



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Unifikace města Děčína

Unification of Děčín city

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky

Vedoucí práce: Ing. Martin Sochor

Bc. Martin Špatenka

Praha 2017

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Špatenka Jméno: Martin Osobní číslo: 412007
Fakulta/ústav: Fakulta elektrotechnická
Zadávající katedra/ústav: Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd
Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Unifikace napětí v sítích vn města Děčín

Název diplomové práce anglicky:

Unification of voltage in distribution grid

Pokry pro vypracování:

- popis problému (co je to unifikace, proč unifikovat, výhody a nevýhody)
- analýza současného stavu vn sítí v lokalitě Děčín (přehled zařízení, požadavky na rozvoj sítě, problémy současného stavu)
- navrhnete varianty obnovy a rozvoje sítě vn města Děčín
- technické řešení obnovy a rozvoje systému 10 kV
- technické řešení unifikace systému 10 kV na 22 kV
- sestavíte ekonomický model obnovy a rozvoje systému kV
- vyhodnotíte varianty provozu systému 10 kV a unifikace na 22 kV

Seznam doporučené literatury:

Fenc, F.: Elektrický rozvod a rozvodná zařízení. Skripta ČVUT, 2009
Křelingerová a kol: Manažerské finance, Beck 2007, 2. vydání, ISBN 978-80-7179-903-0

Jméno a pracovní místo vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Martin Sochor, ČEZ Distribuce, a.s.

Jméno a pracovní místo druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(eky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: 17.02.2017

Termín odevzdání diplomové práce: _____

Platnost zadání diplomové práce: _____

Podpis vedoucí(ho) práce

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

Podpis děkana(eky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant, tímto na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a použil pouze odbornou literaturu a prameny uvedené v příloženém seznamu použité literatury. Nemám námitek proti půjčení práce se souhlasem katedry ani proti zveřejnění práce nebo její části.

V Praze dne 25. 5. 2017

Bc. Martin Špatenka

.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Martinovi Sochorovi, za vedení práce. Za jeho rady, připomínky a vstřícné jednání při osobních konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat panu Doc. Ing. Jiřímu Vašíčkovi, CSc. za jeho rady při konzultacích.

Děkuji také celé své rodině, za obrovskou trpělivost v mém studiu a také za poskytnutí psychické i finanční podpory.

Abstrakt

V diplomové práci jsem se zaměřil na problematiku distribuce elektrické energie po vedení kvůli zajištění potřebného objemu elektrické energie a zajištění dostatečné přenosové schopnosti vedení do budoucna.

V první části této práce je přiblížena problematika spojená s unifikací, návrhem a dimenzováním vedení vysokého napětí (VN) v distribuční soustavě. Dále je práce věnována popisu současného stavu napájení města Děčína.

Druhá část práce se zabývá návrhem variant obnovy a rozvoje sítě VN ve městě Děčín, včetně popisu technického řešení a stanovení investičních nákladů. Na konci této části je provedeno vyhodnocení jednotlivých variant obnovy a rozvoje sítě VN ve městě Děčín.

Třetí část práce je věnována ekonomickému modelu vybrané části sítě, jehož cílem je poskytnout vstupy pro posouzení ekonomické efektivity dvou nejlepších variant obnovy a rozvoje sítě VN ve městě Děčín, která je zpracována v poslední části práce.

V samotném závěru jsou shrnuty výsledky z hodnocení ekonomické efektivity variant obnovy a rozvoje sítě VN ve městě Děčín a na základě tohoto hodnocení je doporučena nejlepší varianta.

Klíčová slova: unifikace, změna napětí, distribuční soustava

Abstract

In my diploma thesis, I am focusing on the problematics of electric power distribution by power lines for ensuring essential amount of electric power and sufficient distribution performance of power lines for the future.

The first part deals with unification, planning and dimensioning of high voltage power lines in distribution network. Moreover, description of the current state of power supply in the city of Děčín is provided.

The second part presents planning options of renewing and developing high voltage power lines in the city of Děčín, including description of technical solution and stating investment costs. Eventually, assessment of individual options of renewing and developing high voltage power lines in the city of Děčín is carried out.

The third part is dedicated to evaluating the financial side of a selected part of the power line. It is aimed at providing figures for evaluation of economic effectiveness of two best options of renewing and developing high voltage network in the city of Děčín which is further described in the last part of the thesis.

Lastly, final scores of evaluation of economic effectiveness of renewing and developing options of high voltage power lines in the city of Děčín are summed up. Based on the evaluation, recommendation of the best option is proposed.

Key words: unification, change of voltage, distribution network

Obsah

Úvod.....	14
1. Popis problému.....	16
1.1. Unifikace.....	16
1.2. Historie unifikace v distribuční soustavě	16
1.3. Cíle a očekávané přínosy unifikace	21
1.4. Náročnost unifikace	24
1.5. Vedení VN.....	26
1.5.1. Parametry vedení.....	26
1.5.2. Dimenzování vodičů a kabelů.....	28
1.5.2.1. Dimenzování podle provozní teploty	28
1.5.2.2. Dimenzování podle mechanické pevnosti.....	28
1.5.2.3. Dimenzování podle zkratových proudů	28
1.5.2.4. Dimenzování podle úbytku napětí	29
1.5.3. Ztráty v navrhovaném rozvodu	29
2. Popis současného stavu	30
2.1. Plánovaný rozvoj města	32
2.2. Trasy vedení	33
2.3. Technický popis vedení.....	35
3. Návrh obnovy a rozvoje sítě VN města Děčín.....	36
3.1. Nulová varianta	37
3.2. Varianta č. 1	37
3.3. Varianta č. 2	37
3.4. Varianta č. 3	38
3.5. Stanovení investičních nákladů pro jednotlivé varianty unifikace.....	39
3.5.1. Nulová varianta	39
3.5.1.1. Kabely	39
3.5.1.2. Stanice.....	40
3.5.1.3. Transformátory	41
3.5.1.4. Napájecí body.....	41
3.5.2. Varianta č. 1	42
3.5.2.1. Kabely	42
3.5.2.2. Stanice.....	43
3.5.2.3. Transformátory	44
3.5.2.4. Napájecí body.....	44
3.5.3. Varianta č. 2	46
3.5.3.1. Kabely	46
3.5.3.2. Stanice.....	47
3.5.3.3. Transformátory	48
3.5.3.4. Napájecí body.....	48
3.5.4. Varianta č. 3	49
3.5.4.1. Kabely	49
3.5.4.2. Stanice.....	51
3.5.4.3. Transformátory	52
3.5.4.4. Napájecí body.....	52
3.6. SWOT analýza variant řešení.....	53
3.7. Doporučené varianty obnovy a rozvoje sítě VN města Děčín	56
4. Ekonomický model.....	57
4.1. Popis vybraného úseku kabelové sítě pro výpočet	57
4.2. Popis tech. řešení obnovy a rozvoje stávajícího systému 10 kV.....	58
4.2.1. Kabely	59
4.2.2. Stanice.....	59
4.2.3. Ekonomický model stávajícího systému 10 kV (nulová varianta)	60
4.3. Popis tech. řešení obnovy unifikace z 10 kV na 22 kV	61
4.3.1. Kabely	62

4.3.2.	Stanice	62
4.3.3.	Ekonomický model systému 22 kV (varianta č. 3).....	63
5.	Ekonomické zhodnocení variant.....	66
5.1.	Použité předpoklady.....	66
5.2.	Použitá finanční kritéria	67
5.2.1.	Členění nákladů.....	67
5.2.2.	Stálé provozní náklady.....	67
5.2.3.	Proměnné provozní náklady	67
5.3.	Scénáře.....	68
5.3.1.	Pesimistický scénář	68
5.3.2.	Neutrální scénář	68
5.3.3.	Optimistický scénář.....	68
5.4.	Výpočet.....	71
	Závěr	73
	Použitá literatura	75
	Seznam příloh.....	76

Seznam obrázků:

Obrázek 1:	Graf znázorňující stáří kabelů v DS. Zdroj vlastní, data ČEZ.....	19
Obrázek 2:	Graf znázorňující poruchy na hladinách VN v DS, převzato z interních materiálů ČEZ ...	20
Obrázek 3:	T-článek, [4]	27
Obrázek 4:	Uzemní plán města Děčína s vyznačenou trasou pro detailní výpočet.....	32
Obrázek 5:	Trasy jednotlivých napěťových hladin	33
Obrázek 6:	Trasa pro výpočet.....	35
Obrázek 7:	SWOT analýza nulové varianty 10 kV.....	54
Obrázek 8:	SWOT analýza varianty č.1 22kV.....	54
Obrázek 9:	SWOT analýza varianty č.2 35 kV.....	54
Obrázek 10:	SWOT analýza varianty č.3 22kV a 35kV.....	55
Obrázek 11:	Trasa pro výpočet.....	58
Obrázek 12:	Graf scénářů vývoje zatížení	69

Seznam tabulek:

Tabulka 1:	Struktura napájecích bodů	35
Tabulka 2:	Odhad investičních nákladů na kabely.....	40
Tabulka 3:	Odhad investičních nákladů na stanice.....	41
Tabulka 4:	Odhad investičních nákladů technologie	41
Tabulka 5:	Odhad investičních nákladů na transformátory	41
Tabulka 6:	Odhad investičních nákladů na kabely.....	43
Tabulka 7:	Odhad investičních nákladů na stanice.....	44
Tabulka 8:	Odhad investičních nákladů technologie	44
Tabulka 9:	Odhad investičních nákladů na transformátory	44
Tabulka 10:	Odhad investičních nákladů pro napájecí body.....	45
Tabulka 11:	Odhad investičních nákladů na kabely	47
Tabulka 12:	Odhad investičních nákladů na stanice	48
Tabulka 13:	Odhad investičních nákladů technologie	48
Tabulka 14:	Odhad investičních nákladů na transformátory	48
Tabulka 15:	Odhad investičních nákladů pro napájecí body.....	49
Tabulka 16:	Odhad investičních nákladů na kabely	50
Tabulka 17:	Odhad investičních nákladů na stanice	51
Tabulka 18:	Odhad investičních nákladů technologie	51
Tabulka 19:	Odhad investičních nákladů na transformátory	52
Tabulka 20:	Odhad investičních nákladů pro napájecí body.....	53
Tabulka 21:	Přehled investičních nákladů	56
Tabulka 22:	Úseky kabelového vedení.....	61
Tabulka 23:	Investiční náklady stanic	61
Tabulka 24:	Úseky kabelového vedení.....	64
Tabulka 25:	Investiční náklady stanic	64

<i>Tabulka 26: Náklady společné pro obě varianty</i>	65
<i>Tabulka 28: Investiční náklady na posílení transformátorů 10 kV</i>	70
<i>Tabulka 29: Investiční náklady na posílení transformátorů 22 kV</i>	70
<i>Tabulka 27: Investiční náklady I paralelní kabelové trasy 10 kV.....</i>	70
<i>Tabulka 30: Vstupní hodnoty pro ekonomické zhodnocení</i>	71
<i>Tabulka 31: NVP jednotlivých variant</i>	72

Úvod

Díky velkému hospodářskému a zejména technickému rozvoji za několik posledních desetiletí se lidstvo stává více závislé na elektrické energii. V dnešní době se dá o elektrické energii mluvit jako o nejvyužívanější formě energie. S hospodářským a technickým rozvojem roste také životní úroveň lidstva, která je spjata se zvyšující se spotřebou elektrické energie a to jak v domácnostech, tak i ve výrobních provozech. Zvyšující se potřeba elektrické energie vytváří stále větší požadavky na výrobu, přenos a distribuci elektrické energie.

V této práci se zaměřuji na problematiku distribuce elektrické energie po vedení, pro zajištění potřebného objemu el. energie a zajištění dostatečné přenosové kapacity vedení do budoucna.

. Možnosti zajištění zvýšení přenosové schopnosti představují rekonstrukce a modernizace stávajících vedení nebo výstavba nových vedení. V dnešní době je výstavba nových vedení ve většině případů obtížně proveditelná kvůli velké hustotě obydlí, odporu občanů vůči výstavbě nových vedení, nutností řešení majetkových vztahů, vyrovnávání se s majiteli pozemků nebo ochraně přírody. Proto se provádí spíše rekonstrukce vedení spojená s modernizací. Modernizací vedení spočívá většinou ve zvětšení průřezu vodičů, čímž získáme větší přenosovou schopnost daného vedení. Speciálním typem modernizace je tzv. unifikace.

Unifikace znamená převod vedení o různých napěťových hladinách na jednu společnou napěťovou hladinu. Unifikace se v posledních letech využívá zejména ve městech, které jsou zásobovány elektrickou energií pomocí kabelových vedení historicky na hladině 10 kV.

Cílem této práce je najít vhodné řešení modernizace kabelové sítě ve městě Děčín a zároveň potvrdit výběr navrhované varianty na základě ekonomického hodnocení. Město Děčín je napájeno ze tří různých napěťových hladin a to 10 kV, 22 kV a 35 kV pomocí kabelových vedení. V současné době je na hladině 10 kV převážná část kabelové sítě zastaralá, se zvýšenou poruchovostí. Z tohoto důvodu se zde společnost ČEZ distribuce a.s. rozhoduje, zda rekonstruovat a modernizovat stávající 10 kV síť, nebo výhledově provést unifikaci starého 10 kV kabelového vedení na nové s hladinou 22 kV. Hlavními důvody, které vedou k rekonstrukci a modernizaci nebo unifikaci města Děčín, je zejména dlouhodobé zajištění rostoucí spotřeby elektrické energie a zvýšení spolehlivosti dodávky. V současné době mají největší vliv na zvýšenou poruchovost staré olejové kabely.

V první kapitole této práce jsem se věnoval popisu historie budování distribuční soustavy ve společnosti ČEZ Distribuce. Dále je zde popsán podrobněji proces unifikace, jeho přínosy a případné nedostatky, v závěru kapitoly jsem se zaměřil na problematiku návrhu a dimenzování vedení v distribuční soustavě.

Ve druhé kapitole práce jsem věnoval popisu současného stavu napájení města Děčín pomocí kabelových vedení, pro lepší pochopení elektrizační sítě města Děčín je zde uvedena její historie, jsou zde uvedeny trasy jednotlivých napěťových hladin, technický popis tohoto vedení.

Ve třetí kapitole se zabývám návrhem variant obnovy a rozvoje sítě VN ve městě Děčín, včetně popisu technického řešení a ekonomického modelu pro stanovení investičních nákladů. Nejdříve je uvedena varianta obnovy a rozvoje stávajícího systému 10 kV. Dále je zpracována varianta unifikace, tedy převod stávající sítě VN z hladiny 10 kV na hladinu 22 kV, převod stávající sítě VN z hladiny 10 kV na hladinu 22 kV a 35 kV, převod stávající sítě VN z hladiny 10 kV na hladinu 35 kV. Na konci třetí kapitoly jsem provedl vyhodnocení jednotlivých variant obnovy a rozvoje sítě VN ve městě Děčín na základě výše investičních nákladů, časové náročnosti výstavby, přínosů, dopadů na odběratele apod.

Ve čtvrté kapitole je zpracován ekonomický model vybrané části sítě, jehož cílem je poskytnout vstupy pro posouzení ekonomické efektivity dvou nejlepších variant podle hodnocení provedeného v předchozí kapitole - nulové varianty (modernizace sítě 10 kV) a varianty unifikace (přechod sítě 10 kV na hladinu 22 kV).

V páté kapitole je zpracováno posouzení ekonomické efektivity dvou posuzovaných variant se třemi scénáři předpokládaného vývoje zatížení. Ekonomické modely a posouzení ekonomické efektivity je zpracováno prostřednictvím MS Excel, který je přiložen v elektronické podobě. V této práci uvádím vybrané tabulky, výsledky a grafy.

Na závěr jsem shrnul výsledky práce a doporučuji jednu z variant k realizaci na základě výsledků ekonomického posouzení.

1. Popis problému

1.1. Unifikace

Doslovný význam slova unifikace je sjednocování, popřípadě jednotnost.

V energetice se nejčastěji tento pojem používá ve spojení s napětím. Unifikace napětí znamená převod stávajícího rozvodu elektrické energie z určité napěťové hladiny na takovou, která je v okolí rozšířenější nebo převažuje. Unifikace napětí se hojně používá v distribučních sítích, protože distribuční síť je provozována po celé České republice na velkém množství různých napěťových hladin. Jsou to zejména 110 kV, 35 kV, 22 kV, 10 kV, 6 kV a další.

1.2. Historie unifikace v distribuční soustavě

Distribuční soustava ČEZ Distribuce a.s. byla v minulosti řízena po menších regionálních celcích. Skládala se z pěti samostatných zásobovacích území, tzv. regionálních distributorů, které měli označení REAS. Jednotlivými regionálními distributory byly: Severočeská energetika a.s., Východočeská energetika a.s., Středočeská energetika a.s., Západočeská energetika a.s. a Severomoravská energetika a.s. Každý z těchto celků byl samostatný, měl své strategie rozvoje, investiční plány apod. V posledních letech existence regionálních distributorů začala skupina ČEZ postupně přebírat veškeré jejich činnosti až do roku 2005, ve kterém nastala postupná fúze s mateřskou společností ČEZ, a.s. Severočeská energetika a.s., zahrnující město Děčín, fúzovala se společností ČEZ, a.s. ke dni 30. 9. 2005.

Toto sjednocení regionálních distributorů bylo provedeno v rámci projektu Vize 2008, což byl zajímavý a nevídaný transformační projekt, který měl za úkol změnit podobu celé Skupiny ČEZ. Tento projekt měl za úkol sjednotit společnost a převést ji na organizaci procesních společností za současného zániku pěti regionálních distribučních firem. Význam tohoto ojedinělého projektu bylo dosáhnout úspor z rozsahu a jednotnosti. Tuto hypotézu potvrdil tehdejší člen představenstva a ředitel divize distribuce Tomáš Pleskač, který k tomuto projektu dodal: "Projekt jsme skončili na jaře tohoto roku a to o rok a půl dříve než jsme plánovali. Dosud projekt přinesl úsporu 3 miliardy korun, letos přinese dalších 1,7 mld. Kč a dále by měl přinášet každoročně úsporu 2,8 mld. Kč. Od roku 2004 poklesl počet pracovníků Skupiny ČEZ v České republice o 1 500 a to bez jakýchkoliv sociálních otřesů." [1]

Od tohoto okamžiku se stala potřeba unifikace a celkového pohledu na strategii rozvoje, provozu a investic zásadnější než kdy dříve. Distribuční soustava VN je totiž v současnosti provozována na napěťových hladinách 3 kV, 5 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV a 35 kV. Tyto napěťové hladiny jsou dány historickým vývojem jednotlivých regionů. Již v minulosti docházelo ve všech regionech k unifikaci na jinou, zejména vyšší, napěťovou hladinu. Důvodem byla, ve většině případů, potřeba zvýšení přenosových schopností soustav VN, nebo sjednocení používaných zařízení v soustavách VN.

Po zániku regionálních distribučních firem, sjednocení řízení distribuční sítě a vzniku společnosti ČEZ distribuce a.s., bylo důležitým úkolem vymyslet řešení, jakým způsobem standardizovat provozované napěťové hladiny VN a stanovit strategii postupu unifikace napěťových hladin v distribuční soustavě VN. Proces se strategickým záměrem unifikace, neboli přechodu na stejné napěťové hladiny spustila společnost ČEZ a.s. v roce 2007. Provoz distribuční sítě na jednotné hladině napětí by měl v konečném důsledku přinést nejen technický ale i ekonomický přínos.

Stav distribuční sítě ČEZ Distribuce a.s. po sjednocení regionálních distribučních firem byl velice zajímavý, proto v tomto odstavci uvedu nějaké zajímavé údaje. Údaje jsou z roku 2007, kdy byla vypracována Studie jednotného napětí distribuční soustavy, ze které jsem tyto data čerpal. Na území distribuční sítě ČEZ Distribuce a.s. byla distribuční soustava provozována na velkém množství napěťových hladin.

Nejnižší napěťová hladina, která se zde vyskytovala, byla 3 kV. Tato napěťová hladina se provozovala pouze v regionu Morava a pouze v omezeném rozsahu a to v oblasti Lysé Hory v délce cca 4 km. Další velice málo perspektivní byla hladina napětí 5 kV. Jednalo se o neperspektivní dožívající hladinu napětí, která byla provozována pouze v regionech Západ a Východ. Celková délka nepřesáhla 40 km kabelového vedení. Již v tuto dobu byly některé transformovny v regionu Západ vybaveny zařízením na provoz 22 kV sítě. Napěťová hladina 6 kV byla provozována jako kabelová. Byla instalována hlavně v regionech Morava a Východ a pouze okrajově i v regionu Západ. V regionu Morava bylo tehdy v provozu 293 km kabelového vedení, ke kterému bylo zapotřebí 294 trafo stanic. V regionu Východ bylo v provozu 97 km kabelového vedení se 138 trafo stanicemi. Pouze 1 km kabelového vedení byl instalován v regionu Západ a jednalo se o smyčku s jednou měnírnou pro trolejbusovou dopravu v Mariánských Lázních. Tento systém byl již v roce 2007 určen k likvidaci a celá trasa byla nahrazena 22 kV rozvodem, který byl uveden do provozu po vybudování nové měírny. Celkové zatížení na této napěťové hladině bylo cca 31 MW.

Na rozdíl od předešlých napěťových hladin měla 10 kV síť mnohem větší uplatnění a byla poměrně rozsáhlá. Kromě regionu Střed byla provozována ve všech ostatních regionech. Byla tvořena 170 kilometry vrchního vedení a 1534 kilometry kabelového vedení s 2381 trafostanicemi. Celkové zatížení na této napěťové hladině tvořilo 303 MW, což bylo cca 8% z celého zatížení tehdejší distribuční soustavy. V regionu Sever byl systém 10 kV provozován výhradně v městských rozvodech. Jednalo se o města Ústí nad Labem, Liberec, Jablonec nad Nisou a také Děčín, kterým se budu v této práci zabývat. V regionu sever byla 10 kV síť provozována pomocí 775 km kabelů s 1281 trafostanicemi. Celkové zatížení 10 kV soustavy činilo cca 133 MW.

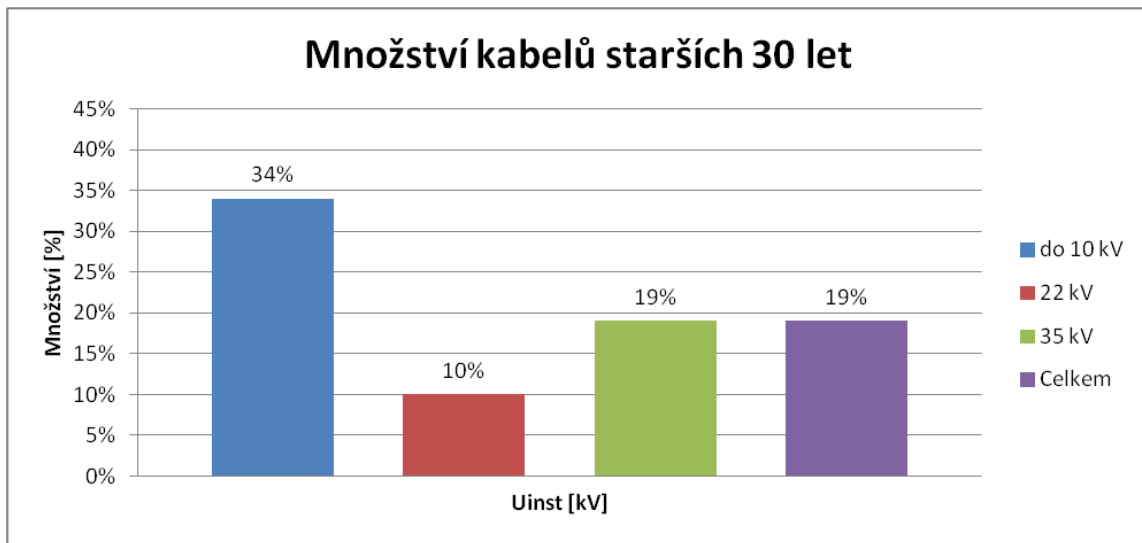
Napěťová hladina 22 kV byla v té době nejrozšířenější napěťovou hladinou v distribuční soustavě a je tomu tak i dnes. Byla provozována ve všech regionech s více než 2000 kilometry vrchního vedení a 3769 kilometry kabelů. K tomu bylo zapotřebí 18000 trafostanic, což bylo celkem cca 73% z celé distribuční soustavy. Celkové zatížení na napěťové hladině bylo cca 2186 MW, což bylo 77% z celkového zatížení v distribuční síti. Konkrétně v regionu Sever bylo na 3356 km vrchního vedení, 1315 km kabelů a cca 4000 trafostanic. Zatížení v regionu Sever činilo 370 MW.

Napěťová hladina 35 kV byla druhou nejrozsáhlejší napěťovou hladinou v distribuční síti i přes to, že byla provozována pouze v regionech Sever a Východ. V regionu Východ se již v 70. letech minulého století rozhodli, že tato napěťová hladina nebude vystavěna. Celkový rozsah zařízení 35 kV byl cca 10 000 km vrchního vedení, 777 km kabelů a cca 9000 trafostanic. V regionu Sever byl systém 35 kV provozován převážně ve venkovních sítích v okresech Děčín, Ústí nad Labem, Liberec a dalších s délkou 2352 km venkovních vedení, 186 km kabelů a cca 2450 trafostanic. Zatížení v regionu Sever bylo cca 240 MW. Celkové zatížení na této napěťové hladině bylo 32% z celé distribuční soustavy, což bylo cca 1160 MW.

Z tohoto přehledu stavu distribuční soustavy z roku 2007 je patrné, že v některých regionech již v tuto dobu byla v sítích o nižších napětích připravena zařízení na pozdější přechod na napěťovou hladinu 22 kV. Je zde také patrné, že pokud by měla být uvažována unifikace celé distribuční soustavy, přichází v úvahu dvě možnosti. A to dvě nejvíce rozšířené napěťové hladiny v distribuční soustavě, tedy 22 kV nebo 35 kV.

Důležitou rolí pro posouzení provozuschopnosti a budoucího vývoje sítě je její stáří. Každý prvek soustavy VN má stanovenou tzv. technickou životnost, která se u jednotlivých prvků soustavy pohybuje v rozmezí 10 – 50 let. U kabelů AXEKVCEY, což jsou silové kabely s izolací ze zesíleného polyetylénu pro zemní uložení, které jsou

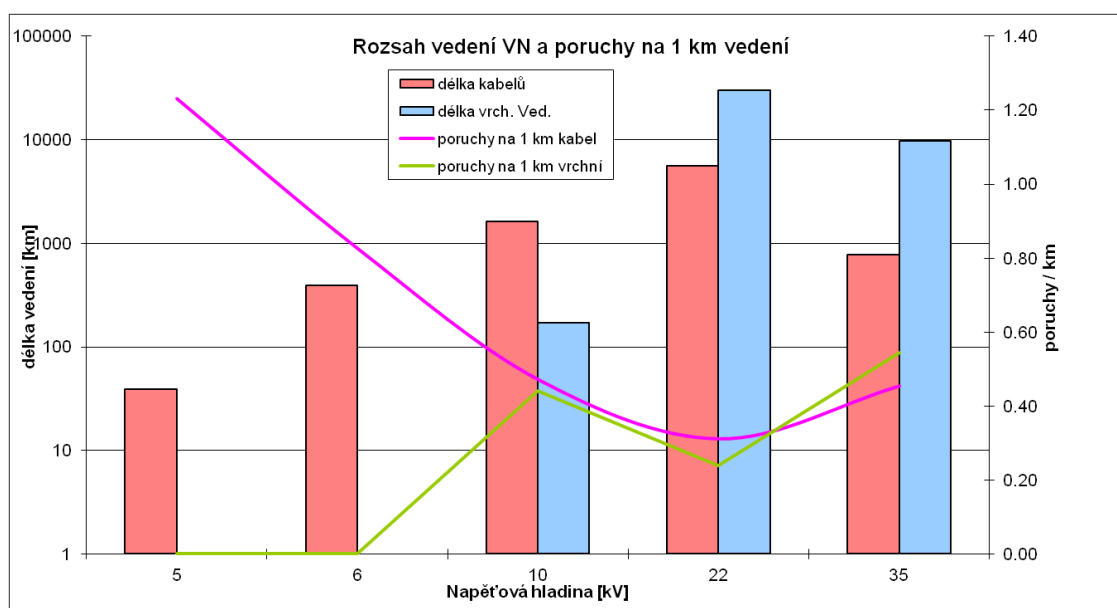
použity v distribuční soustavě, společnost ČEZ počítá s technickou životností 30 let. V následujícím grafu je uveden přehled stáří kabelů VN nad 30 let.



Obrázek 1: Graf znázorňující stáří kabelů v DS. Zdroj vlastní, data ČEZ

Z tohoto grafu je patrné, že nejvíce kabelů, přesahujících technickou životnost 30 let se nachází v soustavách do 10 kV včetně. Toto je další důvod, proč se je třeba přemýšlet o unifikaci, jelikož provoz a údržba takovýchto sítí si bude v následujících letech žádat nemalé finanční prostředky na obnovu kabelů, které jsou na ústupu. Naopak napěťová kladina 22 kV má poměrně malé procento kabelů přesahujících svou technickou životnost. Nabízí se tedy z hlediska stáří sítě za výhodnou pro její další rozšíření v rámci unifikace. Celkové množství kabelů, přesahujících svou technickou životnost je 19%.

Velice důležitým ukazatelem pro plánování budoucího rozvoje distribuční soustavy a její případnou unifikaci je poruchovost stávajících sítí. Poruchovost vyjadřuje počet poruch s poškozením zařízení a je uváděna ve vztahu na jeden kilometr délky. Počty poruch jsou závislé na stáří, rozsahu zařízení a použitých technologiích. V následujícím grafu jsou vyobrazeny počty poruch za celou distribuční soustavu ČEZ Distribuce a.s. z roku 2007 podle napěťových hladin.



Obrázek 2: Graf znázorňující poruchy na hladinách VN v DS, převzato z interních materiálů ČEZ

Fialová křivka znázorňuje počty poruch na všech uvedených napěťových hladinách. Je vidět, že nejvíce poruch se vyskytuje na nižších napěťových hladinách. Je to dáno zejména tím, že tyto napěťové hladiny jsou poměrně staré. Jak bylo uvedeno na předchozím grafu, 34% ze sítí do 10 kV včetně přesahuje svojí technickou dobu životnosti 30 let. Z grafu je patrné, že nejmenší množství poruch se vyskytuje na hladině 22 kV. Je to dáno tím, že tato napěťová hladina vykazuje nejmenší stáří svých prvků. Na obrázku je také vidět, že pokud porovnáme množství délek kabelů v síti 22 kV s množstvím poruch na této napěťové hladině, vychází tento poměr nejlépe ze všech uvedených napěťových hladin. Poruchovost tedy také nahrává k tomu provést v budoucnu unifikaci na napěťovou hladinu 22 kV. Ve městě Děčín, je celá městská část, až na výjimky, provozována na hladině 10 kV a potýká s poměrně četnými poruchami. Tomu by bylo možné předejít, pokud se mi podaří prokázat, že unifikace města Děčín na hladinu 22 kV je správným rozhodnutím, které povede ke stabilnější a méně poruchové síti.

Unifikace se v současné době provádějí výhradně dvojího typu. První z nich je unifikace na 22kV, druhou je unifikace na 35kV. Z toho unifikace na 22kV má v distribuční síti prioritu. Unifikace na 22kV se týká hlavně center měst a hustě obydlených oblastí. Naopak unifikace na 35kV se téměř nepoužívá, protože ve srovnání s napěťovou hladinou 22kV je cena 35 kV zařízení výrazně vyšší. Napěťová hladina 35kV je dána historicky a v dřívějších dobách se používala zejména na dlouhé, málo zatížené sítě, tedy na venkově. Nyní je takovýchto lokalit méně. Vesnice se za posledních pár desítek let velice rozrostly, tím se zvětšila hustota obydlí a vzdálenosti na

přenos se zmenšily. Tímto ubývají oblasti v distribuční soustavě, kde mají 35kV sítě ještě nějaký větší smysl.

V současné době je trend takový, že se 35kV sítě na venkově prozatím nechávají a ve městech a hustých zástavbách se 35kV sítě unifikují na 22kV. Je totiž lepší provozovat optimálně zatíženou 22kV unifikovanou síť v rámci celku, než část jen málo využitě 35kV sítě.

1.3. Cíle a očekávané přínosy unifikace

Unifikace napětí probíhá nejčastěji z nižší hladiny napětí na hladinu vyšší. Je to hlavně z toho důvodu, že pokud stávající rozvod elektrické energie na stávající napěťové hladině vyčerpal své přenosové schopnosti, tak pomocí vyšší hladiny napětí s kabely o větším průřezu získáme dodatečnou přenosovou kapacitu, kterou potřebujeme. Dalším důvodem proč unifikovat napětí je ten, že nám odpadá mezipřeměna, dosáhneme tím ušetření peněžních prostředků na transformátory a jejich ztráty, opravu a údržbu.

Očekávané přínosy unifikace se dají rozdělit na dva druhy. Prvním z přínosů je přínos ekonomický, druhým přínosem je přínos technický. Ekonomický přínos se týká zejména úspor z rozsahu, zjednodušení sítí, snížení počtu prvků a komponent.

- **Úspory z rozsahu:** jedná se o úspory, kterých dosáhneme díky tomu, že provozujeme větší část sítě na stejné napěťové hladině. To znamená, že pro její provoz používáme stejné komponenty. Jedná se o samotné kabely, rozvodny, transformovny, stanice a jejich výzbroj a v neposlední řadě se jedná i o náhradní program. Tedy tím, že unifikujeme síť na určitou napěťovou hladinu, unifikujeme také zařízení s tím spojená. Díky tomu se dostáváme do pozice, kdy poptáváme od dodavatelů větší množství zařízení a materiálu jednoho typu, a tím k výhodnějším cenovým nabídkám na jednotlivá zařízení.

S tím je spojena i úspora skrze lidské zdroje. Při provozování jednotné hladiny napětí odpadá potřeba velkého množství školicích programů. Ať už se jedná o dispečery, montážní čety či softwarovou podporu. Dochází také k unifikaci pracovních pomůcek, náradí a mechanizace. Tím získáváme úsporu z rozsahu. Vedlejším efektem může být také zvýšení bezpečnosti, díky tomu, že montážní čety mají na starost pouze jednu hladinu napětí, nedochází k nehodám způsobeným nesprávnou volbou pracovních pomůcek, pracovního postupu (manipulace s vypínači, ochranná pásma apod.).

Nedílnou součástí úspor z rozsahu je snížení počtu náhradních dílů a s tím spojené snížení potřebné velikosti skladovacích prostor. V situaci, kdy je distribuční soustava provozována na velkém množství různých napěťových hladin je zapotřebí mít na každou napěťovou hladinu dostatečný počet náhradních dílů, které by při nějakém nežádoucím stavu soustavy byly schopny uvést soustavu v co nejkratší době zpět do původního stavu. Tedy čím nižší počet napěťových hladin v dané distribuční síti bude, tím menší množství náhradních dílů je zapotřebí skladovat a tím je možné uspořit za pronájem či vlastnění skladovacích prostor. Na tento problém má návaznost také zjednodušení zásobování náhradními díly z logistického hlediska.

- **Snížení počtu prvků:** Při unifikaci na vyšší napěťovou hladinu dosahujeme úspor z hlediska snížení počtu prvků v soustavě. To je zapříčiněno tím, že vyšší napěťová hladina je schopna přenášet stejný elektrický výkon na delší vzdálenosti. Díky tomu jsme schopni pomocí vhodně zvolené topologie sítě uspořit na mezipřeměnách a také snížit počet stávajících stanic. Na místě, kde na nižší napěťové hladině byla potřebná mezipřeměna, a nyní na vyšší napěťové hladině již zapotřebí není, dosahujeme úspory za transformátor, který v nové síti nebude zapotřebí.

Technické úspory se týkají zejména zvýšení přenosové schopnosti distribuční sítě. Dále také zlepšením provozních podmínek a spolehlivosti celé sítě.

- **Zvýšení přenosové schopnosti sítí:** Tento benefit se týká přechodu z nižší napěťové hladiny na vyšší. Díky přechodu na vyšší napěťovou hladinu jsme při použití stejné velikosti průřezu kabelu jako u nižší napěťové hladiny schopni dosáhnout přenosu většího množství el. energie, což bývá z velké části jeden z hlavních důvodů, proč o unifikaci uvažovat. Tohoto benefitu se využívá zejména v centrech hustě zastavěných měst, kde kabely na staré napěťové hladině nedokážou uspokojit zvyšující se poptávku po elektrické energii a stavba nových nebo paralelních linek je nemožná. Při unifikaci na nižší napěťovou hladinu se tento efekt neprojeví.
- **Snížení počtu transformací:** Při procesu unifikace je snaha vyřadit z provozu sítě o nižších napěťových hladinách a nahradit je novou sítí s co nejmenším počtem různých napěťových hladin. Pokud se pomocí unifikace podaří celou

jednu napěťovou hladinu vyřadit z provozu, snižuje se tak počet mezipřeměn v síti. Tím, že se v síti zmenší počet mezipřeměn, dosáhne síť hospodárnějšího provozu, protože tím dojde ke zmenšení ztrát v síti. Mezipřeměny jsou významným producentem ztrát v sítích, jelikož se jedná o transformátory, jejichž provozní ztráty mohou být až 4%. [2]

- **Zmenšení průřezu:** Je známo, že při přechodu na vyšší napěťovou hladinu je možné přenést stejný objem elektrické energie na menším průřezu vodiče. Přínos nastává, pokud je unifikace prováděna z jiných důvodů, než je nedostatečná přenosová schopnost sítě v daném místě a nepředpokládá se budoucí nárůst spotřeby el. energie. V tomto případě pomocí unifikace dosahujeme přínosu v podobě úspor za použití menšího průřezu vodiče.
- **Snížení ztrát v sítích:** S tímto souvisí výše zmíněné přínosy ohledně zmenšení počtu transformátorů použitých při mezipřeměnách. Dalším příznivým jevem je snížení ztrát ve vedení, kterého lze dosáhnout tím, že pokud se očekává nárůst zatížení sítě, naddimenzuje se průřez vodiče tak, aby byl v budoucnu schopen uspokojit zvyšující se poptávku po el. energii. Pokud tedy nenastane ihned po unifikaci kabelů velký nárůst spotřeby el. energie, přenášíme postupně se zvětšující odběr pomocí většího průřezu, a tím klesají ztráty v kabelu. Pouze však do té doby, než se spotřeba vyrovná optimálnímu zatížení kabelu.

Podle studie, kterou představila ČEZ Distribuce a.s. v roce 2007 je možné snížit ztráty na 22kV síti oproti 10 kV síti až 4,8x.

- **Větší spolehlivost z důvodu lépe propojené sítě:** Po ukončení unifikace se soustava stává mnohem spolehlivější, než tomu bylo před unifikací. A to z toho důvodu, že na jednotné hladině se dají lépe řešit havarijní stavy. Síť je kompaktnější a pro dispečery je na výběr mnohem větší množství alternativ, jak přesměrovat toky energie v jednotlivých uzlech při haváriích pro minimalizaci jejich dopadů na koncové zákazníky.

S tím je spojena 10 kV síť ve městě Děčín, která je velice stará a v poměrně špatném stavu. Navíc její přenosová schopnost je téměř vyčerpána a větší zdroje instalované na území města Děčín jsou napájeny z okrajové sítě 35 kV.

- **Zvýšení flexibility připojování nových odběrů a zejména větších zdrojů:**
Unifikace přináší možnosti navýšení přenosové schopnosti celé sítě, současně jak je uvedeno o bod výše, je schopna zaručit větší spolehlivost a více možností zapojení sítě. Díky tomu je možné na takové síti uspokojit jak stávající zákazníci se stále zvyšující se poptávkou po el. energii, tak i zákazníky nové. V souvislosti s novými zákazníky je výhoda kompaktní unifikované sítě s dostatečnou přenosovou schopností do budoucna připojit a uspokojit nároky zákazníků s většími odběry.

Dalším důvodem k unifikaci a současného posílení sítě je elektromobilita, která je v naší zemi na vzestupu a dá se očekávat, že se projeví i na území města Děčín. V současné době je 10kV síť ve městě Děčín téměř nasycená a není schopna bez větších úprav poskytnout dostatečný výkon pro instalaci nabíjecích stanic pro elektromobily.

1.4. Náročnost unifikace

Unifikace je velice komplexní pojem, který v sobě skýtá mnoho problémových bodů. V ideálním případě se bavíme o unifikaci celé distribuční sítě na její optimální podobu. Už z toho je patrné, že tento proces je nesmírně rozsáhlý a náročný. Jedním z největších problémů unifikace je její náročnost provedení z hlediska připravení ideálního plánu provedení, většinou prostřednictvím studie, časového plánu a také provozu a řízení sítě v období přestavby. Zde jsem uvedl největší problémy spojené s unifikací:

- **Studie proveditelnosti:** Klíčovým bodem k úspěšnému provedení unifikace je pečlivé zpracování studie proveditelnosti, ve které je třeba vyřešit zásadní otázky spojené s výběrem sítě, která bude podrobena unifikaci, jaká napěťová hladina bude v unifikované síti, vyprojektování kabelové trasy, použitých zařízení a rozpis prací nutných k dosažení požadovaného výsledku.
- **Časový harmonogram:** Při takto rozsáhlé stavbě je velice obtížné připravit přesný časový harmonogram, jelikož unifikace měst trvají i několik jednotek až desítek let. Zejména z toho důvodu, že není možné provést celou unifikaci najednou. Je potřeba pečlivě naplánovat etapy, ve kterých bude výstavba probíhat. Běžně počet etap při unifikacích měst přesahuje číslo deset. Například při unifikaci města Liberce, která probíhá od roku 2010, se bavíme o 12 etapách výstavby unifikované sítě. Největší časová náročnost připadá na povolení stavebních prací ve městech. Není možné rozkopat celé město najednou a unifikovat síť, na povolení pro výkopy v určitých ulicích měst se čeká i několik let a

plánují se společně s pracemi na ostatních inženýrských sítích. To je hlavní důvod, obrovské časové náročnosti unifikace a potřeby přesného naplánování všech stavebních prací.

Dále je zapotřebí skloubit časový harmonogram výkopů a staveb s udržitelností provozu schopné sítě. Musejí být naplánovány přeložky kabelů, náhradní zapojení při nenormálních stavech sítě během stavebních prací a především si při celém procesu unifikace soustava musí udržet svou spolehlivost a kvalitu dodávky el. energie.

- **Dopad na odběratele s vlastním distribučním zařízením:** V neposlední řadě nese unifikace nepříznivé dopady na vlastníky a spoluvlastníky unifikovaných stanic a sítí. Musejí se totiž přizpůsobit plánované unifikaci a to znamená, že na vlastní náklady musejí přezbrojit své stanice na jinou napěťovou hladinu. To zahrnuje investici jak do zařízení samotných stanic, tak také do transformátorů, které mají pro vlastní potřebu a také zavedení nové kabeláže na nové napěťové hladině.

Pokud jsme schopni pomocí unifikace eliminovat historicky dané nízké napěťové hladiny, které v dnešní době nemá smysl provozovat, dosahujeme peněžních úspor tím, že odpadá nutnost skladování náhradních dílů pro každou napěťovou hladinu zvlášť, to samé platí pro zaškolení personálu pouze na jednu napěťovou hladinu je zapotřebí pouze jeden typ nářadí a měřících zařízení a podobně. Pokud vezmeme v potaz, že většina stávajících kabelových vedení VN ve městech jsou tvořena olejovými kabely z 80. let, které jsou poměrně značně poruchové a také se začínají blížit ke konci své životnosti, je potřeba je postupně vyměňovat. Všeobecně roste spotřeba elektrické energie a můžeme předpokládat, že ještě několik let bude pokračovat tímto směrem. Proto si myslím, že unifikace je správným krokem kupředu, jelikož navýšení přenosové kapacity a zlepšení spolehlivosti dodávky by mělo být v městských kabelových rozvodech VN prioritou.

Proti těmto uvedeným výhodám hraje proti unifikaci na vyšší napěťovou hladinu zejména velikost investice. Vyšší napěťová hladina s sebou přináší nutnost vodičů s vyšším instalovaným napětím, vodiče s lepší izolací, větší bezpečné vzdálenosti v trafostanicích a rozvodnách, také robustnější měřicí přístroje a ochranné pomůcky. Také je potřeba veškeré trafostanice vyzbrojit výzbrojí na vyšší napěťovou hladinu. Všechny tyto položky jsou dražší pro vyšší napěťovou hladinu než pro napěťovou hladinu nižší. Toto však neplatí pro zařízení na 10 kV, v současné době je cena těchto

zařízení podle ceníků ČEZ Distribuce dražší než zařízení 22 kV. Je to dáno tím, že od 10 kV zařízení se upouští a díky rabatům a různým slevám jsou nyní 22 kV zařízení lacinější.

V této práci se jedná o unifikaci města Děčín ve smyslu výměny a převodu staré kabelové sítě, provozované na napěťové hladině 10 kV na vyšší napěťovou hladinu 22 kV. Výměna kabelů se bude týkat celého města Děčín. Pod město Děčín spadají i přilehlé vesnice, jako jsou Maxičky, Bělá, Bynov, Jalůvčí, Dolní Žleb, Hřensko, Loubí, Mezní Louka, Růžová. V této práci se budu zabývat především centrem města, jelikož je to priorita a bude unifikováno jako první.

1.5. Vedení VN

1.5.1. Parametry vedení

Znalost elektrických parametrů je potřeba z několika důvodů. Jednak pro řešení stacionárních i nestacionárních jevů el. sítí, pro výpočty elektrických sítí v ustáleném stavu a pro výpočty přechodových jevů. Elektrická vedení reprezentují parametry primární a sekundární (odvozené).

Obecně se parametry venkovních vedení pro účely výpočtových analýz elektrizační soustavy mohou uvažovat, buď jako fázové nebo složkové a to soustředěné nebo rozložené. Uvážíme – li rychlost šíření elektromagnetických vln, lze při omezení délek vedení do 300 km uvažovat soustředěné parametry [3]. V této práci proto uvádím vztahy pouze pro soustředěné parametry.

Parametry kabelů se mohou pro účely různých výpočtů modelování elektrizační soustavy použít rovnou složkové a to soustředěné, které se využívají v naprosté většině výpočetních prostředků pro analýzu elektrizační soustavy a také v sekundárních měřících a ochranných zařízeních. Důvodem proto je jednak použití řady vztahů odvozených pro venkovní vedení též pro kabely a také to, že kabely mají většinou vlivem vodivých plášťů výrazně omezené magnetické působení na další blízká kabelová nebo jiná vedení. U kabelů odpadá tedy většinou magnetický vliv na další fáze ve třífázovém vedení, případně na další paralelní kabely apod. [3].

Primárními parametry kabelových vedení jsou:

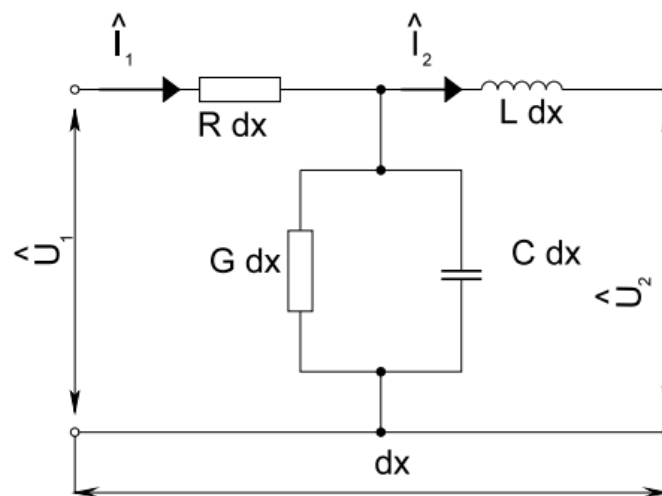
- Činný odpor (rezistence) R_l [Ω/km]
- Provozní indukčnost L_l [H/km]
- Svod a koróna (konduktance) G_l [S/km]
- Provozní kapacita C_l [F/km]

Zpravidla bývají tyto parametry vztaženy na jednotku délky vedení. Při uvažování souměrného napájení a zatížení.

Použití primárních parametrů ve výpočtech elektrických vedení se liší podle toho, zda se jedná o soustavu se střídavým nebo stejnosměrným proudem. Ve střídavých soustavách se v zásadě uplatňují všechny čtyři primární parametry. Avšak vliv těchto parametrů se liší v závislosti na napěťové hladině, délce a provedení elektrického vedení. Z toho důvodu uvažujeme pro výpočet vedení NN pouze činný odpor, u krátkých vedení VN uvažujeme činný odpor a provozní indukčnost, u dlouhých vedení VN a vedení VVN uvažujeme také kapacitní vodivost. Svod je většinou uvažován pouze při výpočtech dlouhých venkovních vedení VVN, která jsou umístěna v oblastech s nepříznivými povětrnostními podmínkami. [4]

Unifikace města Děčín se týká návrhu kabelového vedení o napěťové hladině 22 kV, tedy VN. Z tohoto důvodu bude později při demonstračním výpočtu uvažován pouze činný odpor a provozní indukčnost. Ostatní parametry pro výpočet zanedbávám. Pro úplnost zde uvádím všechny čtyři primární parametry.

Pro odvození vztahů pro výpočet provozních parametrů se vychází z předpokladu, že každé střídavé vedení se skládá z elementárních čtyřpólů spojených do série, které respektují všechny charakteristické vlastnosti vztažené na jednu fázi vedení a jsou u symetrických vedení pro každou fázi stejné. Každý z těchto elementárních čtyřpólů obsahuje charakteristické parametry vedení R_L , L_L , G_L , C_L . Tyto parametry se dají pro potřeby výpočtu znázornit pomocí γ -článek, π -článek nebo T-článek. Příklad takového článku je uveden na obrázku č.3:



Obrázek 3: T-článek, [4]

1.5.2. Dimenzování vodičů a kabelů

1.5.2.1. Dimenzování podle provozní teploty

Elektrický proud procházející vodičem způsobuje ztráty. Vlivem ztrát se vodič otepluje a teplo je současně předáváno do okolí skrze jeho povrch. Velikost vznikajícího tepla (ztrát) závisí na velikosti proudu protékajícího vodičem a také na materiálu, ze kterého je vodič zkonstruován. Velikost předaného tepla závisí na rozdílu teploty vodiče a jeho okolí, na způsobu, kterým je teplo odváděno do okolí a také na typu prostředí, které vodič obklopuje.

Hlediska dimenzování:

- Oteplování holého vodiče stálým proudem
- Bezproudové ochlazování
- Oteplování vodiče proudem skokově proměnným
- Dovolena provozní teplota a základní teplota okolí
- Proudová zatížitelnost
- Dimenzování podle hospodárneho průřezu

Elektrický rozvod je nutné, stejně jako každé jiné zařízení, navrhnout tak, aby bylo pokud možno co nejhospodárnější. Poměrně velkou roli zde hraje volba průřezu vodiče, na kterém je z velké části závislá hospodárnost elektrického rozvodu. Stanovení správného průřezu vodiče má velký význam, protože na něm závisí velikost investičních a provozních nákladů. Pokud bychom průřez vodiče poddimenzovali, objeví se problémy spojené s ohříváním vodiče nad povolenou mez, což má za následek snížení doby životnosti a také se značně zvýší ztráty. Opakem tohoto problému je předimenzování vodiče. Předimenzovaný vodič je tedy také nehospodárny z hlediska nákladů.

V tomto případě nevznikají problémy s provozním stavem vodiče, ale s výší investice. Větší průřez znamená větší náklady.

1.5.2.2. Dimenzování podle mechanické pevnosti

Při navrhování průřezu vodiče je potřeba brát v potaz také jeho mechanickou pevnost. Mechanickou pevností se rozumí, že vodič musí bez porušení vydržet způsob montáže, uložení, provozní podmínky a dynamické působení.

1.5.2.3. Dimenzování podle zkratových proudů

Zkratem rozumíme vzájemné vodivé spojení různých fází elektrizační soustavy v daném místě, v soustavě s uzemněným uzlem spojení fáze ze zemí. Při zkratech

vznikají v obvodech nebezpečně velké zkratové proudy, které mají nepříznivé tepelné a dynamické účinky. Dimenzování vodiče na zkratové proudy je nedílnou součástí při návrhu průřezu vodiče. Vodič musí být schopen odolat dynamickým a tepelným účinkům zkratových proudů. Nesmí být překročeno tepelné a dynamické namáhání vodiče.

Tepelné účinky zkratového proudu: Při zkratu prochází vodičem několikanásobně větší proud, než je proud jmenovitý. Na takto velký proud vodič není dimenzován, proto je snaha dobu trvání zkratu co nejvíce zkrátit. Avšak i za tuto dobu zkratový proud vyvolá velké tepelné účinky, které musí být vodič schopen bez porušení snést. Ve většině případů je tepelná odolnost prvků při zkratech definována pomocí ekvivalentního oteplovacího proudu a časem trvání zkratu. Při správném návrhu vodiče nesmí být tyto hodnoty překročeny.

Dynamické namáhání: Na vodiče, kterými protéká proud, působí síly, které se snaží deformovat jeho obvod tak, aby se v něm zvětšil magnetický tok. Při zkratech působí na vodiče velká silová namáhání vedoucí k jejich destrukci. Proto je při návrhu vodiče potřeba tyto dynamické účinky zkratových proudů určit a přizpůsobit jim průřez, popřípadě typ vodiče.

1.5.2.4. Dimenzování podle úbytku napětí

Dovolené poklesy napětí stanovují normy. Předpokládaná výpočtová zatížení nesmí způsobit pokles napětí na svorkách spotřebičů větší, než tyto normy dovolují. V reálných sítích, zejména v distribučních sítích NN je splnění tohoto požadavku poměrně složité, zvláště na koncích vedení, protože závisí na délce vedení VN, průběhu zatížení a vzdálenosti udržované distribuční sítě NN od napájecího uzlu VVN/VN. Na úbytek napětí má vliv také nastavení odbočky distribučního transformátoru VN/NN, kterou lze přepínat většinou jen z místa. Při dimenzování vodiče je tedy nutné brát ohled na všechny tyto okolnosti a přizpůsobit vodič co nejlépe dané situaci.

1.5.3. Ztráty v navrhovaném rozvodu

Nedílnou součástí dimenzování vodiče je určení a započítání ztrát. Ztráty elektrické energie v přenosu a rozvodu elektrické energie je rozdíl mezi energií dodanou na vstupní straně zařízení a energií odebranou na straně výstupní. Ztráty se dají rozdělit do dvou skupin. První skupinou jsou technické ztráty, které jsou bez užitku pro celou společnost, druhou skupinou jsou tzv. ztráty obchodní, které přinášejí škodu provozovatelům.

Technické ztráty v rozvodu jsou:

- Ztráty způsobené transformací
- Ztráty ve vodičích
- Ztráty přídatné (kompenzací, nedokonalou izolací atd.)

Za obchodní ztráty můžeme považovat například černý odběr nebo nesprávné měření odběru v neprospěch provozovatele, neoprávněné výhody atd.

Cílem této práce není přímo technický návrh vedení a dimenzování vodičů, ale posouzení ekonomické efektivnosti variant obnovy a rozvoje sítí města Děčín. Veškeré potřebné výpočty provozních stavů sítí jsem čerpal z výpočetního programu Bizon. Do výpočtu ekonomického hodnocení jsem zahrnul ztráty způsobené transformací, ztráty ve vodičích.

2. Popis současného stavu

Celá dispečerská oblast Děčín obsahuje kromě města Děčín také velké množství přilehlých příměstských částí a méně či více vzdálených obcí. Jedná se například o obce Těchlovice, Kameneč, Nebočany, Javory a spoustu dalších. Většina z těchto přilehlých obcí je napájena pomocí venkovní 22 kV sítě napájené z jedné strany pomocí TR Děčín Želenice, která je napojena na rozvodnu VVN/VN TR Děčín Východ. Ostatní obce, například Labská Stráň, Bynovec, Arnoltice, Růžová a další, jsou napájeny, až na pár výjimek, vrchním vedením a to z 35 kV vývodů rozvodny VVN/VN TR Želenice a TR Růžová.

V této práci jsem zpracoval unifikaci 10 kV sítě ve městě Děčín na vyšší hladinu napětí. Z tohoto důvodu jsem počítal pouze s linkami vedení, které jsou úzce spojeny s centrem města Děčín, ke kterým jsem přidal také 10 kV linky, pomocí kterých je napájena obec Hřensko a Maxičky. Tímto jsem obsáhl veškeré 10 kV linky nacházející se na daném území.

Město Děčín je také napájeno pomocí kabelové sítě o třech napěťových hladinách. Jsou to hladiny vysokého napětí 10 kV, 22 kV a 35 kV. 10 kV síť ve městě Děčín obsahuje celkem 156 km kabelového vedení, 243 stanic a 369 transformátorů

Město je napájeno pomocí 4 hlavních napájecích bodů. Jedná se o rozvodnu TR Želenice, která se nachází v západní části města, rozvodna TR Růžová, která není součástí města Děčín a nachází se severně od města. TR Chepos, která se nachází

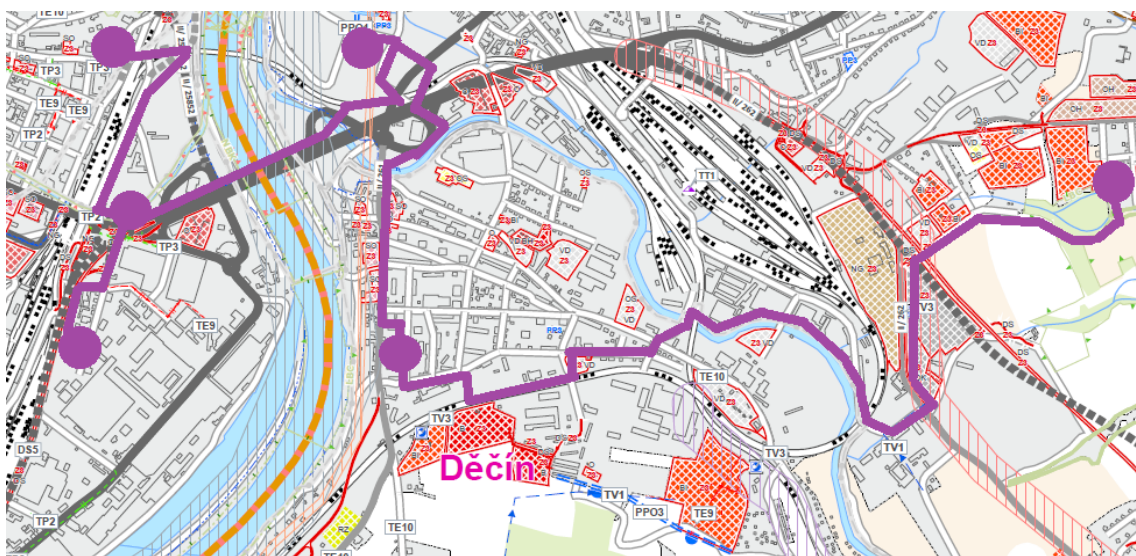
na levém břehu řeky Labe v městské části Rozbělesy a rozvodny TR Východ, která leží východně od města.

Celé město Děčín je napájeno, až na výjimky, z 10 kV sítě. Jedná se o poměrně rozsáhlý kabelový rozvod, který není v nejlepším technickém stavu z hlediska stáří jednotlivých komponent a obsahuje velké množství kabelových spojek. V rámci běžných oprav a rekonstrukcí je kabelový rozvod postupně nahrazován prvky, které jsou již připraveny na napěťovou hladinu 22 kV. Již řadu let zde probíhá tzv. plíživá unifikace. Uvažuje se zde o unifikaci celého města Děčín na napěťovou hladinu 22 kV. V současné době je v plánu unifikace centra města Děčín, samotná stavba však zatím nezačala. Unifikace na vyšší napěťovou hladinu 22 kV ve městě Děčín je nutná z několika důvodů. V současné době přestává stačit přenosová schopnost stávající 10 kV sítě. Dalším důvodem je stáří sítě. V některých úsecích již stará kabelová síť značně přesahuje svou technickou životnost a to jde ruku v ruce s poruchovostí sítě. V neposlední řadě je v zájmu města Děčín mít na svém území síť, která bude připravena na připojení nových velkých zdrojů, které by příznivě přispěly ekonomice města. Dalším důvodem k posílení stávající sítě a unifikací na jednotnou hladinu napětí je možnost budoucího rozvoje elektromobility. V současné době by stávající síť na napěťové hladině 10 kV nebyla schopna pojmout potřebné množství elektrické energie. Tím by město přišlo o možnost přispět svou účastí do rozvoje elektromobility na svém území a případné budování napájecích stanic by se muselo řešit individuálním posilováním částí kabelových sítí, což je velice nákladné a z globálního pohledu toto řešení nedává smysl. Troufám si tedy tvrdit, že unifikace města Děčín na napěťovou hladinu 22kV je v nadcházejících letech nevyhnutelná.

Z tohoto důvodu se níže budu zabývat výpočty, které by měli ověřit, zda je unifikace města Děčín také ekonomicky výhodná. Mým záměrem je dojít v této práci k závěru, zda se z finanční stránky vyplatí provést unifikaci města Děčín jako celku nebo dále provozovat síť na napěťové hladině 10 kV.

2.1. Plánovaný rozvoj města

Město Děčín je rozvíjející se město a tento rozvoj bude patrný i v následujících letech. Mé práce se týká zejména rozvoj města podél výpočtového úseku vedení, který vede z rozvodny TR Východ podél průmyslové části na jihovýchodu města a dále pak v jižní části starého města. Dále pak výpočtová trasa vede do městské zástavby, kde je prostor pro výstavbu městských domů. Na zbylé trase již nejsou volné plochy k další výstavbě podle územního plánu města Děčín z roku 2016. Územní plán města Děčín s vyznačenou trasou pro pozdější detailní výpočet je na tomto obrázku:



Obrázek 4: Územní plán města Děčín s vyznačenou trasou pro detailní výpočet

V území kolem rozvody Východ je velké množství nezastavěné plochy, kterou z části město Děčín uvolnilo pro výstavbu rodinných domů. Podle územního plánu je výstavba v této části ve fázi návrhu. Dále jsou kolem vybraného úseku vedení dvě volné plochy pro průmyslové využití. Jedna z nich je připravena pro CZT Děčín východ.

V jižní části města se nachází průmyslová zóna, se kterou sousedí 4 nové obytné lokality. Dvě z nich jsou určeny pro výstavbu rodinných domů městského typu a zbylé dvě pro výstavbu rodinných domů.

Další poměrně velká plocha pro výstavbu městských domů se nachází v ulici Li-
toměřická u Náměstí 5. května.

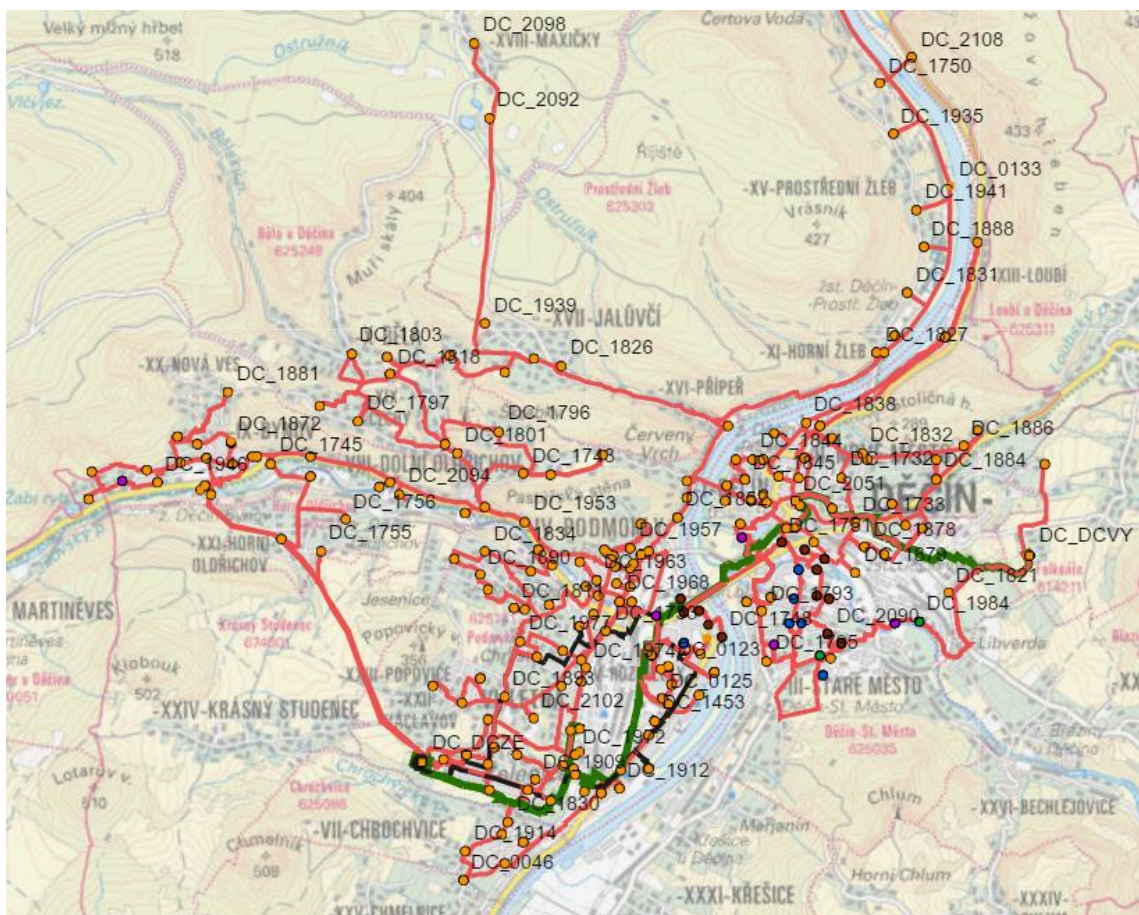
Tyto tři lokality, nacházející se poblíž vybraného úseku pro výpočet, nejvíce ovlivní zatížení v daném úseku kabelového vedení. V současné době se tyto lokality nachází ve stavu návrhu. Pokud dojde k realizaci návrhů a uskuteční se výstavba domů na daném území, můžeme předpokládat, že zatížení sítě vzroste a hrozí nedosta-

tek přenosové schopnosti stávající sítě. Z tohoto důvodu bude nutné v následujících letech posílit přenosovou schopnost kabelové sítě.

Scénáře s možným růstem zatížení s ohledem na připojování nových zákazníků jsem uvedl níže.

2.2. Trasy vedení

Trasy všech kabelových vedení na území města Děčín jsem rozlišil barvami. Pro 10 kV kabely jsem použil červenou barvu. Napětová hladina 22 kV je vyznačena zelenou barvou a pro napětovou hladinu 35 kV jsem použil černou barvu. Trasy vedení jsou znázorněny na obrázku č. 5, který jsem vytvořil pomocí webového programu Arcgis.



Obrázek 5: Trasy jednotlivých napětových hladin

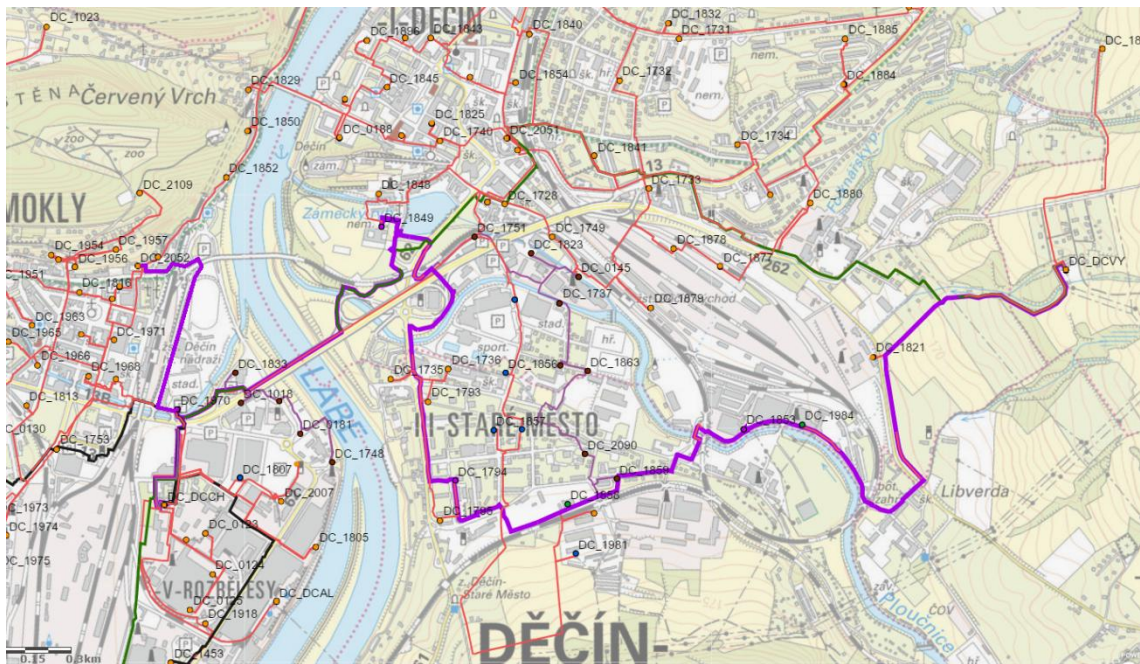
Městská síť města Děčína je rozlehlá a čítá celkem 966 úseků 10 kV kabelů, které mají celkovou délku přes 156 km. K tomuto roku je celkem 30 úseků již rekonstruováno a délka zrekonstruované sítě, která je mladší 30 let, je 3941 m. Z hlediska délky je rekonstruována síť ze 3%. Z toho vyplývá, že zbylých 97% délky sítě 10 kV je v původním stavu. Z hlediska technické životnosti kabelů, za kterou ČEZ Distribuce

považuje 30 let, tuto technickou životnost přesahuje celkem 511 úseků kabelového vedení 10 kV, která vzhledem k délce činí 56% délky sítě. V nejbližší době tedy bude potřeba rekonstruovat primárně tuto část sítě.

Od roku 2007 se již neinstalují kabely se jmenovitým napětím 10 kV, ale jsou při rekonstrukci nahrazovány kabely s instalovaným napětím 22 kV. V současné době obsahuje 10 kV síť 10% délky kabelů s instalovaným napětím 22 kV.

Z hlediska vlastnictví sítě má ČEZ Distribuce 98% sítě ve svém vlastnictví a pouze 2% jsou v cizím vlastnictví. V cizím vlastnictví je celkem 12 úseků o celkové délce 3246 m. Z těchto dvanácti úseků 9 z nich překračuje technickou dobu životnosti a v průběhu několika málo let by měli být také rekonstruovány. Náklady spojené s touto rekonstrukcí do své práce nezapočítávám, jelikož se jedná o náklady majitelů kabelů a ne ČEZ Distribuce.

Pomocí stejného programu jsem znázornil trasu vedení 10 kV, kterou jsem později použil pro detailní výpočet. Trasa výpočtového úseku vede z rozvodny TR Východ jižní částí města skrze průmyslovou zónu, dále pak levou částí Starého města až k zámeckému parku a dále přes Starý most do stanice DC_1970, kde se rozdvojuje. Jedna větev vede do stanice DC_2052 a druhá větev končí ve stanici DC_DCCH. Tato trasa byla zvolena za pomoci odborníků z ČEZ Distribuce jako reálná trasa 1. etapy unifikace města Děčín z technického a provozního hlediska. Trasa obsahuje dostatečné množství prvků sítě pro nouzové napájení zbytku sítě při probíhající unifikaci. Díky tomu je na této trase ve všech jejích částech možný přívod elektrické energie z druhé strany a tím je minimalizován dopad na zákazníky. Tato trasa je znázorněna na obrázku č. 7 pomocí fialové barvy.



Obrázek 6: Trasa pro výpočet

2.3. Technický popis vedení

Celé město Děčín včetně okolí je napájeno ze čtyř hlavních napájecích bodů. Těmito napájecími body jsou TR Želenice, TR Chepos, TR Východ a TR Růžová. Rozvodny TR Želenice a TR Východ jsou napájeny ze sítě o napěťové hladině 110 kV a transformují elektrickou energii na nižší napěťové hladiny 10 kV a 22 kV. Výjimkou je TR Chepos a TR Růžová, které jsou napájeny z hladiny 35 kV a transformují el. energii na 10 kV pro jednotlivé rozvody. TR Chepos je napojena na TR Železnice.

Struktura napájecích bodů		
TR Želenice	10 kV	RVN jednosystém, 8 x vývod, 1 x T104 110/10kV 25MVA, 1 x TVS4
	22kV	RVN jednosystém, 6 x vývod, 1 x T103 110/23kV
TR Chepos	10 kV	RVN jednosystém, 11 x vývod, 1 x T31 35/10,5kV 10MVA, 1 x T32 35/10,5kV 10MVA, 1 x TVS2, 1 x kobka měření
TR Východ	10 kV	RVN jednosystem, 7 x vývod, 1 x T101 110/10,5kV 25MVA, 1 x TVS1, 1 x T21 22/10,5kV 16MVA
	22kV	RVN jednosystem, 1 x vývod, 1 x T21 22/10,5kV 16MVA, 1 x TVS22
TR Růžová	10 kV	RVN jednosystem, 2 x vývod, 1 x T31 35/10,5kV 6,3MVA, 1 x T32 35/10,5kV 6,3MVA

Tabulka 1: Struktura napájecích bodů

Rozvodna vysokého napětí TR Želenice je v jednosystémovém provedení. Je napájena ze 110 kV a dále transformuje elektrickou energii na hladinu 10 kV a 22 kV. 10 kV část obsahuje transformátor 110/10kV T104 s výkonem 25 MVA, který napájí osm vývodů. Na této napěťové hladině se nachází také transformátor pro vlastní spotřebu TVS4. 22 kV část obsahuje transformátor 110/23 kV T103 s výkonem 16 MVA, který napájí šest vývodů.

Rozvodna vysokého napětí TR Chepos je v jedno-systémovém provedení. Je napájena z 35 kV a transformuje elektrickou energii na hladinu 10 kV. Obsahuje transformátory T31 35/10,5 kV s výkonem 10 MVA a transformátor T32 35/10,5 kV s výkonem 10 MVA, které napájejí 11 vývodů.

Rozvodna vysokého napětí TR Východ je v jedno-systémovém provedení. Je napájena ze 110 kV a dále transformuje elektrickou energii na hladinu 10 kV a 22 kV. 10 kV část obsahuje transformátor T101 110/10,5 kV s výkonem 25 MVA, transformátor T21 22/10,5kV s výkonem 16MVA a transformátor vlastní spotřeby TVS1. Transformátory T101 a T21 napájí sedm vývodů. 22 kV část obsahuje transformátor T21 22/10,5 kV s výkonem 16 MVA, který napájí jeden vývod a transformátor vlastní spotřeby TVS22.

Rozvodna vysokého napětí TR Růžová je v jedno-systémovém provedení. Je napájena z 35 kV a transformuje elektrickou energii na hladinu 10 kV. Obsahuje transformátor T31 35/10,5 kV s výkonem 6,3 MVA a transformátor T32 35/10,5 kV s výkonem 6,3 MVA. Napájejí 2 vývody.

3.Návrh obnovy a rozvoje sítě VN města Děčín

Při návrhu obnovy a rozvoje sítě VN ve městě Děčín se z čistě technického hlediska nabízí několik možných variant, jak lze tohoto cíle dosáhnout. Na základě specifikace daného území jsem volil v závislosti na napěťových hladinách celkem čtyři varianty. Jako nulovou variantu jsem zvolil nejrozsáhlejší část stávajícího zařízení distribuční soustavy na území města Děčín, tedy 10 kV.

- **Nulová varianta:** Jedná se o stávající zařízení, které bude provozováno a obnovováno na stávající napěťové hladině 10 kV.
- **Varianta č. 1:** unifikace na jednotnou napěťovou hladinu 22 kV
- **Varianta č. 2:** unifikace napětí na jednotnou napěťovou hladinu 35 kV
- **Varianta č. 3:** přechod na dvě nejvýznamnější napěťové hladiny v rámci místní distribuční soustavy 22 kV a 35 kV a jejich oddělený provoz

3.1. Nulová varianta

Nulová varianta je založena na stávající síti 10 kV, která postupně dožívá a není dále rozvíjena. Z globálního hlediska je tato síť neperspektivní z hlediska stárí, nutnému počtu mezitransformací a své přenosové schopnosti v rozvíjejícím se městě Děčín. Z pohledu ČEZ Distribuce napěťové hladiny do 10 kV včetně odpovídají necelým 5% z celkového rozsahu provozovaných sítí této společnosti. S tím je spojena i cena zařízení 10 kV, která je v dnešní době vyšší, než cena zařízení s instalovaným napětím 22 kV. V dnešní době tedy realizace nových a obnova stávajících zařízení na hladině 10 kV vypadá tak, že se ve většině případů používají zařízení s instalovaným napětím 22 kV. Tato varianta tedy není příliš perspektivní do budoucna, pokud přihlídneme na fakt, že tato síť je již z části vybavena zařízením s instalovaným napětím 22 kV.

3.2. Varianta č. 1

Varianta č. 1 má za úkol převést distribuční soustavu provozovanou společností ČEZ Distribuce na jednotnou hladinu napětí 22 kV. Jednalo by se tedy o zredukování všech nižších napěťových hladin na 22 kV a současně také přechod ze stávajících 35 kV na 22 kV. Největší výhodou této varianty je jednotnost ve standardech energetických zařízení na hladině VN. Tato varianta se zdá také jako ideální technické řešení sítě VN, protože ruší všechny mezitransformace a umožňuje provoz rozsáhlé jednotné sítě na celém území ČEZ Distribuce. Nevýhodou této varianty je nutnost výstavby nových vedení 110 kV a 22 kV, které by nahradily stávající rozvody v oblastech napájených na napěťové hladině 35 kV. To se nepříznivě projeví ve finanční a časové náročnosti, jelikož při výstavbě nových vedení a staveb je největším problémem územní a majetkové vypořádání.

3.3. Varianta č. 2

Varianta č. 2 přináší podobně jako varianta č. 1 největší přínos v jednotnosti energetických zařízení na hladině VN. Také tato varianta přináší optimální technické řešení sítě. Ruší všechny mezitransformace. Jednalo by se o rozsáhlou jednotnou síť, díky čemuž by bez omezení umožňovala provoz na rozhraní stávajících napěťových

oblastí VN. Podle ČEZ Distribuce je navíc schopna zvýšit přenosovou schopnost distribuční soustavy a to až o cca 30%. Jednou z nevýhod této varianty je, že napěťová hladina 35 kV není součástí mezinárodní řady napětí IEC a je na území ČR provozována na základě výjimky. Největší nevýhodou této varianty je, stejně jako u varianty č. 1, její finanční a časová náročnost. Zde v porovnání s variantou č. 1 je náročnost ještě mnohem markantnější, protože na napěťové hladině 35 kV je provozováno jen malé množství sítě. Téměř 80% všech prvků v distribuční soustavě ČEZ Distribuce je provozována napěťových hladinách nižších než 35 kV, z toho nejvíce rozšířenou hladinou napětí je 22 kV. Další nevýhodou je cena zařízení, která je větší, než cena zařízení pro nižší napěťové hladiny. Stejně jako u varianty č. 1 by i zde byla nezbytná výstavba nových vedení, napájecích uzlů a stanic se zařízením pro 35 kV. Problém s touto napěťovou hladinou nastává i při přezbrojení stávajících distribučních stanic z nižší napěťové hladiny na hladinu 35 kV, jelikož zařízení na této napěťové hladině se vyznačuje většími rozměry a také ochrannými vzdálenostmi. Na rozdíl od přechodu z 10 kV a nižších na 22 kV, které jsou téměř kompatibilní. Znamenalo by to tedy další stavební zásahy do již stávajících staveb, které tuto variantu znevýhodňují z finančního i časového hlediska.

3.4. Varianta č. 3

Varianta č. 3 je kombinací předchozích variant č.1 a č. 2. Jedná se o přechod na napětí 22 kV a zároveň 35 kV. Tato varianta přináší výhody obou předchozích variant a odstraňuje finanční a časovou náročnost spojenou s převáděním velkého množství sítě na jinou napěťovou hladinu. Z pohledu celé distribuční soustavy se jedná ve většině případů o unifikaci městských sítí na 10 kV hladině a nižší na hladinu 22 kV. Tam, kde se vyskytuje 35 kV síť, bude tato síť nadále provozována za stejných podmínek. Na území Děčín se jedná o unifikaci městské části kabelové sítě z 10 kV na novou 22 kV kabelovou síť, za současného ponechání 35 kV sítě, která je použita na okrají města pro napájení železnice a několika výrobních podniků. Dále bude 35 kV síť ponechána v přílehlé vesnici Růžová. Toto kompromisní řešení se z mého pohledu jeví jako nejrozumnější, protože si myslím, že se jedná o variantu s minimálním zásahem do provozu soustavy a předpokládám, že se bude jednat o variantu, která je z finančního i časového hlediska nejprijatelnější.

3.5. Stanovení investičních nákladů pro jednotlivé varianty unifikace

Po nastudování situace ve městě Děčín jsem provedl stanovení investičních nákladů pro tyto varianty. Do těchto nákladů jsem nezahrnul cenu lidského faktoru, kvůli velkému rozsahu prací a časové náročnosti. V rámci této práce nejsem schopen stanovit trvání celé stavby, protože není možné rozkopat celé město kvůli výměně kabelové sítě. V reálném případě se celá stavba dělí na jednotlivé etapy, které jsou stanoveny jednak z technického hlediska a jednak z hlediska zpřístupnění částí města pro stavbu.

Počítám s technickou životností zařízení 30 let. Technická doba životnosti transformátoru VN/NN se udává 35 let. Já zde počítám s 30 lety na základě konzultací s odborníky z ČEZ Distribuce, kteří tvrdí, že na základě měření a diagnostiky transformátorů se v reálných podmínkách technická doba životnosti pohybuje okolo 30 let. Dalším důvodem pro volbu 30 let je ten, že se nepředpokládá započítání unifikace ihned, ale ve výhledu 10 let, dostávám tím určitou rezervu.

Veškeré nákladové položky jsem převzal z ceníku ČEZ Distribuce.

3.5.1. Nulová varianta

Tato varianta uvažuje provoz stávajícího systému kabelového vedení 10 kV, kterým je napájeno město Děčín. To znamená ponechání všech mezitransformací a rozvodů. Bude se jednat pouze o výměnu a rekonstrukci dožívajících prvků stávající sítě.

3.5.1.1. Kabely

Bude se tedy jednat o výměnu kabelů, jejichž stáří přesahuje 30 let, o celkové délce 72 km. Celkem na patnácti místech bude zapotřebí provést protlak kabelu. Na místech, kde kabelová trasa vede skrz méně frekventované silniční trasy, bude proveden překop s následnou provizorní zádlažbou. V tomto případě se bude jednat celkem o 60 míst, kde bude překop proveden.

Po umístění nových kabelů bude uveden povrch výkopu do původního stavu. V případě chodníků se provede opětovná zádlažba, v případě silnic zaasfaltování výkopu.

Do ceny stavby se také promítne cena projektové dokumentace, za kterou se považuje 16% z ceny stavby.

Odhad investičních nákladů na rekonstrukci kabelů 10 kV sítě uvádím v následující tabulce.

Varianta 10KV Celková		
Kabely		
Celková délka kabelu	72.00	km
Cena kabelu	60 179 760 Kč	
Demontáž kabelu	72 000 Kč	
Geodetické vytýčení před zahájením stavby	2 448 000 Kč	
Geodetické zaměření po dokončení stavby	2 268 000 Kč	
Počet koncovek kabelu	280	Ks
Cena koncovek kabelu	952 000 Kč	
Počet startovacích jam na protlak	15	Ks
Cena jam na protlak	67 500 Kč	
Střední délka protlaku	15	m
Cena protlaku	607 500 Kč	
Počet překopů	60	Ks
Střední délka překopu	15	m
Cena překopu	3 321 000 Kč	
Část kabelu v chodníku	30%	
Část kabelu ve vozovce	30%	
Část kabelu mimo chodník a vozovku	40%	
Část kabelu ve vozovce nebo chodníku	60%	
Uvedení chodníku do původního stavu	21	km
Uvedení vozovky do původního stavu	21	km
Ostatní do původního stavu	29	km
Cena uvedení chodníku do původního stavu	16 600 818 Kč	
Cena uvedení vozovky do původního stavu	19 869 000 Kč	
Cena za výkop a zákop	14 520 000 Kč	
Projektová dokumentace v procentech z ceny stavby	16%	
Celkem	140 250 470 Kč	

Tabulka 2: Odhad investičních nákladů na kabely

3.5.1.2. Stanice

Při výpočtu této varianty jsem objevil celkem 19 stanic, které přežívají technickou dobu životnosti 50 let. U těchto stanic bude potřeba provést individuální stavební úpravy. Po konzultaci s odborníky z ČEZ Distribuce jsem stanovil průměrnou hodnotu rekonstrukce 200 tis Kč.

Kromě stavebních úprav bude nutné vyměnit ve starých rozvodnách rozvaděče VN. Stávající budou demontovány a nahrazeny novými VN rozvaděči do DTS

s instalovaným napětím 22 kV, typu KKT. V současné době se již neinstalují VN rozvaděče 10 kV, protože jejich cena je vyšší než 22 kV rozvaděče VN.

Stanice		
Počet stanic starších 50 let	19	Ks
Průměrná cena rekonstrukce stanice	200 000 Kč	
Celkem	3 800 000 Kč	

Tabulka 3: Odhad investičních nákladů na stanice

Technologie		
Počet rozvaděčů VN	19	Ks
Demontáž starých rozvaděčů	142 500 Kč	
Cena rozvaděčů 22 kV KKT do DTS	3 230 000 Kč	
Celkem	3 372 500 Kč	

Tabulka 4: Odhad investičních nákladů technologie

3.5.1.3. Transformátory

Při rekonstrukci 10 kV sítě bude potřeba vyměnit celkem 131 transformátorů, které jsou starší než 30 let.

Transformátory		
131 transformátorů starších 30 let		
Transformátor 10/0.4 kV 400 kVA počet	99	Ks
Transformátor 10/0.4 kV 400 kVA cena	343 000 Kč	
Transformátor 10/0.4 kV 250 kVA počet	4	Ks
Transformátor 10/0.4 kV 250 kVA cena	253 000 Kč	
Transformátor 10/0.4 kV 100 kVA počet	2	Ks
Transformátor 10/0.4 kV 100 kVA cena	183 000 Kč	
Transformátor 10/0.4 kV 315 kVA počet	0	Ks
Transformátor 10/0.4 kV 315 kVA cena	290 000 Kč	
Transformátor 10/0.4 kV 630 kVA počet	7	Ks
Transformátor 10/0.4 kV 630 kVA cena	419 000 Kč	
Transformátor 10/0.4 kV 160 kVA počet	1	Ks
Transformátor 10/0.4 kV 160 kVA cena	218 000 Kč	
Transformátor 10/0.4 kV 1 MVA počet	0	Ks
Transformátor 10/0.4 kV 1 MVA cena	440 000 Kč	
Celkem	38 486 000 Kč	

Tabulka 5: Odhad investičních nákladů na transformátory

3.5.1.4. Napájecí body

Z pohledu napájecích bodů se zde nepředpokládají žádné velké změny a struktura napájecích bodů bude stejná jako doposud.

3.5.2. Varianta č. 1

Tato varianta představuje unifikaci dané lokality na 22 kV. To znamená demontáž stávající 10 kV a 35 kV sítě a položení nových kabelových vedení s provozním napětím 22 kV. Dále výměna transformátorů a výbroje stanic na stávajících napěťových hladinách za 22 kV prvky. Dále bude potřeba upravit také napájecí body, zejména vyměnit jejich transformátory za 22 kV.

3.5.2.1. Kabely

Bude se jednat o výměnu kabelů, o celkové délce 137 km. Na dvaceti místech bude zapotřebí provést protlak kabelu. Na místech, kde kabelová trasa vede skrz méně frekventované silniční trasy, bude proveden překop s následnou provizorní zádlažbou. V tomto případě se bude jednat celkem o 100 míst, kde bude překop proveden.

Po umístění nových kabelů bude uveden povrch výkopu do původního stavu. V případě chodníků se provede opětovná zádlažba, v případě silnic zaasfaltování výkopu.

Odhad investičních nákladů na rekonstrukci kabelů 10 kV sítě uvádím v následující tabulce.

Varianta 22KV Celková		
Kabely		
Celková délka kabelu	137.30	km
Cena kabelu	114 759 459 Kč	
Demontáž kabelu	1 373 000 Kč	
Geodetické vytýčení před zahájením stavby	4 668 200 Kč	
Geodetické zaměření po dokončení stavby	4 324 950 Kč	
Počet koncovek kabelu	412	
Cena koncovek kabelu	2 005 616 Kč	
Počet startovacích jam na protlak	20	
Cena jam na protlak	90 000 Kč	
Střední délka protlaku	15	m
Cena protlaku	1 035 000 Kč	
Počet překopů	100	
Střední délka překopu	15	m
Cena překopu	5 535 000 Kč	
Část kabelu v chodníku	30%	
Část kabelu ve vozovce	30%	
Část kabelu mimo chodník a vozovku	40%	
Část kabelu ve vozovce nebo chodníku	60%	
Uvedení chodníku do původního stavu	41	km
Uvedení vozovky do původního stavu	41	km
Ostatní do původního stavu	55	km
Cena uvedení chodníku do původního stavu	31 740 950 Kč	
Cena uvedení vozovky do původního stavu	37 989 750 Kč	
Cena za výkop a zákop	27 580 000 Kč	
Projektová dokumentace v procentech z ceny stavby	16%	
Celkem	268 078 232 Kč	

Tabulka 6: Odhad investičních nákladů na kabely

3.5.2.2. Stanice

Při výpočtu této varianty jsem objevil celkem 19 stanic, které přežívají technickou dobu životnosti 50 let. U těchto stanic bude potřeba provést individuální stavební úpravy. Po konzultaci s odborníky z ČEZ Distribuce jsem stanovil průměrnou hodnotu rekonstrukce 200 tis Kč.

Kromě stavebních úprav bude nutné vyměnit ve starých rozvodnách rozvaděče VN. Stávající budou demontovány a nahrazeny novými VN rozvaděči do DTS s instalovaným napětím 22 kV, typu KKT.

Stanice		
Počet stanic starších 50 let	19	Ks
Průměrná cena rekonstrukce stanice	200 000 Kč	
Celkem	3 800 000 Kč	

Tabulka 7: Odhad investičních nákladů na stanice

Technologie		
Počet rozvaděčů VN	251	Ks
Demontáž starých rozvaděčů	1 731 900 Kč	
Cena rozvaděčů 22 kV KKT do DTS	31 375 000 Kč	
Celkem	33 106 900 Kč	

Tabulka 8: Odhad investičních nákladů technologie

3.5.2.3. Transformátory

Při unifikaci na 22 kV bude potřeba vyměnit celkem 208 transformátorů, které jsou starší než 30 let.

Transformátory		
208 transformátorů nutno vyměnit		
Transformátor 22/0.4 kV 400 kVA počet	167	Ks
Transformátor 22/0.4 kV 400 kVA cena	257 000 Kč	
Transformátor 22/0.4 kV 250 kVA počet	12	Ks
Transformátor 22/0.4 kV 250 kVA cena	200 000 Kč	
Transformátor 22/0.4 kV 100 kVA počet	7	Ks
Transformátor 22/0.4 kV 100 kVA cena	145 000 Kč	
Transformátor 22/0.4 kV 315 kVA počet	0	Ks
Transformátor 22/0.4 kV 315 kVA cena	230 000 Kč	
Transformátor 22/0.4 kV 630 kVA počet	18	Ks
Transformátor 22/0.4 kV 630 kVA cena	316 000 Kč	
Transformátor 22/0.4 kV 160 kVA počet	4	Ks
Transformátor 22/0.4 kV 160 kVA cena	180 000 Kč	
Transformátor 22/0.4 kV 1 MVA počet	0	Ks
Transformátor 22/0.4 kV 1 MVA cena	361 000 Kč	
Celkem	52 742 000 Kč	

Tabulka 9: Odhad investičních nákladů na transformátory

3.5.2.4. Napájecí body

V TR Železnice je zapotřebí vyměnit stávající rozvodnu VN 22 kV na nový dvou-systém 22 kV s podélným dělením a příčnou spojkou. V nové rozvodně bude 20 polí. Dále je zapotřebí vyměnit transformátor T103 za nový s parametry 110/22 kV 40 MVA.

TR Chepos čeká výměna stávající rozvodny VN za nový 22 kV dvou-systém podélně dělený s příčnou spojkou. V nové rozvodně VN bude 16 polí. Dojde k výměně transformátoru T32 za 35/22 kV 10 MVA, ze kterého jedna přípojnice bude pro provoz stávajících vývodů 10 kV napájena ze stávajícího transformátoru T31 35/22 kV a druhá přípojnice bude na 22 kV z nového T32 35/22 kV.

TR Východ čeká výměna stávající rozvodny VN za nový 22 kV dvou-systém podélně dělený s příčnou spojkou. V nové rozvodně VN bude 14 polí. Do jedné přípojnice bude připojen stávající vývod 22kV Měnírna ČD a TVŠ22. Druhá přípojnice zajistí provoz 22 kV sítě z transformátoru T21, který bude napájen ze strany 10 kV z transformátoru T101.

TR Růžová podstoupí výměnu zařízení na rozvodně VN z původních 10 kV na 22 kV. Jedná se o podélně dělený jedno-systém se čtyřmi poli. Dojde k výměně transformátoru T32 za 35/22 kV 6,3 kVA. Do jedné přípojnice budou připojeny stávající 2 vývody 10 kV s transformátorem T31 35kV/10,5 kV. Na druhé přípojnici bude nový transformátor T32 35/22 kV a dvakrát rezerva.

Napájecí body		
TR Chepos		
Počet polí		16
Cena za pole		10 400 000 Kč
Transformátor 35/22 kV 10 MVA		8 000 000 Kč
TR Východ		
Počet polí		14
Cena za pole		9 100 000 Kč
TR Růžová		
Počet polí		4
Cena za pole		2 600 000 Kč
Transformátor 35/22 kV 6,3 MVA		7 000 000 Kč
TR Želenice		
Počet polí		20
Cena za pole		16 716 600 Kč
Transformátor 110/22 kV 40 MVA		16 000 000 Kč
Celkem		37 100 000 Kč

Tabulka 10: Odhad investičních nákladů pro napájecí body

3.5.3. Varianta č. 2

Tato varianta představuje unifikaci dané lokality na 35 kV. To znamená demontáž stávající 10 kV a 22 kV sítě a položení nových kabelových vedení s provozním napětím 35 kV. Dále výměna transformátorů a výzbroje stanic na stávajících napěťových hladinách za 35 kV prvky. Stávající prvky s provozním napětím 35 kV budou ponechány. Vymění se pouze dožívající zařízení. Dále bude potřeba upravit také napájecí body, zejména vyměnit jejich transformátory za 35 kV.

3.5.3.1. Kabely

Bude se tedy jednat o výměnu kabelů, o celkové délce 145 km. Na dvaceti místech bude zapotřebí provést protlak kabelu. Na místech, kde kabelová trasa vede skrz méně frekventované silniční trasy, bude proveden překop s následnou provizorní zádlahou. V tomto případě se bude jednat celkem o 100 míst, kde bude překop proveden.

Po umístění nových kabelů bude uveden povrch výkopu do původního stavu. V případě chodníků se provede opětovná zádlaha, v případě silnic zaasfaltování výkopu. Odhad investičních nákladů na rekonstrukci kabelů 10 kV sítě uvádím v následující tabulce.

Varianta 35KV Celková		
Kabely		
Celková délka kabelu	144.8	km
Cena kabelu	139 008 000 Kč	
Demontáž kabelu	1 448 000 Kč	
Geodetické vytyčení před zahájením stavby	4 923 200 Kč	
Geodetické zaměření po dokončení stavby	4 561 200 Kč	
Počet koncovek kabelu	412	
Cena koncovek kabelu	2 678 000 Kč	
Počet startovacích jam na protlak	20	
Cena jam na protlak	90 000 Kč	
Střední délka protlaku	15	m
Cena protlaku	1 035 000 Kč	
Počet překopů	100	
Střední délka překopu	15	m
Cena překopu	5 535 000 Kč	
Část kabelu v chodníku	30%	
Část kabelu ve vozovce	30%	
Část kabelu mimo chodník a vozovku	40%	
Část kabelu ve vozovce nebo chodníku	60%	
Uvedení chodníku do původního stavu	43	km
Uvedení vozovky do původního stavu	43	km
Ostatní do původního stavu	58	km
Cena uvedení chodníku do původního stavu	33 479 862 Kč	
Cena uvedení vozovky do původního stavu	40 071 000 Kč	
Cena za výkop a zákop	29 080 000 Kč	
Projektová dokumentace v procentech z ceny stavby	16%	
Celkem	303 814 744 Kč	

Tabulka 11: Odhad investičních nákladů na kabely

3.5.3.2. Stanice

Při výpočtu této varianty jsem objevil celkem 251 stanic, u kterých bude potřeba provést stavební úpravy a rozšíření pro 35 kV zařízení, jelikož stávající stavby rozměrově nevyhovují pro provoz 35 kV zařízení. Po konzultaci s odborníky z ČEZ Distribuce jsem stanovil průměrnou hodnotu rekonstrukce 400 tis Kč.

Kromě stavebních úprav bude nutné vyměnit ve starých rozvodnách rozvaděče VN. Stávající budou demontovány a nahrazeny novými VN rozvaděči do DTS s instalovaným napětím 35 kV, typu KKT.

Stanice		
Počet stanic starších 50 let	243	Ks
Průměrná cena rekonstrukce stanice	400 000 Kč	
Celkem	97 200 000 Kč	

Tabulka 12: Odhad investičních nákladů na stanice

Technologie		
Počet rozvaděčů VN	251	Ks
Demontáž starých rozvaděčů	2 058 200 Kč	
Cena rozvaděčů 35 kV KKT do DTS	110 440 000 Kč	
Celkem	112 498 200 Kč	

Tabulka 13: Odhad investičních nákladů technologie

3.5.3.3. Transformátory

Při unifikaci na jednotnou hladinu napětí 35 kV bude potřeba vyměnit celkem 245 transformátorů, které jsou starší než 30 let.

Transformátory		
245 transformátorů nutno vyměnit		
Transformátor 35/0.4 kV 400 kVA počet	197	Ks
Transformátor 35/0.4 kV 400 kVA cena	290 000 Kč	
Transformátor 35/0.4 kV 250 kVA počet	14	Ks
Transformátor 35/0.4 kV 250 kVA cena	239 000 Kč	
Transformátor 35/0.4 kV 100 kVA počet	6	Ks
Transformátor 35/0.4 kV 100 kVA cena	168 000 Kč	
Transformátor 35/0.4 kV 315 kVA počet	0	Ks
Transformátor 35/0.4 kV 315 kVA cena	260 000 Kč	
Transformátor 35/0.4 kV 630 kVA počet	23	Ks
Transformátor 35/0.4 kV 630 kVA cena	346 000 Kč	
Transformátor 35/0.4 kV 160 kVA počet	4	Ks
Transformátor 35/0.4 kV 160 kVA cena	202 000 Kč	
Transformátor 35/0.4 kV 1 MVA počet	0	Ks
Transformátor 35/0.4 kV 1 MVA cena	388 000 Kč	
Transformátor 35/0.4 kV 50 kVA počet	1	Ks
Transformátor 35/0.4 kV 50 kVA cena	133 000 Kč	
Celkem	70 383 000 Kč	

Tabulka 14: Odhad investičních nákladů na transformátory

3.5.3.4. Napájecí body

V TR Železnice je zapotřebí vyměnit stávající rozvodnu VN 22 kV na nový dvou-systém 35 kV s podélným dělením a příčnou spojkou. V nové rozvodně bude 20

polí. Dále je zapotřebí vyměnit transformátor T103 za nový s parametry 110/35 kV 40 MVA.

TR Chepos čeká výměna stávající rozvodny VN za nový 35 kV dvou-systém podélně dělený s příčnou spojkou. V nové rozvodně VN bude 16 polí. Dojde k odstranění mezitransformace.

TR Východ čeká výměna stávající rozvodny VN za nový 35 kV dvou-systém podélně dělený s příčnou spojkou. V nové rozvodně VN bude 14 polí.

TR Růžová podstoupí výměnu zařízení na rozvodně VN z původních 10 kV na 35 kV. Jedná se o podélně dělený jedno-systém se čtyřmi poli. Dojde k odstranění mezitransformace.

Napájecí body		
TR Chepos		
Počet polí		16
Cena za pole	12 800 000 Kč	
TR Východ		
Počet polí		14
Cena za pole	11 200 000 Kč	
TR Růžová		
Počet polí		4
Cena za pole	3 200 000 Kč	
TR Želenice		
Počet polí		20
Cena za pole	16 000 000 Kč	
Transformátor 110/22 kV 40 MVA	20 000 000 Kč	
Celkem	63 200 000 Kč	

Tabulka 15: Odhad investičních nákladů pro napájecí body

3.5.4. Varianta č. 3

Tato varianta představuje unifikaci 10 kV sítě na 22 kV a 35 kV síť se ponechá v původním stavu. Na 35 kV síti se provede pouze výměna dožívajících prvků sítě.

3.5.4.1. Kabely

Bude se tedy jednat o výměnu kabelů, o celkové délce 133 km. Na provozní hladině napětí 10 kV dojde k výměně veškerých kabelů se jmenovitým napětím 10 kV o celkové délce 128 km. Kabely se jmenovitým napětím 22 kV, a průřezem jádra 240 mm², které nepřesahují stáří 30 let, budou ponechány. U 35 kV kabelů budou nahrazeny pouze kabely starší 30 let s celkovou délkou 5 km.

Na dvaceti místech bude zapotřebí provést protlak kabelu. Na 100 místech bude proveden překop.

Po umístění nových kabelů bude uveden povrch výkopu do původního stavu. V případě chodníků se provede opětovná zádlažba, v případě silnic zaasfaltování výkopu.

Odhad investičních nákladů na rekonstrukci kabelů 10 kV sítě uvádím v následující tabulce.

Varianta 22KV + 35kV			
	Kabely 22 kV	Kabely 35 kV	
Celková délka kabelu	128.3	5	km
Cena kabelu	107 236 989 Kč	4 800 000 Kč	
Demontáž kabelu	1 283 000 Kč	50 000 Kč	
Geodetické vytýčení před zahájením stavby	4 362 200 Kč	170 000 Kč	
Geodetické zaměření po dokončení stavby	4 041 450 Kč	157 500 Kč	
Počet koncovek kabelu	412	412	
Cena koncovek kabelu	2 005 616 Kč	2 678 000 Kč	
Počet startovacích jam na protlak	20	20	
Cena jam na protlak	90 000 Kč	90 000 Kč	
Střední délka protlaku	15	15	m
Cena protlaku	1 035 000 Kč	1 035 000 Kč	
Počet překopů	100	100	
Střední délka překopu	15	15	m
Cena překopu	5 535 000 Kč	5 535 000 Kč	
Část kabelu v chodníku	30%	30%	
Část kabelu ve vozovce	30%	30%	
Část kabelu mimo chodník a vozovku	40%	40%	
Část kabelu ve vozovce nebo chodníku	60%	60%	
Uvedení chodníku do původního stavu	38	1.4	km
Uvedení vozovky do původního stavu	38	1.4	km
Ostatní do původního stavu	52	2.2	km
Cena uvedení chodníku do původního stavu	29 654 255 Kč	1 066 533 Kč	
Cena uvedení vozovky do původního stavu	35 492 250 Kč	1 276 500 Kč	
Cena za výkop a zákop	25 780 000 Kč	1 120 000 Kč	
Projektová dokumentace v procentech z ceny stavby	16%	16%	
Celkem	251 158 281 Kč	20 855 098 Kč	

Tabulka 16: Odhad investičních nákladů na kabely

3.5.4.2. Stanice

V této variantě je 19 stanic, které přežívají technickou dobu životnosti 50 let. U těchto stanic bude potřeba provést individuální stavební úpravy.

Kromě stavebních úprav bude nutné vyměnit v původních 10 kV rozvodnách rozvaděče VN. Stávající budou demontovány a nahrazeny novými VN rozvaděči do DTS s instalovaným napětím 22 kV, typu KKT.

Na napěťové hladině 35 kV není potřeba měnit VN rozvaděče ani provádět rekonstrukce, protože jejich stáří nepřesahuje technickou dobu životnosti.

Stanice	22 kV	35 kV	
Počet stanic starších 50 let	19	0	Ks
Průměrná cena rekonstrukce stanice	200 000 Kč	200 000 Kč	
Celkem	3 800 000 Kč	0 Kč	

Tabulka 17: Odhad investičních nákladů na stanice

Technologie	22 kV	35 kV	
Počet rozvaděčů VN	251	0	Ks
Demontáž starých rozvaděčů	1 731 900 Kč	0 Kč	
Cena rozvaděčů 22 kV KKT do DTS	31 375 000 Kč	0 Kč	
Celkem	33 106 900 Kč	0 Kč	

Tabulka 18: Odhad investičních nákladů technologie

3.5.4.3. Transformátory

Při unifikaci na 22 kV bude potřeba vyměnit celkem 200 transformátorů. Na napěťové hladině 35 kV je potřeba vyměnit pouze 1 transformátor kvůli jeho stáří.

Transformátory	22 kV	35 kV	
Transformátor 22(35)/0.4 kV 400 kVA počet	164	0	Ks
Transformátor 22(35)/0.4 kV 400 kVA cena	257 000 Kč	290 000 Kč	
Transformátor 22(35)/0.4 kV 250 kVA počet	12	0	Ks
Transformátor 22(35)/0.4 kV 250 kVA cena	200 000 Kč	239 000 Kč	
Transformátor 22(35)/0.4 kV 100 kVA počet	3	1	Ks
Transformátor 22(35)/0.4 kV 100 kVA cena	145 000 Kč	168 000 Kč	
Transformátor 22(35)/0.4 kV 315 kVA počet	0	0	Ks
Transformátor 22(35)/0.4 kV 315 kVA cena	230 000 Kč	260 000 Kč	
Transformátor 22(35)/0.4 kV 630 kVA počet	17	0	Ks
Transformátor 22(35)/0.4 kV 630 kVA cena	316 000 Kč	346 000 Kč	
Transformátor 22(35)/0.4 kV 160 kVA počet	4	0	Ks
Transformátor 22(35)/0.4 kV 160 kVA cena	180 000 Kč	202 000 Kč	
Transformátor 22(35)/0.4 kV 1 MVA počet	0	0	Ks
Transformátor 22(35)/0.4 kV 1 MVA cena	361 000 Kč	388 000 Kč	
Transformátor 22(35)/0.4 kV 50 kVA počet	0	0	Ks
Transformátor 22(35)/0.4 kV 50 kVA cena	0 Kč	133 000 Kč	
Celkem	51 075 000 Kč	168 000 Kč	

Tabulka 19: Odhad investičních nákladů na transformátory

3.5.4.4. Napájecí body

V TR Železnice je zapotřebí vyměnit stávající rozvodnu VN 22 kV na nový dvou-systém 22 kV s podélným dělením a příčnou spojkou. V nové rozvodně bude 20 polí. Dále je zapotřebí vyměnit transformátor T103 za nový s parametry 110/22 kV 40 MVA.

TR Chepos čeká výměna stávající rozvodny VN za nový 22 kV dvou-systém podélně dělený s příčnou spojkou. V nové rozvodně VN bude 16 polí. Dojde k výměně transformátoru T32 za 35/22 kV 10 MVA, ze kterého jedna přípojnice bude pro provoz stávajících vývodů 10 kV napájena ze stávajícího transformátoru T31 35/22 kV a druhá přípojnice bude na 22 kV z nového T32 35/22 kV.

TR Východ čeká výměna stávající rozvodny VN za nový 22 kV dvou-systém podélně dělený s příčnou spojkou. V nové rozvodně VN bude 14 polí. Do jedné přípojnice bude připojen stávající vývod 22kV Měnírna ČD a TVS22. Druhá přípojnice zajistí provoz 22 kV sítě z transformátoru T21, který bude napájen ze strany 10 kV z transformátoru T101.

TR Růžová podstoupí výměnu zařízení na rozvodně VN z původních 10 kV na 22 kV. Jedná se o podélně dělený jedno-systém se čtyřmi poli. Dojde k výměně transformátoru T32 za 35/22 kV 6,3 kVA. Do jedné přípojnice budou připojeny stávající 2 vývody 10 kV s transformátorem T31 35kV/10,5 kV. Na druhé přípojnici bude nový transformátor T32 35/22 kV a dvakrát rezerva.

Napájecí body	22 kV	35 kV	
TR Chepos			
Počet polí	16	0	Ks
Cena za pole	10 400 000 Kč	0 Kč	
Transformátor 35/22 kV 10 MVA	8 000 000 Kč	0 Kč	
TR Východ			
Počet polí	14	0	Ks
Cena za pole	9 100 000 Kč	0 Kč	
TR Růžová			
Počet polí	4	0	Ks
Cena za pole	2 600 000 Kč	0 Kč	
Transformátor 35/22 kV 6,3 MVA	7 000 000 Kč	0 Kč	
TR Želenice			
Počet polí	20	0	Ks
Cena za pole	16 716 600 Kč	0 Kč	
Transformátor 110/22 kV 40 MVA	16 000 000 Kč	0 Kč	
Celkem	37 100 000 Kč	0 Kč	

Tabulka 20: Odhad investičních nákladů pro napájecí body

Na napěťové hladině 35 kV není potřebný žádný zásah do napájecích bodů.

3.6. SWOT analýza variant řešení

SWOT analýza je analytická technika, která se používá v rámci strategického řízení. Má za úkol vyhodnotit jak vnitřní, tak i vnější faktory ovlivňující úspěšnost dané varianty. Je založena na identifikaci klíčových silných a slabých stránek uvnitř projektu. A také na identifikaci klíčových příležitostí a hrozeb, které se nacházejí ve vnějším prostředí. Jejím cílem je podpořit silné stránky projektu, identifikovat a omezit slabé stránky projektu, najít příležitosti a odhalit hrozby. Nejlepší varianta by měla podporovat příležitosti a omezit hrozby. V následujících tabulkách jsem uvedl SWOT analýzy jednotlivých variant unifikace.

Nulová varianta 10 kV	
Silné stránky	Hrozby
Nízké investiční výdaje Již fungující způsob řízení	Nedostatek přenosové schopnosti sítě Stáří sítě Náchylnost k poruchám
Slabé stránky	Příležitosti
Neperspektivní napěťová hladina Problémy s provozem rozdílných napětí v soustavě Náklady na obnovu zastaralých sítí Poměrně velké ztráty	

Obrázek 7: SWOT analýza nulové varianty 10 kV

Varianta č. 1	
Silné stránky	Hrozby
Snížení ztrát v mezitransformacích Zjednodušení technické politiky Zjednodušení provozu soustavy Snížení nákladů na obnovu	Problémy s výstavbou nových vedení a napájecích uzlů Rozsah a časová náročnost Majetkové vyrovnání
Slabé stránky	Příležitosti
Velké investice kvůli novým napájecím uzlům Na původní 35 kV hladině snížení přenosové schopnosti	Zlepšení připojovacích možností Příležitost pro elektromobilitu Nová komplexnější síť Malé investice do budoucna

Obrázek 8: SWOT analýza varianty č.1 22kV

Varianta č. 2	
Silné stránky	Hrozby
Snížení ztrát v mezitransformacích Zjednodušení technické politiky Zjednodušení provozu soustavy Zvýšení přenosových schopností Snížení nákladů na obnovu	Problémy s výstavbou nových vedení a napájecích uzlů Rozsah a časová náročnost Napěťová hladina není v IEC Majetkové vyrovnání
Slabé stránky	Příležitosti
Velké investice kvůli novým kabelům a napájecím bodům Vyšší cena zařízení Nekompatibilita se stávajícími stavbami	Zlepšení připojovacích možností Příležitost pro elektromobilitu Nová komplexnější síť Malé investice do budoucna Náhradní dodávky

Obrázek 9: SWOT analýza varianty č.2 35 kV

Varianta č. 3	
Silné stránky	Hrozby
Snížení ztrát v mezitransformacích Unifikovaná síť do 10 kV včetně Zjednodušení provozu soustavy Není potřeba nových napájecích uzlů Zvýšení přenosových schopností Snížení nákladů na obnovu	Rozsah a časová náročnost Napěťová hladina 35 kV není v IEC
Slabé stránky	Příležitosti
Ztráty v mezitransformacích 22/35 kV Dvě napěťové hladiny Technická politika	Zlepšení připojovacích možností Příležitost pro elektromobilitu Náhradní dodávky

Obrázek 10: SWOT analýza varianty č.3 22kV a 35kV

Swot analýza nulové varianty ukazuje, že její silné stránky jsou v nízké investiční výdaje oproti ostatním variantám a zároveň fakt, že soustava již má fungující způsob řízení. Slabé stránky této varianty jsou zejména neperspektivní napěťová hladina, která má omezené přenosové schopnosti a také fakt, že tato napěťová hladina je postupně vytěsňována vyššími napěťovými hladinami a zařízení na 10 kV je v současné době dražší než zařízení na 22 kV. Tato hladina díky tomu nepřináší žádné příležitosti do budoucna. Naopak se zde vyskytují hrozby týkající se vyčerpání přenosové schopnosti sítě a náchylnosti k vyšší poruchovosti dožívající sítě.

Varianta č. 1 má silné stránky ve zjednodušení technické politiky, provozu soustavy a snížení nákladů na obnovu díky jednotné napěťové hladině s novými kabely. Slabé stránky jsou zejména snížení přenosové schopnosti sítí, které jsou nyní na hladině napětí 35 kV a také zde budou zapotřebí velké investice kvůli novým napájecím uzlům, které budou muset být převedeny na 22 kV. Hrozby se týkají zejména časové náročnosti na převod 35 kV sítí na 22 kV a také výstavba nových napájecích uzlů. Příležitosti pro tuto variantu jsou zejména dosažení komplexnější sítě, která má výhody při smyčkování při poruchových stavech.

Swot analýza varianty č. 2 ukázala silné stránky ve snížení ztrát v mezitransformacích a zjednodušení technické politiky. Slabé stránky této varianty jsou vyšší cena za zařízení 35 kV a nekompatibilita se stávajícími stanicemi, jelikož rozměry zařízení a ochranná pásma jsou větší než u nižších napěťových hladin. A stanice na tyto rozměry nejsou navrženy. Byla by tedy nutné rozšíření stavebních částí všech stanic. V této variantě je hrozba časové náročnosti kvůli stavebním úpravám stanic ještě mnohem vyšší než u předchozí varianty. Příležitosti přináší tato varianta pomocí komplexní sítě

s velkou přenosovou schopností a bez větších zásahů do zapojení sítě je schopna pokrýt náhradní dodávky.

Varianta č. 3 přináší silné stránky v podobě zvýšení přenosové schopnosti na hladině 10 kV a také v tom, že není potřeba unifikovat stávající 35 kV část sítě. Slabé stránky jsou technická politika dvou napěťových hladin a také ztráty v mezipřeměňacích 22/35 kV. Hrozba časové náročnosti je zde menší, než u předchozích dvou variant. Příležitost se projeví ve zlepšení připojovacích možností a také krytí náhradní dodávky.

3.7. Doporučené varianty obnovy a rozvoje sítě VN města Děčín

Přehled celkových investičních nákladů jednotlivých variant:

Investiční náklady	Varianta			
	10 kV	22 kV	35 kV	22 kV + 35 kV
Kabely	141 039 270 Kč	268 078 232 Kč	303 814 744 Kč	272 013 379 Kč
Transformátory	38 486 000 Kč	3 800 000 Kč	97 200 000 Kč	51 243 000 Kč
Stanice	3 800 000 Kč	33 106 900 Kč	97 200 000 Kč	3 800 000 Kč
Technologie	3 372 500 Kč	33 106 900 Kč	3 372 500 Kč	33 106 900 Kč
Napájecí body	15 000 000 Kč	37 100 000 Kč	63 200 000 Kč	37 100 000 Kč
Celkem	201 697 770 Kč	375 192 032 Kč	564 787 244 Kč	397 263 279 Kč
Vztaženo na délku	2 801 358 Kč	2 732 644 Kč	3 900 464 Kč	2 980 220 Kč

Tabulka 21: Přehled investičních nákladů

Z tabulky č. 21 je patrné, že nejlevnější variantou je prostá rekonstrukce 10 kV sítě. Je to dáno zejména nejmenší délkou kabelů, které je potřeba vyměnit a také není potřeba zasahovat do napájecích bodů ani měnit technologii a transformátory ve stanicích, s výjimkou dožívajících. Tato varianta však přináší omezené možnosti ve smyslu zvýšení přenosové schopnosti sítě, možností připojování nových velkých odběrů apod.

Z tabulky č. 21 vyplývá, že nejlepší variantou unifikace je celková unifikace na napěťovou hladinu 22 kV, tedy varianta č.1. Tato varianta však představuje velké zásahy do sítě a navíc dojde ke zmenšení přenosové schopnosti stávající 35 kV sítě.

Bereme-li v úvahu náročnost realizace jednotlivých variant, tak se přikláním k závěru, že nejlepší variantou z technicko-ekonomického hlediska je varianta č. 3, tedy unifikace na 22 kV za současného ponechání stávající 35 kV sítě. Tento závěr potvrzuje i výše uvedená SWOT analýza. Investiční náklady této varianty jsou o cca 200 tis. na km vyšší. Při přihlédnutí k technické a časové náročnosti výstavby se tato varianta jeví jako nejpříznivější.

Dále jsem si chtěl ověřit, zda výsledná varianta unifikace je i přes mnohem vyšší investiční náklady ekonomicky výhodná. Z tohoto důvodu jsem vytvořil ekonomický model vybrané části sítě a provedl ekonomické posouzení nulové varianty rekonstrukce 10 kV sítě a varianty č. 3, tedy přechod na jednotnou hladinu napětí 22 kV za současného ponechání stávající 35 kV sítě.

4. Ekonomický model

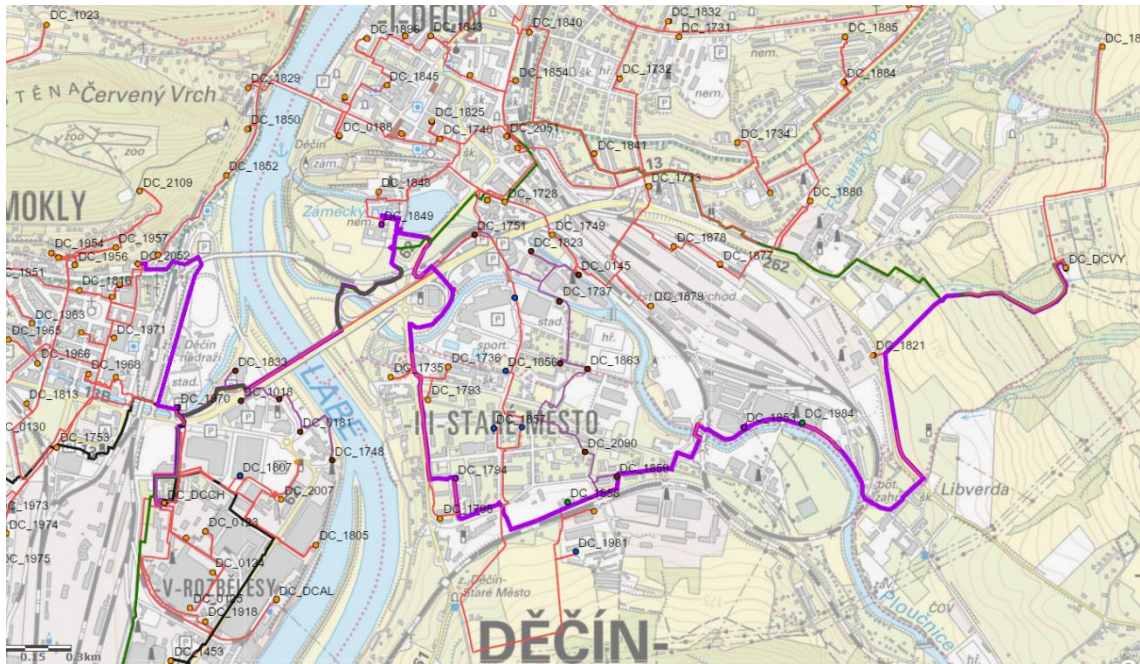
Pro posouzení ekonomické efektivity nulové varianty 10 kV a varianty unifikace na 22 kV jsem si vybral část sítě, která je popsána níže. Tento demonstrační úsek sítě byl zvolen za pomoci odborníků z ČEZ Distribuce jako reálná trasa 1. etapy unifikace města Děčín z technického a provozního hlediska. Trasa obsahuje dostatečné množství prvků sítě pro nouzové napájení zbytku sítě při probíhající unifikaci. Díky tomu je na této trase ve všech jejích částech možný přívod elektrické energie z druhé strany a tím je minimalizován dopad na zákazníky. Tato trasa je znázorněna na obrázku č. 7 pomocí fialové barvy, který je uveden v části trasy vedení.

U nulové varianty rekonstrukce části 10 kV sítě i varianty unifikace části sítě na 22 kV se jedná o celkovou demontáž veškerého zařízení a následně výstavbu nové 10 kV nebo 22 kV sítě.

Při rekonstrukci 10 kV sítě budou použity kabely a VN zavaděče s instalovaným napětím 22 kV. Již řadu let se totiž 10 kV kabely ani VN rozvaděče nepoužívají.

4.1. Popis vybraného úseku kabelové sítě pro výpočet

Pro detailní výpočet a demonstraci výpočtu unifikace jsem vybral úsek 10 kV vedení VN7235, o celkové délce 7,6 km. Tento úsek vedení 10 kV vede z rozvodny TR Východ přes staré město, starý most k železniční stanici Děčín hl. nádraží. Dále pak do TR Chepos a Stanice PŘ SČE. Na tomto vybraném úseku jsou celkem 4 stanice. Jedná se o stanice DC_1853, DC_1749, DC_1849 a DC_1970. Na tomto vybraném úseku vedení jsem demonstroval, zda se z ekonomického hlediska vyplatí provést rekonstrukci stávající 10 kV sítě nebo unifikovat na 22 kV. Vybraný úsek pro výpočet je uveden na obrázku č. 11.



Obrázek 11: Trasa pro výpočet

První část vybraného úseku mezi TR Východ tvoří kabel typu 3x240 ANKTOY-PV sp. Zaústění do stanice DC_1853 je tvořeno kabelem typu 3x240 AVXEKVCEY. Druhou část tvoří kabelový vývod ze stanice DC_1853 typu 3x240 AVXEKVCEY, dále pokračuje kabelem typu 3x240 ANKTOYPV až do stanice DC_1794. Třetí úsek ze stanice DC_1794 je tvořen kabelem typu 3x240 AXEKCE, který je u Náměstí 5. května napojen na kabel 3x120 AXEKCE. Ten je za mostem ulice Litoměřická napojen na kabel 3x150 ANKTOYPV sp. Dále je u ulice 2. Polské armády napojen na kabel typu 3x120 AXEKCY, který vede do stanice DC_1849. Čtvrtý úsek ze stanice DC_1849 je tvořen kabelem typu 3x240 AXEKCY zavedeného do stanice DC_1970. Z této stanice vede čtvrtý úsek do stanice DC_2052 kabelem 3x240 AXEKCY, který je za hlavním nádražím vystřídán kabelem 3x240 ANKTOYPV. Pátý úsek vedoucí ze stanice DC_1970 vedoucí do stanice DC_DCCH je tvořen kabelem 3x240 AXEKCY.

Trasa tohoto úseku se nachází z části ve městě, kde kabelová trasa vede 1,7 km chodníku, 1,1 km v silnici a zbylá část trasy vede mimo chodník a silnici.

4.2. Popis technického řešení obnovy a rozvoje stávajícího systému 10 kV

Zde jsem provedl detailní analýzu části kabelové trasy vybrané pro výpočet, díky čemuž jsem byl schopen stanovit všechny potřebné vstupy do podrobného ekonomického modelu nulové varianty. Jedná se o celkovou výměnu stávajících kabelů, zařízení a vybudování nové sítě s novými prvky.

4.2.1. Kabely

Provede se kompletní výkop starého kabelového vedení a jeho kompletní demontáž. Staré kabelové vedení bude nahrazeno novým typu AXEKVCE s průřezem 240 mm² s instalovaným napětím 22 kV. Průřez 240 mm² je jednotný pro všechny úseky kabelového vedení a je volen ze strategického hlediska posílení sítě do budoucna a také z hlediska ČEZ Distribuce dojde k úspoře z rozsahu při nakupování velkého množství tohoto kabelu. Kabely o menším průřezu se nebudou instalovat. Na každém přívodu a vývodu do stanice je potřeba umístit na konec kabelu kabelovou koncovku. Celkový počet koncovek použitých v této variantě je 42.

Před zahájením stavby bude potřeba provést geodetické vytyčení trasy kabelů, následně budou provedeny výkopové práce. Kabelové trasy pro nové kabely budou stejné jako trasy stávajícího rozvodu. Stejně zůstává i zapojení a uspořádání vodičů. Nové kabely budou uloženy v hloubce 1 m do pískového lože, zakryté výstražnými plastovými deskami, popřípadě výstražnou fólií.

Při studování výpočtové trasy jsem dospěl k závěru, že na 3 místech bude zapotřebí provést protlak kabelu. Protlak kabelu znamená protažení kabelu zemí bez porušení povrchu nad ním. Protlak se bude provádět zejména pod kolejemi a dále pak pod nejdůležitějšími silničními toky v Děčín. Při provádění protlaku kabelu je nutné nejdříve vyhloubit startovací a konečnou jámu pro protlak a poté se provádí samotný protlak.

Na místech, kde kabelová trasa vede skrz méně frekventované silniční trasy, bude proveden překop s následnou provizorní zádlažbou.

Po umístění nových kabelů bude uveden povrch výkopu do původního stavu. V případě chodníků se provede opětovná zádlažba, v případě silnic zaasfaltování výkopu.

4.2.2. Stanice

U stanic, které přesahují technickou dobu životnosti, bude provedena rekonstrukce stavební části.

Rozvaděče VN ve stanicích na vybraném úseku vedení budou nahrazeny novými VN rozvaděči do DTS 22 kV typu KKT v případě vlastních trafostanic, typem KKK v případě cizích trafostanic.

Transformátory ve vlastních stanicích, přesahující dobu technické životnosti, budou vyměněny za nové se stejným výkonem. Transformátory, které jsou v cizím vlastnictví je majitel transformátoru povinen vyměnit na vlastní náklady.

Stanice DC_1853 byla postavena v roce 1998 a je v cizím vlastnictví. Jedná se o rozvodnu 10 kV. Obsahuje jeden transformátor 10/0,4 kV o jmenovitém výkonu 630 kVA v zapojení Dyn1 s rokem výroby 1988, který bude muset vyměnit majitel stanice. V této distribuční stanici bude vyměněn rozvaděč VN 10 kV za rozvaděč VN 22 kV KKK. Schéma zapojení této stanice je v příloze č. 8.

Stanice DC_1794 byla postavena v roce 1964 a je ve vlastnictví ČEZ Distribuce. Bude zde potřeba provést rekonstrukci stavební části kvůli jejímu stáří. Obsahuje jeden transformátor 10/0,4 kV o jmenovitém výkonu 400 kVA v zapojení Dyn1 s rokem výroby 1977, který bude vyměněn za nový transformátor stejného typu. Rozvaděč VN 10 kV bude vyměněn za rozvaděč VN 22 kV KKT. Schéma zapojení této stanice je v příloze č. 6.

Stanice DC_1849 byla postavena v roce 1983 a je ve společném vlastnictví. Obsahuje jeden transformátor 10/0,4 kV o jmenovitém výkonu 250 kVA v zapojení Dyn1, který bude vyměněn za transformátor stejného typu. Rozvaděč VN 10 kV bude vyměněn za rozvaděč VN 22 kV KKT. Schéma zapojení této stanice je v příloze č. 7.

Stanice DC_1970 byla postavena v roce 1973 a je vlastnictví ČEZ Distribuce. Obsahuje jeden transformátor 10/0,4 kV o jmenovitém výkonu 400 kVA v zapojení Dyn1, který bude vyměněn za transformátor stejného typu. Rozvaděč VN 10 kV bude vyměněn za rozvaděč VN 22 kV KKT. Schéma zapojení této stanice je v příloze č. 9.

4.2.3. Ekonomický model stávajícího systému 10 kV (nulová varianta)

Ekonomický model vychází z technického popisu uvedeného výše. Obsahuje investiční náklady spojené s výkopem, demontáží starých kabelů, uložení nových kabelů, včetně kabelových koncovek a opětovné uvedení trasy výkopu do původního stavu. Dále investiční náklady spojené s vybavením stanic transformátory a výzbrojí.

Výši nákladů jsem stanovil na základě jednotkových cen, počtu kusů zařízení a délky vedení. Jednotkové ceny jsem čerpal z ceníků ČEZ Distribuce pro rok 2017.

Rozpis nákladů na kabely jsem uvedl v této tabulce:

10 kV									
usek		delka [m]	Z toho v silnici [m]	Z toho v chodniku [m]	Ostatní [m]	Protlak [m]	demontaz [m]	Kabel. Koncovka [ks]	demontaz Kab. Koncovka [ks]
DC_DCVY	DC_1853	2102.69	145	530	1411.69	16	2102.69	9	9
DC_1853	DC_1794	1435.96	80	428	910.96	17	1435.96	6	6
DC_1794	DC_1849	1394.28	214	163	1017.28	0	1394.28	9	9
DC_1849	DC_1970	1364.18	250	255	859.18	0	1364.18	6	6
DC_1970	DC_DCCH	484.73	260	0	206.73	18	484.73	6	6
DC_1970	DC_2052	832.87	121	290	421.87	0	832.87	6	6
Suma		7614.71	1070	1666	4827.71	51	7614.71	42	42
Cena za kabel		6 364 603 Kč							
Cena vzkopovzch prací		3 781 855 Kč							
Cena uvedeni do puv. Stavu			1 979 500 Kč	1 287 568 Kč					
Cena komponent						189 450 Kč	76 147 Kč	204 456 Kč	42 000 Kč
Cena 22 kV celkem		13 925 579 Kč							

Tabulka 22: Úseky kabelového vedení

V této tabulce jsou uvedeny jednotlivé části vybraného úseku s uvedenými délkami kabelu a počty kabelových koncovek. V této tabulce jsou také uvedeny délky vedení, které bude potřeba opětovně zadráždit nebo uvést silnici do původního stavu. Je zde také nutné provést protlak kabelu pod koleji trakce a nejdůležitějších silničních tahů.

Dále jsem spočetl náklady připadající na výzbroj a transformátory, které jsou uvedeny v následující tabulce. Uvedené ceny jsou včetně montáže a demontáže zařízení.

Stanice				
	Transformátor	Vyzbroj	Rekonstrukce	Celkem
DC_1853	0 Kč	126 200 Kč	0 Kč	126 200 Kč
DC_1794	377 300 Kč	131 900 Kč	200 000 Kč	709 200 Kč
DC_1849	278 300 Kč	131 900 Kč	0 Kč	410 200 Kč
DC_1970	377 300 Kč	131 900 Kč	0 Kč	509 200 Kč
Cena celkem	1 754 800 Kč			

Tabulka 23: Investiční náklady stanic

4.3. Popis technického řešení obnovy unifikace z 10 kV na 22 kV

Zde jsem provedl detailní analýzu části kabelové trasy vybrané pro výpočet, díky čemuž jsem byl schopen stanovit všechny potřebné vstupy do podrobného ekonomického modelu varianty unifikace na 22 kV. Jedná se o celkovou výměnu stávajících kabelů, zařízení a vybudování nové sítě s novými prvky.

4.3.1. Kabely

Provede se výkop starého kabelového vedení a jeho demontáž. Staré kabelové vedení bude nahrazeno novým typu AXEKVCE s průřezem 240 mm² s instalovaným napětím 22 kV. Průřez 240 mm² je jednotný pro všechny úseky kabelového vedení a je volen ze strategického hlediska posílení sítě do budoucna a také z hlediska ČEZ Distribuce dojde k úspoře z rozsahu při nakupování velkého množství tohoto kabelu. Kabely o menším průřezu se nebudou instalovat. Na každém přívodu a vývodu do stanice je potřeba umístit na konec kabelu kabelovou koncovku. Celkový počet použitých kabelových koncovek je 42.

Před zahájením stavby bude potřeba provést geodetické vytyčení trasy kabelů, následně budou provedeny výkopové práce. Kabelové trasy pro nové kabely budou stejné jako trasy stávajícího rozvodu. Stejně zůstává i zapojení a uspořádání vodičů. Nové kabely budou uloženy v hloubce 1 m do pískového lože, zakryté výstražnými plastovými deskami, popřípadě výstražnou fólií.

Na výpočtové trase dojde celkem na třech místech protlak kabelu.

Na místech, kde kabelová trasa vede skrz méně frekventované silniční trasy, bude proveden překop s následnou provizorní zádlažbou.

Po umístění nových kabelů bude uveden povrch výkopu do původního stavu. V případě chodníků se provede opětovná zádlažba, v případě silnic zaasfaltování výkopu.

4.3.2. Stanice

U stanic, které přesahují technickou dobu životnosti, bude provedena rekonstrukce stavební části.

Rozvaděče VN ve stanicích na vybraném úseku vedení budou nahrazeny novými VN rozvaděči do DTS 22 kV typu KKT v případě vlastních trafostanic, typem KKK v případě cizích trafostanic.

Transformátory budou vyměněny za nové 22 kV se stejným výkonem jako předešlé. Transformátory, které jsou v cizím vlastnictví, je majitel transformátoru povinen vyměnit na vlastní náklady.

Stanice DC_1853 byla postavena v roce 1998 a je v cizím vlastnictví. Obsahuje jeden transformátor 10/0,4 kV o jmenovitém výkonu 630 kVA v zapojení Dyn1 s rokem

výroby 1988, který bude muset vyměnit majitel stanice. V této distribuční stanici bude vyměněn rozvaděč VN 10 kV za rozvaděč VN 22 kV KKK.

Stanice DC_1794 byla postavena v roce 1964 a je ve vlastnictví ČEZ Distribuce. Bude zde potřeba provést rekonstrukci stavební části kvůli jejímu stáří. Obsahuje jeden transformátor 10/0,4 kV o jmenovitém výkonu 400 kVA v zapojení Dyn1 s rokem výroby 1977, který bude vyměněn za transformátor 22/0,4 kV o jmenovitém výkonu 400 kVA v zapojení Dyn1. Rozvaděč VN 10 kV bude vyměněn za rozvaděč VN 22 kV KKT.

Stanice DC_1849 byla postavena v roce 1983 a je ve společném vlastnictví. Obsahuje jeden transformátor 10/0,4 kV o jmenovitém výkonu 250 kVA v zapojení Dyn1, který bude vyměněn za transformátor 22/0,4 kV o jmenovitém výkonu 250 kVA v zapojení Dyn1. Rozvaděč VN 10 kV bude vyměněn za rozvaděč VN 22 kV KKT.

Stanice DC_1970 byla postavena v roce 1973 a je ve vlastnictví ČEZ Distribuce. Obsahuje jeden transformátor 10/0,4 kV o jmenovitém výkonu 400 kVA v zapojení Dyn1, který bude vyměněn za transformátor 22/0,4 kV o jmenovitém výkonu 400 kVA v zapojení Dyn1. Rozvaděč VN 10 kV bude vyměněn za rozvaděč VN 22 kV KKT.

4.3.3. Ekonomický model systému 22 kV (varianta číslo 3)

Ekonomický model vychází z technického popisu uvedeného výše. Obsahuje investiční náklady spojené s výkopem, demontáží starých kabelů, uložení nových kabelů a opětovné uvedení trasy výkopu do původního stavu. Dále investiční náklady spojené s vybavením stanic transformátory a výzbrojí.

Výši nákladů jsem stanovil na základě jednotkových cen, počtu kusů zařízení a délky vedení. Jednotkové ceny jsem čerpal z ceníků ČEZ Distribuce pro rok 2017.

Rozpis nákladů na kabely jsem uvedl v této tabulce:

10 kV									
usek		delka [m]	Z toho v silnici [m]	Z toho v chodniku [m]	Ostatní [m]	Protlak [m]	demontaz [m]	Kabel. Koncovka [ks]	demontaz Kab. Koncovka [ks]
DC_DCVY	DC_1853	2102.69	145	530	1411.69	16	2102.69	9	9
DC_1853	DC_1794	1435.96	80	428	910.96	17	1435.96	6	6
DC_1794	DC_1849	1394.28	214	163	1017.28	0	1394.28	9	9
DC_1849	DC_1970	1364.18	250	255	859.18	0	1364.18	6	6
DC_1970	DC_DCCH	484.73	260	0	206.73	18	484.73	6	6
DC_1970	DC_2052	832.87	121	290	421.87	0	832.87	6	6
Suma		7614.71	1070	1666	4827.71	51	7614.71	42	42
Cena za kabel		6 364 603 Kč							
Cena vzkopovzch prací		3 781 855 Kč							
Cena uvedeni do puv. Stavu			1 979 500 Kč	1 287 568 Kč					
Cena komponent						189 450 Kč	76 147 Kč	204 456 Kč	42 000 Kč
Cena 22 kV celkem		13 925 579 Kč							

Tabulka 24: Úseky kabelového vedení

V této tabulce jsou uvedeny jednotlivé části vybraného úseku s uvedenými délkami kabelu a počty kabelových koncovek. V této tabulce jsou také uvedeny délky vedení, které bude potřeba opětovně zadláždit nebo uvést silnici do původního stavu. Je zde také nutné provést protlak kabelu pod kolejiemi trakce a nejdůležitějších silničních tahů.

Dále jsem spočetl náklady připadající na výzbroj a transformátory, které jsou uvedeny v následující tabulce. Tyto ceny jsou včetně demontáže starých a montáže nových zařízení.

Stanice				
	Transformátor	Vyzbroj	Rekonstrukce	Celkem
DC_1853	0 Kč	126 200 Kč	0 Kč	126 200 Kč
DC_1794	257 000 Kč	131 900 Kč	200 000 Kč	588 900 Kč
DC_1849	200 000 Kč	131 900 Kč	0 Kč	331 900 Kč
DC_1970	257 000 Kč	131 900 Kč	0 Kč	388 900 Kč
Cena celkem	1 435 900 Kč			

Tabulka 25: Investiční náklady stanic

Náklady spojené s unifikací se skládají ze dvou částí. První částí je demontáž stávajícího kabelového vedení, společně s demontáží rozvaděčů a transformátorů v 10 kV v distribučních trafostanicích. Druhou částí je montáž nového zařízení. Při výpočtu je také potřeba započítat náklady spojené s demontáží kabelových koncovek, kabelových spojek a také náklady na výkop a opětovné uvedení kabelové trasy do původního stavu. Kompletní výčet nákladových položek jsem uvedl v příloze č. 1 – 3.

Společné náklady obou variant		
Projektová dokumentace v % z ceny stavby	16%	
Vozovka – zádlažba nad výkop, rozebrání stávající a zřízení nové	1850	Kč/m2
Zádlažba, chodník pro 1x kabel VN, rozebrání a uvedení zádlažby do původního stavu	772850	Kč/km
Zádlažba, chodník pro 2x kabel VN, rozebrání a uvedení zádlažby do původního stavu	958375	Kč/km
Výkop s opětovným zhutněním	500000	Kč/km

Tabulka 26: Náklady společné pro obě varianty

V této tabulce jsou uvedeny investiční náklady pro obě varianty týkající se uvedení kabelové trasy do původního stavu a také projektová dokumentace, která tvoří nemalou částku výsledné ceny stavby.

5. Ekonomické zhodnocení variant

V této části mé práce jsem porovnal, zda je ekonomicky výhodnější investovat do obnovy stávající 10 kV sítě, nebo je výhodnější provést unifikaci na vyšší hladinu napětí 22 kV.

5.1. Použité předpoklady

Veškeré ceny použité ve výpočtech jsem čerpal z aktuálních ceníků ČEZ Distribuce pro rok 2017.

Pro diskontování jsem použil diskontní sazbu 5,5%, která se běžně pro tento výpočetní případ používá. Pro nárůst cenové hladiny zboží a služeb v daném časovém období jsem použil míru inflace 2%. Tuto hodnotu jsem volil podle prognózy inflace ČNB a jedná se o inflační cíl.

Hodnotu činných ztrát, zatížení výpočtového úseku a ztrát na transformátorech jsem převzal z výpočetního programu Bizon.

Technické doby životností podle ČEZ Distribuce jsou u VN kabelů je 40 let, transformátorů VN/NN je 35 let a rozvaděčů VN 30 let.

Doba plných ztrát je u VN kabelů 2 200 hod. Doba využití maxima na hladině VN je 4 000 hod. Ocenění ztrát na hladině VN je 1 051 Kč/MWh.

Dobu porovnání jsem zvolil 30 let.

Obě porovnávané varianty mají stejné přenosové schopnosti, neboli jsou schopné přinést stejný užitek pro zákazníka. Toho jsem docílil tak, že v roce, kdy zatížení na výpočtovém úseku přesáhne přenosovou schopnost stávajícího vedení, dojde k jeho posílení. U varianty 10 kV bude vybudována paralelní linka a dojde k posílení transformátorů. U varianty 22 kV dojde k posílení transformátorů.

5.2. Použitá finanční kritéria

Pro porovnání ekonomické efektivity jednotlivých variant jsem použil metodu stanovení čisté současné hodnoty za dobu porovnání (NPV).

$$NPV = \sum_{t=1}^T CF_t \cdot (1+r)^{-t}$$

Kde CF_t je hotovostní tok pro rok t
 r je nominální diskontní sazba

$$CF_t = V_t - N_{pt} - N_{it} - D_t$$

Kde V_t jsou výnosy v roce t
 N_{pt} jsou provozní náklady v roce t
 N_{it} jsou investiční náklady v roce t
 D_t je daň z příjmu v roce t

V mém případě mají porovnávané varianty stejné přenosové schopnosti, tudíž přináší zákazníkům stejný užitek a z tohoto důvodu jsem do výpočtu cash flow nezahrnoval výnosy za prodej elektřiny. Dostávám tedy pouze čistě nákladové NPV.

5.2.1. Členění nákladů

Náklady se při ekonomickém hodnocení investic rozlišují na tři druhy:

- Investiční náklady – jsou to stálé složky nákladů, které jsou nezávislé na množství přenášeného výkonu.
- Stálé provozní náklady – vyjadřují náklady na udržení systému v provozu. Tyto náklady také nezávisí na množství přenášeného výkonu.
- Proměnné provozní náklady – závisí na množství přenášeného výkonu.

5.2.2. Stálé provozní náklady

Do stálých provozních nákladů jsem započítal náklady spojené s preventivní údržbou, opravami poruch, revizemi a další náklady spojené s provozováním daného zařízení. Hodnotu těchto nákladů jsem po konzultaci s odborníky volil pro kabely jako 0,5% z investice s meziročním růstem 1%, který zahrnuje stárnutí jednotlivých prvků sítě. Pro transformátory jsem zvolil 1% z investice s meziročním růstem 1,5%.

5.2.3. Proměnné provozní náklady

Nejvýznamnějším provozně proměnným nákladem jsou zde náklady na ztráty. Jedná se o ztráty v kabelech a transformacích. U těchto proměnných nákladů lze očekávat, že

při unifikaci na vyšší napěťovou hladinu docílíme jejich snížení. Po konzultaci s odborníky jsem volil pro kabely meziroční růst ztrát 0,5%, který zahrnuje jejich stárnutí. Pro transformátory jsem zvolil meziroční růst ztrát 0,3%.

5.3. Scénáře

Pro simulování růstu zatížení vybraného úseku vedení jsem vytvořil 3 různé scénáře vývoje zatížení. Tyto scénáře berou ohled na územní plán města Děčín, a počítají tak s připojováním nových zákazníků. Scénáře byly zvoleny za pomoci odborníků z ČEZ Distribuce z oddělení Strategie a Podpory rozvoje.

Ve scénářích neuvažuji možnost klesání zatížení po dobu porovnání, neboť nepředpokládám ukončení provozu v průmyslových zónách. Trend ve vývoji spotřeby města Děčín, za posledních pět let je meziroční nárůst zatížení o 0,5% - 2%.

5.3.1. Pesimistický scénář

V pesimistickém scénáři nepředpokládám žádné výrazné změny zatížení. Nepředpokládám výstavbu nových městských domů za dobu porovnání ani zaplnění volných území pro rodinné domy a průmyslové objekty. Volil jsem zde pouze 1% meziroční nárůst spotřeby.

5.3.2. Neutrální scénář

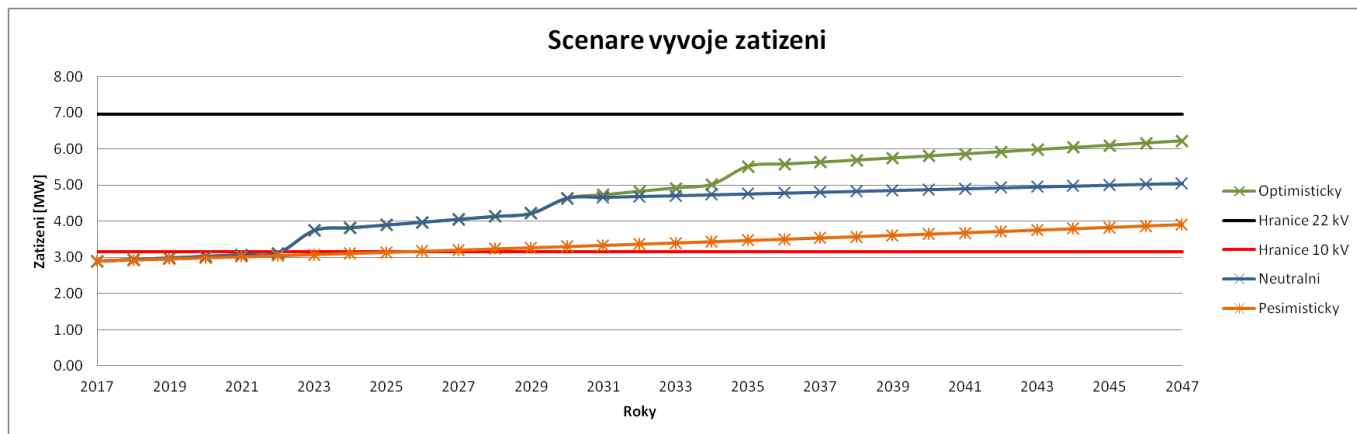
Neutrální scénář předpokládá nárůst spotřeby výstavbou nových rodinných domů v okolí rozvodny TR Východ a na jižním okraji města. V současné době je výstavba rodinných domů ve fázi návrhu. Předpokládám, že během následujících šesti let bude meziroční nárůst zatížení 1,5%. Do šesti let bude ukončena hlavní část výstavby rodinných domů v okolí TR Východ, a dojde ke zvýšení zatížení o 20%. Poté bude meziroční růst zatížení odpovídat 2%, protože je možné, že některé rodinné domy budou dokončovány v pozdějších letech. V třináctém roce předpokládám ukončení hlavní části výstavby rodinných domů na jižním okraji města. Dojde k nárůstu zatížení 10%. Pozdější výstavba na tomto území je způsobena pozdějším uvolněním území pro výstavbu rodinných domů podle územního plánu města Děčín. Dále se bude zatížení vyvíjet standardně 1% ročně.

5.3.3. Optimistický scénář

Optimistický scénář vychází ze stejných předpokladů jako scénář neutrální. Je zde započítána výstavba městských domů rodinného typu v jižní části města a také městských domů v okolí Náměstí 5. května. Výstavbu těchto objektů jsem umístil do

18. roku, protože tyto stavby jsou mnohem časově náročnější, než je tomu u rodinných domů. Je zapotřebí sehnat investory a také samotná výstavba je mnohem časově náročnější.

Graf průběhů jednotlivých scénářů vývoje zatížení je uveden níže:



Obrázek 12: Graf scénářů vývoje zatížení

V grafu jsou vyznačeny jednotlivé scénáře. Graf začíná v letošním roce, kdy při zimním měření bylo na části sítě, kterou jsem použil pro výpočet, naměřeno zatížení 2,9 MW. Červenou čarou je v grafu vyznačena maximální možný trvale přenášený výkon kabelovým vedením 10 kV 3x240 mm², 3,17 MW. Tuto hodnotu jsem vypočetl z hodnoty maximálního proudového zatížení kabelu. Jedná se o 50% maximálního proudového zatížení. V praxi platí pravidlo, že kabely se provozují s trvalým proudovým zatížením do 50% maximálního proudového zatížení. Je to dáno kvůli záloze a pravidlu N-1. Ve všech třech scénářích přesahuje po určité době zatížení sítě maximální možný trvale přenášený výkon 10 kV kabelu. Bude tedy potřeba posílit 10 kV síť tak, aby byla schopna snést rostoucí zatížení. Jako posílení sítě jsem po konzultaci s odborníky z ČEZ Distribuce zvolil vybudování paralelní linky 10 kV 3x240 mm², za současného posílení transformátorů.

Černou čarou je v grafu vyznačen maximální možný trvale přenášený výkon kabelovým vedením 22 kV 3x240 mm², 6,97 MW. Tuto hodnotu jsem vypočetl obdobně jako pro 10 kV. Varianta unifikace na 22 kV předpokládá výměnu transformátorů z 10 kV na 22 kV stejné výkonové řady. Při růstu zatížení podle scénářů bude potřeba posílit transformátory.

V nulové variantě při nárůstu zatížení nad maximální trvalé zatížení kabelu 10 kV bude potřeba vybudovat paralelní 10 kV linku a posílit stávající transformátory. Ve variantě unifikace na 22 kV bude stačit pouze posílit transformátory bez budování para-

lelních linek, protože na vyšší hladině napětí a stejným průřezem jsem schopni přenést větší výkon. Tyto investiční náklady na posílení sítí jsem započítal do ekonomického hodnocení nulové varianty i varianty unifikace na 22 kV v letech, kdy vývoj zatížení překročí maximální možný trvale přenášžený výkon kabelovým vedením 10 kV.

V následujících tabulkách uvádím investiční náklady na posílení jednotlivých variant.

Posílení 10 kV paralelní trasou								
usek		delka [m]	Z toho v silnici [m]	Z toho v chodniku [m]	Ostatní [m]	Protlak [m]	Kabel. Koncovka [ks]	demontaz Kab. Koncovka [ks]
DC_DCVY	DC_1853	2102.69	145	530	1411.69	16	9	9
DC_1853	DC_1794	1435.96	80	428	910.96	17	6	6
DC_1794	DC_1849	1394.28	214	163	1017.28	0	9	9
DC_1849	DC_1970	1364.18	250	255	859.18	0	6	6
DC_1970	DC_DCCH	484.73	260	0	206.73	18	6	6
DC_1970	DC_2052	832.87	121	290	421.87	0	6	6
Suma		7614.71	1070	1666	4827.71	51	42	42
Cena za kabel		6 364 603 Kč						
Cena výkopových prací		3 781 855 Kč						
Cena uvedení do pův. Stavů			2 969 250 Kč	1 596 653 Kč				
Cena komponent						189 450 Kč	204 456 Kč	42 000 Kč
Cena 22 kV celkem		15 148 267 Kč						

Tabulka 27: Investiční náklady I paralelní kabelové trasy 10 kV

Posílení 10 kV výměnou transformátorů					
	Transformátor	Cena	Demontáž	Montáž	Kabel. Koncovky
Stanice DC_1853	cizí	-	-	-	0 Kč
Stanice DC_1794	10/0.4 kV 400 kVA	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Stanice DC_1849	10/0.4 kV 400 kVA	343 000 Kč	34 300 Kč	34 300 Kč	43 812 Kč
Stanice DC_1970	10/0.4 kV 400 kVA	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Celkem		455 412 Kč			

Tabulka 28: Investiční náklady na posílení transformátorů 10 kV

Posílení 22 kV výměnou transformátorů					
	Transformátor	Cena	Demontáž	Montáž	Kabel. Koncovky
Stanice DC_1853	cizí	-	-	-	0 Kč
Stanice DC_1794	22/0.4 kV 400 kVA	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Stanice DC_1849	22/0.4 kV 400 kVA	257 000 Kč	25 700 Kč	25 700 Kč	43 812 Kč
Stanice DC_1970	22/0.4 kV 400 kVA	0 Kč	0 Kč	0 Kč	0 Kč
Celkem		352 212 Kč			

Tabulka 29: Investiční náklady na posílení transformátorů 22 kV

5.4. Výpočet

Při výpočtu čisté současné hodnoty obou variant jsem použil následující vstupní hodnoty:

Vstupní hodnoty	
Doba porovnaní	30 let
Provozní náklady na kabely	0.5% z investice
Provozní náklady na transformátory	1.0% z investice
Meziroční růst provozních nákladů na kabely	1.0%
Meziroční růst provozních nákladů na stanice	1.5%
Inflace	2.0%
Nominální diskont	7.6%
Reálný diskont	5.5%
Ocenění ztrát hladina VN	1051 Kč/MWh
Doba využití maxima hladina VN	4000 hod
Doba plných ztrát hladina VN	2200 hod

Tabulka 30: Vstupní hodnoty pro ekonomické zhodnocení

Po započítání všech investičních a provozních nákladů jsem pro vybraný úsek vedení spočetl čistou současnou hodnotu pro obnovu 10 kV sítě a unifikaci na 22 kV.

Do výpočtu čisté současné hodnoty jsem zahrnul investiční náklady, které tvoří největší část nákladů. Investiční náklady pro nulovou variantu a variantu unifikace jsem spočetl v části ekonomické hodnocení unifikace sítě z 10 kV na 22 kV. V investičních nákladech hrají největší roli ceny kabelů, a dále pak transformátory a výzbroj stanic. Dále jsem do výpočtu zahrnul provozní náklady. Do této kategorie jsem zahrnul provozní náklady na kabely, které jsem spočetl jako 0,5% z investičních nákladů kabelů. Do provozních nákladů na kabely jsem započítal také jejich meziročním nárůst o 1%. Provozní náklady na stanice jsem určil jako 1% z investičních nákladů stanic a přidal jsem meziroční růst 1,5%. Náklady na ztráty jsem rozdělil na ztráty v kabelech a ztráty v transformátorech. Ztráty v kabelech jsem spočetl pomocí dat z výpočetního programu Bizon, které byly naměřeny při zimním měření v letošním roce. Podobně jsem určil ztráty v transformátorech. Ztrátám v kabelech jsem připsal zvyšující se trend, meziročně o 0,5% kvůli stárnutí kabelů. U transformátorů jsem volil 0,3% meziroční růst ztrát. Celkovou ztracenou energii jsem poté převedl na peněžní jednotky pomocí částky 1051 Kč/MWh, což je ocenění ztrát na hladině VN. Veškeré investiční a provozní náklady jsem spočetl stejným způsobem pro obě posuzované varianty. Tedy nulovou variantu a variantu unifikace na 22 kV.

Ztráty se odvíjejí od jejich zatížení. Jak jsem uvedl výše, počítal jsem v mé práci s třemi různými scénáři vývoje zatížení za dobu hodnocení. Z toho důvodu jsem ztráty spočetl pro všechny tři scénáře.

Z ekonomického modelu jsem tedy dostal šest různých výsledků čisté současné hodnoty, respektující dvě různé varianty řešení a ke každé z nich tři různé scénáře vývoje zatížení. Celý výpočetní model je k dispozici v elektronické podobě. Zde uvádím jen nejdůležitější tabulky.

Výsledky modelu jsou uvedeny v této tabulce:

NPV jednotlivých variant						
	Optimistický scénář		Neutrální scénář		Pesimistický scénář	
Varianta	10 kV	22 kV	10 kV	22 kV	10 kV	22 kV
NPV (tis. Kč.)	-28 204	-16 987	-28 420	-16 992	-26 558	-16 949

Tabulka 31: NVP jednotlivých variant

Z tohoto ekonomického hodnocení, jehož výstupy jsou uvedeny v tabulce výše, vyplývá, že i přes vyšší pořizovací náklady je ekonomicky výhodnější volit variantu unifikace na vyšší napěťovou hladinu zejména z důvodu srovnatelných cen komponent 10 kV a 22 kV, výrazně vyšší přenosové schopnosti sítě a výrazně nižších ztrát.

Na základě provedených výpočtů mohu doporučit řešit obnovu a rozvoj sítě VN města Děčín v budoucích letech pomocí varianty č. 3, tedy unifikací na napěťovou hladinu 22 kV za současného ponechání stávající 35 kV sítě.

Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout vhodné řešení modernizace kabelové sítě ve městě Děčín a zároveň potvrdit výběr navrhované varianty na základě ekonomického hodnocení.

V první části práce jsem posuzoval 4 možné varianty rozvoje sítě VN města Děčín. Možnosti rozvoje stávající sítě jsou principiálně dvě. První z nich je obnova a rozvoj stávající 10 kV sítě

A druhou možností je přechod sítě VN na vyšší hladinu napětí 22 kV nebo 35 kV. Pro posouzení těchto variant jsem provedl návrh technického řešení každé varianty a na jeho základě jsem stanovil předpokládané investiční náklady. Celkové vyhodnocení jednotlivých variant obnovy a rozvoje sítě VN ve městě Děčín jsem provedl z hlediska výše investičních nákladů a výstupů SWOT analýzy.

Na základě provedeného vyhodnocení je nejlevnější variantou rekonstrukce 10 kV sítě a to zejména díky tomu, že odpadá nutnost úpravy napájecích bodů, technologie a transformátorů ve stanicích. S výjimkou doživajících. Tato varianta však přináší omezené možnosti ve smyslu zvýšení přenosové schopnosti sítě, možností připojování nových velkých odběrů apod.

Dalšími variantami rozvoje je přechod sítě VN na vyšší hladinu napětí (unifikace). Nejvýhodnější variantou unifikace je z technicko-ekonomického hlediska varianta č. 3, tedy unifikace na 22 kV za současného ponechání stávající 35 kV sítě.

Tato varianta nepředstavuje kompletní unifikaci sítě VN, ale ponechání dvou napěťových úrovní na hladině VN z důvodu technických a provozních přínosů, které kompenzují vyšší investiční náklady. Celková unifikace na napěťovou hladinu 22 kV, tedy varianta č.1 by vyžadovala velké zásahy do sítě, navíc by došlo ke zmenšení přenosové schopnosti stávající 35 kV sítě. Poslední variantou unifikace je přechod na napěťovou hladinu 35 kV. Tato varianta poskytuje nejvyšší přenosovou schopnost, ale zároveň je ze všech variant unifikace výrazně dražší z důvodu vyšší ceny komponent a rozsáhlé úpravě stávající sítě kvůli větším rozměrům zařízení (nekompatibilní se stávajícím prostorovým dimenzováním zejména elektrických stanic) a velikosti ochranného pásma.

Pokud bychom se rozhodovali pro výběr varianty obnovy a rozvoje sítě VN města Děčín čistě z pohledu investičních nákladů, zvolili bychom variantu rekonstrukce 10 kV. Tato varianta má však své technické (přenosové) limity a horší provozní para-

metry (ztráty). V další části práce jsem zpracoval model ekonomického hodnocení pro porovnání, zda je ekonomicky výhodnější investovat do obnovy stávající 10 kV sítě, nebo je výhodnější provést unifikaci na vyšší hladinu napětí 22 kV pomocí tří scénářů předpokládaného vývoje zatížení.

Z tohoto ekonomického hodnocení vyplývá, že i přes vyšší pořizovací náklady je ekonomicky výhodnější volit variantu unifikace na vyšší napěťovou hladinu zejména z důvodu srovnatelných cen komponent 10 kV a 22 kV, výrazně vyšší přenosové schopnosti sítě a výrazně nižších ztrát.

Na základě provedených výpočtů mohu doporučit řešit obnovu a rozvoj sítě VN města Děčín v budoucích letech pomocí varianty č. 3, tedy unifikací na napěťovou hladinu 22 kV za současného ponechání stávající 35 kV sítě.

Použitá literatura

[1] CEZ.CZ, Severočeská energetika a.s. [online] Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-spolecnosti/skupina-cez/spolecnosti-skupiny-cez-v-cr/reas/sce.html>

[2] ČERNÝ, Radim a kol. Jednotné napětí v distribuční soustavě VN ČEZ Distribuce. Březen 2007,

[3] SKUPINA AUTORŮ, Řízení a stabilita elektrizační soustavy, Asociace energetických manažerů, 2013

[4] VÍTEK, Miroslav.: Ekonomika dopravních energetických systémů, 2. vydání 2008

[5] VÍTEK, Miroslav.: Syllabus přednášek předmětu Dopravní energetické systémy [online], Dostupné z: https://ekonom.feld.cvut.cz/web/images/stories/predmety/x16des/des04_ze_skr.pdf

[6] KISLINGEROVÁ, E. a kol. Manažerské finance, 3. Vydání. Praha : C. H. Beck, 2010.

[7] Fencel, F.: Elektrický rozvod a rozvodná zařízení. Skripta ČVUT, 2009

Seznam příloh

- Příloha č. 1: Náklady spojené s rekonstrukcí 10 kV
- Příloha č. 2: Náklady spojené s unifikací 22 kV
- Příloha č. 3: Náklady spojené s unifikací 35 kV
- Příloha č. 4: Ukázka výpočtu ztrát v závislosti na scénářích
- Příloha č. 5: Ukázka výpočtu NPV
- Příloha č. 6: Schéma zapojení stanice DC_1794
- Příloha č. 7: Schéma zapojení stanice DC_1849
- Příloha č. 8: Schéma zapojení stanice DC_1853
- Příloha č. 9: Schéma zapojení stanice DC_1970
- Příloha č. 10: Schéma 10 kV sítě Města Děčín
- Příloha č. 11: Schéma 22 kV sítě Města Děčín
- Příloha č. 12: Schéma 35 kV sítě Města Děčín
- Příloha č. 13: Výstup z výpočetního programu Bizon (ztráty)
- Příloha č. 14: Výstup z výpočetního programu Bizon (schéma)



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd