



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## NÁVRH PROVEDENÍ PLOŠNÉ KABELIZACE VENKOVNÍCH VEDENÍ 22 KV URČENÉ UZLOVÉ OBLASTI

TECHNICAL DESIGN OF EXTENSIVE REPLACEMENT OF OVERHEAD LINES BY HV CABLES IN GIVEN  
DISTRIBUTION AREA

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Bracek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michal Ptáček, Ph.D.

BRNO 2020

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Bc. David Bracek

**ID:** 174194

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2019/20

## NÁZEV TÉMATU:

### Návrh provedení plošné kabelizace venkovních vedení 22 kV určené uzlové oblasti

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Rešerše dotčené legislativy a technických norem
2. Popis problematiky a rozdílů v provozu venkovních a kabelizovaných linek 22 kV
3. Technický popis určené uzlové oblasti
4. Návrh provedení kabelizace venkovních vedení VN a realizace výpočtů stávajících a kabelizovaných linek 22 kV určené uzlové oblasti vč. návrhu technických opatření
5. Zhodnocení technické proveditelnosti a diskuze ekonomické efektivity

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 1.6.2020

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

**doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.**  
předseda oborové rady

#### UPOZORNĚNÍ:

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

Bibliografická citace práce:

BRACEK, D. *Návrh provedení plošné kabelizace venkovních vedení 22 kV určené uzlové oblasti*. Diplomová práce. Brno: Ústav elektroenergetiky FEKT VUT v Brně, 2020, 60 stran.

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Návrh provedení plošné kabelizace venkovních vedení 22 kV určené uzlové oblasti* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 1.6.2020

.....

## **PODĚKOVÁNÍ**

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Michalovi Ptáčkovi, Ph.D., za odborné vedení a konzultace. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Milanovi Matoušovi, který zastupoval společnost E.ON Distribuce, a.s. za cenné rady a vstřícnost při konzultacích a věcných připomínkách k vypracování diplomové práce.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem plošné kabelizace venkovních vedení 22 kV v určené uzlové oblasti. V první části je práce zaměřena na řešení dotčené legislativy a technických norem, které musí být při vypracování projektové dokumentace dodržovány, procesy, které předcházejí samotné výstavbě a rozdíly v provozu venkovních a kabelizovaných linek 22 kV. Další část je zaměřena na technický popis uzlové oblasti, návrh kabelizace a realizaci výpočtů, které slouží jako podklad pro provedení technických opatření. Dále dochází k posouzení technické proveditelnosti a ekonomické efektivity.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** kabel; kabelizace; projektová dokumentace; technický návrh; kapacitní proud; uzlová oblast; vysoké napětí

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the technical design of extensive replacement of overhead lines by high voltage cables in the given distribution area. In its first part the thesis is focused on the survey of the concerning legislation and technical standards, which must be followed during making technical design documentation. It also mentions the processes which precede the replacement itself. There are also the operational differences between the overhead lines and the high voltage cables in the first part, too. The second part is focused on the technical description of the given area, the technical design of the replacement by high voltage cables and the realization of calculation, which is important as a base for further realization of technical arrangements. The consideration of technical feasibility and economic efficiency are also contained in the second part.

**KEY WORDS:** cable; replacement by high voltage cables; design documentation; technical design; current capacity; given distribution area; high voltage

## OBSAH

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</b>	<b>9</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....</b>	<b>11</b>
<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>14</b>
<b>1.1 CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>14</b>
<b>2 DOTČENÁ LEGISLATIVA A TECHNICKÉ NORMY .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 LEGISLATIVA.....</b>	<b>15</b>
2.1.1 ENERGETICKÝ ZÁKON.....	15
2.1.2 STAVEBNÍ ZÁKON .....	16
2.1.3 VYHLÁŠKA O TECHNICKÝCH POŽADAVCÍCH NA STAVBY .....	16
2.1.4 VYHLÁŠKA O OBECNÝCH POŽADAVCÍCH NA VYUŽÍVÁNÍ ÚZEMÍ.....	17
<b>2.2 TECHNICKÉ NORMY .....</b>	<b>17</b>
2.2.1 TECHNICKÉ NORMY PRO DISTRIBUCI A PŘENOS ELEKTRICKÉ ENERGIE.....	17
2.2.2 PODNIKOVÉ NORMY PRO ENERGETIKU .....	18
<b>2.3 PRAVIDLA PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV .....</b>	<b>19</b>
2.3.1 PRAVIDLA PRO PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SOUSTAV SPOLEČNOSTI E.ON .....	19
<b>2.4 PROCES VÝSTAVBY NOVÝCH KABELOVÝCH SÍTÍ .....</b>	<b>20</b>
2.4.1 NAVRŽENÍ PLÁNOVANÉ TRASY.....	20
2.4.2 ZPRACOVÁNÍ PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE .....	20
2.4.3 VEŘEJNOPRÁVNÍ PROJEDNÁNÍ KABELOVÉ TRASY .....	20
2.4.4 MAJETKOPRÁVNÍ PROJEDNÁNÍ KABELOVÉ TRASY .....	20
2.4.5 PLÁN BOZP .....	21
2.4.6 ÚZEMNÍ ŘÍZENÍ .....	21
<b>3 POPIS PROBLEMATIKY A ROZDÍLŮ V PROVOZU VENKOVNÍCH A KABELOVÝCH LINEK VN.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 VENKOVNÍ VEDENÍ.....</b>	<b>22</b>
3.1.1 VENKOVNÍ VEDENÍ NA NAPĚŤOVÉ HLADINĚ 22 KV .....	22
<b>3.2 PRVKY VENKOVNÍCH VEDENÍ.....</b>	<b>22</b>
3.2.1 VODIČE .....	22
3.2.2 PODPĚRNÉ BODY .....	23
3.2.3 KONZOLY .....	23
<b>3.3 KABELOVÉ VEDENÍ .....</b>	<b>24</b>
3.3.1 KABELOVÉ VEDENÍ NA NAPĚŤOVÉ HLADINĚ 110 KV .....	24
3.3.2 KABELOVÉ VEDENÍ NA NAPĚŤOVÉ HLADINĚ 22 KV .....	24
3.3.3 KABELOVÉ VEDENÍ NA NAPĚŤOVÉ HLADINĚ 0,4 KV .....	25
<b>3.4 TYPY A ROZDĚLENÍ KABELŮ .....</b>	<b>25</b>
3.4.1 JEDNOPLÁŠŤOVÝ KABEL SE ZÁKLADNÍ BARIÉROU PROTI VNIKNUTÍ VODY .....	25
3.4.2 DVOUPLÁŠŤOVÝ KABEL SE ZVÝŠENOU BARIÉROU PROTI VNIKU VODY .....	25
3.4.3 JEDNOPLÁŠŤOVÝ KABEL S VODOTĚSNÝM PROVEDENÍM .....	25
3.4.4 DVOUPLÁŠŤOVÝ KABEL SE ZÁKLADNÍ BARIÉROU PROTI VNIKU VODY .....	25

3.4.5	POUŽÍVANÉ KABELY VN NA DISTRIBUČNÍM ÚZEMÍ SPOLEČNOSTI E.ON .....	26
3.4.6	UKLÁDÁNÍ KABELŮ .....	26
<b>3.5</b>	<b>PROVOZOVÁNÍ DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ VN .....</b>	<b>27</b>
3.5.1	SÍTĚ S IZOLOVANÝM UZLEM .....	27
3.5.2	KOMPENZOVANÉ SÍTĚ .....	27
3.5.3	TOPOLOGIE SÍTÍ .....	28
<b>3.6</b>	<b>ÚSKALÍ KABELOVÝCH VEDENÍ .....</b>	<b>29</b>
3.6.1	VÝHODY KABELOVÝCH VEDENÍ .....	29
3.6.2	NEVÝHODY KABELOVÝCH VEDENÍ .....	32
<b>3.7</b>	<b>ROZVOJ A VÝVOJ KABELOVÝCH VEDENÍ NA NAŠEM ÚZEMÍ .....</b>	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>TECHNICKÝ POPIS URČENÉ UZLOVÉ OBLASTI A NÁVRH PROVEDENÍ KABELIZACE .....</b>	<b>34</b>
<b>4.1</b>	<b>ŘEŠENÁ OBLAST .....</b>	<b>34</b>
4.1.1	SOUČASNÝ STAV VYBRANÉ UZLOVÉ OBLASTI .....	35
4.1.2	PORUCHY V ŘEŠENÉ OBLASTI NA KABELOVÉM VEDENÍ V OBDOBÍ 2015–2018 .....	36
4.1.3	ZHODNOCENÍ .....	37
<b>4.2</b>	<b>NÁVRH PROVEDENÍ KABELIZACE .....</b>	<b>38</b>
4.2.1	NAVRŽENÉ KABELOVÉ VEDENÍ .....	38
4.2.2	ZJEDNODUŠENÁ PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE .....	39
4.2.3	KIOSKOVÉ TRAFOSTANICE A JEJICH VÝZBROJ .....	39
4.2.4	NEVÝHODY KIOSKOVÝCH TRAFOSTANIC .....	40
<b>4.3</b>	<b>OVĚŘENÍ USTÁLENÉHO CHODU SÍTĚ .....</b>	<b>40</b>
4.3.1	USTÁLENÝ CHOD SÍTĚ PŘI SOUČASNÉM STAVU .....	41
4.3.2	USTÁLENÝ CHOD SÍTĚ PO NÁVRHU KABELOVÉHO VEDENÍ .....	43
4.3.3	POROVNÁNÍ USTÁLENÉHO CHODU SOUČASNÉHO/NAVRŽENÉHO .....	45
<b>5</b>	<b>VÝPOČET KAPACITNÍHO PROUDU LINEK SOUČASNÉHO A NAVRŽENÉHO VEDENÍ .....</b>	<b>46</b>
<b>5.1</b>	<b>ULOŽENÍ FÁZOVÝCH VODIČŮ NA KONZOLÍCH .....</b>	<b>46</b>
<b>5.2</b>	<b>VÝPOČET VLASTNÍ KAPACITY VEDENÍ VŮČI ZEMI .....</b>	<b>46</b>
5.2.1	ROVINNÁ KONZOLA, LANO ALFe 6+1 3X70 .....	46
5.2.2	TROJÚHELNÍKOVÁ KONZOLA (DELTA), LANO ALFe6 110/22 .....	48
5.2.3	PŘEPOČET KAPACITY $C_0$ PODLE DÉLKY VEDENÍ .....	49
<b>5.3</b>	<b>KAPACITNÍ PROUDY SOUČASNÝCH LINEK .....</b>	<b>49</b>
<b>5.4</b>	<b>VÝPOČET KAPACITNÍHO PROUDU NAVRŽENÝCH KABELOVÝCH LINEK .....</b>	<b>50</b>
5.4.1	VÝPOČET .....	50
<b>5.5</b>	<b>NÁVRH OPATŘENÍ V ROZVODNĚ TELČ .....</b>	<b>51</b>
5.5.1	VOLBA UZLOVÉHO ODPORNÍKU .....	51
<b>6</b>	<b>EKONOMICKO-TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>52</b>
<b>6.1</b>	<b>POLOŽKOVÝ ROZPOČET VYPRACOVANÉ NAVRŽENÉ KABELIZACE .....</b>	<b>52</b>
<b>6.2</b>	<b>STANOVENÍ CENY VYPRACOVANÉ PROJEKTOVÉ DOKUMENTACE .....</b>	<b>53</b>
<b>6.3</b>	<b>TECHNICKÁ PROVEDITELNOST VYPRACOVANÉHO NÁVRHU KABELIZACE .....</b>	<b>54</b>
<b>6.4</b>	<b>ZHODNOCENÍ EKONOMICKÉ EFEKTIVNOSTI NÁVRHU .....</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>55</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>57</b>



**SEZNAM PŘÍLOH.....60**

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obrázek 3-1: Principiální schéma paprskové sítě. [21]</i> .....	29
<i>Obrázek 3-2: Principiální schéma okružní sítě. [21]</i> .....	29
<i>Obrázek 3-3: Grafické znázornění vývoje SAIDI v období 2009 až 2018. [23]</i> .....	30
<i>Obrázek 3-4: Grafické znázornění vývoje SAIFI o období 2009 až 2018. [23]</i> .....	31
<i>Obrázek 3-5: Grafické znázornění vývoje délky kabelového vedení u jednotlivých distributorů v období 2013-2018. [23]</i> .....	33
<i>Obrázek 4-1: Řešená uzlová oblast. [25]</i> .....	34
<i>Obrázek 4-2: Schéma transformovny Telč</i> .....	35
<i>Obrázek 4-3: Principiální schéma vnitřního kruhu.</i> .....	38
<i>Obrázek 4-4: Nastavení simulace v programu E-Vlivy. [35]</i> .....	41
<i>Obrázek 4-5: Současný stav linky V86 v programu E-Vlivy. [35]</i> .....	41
<i>Obrázek 4-6: Současný stav linky V159 v programu E-Vlivy. [35]</i> .....	42
<i>Obrázek 4-7: Současný stav linky V184 v programu E-Vlivy. [35]</i> .....	42
<i>Obrázek 4-8: Navržený stav linky V86 v programu E-Vlivy. [35]</i> .....	43
<i>Obrázek 4-9: Navržený stav linky V159 v programu E-Vlivy. [35]</i> .....	44
<i>Obrázek 4-10: Navržený stav linky V184 v programu E-Vlivy. [35]</i> .....	44
<i>Obrázek 5-1: Rovinná konzola lehká. [38]</i> .....	47
<i>Obrázek 5-2: Konzola delta. [38]</i> .....	48

**SEZNAM TABULEK**

<i>Tabulka 3-1: Vývoj SAIDI v období 2009 až 2018. [23].....</i>	<i>30</i>
<i>Tabulka 3-2 Vývoj SAIFI v období 2009 až 2018. [23] .....</i>	<i>31</i>
<i>Tabulka 3-3 Délka kabelových vedení jednotlivých distributorů v období 2013-2018. [23].....</i>	<i>32</i>
<i>Tabulka 4-1: Štítkové hodnoty transformátoru T101 v rozvodně Telč.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabulka 4-2: Města a obce v řešené uzlové oblasti. [27] .....</i>	<i>35</i>
<i>Tabulka 4-3: Délka jednotlivých linek v uzlové oblasti. [25] .....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 4-4: Příčiny poruch na venkovním vedení.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 4-5: Příčiny poruch na kabelovém vedení.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabulka 4-6: Rozdělení poruch dle cizího zavinění. ....</i>	<i>37</i>
<i>Tabulka 4-7: Naměřené hodnoty proudu a přenášeného výkonu na vývodech.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabulka 4-8: Hodnoty napětí a zkratového výkonu v současném stavu. ....</i>	<i>43</i>
<i>Tabulka 4-9: Hodnoty napětí a zkratového výkonu po návrhu kabelizace .....</i>	<i>45</i>
<i>Tabulka 5-1: Jednotlivé délky venkovních vedení. ....</i>	<i>46</i>
<i>Tabulka 5-2: Vypočtené hodnoty kapacity <math>C_0</math> jednotlivých venkovních vedení. ....</i>	<i>49</i>
<i>Tabulka 5-3: Tabulka s hodnotami <math>I_c</math> jednotlivých vedení v současném stavu.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 5-4: Tabulka kapacit <math>C_0</math> a délek navržených kabelových vedení. ....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 5-5: Celkový vypočtený kapacitní proud <math>I_c</math> navrženého kabelového vedení. ....</i>	<i>50</i>
<i>Tabulka 6-1: Položkový rozpočet navržené kabelizace.....</i>	<i>52</i>

## SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

symbol	název	jednotka
$C_0$	kapacita vedení proti zemi	[F·km <sup>-1</sup> ]
$d_{12}$	vzdálenost mezi fázovými vodiči 1 a 2	[m]
$d_{13}$	vzdálenost mezi fázovými vodiči 1 a 3	[m]
$d_{23}$	vzdálenost mezi fázovými vodiči 2 a 3	[m]
$d_{lana}$	průměr lana	[m]
$f$	síťová frekvence	[Hz]
$h_1$	vzdálenost fázového vodiče 1 od povrchu země	[m]
$h_2$	vzdálenost fázového vodiče 2 od povrchu země	[m]
$h_3$	vzdálenost fázového vodiče 3 od povrchu země	[m]
$I_{ckab}$	kapacitní proud kabelového vedení	[A]
$I_{cv}$	kapacitní proud	[A]
$I_{cvv}$	kapacitní proud venkovního vedení	[A]
$I_{vývod}$	proud na vývodu	[W]
$P_0$	ztráty naprázdno transformátoru	[W]
$P_k$	ztráty nakrátko transformátoru	[W]
$P_{max}$	maximální přenášený výkon	[W]
$P_{vývod}$	výkon na vývodu	[W]
$Q_{tl}$	jalový výkon tlumivky	[VAr]
$Q_{tl\_rez}$	jalový výkon tlumivky s rezervou	[VAr]
$R$	elektrický odpor	[Ω]
$r$	poloměr lana	[m]
$S_k''$	zdánlivý zkratový výkon	[VA]
$S_{n\_tl}$	nominální zdánlivý výkon tlumivky	[VA]
$S_t$	zdánlivý výkon transformátoru	[VA]
$U$	napětí	[V]
$U_1$	napětí na primární straně transformátoru	[V]
$U_2$	napětí na sekundární straně transformátoru	[V]
$U_f$	fázová hodnota napětí	[V]
$uk$	poměrná hodnota napětí nakrátko	[%]
$U_n$	nominální hodnota napětí	[V]
$\alpha$	potenciálový koeficient	[F·m <sup>-1</sup> ]

$\alpha_v$	vlastní potenciálový koeficient	[F·m <sup>-1</sup> ]
$\varepsilon_0$	permitivita vakua	[F·m <sup>-1</sup> ]
$\varepsilon_r$	relativní permitivita vzduchu	[-]
$\omega$	úhlová rychlost	[rad·s <sup>-1</sup> ]

<b>zkratka</b>	<b>název</b>	
a.s.	akciová společnost	
AC	střídavý proud	
AlFe	hliník-železo	
BOZP	bezpečnost a ochrana zdraví při práci	
CAIDI	průměrná doba jednoho přerušení dodávky elektrické energie	
CENELEC	Evropský výbor pro normalizaci v elektrotechnice	
ČEPS	Česká energetická přenosová soustava	
ČEZ	České energetické závody	
ČSN	Česká státní norma	
ČSRES	Sdružení regulovaných elektroenergetických společností	
DC	stejnoseměrný proud	
DS	distribuční síť	
DTS	distribuční trafostanice	
EIKA	název společnosti	
EN	Evropská norma	
ERÚ	Energetický regulační úřad	
ETSI	Evropský institut pro technické standardy	
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise	
ISO	Mezinárodní norma	
Kč	Koruna česká	
m	metr	
mil. Kč	milión Korun českých	
NN	nízké napětí	
OZE	obnovitelné zdroje energie	
PD	projektová dokumentace	
PNE	podnikové normy energetiky	
PPDS	Pravidla pro provozování distribučních soustav	
PRE	Pražská energetika	

---

PVC	polyvinylchlorid
SAIDI	průměrná celková doba přerušení dodávky elektrické energie
SAIFI	četnost přerušení dodávky elektrické energie
SBVB	smlouva budoucí o věcných břemenech
VB	věcné břemeno
VN	vysoké napětí
XLPE	zesíťený polyetylen

# 1 ÚVOD

Hlavním úkolem provozovatele distribuční soustavy je zajištění distribuce elektrické energie na vymezeném území, až ke koncovým spotřebitelům. K tomuto účelu se používá elektroenergetických prvků, které svým účelem a vhodným umístěním, tvoří jako celek distribuční síť. Jedním z těchto prvků jsou elektrická vedení na napěťové hladině 22 kV, která jsou na území České republiky (ČR) zbudována převážně jako venkovní. Pro zajištění spolehlivosti, kvality a nepřetržitosti dodávky elektrické energie i při poruchových stavech je třeba vytvořit větší variabilitu vedení tak, aby tyto parametry byly dodrženy. Ne vždy se toho dá lehce při současném stavu sítě dosáhnout, a proto se vyhledávají nová technická řešení pro zlepšování těchto parametrů.

Jedním z možných řešení je kabelizace venkovních vedení, která má za úkol odhalovat náležitosti, úkony, opatření a důsledky za účelem dosažení vyšší kvality distribuce elektrické energie a variability sítě. Dalším důvodem, který podporuje budování kabelových vedení, jsou úpravy legislativy, které dokonce nařizují vytvářet nová vedení jako kabelová, zejména ve vyhlášce o územním plánování č. 501/2006 Sb.[1] a novelách stavebního zákona č. 163/2006 Sb.[2]. Také podpoře kabelizace přispívá Národní akční plán [3], kde je předpokládán budoucí stav a rozvoj sítě vysokého napětí (VN) v období 2020–2024 jako okružní vedení, která jsou v hustě osídlených územích provedena jako kabelová a obsahují vysokou míru automatizovaných prvků, včetně distribučních trafostanic. Tyto stanice jsou dálkově ovládány z centrálních dispečinků. Tyto aspekty jsou dalším důvodem, proč vytvářet, navrhovat a provozovat kabelové sítě i ve větším rozsahu, než jsou intravilány obcí. Návrh plošné kabelizace nemá zajistit samotnou realizaci daného projektu, ale poukázat na úskalí tohoto návrhu, ze kterých se bude vycházet při budoucích návrzích a výstavbách takto velkých kabelových oblastí.

Práce je rozdělena na dvě části, a to konkrétně část teoretickou a část praktickou. Teoretická část se zabývá legislativou a technickými normami, kde je vysvětleno, jaké kroky vedou ke správnému návrhu a vypracování projektové dokumentace. Dále je porovnán rozdíl v provozování distribučních sítí. Praktická část plynule navazuje na poznatky z teoretické části, kde je představen technický popis určené uzlové oblasti, bližší specifikace parametrů této oblasti v současném stavu a přechod k návrhu kabelových vedení a s ním spojené výpočty a opatření. V poslední části je nastíněno technické zhodnocení a ekonomická efektivnost vypracovaného návrhu kabelizace.

## 1.1 Cíle práce

Diplomová práce má za cíl demonstrovat návrh plošné kabelizace venkovních vedení, odhalovat dopady a úskalí tohoto návrhu, a jaké úkony samotný návrh takto rozsáhlé oblasti obnáší. Smyslem není vypracovat projektovou dokumentaci s vysokou efektivností pro konkrétní uzlovou oblast, ale docílit studie, která bude mít další uplatnění v budoucích výstavbách kabelových vedení distributora E.ON Distribuce, a.s.

## 2 DOTČENÁ LEGISLATIVA A TECHNICKÉ NORMY

Tato kapitola provádí rešerši zákonů, vyhlášek, norem a nařízení, které je třeba dodržovat při návrhu kabelových sítí v elektroenergetice.

### 2.1 Legislativa

Při návrhu a následné realizaci kabelového vedení je třeba dbát na dodržení příslušné platné legislativy, zejména zákony, vyhlášky, nařízení a předpisy. Z pozice energetiky jsou pro nás důležité zejména tyto zákony a vyhlášky:

- zákon č. 458/2000 Sb., Energetický zákon [4]
- zákon č. 183/2006 Sb. ve znění novely č. 225/2017 Sb., Stavební zákon [2]
- vyhláška č. 268/2009 Sb., vyhláška o technických požadavcích na stavby [5]
- vyhláška č. 501/2006 Sb., vyhláška o obecných požadavcích na využívání území [1]

#### 2.1.1 Energetický zákon

Zákon, který pojednává o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích, č. 458/2000 Sb. Samotný zákon se nevztahuje jen na obor elektroenergetiky, ale také zahrnuje obory plynárenství a teplárenství, práva a povinnosti fyzických a právnických osob s tím spojené.[4]

Dále se tímto zákonem rozumí vymezení pojmů v energetice, které jsou obsaženy v §2 energetického zákona [4]:

1. *distribuční soustavou vzájemně propojený soubor vedení a zařízení o napětí 110 kV, s výjimkou vybraných vedení a zařízení o napětí 110 kV, která jsou součástí přenosové soustavy, a vedení a zařízení o napětí 0,4/0,23 kV, 1,5 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV, 25 kV nebo 35 kV sloužící k zajištění distribuce elektřiny na vymezeném území České republiky, včetně systémů měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky včetně elektrických přípojek ve vlastnictví provozovatele distribuční soustavy; distribuční soustava je zřizována a provozována ve veřejném zájmu,*
2. *elektrickou přípojkou zařízení, které začíná odbočením od spínacích prvků nebo přípojnic v elektrické stanici a mimo ní odbočením od vedení přenosové nebo distribuční soustavy, a je určeno k připojení odběrného elektrického zařízení,*
3. *elektrickou stanicí soubor staveb a zařízení elektrizační soustavy, který umožňuje transformaci, kompenzaci, přeměnu nebo přenos a distribuci elektřiny, včetně prostředků nezbytných pro zajištění jejich provozu,*
4. *elektrizační soustavou vzájemně propojený soubor zařízení pro výrobu, přenos, transformaci a distribuci elektřiny, včetně elektrických přípojek, přímých vedení, a systémy měřicí, ochranné, řídicí, zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky, a to na území České republiky,*
5. *měřicím zařízením veškerá zařízení pro měření, přenos a zpracování naměřených hodnot,*
6. *odběrným místem místo, které je připojeno k přenosové nebo k distribuční soustavě a kde je instalováno odběrné elektrické zařízení jednoho zákazníka, včetně měřicích transformátorů, do něhož se uskutečňuje dodávka elektřiny,*



7. *odchytkou součet rozdílů skutečných a sjednaných dodávek nebo odběrů elektřiny v daném časovém úseku.*

### 2.1.2 Stavební zákon

Zákon, který pojednává o územním plánování a stavebním řádu, č. 163/2006 Sb., v aktuálním znění novely č. 225/2017 Sb., kde hlavním cílem je rozvoj, vyhodnocování vlivů, rozhodování v území, a to ve věcech územního plánování. Zákon také vymezuje podmínky pro výstavbu, rozvoj území a přípravu veřejné infrastruktury. [2]

Dále podle zdroje [2] tento zákon: *„upravuje podmínky pro projektovou činnost a provádění staveb, obecné požadavky na výstavbu, účely vyvlastnění, vstupy na pozemky a do staveb, ochranu veřejných zájmů a některé další věci související s předmětem této úpravy“.*

Pro potřeby elektroenergetiky se v § 2 stavebního zákona [2] rozumí, že trafostanice, elektrická vedení, komunikační vedení a elektronické komunikační zařízení spadají pod veřejnou infrastrukturu (pozemky, stavby, zařízení).

### 2.1.3 Vyhláška o technických požadavcích na stavby

Z vyhlášky č. 268/2009 Sb. je zásadní pro elektroenergetiku § 34, který pojednává o připojení staveb k distribučním sítím, vnitřních silnoproudých rozvodech a vnitřních rozvodech sítí elektronických komunikací.

Vyhláška dle zdroje [5] stanovuje:

1. Vnitřní silnoproudé rozvody se připojují na distribuční sítě přípojkou nebo rozšířením distribuční soustavy elektřiny.
2. Elektrický rozvod musí podle druhu provozu splňovat v souladu s normovými hodnotami požadavky uvedené ve zdroji [5]:
  - *„bezpečnost osob, zvířat a majetku,*
  - *provozní spolehlivost v daném prostředí při určeném způsobu a vlivu prostředí,*
  - *přehlednost rozvodu, umožňující rychlou lokalizaci a odstranění případných poruch,*
  - *snadnou přizpůsobivost rozvodu při požadovaném přemísťování elektrických zařízení a strojů*
  - *„dodávky elektrické energie pro zařízení, která musí zůstat funkční při požáru“.*
3. Transformační stanice a náhradní zdroje el. energie, které jsou umístěné v budovách, musí vyhovovat požadavkům na zajištění bezpečnosti, hygienickým požadavkům, požadavkům na ochranu životního prostředí a požárně bezpečnostním požadavkům.
4. Na stavbě musí být umožněn vstup silnoproudých kabelů a kabelů sítí elektrotechnických komunikací do budovy, umístění rozvodných skříní a provedení vnitřních silnoproudých rozvodů ke koncovým bodům.
5. V každé stavbě musí být zřízeno trvale přístupné a viditelně označené zařízení, které umožňuje vypnutí elektrické energie.
6. V každé stavbě musí být zřízena hlavní ochranná přípojnice a její uzemnění je provedeno propojením se základovým zemničem.

### 2.1.4 Vyhláška o obecných požadavcích na využívání území

Tato vyhláška č. 501/2006 Sb., stanovuje obecně požadavky na: využívání území při vymezení ploch a pozemků, stanovuje podmínky využití a umístování staveb, rozhodování o změně stavby a o změně vlivu na stavby na využití území.[1]

Dle požadavků na umístování staveb, které jsou uvedeny v § 23 a §24 této vyhlášky[1], jsou obecné a zvláštní požadavky na umístění:

- Stavby se budou umísťovat tak, aby bylo možné je napojit na sítě technické infrastruktury a pozemní komunikace. Umístění stavby na pozemku tak, aby bylo mimo ochranná pásma energetických vedení umožněno přístupu požární techniky a provedení jejího zásahu.
- Tak, aby stavba ani její část nezasahovala na sousední pozemky. Pokud bude stavba umístěna na hranici pozemků nebo v její bezprostřední blízkosti, nesmí být znemožněna zástavba na sousedních pozemcích.
- Mimo stavební pozemek mohou být umístěny jenom stavby zařízení staveniště a přípojky staveb na sítě technické infrastruktury.
- Pokud jsou v zastavěném území obcí zřízeny rozvodná energetická vedení a vedení elektronických komunikací, tak se umísťují pod zem.

Poslední zmíněný bod požadavků na umístování staveb je z pohledu kabelizace velice důležitý, protože pokud bychom se podívali na dřívější znění této vyhlášky [1], tak zjistíme, že dříve vyhláška pouze doporučovala umístění vedení pod zem. Z toho plyne, že pokud se budou zřizovat elektrické vedení v zastavěných částech obce, tak musí být provedena kabelovým vedením. Pokud to však z nějakého opodstatněného důvodu nebude možné, lze zvolit jiný způsob na základě opodstatněné výjimky.

## 2.2 Technické normy

Pojem technická norma si můžeme podle zdroje[6] představit, že:

- „je vyjádřením požadavků na to, aby výrobek, proces nebo služba byly za specifických podmínek vhodné pro daný účel.
- Stanoví základní požadavky na kvalitu a bezpečnost, slučitelnost, zaměnitelnost, ochranu a životní prostředí.“

Technickou normu si můžeme rozdělit podle vydání na:

- česká technická norma (ČSN) která se vytváří v daných oblastech, kde neexistují mezinárodní nebo evropské normy
- mezinárodní a evropské normy (EN, ETSI, ISO) které byly přejaty do soustavy českých norem a staly se normami českými (ČSN EN, ČSN EN ISO, ČSN ISO, ...)

V současnosti je dodržování technické normy nezávazné a její užívání je dobrovolné. Norma slouží jako dokument, který je založen na souhlasu zúčastněných stran a jsou v ní obsaženy základní otázky dané problematiky. V našem případě problematiky elektroenergetiky řeší podnikové normy pro energetiku. [6]

### 2.2.1 Technické normy pro distribuci a přenos elektrické energie

Normy vydané v oboru elektroenergetiky se týkají normalizace ve výrobě, distribuci a přenosu elektrické energie včetně prvků distribuční soustavy a přenosové soustavy. Jelikož obor

elektroenergetiky je poměrně rozsáhlý obor zaměřený, tak technické normy jsou složeny nejen z českých technických norem, ale také i z podnikových norem pro rozvod elektrické energie (PNE). Právním základem pro technické normy je zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích (energetický zákon).[7]

Většina českých norem pro elektroenergetiku vychází z evropské a mezinárodní normy pro distribuční síť (DS), která je sestavena a vydána evropským výborem pro normalizaci v elektrotechnice (CENELEC) a mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC). V těchto normách jsou dle zdroje [7] zahrnuty následující oblasti:

- Terminologie
- Jmenovitá napětí, proudy a kmitočty
- Parametry kvality elektrické energie
- Venkovní vedení
- Silové transformátory
- Spínací a řídicí zařízení (vypínače, spínače, rozváděče)
- Izolační průchodky
- Koordinace izolace
- Měřicí transformátory
- Technika zkoušení VN a VVN
- Systémy a zařízení dálkového ovládání
- Zkratové proudy
- Práce pod napětím
- Ochrana před přepětím
- Silové instalace nad 1 kV AC a 1,5 kV DC
- Obsluha a práce na elektrickém zařízení

### 2.2.2 Podnikové normy pro energetiku

Podnikové normy PNE jsou společnými technickými normami provozovatelů distribučních soustav a také provozovatelem přenosové soustavy. Provozovatelé tvoří české sdružení regulovaných elektroenergetických společností (ČSRES).

Toto sdružení je dle zdroje [8] popsáno jako: „*sdužení právnických osob je samostatnou právnickou osobou, podle ust. § 20 f a následujících zákonů č. 40/1964 Sb., Občanský zákoník, které bylo založeno přijetím zakladatelské smlouvy.*“

Předmětem činnosti ČSRES jsou oblasti:

- legislativně-právní,
- regulace provozovatelů distribučních soustav a provozovatele přenosové soustavy,
- provozování distribučních soustav a oblast provozování přenosové soustavy,
- ostatní činnosti sdružení a spolupráce se zájmovými korporacemi působícími v českém a zahraničním prostředí.

Členové sdružení ČSRES dle zdroje [8] :

- ČEPS, a.s. Provozovatel přenosové soustavy (PPS).
- ČEZ Distribuce, a.s. Provozovatel distribuční soustavy (PDS).
- E.ON Distribuce, a.s. PDS.
- PREdistribuce, a.s. PDS.

Normy PNE převážně řeší navrhování, montáž a provoz rozvodných zařízení v soustavách. Lze je také nazvat tak, jak jsou uvedeny ve zdroji [8]: *„nižším stupněm technických norem a vhodným způsobem doplňují soustavu norem ČSN v oblasti elektroenergetiky. Z pohledu zákona č.458/2000 Sb. lze chápat normy PNE jako technické normy výrazně oborového charakteru, přejímané organizacemi elektroenergetiky do svých vnitřních předpisů převážně závazného charakteru, a uplatňované při technických řešeních rozvodných zařízení i v rámci smluvních vztahů s dodavateli mimo elektroenergetiku.“*

Společně normy PNE a ČSN tvoří *„normativní základnu pro elektroenergetiku s využitím i v energetické legislativě“*. [8]

## 2.3 Pravidla provozování distribučních soustav

Pravidla pro provozování distribuční soustavy (PPDS) jsou obecně definovány podle zdroje [9] jako pravidla, která: *„vytváří jednotlivé energetické subjekty podnikající v distribuci elektrické energie. Jsou schvalovány Energetickým regulačním úřadem a navazují na Pravidla provozování přenosové soustavy“*.

Tyto pravidla PPDS lze charakterizovat jako:

- stanoviska pro připojení uživatelů k DS a to minimální technické, plánovací, provozní a informační požadavky,
- soubor informací, ke kterým není třeba právní, technické a další podklady,
- definování základních pravidel, která zajišťují koordinaci a spolupráci mezi účastníky trhu s elektrickou energií.[9]

### 2.3.1 Pravidla pro provozování distribučních soustav společnosti E.ON

PPDS společnosti E.ON, které stanovují pravidla pro provoz distribuční soustavy zmíněné v předchozí kapitole, jsou závazná pro všechny dotčené účastníky trhu s elektřinou, kteří spadají pod tohoto distributora. V těchto PPDS jsou specifikovány požadavky na zařízení elektrických stanic, venkovních vedení a pro nás potřebných kabelových vedení.[9]

Tento zdroj [9] také uvádí, že zásady pro návrh, výrobu zkoušky a instalaci kabelových vedení, včetně požadavků na kvalitu, musí vyhovovat příslušným technickým normám (ČSN a PNE) a také zákonným požadavkům. Dále je zde uvedeno, že kabelová vedení musí být schopna provozu v rozsahu klimatických a distribučních podmínek v příslušné distribuční soustavě, při dodržení stanovených právních předpisů a technických norem.

## 2.4 Proces výstavby nových kabelových sítí

V následující podkapitolách jsou popsány náležitosti a procesy předcházející samotné výstavbě kabelového vedení.

### 2.4.1 Navržení plánované trasy

Výchozí podklady dle zdroje [10] pro technické návrhy sítě jsou:

- možný připojitelný výkon/příkon,
- plánování na základě rozvoje sítě,
- plánování na základě zákaznických staveb,
- úpravy sítě na základě požadavků obnovy,
- zapojení navržené sítě, ovládání prvků, chránění.

S těmito podklady technik pracuje tak, aby byla dodržena maximální úroveň flexibility, přehlednost pro řízení provozu a lokalizaci poruch, požadované životnosti sítí v uvažovaném časovém horizontu, zohlednění s předpokládaným rozvojem a obnovou sítí VN. Následně jdou tyto návrhy projektantovi, který je uvede do reálné podoby. [10]

### 2.4.2 Zpracování projektové dokumentace

Na základě návržení trasy kabelového vedení je projektantem zpracována projektová dokumentace pro územní řízení. Náležitosti vypracované projektové dokumentace je dána rozsahem a obsahem dokumentace pro liniové stavby technické infrastruktury dle zákona č. 499/2006 Sb. [11]

### 2.4.3 Veřejnoprávní projednání kabelové trasy

Projekt výstavby kabelového vedení bude projednán se všemi osobami, orgány a organizacemi, které jsou stavbou dotčeny. Rozsah dotčených osob, orgánů a organizací je dán požadavkem příslušného úřadu, který vydává povolení stavby. Pokud stavba nepodléhá povolení dle zákona č. 183/2006 Sb., bude stavba projednána s ostatními provozovateli inženýrských sítí v dané oblasti a s dotčenými orgány státní správy. Tyto náležitosti provede projektant na základě plné moci mu svěřené od investora projektové dokumentace. [12]

### 2.4.4 Majetkoprávní projednání kabelové trasy

Umístění kabelového vedení, které je navrženo v projektové dokumentaci, musí být projednáno a odsouhlaseno všemi správci a vlastníky dotčených nemovitostí. Provozovateli distribuční soustavy je dle zákona č. 458/2000 Sb., [4] uložena povinnost: „zřídit věcné břemeno, které umožňuje provozovateli využít cizí nemovitosti nebo její části, a to na základě uzavřením smlouvy s vlastníkem nemovitosti“. Vzhledem k tomu, že proces zřizování věcných břemen se všemi správci a vlastníky dotčených nemovitostí je zdoluhavý proces, je dobré započít tato jednání s dostatečným předstihem tak, aby se předešlo prodlužování doby zpracování projektové dokumentace. Pokud nastanou problémy při uzavírání smluv o věcných břemenech, případně smluv o smlouvách budoucích, je možné že plánovaná trasa kabelového vedení bude změněna.

### **2.4.5 Plán BOZP**

Na základě souladu se zákonem č. 309/2006 Sb., a vyhláškou č. 591/2006 Sb., musí být u staveb se zvýšeným ohrožením života vypracován plán bezpečnosti a ochrany zdraví při práci (BOZP).[13]

### **2.4.6 Územní řízení**

Projektová dokumentace zpracovaná pro územní řízení, musí projít na příslušném stavebním úřadě obce nebo města procesním postupem, který dle zákona [2] č. 183/2006 Sb., rozhoduje o umístování staveb, ochraně zájmů území, využití území a dělení a zcelování pozemků.

## 3 POPIS PROBLEMATIKY A ROZDÍLŮ V PROVOZU VENKOVNÍCH A KABELOVÝCH LINEK VN

V následujících podkapitolách jsou popsány rozdíly mezi kabelovým a venkovním vedením, principy provozování sítí vysokého napětí a jsou zde představena úskalí kabelizace.

### 3.1 Venkovní vedení

Venkovní vedení jsou ve většině případů tvořeny holými vodiči, které jsou přichyceny k izolátorům a podpírány vhodnými podpěrnými body. Tyto vodiče jsou vedeny na terénu. Využití nadzemního vedení se preferuje tam, kde nejsou kladena omezení na prostor. Zde ale vzniká složitost v projednání venkovních vedení, protože musí být dodrženo ochranné pásmo 7 m na každou stranu od krajního vodiče. Proto se neprovádí tak častá výstavba nových vedení, ale dochází pouze k obnovám v původní trase. Nová vedení VN se budují přednostně kabelová. [14]

#### 3.1.1 Venkovní vedení na napěťové hladině 22 kV

Vedení na této napěťové hladině je využíváno pro přenos elektrické energie do míst její spotřeby, kterými jsou nejčastěji: obce, města a velkoobdobatelé. V porovnání s venkovním vedením na napěťové hladině 110 kV jsou vedení kratší, ale síť je mnohem hustější. Je u nich vyžadována vysoká spolehlivost dodávky a vedení jsou provozována převážně jako paprsková. [14]

Dále se také liší šířka ochranného pásma, kde u napěťové hladiny 110 kV je to 12 m od krajního vodiče a u hladiny 22 kV je šířka pásma pro holé vodiče 7 m od krajního vodiče. [4]

### 3.2 Prvky venkovních vedení

V této podkapitole kapitole je popsáno, z jakých prvků je složeno venkovní vedení VN.

#### 3.2.1 Vodiče

Vodič je podle zdroje [14] definován jako elektricky vodivý materiál, který slouží k přenosu elektrického proudu a napětí. Vodiče u venkovního vedení podle zdroje [14] dělíme na:

- holé vodiče,
- jednoduché izolované vodiče,
- slané závěsné kabely.

##### 3.2.1.1 Holé vodiče

Holý vodič je základním používaným typem vodiče v sítích VN. Především se využívají AlFe lana (hliníková slané lana s nosným ocelovým lanem). Nejčastěji používané typy: AlFe 42/7, AlFe 70/11-1, AlFe 110/22 nebo AlFe 180/31. [14]

Pokud bychom se zaměřili na vedení s holými vodiči v lesních úsecích, je jejich provoz a údržba náročnější ve srovnání s vedením například na polích. Hlavním důvodem jsou padající větve při nepříznivých povětrnostních podmínkách.

##### 3.2.1.2 Jednoduché izolované vodiče

Ve zdroji [14], že to jsou: „komprimovaná lana, slané z drátů z hliníkové slitiny, opatřené jednoduchou izolací“. Jelikož se jedná pouze o základní izolaci, tak z hlediska ochrany před nebezpečným dotykem živých částí, se tato vedení považují za vedení bez ochrany. Návrh těchto

vedení je obdobný jako při návrhu vedení s holými vodiči, ale v tom rozdílu, že vzdálenost mezi fázovými vodiči je kratší a ochranné pásmo vedení jsou 2 m od krajního vodiče. Nejčastější použití tohoto typu vedení:

- tam, kde je nebezpečí pádu stromů do vedení,
- tam kde je požadavek na zúžení ochranného pásma,
- ve výjimečných a zdůvodnitelných případech, například jako vývody z rozvoden.

Na našem distribučním území se nejčastěji používají jednoduché izolované vodiče o průřezech 50 mm<sup>2</sup>, 70 mm<sup>2</sup> a 120 mm<sup>2</sup>. [14]

V současnosti se od používání ustupuje z důvodu složitého vyhledání mechanického poškození. V případě pádu stromu/předmětu na vodič nevznikne zemní spojení a dispečer není o této poruše informován.

### 3.2.1.3 Slaněné závěsné kabely

Dle zdroje [14] to jsou: „svazkované třížilové závěsné kabely s plnou izolací a stíněním, zavěšené pomocí nosného ocelového pozinkovaného lana“. Tyto kabely nevyžadují další izolaci. Jejich velkou nevýhodou je vyšší pořizovací cena a bývají používány v ojedinělých případech:

- pokud se jedná velmi hustou zástavbu, kde není možné přivést přípojku do trafostanice a varianta s využitím kabelu uloženého v zemi není technicky proveditelná,
- tam kde z prostorových, ekologických, technických a jiných důvodů není možné využití kabelu uloženého v zemi,
- pokud se jedná o dočasné a havarijní odběry,
- ve výjimečných případech, pokud se jedná o vedení v zalesněných prostorech nebo při průchodu venkovního vedení v blízkosti jiných objektů.

V současné době se od instalace těchto kabelů odstupuje především z důvodu obtížného vyhledávání poruch.

### 3.2.2 Podpěrné body

Nejčastěji používaným podpěrným bodem u vedení VN jsou betonové, dřevěné, ocelové, plechové sloupy a příhradové stožáry. Podpěrným bodem nemusí být pouze jen sloup a stožár, ale také konstrukce stožárových trafostanic, zděné trafostanice a rozvodny, portály rozvoden a budovy připojených objektů. Podle druhu použití jsou podpěrné body dimenzovány tak, aby dostatečně odolávali zatížení, které na ně působí. [14]

### 3.2.3 Konzoly

Konzoly, které jsou umístěny na sloupech a stožárech zmíněných v podkapitole 3.2.2 musí vyhovovat schváleným materiálovým standardům. Konzoly se využívají zejména pro venkovní vedení s holými a jednoduchými vodiči. Typ konzol a konfigurace vodičů závisí na typu zvoleného vodiče. [14]

#### 3.2.3.1 Konzoly pro holé vodiče

Pokud se jedná o jednoduché vedení, tak nejčastěji používanými konzolami jsou dle zdroje [14]:



- konzola pro rovinné uspořádání se třemi vodiči vedle sebe s umístěním krajního vodiče 1,5 m od osy vedení,
- konzola pro trojúhelníkové uspořádání s vyvýšeným středním vodičem v ose vedení, nejčastěji systémy konzol typu Delta a Pařát, které mají umístěny krajní vodiče 0,8–1 m od osy vedení.

Při výstavbě nových venkovních vedení se preferuje trojúhelníkové uspořádání.

Konzoly u dvojitého vedení a vícenásobného vedení, která jsou umístěna na příhradových stožárech, se využívají v konfiguraci typu soudek, popřípadě typu dvojitý soudek.

### 3.2.3.2 Konzoly pro jednoduché izolované vodiče

Vodiče u jednoduchého vedení jsou umístěny vedle sebe, kde šířka vedení je 1 m a vzdálenosti mezi fázovými vodiči jsou 50 cm.

Dvojité vedení mají fázové vodiče umístěny pod sebou a uvažuje se z předpokladem, že vzdálenost mezi vodiči různých vedení bude větší, než mezi vodiči téhož vedení a zvolená konfigurace bude dodržena v celé své délce. [14]

### 3.2.3.3 Konzoly pro slané závěsné kabely

Slané závěsné kabely jsou uchyceny pomocí nosných a kotevních svorek a k upevnění na sloupy nebo stožáry se používají kotevní objímky, konzoly, příp. nástavce na betonové sloupy. Tyto nástavce mohou sloužit i jako konstrukce pro připevnění souběžných izolovaných vedení nízkého napětí (NN). [14]

## 3.3 Kabelové vedení

Obecně můžeme říci, že podle zdroje [14]: „*kabelová vedení nachází uplatnění tam, kde nelze z prostorových, bezpečnostních případně jiných důvodů (silná námrazová oblast, chemicky agresivní prostředí) použít vedení venkovní*“. Kabelová vedení můžeme rozdělit podle jednotlivých napěťových úrovní.

### 3.3.1 Kabelové vedení na napěťové hladině 110 kV

Realizace kabelových vedení 110 kV není tak častá (v porovnání s venkovním vedením), zejména kvůli technické náročnosti a také hlavně kvůli vysokým investičním nákladům. Pokud dochází k výstavbám kabelových vedení, jedná se například o velmi hustě zastavěná území (velká města) nebo průmyslové zóny. [14]

### 3.3.2 Kabelové vedení na napěťové hladině 22 kV

Největší uplatnění kabelových vedení jsou rozvody ve velkých městech. Tato vedení jsou realizována z důvodu velké zástavby měst, kde uložení do podzemních kolektorů, výkopů s pískovým ložem nebo jinou mechanickou ochranou, odpadají poruchy způsobené povětrnostními podmínkami v dané lokalitě. To má za následek snížení počtu přerušení dodávky elektrické energie, a naopak zvýšení spolehlivosti provozu sítí. [14]

Další výhodou kabelového vedení je oproti venkovnímu vedení podstatně menší šířka ochranného pásma, kde u venkovního vedení je dle zdroje [4] šířka 7 m od krajního vodiče.

### 3.3.3 Kabelové vedení na napěťové hladině 0,4 kV

Kabelové vedení 0,4 kV lze charakterizovat podle zdroje [14] jako: „vedení se jmenovitým napětím 400 V slouží k rozvodu elektrické energie od transformátorů 22/0,4 kV až do přípojkové skříně spotřebitele. Hlavní kabelová vedení NN se navrhují a provozují převážně jako okružní vedení, rozpojené na jednotlivé paprsky“.

## 3.4 Typy a rozdělení kabelů

Vysokonapěťové kabely s izolací ze zesíťovaného polyetylénu můžeme rozdělit dle zdroje [14] ze dvou hledisek, první je z hlediska opláštění kabelu a druhé je proti vniku vody.

Z hlediska opláštění kabelu:

- jednoplášťový kabel,
- dvouplášťový kabel.

Z hlediska bariéry proti vniku vody:

- standardní bariéra pod pláštěm, která je vždy obsažena v každém provedení kabelu,
- přídatná bariéra v jádře kabelu ke zvýšení ochrany proti podélnému vniknutí vody,
- vodotěsné provedení kabelu zvýšenou ochranou proti vniknutí tlakové vody.

### 3.4.1 Jednoplášťový kabel se základní bariérou proti vniknutí vody

Standardně používaný VN kabel je kabel s jedním pláštěm z lineárního polyetylénu s bariérou proti podélnému vniknutí vody pod pláštěm. Tento kabel se bude používat dle zdroje [14] v těchto případech:

- pro uložení do země a netlakové spodní vody (hladina vodního sloupce je níže než 2 m, zjistí se geologickým průzkumem),
- pro přívod do první distribuční trafostanice (DTS) od místa napojení na dvouplášťový kabel jdoucí z rozvodny VN,
- pro propojovací distribuční vedení mezi jednotlivými DTS (smyčkování bez protipožárního opatření v DTS),
- pro opravy poruch klasických kabelů (vývody na přechodové stožáry či sloupy, v trasách kabelových vedení).

### 3.4.2 Dvouplášťový kabel se zvýšenou bariérou proti vniku vody

Kabely v tomto provedení nejsou standardně používány. Pokud ano, tak je použití kabelu možné jen ve zdůvodnitelných případech. [15]

### 3.4.3 Jednoplášťový kabel s vodotěsným provedením

Kabel v uvedeném provedení se používá jen v případě křížení vodního toku či uložení do zeminy, kde se vyskytuje tlaková spodní voda (hladina vodního sloupce vyšší než 2 m).

### 3.4.4 Dvouplášťový kabel se základní bariérou proti vniku vody

Tento kabel má přídatný plášť z polyvinylchloridu PVC, který mu zajišťuje odolnost proti šíření plamene. Proto se bude v tomto provedení používat jen tam, kde hrozí nebezpečí šíření plamene v případě zahoření kabelu. Tyto případy dle zdroje [15] jsou:

- v kolektorech
- na propoje mezi transformovnou 110/22, 35 kV a kobkami,
- vývody z kobek rozvodny VN k přechodovým stožárům,
- vývody z kobek rozvodny VN po první spojky kabelového vedení (napojení na jednoplášťový kabel).

### 3.4.5 Používané kabely VN na distribučním území společnosti E.ON

Použití kabelů VN je dáno zejména nároky na konstrukci a materiál kabelu, tak aby vyhovoval podmínkám pro uložení v městské zástavbě je především odolnost vůči vniku vlhkosti do izolace kabelu. Původní kabely na bázi papír/olej, jsou v dnešní době nahrazovány kabely XELPE-kabely s izolací ze zesíťovaného polyethylenu. Jedním z nejpoužívanějších kabelů v DS síti E.ON je například kabel typu AXEKVCEY o nominálních průřezích 70, 150 a 240 mm<sup>2</sup>. [16]

Dalším využívaným kabelem, který se instaluje v DS od roku 2007 je kabel typu NA2XS(F)2Y (silový kabel s izolací ze zesíťovaného polyethylenu, s hliníkovým jádrem, podélnou odolností proti vodě, pro uložení v ohebných ochranných trubkách v zemi). [16] [17]

Tento typ kabelu se používá i při návrhu a samotné realizaci především nových kabelových vedení. Společnost E.ON Distribuce, a.s. používá nejčastěji kabely o nominálním průřezu 240 mm<sup>2</sup> pro kmenová vedení a kabely s průřezem 150 mm<sup>2</sup> pro odbočky a vnitřní kruhy z kmenových vedení. Tento typ kabelu bude později využit při návrhu kabelizace zadané uzlové oblasti v kapitole 4.2.

Řez kabelem včetně popisu jednotlivých částí je uveden v příloze A k této práci.

### 3.4.6 Ukládání kabelů

Uložení a kladení kabelů musí být provedeno tak, aby byl brán zřetel k uvažovanému prostředí, kde bude kabel ukládán, dále na zatěžování, elektromagnetické kompatibilitě a nebezpečným vlivům ostatních vedení. Kabely nesmí být kladeny do země v oblastech, které mohou nebo obsahují soli a kyseliny, půdách s hnojivými látkami. V takových případech je nutné klást kabely do kanálů, tunelů, trub a vhodně je chránit tak, aby odolaly mechanickým a chemickým působením. [18]

Rozlišujeme dva typy kladení kabelů, a to buď do výkopu nebo kladení metodou pluhování.

#### 3.4.6.1 Kladení kabelu ve výkopu

Kabely jsou kladeny na vrstvu pískového lože o tloušťce nejméně 80 mm a po pokládce jsou zasypány pískovou vrstvou o stejné tloušťce. Kabely VN musí být zakryty betonovými nebo plastovými deskami, tak aby kabel nebo kabely překrývaly nejméně o 40 mm. Nad ochranou konstrukcí musí být umístěna ještě výstražná fólie. Dále musí mít krytí nejméně 1 m, to je opatřeno zasypáním výkopovým materiálem. [18]

Vzorový řez výkopu s uložením kabelů je uveden v příloze A k této práci.

#### 3.4.6.2 Kladení kabelů metodou pluhování

Metoda spočívá v kladení kabelů do země pomocí strojního zaorávání. Dle zdroje [18] je toto ukládání vhodné:

- do míst, která umožňují pokládku v dlouhých úsecích bez spojek,
- ve volném terénu bez křížování inženýrských sítí,
- pro uložení všech tří vodičů spolu s doprovodnými vodiči nebo optickými chráničkami.

Při využití této metody se nejprve provede vytyčení trasy podle projektu. Kabely se před zahájením pokládky rozvinou podél vytyčené trasy, a nebo jsou umístěny na rozvíjecím zařízení, které jede za pluhem. Pokládkový nůž odtlačuje velkou silou zeminu od sebe a špička tohoto nože odklízí a formuje dno pokládkového zářezu. Na vyhlazené dno zářezu se pomocí zaváděcího zařízení položí kabelové vedení. Na povrchu půdy za pluhem zůstane viditelný malý zářez, který je následně zapraven při terénních úpravách bagrem. [19]

Výhodou kladení kabelů metodou pluhování je rychlost pokládky a také tato metoda je šetrná k životnímu prostředí.

### 3.5 Provozování distribučních sítí VN

V následující podkapitole je popsáno, jak se na našem distribučním území provozuje systém kabelových sítí.

Provozování sítí VN si může rozdělit podle způsobu uzemnění jako soustavy:

- Izolované
- Nepřímo uzemněné přes uzlový odporník
- Nepřímo uzemněné přes zhášecí tlumivku

#### 3.5.1 Sítě s izolovaným uzlem

Provozování sítí s izolovaným uzlem je podle zdroje [14] popsáno: „*V případě provozu sítí izolovaných není nulový bod transformátoru spojen se zemnicí soustavou, je od ní izolován.*“. Systém tohoto typu uzemnění se nejčastěji vyskytuje u malých distribučních sítí, zejména pak u sítí v průmyslových areálech a hodnota kapacitního proudu nepřesáhne 20 A. Dále tentýž zdroj uvádí, že „*Tento kapacitní zemní proud je dán fázorovým součtem kapacitních proudů převážně nepostižených fází celé sítě, uzavírajících se přes místo zemního spojení, a je úměrný velikosti takto provozované sítě. Pokud však díky velké rozloze sítě dojde k překročení hodnoty 20 A kapacitního proudu je nezbytné provést jeho kompenzaci*“

#### 3.5.2 Kompenzované sítě

Kompenzované sítě oproti sítím s izolovaným uzlem mají spojen nulový bod transformátoru se zemnicí soustavou, nejčastěji je provedeno zapojení přes zhášecí tlumivku. Princip je takový, že zhášecí tlumivka: „*umožňuje kompenzovat kapacitní proud zemního spojení tak, aby místem poruchy procházel pouze zbytkový (reziduální) proud mnohem nižší úrovně.*“ Reziduální proud je převážně činného charakteru a tvoří 3 % až 10 % celkového kapacitního proudu. Sítě lze provozovat až do hodnoty kapacitního proudu:

- 100 A (sítě venkovního vedení, kde je venkovní vedení zastoupeno minimálně 98 %)
- 300 A (smíšené sítě, kde je minimálně 10 % venkovního vedení a minimálně 2 % kabelového vedení)
- 450 A (kabelové vedení, které je v síti zastoupeno minimálně 90 %)

Výhodou takto provozovaných kompenzovaných sítí je: „*podobně jako u sítí izolovaných možnost provozu soustavy se zemním spojením po dobu potřebnou pro odstranění jeho příčiny bez přerušení dodávky elektrické energie. Tento provozní stav nemá zásadní vliv na konečného odběratele, avšak existuje reálné riziko rozšíření zemního spojení na závažnější poruchu (dvojitě zemní spojení, mezifázový zkrat), která by vedla k okamžitému odpojení postiženého vývodu.*“.[14]

Dále si můžeme kompenzované sítě rozdělit podle druhu uzemnění, a to se zhášecí tlumivkou a uzlovým odporníkem.

### 3.5.2.1 Kompenzované sítě se zhášecí tlumivkou

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.5.2, využívá se zapojení přes zhášecí tlumivku. V distribučních sítích na území České republiky je nejčastěji použita centralizovaná kompenzace „*kdy je využíváno jedné zhášecí tlumivky zapojené mezi uzel transformátoru a zemnicí soustavy rozvodny*“. Využívá se i paralelního provozu zhášecích tlumivek, ale to jen v ojedinělých případech, zejména jedná se o propojení dvou oblastí. Provoz tlumivek je řízen automatikou, „*kteřá nastavuje zhášecí tlumivku zhášecí tlumivku do paralelní rezonance s celkovou kapacitou provozované sítě tak, aby místem poruchy procházel pouze malý zbytkový reziduální proud*“. [14]

Dále může být ke zhášecí tlumivce připojen pomocný odporník, který je podle zdroje [20] charakterizován jako „*odporník slouží ke krátkodobému zvýšení činné složky poruchového proudu v obvodu zhášecí tlumivky při vyhledávání místa zemního spojení. Odporník se připojuje k pomocnému vinutí zhášecí tlumivky. Připnutí je řízeno automatikou ladění tlumivky, popř. samostatným přístrojem*“.

### 3.5.2.2 Kompenzované sítě s uzlovým odporníkem

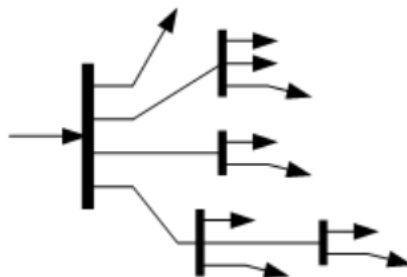
Jedná-li se o kabelové sítě vysokého napětí, tak se výhody kompenzace zemních kapacitních proudů neprojevují jednoznačně, jako je tomu dáno u sítí venkovních vedení. Zdroj [14] uvádí, že „*většina poruch je trvalá a zmenšení poruchového proudu se projeví ve „samozhášení“ jako při obloukových poruchách u venkovního vedení*“. Pokud je použita zhášecí tlumivka, která omezuje přepětí při vzniku zemního spojení, ale při provozu sítě se zemním spojením je namáhána izolace zdravých fází sdruženým napětím, které zvyšuje riziko vzniku vícenásobných poruch. Dále se v tomto zdroji uvádí, že „*zařazení činného odporu do uzlu způsobí omezení proudu zemních spojení s ohledem na dimenzování uzemnění, zajistí dostatečné tlumení přepětí při vzniku zemního spojení a umožní použití jednoduchých číslicových ochranných vyhodnocujících zemní poruchy*“. Společně s využitím rychlého vypínání všech zemních poruch se u takto provozovaných sítí téměř nevyskytují vícenásobné poruchy. Dále „*vliv uzemnění uzlu přes činný odpor se nejvíce projeví při jednopólových poruchách. U ostatních druhů poruch jsou poměry v podstatě shodné se soustavami nepřímou uzemněnými přes indukčnost, či soustavami s izolovaným uzlem*“.

### 3.5.3 Topologie sítí

Kabelovou sítí vysokého napětí se rozumí rozvody provedené vysokonapěťovými kabely, které jsou uloženy v zemi. Začátek kabelové sítě je na vývodu z rozvodny nebo je tvořena svodem z venkovního vedení. Konec kabelové sítě je v transformační stanici či vývodem na venkovním vedení. [14]

#### 3.5.3.1 Paprskové sítě

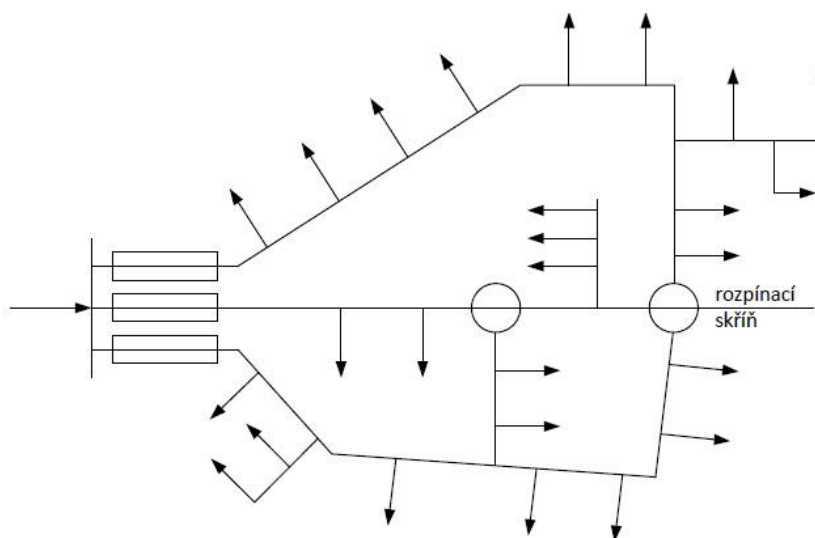
Z rozvodny VN či spínací stanice, které uvažujeme jako napájecí místo, vedení vychází z transformovny, který zásobuje jednotlivé odběry a není možné jej vzájemně spojit s jiným kabelovým vedením neboli paprskem. Pokud by došlo k poruše distribučního vedení VN nebo distribuční trafostanice, dojde k přerušení dodávky elektrické energie po dobu nezbytně nutnou k zajištění náhradního napájení. Dále je naznačeno schéma paprskové sítě, viz obrázek 3-1. [14] [21]



Obrázek 3-1: Principiální schéma paprskové sítě. [21]

### 3.5.3.2 Okružní (smyčkové) síť

Vychází z jedné rozvodny VN a je zaústěno do jedné nebo dvou spínacích stanic nebo do výchozí či druhé rozvodny VN. Vedení musí být dimenzováno na zatížení celé oblasti, kterou zásobuje. Provozuje se obvykle jako rozepnutá. V případě poruchy distribučního vedení VN dochází k přerušení dodávky el. energie po dobu vymanipulování poruchy a zajištění náhradního napájení, viz obrázek 3-2. [21]



Obrázek 3-2: Principiální schéma okružní sítě. [21]

## 3.6 Úskalí kabelových vedení

S přírůstem kabelových vedení v distribučních sítích nejsou spojena jenom pozitiva (např.: z pohledu krajinářského) ale také i negativa. V následujících kapitolách jsou shrnuty výhody a nevýhody využití častější kabelizace.

### 3.6.1 Výhody kabelových vedení

Pokud bychom měli popsat trendy v oblasti kabelových vedení, můžeme je rozdělit a odůvodnit dle faktorů jako jsou například:

- technický pokrok a vývoj kabelové techniky,
- snaha o zvýšení bezpečnosti a spolehlivosti,
- změna legislativy,
- rozvoj distribuční soustavy

### 3.6.1.1 Pokrok a vývoj

Se zvyšujícími se nároky na spolehlivost rostou i potřeba využití kvalitnějšího kabelového vedení. Jak už bylo zmíněno v předešlých kapitolách, v dnešní době se nejčastěji používají kabely s odolnější plášťovou izolací z PVC a primární izolací ze zesíťovaného polyetylénu, který je odolnější vůči průnikům vlhkosti. Obecně bychom mohli říci, že oproti dřívějším kabelům ty současné pomáhají snížit poruchovost v distribuční soustavě.

### 3.6.1.2 Zvýšení zabezpečení a spolehlivosti dodávky elektrické energie

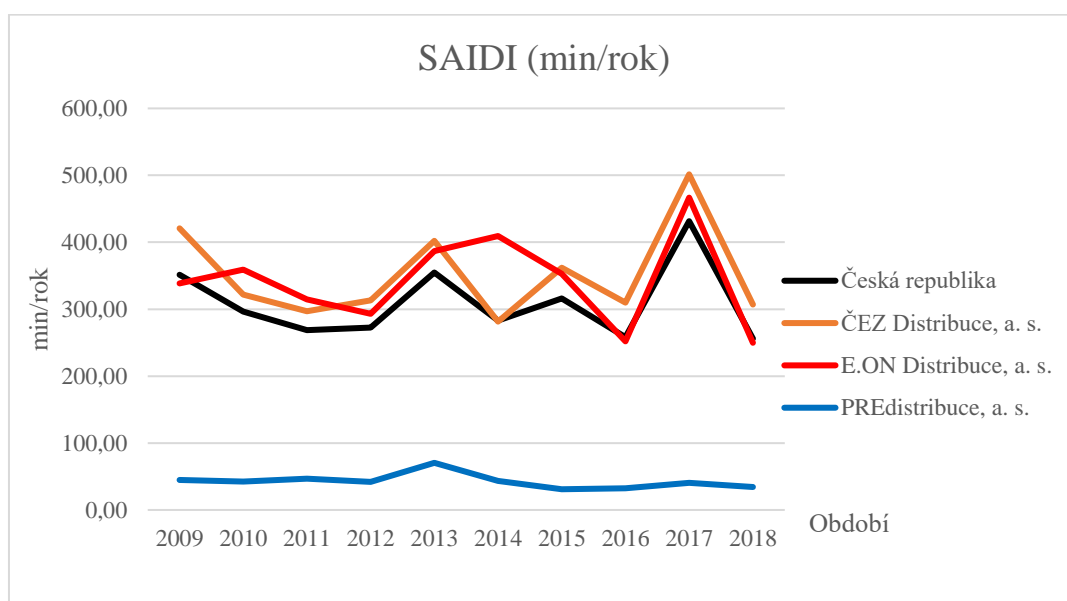
Podle vyhlášky [22] ERÚ č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávek a služeb v elektroenergetice stanovuje požadovanou kvalitu dodávek elektřiny a služeb, výši náhrad za nedodržení standardů, lhůty pro uplatnění nároku na náhrady a postupy, jak vykazovat dodržování kvality dodávek elektrické energie. Na základě ukazatelů nepřetržitosti dodávky SAIDI a SAIFI je provozovatel distribuční soustavy penalizován či bonifikován.

**SAIDI** (System Average Interruption Duration Index) udává průměrnou celkovou dobu přerušení dodávky za jeden kalendářní rok na jednoho zákazníka/odběratele. Celková doba přerušení obsahuje, jak plánované, tak neplánované přerušení dodávky elektrické energie. Pro ukazatel SAIDI se zaznamenávají pouze delší přerušení než 3 minuty. [22]

Vývoj SAIDI u jednotlivých distribučních společností v období 2009 až 2018 je uvedeno v tabulce 3-1 a na obrázku 3-3.

Tabulka 3-1: Vývoj SAIDI v období 2009 až 2018. [23]

SAIDI [min/rok]	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
	351,57	296,57	268,82	272,65	354,76	283,22	316,06	258,29	431,45	256,05
ČEZ Distribuce, a. s.	420,81	321,56	296,70	313,04	402,00	281,42	361,72	309,64	501,47	307,09
E.ON Distribuce, a. s.	338,67	359,08	314,40	293,05	386,66	409,30	352,90	252,14	466,68	249,79
PREdistribuce, a. s.	44,98	42,47	46,79	42,12	70,38	43,37	30,93	32,52	40,34	34,06

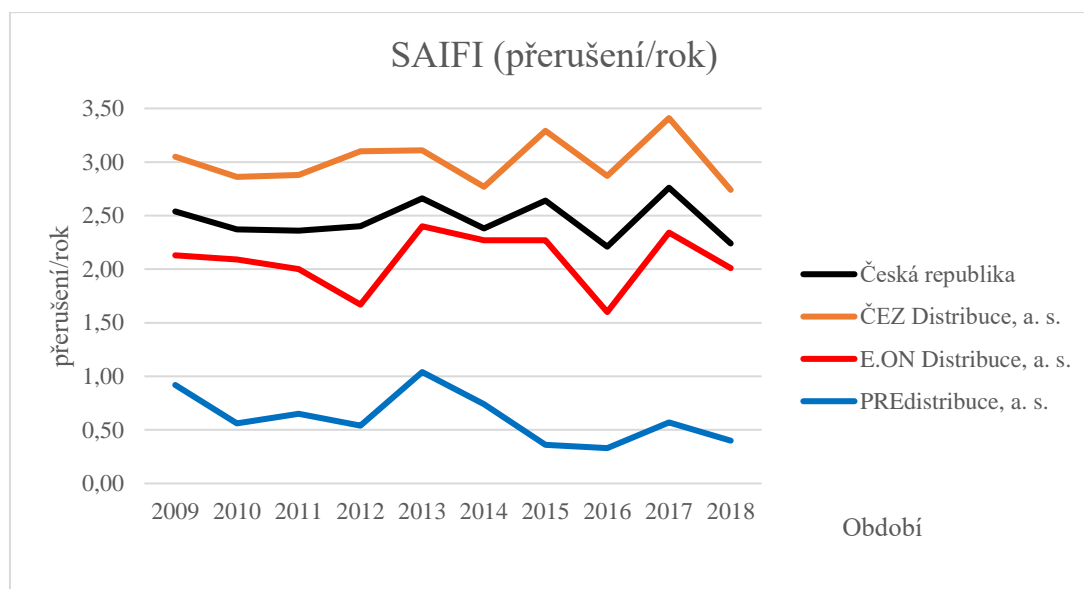


Obrázek 3-3: Grafické znázornění vývoje SAIDI v období 2009 až 2018. [23]

**SAIFI** (System Average interruption Frequency Index) udává četnost přerušení dodávky elektrické energie na jednoho odběratele. Celková četnost přerušení obsahuje, jak plánované, tak neplánované přerušení dodávky elektrické energie. Dále je uveden vývoj SAIFI ve sledovaném období, viz tabulka 3-2 a obrázek 3-4. [22]

Tabulka 3-2 Vývoj SAIFI v období 2009 až 2018. [23]

SAIFI [přerušení/rok]	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
	2,54	2,37	2,36	2,40	2,66	2,38	2,64	2,21	2,76	2,24
ČEZ Distribuce, a. s.	3,05	2,86	2,88	3,10	3,11	2,77	3,29	2,87	3,41	2,74
E.ON Distribuce, a. s.	2,13	2,09	2,00	1,67	2,40	2,27	2,27	1,60	2,34	2,01
PREdistribuce, a. s.	0,92	0,56	0,65	0,54	1,04	0,74	0,36	0,33	0,57	0,40



Obrázek 3-4: Grafické znázornění vývoje SAIFI o období 2009 až 2018. [23]

**CAIDI** (Customer Average Interruption Duration Index) udává průměrnou dobu trvání jednoho přerušení dodávky na jednoho odběratele.

Ze strany distributora je dobré si uvědomit, že rozvojem celého distribučního systému se však zvyšuje podíl nových prvků a rostou celkové délky vedení, které zvyšují pravděpodobnost přerušení dodávky. [22]

### 3.6.1.3 Změny legislativy

Z pohledu legislativy, která je popsána v kapitole č. 2, jsou významné změny vlivem novelizace zejména ve stavebním zákoně č. 183/2006 Sb. o územním plánování a také ve vyhlášce č. 501/2006. [22]

### 3.6.1.4 Rozvoj distribuční soustavy

Rozvoj decentralizované výroby velmi ovlivňuje kabelizaci v distribuční soustavě, a to nejen v Česku. Decentralizovaná výroba je charakterizována větším počtem zdrojů nižšího výkonu vyráběného v místě spotřeby a úzce souvisí s výstavbou obnovitelných zdrojů energie.



Dlouhé kabelové vedení je typické pro připojování obnovitelných zdrojů energie (OZE) a výhodou jsou nižší úbytky napětí v porovnání s venkovním vedením.

Velký přínos kabelizace je v oblastech s opakovanými poruchami způsobené pády velkých větví či celých stromů, které nelze snadno a rychle opravit. Opravy jsou pak nákladné a zdlouhavé. Ani opatření v podobě izolovaných vodičů se nejeví jako dostatečně vhodné a v případě odboček pocházejících takto rizikovými oblastmi by ani instalace recloseru nebyla ideálním řešením, proto se vyskytují u venkovního vedení úseky kabelové. Přínosem častější kabelizace je vyšší spolehlivost dodávek elektrické energie.

### 3.6.2 Nevýhody kabelových vedení

Rozvoj kabelových vedení v distribučních soustavách sebou přináší i nevýhody. Mezi největší nevýhodu kabelizace patří bezesporu fakt, že kabelová vedení dosahují vyšších kapacit. Pokud by se jednalo o vedení v lesních úsecích, tak předpoklad souběhu nebo křížení s jinými inženýrskými sítěmi je minimální. Kabelová vedení jsou ve srovnání s venkovními vedeními delší, a projektují se tak, aby procházeli hranicemi pozemků a ne přímo, tak jak je tomu u venkovního vedení. Další nevýhodou jsou vyšší poruchové proudy, které mají dopad na zvýšení krokových a dotykových napětí. Provozní kapacita vedení je dána součtem kapacit proti zemi a kapacit mezi vodiči. Působením této kapacity vznikají zemní kapacitní proudy, jejichž existence se vyskytuje i u nezátížených vedení a musí být kompenzována. Následkem jsou vyšší ztráty na vedení. Proto se snažíme tento kapacitní zemní proud co nejvíce eliminovat. [14]

#### 3.6.2.1 Nevýhody kabelových vedení z důvodu majetkoprávních vztahů

Nevýhodou často bývají delší vedení ve srovnání s venkovním, v důsledku složitějších procesů věcných břemen, výkupů pozemků a nesouhlasů dotčených vlastníků pozemků, které jsou zmíněny v podkapitole 2.4.4 .

## 3.7 Rozvoj a vývoj kabelových vedení na našem území

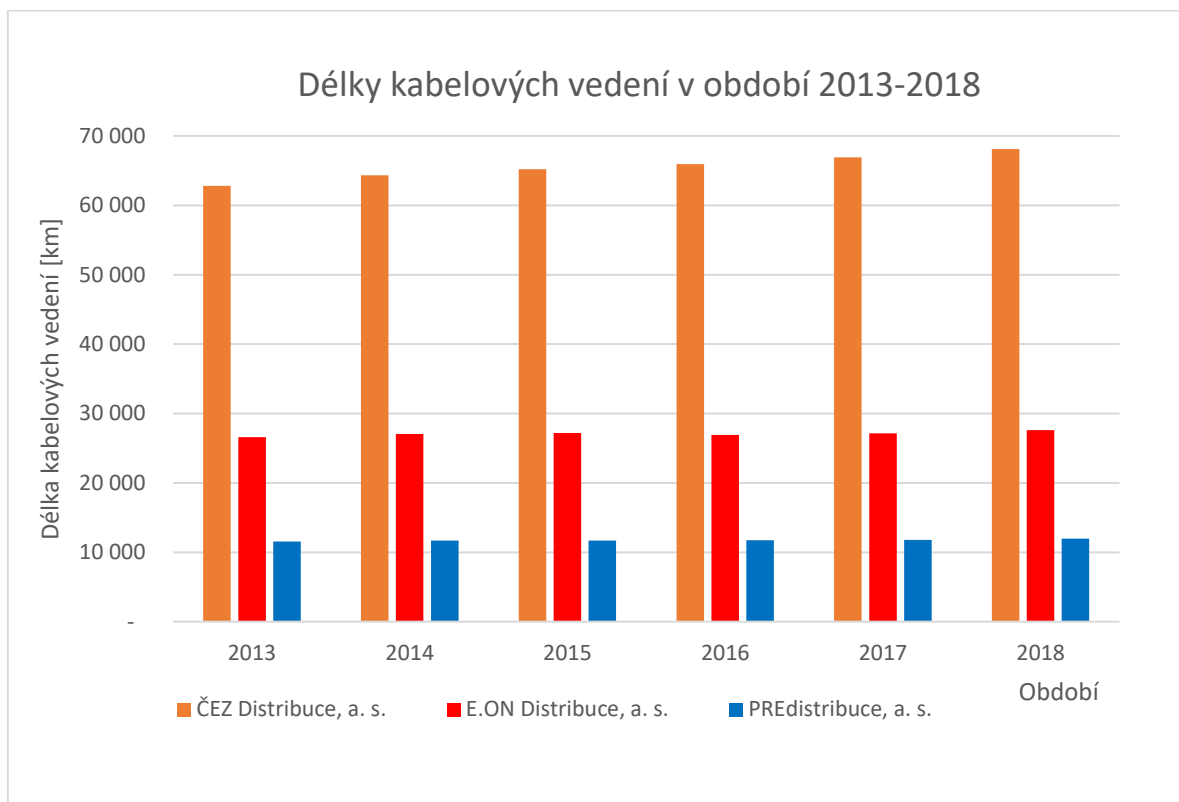
Jak už bylo popsáno v podkapitole 3.6.1, tak zejména tyto výhody přispívají k nárůstu délek kabelových vedení, a to nejen na hladině VN. Tento vzrůstající trend je dán téměř každoročním přírůstkem kabelových linek, ať už se jedná o nově vystavěná vedení nebo ta rekonstruovaná.

V následující tabulce 3-3 jsou naznačeny délky kabelového vedení u jednotlivých distribučních společností v období od roku 2013 do roku 2018. Tyto hodnoty jsou vyneseny do grafické závislosti, viz obrázek 3-5.

Tabulka 3-3 Délka kabelových vedení jednotlivých distributorů v období 2013-2018. [23]

Délka kabelových vedení jednotlivých distributorů v období 2013-2018 [km]						
Distribuční společnost	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Čez Distribuce, a. s.	62 807	64 332	65 208	65 943	66 919	68 109
E.ON Distribuce, a. s.	26 608	27 031	27 175	26 894	27 122	27 606
PREdistribuce, a. s.	11 570	11 670	11 682	11 727	11 786	11 960
Celkem	100 985	103 033	104 065	104 564	105 827	107 675

Pokud se podíváme na celkový počet délky kabelového vedení, tak trend kabelizace je vzrůstající a průměrné navýšení během uvedených let bylo 10,35 %.



Obrázek 3-5: Grafické znázornění vývoje délky kabelového vedení u jednotlivých distributorů v období 2013-2018. [23]

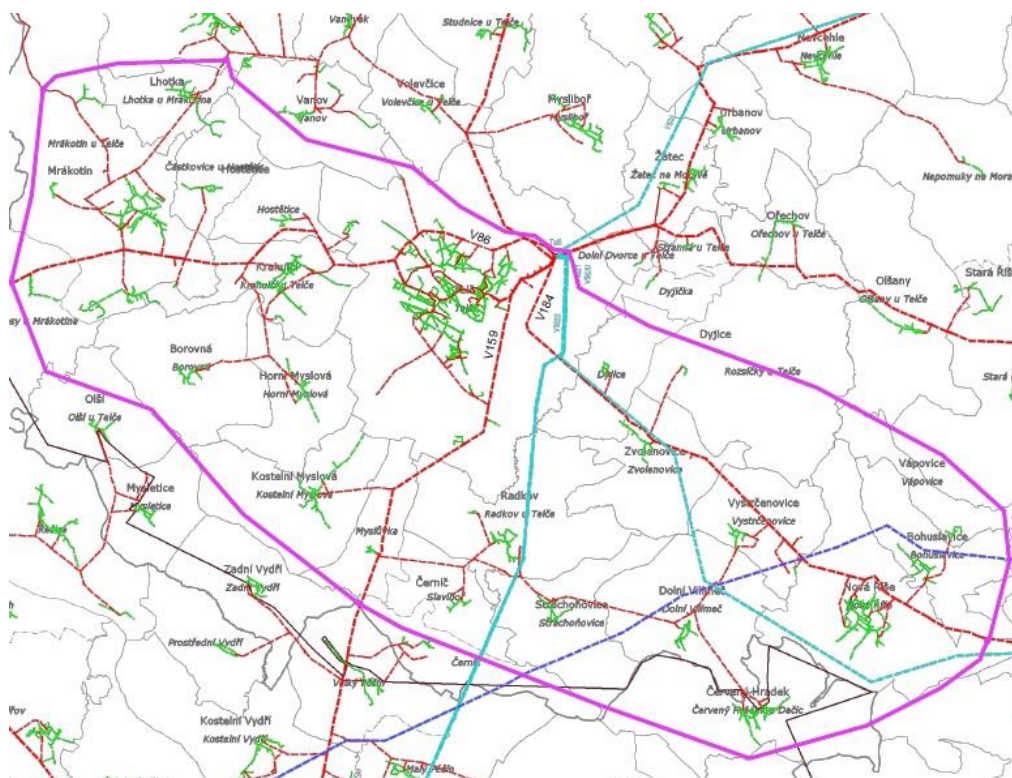
Z grafické závislosti je patrné, že délky kabelového vedení distributora ČEZ distribuce, a. s. jsou oproti délkám kabelů E.ON Distribuce, a. s. každý rok vzrůstající. U společnosti E.ON Distribuce, a. s. dochází v letech 2016 a 2017 k mírnému poklesu, ale ve srovnání za šestileté období je trend také pořád vzrůstající. Pokud se podíváme na vývoj v tomto období u společnosti PREdistribuce, a. s. nedochází k až tak velkému nárůstu kabelového vedení, jehož příčina může být například dřívější kabelizace na území hlavního města Prahy, a tudíž pomalejší stoupající trend.

## 4 TECHNICKÝ POPIS URČENÉ UZLOVÉ OBLASTI A NÁVRH PROVEDENÍ KABELIZACE

V kapitole je popsána dotčená uzlová oblast a shrnuty poruchy, které zde vznikly v průběhu let 2015–2018 na napěťové hladině VN. Dále je zde nastíněn postup při návrhu kabelizovaného vedení, s ním spojené výpočty a nutná opatření pro provoz této oblasti.

### 4.1 Řešená oblast

Řešená uzlová oblast se nachází v regionu E.ON Východ v útvaru Jihlava – oblast Telč a je ohraničena hraničními úsekovými odpojovači. Oblast spadá dle zdroje [24] do námrazové oblasti III. Řešená uzlová oblast je znázorněna na následujícím obrázku, viz obrázek 4-1.



Obrázek 4-1: Řešená uzlová oblast. [25]

Pro napájení této oblasti slouží transformační rozvodna Telč 110/22 kV.

Instalovaný transformátor a jeho štítkové hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4-1.

Tabulka 4-1: Štítkové hodnoty transformátoru T101 v rozvodně Telč.

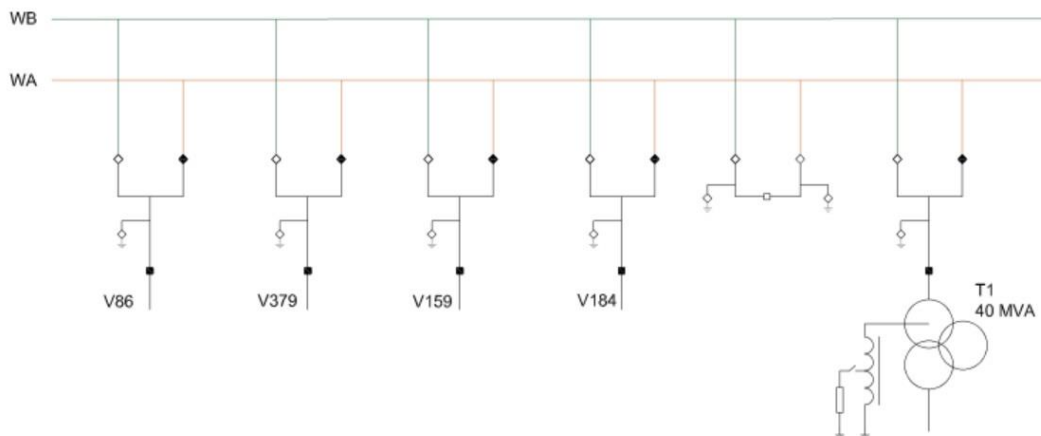
Transformátor T101 v rozvodně 110/22 kV Telč					
$U_1$	$U_2$	$S_t$	$P_k$	$P_0$	$uk$
[kV]	[kV]	[MVA]	[kW]	[kW]	[%]
110,00	22,80	40,00	208,20	41,30	10,80
Zap prim.	Zap sek.	H. úhel	Počet odboček	Reg. odboček	Krok
[-]	[-]	[°]	[-]	[-]	[%]
YN	yn	0	8	Ano	2

Kompensace tlumivkou s uzlovým odporníkem 2500 kVAr, 18,80-188,00 A.

Rozvodna využívá provozu na dvou přípojnicích:

- přípojnice A: 3 vývody,
- přípojnice B: 5 vývodů.

Na následujícím obrázku 4-2 je zakresleno schéma transformovny Telč v současném stavu.



Obrázek 4-2: Schéma transformovny Telč

Vedení v dotčené oblasti jsou vyvedena z rozvodny na přípojnici B. Jedná se o vedení č. V86, V379, V159, V184, kde v převážné většině se jedná o venkovní vedení VN. Zúčastněné města, obce a jejich počet obyvatel dle zdroje [26] jsou uvedeny v následující tabulce, viz tabulka 4-2.

Tabulka 4-2: Města a obce v řešené uzlové oblasti. [27]

Města a obce v řešené oblasti							
V86	Počet obyvatel	V159	Počet obyvatel	V184	Počet obyvatel	V379	Počet obyvatel
Telč-sever	1500	Telč-jih	1800	Dyjice	136	Telč	2000
Krahulčí	600	Kostelní Myslová	62	Zvolenovice	90		
Hostětice	133	Radkov	246	Vystrčenovice	117		
Částkovice	63	Černíč	121	Nová Říše	817		
Horní Myslová	93	Strachoňovice	83	Bohuslavice	138		
Borovná	81	Dolní Vilímeč	98				
Mrákotín	892	Červený Hrádek	210				
Lhotka u Mrákotína	82						

#### 4.1.1 Současný stav vybrané uzlové oblasti

Ve vybrané uzlové oblasti se celkem nachází 98 kilometrů vedení, které z téměř naprosté většiny tvoří venkovní vedení. Jedná se zejména o lana AlFe 110/22 a AlFe 95, která jsou použita v kmenových vedeních mezi rozvodnami. Dále lana AlFe 70, 50, 42/7, 35 slouží pro jak pro napájení jednotlivých distribučních trafostanic v městské zástavbě, tak i trafostanic, které jsou umístěné v ne tak husté zástavbě, zejména na okrajích malých vesnic, samotách a jsou připojena na paprskovém vedení. Zbytek tvoří vysokonapěťové kabely AXEKVCE o průřezu jádra 240 mm<sup>2</sup> a kabel NA2XS(F)2Y také s průřezem jádra 240 mm<sup>2</sup> nebo 150 mm<sup>2</sup>. Tyto kabely se nachází zejména na území města Telč. Souhrn vodičů a jejich délek je uveden v tabulce 4-3.

Tabulka 4-3: Délka jednotlivých linek v uzlové oblasti. [25]

Délka všech vedení v dotčené uzlové oblasti				
Lano	V86	V159	V184	V379
	[km]	[km]	[km]	[km]
AlFe 110/22	6,49	0,14	0,77	0,15
AlFe 95	2,05	8,95	9,60	
AlFe 70		3,00		1,50
AlFe 50		15,70	5,30	0,53
AlFe 35	3,00	3,00	1,00	
Kabel	V86	V159	V184	V379
	[km]	[km]	[km]	[km]
AXEKVCE 240	2,60	0,01	0,02	0,01
NA2XS(F)2Y 240				7,80
NA2XS(F)2Y 150				0,38

V následující tabulce 4-4 jsou shrnuty příčiny poruch na venkovním vedení VN.

Tabulka 4-4: Příčiny poruch na venkovním vedení.

Příčiny poruch na venkovním vedení v období 2015-2018	
Příčina	Počet
Pád stromu	10
Bouře	3
Porucha u odběratele	7
Průraz/degradace izolace	8
Porucha/závada mechanická	20
Sníh/námraza	6
Jiná příčina	3

#### 4.1.2 Poruchy v řešené oblasti na kabelovém vedení v období 2015–2018

V následující tabulce 4-5 jsou shrnuty příčiny poruch na kabelovém vedení VN.

Tabulka 4-5: Příčiny poruch na kabelovém vedení.

Příčiny poruch na kabelovém vedení v období 2015-2018	
Příčina	Počet
Porucha u odběratele	2
Průraz/degradace izolace	1
Porucha/závada mechanická	2
Zásah cizích osob neúmyslný	3

### 4.1.3 Zhodnocení

Pokud bychom měli zhodnotit poruchy v dané oblasti, tak z předchozích tabulek 4-4 a 4-5 vyplývá, že počet poruch na venkovním vedení je daleko vyšší i s ohledem na rozsah venkovního vedení.

Z pohledu rozdělení poruch dle cizího zavinění je zřejmé, že počet zaviněných poruch je na venkovním vedení několikanásobně větší. Do cizího zavinění můžeme zařadit poruchy způsobené pády stromů, bouřemi, sněhem a námrazou, mechanickou závadou či degradací materiálu. Rozdělení poruch dle zavinění je uvedeno v tabulce 4-6.

Tabulka 4-6: Rozdělení poruch dle cizího zavinění.

Rozdělení poruch podle cizího zavinění		
Typ	Počet poruch na kabelovém vedení	Počet poruch na venkovním vedení
Nezaviněné	5	3
Zaviněné	3	54

Podle těchto rozdělení příčin poruch můžeme říci, že pro omezení poruch zejména cizím zaviněním je vhodné v řešené oblasti využít kabelových vedení. Jednou z hlavních motivací k vytvoření návrhu kabelizace venkovních vedení 22 kV je omezit poruchy způsobené cizím zaviněním, které vznikají na vedeních v uzlové oblasti.

## 4.2 Návrh provedení kabelizace

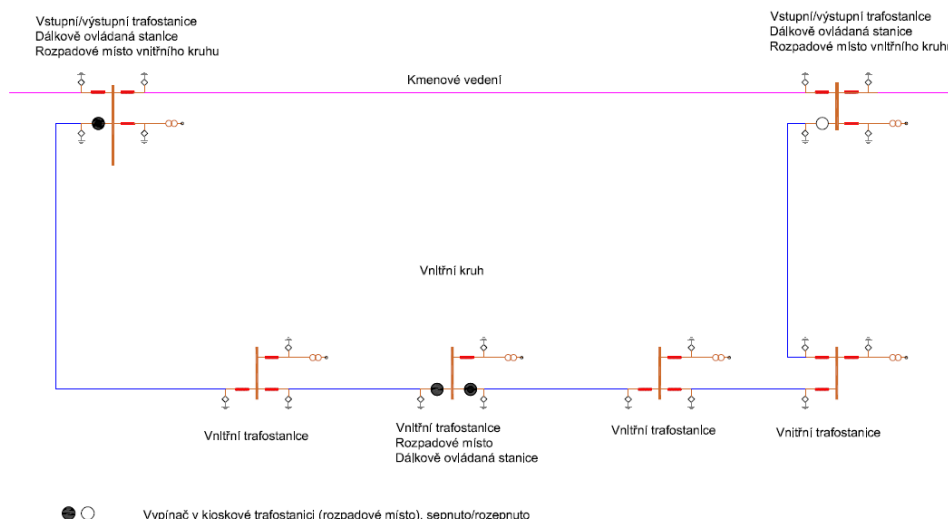
Při návrhu nových kabelových vedení v zadané uzlové oblasti sloužil jako výchozí materiál současný stav venkovního vedení zakreslený v mapovém podkladu z geoportálu [25] společnosti E.ON Distribuce, a. s.

Princip je takový, že stávající linky venkovního vedení budou zrušeny a nahrazeny novými kabelovými vedeními. Při návrhu není dodržována původní trasa venkovního vedení hned z několika důvodů. Tím prvním a nejzásadnějším jsou majetkoprávní vztahy mezi provozovatelem distribuční soustavy, v našem případě společnost E.ON Distribuce, a. s. a majiteli dotčených pozemků (viz podkapitola 2.4.4). Uvažované kabelové trasy jsou ve většině své délky navrhovány tak, aby bylo možné zajistit zřídlení smlouvy o smlouvách budoucích na věčná břemena. Druhým důvodem pro nedodržení původní trasy je fakt, že stávající venkovní vedení v některých případech vede přes vodní plochy (rybníky), rokle, lesní porosty a těžko přístupná místa v krajině. Právě na těchto místech by bylo obtížné a v některých případech i nemožné realizovat výstavbu kabelového vedení.

Kioskové trafostanice, které budou umístěny na kmenovém vedení – vstupní/výstupní trafostanice budou dálkově ovládány z centrálního dispečinku. Dále u vnitřních kruhů je vyčleněna stanice, která bude sloužit jako rozpadové místo vnitřního kruhu. Ta bude také dálkově ovládána.

### 4.2.1 Navržené kabelové vedení

Návrh kabelizace zadané oblasti vychází z aktuální koncepce rozvoje sítí 22 kV společnosti E.ON Distribuce, a. s. [10], kde jsou uvedeny zásadní podmínky pro správné dodržení jak technického řešení, tak i provoz, požadavků na bezpečnost a správné vypracování v souladu s příslušnou legislativou. Jedna ze zásadních podmínek pro nově vytvořená plošná kabelová vedení je splnění kritéria N-1 v obcích nad 500 obyvatel. Kritérium N-1 dle zdroje [28] znamená, že „při poruše jednoho či více vedení a transformátorů převezmou jejich zátěž ostatní prvky, které zůstali v provozu“. Abychom byli schopni dodržet toto kritérium, tak u obcí ve vybrané uzlové oblasti, které mají počet obyvatel vyšší, než je 500, je vytvoření vnitřního kruhu nebo kruhů, pokud se jedná o větší obec nebo město. Princip je takový, že na kmenové vedení se umístí vstupní nebo výstupní trafostanice (podle toho, jestli je na začátku nebo konci dané obce), ze které budou napájeny jednotlivé distribuční trafostanice v intravilánu obce. [10]



Obrázek 4-3: Principiální schéma vnitřního kruhu.

V případě vzniku poruchy n vnitřním kruhu dojde k zapůsobení ochrany ve vstupní trafostanici a vybavení vypínače VN. Kmenové vedení tato porucha neovlivní a nedojde k přerušení napájení celé oblasti. Dále je výhodou možnost dálkové manipulace a redistribuce/přesměrování zatížení sítě. S výhledem nárůstu OZE budou kladeny vyšší nároky na dispečerské řízení. [10]

#### 4.2.2 Zjednodušená projektová dokumentace

V seznamu příloh k této diplomové práci je ve výkresech zakreslen návrh nového kabelového vedení. U navrhnutého stavu jsou použity zejména vysokonapěťové kabely 22–NA2XS(F)2Y o průřezu žil 240 mm<sup>2</sup> nebo 150 mm<sup>2</sup>. Kabel 22–NA2XS(F)2Y 240 je ve většině případů použit pro jednotlivá kmenová vedení linek nebo v městě Telč k vytvoření vnitřního kruhu města, kde se s výhledem vyššího zatížení do budoucna použijí právě tyto kabely. Kabel 22–NA2XS(F)2Y 150 je použit pro vnitřní kruhy obcí anebo pro napojení malých obcí, osad a samot na zdroj elektrické energie

#### 4.2.3 Kioskové trafostanice a jejich výzbroj

Velikost, typ a tvar kioskové trafostanice záleží dle zdroje [29] zejména:

- typu a počtu transformátorů,
- výkonu jednotlivých transformátorů,
- přívodů VN a vývodů na trafo,
- počet polí modulárního rozváděče,
- rozvaděč NN a počet vývodů NN.

Standardně používané kioskové trafostanice společností E.ON Distribuce, a.s. jsou zejména prefabrikované a volně stojící trafostanice, které vyrábí společnosti EEIKA, s.r.o. a Betonbau, s.r.o. Výhodou takto předem připravených trafostanic je jejich snadná a rychlá instalace, kompaktnost a nízké provozní náklady. Další velkou výhodou je to, že trafostanice se instaluje už vyzbrojená (Rozvaděče VN a NN, transformátor, VN a NN propojovací kabely). Výzbroj je umístěna do trafostanice při kompletaci u výrobce. Pro naše účely při návrhu kabelového vedení je nejčastěji používanou trafostanicí typ UF 2536 od společnosti Betonbau, s.r.o. [30]

Rozměry, vzhled a vnitřní vybava kioskové trafostanice UF 2536 jsou uvedeny v příloze A tohoto dokumentu.

##### 4.2.3.1 Rozvaděč VN

Typové rozvaděče VN používané společností E.ON Distribuce, a.s. jsou rozvaděče Ormazabal typ GA. Provedení rozvaděče je vhodné pro umístění do kioskové trafostanice. Vnitřní výbavou rozvaděče jsou dle zdroje [31] vypínač, odpínač a uzemňovač. Tyto spínací prvky jsou provedeny jako zapouzdřené a plněné plynem SF<sub>6</sub>. Výhodou zapouzdřených rozvaděčů je méně častá revize v rámci řádu preventivní údržby.

Velikost a konfigurace rozvaděče bude odpovídat jeho umístění. Pokud bude rozvaděč umístěn do trafostanice na kmenovém vedení a bude z ní napájen vnitřní kruh, konfigurace rozvaděče VN odpovídá označení 3K + 1T nebo 4K + 1T. To v konfiguraci 3K + 1T znamená, že budou instalovány 3 pole pro kabelové odbočky a 1 pole, které bude obsahovat vývod pro napojení na transformátor. U konfiguraci 4K + 1T bude rozvaděč VN rozšířen o jedno pole pro kabelovou odbočku.



#### 4.2.3.2 Transformátory VN/NN

Budou instalovány standardní hermetizované distribuční transformátory, o stejném výkonu jako byly stávající transformátory, jelikož nedochází ke zvýšení zatížení v řešené uzlové oblasti. Úpravy a výměny transformátorů nejsou předmětem této diplomové práce. [32]

#### 4.2.3.3 Řídící technika, komunikace, ochrany a vypínače

Dálkově ovládané prvky, které jsou umístěny v kioskových trafostanicích jsou ovládány z centrálního dispečinku 22 kV. Řídící systém dálkově komunikuje pomocí optických tras, které budou současně pokládány s kabely VN. Pro ovládání jednotlivých prvků v trafostanici bude sloužit jednotka dálkového ovládání s komunikačním spojením pro bezpečný přenos dat k řídicímu středisku. Dále budou v kioskové trafostanici umístěny ochrany, zkratová a nadproudová. Vypínače budou provedeny jako zapouzdřené a vyplněny plynem SF<sub>6</sub>. [33]

#### 4.2.4 Nevýhody kioskových trafostanic

Jak už byly popsány výhody kioskových trafostanic v kapitole 4.2.3, tak třeba taky vzpomenout, že v ne každém případě je optimální umístit kioskovou trafostanici. Pokud to vztáhneme na řešenou uzlovou oblast, naskytne se hned první případ nevhodného umístění prefabrikované kioskové trafostanice.

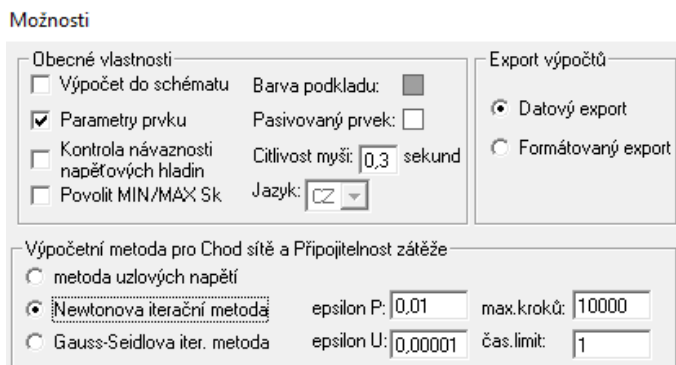
Tím je město Telč, především jeho historické jádro, které je zapsáno na seznamu UNESCO, a tudíž není vhodné umístit volně stojící kiosky. Ke kterým je třeba mít doložené vyjádření Národního památkového ústavu. Tento problém řeší vestavěné trafostanice v objektech. Jejich nevýhodou je vyšší finanční nákladnost na výstavbu trafostanic, pronájem nebo odkup prostor.

Zdroj [34] uvádí, že odkup pozemku pod budoucí kioskovou trafostanicí a v rámci zpracování projektové dokumentace musí být zajištěno projednání o umístění jak s objednatelem, tak i s majitelem pozemku. Také je třeba zajistit koordinaci podkladů pro odkup pozemku a provést kontrolu tak, aby pozemkem pod uvažovanou trafostanicí neprocházely inženýrské sítě, které by mohli ohrozit výstavbu. Tyto nevýhody mohou mít za následek prodloužení doby vypracování projektové dokumentace na kterou navazuje ve většině případů finanční penalizace.

### 4.3 Ověření ustáleného chodu sítě

V následujících podkapitolách je ověřen ustálený chod uzlové oblasti ve stavu před a po kabelizaci. Ustálený chod této soustavy je proveden v programu E-Vlivy. Tento výpočetní systém dle zdroje [35] slouží pro modelování a komplexní analýzu rozsáhlých elektrických, zauzlených sítí, zejména v našem případě sítí na hladině VN. Dále se zaměřuje i na kvalitu elektrické energie, připojitelnost zdrojů do distribuční sítě nebo v poslední době aktuální Smart Grids.

Pro výpočet ustáleného chodu sítě byla použita Newtonova iterační metoda. Nastavení výpočtu v programu E-Vlivy je znázorněno na následujícím obrázku 4-4. [35]



Obrázek 4-4: Nastavení simulace v programu E-Vlivy. [35]

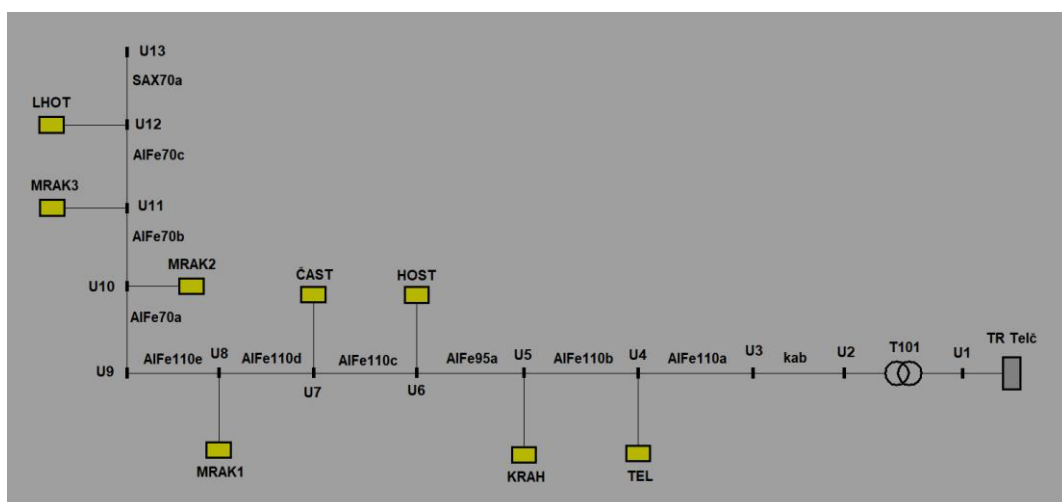
### 4.3.1 Ustálený chod sítě při současném stavu

Na obrázcích 4-5 až 4-7 jsou naznačeny současné stavy linek VN, použití daného typu vodiče a zatížení jednotlivých obcí. Tyto parametry slouží jako podklad pro výpočet ustáleného chodu sítě v současném stavu. Celkové zatížení sítě je dáno počtem trafostanic, celkem 104, o celkovém výkonu  $P_{max} = 6,43$  MW. V následující tabulce 4-7 jsou uvedeny hodnoty přenášeného výkonu jednotlivých linek naměřené na vývodech v rozvodně Telč. Pro ověření a návrh se vycházelo ze skutečných hodnot zatížení, které jsou z důvodu utajení citlivých informací anonymizovány. Pro ověření a návrh jsou použity fiktivní hodnoty, které se přibližují skutečným hodnotám a jsou dostačující pro výpočet ustáleného chodu.

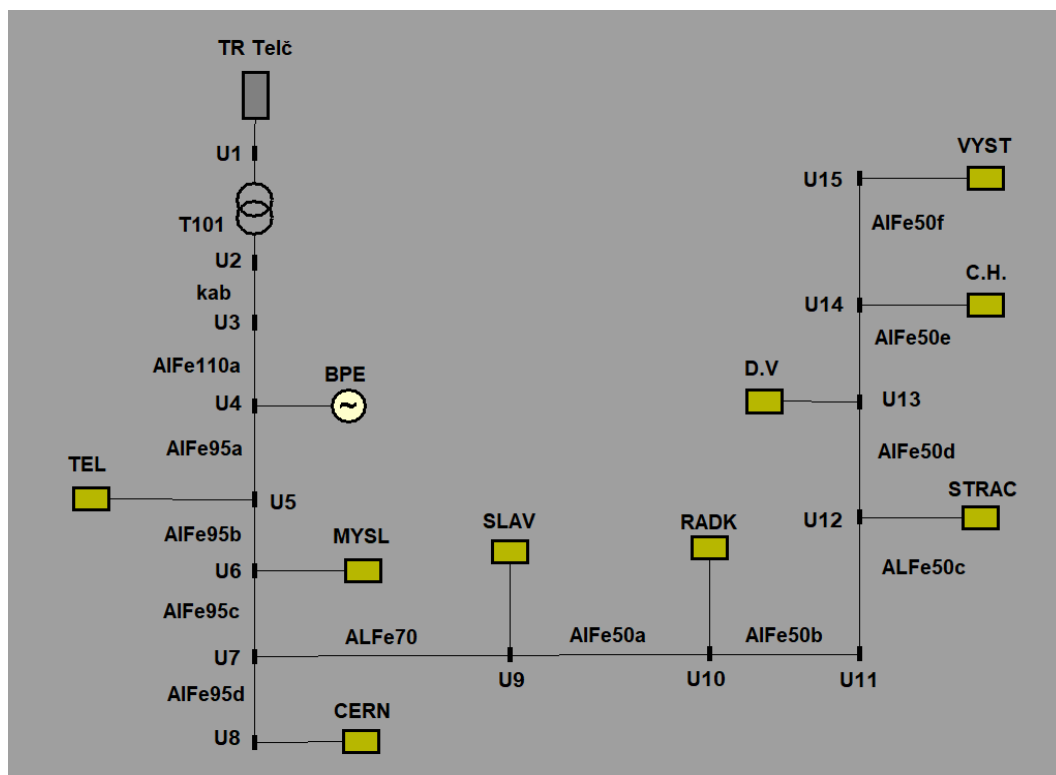
Tabulka 4-7: Naměřené hodnoty proudu a přenášeného výkonu na vývodech.

Maximální zatížení linek na vývodu z rozvodny		
Linka	$I_{vývod}$	$P_{vývod}$
	[A]	[MW]
V86	69,01	2,48
V159	56,11	2,10
V184	47,00	1,86

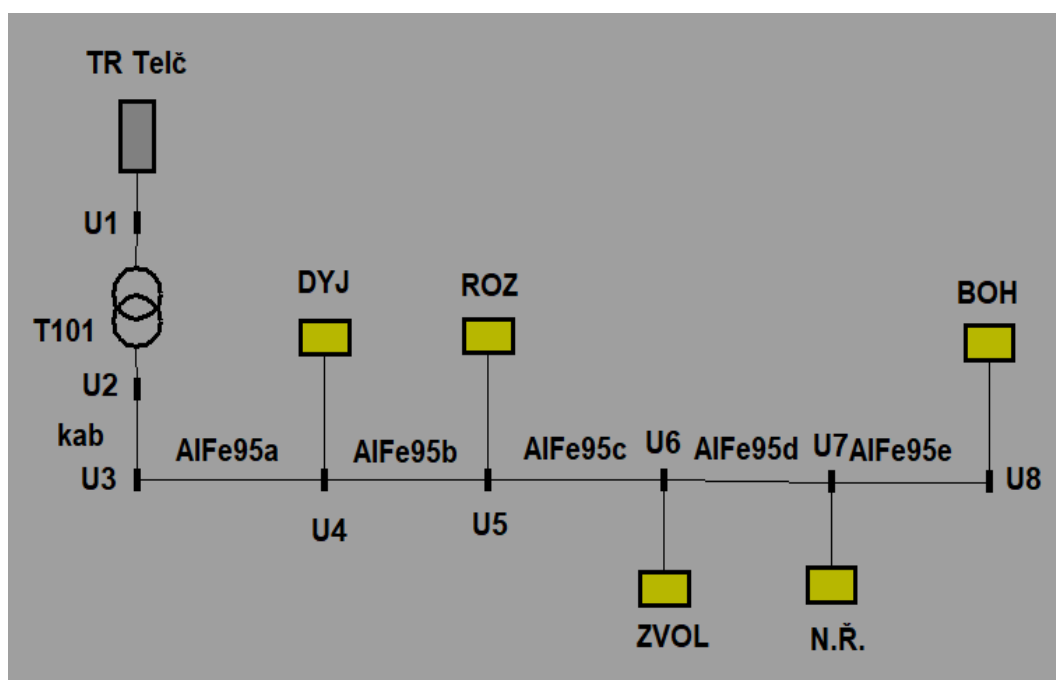
Dále jsou zakresleny současné stavy jednotlivých linek v zadané uzlové oblasti v programu E-Vlivy [35], ve kterém je ověřen ustálený chod této sítě. Podle skutečného stavu jsou uvedeny parametry vedení v jednotlivých úsecích celé linky až po hraniční úsekový odpojovač.



Obrázek 4-5: Současný stav linky V86 v programu E-Vlivy. [35]



Obrázek 4-6: Současný stav linky V159 v programu E-Vlivy. [35]



Obrázek 4-7: Současný stav linky V184 v programu E-Vlivy. [35]

Hodnoty napětí a zkratového výkonu současných linek v uzlové oblasti jsou uvedeny v následující tabulce 4-8.

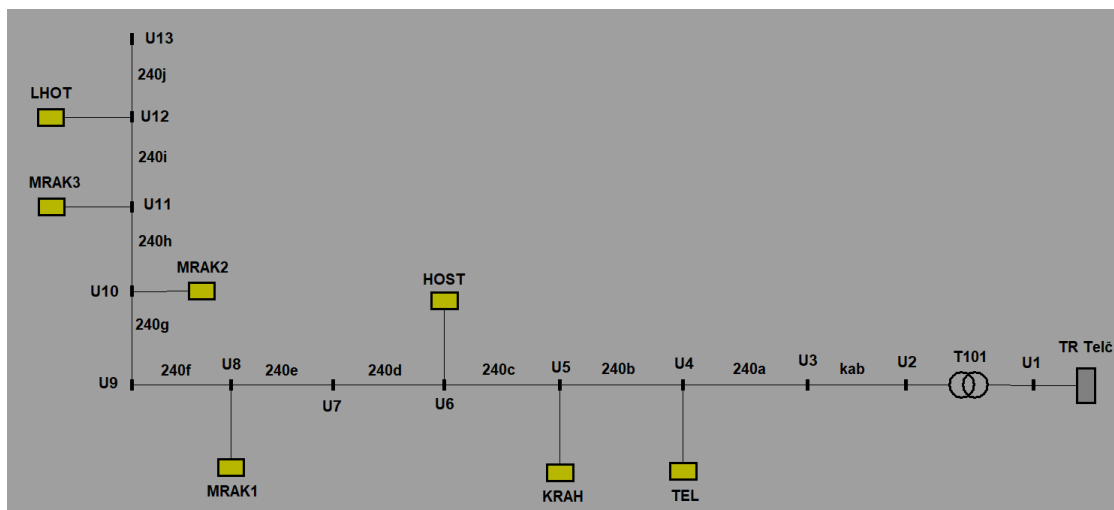
Tabulka 4-8: Hodnoty napětí a zkratového výkonu v současném stavu.

Ustálený chod sítě v současném stavu						
	V86		V159		V184	
uzel	$U$	$Sk''$	$U$	$Sk''$	$U$	$Sk''$
[-]	[V]	[MVA]	[V]	[MVA]	[V]	[MVA]
1	109,91	900,16	109,95	900,18	109,93	900,18
2	22,73	250,52	22,76	250,54	22,75	250,55
3	22,73	244,86	22,76	250,23	22,75	250,23
4	22,63	162,04	22,76	243,56	22,67	155,34
5	22,57	128,90	22,69	174,21	22,64	135,74
6	22,52	106,84	22,64	133,46	22,62	124,59
7	22,50	94,06	22,58	99,35	22,54	85,64
8	22,48	86,62	22,58	84,70	22,53	76,69
9	22,48	86,13	22,56	85,74		
10	22,46	77,89	22,53	74,66		
11	22,45	74,10	22,52	72,03		
12	22,43	61,12	22,51	66,11		
13	22,43	59,56	22,49	59,49		
14			22,49	55,86		
15			22,48	49,50		

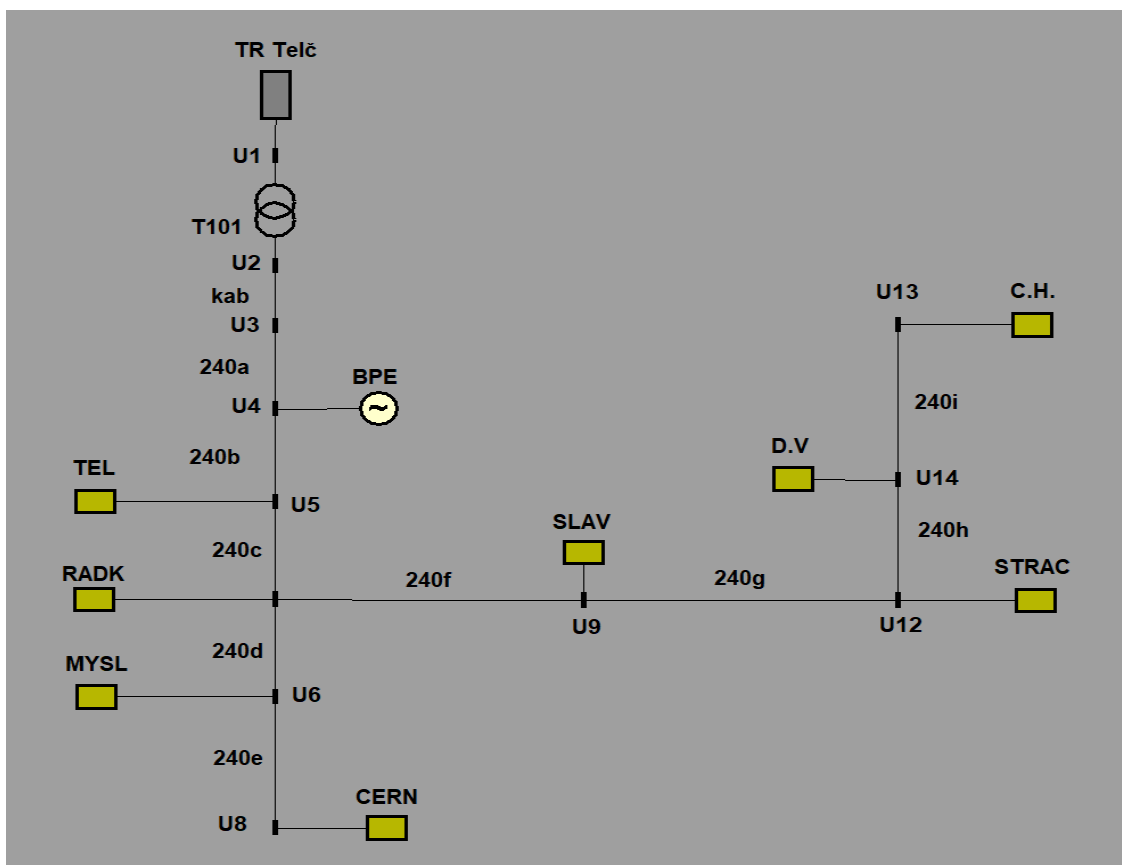
Zjednodušujícími předpoklady pro výpočet ustáleného chodu sítě bylo rozložení přenášeného celkového výkonu, který byl naměřen na jednotlivých vývodech z rozvodny. Rozložení výkonu podél linky proběhlo podle počtu transformátorů v jednotlivých obcích.

### 4.3.2 Ustálený chod sítě po návrhu kabelového vedení

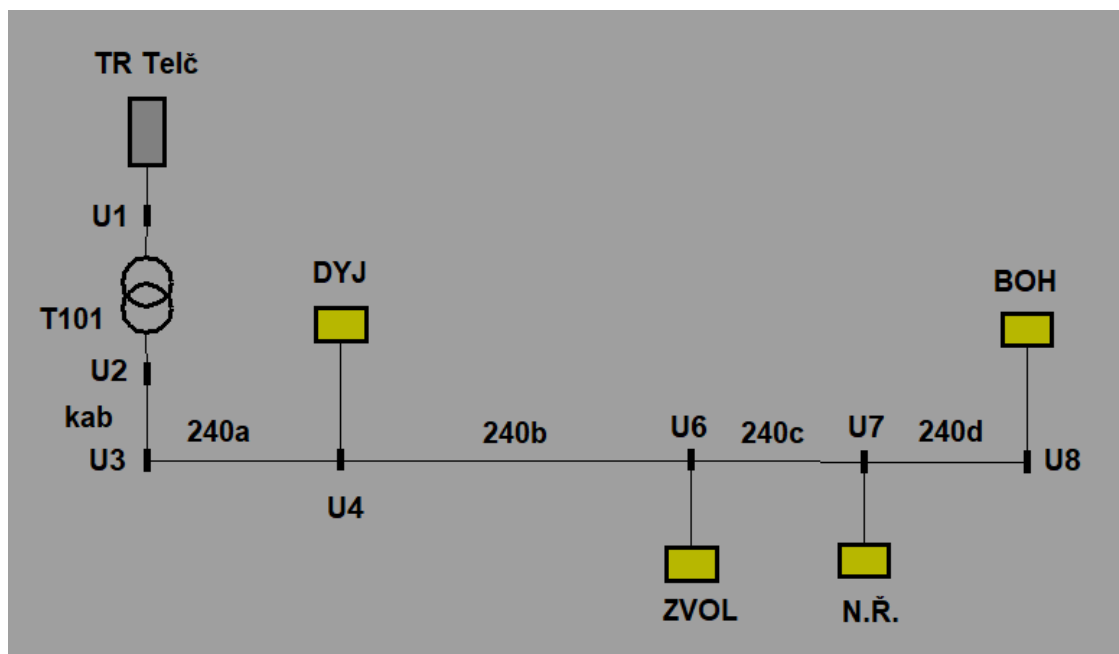
Zde je aplikován stejný postup jako při výpočtu ustáleného chodu pro současný stav, ale jednotlivé úseky jsou nahrazeny navrhovanými kabely. Zatížení oblasti se nemění a zůstává konstantní jako před kabelizací, viz obrázky 4-8 až 4-10.



Obrázek 4-8: Navrhovaný stav linky V86 v programu E-Vlivy. [35]



Obrázek 4-9: Navržený stav linky V159 v programu E-Vlivy. [35]



Obrázek 4-10: Navržený stav linky V184 v programu E-Vlivy. [35]

Hodnoty napětí a zkratového výkonu v jednotlivých uzlech navržené kabelizace jsou uvedeny v tabulce 4-9.

Tabulka 4-9: Hodnoty napětí a zkratového výkonu po návrhu kabelizace

uzel	$U$	$Sk''$	$U$	$Sk''$	$U$	$Sk''$
[-]	[V]	[MVA]	[V]	[MVA]	[V]	[MVA]
1	110,00	899,39	110,04	899,45	109,98	899,81
2	22,80	249,81	22,83	249,87	22,78	250,20
3	22,80	244,15	22,83	249,55	22,78	249,88
4	22,78	228,45	22,82	230,76	22,74	194,96
5	22,72	169,72	22,80	204,80	22,73	183,65
6	22,70	153,03	22,77	162,75	22,72	169,39
7	22,69	140,90	22,77	151,77	22,71	161,35
8	22,68	135,28	22,77	169,99		
9	22,68	130,78	22,78	179,18		
10	22,67	122,74	22,77	161,82		
11	22,67	119,74	22,77	148,33		
12	22,67	113,50	22,77	134,41		
13	22,67	111,74				

### 4.3.3 Porovnání ustáleného chodu současného/navrženého

Pokud srovnáme ustálený chod sítě ve stavu před a po kabelizaci, ze zjištěných hodnot vyplývá, že napěťové poměry u navrhovaného stavu, zejména v koncových úsecích dosahují lepších hodnot. Dochází ke snížení impedance celého vedení a s tím souvisí i snížení úbytku napětí. Pokud se zaměříme na zkratový výkon, jeho hodnota po návrhu oproti hodnotě v původním stavu se zvýší, což má za následek zvýšení zkratového proudu v síti, a tudíž je třeba jednotlivé prvky (zejména vypínače, přípojnice, kabely) dimenzovat na vyšší odolnost proti zkratovému proudu. Toto opatření sebou přináší i zvýšení finančních nákladů na tyto prvky.

## 5 VÝPOČET KAPACITNÍHO PROUDU LINEK SOUČASNÉHO A NAVRŽENÉHO VEDENÍ

V kapitole je proveden výpočet kapacitního proudu při současném stavu venkovního a kabelového vedení v dané uzlové oblasti. Dále je představen výpočet při uvažování navrženého kabelového vedení a následné porovnání obou výpočtů.

### 5.1 Uložení fázových vodičů na konzolích

Pro výpočet vlastní kapacity daného vedení rozlišujeme, v jaké konfiguraci jsou umístěny fázové vodiče na konzolích. Pro potřeby výpočtu budeme rozlišovat, tak jak je uvedeno v podkapitole 3.2.3.1 konzoly rovinné a delta (trojúhelníkové).

Ve vybrané uzlové oblasti jsou v současnosti uložena především lana AlFe 110/22, která tvoří kmenová vedení mezi rozvodnami.

Na rovinných konzolách jsou uložena lana typu: AlFe 6+1 3x95, AlFe6 3x70, AlFe6 3x50 a AlFe6 3x35.

### 5.2 Výpočet vlastní kapacity vedení vůči zemi

V následujících podkapitolách je uveden vzorový výpočet pro rovinnou a trojúhelníkovou konzolu dle parametrů, viz tabulka 5-1. Kompletní výsledky jsou pak uvedeny v tabulce 5-2.

Tabulka 5-1: Jednotlivé délky venkovních vedení.

Typ vedení		Uspořádání vodičů	Kapacita $C_0$ [nF/km]	Délka vedení			
				V86 [km]	V159 [km]	V184 [km]	V379 [km]
Lano	AlFe 110/22	trojúhelník	4,36	6,49	0,14	0,77	0,15
	AlFe 95	rovinné	4,51	2,05	8,95	9,60	
	AlFe 70	rovinné	4,45	14,15	3,00		1,50
	AlFe 50	rovinné	4,39	11,70	15,70	5,30	0,53
	AlFe 35	rovinné	4,34	3,00	3,00	1,00	
Kabel	AXEKVCE 240		300,00	2,60	0,01	0,02	0,01
	NA2XS(F)2Y 240		220,00				7,80
	NA2XS(F)2Y 150		190,00				0,38
	ANKTOYPv 240		440,00				2,00

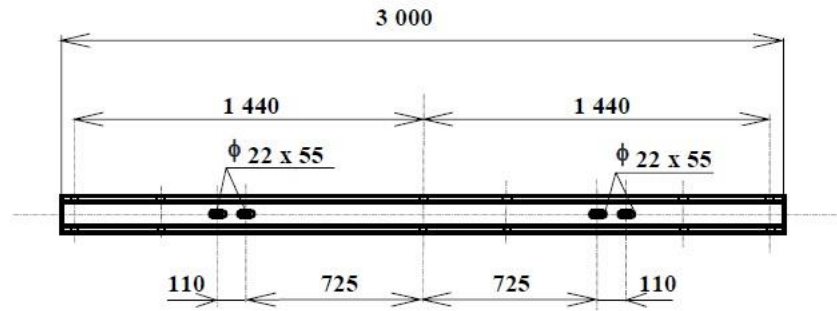
Dále jednotlivé výpočty vlastních kapacit byly vypočteny ve výpočetním programu MatLab. [36]

Zdrojové kódy pro jednotlivé typy vedení jsou uvedeny v příloze B k tomuto dokumentu.

#### 5.2.1 Rovinná konzola, lano AlFe 6+1 3x70

Pro výpočet kapacity venkovního vedení se využije metoda zrcadlení. [37]

Dle rozměrů rovinné konzoly, která je uvedena na obrázku 5-1, známe hodnoty:  $d_{12} = d_{23} = 1,44$  m;  $d_{13} = 2,88$  m;  $h_1 = h_2 = h_3 = 8,5$  m



Obrázek 5-1: Rovinná konzola lehká. [38]

Zbývající hodnoty se dopočítají následovně:

$$d'_{12} = d'_{23} = \sqrt{d_{12}^2 + (2 \cdot h_1)^2} \quad (7.1)$$

$$d'_{12} = d'_{23} = \sqrt{1,44^2 + (2 \cdot 8,5)^2} = 17,061 \text{ m}$$

$$d'_{13} = \sqrt{(d_{12} + d_{23})^2 + (2 \cdot h_1)^2} \quad (7.2)$$

$$d'_{13} = \sqrt{(1,44 + 1,44)^2 + (2 \cdot 8,5)^2} = 17,242 \text{ m}$$

Při určování kapacity vedení je podstatná geometrie celého lana, nikoliv jen geometrie vodivé části, dále poloměr lana se spočítá:

$$r = \frac{d_{\text{lana}}}{2} \quad (7.3)$$

$$r = \frac{11,25 \cdot 10^{-3}}{2} = 5,625 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Z těchto vzdáleností a poloměru lana je možné určit střední hodnotu vlastního potenciálového koeficientu. Konstanty  $\epsilon_r$  a  $\epsilon_0$  a určeny ze zdroje [39].

$$\alpha = \frac{1}{2\pi \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0} \cdot \ln \frac{2 \cdot \sqrt[3]{h_1 h_2 h_3}}{r} \quad (7.4)$$

$$\alpha = \frac{1}{2\pi \cdot 1,8854 \cdot 10^{-12}} \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot \sqrt[3]{8,5 \cdot 8,5 \cdot 8,5}}{5,625 \cdot 10^{-3}} \right) = 1,441 \cdot 10^{11} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$$

Střední hodnota vzájemného potenciálového koeficientu:

$$\alpha_v = \frac{1}{2\pi \cdot \epsilon_r \cdot \epsilon_0} \cdot \ln \frac{\sqrt[3]{d'_{12} d'_{23} d'_{13}}}{\sqrt[3]{d_{12} d_{23} d_{13}}} \quad (7.5)$$

$$\alpha_v = \frac{1}{2\pi \cdot 1,8854 \cdot 10^{-12}} \cdot \ln \left( \frac{\sqrt[3]{17,061 \cdot 17,061 \cdot 17,242}}{\sqrt[3]{1,44 \cdot 1,44 \cdot 2,88}} \right) = 4,035 \cdot 10^{10} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$$

Pro určení kapacity je nutné znát koeficienty  $\beta$  a  $\beta_v$ , pro které platí:

$$\beta = \frac{\alpha^2 - \alpha_v^2}{\alpha^3 + 2\alpha\alpha_v^2 - 3\alpha \cdot \alpha_v^2} \quad (7.6)$$

$$\beta = \frac{(1,441 \cdot 10^{11})^2 - (4,035 \cdot 10^{10})^2}{(1,441 \cdot 10^{11})^3 + 2 \cdot (4,035 \cdot 10^{10})^3 - 3 \cdot (1,441 \cdot 10^{11}) \cdot (4,035 \cdot 10^{10})^2} = 7,912 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$$



$$\beta_v = \frac{\alpha_v^2 - \alpha_v \cdot \alpha}{\alpha^3 + 2\alpha_v^3 - 3\alpha \cdot \alpha_v^2} \quad (7.7)$$

$$\beta_v = \frac{(1,441 \cdot 10^{11})^2 - (4,035 \cdot 10^{10})^2 \cdot 1,441 \cdot 10^{11}}{(1,441 \cdot 10^{11})^3 + 2 \cdot (4,035 \cdot 10^{10})^3 - 3 \cdot (1,441 \cdot 10^{11}) \cdot (3,928 \cdot 10^{10})^2} = -1,731 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$$

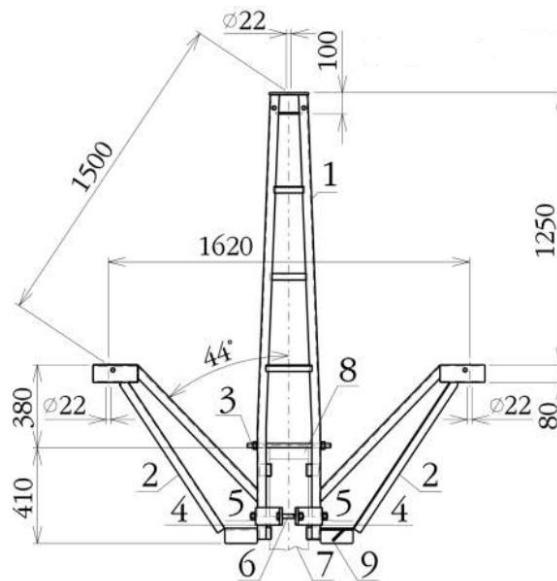
Výsledná vypočtená kapacita proti zemi:

$$C_0 = \beta + 2\beta_v \quad (7.8)$$

$$C_0 = 7,912 \cdot 10^{-12} + 2 \cdot (-1,731 \cdot 10^{-12}) = 4,449 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1} = 4,449 \text{ nF} \cdot \text{km}^{-1}$$

### 5.2.2 Trojúhelníková konzola (delta), lano AlFe6 110/22

Konzola typu delta, na které jsou umístěny vodiče typu AlFe 110/22 je uvedena na obrázku 5-2.



Obrázek 5-2: Konzola delta. [38]

Střední vzdálenost vodičů

$$d_s = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{13} \cdot d_{23}} \quad (7.9)$$

$$d_s = \sqrt[3]{1,50 \cdot 1,50 \cdot 1,62} = 1,54 \text{ m}$$

Poloměr lana vodiče

$$r = \frac{d}{2} \quad (7.10)$$

$$r = \frac{14,96}{2} = 7,48 \text{ mm}$$

Vzdálenost mezi vodiči a jejich zrcadlovými obrazy

$$h_3 = h_2 = 8,50 \text{ m}$$

$$h_1 = h_2 + \sqrt{d_{12}^2 - \left(\frac{d_{23}}{2}\right)^2} \quad (7.11)$$

$$h_1 = 8,5 + \sqrt{1,50^2 - \left(\frac{1,62}{2}\right)^2} = 9,77 \text{ m}$$

$$d'_{23} = \sqrt{(2 \cdot h_2)^2 + d_{23}^2} \quad (7.12)$$

$$d'_{23} = \sqrt{(2 \cdot 8,50)^2 - (1,62)^2} = 16,92 \text{ m}$$

$$d'_{12} = d'_{13} = \sqrt{(h_1 \cdot h_2)^2 + \left(\frac{d_{23}}{2}\right)^2} \quad (7.13)$$

$$d'_{12} = d'_{13} = \sqrt{(9,77 + 8,50)^2 + \left(\frac{1,60}{2}\right)^2} = 18,28 \text{ m}$$

Následující kroky k výpočtu vlastní kapacity vedení  $C_0$  jsou stejné jako v podkapitole 5.2.1

### 5.2.3 Přepočet kapacity $C_0$ podle délky vedení

V následující tabulce 5-2 jsou uvedeny vypočtené hodnoty kapacity  $C_0$  daného vedení na jeden kilometr délky.

Tabulka 5-2: Vypočtené hodnoty kapacity  $C_0$  jednotlivých venkovních vedení.

Typ vedení		Uspořádání vodičů	Kapacita $C_0$ [nF/km]	Délka vedení			
				V86 [km]	V159 [km]	V184 [km]	V379 [km]
Lano	AlFe 110/22	trojúhelník	4,36	6,49	0,14	0,77	0,15
	AlFe 95	rovinné	4,51	2,05	8,95	9,60	
	AlFe 70	rovinné	4,45	14,15	3,00		1,50
	AlFe 50	rovinné	4,39	11,70	15,70	5,30	0,53
	AlFe 35	rovinné	4,34	3,00	3,00	1,00	
Kabel	AXEKVCE 240		300,00	2,60	0,01	0,02	0,01
	NA2XS(F)2Y 240		220,00				7,80
	NA2XS(F)2Y 150		190,00				0,38
	ANKTOYPv 240		440,00				2,00

## 5.3 Kapacitní proudy současných linek

Příklad výpočtu kapacitního proudu linky V86

Kapacitní proud venkovního vedení linky V86 se vypočítá ze vztahů dle zdroje [14]:

$$I_{CVV} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_0 = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot 2\pi \cdot f \cdot (C_{0110} \cdot l_{ved110} + C_{095} \cdot l_{ved95} + C_{070} \cdot l_{ved70} + C_{050} \cdot l_{ved50} + C_{035} \cdot l_{ved35}) \quad (7.14)$$

$$I_{CVV} = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot (4,392 \cdot 10^{-9} \cdot 6,49 + 4,511 \cdot 10^{-9} \cdot 2,05 + 4,449 \cdot 10^{-9} \cdot 14,15 + 4,394 \cdot 10^{-9} \cdot 11,7 + 4,336 \cdot 10^{-9} \cdot 3) = 1,974 \text{ A}$$

$$I_{CKAB} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_0 = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot 2\pi \cdot f \cdot (C_{0kab} \cdot l_{vedkab}) \quad (7.15)$$

$$I_{CVV} = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot (300 \cdot 10^{-9} \cdot 2,60) = 9,337 \text{ A}$$

$$I_{CV86} = I_{CVV} + I_{CKAB} = 1,974 + 9,337 = 11,312 \text{ A} \quad (7.16)$$

Stejný postup je aplikován i na zbývající linky. V následující tabulce 5-3 jsou uvedeny vypočtené hodnoty kapacitních proudů jednotlivých současných linek v určené uzlové oblasti.

Tabulka 5-3: Tabulka s hodnotami  $I_c$  jednotlivých vedení v současném stavu.

	$I_{cV86}$	$I_{cV159}$	$I_{cV184}$	$I_{cV379}$
	[A]	[A]	[A]	[A]
Venkovní vedení	1,974	1,632	0,889	0,115
Kabel	9,337	0,043	0,078	31,975
Celkem linka	11,311	1,675	0,967	32,090
Celkový kapacitní proud soustavy			<b>46,048</b>	[A]

## 5.4 Výpočet kapacitního proudu navržených kabelových linek

V tabulce 5-4 jsou uvedeny navržené délky kabelového vedení ve vybrané uzlové oblasti.

Tabulka 5-4: Tabulka kapacit  $C_0$  a délek navržených kabelových vedení.

Kabel	Kapacita $C_0$	Délka vedení			
		V86	V159	V184	V379
	[ $\mu$ F/km]	[km]	[km]	[km]	[km]
AXEKVCE 240	0,30	2,60			
NA2XS(F)2Y 240	0,22	11,71	8,99	11,27	10,12
NA2XS(F)2Y 150	0,19	27,77	15,96	11,41	7,80

### 5.4.1 Výpočet

Příklad výpočtu kapacitního proudu pro navrženou kabelovou linku V86, kde vypočtené hodnoty kapacitního proudu jednotlivých kabelizovaných linek jsou uvedeny v tabulce 5-5.

$$I_{ckabel} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot 2\pi \cdot f \cdot C_0 = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot 2\pi \cdot f \cdot (C_{0AXEKVCE240} \cdot l_{AXEKVCE240} + C_{0NA2XS(F)2Y240} \cdot l_{NA2XS(F)2Y240} + C_{0NA2XS2(F)Y150} \cdot l_{NA2XS(F)2Y150}) \quad (7.17)$$

$$I_{ckabel} = \sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot (0,30 \cdot 10^{-6} \cdot 2,60 + 0,22 \cdot 10^{-6} \cdot 11,71 + 0,19 \cdot 10^{-6} \cdot 27,77) = 103,34 \text{ A}$$

Tabulka 5-5: Celkový vypočtený kapacitní proud  $I_c$  navrženého kabelového vedení.

	$I_{cV86}$	$I_{cV159}$	$I_{cV184}$	$I_{cV379}$
	[A]	[A]	[A]	[A]
$I_c$ kabel	103,34	59,98	55,63	44,39
Celkový kapacitní proud navrženého vedení			<b>265,88</b>	A

## 5.5 Návrh opatření v rozvodně Telč

Na základě vypočteného kapacitního proudu kabelových vedení v uvažované uzlové oblasti je třeba provést úpravy v rozvodně 110/22 kV Telč.

V současném stavu je distribuční síť provozována jako kompenzovaná se zapojením uzlu transformátoru přes zhášecí tlumivku. Po návrhu kabelizace venkovního vedení nebude možné už takto síť provozovat. Jelikož navržená kabelová síť bude obsahovat kabelová vedení, která ve vybrané uzlové oblasti budou zastoupena minimálně 90 %, v našem případě to bude 100 %, bude síť provozována jako kompenzovaná se zapojením uzlu transformátoru přes odporník. Princip funkce kompenzované sítě je popsán v podkapitole 3.5.2.2.

Při takto provozované síti mohou příčinou vnějších vlivů nebo poruch nastat změny stavu provozu kompenzované sítě:

- budou-li hraniční úsekové odpojovače, které tvoří hranici mezi navrženým kmenovým kabelovým vedením a pokračujícím kmenovým venkovním vedením rozpojené, bude síť provozována jako kompenzovaná s uzlovým odporníkem,
- bude-li potřeba v rámci mimořádného provozu (porucha na úseku venkovního vedení mimo uzlovou oblast) krátkodobě provozovat síť s částí venkovního vedení, které nebude přesahovat zastoupení v síti maximálně 10 %, bude síť provozována jako kompenzovaná s uzlovým odporníkem.

### 5.5.1 Volba uzlového odporníku

Uzlový odpor  $R$  omezuje velikost poruchového proudu, ale další jeho výhodou je to že, tlumí vzniklá přepětí. Používá se jako krátkodobá zátěž. Pro správné tlumení přepětí je třeba dodržet, aby jmenovitý proud rezistoru nebyl menší než kapacitní proud sítě. [40]

Výpočet velikosti odporníku:

$$I_R \geq I_{kap} \quad (6.18)$$

$$\frac{U_f}{R} \geq 3 \cdot \omega \cdot C_{osítě} \cdot U_f \quad (6.19)$$

$$R \leq \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot C_{osítě}} \quad (6.20)$$

$$R \leq \frac{1}{3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot (2,221 \cdot 10^{-5})} = 47,77 \, \Omega$$

Velikost uzlového odporníku pro svoji správnou funkci neměla přesahovat velikost  $R = 47,77 \, \Omega$ .

Výroba uzlových odporníků je individuální, protože záleží na velikosti proudu na rezistoru. Proto výrobci neuvádí katalogové hodnoty odporníků. Ten je třeba si nechat sestavit přímo od výrobce.

## 6 EKONOMICKO-TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ

Cenové ohodnocení a nacenění jak vypracovaného návrhu, tak samotných prvků obsažených v ní, je důležitou součástí správně vytvořeného projektu, ať už se jedná o studii nebo pro samotnou projektovou dokumentaci pro realizaci stavby. V následujících podkapitolách je sestaven položkový rozpočet zjednodušené dokumentace, stanovení ceny vypracované dokumentace a zhodnocení technické proveditelnosti a ekonomické efektivity návrhu.

### 6.1 Položkový rozpočet vypracované navržené kabelizace

Důležitou částí každé projektové dokumentace je rozpočet. Položkový rozpočet vychází z počtu, rozsahu a objemnosti jednotlivých prvků, které jsou náplní projektové dokumentace, v tomto případě zjednodušené projektové dokumentace. Tyto prvky představují kabely a kabelové trasy, kioskové trafostanice včetně jejich výzbroje (rozdávěče, transformátory, vypínače, odpojovače, ochrany, komunikační techniku). Dále je u každého prvku započítána v ceně za položku instalace a dodávka od výrobce nebo dodavatele. V následující tabulce 6-1 je souhrn položek obsažený v projektové dokumentaci. Ceny byly stanoveny na základě informací od jednotlivých dodavatelů a výrobců daných zařízení. Z důvodu citlivých informací jsou uvedeny pouze koncové ceny za celou položku.

Tabulka 6-1: Položkový rozpočet navržené kabelizace.

Položkový rozpočet zjednodušené projektové dokumentace			
Položka	množství	jednotka	cena [Kč]
<b>TS Kioskové (bez rozv.VN, transf. a vývodů)</b>			52 500 000
Kiosková TS 1 x 630 kVA	84,00	ks	
1x 630 kVA UF 2536 - 1x RST do 1000A (jistič + odpínač 400A)	84,00	ks	
Kiosková TS 2 x 400 kVA	12,00	ks	
1x 400 kVA UF 2536 - 1x RST do 630A (jistič + odpínač 400A)	12,00	ks	
Příplatek - sedlová střecha pro UF 2536	25,00	ks	
Příplatek - valbováá střecha pro UF 2536	59,00	ks	
<b>Rozváděče VN s plynem SF6 (dodávka vč. dopravy bez montáže)</b>			9 000 000
<b>Kompakt VN SF6</b>			
Rozváděč VN Kompakt GA 1TS1	2,00	ks	
Rozváděč VN GA 2K+1T	77,00	ks	
Rozváděč VN GA 3K+1T	9,00	ks	
Rozváděč VN GA 4K+1T	8,00	ks	
<b>Ochrany VN</b>			10 400 000
Ochrany VN + vypínání (pro dálkově ovládané trafostanice)	26,00	ks	
Kontrola selektivity nových a stávajících ochran	1,00	kpl	
<b>Kabelové vedení VN</b>			179 910 000
<b>Ve městě (bez zádlazeb) - celkem cena včetně kabelu</b>			
3 x NA2XS(F)2Y 1x150 mm <sup>2</sup>	40,14	km	
3 x NA2XS(F)2Y 1x240 mm <sup>2</sup>	23,82	km	
<b>Souběhy kabelů VN - město</b>			
2 kabely 3x NA2XS(F)2Y 1x240 mm <sup>2</sup>	6,65	km	
3 kabely 3x NA2XS(F)2Y 1x240 mm <sup>2</sup>	0,80	km	
<b>Ve volném terénu - celkem cena včetně kabelu</b>			

3 x AXEKVCEY 1x 70 mm <sup>2</sup>	3,90	km	
3 x NA2XS(F)2Y 1x150 mm <sup>2</sup>	15,14	km	
3 x NA2XS(F)2Y 1x240 mm <sup>2</sup>	25,97	km	
<b>Souběhy kabelů VN - volný terén</b>			
2 kabely 3x NA2XS2(F)Y 1x150 mm <sup>2</sup>	0,70	km	
<b>Přechod, Protlak</b>			1 300 000
Protlak 160	182,00	m	
Protlak 250	336,00	m	
<b>Základny</b>			33 305 400
<b>Vozovka</b>			
asfaltová vč. nového materiálu	15,00	km	
betonová vč. nového materiálu	6,00	km	
šterková cesta (krajnice)	22,50	km	
základna zámková pojízdná vč. nového materiálu	4,65	km	
panelová bez materiálu	1,47	km	
<b>Chodník</b>			
Kostky malé	4,65	km	
Zámková dlažba - 20% nového materiálu	9,70	km	
Betonové desky 300/300/35 vč. stáv. mat. a 20% nového mat.	2,60	km	
Různé základny	1,96	km	
<b>Ostatní</b>			1 540 000
Mobilní TS vč. dopravy, usazení, oplocení, zapojení a odpojení, uzemnění, demontáž, terénní úpravy	10,00	kpl	
Odstranění dřevitého porostu	5000,00	m <sup>2</sup>	
<b>Demontáže</b>			5 200 000
Demontáž trafostanice VN/NN	104,00	ks	
VN Dem.venk.v.15%z IN do 250 000,- Kč	4,00	ks	
VN Dem.venk.v.10%z IN nad 250 000,- Kč	16,00	ks	
<b>Celková cena díla:</b>			<b>293 155 400</b>

Cena za jednotlivé prvky rozpočtu nemůže být bohužel zveřejněna, proto je cena uvedena za souhrnnou položku. Ze započitatelných nákladů je určena celková cena na dílo, která je stanovena na hodnotu 293 155 400 Kč. Zde je důležité zdůraznit fakt, že do ceny je započítán materiál a práce na VN části. Pro skutečnou cenu by bylo třeba ještě doplnit náklady na úpravy, přeložky a obnovy sítí NN a cenu vypracované projektové dokumentace.

## 6.2 Stanovení ceny vypracované projektové dokumentace

Pro stanovení ceny vypracované projektové dokumentace neboli odměny za vypracování, bude použit přístup pro výpočet odměny společnosti E.ON Distribuce, a.s. Ten je podrobně vyhotoven v mé bakalářské práci Hodnocení a odměňování projekčních prací u provozovatele distribuční soustavy. Při celkových nákladech na dílo 293 155 400 Kč je stanovena cena projektové dokumentace na částku 4 122 600 Kč. [34]

### 6.3 Technická proveditelnost vypracovaného návrhu kabelizace

Návrh plošné kabelizace je vytvořen tak, aby byla technicky proveditelná při použití současných dostupných technologií, materiálů a poznatků. Dále byl návrh proveden tak, aby bylo možné provést pokládku kabelů nejefektivnějším způsobem, pluhováním. Celkem by bylo položeno pluhováním 69,95 km nového kabelového vedení. Tam kde není přípustné pluhování, tam budou kabely kladeny do výkopů. Samotná realizace takto velké kabelové oblasti bude velice časově náročná a může trvat v rozmezí několika let. Další možností, jak technicky zvládnout realizovat plošné kabelování je rozdělení prací do jednotlivých etap projektu, včetně podrobného harmonogramu plánovaných náhrad venkovních vedení za kabelová. Například provést kabelizaci po jednotlivých vedeních:

- I. etapa plošné kabelizace: kabelizace linky V379,
- II. etapa plošné kabelizace: kabelizace linky V86,
- III. etapa plošné kabelizace: kabelizace linky V159,
- IV. etapa plošné kabelizace: kabelizace linky V184.

Dále je třeba provést úpravy v rozvodně 110/22 kV Telč dle podkapitoly kapitoly 5.5, aby bylo možné takto navrhnoutou kabelovou sítí provozovat a splňovat podmínky jednak pro provoz, tak i bezpečnost a spolehlivost distribuční sítě. Po technické stránce je proveditelnost takto navrhnutého stavu možná, ale třeba také počítat s ekonomickou efektivností tohoto projektu.

### 6.4 Zhodnocení ekonomické efektivnosti návrhu

Pokud se zaměříme na ekonomickou stránku návrhu plošné kabelizace venkovního vedení, tak po součtu ceny za položkový rozpočet prvků VN a odměny projektantovi za vypracování projektové dokumentace se dostáváme na částku 297,28 milionu Kč. Tato cena je poměrně vysoká a následná realizace tohoto projektu po ekonomické stránce je velkou finanční zátěží pro investora, v našem případě je to společnost E.ON Distribuce, a.s. K této ceně je nutné připočítat i úpravy, přeložky a revitalizace vedení NN v jednotlivých zastavěných územích, což celkovou cenu ještě více zvyšuje. Nesmíme také zapomínat na zřizování smluv o smlouvách budoucích na věčná břemena a odkupy pozemků, na které je třeba uvolnit další peněžní prostředky.

Ve srovnání s náklady, které by bylo třeba vynaložit na obnovy všech venkovních vedení, budou náklady na obnovu daleko nižší. Pokud by se ale k venkovním vedením přičetly náklady za penalizace v době výpadků sítě, tak by cenový rozdíl mezi náklady na obnovu venkovního vedení a výstavbou nových kabelových vedení nebyl tak velký. Za docílením zlepšení ukazatelů spolehlivosti a větší variability sítě je třeba vynaložit větší finanční prostředky.

Po finanční stránce návrh poukazuje na úskalí plošné kabelizace, nicméně z dlouhodobého hlediska rozvoje, využití nových technologií a postupnému zavádění automatizačních prvků, se návrh jeví jako vhodnou investicí do budoucího vývoje distribučních sítí na našem území.

## 7 ZÁVĚR

Přínosem diplomové práce je poukázání na úskalí návrhu plošné kabelizace takto rozsáhlé oblasti, které by měly vliv na budoucí rozvoj, návrh a výstavbu kabelových vedení v intravilánech a extravilánech obcí.

Z teoretické části práce vyplívají legislativní, právní a normové úkony, které musí být při návrhu plošné kabelizace venkovního vedení dodrženy. Dále dle problematiky a rozdílů v provozu venkovních a kabelových vedení na hladině VN vyplívají konstrukční, technické a provozní rozdílnosti.

Praktická část práce byla zaměřena na popis určené oblasti v současném stavu, jakou velikostí, rozsahem a četností elektroenergetických prvků současná síť disponuje. Také jsou v této části shrnuty poruchy ve sledovaném období, které jsou následně vyhodnoceny. Samotný návrh plošné kabelizace venkovního vedení plynule navazuje na předešlé poznatky jak z teoretické části, tak z kapitoly současného stavu. Vypracovaná zjednodušená projektová dokumentace v prvním kroku pojednává o tom, že veškerá venkovní vedení na hladině VN byla nahrazena novými kabelovými vedeními. To i včetně nových trafostanic, které jsou vhodně umístovány, tak aby vyhovovali koncepci rozvoje kabelových sítí VN společnosti E.ON Distribuce, a.s. při realizaci nových kabelových vedení v intravilánech i extravilánech obcí. Postup a náležitosti, které jsou popsány v podkapitole 4.2 zároveň slouží jako technická zpráva k navrhované kabelizaci venkovních linek.

Současný i nově navržený stav uzlové oblasti byl ověřen výpočtem ustáleného chodu sítě v programu E-Vlivy, kde byly ve stavu po kabelizaci zaznamenány menší úbytky napětí, zejména na koncích navržených vedeních. Naopak se u navrženého stavu zvýšil zkratový výkon, v některých úsecích dokonce i dvojnásobně. Dále proběhl výpočet kapacitního proudu  $I_c$  sítě v současném i navrhovaném stavu, který z hodnoty 46,05 A vzrostl na hodnotu 265, 88 A.

Vypočtená hodnota kapacitního proudu  $I_c$  sloužila jako podklad pro návrh technických opatření v transformovně 110/22 kV Telč, kde nově navržená kabelová síť, bude provozována jako kompenzovaná síť se spojením uzlu transformátoru s uzemňovací soustavou přes odporník. Byla vypočtena hodnota odpor uzlového odporníku  $R = 47,77 \Omega$ , pro omezení zkratového proudu do doby, než zareagují příslušné ochrany.

V další části práce bylo provedeno technické zhodnocení proveditelnosti návrhu, kde pokládka kabelů metodou pluhování by byla realizována v celkové délce 69,95 km. Tato metoda má své výhody v urychlení výstavby kabelových vedení a zároveň je šetrnější k životnímu prostředí. Návrh je však svou velikostí natolik obsáhlý, že není možné návrh realizovat jako celek, proto byl rozdělen do jednotlivých etap, které odpovídají náhradě kmenových linek v uzlové oblasti včetně jejich vnitřních kruhů.

Po finanční stránce byl v rámci projektové dokumentace vytvořen položkový rozpočet navrhovaného stavu kabelizace, kde cena všech prvků obsažených v návrhu odpovídá nákladům na dílo částkou 293 155 400 Kč. K tomu je třeba ještě připočítat cenu za zhotovenou projektovou dokumentaci 4 122 600 Kč. Celková cena uvažovaného návrhu bez úprav a přeložek na straně NN odpovídá 297,28 mil. Kč. Po finanční stránce je návrh plošné kabelizace venkovních vedení 22 kV velmi náročný, což poukazuje úskalí návrhu.

Pokud se ale na návrh zaměříme jak z technického, tak ekonomicky dlouhodobého hlediska, kdy je třeba počítat s rozvojem distribučních sítí, zařazováním automatizovaných prvků, využíváním nových smart technologií nebo čím dál většimu počtu připojovaných obnovitelných



---

zdrojů, je navržená kabelová síť variabilnější. A to zejména při mimořádných stavech, kdy chceme docílit co největší spolehlivosti a kvality dodávané elektrické energie. Dále s kabelizovanou sítí se sníží množství poruch (zaviněných i nezaviněných). Pokud nastane porucha, díky jednoduchosti a právě variabilitě sítě, dokáže dispečer s velkou rychlostí a přesností poruchu vymanipulovat, což má za následek snížení dobu přerušení a dochází ke zlepšení SAIFI a SAIDI. Z těchto konkrétních pohledů je plošná kabelizace venkovního vedení efektivní a přínosná.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Vyhláška č. 501/2006 Sb., Vyhláška o obecných požadavcích na využívání území
- [2] Zákon č. 163/2006 Sb., Stavební zákon
- [3] Národní akční plán pro chytré sítě. *Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky* [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/elektroenergetika/2016/11/Narodni-akcni-plan-pro-chytre-site.pdf>
- [4] Zákon č. 458/2000 Sb., Energetický zákon
- [5] Vyhláška č. 268/2009 Sb., Vyhláška o technických požadavcích na stavby
- [6] Co je to technická norma? *ÚŘAD PRO TECHNICKOU NORMALIZACI, METROLOGII A ZKUŠEBNICTVÍ* [online]. 2019 [cit. 2019-12-15]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/co-je-to-technicka-norma->
- [7] *Technické normy pro distribuci a přenos: TNK elektroenergetika* [online]. 2019 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: [http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:IshjDzGPYRIJ:spolky.csvts.cz/cesnes/texty/normy\\_pro\\_elektroenergetiku.doc+&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:IshjDzGPYRIJ:spolky.csvts.cz/cesnes/texty/normy_pro_elektroenergetiku.doc+&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz)
- [8] Podnikové normy. *České sdružení regulovaných elektroenergetických společností* [online]. 2019, 2019 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://www.csres.cz/CZ/podnikove-normy>
- [9] Pravidla provozování distribuční soustavy E.ON Distribuce, a.s. - 05 2016. *Předpisy a smlouvy pro elektřinu* [online]. 2016 [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <https://www.eon-distribuce.cz/predpisy-smlouvy-pro-elektrinu>
- [10] *Koncepce rozvoje sítí VN*. 2019. Dostupné také z: <https://www.eon-distribuce.cz/predpisy-smlouvy-pro-elektrinu>
- [11] Vyhláška č. 499/2006 Sb., Vyhláška o dokumentaci staveb
- [12] PRE Pokyny pro zpracování projektů pro společnost PREdistribuce, a.s. *PRE distribuce, a.s.* [online]. [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.predistribuce.cz/cs/vyhledavani/?query=dokumenty>
- [13] Zákon č. 591/2006 Sb., Nařízení vlády o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích
- [14] TOMAN, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jaroslava ORSÁGOVÁ, Martin PAAR a David TOPOLÁNEK. *Provoz distribučních soustav*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 263 s. : il. ISBN 978-80-01-04935-8.
- [15] Pravidla provozování DS-2019. *Cez.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: <https://www.cezdistribuce.cz/cs/energeticka-legislativa/pravidla-provozovani-ds/ppds-2019.html>
- [16] *Přenosová a distribuční soustava - 4. část: Vedení vysokého (VN) a nízkého napětí (NN)* [online]. 2019, 2019 [cit. 2019-12-07]. DOI: E.ON Distribuce, a.s. Dostupné z: <https://www.eon-distribuce.cz/clanek/prenosova-distribucni-soustava-4-cast>
- [17] Silové kabely NA2XS(F)2Y 18/30 s izolací ze zesíťovaného polyetylénu: Katalogový list [online]. Nkt cables [cit. 2019-12-07]. Dostupné z: [http://www.nkt.cz/fileadmin/user\\_upload/Products/Data\\_sheets/NA2XS2Y\\_18\\$30\\_kV+D S+CZ+EN.pdf](http://www.nkt.cz/fileadmin/user_upload/Products/Data_sheets/NA2XS2Y_18$30_kV+D S+CZ+EN.pdf)

- [18] *Kladení kabelů nn, vn a 110 kV v distribučních sítích energetiky: PNE 34 1050 ed.3.*
- [19] Pokládka kabelů metodou pluhování. *Nodig* [online]. [cit. 2020-05-27]. Dostupné z: <https://www.nodig.cz/cs/pluhovani-potrubi-kabelu/a-16/>
- [20] Pomocné odporníky ke zhášecí tlumivce. *Ege.cz* [online]. České Budějovice, 2013 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.ege.cz/cz/produkty-a-sluzby/elektrotechnika---kompenzace-zemniho-spojzeni/pomocne-odporniky-ke-zhaseci-tlumivce>
- [21] PAVLOVSKÝ, Bohumír. *Elektrické sítě v městech a sídlištích*. Praha: SNTL, 1975. ISBN L12-B3-IV-41/52099.
- [22] Vyhláška č. 540/2005 Sb., Vyhláška o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice
- [23] Roční zpráva provoz ES ČR 2018. *Energetický regulační úřad* [online]. Jihlava, 2019 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni\\_zprava\\_provoz\\_ES\\_2019.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c](http://www.eru.cz/documents/10540/4580207/Rocni_zprava_provoz_ES_2019.pdf/1420388b-8eb6-4424-9ad9-c06a57b5326c)
- [24] ČSN EN 1991-1-3. *Zatížení stavebních konstrukcí: Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. 2005.
- [25] *Geoportál: E.ON Česká Republika, a.s.* [online]. 2019 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <http://geoportal.eon.cz/itc/default.aspx?serverconf=vsite&wmcid=1143>
- [26] Počet obyvatel v obcích, Český statistický úřad, <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112019>
- [27] Počet obyvatel v obcích - k 1.1.2020. *Český statistický úřad* [online]. Praha, 2020 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-112019>
- [28] *Kodex přenosové soustavy, část V.: Pravidla provozování přenosové soustavy* [online]. 2019 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: [https://www.eru.cz/documents/10540/479698/CV\\_k\\_prip.pdf/2f28f90c-30aa-4040-85a6-053fd4fe3048](https://www.eru.cz/documents/10540/479698/CV_k_prip.pdf/2f28f90c-30aa-4040-85a6-053fd4fe3048)
- [29] Sestavte si vlastní trafostanici. *EEIKA Brno, s.r.o.* [online]. 2019 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <http://sestavtesimadmouseman.cz/>
- [30] Pochozí trafostanice: UF 2536. *Betonbau, s.r.o* [online]. 2019 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: [http://i0.cz/s/nosf/JFEaFI/847890/Betonbau\\_pochozi\\_trafostanice\\_UF.pdf](http://i0.cz/s/nosf/JFEaFI/847890/Betonbau_pochozi_trafostanice_UF.pdf)
- [31] Kompaktní rozvaděče izolované plynem SF6, Ormazabal. *Power-energo* [online]. 2019 [cit. 2020-04-27]. Dostupné z: <https://www.power-energo.cz/p96-rozvadece-vn-ormazabal.html#1>
- [32] Distribuční transformátory. *Bez* [online]. 2019 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <http://www.bez.sk/sk/produkty#olejove>
- [33] Inteligentní distribuční trafostanice pro budoucí bezpečnou distribuci energie: Totally Integrated Power. *Siemens.cz* [online]. [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.siemens.cz/smartcities/download.php?fid=826>
- [34] BRACEK, D. *Hodnocení a odměňování projekčních prací u provozovatele distribuční soustavy*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 57 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Radil, Ph.D..
- [35] E-Vlivy 3. *Egc-cb* [online]. 2019 [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: [https://www.egc-cb.cz/download/sites\\_add\\_cs/1446803106\\_cs\\_evlivy-3-datasheet-cz-v4.pdf](https://www.egc-cb.cz/download/sites_add_cs/1446803106_cs_evlivy-3-datasheet-cz-v4.pdf)

- 
- [36] Výpočetní program MatLab. *MathWorks* [online]. [cit. 2020-05-25]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>
- [37] BLAŽEK, Vladimír. *Distribuce elektrické energie*. Brno. Vysoké učení technické v Brně, 2003, 138 s.
- [38] *Součásti venkovních vedení od 1 kV do 45 kV AC: PNE 34-8601 ed.2.*
- [39] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2015, 178 s.
- [40] TESAŘOVÁ, Miloslava a ŠTROBLOVÁ, Milada. *Průmyslová elektroenergetika*. 1.vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. 154 s. ISBN 80-7082-703-3.

## SEZNAM PŘÍLOH

### Příloha A – Obrázková příloha

1. Řez kabelem NA2XS(F)2Y
2. Vzorový řez výkopem pro uložení kabelů VN
3. Prefabrikovaná kiosková trafostanice Betonbau Uf 2536

### Příloha B – Zdrojové kódy pro výpočet kapacity $C_0$ jednotlivých typů venkovního vedení

1. Rovinná konzola, lano: AlFe 6+1 3x35
2. Rovinná konzola, lano: AlFe 6+1 3x50
3. Rovinná konzola, lano: AlFe 42/7
4. Rovinná konzola, lano: AlFe 6+1 3x70
5. Rovinná konzola, lano: AlFe 6+1 3x95
6. Konzola–Delta, lano: AlFe 6+1 3x110

### Příloha C – Výkresová část – Návrh kabelizace

1. C.00 Seznam příloh C
2. C.01 Schéma navržených kabelizovaných linek
3. C.02 Vedení V86\_1
4. C.03 Vedení V86\_2
5. C.04 Vedení V86\_3
6. C.05 Vedení V87
7. C.06 Vedení V159\_1
8. C.07 Vedení V159\_2
9. C.08 Vedení V159\_184
10. C.09 Vedení V184\_1
11. C.10 Vedení V184\_2
12. C.11 Vedení V379