stran vedení s nutností vzájemné komunikace ochran.

b) Lokátor poruch

Součástí moderní distanční ochrany je lokátor poruch, který dokáže určit vzdálenost poruchy od rozvodny a tím urychlit její vyhledání a odstranění.

c) Zemní směrová ochrana

Tento druh ochrany měří netočivé složky napětí a proudu, které vznikají při zemních poruchách. Ze změřených hodnot dokáže ochrana zjistit směr poruchy. Tento typ ochrany bývá také přímo součástí zařízení distanční ochrany.

d) Automatika opětného zapnutí (OZ)

Tento druh ochrany při jednofázové poruše vedení rychle vypíná porušenou fázi. Fázi opět zapíná v PS standardně za čas 1,2 s, který je dostatečně dlouhý pro zhasnutí oblouku v místě poruchy.[18] Pokud porucha přetrvává, vypíná celé vedení natrvalo. Tato metoda výrazně zvyšuje provozní spolehlivost, neboť porucha bývá často pouze krátkodobým přeskokem na okolní porost.

Ochranu vedení zajišťuje druh distanční ochrany REL670, který je zálohován typem SEL421 odlišného principu měření.[3] Obě ochrany obsahují jednopólovou automatiku OZ.

5.2.10.3 Ochrana transformátorů 400/110 kV

Podobně jako další silová zařízení v rozvodně musí být transformátory na rozhraní přenosové a distribuční soustavy odpovídajícím způsobem chráněny:

a) Rozdílová ochrana

Hlavní ochranou transformátoru je rozdílová ochrana. Pracuje na principu porovnávání proudů vstupujících a vystupujících z transformátoru. Vnitřní porucha se projeví rozdílností těchto hodnot, protože poruchový rozdílový proud je odveden svodem v místě poruchy. Standardní vybavení rozdílovou ochranou tvoří typ 7UT613 [3].

b) Plynová ochrana

Plynová ochrana pracuje na principu Buchholzova relé. Bývá umístěna mezi nádobu transformátoru a zásobník oleje. Ochrana zapůsobí při rychlém pohybu oleje z nádoby do zásobníku, který byl zapříčiněn například zkratem ve vinutí. V prvním stupni pouze signalizuje poruchu, druhý stupeň transformátor vypíná.

c) Kostrová ochrana

Kostrová ochrana se někdy nazývá Chevalierova ochrana. Jejím úkolem je vypínat transformátor v případě, že dojde k průrazu až na kostru transformátoru, na které se objeví napětí. Přes průvlekový transformátor ochrany projde zemní proud, což uvede v činnost ochranu.

d) Nadproudová ochrana

Nadproudová ochrana bývá nainstalována obvykle na primárním vinutí (na straně rozvodny přenosové soustavy), v některých případech i na terciárním vinutí. Nadproudová ochrana podobně jako kostrová ochrana se volí typu 7SJ80 [3].

e) Distanční ochrana

Distanční ochrana chrání transformátor před zkratovými proudy ze strany sekundárního vinutí, kam směřují především zóny ochrany (tři zóny na stranu 110 kV, dvě zpětné zóny do transformátoru). Používá se stejný typ distanční ochrany jako u vedení REL670 [3].

5.2.10.4 Ochrana systému zapouzdření

Uvedené ochrany se běžně používají i v rozvodnách venkovního provedení. V zapouzdřené rozvodně jsou však navíc nutné ochrany tlakového systému plněného plynem SF₆. Z tohoto důvodu budou všechny prostory rozvodny plněné plynem SF₆ průběžně monitorovány. Hlavní sledovanou veličinou je tlak plynu. O tuto funkci se stará logická ochrana tlaku, tzv. LOT. Systém okamžitě signalizuje pokles tlaku a při dalším poklesu pod hodnotu 450 kPa odpojí daný oddíl a všechna pole, která poškozená část napájí. Ztráta tlaku snižuje elektrickou pevnost a hrozil by přeskok a poškození zařízení rozvodny. Dolní hranice tlaku 450 kPa platí pro celou rozvodnu kromě vypínače a napěťového transformátoru, kde podle katalogových hodnot nesmí tlak klesnout pod 600 kPa. Zařízení vypínače a napěťového transformátoru totiž i během provozu pracují při vyšším tlaku.

5.2.11 Vlastní spotřeba

Vlastní spotřeba elektrické stanice označuje soubor zdrojů, vedení a zařízení, která umožňují provoz a spolehlivé napájení hlavních rozvodných zařízení. Pod vlastní spotřebu spadá široké množství zařízení s různou funkcí a důležitostí. Vlastní spotřeba zajišťuje napájení pro ovládání a řízení jednotlivých rozvodných zařízení, elektrických ochran, provozních osvětlení, větrání, klimatizací, včetně rozvodů stejnosměrného napětí.

Elektrická stanice musí být i při poruchách v soustavě stále dostatečně napájena ze zdrojů vlastní spotřeby, aby nedošlo k neovladatelnosti stanice či jinému selhání její základní funkce. Z tohoto důvodu bývá vlastní spotřeba zajištěna dvěma nezávislými zdroji, které jsou tvořeny dvěma transformátory zapojenými do terciárního vinutí transformátorů T401 (hlavní zdroj) a T402 (záložní zdroj). Jedná se o třífázové transformátory s převodem 10,5/0,4 kV. Také se nabízí možnost využít jako dalšího záložního zdroje napájení 400 V ze sousední rozvodny TR Sever 123 kV po dohodě s jejím provozovatelem společností PREdistribuce, a.s.

Jelikož zařízení připojená ke zdrojům vlastní spotřeby mají různou důležitost, jsou napájení jednotlivých skupin přístrojů odstupňovaná podle jejich zajištění.

5.2.11.1 Sít' I. kategorie (bezvýpadková)

Jedná se o střídavou síť s bezvýpadkovou charakteristikou. Je obvykle napájena ze společného zdroje s II. kategorií. Bezvýpadkovou funkci pak zajistí v případě poruchy střídavé zdroje napájení UPS (zdroj nepřerušovaného napájení, z angl. slov „uninterruptible power source“). Tento nejvíce jištěný střídavý okruh napájení slouží pro nejdůležitější části rozvodny: řídicí systém rozvodny, telekomunikaci a obchodní měření.

5.2.11.2 Sít' II. kategorie (zajištěná)

Ve střídavé síti II. kategorie může dojít ke krátkodobým výpadkům napětí. Je napájena z nezajištěné napájecí sítě. V případě poruchy bude napětí v rozvodech zajištěno dieselgenerátorem. Napájí další důležitá zařízení, kterými jsou pohony odpojovačů a vypínačů, chlazení zařízení či nouzové osvětlení. Kromě toho napájí UPS I. kategorie a přes usměrňovače i stejnosměrné obvody v rozvodně.

5.2.11.3 Sít' III. kategorie (nezajištěná)

V síti III. kategorie jsou zapojena zařízení, která mohou být z hlediska nejdůležitější funkce elektrické stanice bez napětí i několik hodin. Napájecí okruhy jsou připojeny k transformátorům vlastní spotřeby s možností automatického přepnutí mezi hlavním a záložním zdrojem. Spotřebiče na síti III. kategorie jsou běžná osvětlení elektrické stanice, zásuvky běžných spotřebičů apod.

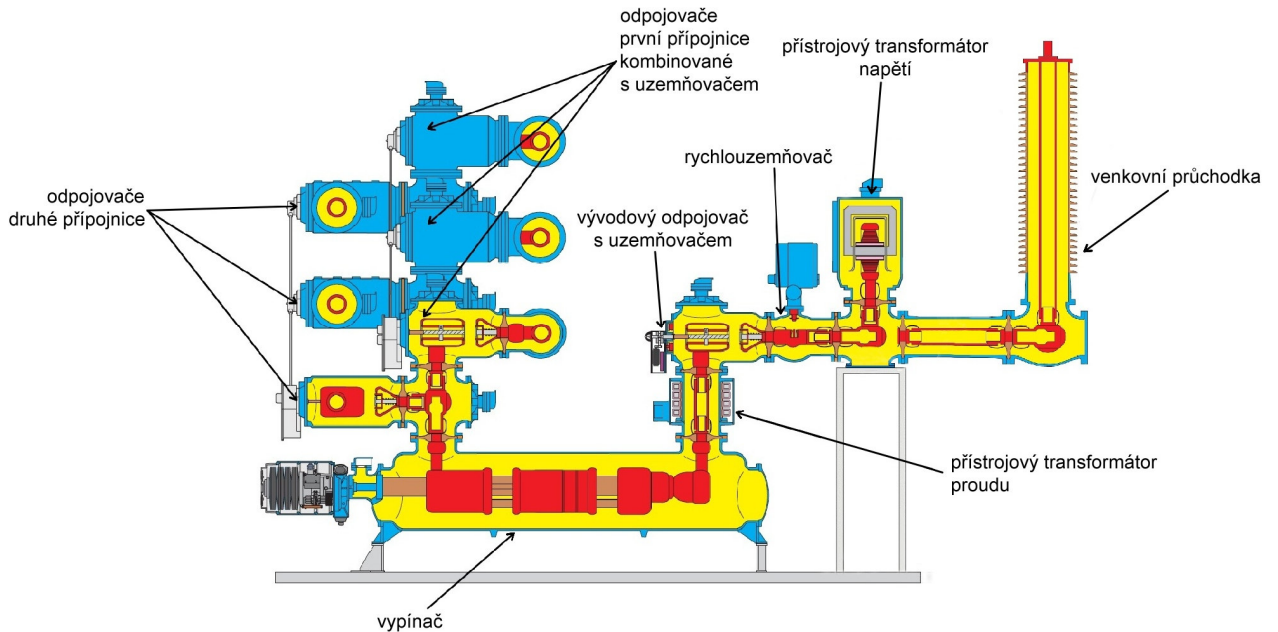
5.2.11.4 Sít' stejnosměrného napětí

Stejnoseměrná síť nesmí za žádných okolností ztratit napětí. Jmenovité napětí u velkých stanic bývá 220 V. Napájení této sítě zajišťují akumulátorové baterie. Součástí stejnosměrného rozvodu je také zařízení pro nabíjení či dobíjení baterií. K tomu se použijí polovodičové usměrňovače. Obvykle se využívá technologie olovených akumulátorů. Trvalé dobíjení u staničních Pb baterií je nutné dimenzovat na udržovací napětí 2,27 V/článek. Systém je dělen na centralizovaný pro celou rozvodnu a decentralizovaný pro jednotlivé části rozvodny. Obě stejnosměrné soustavy napájí zdvojené systémy elektrických ochranných, ovládacích odpojovačů a vypínačů a části řídicího systému.

5.3 Celkové provedení zapouzdřené rozvodny

Obecné vlastnosti zapouzdřených rozvodů jsou uvedeny v kapitole 4.3.2. Z dostupných rozvodů byl vybrán typ ELK-3 nabízený společností ABB. Rozvodna byla navržena se systémem dvou přípojnic, jak vyjadřuje schéma v obrázku 5.20. V tomto provedení jsou fáze každé přípojnice

řešeny v samostatných zapouzdřeních. Rozložení jednotlivých prvků v zapouzdřené rozvodně je odlišné od venkovní rozvodny. Fáze jedné přípojnice jsou umístěny v pouzdrech nad sebou. Příklady realizace složené z prvků a částí uvedených v této práci jsou na následujících obrázcích.



Obr. 5.21 Zapouzdřená rozvodna typu ELK-3 společnosti ABB [33]



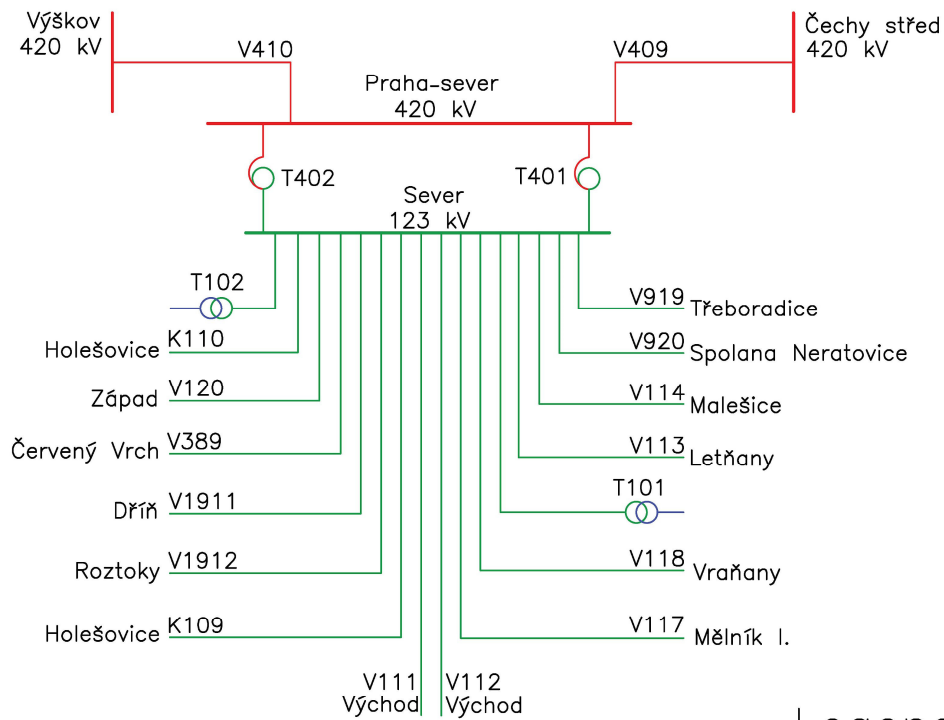
Obr. 5.22 Zapouzdřená rozvodna 420 kV Chotějovice [37]

Tabulka č. 5.12 shrnuje celkové parametry rozvodny, které vychází z dimenzování v předchozích částech kapitoly č. 5 při výběru jednotlivých prvků a katalogových hodnot typu rozvodny ELK-3.




Tab. 5.12 Hlavní elektrické parametry nové rozvodny [40]

Rozvodna 420 kV Praha-sever	
<u>Napětí</u>	
Jmenovité napětí [kV]	420
Jmenovité výdržné napětí po dobu 1 minuty [kV]	650
Jmenovité výdržné napětí po dobu 1 minuty mezi rozpojenými kontakty [kV]	815
Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulsu (1,2/50 μ s) [kV]	1 425
Jmenovité výdržné napětí při spínacím impulsu (250/2 500 μ s) [kV]	1 050
Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulsu (1,2/50 μ s) mezi rozpojenými kontakty [kV]	1 665
Jmenovité výdržné napětí při spínacím impulsu (250/2 500 μ s) mezi rozpojenými kontakty [kV]	1 245
<u>Proudy</u>	
Jmenovitý proud přípojníc a příčného spínače [A]	4 000
Jmenovitý proud odboček [A]	3 150
<u>Zkratová odolnost</u>	
Jmenovitý vypínací proud [kA]	50
Jmenovitý dynamický proud [kA]	125
Jmenovitý krátkodobý nadproud 1 s [kA]	50
Jmenovitá vypínací sekvence vypínače	O – 0,3 s – CO – 1 min – CO
	CO – 15 s – CO
<u>Vlastní spotřeba</u>	
Jmenovité napětí I. kategorie (bezvýpadková síť) [V _{AC}]	400/230
Jmenovité napětí II. kategorie (zajištěná síť) [V _{AC}]	400/230
Jmenovité napětí III. kategorie (nezajištěná síť) [V _{AC}]	400/230
Jmenovité napětí stejnosměrné sítě [V _{DC}]	220

Konečný stav zapojení přenosové a distribuční soustavy na severu Prahy vyjadřuje obrázek č. 5.23, který obsahuje také směrování jednotlivých vývodů rozvodn.



Legenda

	napěťová hladina 400 kV
	napěťová hladina 110 kV
	napěťová hladina 22 kV

Obr. 5.23 Schéma zapojení napájecího bodu Praha-sever s navazujícími rozvodnami

6. Ekonomické zhodnocení

Důležitou součástí každého projektu v elektroenergetice je jeho ekonomické zhodnocení. Investorem realizace 420kV rozvodny bude společnost ČEPS, a.s. Investiční náklady neobsahují pouze nutné výdaje za elektroenergetickou část v podobě zapouzdřené rozvodny a přidružených zařízení, ale také za výkup pozemků ve vybrané lokalitě a jejich stavební úpravy.

6.1 Investiční náklady

Určení investičních nákladů zahrnuje několik bodů. Prvním důležitým krokem je výkup pozemků podle dříve uvedených požadavků (viz obrázek 5.6 v kapitole 5.1). Celková výměra vybraných parcel činí 21 978 m². Náklady na výkup pozemků vycházely z webové služby hlavního města Prahy „Cenová mapa stavebních pozemků hl. m. Prahy“ [41].

Parcely spadají do dvou cenových kategorií v Kč/m² (2 690,- Kč/m² a 1 500,- Kč/m²) v katastrální části Čimice. Celkové náklady na výkup byly tak započítány celkovou částkou 36 350 170,- Kč (viz tabulka 6.1).

Tab. 6.1 Náklady na výkup pozemků

Náklady na výkup pozemků			
Číslo parcely [-]	Výměra [m ²]	Cena [Kč/m ²]	Výkupní cena [Kč]
1033	2 843	2 690	7 647 670
1034/1	11 574	1 500	17 361 000
1034/5	2 075	1 500	3 112 500
1034/6	54	1 500	81 000
1034/7	103	1 500	154 500
1034/4	4 020	1 500	6 030 000
1034/8	6	1 500	9 000
1034/12	97	1 500	145 500
1034/10	14	1 500	21 000
1034/11	17	1 500	25 500
1034/3	1 151	1 500	1 726 500
1034/9	24	1 500	36 000
CELKEM			36 350 170

Po získání potřebných pozemků se počítá s odvozem uskladněného materiálu a náhradou pro jejich majitele v celkové výši 800 000,- Kč.

Před samotnou výstavbou rozvodny bude nezbytné provést demolici stávajících budov na zmíněných pozemcích. Celková zastavěná plocha měří 3 535 m². Náklady na demolici jsou tak uvažovány za 10 000 000,- Kč.

Během kalkulace nákladů v případě zapouzdřené rozvodny 420 kV typu ELK-3 byl uvažován výběr formy dodávky na klíč. Odhad nákladů pak vycházel z podobných již uskutečněných projektů v České republice (Chotějovice [42]) a v zahraničí. Hodnota realizace včetně budovy zapouzdřené rozvodny se odhaduje na 670 milionů Kč.

Jelikož se jedná o rozvodnu s transformací 400/110 kV, je nutné do nákladů započítat systémové transformátory. V rozvodně Praha-sever budou instalovány dva o výkonu 350 MVA (viz kapitola 5.2). Za pořízení transformátorů se počítá s výdaji okolo 280 milionů Kč.

V nově vybudovaném areálu 420kV rozvodny budou nutné ještě další stavební úpravy (výstavba komunikací, centrální domek rozvodny, připojení na inženýrské sítě, výkopové práce pro kabelový kanál, uzemňovací soustava a další). Tyto akce jsou započítány částkou 20 milionů Kč.

V neposlední řadě pak zbývá zajistit připojení nové rozvodny k přenosové soustavě. Připojení zajistí zasmyčkování současného vedení V410 do rozvodny Praha-sever o délce 13 km [43], čímž dojde k rozdělení vedení na dvě části V409 a V410. V Kodexu PS se uvádí průměrné náklady na výstavbu 400kV vedení cca 30 milionů Kč/km. Náklady na vybudování smyčky do rozvodny Praha-sever budou činit okolo 390 milionů Kč.

Tab. 6.2 Výčet investičních nákladů

Investiční náklady	
Položka	Náklady [tisíce Kč]
Pozemky (21 978 m ²)	36 350
Odvoz materiálu	800
Demolice budov	10 000
Zapouzdřená rozvodna 420 kV ELK-3	670 000
Transformátory 400/110 kV (2x 350 MVA)	280 000
Stavební úpravy	20 000
Smyčka vedení V409/V410	390 000
CELKEM	1 407 150

V tabulce 6.2 jsou shrnuty zásadní uvažované nákladové položky při kompletní realizaci nového napájecího bodu Praha-sever. Celkové náklady tak činí cca 1,4 mld Kč.

6.2 Provozní náklady

Roční náklady na údržbu zařízení se stanovují jako 1 % z celkových investičních nákladů. Náklady tak tvoří každý rok 14 milionů Kč.

Dále je nutné započítat náklady na krytí ztrát v nově vybudovaných zařízeních přenosové soustavy.

Nové ztráty na vedení se objeví na vybudované smyčce vedení V409/V410 o délce 13 km. V roce 2025 se předpokládá zatížení na vedení V410 o výkonu 725 MW a na vedení V409 o výkonu 520 MW. [13] Se změnami v konfiguraci sítě a odstavováním elektráren v severních Čechách bude docházet k poklesu výkonu protékajícího rozvodnou Praha-sever ve směru V410-V409. Z tohoto důvodu se bude uvažovat pokles ztrát činného výkonu na vedení o 2,5 % za rok tak, aby přenášený výkon v roce 2040 odpovídal očekávané hodnotě.

Velikost činných ztrát lze vypočítat ze „ztrát činného výkonu na MW přenášeného přirozeného výkonu na vzdálenost 100 km“ uvedeného v Kodexu PS.[3] Zde se uvádí měrná hodnota ztrát činného výkonu 0,0076 MW/MW.

$$P_{z,V2025} = \left(725 \cdot \frac{0,0076}{100} \cdot 13 + 520 \cdot \frac{0,0076}{100} \cdot 13 \right) \text{ MW} = 1,23 \text{ MW} \quad (6.1)$$

Celkové roční ztráty jsou pak:

$$W_{z,V2025} = P_{z,V2025} \cdot 24 \cdot 365 \text{ h} = 10\,775 \text{ MWh} \quad (6.2)$$

Nezanedbatelné činné ztráty budou vznikat také v transformátorech 400/110 kV. Činné ztráty v transformátorech je možné vypočítat ze vzorce [49]:

$$P_{z,T} = \Delta P_0 + \Delta P_{kn} \cdot \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 \quad (6.3)$$

kde ΔP_0 jsou ztráty transformátoru naprázdno [W],

ΔP_{kn} jsou ztráty transformátoru nakrátko [W],

S je zatížení transformátoru [VA],

S_n je zdánlivý jmenovitý výkon transformátoru [VA].

Zatížení transformátoru bude vycházet z referenčního toku výkonu [13], kdy se bude uvažovat rovnoměrné rozložení výkonu na oba transformátory s účinností 0,9. Ve výpočtech se také uvažuje o nárůstu zatížení o 1,93 % ročně, jak je uvedeno v následující části 6.3.

Tab. 6.3 Ztráty v transformátorech 400/110 kV

Ztráty v transformátorech	
<u>Parametry transformátorů [50]</u>	
Ztráty naprázdno [kW]	93
Ztráty nakrátko [kW]	585
<u>Referenční tok (v roce 2025)</u>	
Referenční zdánlivý výkon transformátoru [MVA]	113,889
Celkové roční ztráty v transformátorech [MWh]	2714,575

Pro rok 2025 je ztrátový výkon v transformátorech dohromady:

$$P_{z,T2025} = 2 \cdot \left[\Delta P_0 + \Delta P_{kn} \cdot \left(\frac{S}{S_n} \right)^2 \right] = 2 \cdot \left[93\,000 + 585\,000 \cdot \left(\frac{113,889}{350} \right)^2 \right] \text{ W} = 309,883 \text{ kW} \quad (6.4)$$

Celkové roční ztráty jsou pak:

$$W_{z,T2025} = P_{z,T2025} \cdot 24 \cdot 365 \text{ h} = 2\,714,575 \text{ MWh} \quad (6.5)$$

Při ocenění ztrát v přenosové soustavě se vycházelo z cen pro rok 2016. Společnost ČEPS pro toto období nakupovala elektrickou energii pro krytí ztrát za 891,- Kč/MWh [51].

Shrnutí provozních nákladů vyjadřuje následující tabulka 6.4.

Tab. 6.4 Celkové provozní náklady

Provozní náklady (rok 2025)	
Položka	Náklady [tisíce Kč]
Údržba	14 000
Ztráty na smyčce vedení	9 601
Ztráty v transformátorech	2 419

6.3 Výnosy z realizace

Pro zhodnocení ekonomické výhodnosti realizace musíme určit předpokládané výnosy z provozu nové rozvodny. Návrh bude zajištěna příjmy plynoucími z regulovaných plateb provozovateli přenosové soustavy. Ceny každoročně určuje ERÚ ve svém Cenovém rozhodnutí. Do výpočtů jsou zaneseny dvě složky:

- a) Cena za rezervovanou kapacitu přenosových zařízení provozovatele přenosové soustavy
 - „Tuto cenu účtuje provozovatel přenosové soustavy zákazníkovi, provozovateli distribuční soustavy, výrobcí elektřiny druhé kategorie,...“ [44]
 - Pro rok 2016 je stanovena cena: 71 379 Kč/MW/měsíc [44]
- b) Cena za použití sítí přenosové soustavy
 - „Ke každé MWh dodané prostřednictvím zařízení provozovatele přenosové soustavy provozovateli distribuční soustavy, zákazníkovi a výrobcí elektřiny,...“ [44]
 - Pro rok 2016 je stanovena cena: 22,49 Kč/MWh [44]

Uvedené ceny jsou platné pouze k roku 2016, predikce do budoucnosti není možná. Zprovoznění rozvodny se plánuje až k roku 2025, tudíž pro výpočet se musí vycházet pouze z aktuálních hodnot. Výsledky zhodnocení je nutné brát pouze z orientačního hlediska.

Připojení R420 kV Praha-sever s transformací 400/110 kV do distribuční soustavy bylo požádáno provozovatelem distribuční soustavy [45], bude do výpočtů také zahrnut poplatek za jednorázové navýšení rezervovaného příkonu podle vyhlášky č. 16/2016 Sb. (“Vyhláška o podmínkách připojení k elektrizační soustavě”) [46], kde jsou udány měrné podíly žadatele na nákladech. V případě přenosové soustavy se jedná o 200 000 Kč/MW.

V této práci se vychází z nesjednané rezervované kapacity, která se pak podle Cenového rozhodnutí ERÚ určuje jako “cena za maximální naměřenou hodnotu čtvrt hodinového elektrického výkonu odebraného účastníkem trhu s elektřinou“ [44]. Tuto hodnotu získáme z odhadů maxima transformovaného výkonu z části 3.4. Maximální činný tok při výpočtech činil 350 MW.

Pro získání ceny za použití sítí bude využita z části 3.4 hodnota referenčního toku, která byla stanovena na 273 MW pro rok 2040. V době uvedení do provozu v roce 2025 se uvažuje s referenčním tokem 205 MW (ročně 1795,8 GWh) [13], který bude meziročně růst o 1,93 %, aby dosáhl v roce 2040 hodnoty 273 MW.

Přehled výnosů shrnuje tabulka 6.5.

Tab. 6.5 Výnosy z realizace rozvodny

Výnosy z realizace	
	Výnos [tisíce Kč]
<u>Jednorázový výnos</u>	
Navýšení rezervovaného příkonu	70 000
<u>Roční výnosy (rok 2025)</u>	
Použití sítí přenosové soustavy	40 388
Rezervovaná kapacita přenosových zařízení	299 792

6.4 Zhodnocení návratnosti

6.4.1 Peněžní tok

Ekonomickou efektivnost projektů lze řešit z mnoha pohledů. Při nejběžnějších metodách ke klíčovému vstupnímu parametru patří roční peněžní toky (anglicky „cash flow“). Peněžní tok lze získat z rovnice:

$$CF_t = P_t - V_{p,t} - D_t - V_{i,t} \quad (6.6)$$

kde CF_t je peněžní tok v daném roce [Kč],
 P_t jsou příjmy z realizace projektu [Kč],
 $V_{p,t}$ jsou roční provozní výdaje [Kč],
 D_t je daň z příjmu [Kč],
 $V_{i,t}$ jsou investiční výdaje [Kč].

Daně lze pak vypočítat tímto způsobem:

$$D_t = d_z \cdot (P_t - V_{p,t} - D_o) \quad (6.7)$$

kde d_z je sazba daně z příjmu [-],
 D_o jsou daňové odpisy [Kč].

Uvažovaná životnost zařízení byla 30 let. Zařízení rozvodny včetně transformátorů bylo zařazeno do 3. odpisové skupiny (rozepisuje se na 10 let) a vybudované vedení pak do 4. odpisové skupiny (20 let) s rovnoměrným odpisováním. Daň právnických osob činí podle zákona 19 % [47].

6.4.2 Diskontní míra

Časovou hodnotu peněz vyjadřuje veličina zvaná diskont. Ten převede budoucí finanční toky v jednotlivých letech na současnou hodnotu peněz.

Mezi nejběžnější určování hodnoty diskontu patří pomocí veličiny zkráceně označované WACC (z anglických slov: “weighted average cost of capital”). Hodnota WACC se používá při hodnocení velkých investic, které jsou mimo jiné financovány také z cizího kapitálu, a velikost WACC pak vyjadřuje průměrnou cenu, kterou stojí využití kapitálu na daný projekt. Obecný vztah pro určení parametru WACC je uveden dále [48]:

$$\text{WACC} = r_E \cdot \frac{E}{D+E} + r_D \cdot (1 - d_z) \cdot \frac{D}{D+E} \quad (6.8)$$

kde r_E jsou náklady vlastního kapitálu [-],

r_D jsou náklady cizího kapitálu [-],

E je objem vlastního kapitálu [Kč],

D je objem cizího kapitálu [Kč],

d_z je sazba daně z příjmu [-].

Diskont se při tomto postupu dává roven hodnotě WACC. V mých úvahách se vycházelo z parametru WACC určeného ERÚ pro provozovatele přenosové soustavy pro 4. regulační období, který má zajistit přiměřené výnosy pro provozovatele přenosové a distribuční soustavy. ERÚ tuto hodnotu stanovil rovnu 6,44 %. [48]

Ve výpočtech se tak počítalo s diskontní mírou 6,44 %, která měla zohlednit i vliv inflace, která činila v březnu 2016 meziročně 0,4 %. Výpočty však popisují časové období s velkým předstihem, což je nutné mít stále na paměti.

Výkaz byl počítán na dobu 30 let, přičemž nultý rok provozu (rok 2024) byl investičním rokem.

Následuje vyjádření významných roků z výkazu na obrázku 6.1 na straně 89: prvních 7 let a poslední dva roky. Kompletní přehled všech 30 let životnosti je v elektronické podobě přiložen na CD.

Rok provozu	0	1	2	3	4	5	6	7	29	30
Rok	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2053	2054
Energie a výkony										
Činný transformační výkon [MW]	0	205	209	213	217	221	226	230	350	357
Transformovaná energie [MWh]	0	1 795 800	1 830 459	1 865 787	1 901 796	1 938 501	1 975 914	2 014 049	3 067 006	3 126 199
Ztráty v transformátorech [MWh]	0	2 715	2 757	2 801	2 846	2 894	2 943	2 994	4 795	4 918
Ztráty na smyčce vedení V409/V410 [MWh]	0	10 775	10 506	10 243	9 987	9 738	9 494	9 257	5 303	5 171
Příjmy										
Navýšení rezervovaného výkonu [tisíce Kč]	0	70 000	0	0	0	0	0	0	0	0
Použití sítě [tisíce Kč]	0	40 388	41 167	41 962	42 771	43 597	44 438	45 296	68 977	70 308
Rezervovaná kapacita [tisíce Kč]	0	299 792	299 792	299 792	299 792	299 792	299 792	299 792	299 792	299 792
Σ	0	410 180	340 959	341 754	342 563	343 389	344 230	345 088	368 769	370 100
Investice										
Investiční náklady [tisíce Kč]	1 407 150	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Σ	1 407 150	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Výdaje										
Údržba [tisíce Kč]	0	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000	14 000
Krycí ztrát v transformátorech [tisíce Kč]	0	2 419	2 456	2 496	2 536	2 578	2 622	2 668	4 272	4 382
Krycí ztrát ve vedení [tisíce Kč]	0	9 601	9 361	9 127	8 899	8 676	8 459	8 248	4 725	4 607
Σ	0	26 020	25 817	25 623	25 435	25 254	25 081	24 916	22 997	22 989
Odpisy										
Odpisy rozvodny a transformátorů [tisíce Kč]	0	52 250	99 750	99 750	99 750	99 750	99 750	99 750	0	0
Odpisy vedení [tisíce Kč]	0	8 385	20 085	20 085	20 085	20 085	20 085	20 085	0	0
Σ	0	60 635	119 835	119 835	119 835	119 835	119 835	119 835	0	0
Hospodářský výsledek před zdaněním [tisíce Kč]	0	323 525	195 307	196 296	197 293	198 300	199 314	200 337	345 772	347 111
Dah z příjmu [tisíce Kč]	0	61 470	37 108	37 296	37 486	37 677	37 870	38 064	65 697	65 951
Hospodářský výsledek po zdanění [tisíce Kč]	0	262 055	158 199	159 000	159 807	160 623	161 444	162 273	280 075	281 160
CF [tisíce Kč]	-1 407 150	322 690	278 034	278 835	279 642	280 458	281 279	282 108	280 075	281 160
Kumulovaný CF [tisíce Kč]	-1 407 150	-1 084 460	-806 426	-527 591	-247 949	32 509	313 788	595 896	6 636 441	6 917 601
Diskont [-]	0,0644	0,0644	0,0644	0,0644	0,0644	0,0644	0,0644	0,0644	0	0
Diskontovaný CF [tisíce Kč]	-1 407 150	303 166	245 407	231 224	217 863	205 279	193 423	182 256	45 839	43 232
Kumulovaný diskontovaný CF [tisíce Kč]	-1 407 150	-1 103 984	-858 576	-627 353	-409 490	-204 211	-10 788	171 468	2 228 451	2 271 684

Obr. 6.1 Přehled o peněžních tocích

Zhodnocení bylo provedeno pomocí tří základních ukazatelů: prostá doba návratnosti, diskontovaná doba návratnosti a čistá současná hodnota.

6.4.3 Prostá doba návratnosti

Prostá doba návratnosti je nejjednodušší, ale zároveň nejméně přesný ukazatel. Nezohledňuje náklady ušlé příležitosti a zanedbává efekty po době návratnosti. Základní vzorec pro výpočet je následující:

$$T_s = \frac{IN}{CF} \quad (6.9)$$

kde IN jsou investiční náklady [Kč],
 CF je roční peněžní tok [Kč].

Nevýhodou výpočtu tímto vzorcem je nutnost vycházet z konstantního ročního peněžního toku (CF). V opačném případě můžeme získat prostou dobu návratnosti v roce, ve kterém dochází ke splacení vložené investice. To se projeví přechodem kumulovaného CF do kladných hodnot. V případě hodnoceného projektu se jedná o 5. rok provozu.

6.4.4 Diskontovaná doba návratnosti

Diskontovaná doba návratnosti vychází ze základní podoby prosté doby, ale zakládá se na diskontovaném peněžním toku. Diskontovanou dobu návratnosti T_{sd} lze spočítat ze vztahu:

$$\sum_{t=1}^{T_{sd}} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN = 0 \quad (6.10)$$

kde CF_t je peněžní tok v daném roce [Kč],
 t je pořadí daného roku [-],
 r je diskont [-].

V mém případě vychází hledaná doba diskontované návratnosti do 7. roku. Při pohledu do výkazu tato hodnota správně odpovídá období, kdy dochází k přechodu diskontovaného kumulovaného CF do kladných čísel.

6.4.5 Čistá současná hodnota

Čistá současná hodnota (zkráceně označovaná NPV, z anglických slov: “net present value”) se považuje za jedno z nejvhodnějších kritérií při ekonomickém hodnocení. Během posouzení musíme převést cenu peněz v čase na sčitatelnou hodnotu, což nejlépe provádí právě NPV. Definiční vzorec čisté současné hodnoty je následující:

$$NPV = \sum_{t=1}^{T_z} \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN \quad (6.11)$$

kde T_z je předpokládaná doba životnosti [roky].

Mezi výhody tohoto parametru patří zahrnutí celé doby životnosti při hodnocení včetně započítání diskontovaných peněžních toků.

Při hodnocení realizace rozvodny Praha-sever toto kritérium vyšlo 2 271 683 620,- Kč s počítanou životností 30 let a diskontem 6,44 %. Hodnota získaného NPV se ve výkazu objevuje v posledním roce životnosti v řádku Kumulovaný diskontovaný CF.

Projekty s kladnou hodnotou NPV lze doporučit k realizaci.

6.5 Časová náročnost

Realizovat projekty v elektroenergetice je značně časově náročná činnost. Důvodů existuje několik. Vychází jednak z technického charakteru zařízení, jednak ze značně vysokých investičních nákladů. Avšak většina doby realizace není zatížena samotnou výstavbou a technickým provedením, ale především procesem přípravy a zpracováním dokumentací pro územní řízení, včetně studií vlivu na životní prostředí, a dohodami s vlastníky dotčených nemovitostí.

Následující tabulka 6.6 pak obsahuje odhady dob potřebných pro jednotlivé fáze realizace. Hodnoty vychází ze zkušeností provozovatele přenosové soustavy uvedených v Kodexu PS s přihlédnutím k typu navržené rozvodny v této práci.

Tab. 6.6 Odhad časového harmonogramu realizace

Realizace rozvodny Praha-sever	
Fáze projektu	Odhad časové náročnosti [měsíce]
Územně-technická studie a studie proveditelnosti	12-18
Studie vlivu na životní prostředí	9-10
Umístění rozvodny do katastrálních map	6
Dohoda s vlastníky a výkup pozemků	3
Zpracování projektu	6
Výběrové řízení na dodavatele	6-12
Realizace rozvodny	18-24
Celkem	60-79
	5-6,5 roku

Časová náročnost realizace rozvodny Praha-sever včetně hlavních fází příprav byla odhadnuta na dobu okolo 6 let.

7. Závěr

Tato práce se zabývá českou přenosovou soustavou, která je provozována společností ČEPS, a.s. Ta je ze 100 % vlastněná státem Česká republika. V úvodu diplomové práce jsou uvedena základní především technická fakta.

Zákon č. 458/2000 („Energetický zákon“) ukládá provozovateli kromě jiných povinností také zajistit „bezpečný, spolehlivý a efektivní provoz, obnovu a rozvoj přenosové soustavy“. Rozvoj přenosové soustavy tak patří mezi hlavní činnosti jejího provozovatele.

V další části je popsán vývoj přenosové soustavy od jejích počátků. První vedení dnešní přenosové soustavy o napětí 220 kV bylo uvedeno do provozu v roce 1951. Dalších dvacet let docházelo především k rozvoji 220kV infrastruktury. Větší rozvoj dnes převažujícího systému 400 kV přišel s výstavbou velkých elektrárenských bloků se jmenovitým výkonem ve stovkách megawattů. V 90. letech se hlavní rozvoj vedení ukončil. S převahou délky vedení o napětí 400 kV, výkonem zdrojů vyvedených do systému 400 kV a transformačního výkonu na profilu PS/DS 400/110 kV zůstává pro 220kV sítě pouze záložní funkce. Z tohoto důvodu provozovatel přenosové soustavy plánuje odstavení tohoto systému do roku 2040, podobně jako další provozovatelé v zahraničí (například slovenský provozovatel SEPS, a.s.).

Následující část se proto zaměřuje na způsob odstavení systému 220 kV. Pozornost se věnuje především oblasti středních Čech. Plán vypínání 220kV zařízení se odvíjí podle předpokládaného provozu elektráren zapojených do vedení 220 kV: Vřesová, Tisová II a Orlík. Strategie v oblasti středních Čech vychází z hromadného odstavení 220kV vedení v Čechách, kdy zůstane rozvodna 245 kV Malešice napájena pouze dvojitým vedením V205/V206 přes transformátor 400/220 kV v transformovně Čechy střed. Kombinace snížení spolehlivosti provozu a očekávání dalšího růstu spotřeby elektrické energie v pražské aglomeraci vede k nutnosti zřídit nový napájecí bod pro spádové distribuční oblasti ze systému 400 kV.

Práce se dále věnuje vlastnostem a podobám elektrických rozvodů. Jejich podoba je především vztahována k přenosové soustavě. Tyto obecné informace jsou podkladem pro hlavní část práce věnující se návrhu nové rozvodny Praha-sever.

Nový napájecí bod 400 kV bude umístěn z důvodu rovnoměrného rozložení napájení z přenosové soustavy na severu Prahy. Nejvhodnější umístění se nabízí v katastrální části Čimice, v těsné blízkosti distribuční rozvodny 123 kV Sever, z důvodu jednoduššího připojení transformace 400/110 kV. Připojení do přenosové soustavy zde nebude příliš složité. Bude zajištěno pouze 13 km dlouhou smyčkou na dnešní zdvojené vedení V410/V419.

Kvůli minimalizaci rozměrů a snahy o estetické provedení vzhledem k blízké městské zástavbě byla zvolena varianta zapouzdřené rozvodny s izolačním médiem SF₆. Transformaci mezi úrovněmi 400/110 kV zajistí dva systémové transformátory každý o výkonu 350 MVA, které budou spojeny kabelovým vedením 110 kV s distribuční rozvodnou 123 kV Sever. Návrh rozvodny počítá se dvěma

přípojnicemi o jmenovitém proudu 4 000 A. Rozvodna celkem disponuje šesti poli: pole odbočky pro venkovní vedení V409 (Čechy střed), transformátorové pole pro transformátor T401, pole podélného dělení, pole odbočky pro venkovní vedení V410 (Výškov), transformátorové pole pro transformátor T402 a pole příčného spínače. Jmenovitý proud odboček činí 3150 A. Práce uvádí i možné vybavení rozvodny prvky zapouzdržené rozvodny typu ELK-3 od společnosti ABB pro jmenovité napětí 420 kV. Jmenovité výdržné napětí odpovídá standardním hodnotám v přenosové soustavě 1 425 kV/1 050 kV (atmosférický impuls/spínací impuls). Zkratová odolnost rozvodny byla dimenzována na 50 kA pro krátkodobý nadproud (1 s) a 125 kA pro dynamický proud.

Na závěr práce je čtenář seznámen s ekonomickou stránkou projektu. Celkové náklady realizace byly vyčísleny na 1,4 miliardy Kč včetně nákladů na výstavbu smyčky vedení V409/V410. Odhad provozních nákladů vychází z nákladů na údržbu zařízení a nákupu elektrické energie na krytí ztrát v transformátorech a vedeních. Přínos rozvodny byl oceněn výnosy z regulovaných plateb pro provozovatele přenosové soustavy (za rezervovanou kapacitu přenosových zařízení a za použití sítí přenosové soustavy). Výpočet zohledňoval očekávané časové změny výkonového zatížení rozvodny. Z těchto hodnot vycházelo zhodnocení pomocí ekonomických nástrojů. Orientační parametr, prostá doba návratnosti, vychází na necelých 5 let. Větší vypovídající hodnotu má diskontovaná doba návratnosti (7. rok) a čistá současná hodnota (2,27 miliardy Kč). Realizace rozvodny má tak nejen technický, ale též ekonomický smysl. Její výstavbu lze tak jedinečně doporučit.

8. Použitá literatura

- [1] ČEPS, a.s. - Údaje o PS. ČEPS [online]. 2016 [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <https://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Technicka-infrastruktura/Stranky/Udaje-o-PS.aspx>
- [2] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů. In: 2000. číslo 458.
- [3] ČEPS, a.s. - Kodex PS. ČEPS [online]. 2015 [cit. 2015-12-22]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/CZE/Data/Legislativa/Kodex/Stranky/default.aspx>
- [4] *Energetický regulační věstník* [online]. Jihlava: Energetický regulační úřad, 2014, 14(5/2014) [cit. 2015-12-22]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/download.py?file=docu/predpisy/download/CR2-2014.pdf>
- [5] Měsíční zpráva o provozu ES ČR. Listopad 2015. Praha: ERÚ, 2016. Dostupné také z: http://www.eru.cz/documents/10540/1225302/Mesicni_zprava_2015_11.pdf
- [6] Schéma sítí ES ČR PS 400, 220 kV, DS 110 kV, OTE, a.s., 2015
- [7] Schéma distribučních a přenosových sítí ČR 110-400 kV, ČEPS, 2012-2015
- [8] Postupný vývoj přenosové soustavy. ČEPS [online]. 2014 [cit. 2015-12-22]. Dostupné z: <http://www.ceps.cz/Stranky/vyvojps.aspx>
- [9] TOMAN, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jaroslava ORSÁGOVÁ, Martin PAAR a David TOPOLÁNEK A KOL. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [10] V410/V419: vedení 400 kV Výškov – Čechy Střed Zdvojení stávajícího vedení. Praha: ČEPS, a.s., 2014. Dostupné také z: https://www.ceps.cz/CepsMapaSiti/vedeni/v_vyskov-cechystred.pdf
- [11] Elektrické sítě - OTE, a.s. Ote-cr.cz: Elektrické sítě [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz/statistika/dlouhodobavaharovnovaha/elektricke-site/elektricke-site>
- [12] TLUSTÝ, Josef, Jan ŠVEC, Petr BANNERT, Zbyněk BRETTSCHEIDER, Zbyněk KOCUR, Petr MAREČEK, Zdeněk MÜLLER a Tomáš SÝKORA. *Návrh a rozvoj elektroenergetických sítí*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04939-6.
- [13] Podnikové materiály ČEPS, a.s., Praha
- [14] Česká přenosová a distribuční soustava. Oenergetice.cz: Rozvodny přenosové soustavy [online]. 2015 [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/ceska-prenosova-a-distribucni-soustava-2-dil-rozvodny-prenosove-soustavy/>

- [15] Polohopisné schéma vedení 110 kV na území PREdistribuce, a.s. PREdistribuce, a.s. Dostupné také z: https://www.predistribuce.cz/cs/distribucni-sit/technicke-informace/polohopisne-schema-vedeni-110-kv/Contents/2/schema_detail.png
- [16] Mapy.cz [online]. Seznam.cz, a.s. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: www.mapy.cz
- [17] Státní správa zeměměřičtví a katastru. Cuzk.cz [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.cuzk.cz>
- [18] HONIŠ, René, Milan KONEČNÝ, Martin GALETKA a Ivo ULLMAN. Přenosová soustava České republiky. Ostrava: Moravskoslezský energetický klastr, 2013. ISBN 978-80-905392-3-5.
- [19] FENCL, František. Elektrický rozvod a rozvodná zařízení. Vyd. 4. Praha: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04351-6.
- [20] ŠKRÉTA, Václav. Zapouzdřené rozvodny: sborník přednášek [online]. Letní škola ČEPS. Praha: ČEPS, a.s., 2015 [cit. 2016-03-17].
- [21] ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách - Část 0: Výpočet proudů. 2002.
- [22] MERTLOVÁ, Jiřina a Lucie NOHÁČOVÁ. Elektrické stanice a vedení. 1. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická, 2008. ISBN 978-80-7043-724-7.
- [23] ČSN 33 3020 (333020). Elektrotechnické předpisy. Výpočet poměru při zkratech v trojfázové elektrizační soustavě. 1992.
- [24] MEŠTER, Marián. Výpočet skratových prúdov: v trojfázových striedavých sústavách. ABB- elektro, s.r.o., 2005. ISBN 80-89057-10-1.
- [25] TLUSTÝ, Josef, Jan KYNCL, Ladislav MUSIL, Jan ŠPETLÍK, Jan ŠVEC, Petr HAMOUZ, Miroslav MÜLLER a Zdeněk MÜLLER. *Monitorování, řízení a chránění elektrizačních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04940-2.
- [26] KIESSLING, Friedrich, Joao Felix NOLASCO a Ulf KAINZKYK. Overhead power lines: planning, design, construction. Berlin: Springer, 2010. ISBN 978-364-2055-560.
- [27] DAS, J. C. Power system analysis: short-circuit load flow and harmonics. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2012. ISBN 978-143-9820-780.
- [28] WEEDY, B. M., B. J. CORY, N. JENKINS, J. B. EKANAYAKE a G. STRBAC. Electric power systems. 5th ed. Chichester: John Wiley, 2013. ISBN 978-0-470-68268-5.
- [29] PNE 33 3041. Zkratové proudy - výpočet účinků - Část 2: Příklady výpočtů. 2. vydání. 2012.
- [30] SF6 Gas-insulated Switchgear ELK SP 3-1. Zurich: ABB Switzerland Ltd. Dostupné také z: https://library.e.abb.com/public/e0757f9f909e88b9c1257b1d00432f9c/Brochure_ELK_SP_3-1_2120_1HC0080510_AA_EN.pdf

- [31] Gas Insulated Switchgear: Visión tecnología hacia tecnología GIS. ABB. Dostupné také z: <http://exploredoc.com/doc/6397979/-gas-insulated-switchgear--gis--visión-tecnológica-hacia>
- [32] Gas-insulated Switchgear ELK-CN3: Current transformers, 420 kV. ABB s.r.o. Dostupné také z: https://library.e.abb.com/public/9680309671a4474386da7aecce7bf22f/ELK%20CN3-720_1VLC000631%20Rev.1,%20en%202015.09.22.pdf
- [33] Gas-insulated Switchgear Type ELK-3: GIS for maximum performance, 420 kV. Zurich. ABB Switzerland Ltd, 2011. Dostupné také z: https://library.e.abb.com/public/9b34650a375c3666c1257b130057bd1b/ELK-3_420_1HC0029799AGEn.pdf
- [34] Gas-insulated Switchgear ELK-3: Surge Arrester, 420 kV. ABB Switzerland Ltd. Dostupné také z: <https://www.yumpu.com/en/document/view/23278853/surge-arrester-az32m-for-gas-insulated-switchgear-elk-3-abb>
- [35] ABB High Voltage Products: Surge Arresters. ABB Switzerland Ltd, 2014. Dostupné také z: <https://library.e.abb.com/public/e73ecf3171116fe6c1257d240021d572/ABB%20Surge%20arresters%20-%20Product%20overview%201HC0075750%20AD%20EN.pdf>
- [36] ČSN EN 60865-1 ED.2 (333040): Zkratové proudy - Výpočet účinků - Část 1: Definice a výpočetní metody. 2012.
- [37] Plynem izolovaná zapouzdřená rozvodna v Chotějovicích. RIEDL, Lukáš. ASB-portal.cz: odborný stavební portál [online]. 2011 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/tzb/energie/plynem-izolovana-zapouzarena-rozvodna-vchotejovicich>
- [38] Souhrnná zpráva ČEPS, a.s., za rok 2015. Praha: ČEPS, a.s., 2015. Dostupné také z: http://www.ceps.cz/CZE/Media/Tiskove-zpravy/Documents/Souhrnná_zpráva_celorok_2015_final.pdf
- [39] Institut plánování a rozvoje hlavního města Prahy: Výkresy územního plánu [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-04-09]. Dostupné z: <http://www.iprpraha.cz/vykresyup>
- [40] Gas-insulated switchgear ELK-3 C, 420 kV: High performance in a smaller footprint. Zurich: ABB Switzerland Ltd, 2014. Dostupné také z: https://library.e.abb.com/public/0d417c58f85749e48a3820bc2adb8593/ELK-3C_420_HMB_1HC0086882AGEn.pdf
- [41] Cenová mapa stavebních pozemků hl. m. Prahy: Cenová mapa k datu: 15.1.2016 [online]. Praha, 2016 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: <http://mpp.praha.eu/app/map/cenova-mapa/>
- [42] Výroční zpráva 2011: Annual report 2011 [online]. Praha: ČEPS, a.s., 2012 [cit. 2016-04-14]. Dostupné z: https://www.ceps.cz/CZE/O-spolecnosti/Hospodarske-vysledky/Documents/VYROCNI_ZPRAVA_CEPS_2011.pdf

- [43] *Plánovaná stavba: V410/419: vedení 400 kV Výškov – Čechy Střed Smyčka do nové rozvodny Praha Sever (nové vedení)*. ČEPS, a.s., 2015. Dostupné také z: <http://www.ceps.cz/cepsmapasiti/vedeni/S-V410-prahasever.pdf>
- [44] *Energetický regulační věstník: Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2015* [online]. Jihlava: Energetický regulační úřad, 2015 [cit. 2016-04-17]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/1174016/ERV_8_2015.pdf/afe1400e-2277-4835-8228-15c27aaa8d9a
- [45] *Plán rozvoje přenosové soustavy České republiky 2016 - 2025*. Praha: ČEPS, a.s., 2015. Dostupné také z: https://www.eru.cz/documents/10540/1765622/Plan_CEPS_2016-2025.pdf/be688a1a-71ca-4014-961a-e2c75d092491
- [46] *Vyhláška o podmínkách připojení k elektrizační soustavě*. In: ročník 2016, Předpis 16/2016 Sb. Dostupné také z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-16#f5741248>
- [47] *Zákon České národní rady o daních z příjmů: Aktuální znění*. In: ročník 1992, Předpis 586/1992 Sb. Dostupné také z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-586>
- [48] *Zpráva Energetického regulačního úřadu o metodice regulace IV. regulačního období pro odvětví elektroenergetiky a plynárenství* [online]. ERÚ, 2015 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: https://www.eru.cz/documents/10540/462862/Ramec_metodiky_IV+RO_2015-02-16.pdf/1370f896-8d16-441c-9153-d3fb6d6f3ffe
- [49] VASTL, Jaromír. *Management a ekonomika energetických soustav: 16MES*. 2012. Dostupné také z: https://ekonom.feld.cvut.cz/web/images/stories/predmety/A1M16MES/mes01_vod_do_energetickch_soustav.pdf
- [50] Transformátor Končar: Technické parametry 1ARZd 350000 - 420/D. 2011.
- [51] *Tisková zpráva: ČEPS, a.s. našla dodavatele elektřiny pro krytí ztrát v přenosové soustavě* [online]. In: . Praha: ČEPS, a.s., 2015, s. 2 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://www.ceps.cz/CZE/Media/Tiskove-zpravy/Documents/ČEPS,%20a.s.%20našla%20dodavatele%20elektřiny%20pro%20krytí%20ztrát%20v%20přenosové%20soustavě15_03_11_ztráty_konec.pdf
- [52] KNÁPEK, Jaroslav, Oldřich STARÝ a Jiří VAŠÍČEK. *Zásady hodnocení ekonomické efektivity energetických projektů*. katedra ekonomiky: ČVUT FEL, 2003.

9. Seznam obrázků

Obr. 1.1	Graf podílu jednotlivých typů elektráren na instalovaném výkonu (pozn.: instalované výkony jsou udávány ke dni 30. 11. 2015)	11
Obr. 1.2	Mapa vedení přenosové soustavy v České republice [1]	13
Obr. 2.1	Graf rozvoje vedení přenosové soustavy na napětí 220 kV a 400 kV	18
Obr. 2.2	Graf vývoje transformačního výkonu mezi PS/DS a mezi hladinami 400 kV a 220 kV	19
Obr. 2.3	Graf vývoje zdrojů připojených do přenosové soustavy.....	19
Obr. 3.1	Mapa vedení 110 kV, 220 kV a 400 kV ve středních Čechách [6] (stav z ledna 2015, dnes je v provozu již zdvojené vedení V410/V419).....	24
Obr. 3.2	Podrobnější schématické vyznačení vedení 110 kV, 220 kV a 400 kV na území Prahy [7].....	25
Obr. 3.3	Dnešní stav zapojení v rozvodně Čechy střed.....	26
Obr. 3.4	Stav zapojení po úpravách v rozvodně Čechy střed v roce 2035	26
Obr. 3.5	Dnešní stav zapojení v rozvodně Malešice.....	27
Obr. 3.6	Stav zapojení po úpravě v rozvodně Malešice v roce 2035	27
Obr. 3.7	Schéma přenosové soustavy v roce 2040 podle plánovaného rozvoje [11].....	28
Obr. 3.8	Graf výkonových poměrů na přechodu PS/DS v roce 2040 (údaje převzaté z [13]).....	29
Obr. 3.9	Graf napěťových poměrů v rozvodnách v roce 2020 a 2040 (údaje převzaté z [13]).....	30
Obr. 4.1	Jednoduchý systém přípojnic.....	33
Obr. 4.2	Dvojitý systém přípojnic.....	34
Obr. 4.3	Příčné a podélné spínače přípojnic (na krajích příčné spínače, uprostřed podélné spínače).....	35
Obr. 4.4	Kombinovaný spínač přípojnic.....	35
Obr. 4.5	Trojitého systému přípojnic.....	36
Obr. 4.6	Úsporné zapojení příčného spínače přípojnic.....	36
Obr. 4.7	Systém s pomocnou přípojnicí (s vyznačenou cestou elektrické energie při poruše třetí odbočky).....	37

Obr. 4.8	Okružní zapojení rozvodny.....	38
Obr. 4.9	Zapojení H v rozvodně.....	38
Obr. 5.1	Distribuční vedení 110 kV na území Prahy [15].....	46
Obr. 5.2	Mapa části Prahy se zvýrazněním uvažované lokality [16].....	46
Obr. 5.3	Mapa části Bohnic, Čimic a Kobylis se zvýrazněním lokality dnešní rozvodny TR Sever 123 kV [16].....	47
Obr. 5.4	Výřez územního plánu s vyznačením plochy určené pro energetické účely [39].....	47
Obr. 5.5	Zvýraznění dnešní rozvodny TR Sever 123 kV a uvažované polohy rozvodny Praha-sever 420 kV na katastrální mapě [17].....	48
Obr. 5.6	Detailní výřez katastrální mapy v místě plánovaného umístění rozvodny 420 kV [17].....	48
Obr. 5.7	Pohled na dnešní rozvodnu TR Sever 123 kV.....	49
Obr. 5.8	Pohled na dnešní stav v místě budoucí rozvodny Praha-sever 420 kV.....	49
Obr. 5.9	Venkovní průchodka zapouzdržené rozvodny [20].....	50
Obr. 5.10	Dispoziční řešení rozvodny Praha-sever 420 kV.....	52
Obr. 5.11	Náhradní schéma pro výpočet.....	55
Obr. 5.12	Vypínač ABB ELK-SP3 [30].....	63
Obr. 5.13	Vnitřní stavba vypínače ABB ELK-SP3 [30].....	64
Obr. 5.14	Odpojovač ABB ELK-TK3 (vnější pohled a vnitřní stavba) [20],[33].....	65
Obr. 5.15	Společné řešení odpojovače a uzemňovače [33].....	65
Obr. 5.16	Rychluzemňovač ABB ELK-EB3 (vnější pohled na tři jednofázové jednotky a vnitřní stavba) [20],[33].....	66
Obr. 5.17	Přístrojový transformátor proudu ABB ELK-CN3 (vnější pohled a vnitřní stavba) [32],[20].....	66
Obr. 5.18	Přístrojový transformátor napětí ABB ELK-PI3 (vnější pohled a vnitřní stavba) [33].....	67
Obr. 5.19	Svodič přepětí ABB ELK-AZ32M (vnější pohled a vnitřní stavba) [34].....	69
Obr. 5.20	Jednopolové schéma 420kV rozvodny Praha-sever.....	73
Obr. 5.21	Zapouzdrěná rozvodna typu ELK-3 společnosti ABB [33].....	79
Obr. 5.22	Zapouzdrěná rozvodna 420 kV Chotějovice [37].....	79

Obr. 5.23	Schéma zapojení napájecího bodu Praha-sever s navazujícími rozvodnami.....	81
Obr. 6.1	Přehled o peněžních tocích.....	89

10. Seznam tabulek

Tab. 1.1	Výpis základních údajů o infrastruktuře přenosové soustavy [1].....	14
Tab. 4.1	Parametry transformátorů v přenosové soustavě [18].....	41
Tab. 4.2	Výhody a nevýhody zapouzdřených rozvodů.....	44
Tab. 5.1	Použité hodnoty pro výpočet zkratových poměrů.....	54
Tab. 5.2	Použité hodnoty při výběru vypínače.....	62
Tab. 5.3	Parametry vybraného vypínače ABB ELK-SP3 [30].....	63
Tab. 5.4	Doporučené parametry odpojovače.....	64
Tab. 5.5	Parametry přístrojového transformátoru proudu ABB ELK-CN3 [32].....	67
Tab. 5.6	Parametry přístrojového transformátoru napětí ABB ELK-PI3 [20], [33].....	68
Tab. 5.7	Parametry svodiče přepětí ABB ELK-AZ32M [34], [35].....	69
Tab. 5.8	Základní vlastnosti použitých AlFe lan [22].....	70
Tab. 5.9	Parametry umístění venkovního vedení 400 kV.....	70
Tab. 5.10	Materiálové konstanty pro AlFe lano [36].....	71
Tab. 5.11	Izolační hladiny stanice pro koordinaci izolace [3].....	74
Tab. 5.12	Hlavní elektrické parametry nové rozvodny [40].....	80
Tab. 6.1	Náklady na výkup pozemků.....	82
Tab. 6.2	Výčet investičních nákladů.....	83
Tab. 6.3	Ztráty v transformátorech 400/110 kV.....	85
Tab. 6.4	Celkové provozní náklady.....	85
Tab. 6.5	Výnosy z realizace rozvodny.....	87
Tab. 6.6	Odhad časového harmonogramu realizace.....	92

11. Seznam zkratk a značek

<u>Zkratka</u>	<u>Popis</u>
a.s.	Akciová společnost
ABB	Asea Brown Boveri
APG	Austrian Power Grid
CF	Cash flow
CO	Closing operation
ČEPS	Česká energetická přenosová soustava
ČEZ	České energetické závody
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DS	Distribuční soustava
EN	Evropská norma
ENTSO-E	the European Network of Transmission System Operators
ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
FVE	Fotovoltaické elektrárny
GIS	Gas insulated switchgear
HF	Fluorovodík
JE	Jaderné elektrárny
LOT	Logická ochrana tlaku
NPV	Net present value
O	Opening operation
OSN	Organizace spojených národů
OZ	Opětné zapnutí
Pb	Olovo
PE	Parní elektrárny

PPE+PSE	Paroplynové elektrárny, plynové a spalovací elektrárny
PS	Přenosová soustava
PSE	Polskie Sieci Elektroenergetyczne
PVE	Přečerpávací vodní elektrárny
SEPS	Slovenská elektrizačná prenosová sústava
SF ₆	Fluorid sírový
SPP	Spínač pomocné přípojnice
SO ₂	Oxid siřičitý
SOF ₂	Thionylfluorid
TSO	Transmission System Operator
UPS	Uninterruptible Power Source
VE	Vodní elektrárny
VTE	Větrné elektrárny
VVN	Velmi vysoké napětí
ZVN	Zvláště vysoké napětí

<u>Symbol</u>	<u>Jednotka</u>	<u>Popis</u>
A	[mm ²]	Průřez hliníku
c	[-]	Napěťový součinitel podle ČSN EN 60909-0
CF	[Kč]	Roční peněžní tok
CF _T	[Kč]	Peněžní tok v daném roce
c _v	[J·kg ⁻¹ ·°C ⁻¹]	Měrná tepelná kapacita vodiče
D	[Kč]	Objem cizího kapitálu
D ₀	[Kč]	Daňové odpisy
D _t	[Kč]	Daň z příjmu
d _z	[-]	Sazba daně z příjmu
E	[Kč]	Objem vlastního kapitálu
f	[Hz]	Frekvence sítě

I''_k	[A]	Počáteční souměrný rázový zkratový proud
I''_{k1}	[A]	Počáteční souměrný rázový zkratový proud při 1f zkratu
I''_{k3}	[A]	Počáteční souměrný rázový zkratový proud při 3f zkratu
I_{1s}	[A]	Jmenovitý krátkodobý (1 s) nadproud vypínače
$i_k(t)$	[A]	Okamžitá hodnota zkratového proudu
I_{ke}	[A]	Ekvivalentní oteplovací proud
IN	[Kč]	Investiční náklady
$I_{n\ dyn}$	[A]	Jmenovitý dynamický proud vypínače
$I_{n\ vyp}$	[A]	Jmenovitý vypínací proud vypínače
I_p	[A]	Nárazový zkratový proud
l	[km]	Délka vedení
m	[-]	Součinitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky
n	[-]	Součinitel pro tepelné účinky střídavé složky
NPV	[Kč]	Čistá současná hodnota
n_v	[-]	Počet vodičů ve svazku
P_t	[Kč]	Příjmy z realizace projektu
$P_{z,T}$	[W]	Činný ztrátový výkon v transformátoru
$P_{z,V}$	[W]	Činný ztrátový výkon na vedení
r	[-]	Diskont
r_D	[-]	Náklady cizího kapitálu
r_E	[-]	Náklady vlastního kapitálu
R_l	[Ω /km]	Odpor trojsvazku vedení
R_{lv}	[Ω /km]	Elektrický odpor vodiče
R_s	[Ω]	Odpor ekvivalentu sítě
R_v	[Ω]	Odpor vedení
S	[VA]	Zatížení transformátoru
S''_{k1}	[VA]	Počáteční rázový zkratový výkon při jednofázovém zkratu
S''_{k3}	[VA]	Počáteční rázový zkratový výkon při třífázovém zkratu

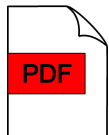
S_n	[VA]	Zdánlivý jmenovitý výkon transformátoru
S_T	[VA]	Zdánlivý výkon transformátoru
S_{thr}	[A/m ²]	Hustota jmenovitého krátkodobého proudu
t	[-]	Pořadí daného roku
t_k	[s]	Doba trvání zkratu
T_{kr}	[s]	Jmenovitá doba zkratu podle normy ČSN EN 60865-1
T_S	[roky]	Prostá doba návratnosti
$T_{\bar{z}}$	[roky]	Předpokládaná doba životnosti
U_{min}	[V]	Minimální napětí v uzlu PS za stavu N-1
U_n	[V]	Jmenovité napětí soustavy
$V_{i,t}$	[Kč]	Investiční výdaje
$V_{p,t}$	[Kč]	Roční provozní výdaje
WACC	[-]	Weighted Average Cost of Capital
$W_{z,T}$	[Wh]	Roční ztráty v transformátorech
$W_{z,v}$	[Wh]	Roční ztráty na vedení
X_l	[Ω/km]	Reaktance trojsvazku vedení
X_s	[Ω]	Reaktance ekvivalentu sítě
X_v	[Ω]	Reaktance vedení
Z_k	[Ω]	Zkratová impedance
Z_s	[Ω]	Impedance ekvivalentu sítě
α_{20}	[°C ⁻¹]	Teplotní součinitel odporu materiálu
ΔP_0	[W]	Ztráty transformátoru naprázdno
ΔP_{kn}	[W]	Ztráty transformátoru nakrátko
θ_b	[°C]	Nejvyšší dovolená provozní teplota
θ_e	[°C]	Nejvyšší doporučená teplota při zkratu
κ	[-]	Součinitel podle normy ČSN EN 60909-0
κ_{20}	[Ω ⁻¹ ·m ⁻¹]	Elektrická vodivost vodiče
μ_0	[H/km]	Permeabilita vakua

ρ [kg·m⁻³] Hustota vodiče

<u>Dolní index</u>	<u>Popis</u>
1	Při jednofázovém zkratu
3	Při třífázovém zkratu
2025	Hodnota vztažená k roku 2025
(0)	Netočivá složka dané veličiny
(1)	Sousledná složka dané veličiny
(2)	Zpětná složka dané veličiny
AC	Střídavá hodnota veličiny
Č	Parametr v úseku Praha-sever – Čechy střed
DC	Stejnoseměrná hodnota veličiny
V	Parametr v úseku Praha-sever – Výškov

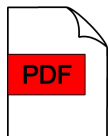
12. Obsah příloženého CD

CD obsahuje tyto soubory:



Novy_napajeci_bod_400_kV_Praha-sever.pdf

(elektronická verze diplomové práce)



Schema_rozvodna.pdf

(jednólové schéma rozvodny Praha-sever)



Umisteni_rozvodna.pdf

(Dispoziční řešení rozvodny Praha-sever)



Vykaz.pdf

(kompletní výkaz peněžních toků po dobu 30 let)