

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Návrh postupného přechodu sítí VN z venkovního do  
kabelového provedení**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2017/2018

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David ŘEZÁČ**  
Osobní číslo: **E16N0112P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Elektroenergetika**  
Název tématu: **Návrh postupného přechodu sítí VN z venkovního do kabelového provedení**  
Zadávající katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište stávající stav sítí VN v ČR, analyzujte výhody a nevýhody kabelových versus venkovních sítí.
2. Identifikujte rizika spojená s přechodem z venkovní sítě na kabelovou síť (parametry sítě, nastavení ochran, provozování uzemnění uzlu sítě, ochrana proti přepětí, atd.).
3. Navrhněte modelové příklady postupného provedení kabelizace venkovního vedení VN.
4. Posuďte vliv kabelizace na SAIDI/SAIFI pro jednotlivé modelové příklady postupné kabelizace.
5. Navrhněte možná řešení realizace kabelizace venkovních sítí VN a vyhodnoťte nejvhodnější technickoekonomické řešení.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah kvalifikační práce: 40 - 60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Miloslava Tesařová, Ph.D.


Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 10. října 2017

Termín odevzdání diplomové práce: 24. května 2018

  
Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.  
děkan



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

V Plzni dne 10. října 2017

## **Abstrakt**

Předkládaná diplomová práce se zabývá problematikou návrhu postupného přechodu sítí VN z venkovního do kabelového provedení. Nachází se zde popis sítí vysokého napětí, jejího provozování, spínacích prvků a ochran. Dále se pak věnuje popisu rizik spojených s kabelizací a také kvalitou dodávané energie. V praktické části diplomové práce je navržen postup pro výběr vývodů vhodných ke kabelizaci, včetně technicko-ekonomického zhodnocení. Daný postup je aplikován na vybrané úseky dvou vývodů z rozvodny Větrní. Pro zvolené vývody jsou zde uvedeny trasy vedení v lesních průsecích a jejich ekonomické zhodnocení kabelizace.

## **Klíčová slova**

Distribuční soustava, síť vysokého napětí, kvalita dodávky elektrické energie, nepřetržitost dodávky, SAIDI, Kabelizace

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the proposal of the gradual increase of cable rate in medium voltage (MV) networks. The thesis includes the description of MV networks, their operation, used switching elements and protection. There are also mentioned the risks associated with cabling and the supply quality. In the practical part of the diploma thesis, there is designed a procedure for selection of MV feeders suitable for cabling, including technical and economic evaluation. This procedure is applied to selected sections of two feeders fed from the Větrní substation. For overhead-line feeder sections situated in forest areas, the the benefit of their replacement by cables are evaluated from technical and economic point of view.

## **Key words**

Distribution System, MV Networks, Supply Quality, Supply continuity, SAIDI, Cable

## **Prohlášení**

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

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

.....  
podpis

V Plzni dne 15.5.2018

David Řezáč

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce paní Doc. Ing. Miloslavě Tesařové, Ph.D. za cenné rady, připomínky, metodické vedení a velkou vstřícnost.

Dále bych chtěl poděkovat především Ing. Janu Vrzalovi a také Ing. Jiřímu Čeledovi za poskytnutí profesních zkušeností, informací, také za čas a pomoc, kterou mi poskytli.

# Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>9</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM TABULEK</b> .....	<b>11</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>12</b>
<b>1 DISTRIBUČNÍ SÍTĚ VN V ČESKÉ REPUBLICE</b> .....	<b>13</b>
1.1 NEJVÝZNAMNĚJŠÍ DISTRIBUČNÍ SPOLEČNOSTI.....	13
1.1.1 <i>E.ON Distribuce</i> .....	14
1.1.2 <i>ČEZ Distribuce</i> .....	14
1.2 VENKOVNÍ VEDENÍ VN.....	15
1.2.1 <i>Spínací a odpojovací prvky venkovního vedení</i> .....	17
1.2.2 <i>Ochranné prvky venkovního vedení</i> .....	18
1.3 KABELOVÁ VEDENÍ VN.....	22
1.3.1 <i>Ochrany kabelového vedení</i> .....	27
<b>2 RIZIKA SPOJENÁ S KABELIZACÍ</b> .....	<b>30</b>
2.1 NEVÝHODY KABELIZACE.....	31
<b>3 KVALITA DODÁVANÉ ENERGIE</b> .....	<b>35</b>
3.1 VYHODNOCOVÁNÍ NEPŘETRŽITOSTI DODÁVKY.....	36
<b>4 VYHODNOCENÍ KABELIZACE LESNÍCH PRŮSEKŮ</b> .....	<b>40</b>
4.1 VÝBĚR VHODNÝCH VÝVODŮ.....	40
4.2 VÝPOČET SAIDI.....	41
4.3 KABELIZACE LESNÍCH PRŮSEKŮ.....	44
4.4 PROBLÉMOVÉ ÚSEKY NA VÝVODU PLANÁ.....	48
4.4.1 <i>Úsek 144-634-735 (CK)</i> .....	50
4.4.2 <i>Úsek 636-756 (CK)</i> .....	51
4.4.3 <i>Úsek 776-654-655 (CK)</i> .....	52
4.4.4 <i>Shrnutí problémových úseků na vývodu Planá</i> .....	53
4.5 PROBLÉMOVÉ ÚSEKY NA VÝVODU OLŠINA.....	54
4.5.1 <i>Úsek 145-642-644 (CK)</i> .....	54
4.5.2 <i>Úsek 651-652-965 (CK)</i> .....	55
4.5.3 <i>Úsek 647-648-658 (CK)</i> .....	56
4.5.4 <i>Shrnutí problémových úseků na vývodu Olšina</i> .....	57
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>1</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>3</b>



## Seznam symbolů a zkratk

NN	Nízké napětí
VN	Vysoké napětí
VVN	Velmi vysoké napětí
OZ	Opětovné zapnutí
PVC	Polyvinylchlorid
XE	Zesíťovaný polyetylen
SAIDI	System average interruption duration index
SAIFI	System average interruption frequency index
CAIDI	Customer average interruption duration index
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
ERÚ	Energetický regulační úřad

## Seznam obrázků

<i>OBR. 1</i> ROZDĚLENÍ ČESKÉ REPUBLIKY MEZI DISTRIBUČNÍ SPOLEČNOSTI [23] .....	13
<i>OBR. 2</i> DISTRIBUČNÍ SÍTĚ A) PAPERKOVÁ, B) OKRUŽNÍ [21] .....	15
<i>OBR. 3</i> VYPÍNACÍ CHARAKTERISTIKY NADPROUDOVÝCH OCHRAN [1] .....	19
<i>OBR. 4</i> ŘEZ KABELEM AXEKVCE [19] .....	23
<i>OBR. 5</i> ŘEZ KABELOVÝM VÝKOPEM [20] .....	25
<i>OBR. 6</i> OKRUŽNÍ KABELOVÉ VEDENÍ [32] .....	25
<i>OBR. 7</i> POLOSMYČKOVÁ SÍŤ [12] .....	26
<i>OBR. 8</i> SÍŤ SE ZÁLOŽNÍMI KABELY [12] .....	27
<i>OBR. 9</i> SÍŤ SE SPÍNACÍMI STANICEMI [12] .....	27
<i>OBR. 10</i> GRAF VÝVOJE DÉLEK VEDENÍ[26] .....	33
<i>OBR. 11</i> GRAF VÝVOJE PŘÍRŮSTKŮ VEDENÍ EON [26] .....	33
<i>OBR. 12</i> GRAF VÝVOJE PŘÍRŮSTKŮ VEDENÍ ČEZ [26] .....	34
<i>OBR. 13</i> DÉLKA VEDENÍ A PODÍL KABELIZACE JEDNOTLIVÝCH DISTRIBUTORŮ [13] .....	37
<i>OBR. 14</i> VÝVOJ UKAZATELŮ SAIDI A SAIFI [13] .....	38
<i>OBR. 15</i> LICHOBĚŽNÍKOVÁ METODA .....	42
<i>OBR. 16</i> NÁVRH KABELOVÉ TRASY[25] .....	50

## Seznam tabulek

TAB. 1 PLNĚNÍ STANDARDŮ DISTRIBUCE ELEKTŘINY ZA ROK 2016 [13].....	35
TAB. 2 HODNOTY UKAZATELŮ NEPŘETRŽITOSTI DODÁVKY PRO PŘENOSOVOU SOUSTAVU ZA ROK 2016 [13].....	36
TAB. 3 POROVNÁNÍ UKAZATELŮ NEPŘETRŽITOSTI DODÁVKY [13] .....	38
TAB. 4 VÝBĚR VÝVODU A ÚSEKŮ VHODNÝCH KE KABELIZACI.....	41
TAB. 5 HODNOTY PRO NASTÍNĚNÍ PŘÍKLADU VÝPOČTU INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ .....	46
TAB. 6 CELKOVÁ SOUHRNNÁ DOBA PRO VÝVOD PLANÁ.....	48
TAB. 7 ČINITEL SAIDI PO PŘEPOČTU NA 1 OM A NA JEDEN ROK PRO VÝVOD PLANÁ .....	49
TAB. 8 HODNOTY PRO VÝPOČET SOUHRNNÉ DOBY NUTNÉ PRO VÝPOČET SAIDI.....	49
TAB. 9 DÉLKY TRAS VENKOVNÍCH A KABELOVÝCH VEDENÍ MEZI ÚSEKOVÝMI ODPÍNAČI 144-634-735.....	50
TAB. 10 DÉLKY TRAS VENKOVNÍCH A KABELOVÝCH VEDENÍ MEZI ÚSEKOVÝMI ODPÍNAČI 636-756.....	51
TAB. 11 DÉLKY TRAS VENKOVNÍCH A KABELOVÝCH VEDENÍ MEZI ÚSEKOVÝMI ODPÍNAČI 776-654-655.....	52
TAB. 12 CELKOVÁ SOUHRNNÁ DOBA PRO VÝVOD OLŠINA.....	54
TAB. 13 ČINITEL SAIDI PO PŘEPOČTU NA 1 OM A NA JEDEN ROK PRO VÝVOD PLANÁ .....	54
TAB. 14 DÉLKY TRAS VENKOVNÍCH A KABELOVÝCH VEDENÍ MEZI ÚSEKOVÝMI ODPÍNAČI 145-642-644.....	55
TAB. 15 DÉLKY TRAS VENKOVNÍCH A KABELOVÝCH VEDENÍ MEZI ÚSEKOVÝMI ODPÍNAČI 651-652-965.....	56
TAB. 16 DÉLKY TRAS VENKOVNÍCH A KABELOVÝCH VEDENÍ MEZI ÚSEKOVÝMI ODPÍNAČI 647-648-658.....	56
TAB. 17 SOUHRNNÉ ZHODNOCENÍ SAIDI PŘED A PO KABELIZACI .....	1

## Úvod

V dnešních dobách se klade čím dál tím větší důraz na kvalitu a nepřetržitost dodávky elektrické energie. Dodavatelé jsou pak buďto penalizováni, nebo například ohodnoceni ve formě bonusů, za jejich dodávanou energii. Proto se hledají různá technologická řešení, která by tyto parametry zlepšovala. Může jít například o použití recloserů, indikátorů poruch, lepší a důkladnější plánování dlouhodobých odstávek elektrické energie, nebo lze kabelizovat lesní průseky, kde může často dojít k poruchám na venkovním vedení.

Cílem této práce v teoretické části je popsat stávající stav sítí VN, analyzovat výhody a nevýhody kabelových a venkovních vedení, dále pak identifikovat rizika spojená s přechodem z venkovního do kabelového vedení. Praktická část se pak zabývá návrhem modelových příkladů postupného provedení kabelizace venkovních sítí na hladině VN, kde je nutné posoudit vliv kabelizace na ukazatele nepřetržitosti dodávky a v poslední řadě navrhnout možná technickoekonomická řešení.

V teoretické části jsou podrobně popsány distribuční sítě VN, včetně nejvýznamnějších distribučních společností. Poté je popsáno venkovní vedení a to z hlediska provozu, technického řešení a v poslední řadě z hlediska spínacích a odpojovacích prvků, včetně ochrany. Následuje popis kabelových vedení, kde jsou popsány technická řešení, provozování sítí a ochrany. Samotnou kapitolou jsou popsána rizika spojená s kabelizací. Zde je zaměřeno na nevýhody kabelizace a její postupný vývoj. Samotnou kapitolou je kvalita dodávané energie, kde se nachází popis vyhodnocování ukazatelů nepřetržitosti dodávky elektrické energie.

Praktická část se nejdříve zabývá krátkým úvodem do problematiky kabelizace lesních průseků, kde je vysvětlen zjednodušený postup této praktické části. Na popis výběru vhodných vývodů navazuje kapitola věnovaná konkrétnímu výpočtu ukazatelů nepřetržitosti dodávky. Následuje stručný úvod ke kabelizaci lesních průseků a jejich ekonomickému vyhodnocení. V posledních dvou odstavcích jsou popsány jednotlivé problémové úseky.

# 1 Distribuční sítě VN v České republice

V České republice můžeme charakterizovat sítě VN jako distribuční sítě, které využívají vysoké napětí v rozmezí od 1 kV do 50 kV. Hlavním úkolem je rozvod elektrické energie z přenosové sítě ke spotřebiteli. Jsou napájeny z přenosových sítí prostřednictvím nadřazených transformoven. Z těchto transformoven je vyvedeno vedení VN mezi centra odběrů což jsou města, obce, průmyslové lokality, apod. Oproti přenosovým sítím jsou tyto sítě kratších, hustších rozsahů s nejčastějším provozováním jako paprskové. Nejčastěji je využíváno napěťové hladiny 22 kV. Dále jsou provozovány sítě 35 kV a výjimečně sítě 10 kV. Pro elektrárenské, průmyslové nebo důlní rozvody se využívá sítí 6 a 10kV. Sítě VN se dají rozdělit podle způsobu uzemnění nulového bodu transformátoru. Rozlišujeme sítě s izolovaným nulovým bodem a nepřímo uzemněným nulovým bodem přes tlumivku nebo v případě kabelového vedení přes odpor. Nejčastěji se používá síť s nepřímo uzemněným nulovým bodem přes tlumivku, která dovoluje provoz sítě bez přerušení dodávky elektrické energie. Porucha v těchto sítích se nazývá zemní spojení.

## 1.1 Nejvýznamnější distribuční společnosti

Mezi největší distribuční společnosti patří ČEZ Distribuce a E.ON Distribuce. ČEZ Distribuce zajišťuje dodávku elektřiny po celé České republice, vyjma jižních Čech a Moravy, kde zajišťuje dodávku E.ON Distribuce a Prahy, kde se nachází PRE Distribuce.



Obr. 1 Rozdělení České republiky mezi distribuční společnosti [23]

### 1.1.1 E.ON Distribuce

EON má v provozu distribuční síť převážně na jihu České republiky, na napěťových hladinách 110kV (VVN), 22kV (VN) a 0,4 kV (NN), jejichž napájení obstarává převážně přenosová soustava firmy ČEPS, a.s. prostřednictvím nadřazených transformátorů 400/220/110kV. Zbytek distribuční sítě je napájen z výroben nezávislých výrobců, což mohou být závodní elektrárny a ostatní lokální zdroje. O transformaci z velmi vysokého napětí z přenosové soustavy se stará celkem 8 transformačních stanic, s celkovým zdánlivým výkonem 5 650GVA, přičemž se nejvíce využívá transformace 400kV/110kV. Distribuční síť VN, které jsou napájené z distribučních transformátorů 110/22kV, jsou provozovány téměř výhradně paprskově. Pouze v pár výjimečných případech, které jsou z důvodu zvýšení spolehlivosti, popř. pro zlepšení napěťových poměrů, je síť provozována paralelně. Celková délka VN vedení je 21 991 km, z čehož je 3900 km řešena pomocí kabelových vedení a zbytek, 18 091 km, je řešen pomocí venkovního vedení. O transformaci VVN/VN se stará celkem 88 transformoven s celkovým počtem 170 transformátorů. Rozvodny VN (22kV) jsou bez výjimky vnitřního provedení. Pokud byly budované v druhé polovině minulého století, byly budovány jako tzv. kobkové. V případě dožití takovýchto rozvodny je pak samostatně posuzováno, jestli u nich bude provedena modernizace ve stávajícím provedení, anebo se přistoupí k rekonstrukci v podobě zapouzdřených modulových rozvaděčů 22 kV s plynou izolací SF<sub>6</sub>. Mezi hlavní výhody tohoto provedení patří minimalizace rozvodny 22 kV, bezúdržbové řešení a maximální zvýšení bezpečnosti. Zvláště zvýšení bezpečnosti většinou bývá důvodem pro rekonstrukci rozvodny v tomto provedení.

Distribuční území je pro správu tohoto zařízení rozděleno do 11 územních celků, tzv. regionálních správ. Z těchto regionálních správ mají na starosti údržbu, obnovu a rozvoj tohoto zařízení. S její činností jim pomáhá síťový management rozvoje a technického plánování.

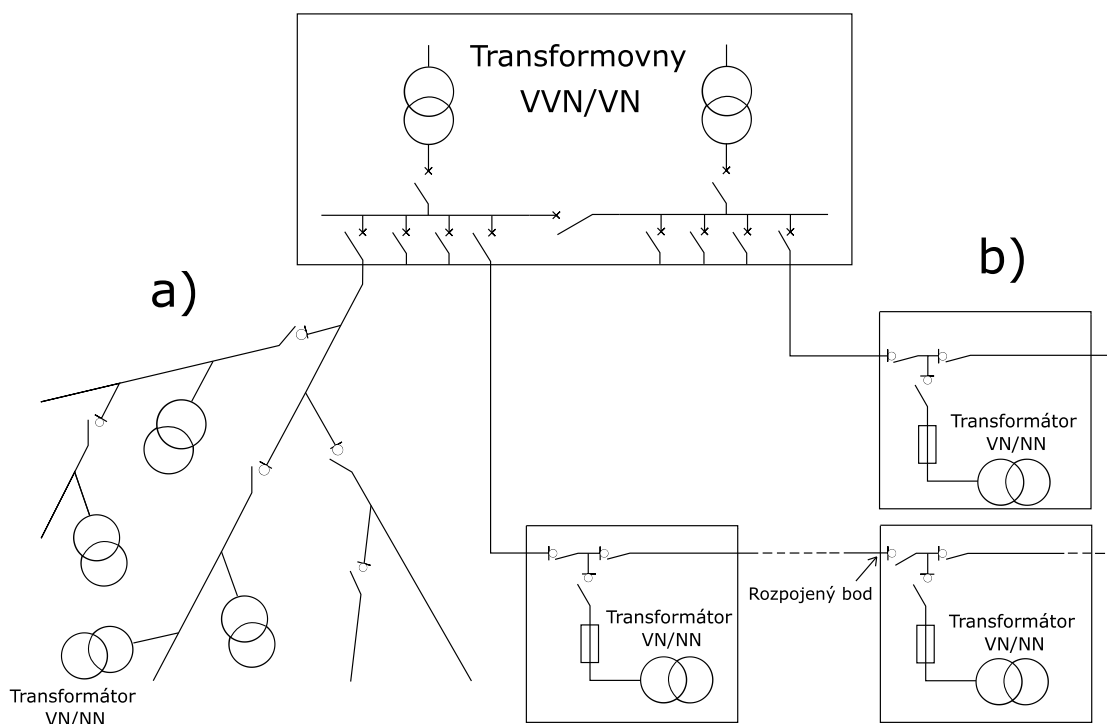
### 1.1.2 ČEZ Distribuce

Stejně jako v případě E.ON Distribuce je její distribuční síť napájena z přenosové soustavy firmy ČEPS, a.s. Tato firma zásobuje elektrickou energií území o rozloze 52 tisíc kilometrů čtverečních s 14 735 odběrnými místy VN. Tato zásoba elektřinou je realizována celkovým počtem 50 658km vedení VN, z čehož 10 469km tvoří kabelová vedení a zbylých 40 189km tvoří venkovní vedení. Dále se na distribučním území nachází 45 724 transformačních stanic, včetně 239 rozvodny. Co se týče provozování těchto sítí,

tak ČEZ Distribuce provozuje sítě podobně jako EO.N, vyjma toho, že EO.N používá pro napájení jedné přípojnice jeden transformátor, ale v případě ČEZ Distribuce jsou pro napájení jedním transformátorem použity přípojnice dvě.

## 1.2 Venkovní vedení VN

Mezi základní prvky venkovního vedení VN patří podpěrné body včetně zemních částí, konzol a armatur, izolačních prvků a vodičů. Mezi tyto prvky spadají i rozpojovací prvky, ochranná zařízení, apod. Venkovní vedení vytváří základní síť rozvodu distributora elektrické energie mezi jednotlivými sídelními aglomeracemi, dále jako napáječe pro kabelové sítě, propojovací vedení mezi rozvodnami VVN/VN a nebo jako napájecí vedení pro jednotlivé distribuční a odběratelské trafostanice VN/NN. Používá se, kvůli nižší pořizovací ceně, na delší vzdálenosti, ale také do míst s nižší hustotou zastavění. Oproti kabelovému vedení má vyšší indukčnost a nižší kapacitu z čehož vyplývají vyšší ztráty vlivem vyšší reaktance. V porovnání s kabelovým vedením je poruchovější, přičemž poruchy mají spíše přechodný charakter. To je způsobené délkou venkovního vedení, trasou vedení (lesy, kopcovitý terén) a atmosférickými vlivy. Většina poruch je jednofázových, přičemž vyhledávání poruch je jednoduché a na první pohled většinou zřetelné. Používá se spíše na venkově a v nezastavěných oblastech. Můžeme je rozlišit z hlediska funkce daného vedení a to na okružní a paprskové.



Obr. 2 Distribuční sítě a) paprsková, b) okružní [21]

Okružní sítě jsou takové sítě, kde je možné venkovní vedení napájet z obou stran. Tím se umožní v případě poruchy na vedení umožnit záložní napájení připojených odboček z druhé strany. Podle účelu daného vedení je možné okružní vedení rozdělit na hlavní a propojovací. Hlavní kmenové vedení vychází ze zdroje pro napájení sítě VN, čímž bývá transformovna VVN/VN (110/22 kV) a končí ve zdroji napájení. Tato hlavní vedení mohou sloužit pro přechodný přenos náhradního výkonu v případě nějaké odstávky transformovny VVN/VN. Propojovací vedení je takový úsek vedení, jehož začátek i konec je vytvořen odbočením z hlavního vedení. Rozdíl mezi těmito dvěma druhy je v dimenzování vodičů. Propojka se totiž nenavrhuje pro záložní napájení hlavního vedení, takže může být menšího průřezu.

Paprsková síť je provedena z hlavního, nebo propojovacího vedení, které dále směřuje k transformačním stanicím a není v síti dále nijak propojené. V případě takového vedení není možné zajistit náhradní napájení při jeho poruše. Z hlediska účelu je možno paprsková vedení dále dělit na odbočky a přípojky.

Tato vedení jsou provozovány jako jednoduché, dvojité, nebo v případě potřeby vícenásobné na společných podpěrných bodech. Pro venkovní vedení se používají vodiče holé, nebo jednoduché izolované vodiče. V některých případech jsou provedené venkovní vedení pomocí kabelů VN a to v provedení jako slané jednožilové kabely s nosným lankem, nebo samonosný třížilový kabel VN. Pro hlavní kmenové linky a propojovací vedení jsou používány vodiče typu 110/22 AlFe, na odbočky pak 70/11-1 AlFe a na přípojky k trafostanicím 42/7 AlFe.

V současné době se nejčastěji jako opěrné body používají betonové sloupy s osazenými konzolami typu „Pařát“, nebo obdobné konstrukce, která respektuje požadavek na ochranu ptactva konzole typu "DELTA Variant". V ojedinělých případech se v takřka nepřístupných oblastech používají dřevěné podpěrné body, a to z důvodu lehčí manipulace. Používají se také příhradové stožáry. Ty jsou tvořeny ze svařované ocelové konstrukce s žárovým pozinkováním. Ty se používají tam, kde je potřeba vyšší výšky podpěrných bodů, např. pro překlenutí rokle, a z důvodu vyšších vrcholových tahů jako kotevní body nebo rohové body při výraznějších změnách trasy vedení. Dále se také používají v případech dvojitého vedení VN.



### 1.2.1 Spínací a odpojovací prvky venkovního vedení

Na vhodná místa v sítích jsou umísťovány na podpěrné body spínací či odpojovací prvky. Jejich účelem je spínání a odpojování přenosových cest. Dělit je můžeme na vypínače, schopné spínat zkratové proudy, odpínače schopné spínat jmenovité proudy a odpojovače, které jsou schopny spínat pouze proud naprázdno maximálního výkonu distribučního transformátoru (630kVA). Na hlavní a propojovací vedení budou rozpojovací prvky umísťovány v závislosti na místních a provozních podmínkách, po 5 - 8 km vedení. Popřípadě se dají tyto prvky osadit na místech, která jsou důležitá z hlediska řízení sítě nebo pro nutnost vymezení úseky s velkou pravděpodobností poruchy, čímž by se snížila nepřetržitost dodávky. Typ použitého přístroje se volí podle četnosti manipulace, významu pozice v síti a velikosti spínaného proudu. V propojovacích vedeních se umísťuje spínač na začátek i na konec propojky. Odbočky musí být odpojitelné od hlavního vedení, přičemž rozpojovací prvek bude zpravidla umístěn na první podpěrný bod odbočky.

Způsob nasazování dálkově ovládaného a automatického spínače a vypínače je dán potřebami dispečerského řízení sítě a potřebami automatického vymezení poruchového místa ve vedení, které zabrání dlouhodobým výpadkům. Tím se zamezí přerušení elektrické energie v sítích bez poruchy a důležitých odběrů. Při volbě umístění a typu těchto prvků je potřeba brát v úvahu potřebu okamžitého zjištění elektrických veličin, která určitá zařízení umožňují.

Můžeme rozlišit spínače na dálkově ovládané, inteligentní venkovní a reclosery.

Dálkově ovládaný spínač je zařízení schopné dálkového spínání jmenovitého proudu, s možností signalizace a automatizace, včetně měření některých ze zadaných údajů. Nasazuje se obecně na hlavní kmenové vedení a také za již instalovaným dálkově ovládaným vypínačem, kde dělí kmenové vedení na více úseků. Dále se může osadit na začátku odbočky, kde slouží k oddělení poruchy, přičemž odběratelé budou napojeni z jiných odboček či kmenového vedení a nebudou nijak omezeni.

Inteligentní venkovní spínač je prvek, který má možnost automatického odpojení poruch v beznapěťové pauze, po neúspěšném opětovném zapnutí. Nasazuje se za instalovaný recloser na odbočky s nižším počtem poruch, nebo na přechodu venkovního vedení a kabelu pro napájení části městských sítí a na dlouhé odbočky za instalovaným dálkově ovládaným spínačem, kde dokáže oddělit problémovou část, která způsobuje časté výpadky. Tento typ spínače má vyšší ekonomickou návratnost oproti dálkově ovládanému spínači.

Recloser je schopný opakovaného vypnutí a spínání zkratových proudů s možností signalizace a automatizovaného chodu. Osazují se na hlavní kmenová vedení, kde jeho hlavní přínos spočívá v automatickém provozu, který vede ke snížení omezení odběratelů v částech sítí před recloserem. Poruchy za místem jeho instalace jsou likvidovány bez činnosti vypínače na začátku vedení. Při použití na začátku dlouhých odboček jsou odběratelé připojeni z jiných odboček a odběratelé kmenového vedení nejsou nijak zatíženi vypínáním v poruchových stavech na odbočce. Jsou omezeni pouze odběratelé na dané odbočce při působení vícenásobného opětovného zapnutí. V případě osazení na odbočku, která způsobuje časté poruchy, nedojde k omezení dodávky v neporušených částech sítě. Dá se osadit i na přechod z kabelového vedení na venkovní, kde zajistí obvyklou činnost s opětovným zapnutím při poruchách na venkovních částech vývodu, kdy neomezí odběratele kabelové části. Další varianta může být v místě, kde je možné automatické připojení k záložnímu vedení, kdy při ztrátě napětí jednoho z přívodů se automaticky přepojí odběratele na druhý přívod.

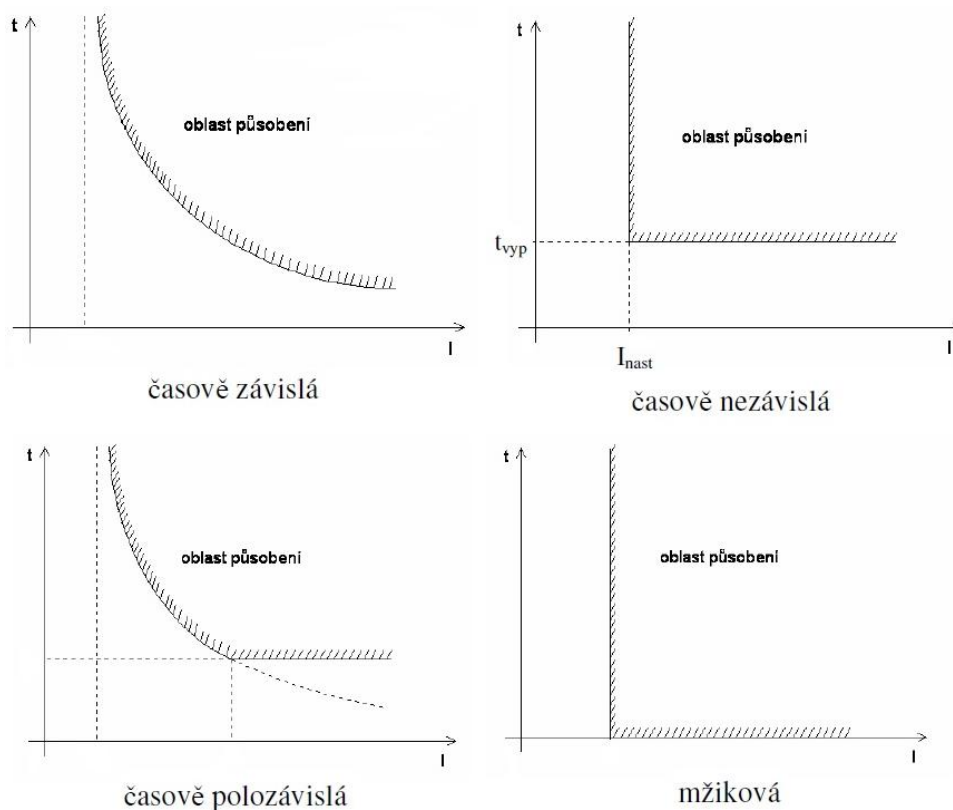
Pro připojení kabelových svodů do paprskové kabelové sítě pro max. 5 kabelových trafostanic se umísťuje spínač přímo na podpěrný bod s kabelovým svodem. V těchto případech není přípustné použití jednopólových odpojovačů. Nejčastěji se používá bezkomorový třípólový odpínač.

## **1.2.2 Ochranné prvky venkovního vedení**

Bezpečný a spolehlivý provoz venkovního vedení je zajištěn pomocí různých ochran, které mohou být nadproudové, přepět'ové, zemní, distanční nebo řešené automatikou opětovného zapnutí.

### **1.2.2.1 Nadproudová ochrana**

Nejjednodušší ochranou používanou na venkovním vedení je ochrana nadproudová. Tato ochrana reaguje na zvýšenou hodnotu protékajícího proudu, která může vzniknout kvůli přetížení, nebo vzniku zkratu. Každá nadproudová ochrana může zareagovat podle různé rychlosti působení. S jakou rychlostí vybaví, určuje charakteristika působení. Rozeznáváme závislou, polozávislou, nezávislou nebo mžikovou.



Obr. 3 Vypínací charakteristiky nadproudových ochran [1]

Každá z výše uvedených ochran reaguje podle různé rychlosti působení a na různé hodnoty proudu. Oproti distančním a rozdílovým ochranám nejsou tak selektivní, proto se tato ochrana používá jako záložní, pro případ, že by nevybavila hlavní ochrana nebo u vedení s nižší prioritou.

### 1.2.2.2 Automatika OZ

Abychom nemuseli vypínat celou linku venkovního vedení kvůli přechodné poruše, která odezní ihned po jejím vzniku (např. atmosférické přepětí), instalujeme zde ochranu opětovného zapnutí. Tzv. "Automatika OZ" se na hladině VN používá třípólová, což znamená vypínání všech tří fází současně. Tato ochrana rozeznává přechodné, semipermanentní a trvalé zkraty. Přechodný zkrat může být způsobený např. úderem blesku do vedení, přičemž ochrana zareaguje a vypne danou linku. Jelikož se v beznapěťové pauze obnoví izolační pevnost vzduchu a porucha dále nepřetrvává, tak automatika linku opět zapne. Abychom umožnili zánik ionizované dráhy oblouku, musíme nastavit dostatečně dlouhou beznapěťovou pauzu. Ta je závislá na době vypnutí zkratu, většinou se volí 0,2 až 0,3 sekundy. V horším případě může být porucha časově delší oproti přechodnému zkratu, kterou může způsobit např. pád větví do vedení. V tomto případě po prvním vypnutí linky porucha přetrvává, což znamená, že automatika opět

po beznapěťové pauze zapne i s poruchou. Přetrvává-li poruchový stav, linka je opět vypnuta. V tomto případě se beznapěťová pauza volí delší než v prvním případě (řádově jednotky sekund). Automatika se pokusí znovu zapnout linku a v případě, že porucha byla odstraněna (např. spálení větve) ponechá linku v zapnutém stavu. Existuje i tzv. "dopínání", což znamená opětovně zapnout vedení po delší době (30s až 3 minuty). V případě, že porucha bude i po pár pokusech odolávat, je nutné danou linku odpojit. Opětovné zapnutí provádí naprogramovaná automatika, která pracuje ve spolupráci s ostatními ochranami a vypínači s krátkou dobou vypínání. Výhodou této ochrany je bezesporu zkrácení doby výpadku dodávané energie.

### 1.2.2.3 Ochrany proti přepětí

Venkovní vedení je neustále vystavováno atmosférickým vlivům, které mohou způsobit, atmosférické přepětí, což může zapříčinit výpadek dodávky elektrické energie. Toto přepětí má vliv na zhoršení kvality dodávané energie, včetně zničení, nebo zkrácení životnosti elektrického zařízení. Ochrana proti atmosférickému přepětí spočívá v umístění ochranných prvků do vedení. Ty se skládají z hrotových jiskřišť, bleskojistek a omezovačů přepětí včetně nebo bez jiskřiště. Hrotová jiskřiště jsou nejjednodušší přepěťovou ochranou. Je navrženo tak, aby při strmém zvýšení napětí na přeskokovou hodnotu došlo k vytvoření oblouku mezi kontakty, čímž se svede přepětí do země. Nevýhodou je absence zhašecího mechanismu, které uhasí vzniklý oblouk. Tento oblouk musí být vypnut příslušnou ochranou na vývodu. Bleskojistka je ve skutečnosti složena z několika sériových jiskřišť, ke kterým jsou připojeny paralelně bloky s nelineárními odpory z karbidu křemíku (SiC). Princip je totožný s hrotovým jiskřištěm, ale je bleskojistka má tu výhodu, že umí při průchodu nulou uhasit elektrický oblouk. Pokud by se nepodařilo uhasit oblouk, pak bleskojistka může explodovat. Dnes se bleskojistky nahrazují omezovači přepětí. Dnešní omezovače přepětí je složen z různých bloků nelineárních odporů z oxidu zinečnatého (ZnO), který má nelineární V-A charakteristiku. Jeho výhodou je okamžitá reakce na přepěťovou vlnu. K tomuto omezovači lze přidat jiskřiště, které zabrání tomu, aby při provozním napětí protékal svodový proud tímto omezovačem, čímž se sníží namáhání dočasným přepětím. Tyto ochrany přímo působí na vzniklé přepětí. Pak také existují podpurná ochranná opatření, kterými mohou být výběhová lana, nebo uzemnění podpěrných bodů. Ochrana proti přepětí se liší v použitém typu venkovního vedení. Holé vodiče se proti přepětí nechrání žádným zvláštním ochranným prvkem, pouze v lokalitách se zvýšenou bouřkovou činností se používá omezovač přepětí. V případě

přímého úderu blesku do vodiče, nebo uzemněných kovových konstrukcí je přepětí sníženo přeskokem k zemi a tím je omezen rozsah šíření přepětíové vlny po vedení. Podpěrné ochranné opatření spočívá v použití výběhových zemních lan, která se používají u vývodů z rozveden, v délce 600 – 1000 m. Takto se chrání pouze vývody z rozveden, které mají vyšší důležitost. V případě vodičů s jednoduchou izolací se atmosférickým přepětím poškodí izolace a toto místo se nadále může stát zdrojem poruch. Proto je nutné nasazení ochranných prvků do těchto vedení, především v místech, kde se vyžaduje zvýšená bezpečnost vedení. To mohou být místa se zvýšenou možností výskytu atmosférického přepětí, dále pak začátek a konec vedení s izolovanými vodiči. Pro ochranu izolovaných vodičů se majoritně používají hrotová jiskřiště. Tyto jiskřiště se osazují u podpěrných izolátorů, kde jeden hrot je připojen na propichovací svorce na vodiči a druhý na samostatné konstrukci, uchycené na příslušné konzole, v dostatečné vzdálenosti od podpěrného izolátoru. Dále se může použít omezovač přepětí. Díky vyšší ceně se pro přímou ochranu jednoduchých izolovaných vodičů používají jen v ojedinělých případech.

Kabelové vedení se na přechodu z venkovního vedení vždy chrání omezovačem přepětí se jmenovitým výbojovým proudem 10 kA. Výjimkou mohou být krátké vložené kabelové úseky, které spojují venkovní vedení, kde se bude chránit pouze jeden konec kabelu. Omezovače přepětí se umísťují na podpěrném bodu přímo na kabelové koncovce, kde budou zároveň ukončeny vodiče venkovního vedení. Omezovačem přepětí se jmenovitým výbojovým proudem 10 kA se chrání i zařízení, které mohou být poškozeny při atmosférickém přepětí na venkovním vedení. Abychom ochránili dálkově ovládané odpínače a vypínače, tak se musí umístit omezovač přepětí do fází, kde jsou z obou stran připojeny přístrojové transformátory napětí a proudu.

#### **1.2.2.4 Ochrana zemního spojení**

Další ochranou používanou na sítích venkovního vedení je ochrana při zemním spojení. Síť VN jsou provozovány jako síť s izolovaným uzlem. V případě poruchy dojde k zemnímu spojení, což je poruchový stav, při kterém do místa poruchy protékají kapacitní proudy. Poruchový proud se uzavírá přes kapacity zdravých fází proti zemi. Oproti zkratovému proudu, který má induktivní charakter, má tento poruchový proud charakter kapacitní, což má za následek obtížnějšího zhášení oblouku, jelikož při rozpojení obvodu vzroste napětí poškozené fáze, což může způsobit opětovný zápal elektrického oblouku. K detekci zemního spojení můžeme využít řadu doprovodných jevů této poruchy. Napětí

poruchové fáze klesne na nulu a napětí uzlu proti zemi vzroste na fázovou hodnotu. To má za následek i zvýšené napětí na zdravých fázích. Dojde i ke vzniku nulové složky proudu, který je roven jedné třetině poruchového proudu, který teče místem poruchy. K detekci zemního spojení tak můžeme využít součtový transformátorů proudu, napěťové relé působící na nulovou složku napětí (bez informace na kterém vedení), nebo relé jalové u nekompensovaných sítí či Wattové relé u sítí kompenzovaných.

### 1.3 Kabelová vedení VN

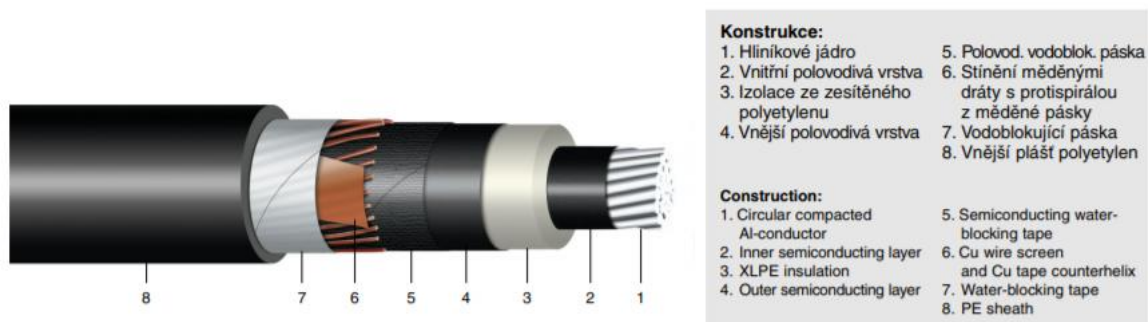
Kabelové vedení je soustava dvou a více izolovaných vodičů elektrické energie, které mají společný plášť. Používají se především v městských zástavbách. Jako další možná instalace je náhrada venkovního vedení ve složitých terénech, kde dochází k častým přerušením dodávky elektrické energie, například v lesních úsecích apod. Kabely v porovnání s venkovním vedením mají nižší induktivní reaktanci, přičemž kapacitní susceptance je až 30x vyšší. Z hlediska úbytku napětí a jalových ztrát jsou nižší u kabelových vedení. Celkově je méně poruchové, ale poruchy jsou trvalé, které ve většině případů přecházejí do vícefázového charakteru. Pořizovací náklady kabelů jsou oproti venkovnímu vedení podstatně vyšší, nicméně nejsou tolik vystavena různému druhu namáhání a už vůbec ne povětrnostním vlivům. Nicméně provozní náklady po dobu životnosti jsou u kabelového vedení oproti venkovnímu vedení nižší.

Použití kabelových vedení zvyšuje spolehlivost provozu sítí, čímž přispívá ke snížení přerušení dodávky vlivem poruchy. Své využití nachází kabelová vedení majoritně v městské zástavbě a kvůli stavebnímu zákonu dokonce předepsána v nově vznikajících aglomeracích a při rekonstrukcích stávajících sítí v intravilánu.

Životnost kabelového vedení je dána především životností dané izolace, kterou může ovlivnit např. různé manipulace v sítích, provozní přepětí a také vyšší zatížení sítě. Z ekonomického hlediska je sice kabelizace dražší, ale, bereme-li v potaz, že dlouhodobé poruchy způsobené pádem stromů na venkovní vedení v komplikovaných oblastech, způsobilo za posledních 15 let až 12 kalamitních přerušení dodávky, které byly delší než 12 hodin, jeví se vložení kabelových úseků v těchto lokalitách jako přijatelné provozní i ekonomické riziko. Rizikem těchto vložených kabelových úseků jsou stále častěji objevující se poruchy spojené se zvýšeným nebezpečím průniku atmosférických přepětí do kabelů a následného průrazu kabelové izolace. Nejvíce ohrožujícím faktorem je přepětí vlna vyvolaná přímým úderem blesku do fázového vodiče na venkovním vedení. Nebezpečí průrazu izolace, které způsobí atmosférické přepětí je největší

ve vzdálenosti do dvou kilometrů od místa úderu blesku. Nejnebezpečnější je přímý úder do přechodových stožárů, kde jsou kabely připojeny k venkovnímu vedení.

Vodiče mohou být spletené z několika drátů menšího průřezu (pro větší pružnost), nebo mohou být z jednoho plného vodiče. Dále je můžeme rozdělit podle profilu vodičových jader, které mohou být kruhová, sektorová nebo speciálních tvarů. Izolace je z polyvinylchloridu (PVC), síťového polyetylenu (XE), pryže (pohyblivé uložení), nebo speciální izolace (nehořlavé, bezhalogenové apod.). Kabely se mohou doplnit o doplňkové vrstvy, kterými může být stínění, vodoblokující vrstva, nebo doplňková izolace. Nejvíce se používají průřezy 70, 120, 150, 185 a 240 mm<sup>2</sup>, jejichž materiálem je z většiny případů hliník. V případě náhrady měděného jádra za hliníkové dosáhneme při stejném odporu průřez hliníku o 64% větší, přičemž hmotnost také vzroste o 50%. Dnes se používají kabely v distribučních sítích jednožilové kabely, které mají izolaci ze zesítěného polyetylenu (ozn. XLPE). Nejčastěji používaným kabelem pro standardní pokládku je kabel typu AXEKVCE o průřezu 70, 120 a 240 mm<sup>2</sup>. Zhruba od roku 2007 začal E.ON používat obdobný kabel typu NA2XS(F)2Y o průřezu 150 a 240 mm<sup>2</sup>. Oba kabely jsou stejné konstrukce. Kabely se však z požárního hlediska nesmí pokládat do kolektorů a do kabelových prostorů v budovách. V takovýchto případech se pro zaústění delších kabelových částí používá vedení typu AXEKVCEY (vrchní plášť je z PVC), nebo AXEKVCE-R (PE plášť s oheň retardujícími přísadami).



Obr. 4 Řez kabelem AXEKVCE [19]

Dnes je možné se ještě setkat s historickými třížilovými kabely s papírovou, olejovou izolací. Samostatnou kategorií kabelových vedení jsou kabelové svody. Jde o část kabelového vedení, které se napojuje na venkovní vedení umístěné nad zemí a je svedené po podpěrném bodu do země. Kabelová vedení daného svodu bude mít vždy konfiguraci vodičů do trojúhelníka a po celé své délce bude uchycena do vhodných kabelových přichytek. Pro svod se používají stejné typy kabelů jako v případě zemního vedení. Do zemního místa vniku bude svod ochráněn mechanickou ochranou v rozmezí 2,5m

nad terénem až do 0,5m pod terén. Použitá ochrana musí být odolná proti korozi. Bližší detaily o vybraných typech kabelů jsou uvedeny níže v tabulce 3.1.

Tab. 3.1 Přehledová tabulka kabelů

Typ kabelu	Jádro	Vnitřní izolace	Vnější izolace	Rozsah provozních teplot (°C)	Použití
AXEKVCEY	Hliník	XLPE	PE+PVC	-35 až +90	volné uložení ve vzduchu, do země, tvárnic, trubek z nemagnetického materiálu
AXEKVCE	Hliník	XLPE	PE	-35 až +90	volné uložení ve vzduchu, do země, tvárnic, trubek z nemagnetického materiálu
AXEKVCE-R	Hliník	XLPE	HFFR	-35 až +90	Obyčejné či vlhké prostředí, pro použití na hořlavých podkladech a do prostor s nebezpečí požáru, vhodný do míst s vysokou koncentrací lidí, nebo k ochraně technického vybavení budov v případě požáru
NA2XS(F)2Y	Hliník	XLPE	PE	-20 až +90	Elektrárny, kabelové kanály, do země

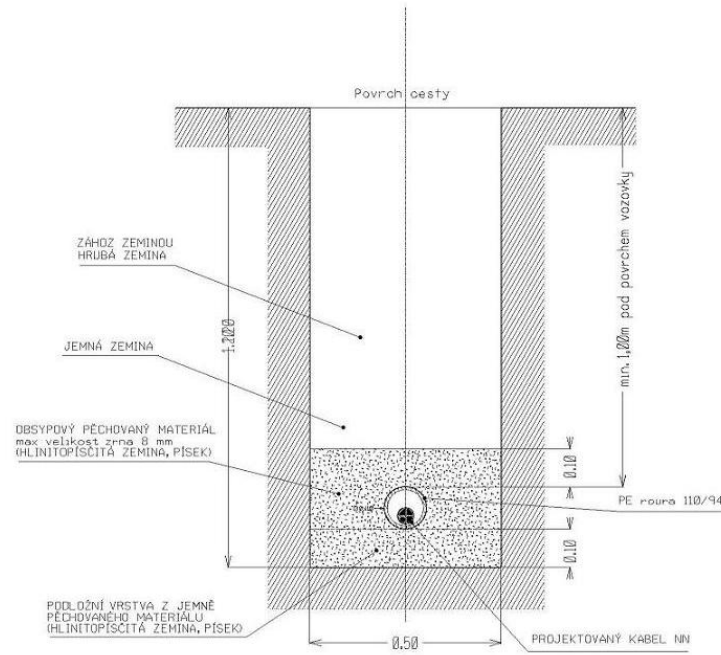
Pozn.: XLPE - Izolace jádra je ze zesítěného polyetylenu

HEPR - Izolace jádra je z vysoce ethylen-propylenového kaučuku

HFFR - Bezhalogenový plamen nešířící kabel

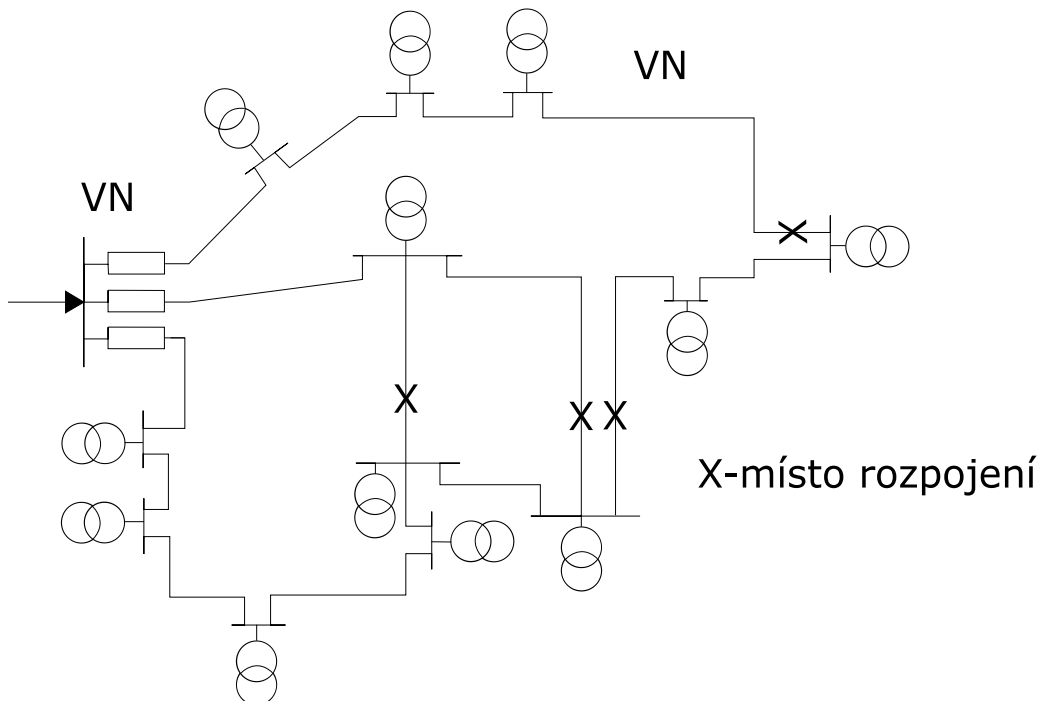
Uložení kabelu bývá do země, kabelových kanálů, mostů, šachet, konstrukčních lávek, na nosném laně, nebo v kolektorech. Pokládka do země je prováděna do již připravených výkopů. Kabelové vedení se ve výkopu pokládá do pískové lóže, na které se dále pokládá výstražná fólie, která slouží jako výstraha proti poškození kabelu při budoucích zemních pracích. Pro kabely VN je předepsáno minimální krytí 100 cm dle normy ČSN 736005. Pro přechody pod vozovkou, či jinou obtížnou překážkou, je nutné kabel vložit do mechanických chrániček. Může dojít i ke změně výšky uložení kabelu.





Obr. 5 Řez kabelovým výkopem [20]

Kabelová vedení VN jsou navrhována jako kruhová. Trafostanice v takovýchto sítích jsou připojeny tzv. zasmyčkováním průběžného kabelu, to znamená dvěma přívody. Tyto kruhy jsou rozpojeny, ovšem provozují se s možností napájení z druhé strany v případě poruchy.

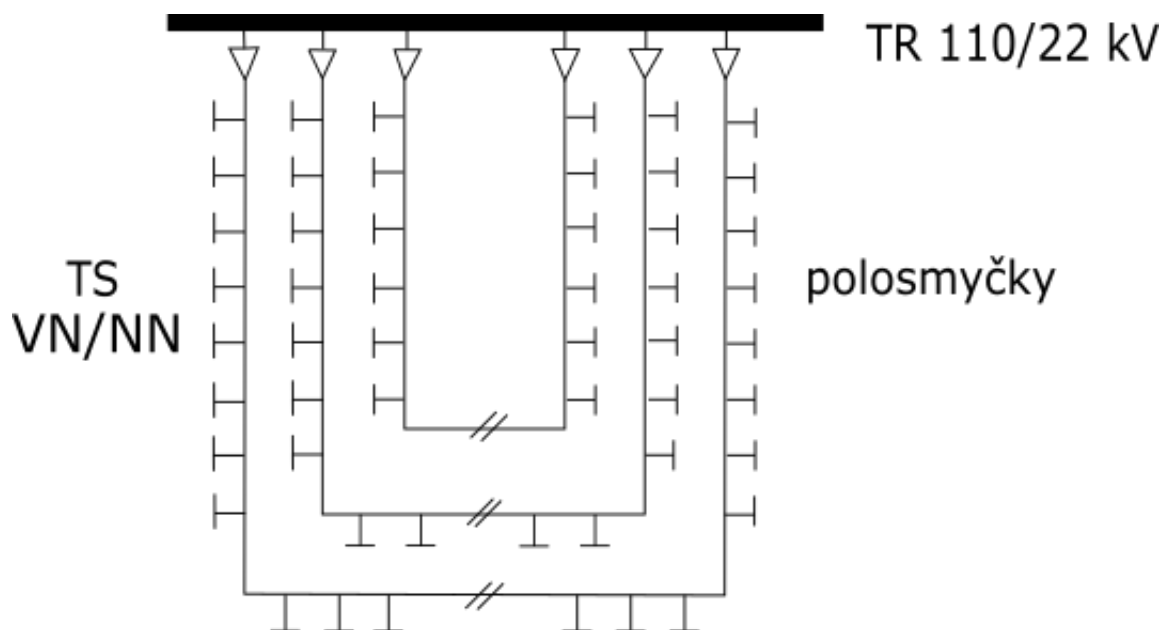


Obr. 6 Okružní kabelové vedení [32]

Rozlišujeme tři základní varianty budování kabelových sítí. Mezi ně patří síť paprskové, smyčková s jedním napáječem a smyčková s více napáječi.

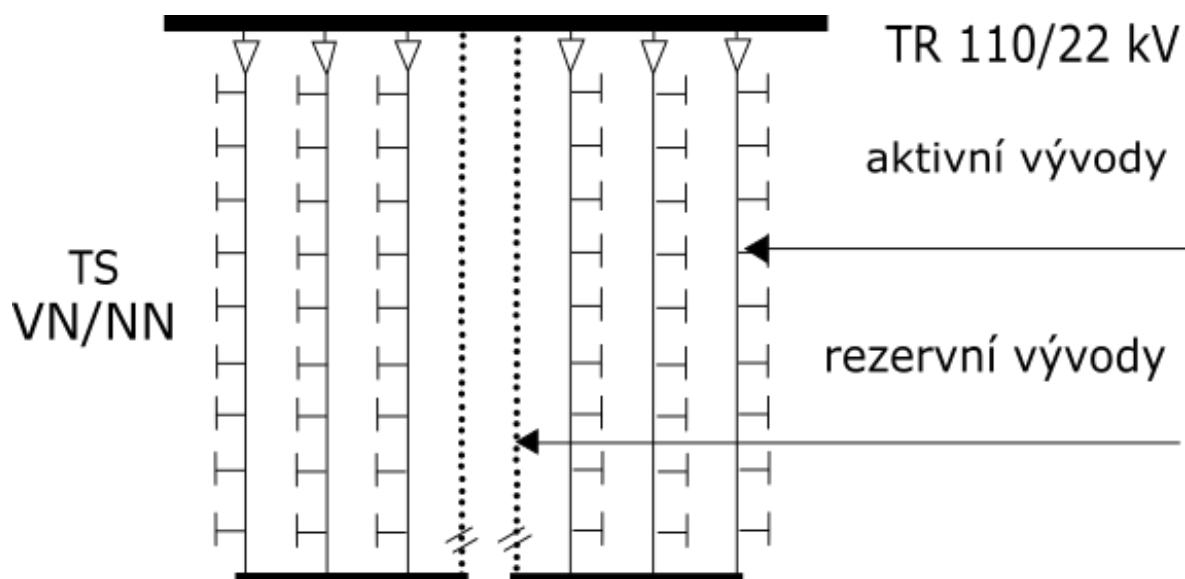
Paprsková síť vychází z vedení jednoho paprsku z napájecího místa, čímž může být rozvodna VN či spínací stanice a zásobuje maximálně dvě distribuční trafostanice. Není možné ji vzájemně propojit s jiným kabelovým vedením (paprskem). Její použití se uplatňuje v oblastech s běžnými nároky na spolehlivost. V případě, že nastane porucha na distribučním vedení VN nebo distribuční trafostanici, tak dojde k přerušení dodávky elektrické energie po dobu nutnou k zajištění náhradního napájení v celém paprsku.

Smyčková (okružní) síť s jedním napáječem je tvořena jedním rozvodným vedením, které je navrženo jako jedno okružní vedení, které může napájet maximálně 14 distribučních trafostanic. Vývod je řešen z jedné rozvodny VN a přitom je zaústěné do jedné až dvou spínacích stanic nebo do výchozí, nebo další rozvodny. Vedení se dimenzuje na zatížení celé oblasti, kterou zásobuje. Obvykle se provozuje rozepnuté v určité části vedení. Případná porucha na vedení přeruší dodávky elektrické energie po dobu nutnou k vymanipulování poruchy a k zajištění náhradního napájení z druhé strany.



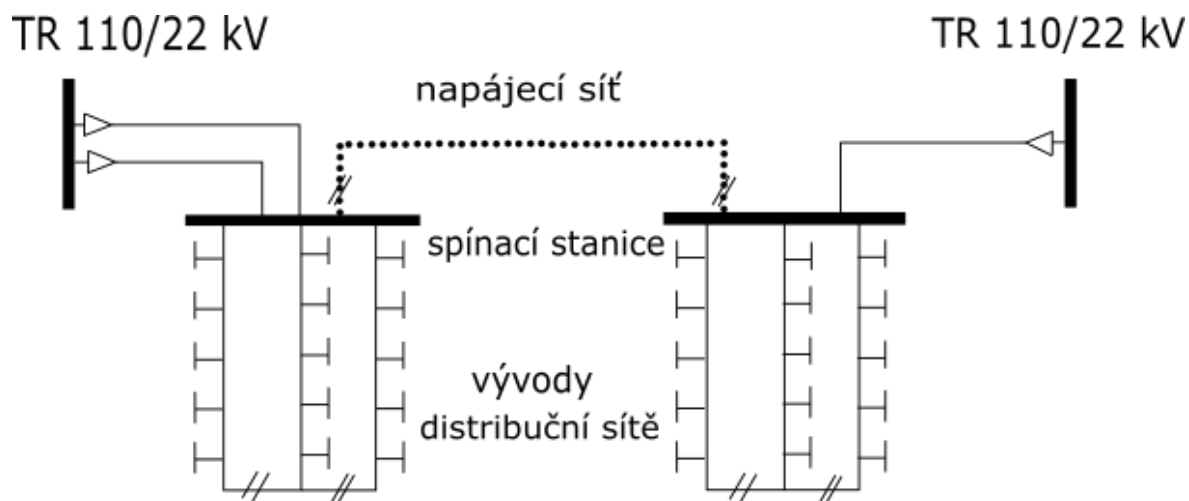
Obr. 7 Polosmyčková síť [12]

Dále je možné vybudovat síť se záložními kabely, která je vytvořena tak, že z transformátoru jsou vyvedeny skupiny vývodů, jejich jednotlivé zatížení je 100% a jsou zaústěné ve spínacích bodech společně s rezervními kabely, které v případě poruchy mohou převzít zatížení postižených vývodů.



Obr. 8 Síť se záložními kabely [12]

Smyčková síť s více napáječi obsahuje několik napájecích vedení, většinou bývají 2-4, které jsou zaústěné do jedné až dvou spínacích stanic nebo rozveden. Ty mohou být navzájem propojené s jinými stanicemi pomocí tzv. záložních spojů, které jsou obvykle během standardního provozu rozepnuté. Jednotlivé distribuční trafostanice se nasmyčkují na napájecí vedení, na které může být připojeno maximálně deset distribučních trafostanic na jedné větvi.



Obr. 9 Síť se spínacími stanicemi [12]

### 1.3.1 Ochrany kabelového vedení

V napájecí síti se kabelová vedení a veškerá zařízení jistí proti přetížení a dále proti mezifázovému či jednopólovému zkratu. Samotná ochrana se provádí za pomoci nadproudové nebo zkratové ochrany. Využívá se při chránění zařízení vstupní rozvodny před účinky blízkých zkratů. V současnosti používaný maximální čas zkratových ochran na vývodech z rozveden 22 kV v transformovnách 110/22 kV, který bývá v praxi

1 sekunda, nevyužívá plnou zkratovou odolnost prvků této sítě. Maximální čas je potřeba adaptovat skutečnosti, že velikost zkratového proudu v krátké vzdálenosti od transformátoru 40 či 63 MVA nepřesáhne 10 kA. Výrobci všech zařízení v napájecí síti udávají mezní sekundový oteplovací zkratový proud vyšší a to v rozmezí od 12 do 20 kA. Tomu odpovídá přípustná doba průtoku zkratového proudu od 1,5 do 4,0 sec. Pokud se přejde na delší časy u zdrojů, vznikají možnosti zajištění selektivní působnosti ochran ve více časových stupních, tedy i při zapojení více rozpojovacích stanic na jednom napájecím kabelu.

V mnoha případech, kdy se kabelové vedení ukládá někam, kde je riziko mechanického poškození, umísťují se kabely do mechanických ochran. Ta je řešena za pomoci různorodých trubek a chrániček. Tento typ ochrany spočívá především v ochraně izolace, která by v případě sebemenšího poškození mohla tuto izolaci degradovat, čímž by se snížila její elektrická pevnost a životnost.

V kabelových rozvodech jsou instalované i zemní ochrany. Provedení těchto ochran je závislé na způsobu zapojení neutrálního uzlu a využití tzv. „nulové“ složky napětí a proudu.

Ochrana na nulovou složku napětí běžně v rozvodech vysokého napětí nevystupuje samostatně. Buďto je umístěná v poli měření napětí, kde zálohuje ochrany na vývodech VN a ve zvláštních případech určí základní ochranu s působením na signalizaci. Má význam jako popudový element dalších ochran na vedeních.

Směrová ochrana na nulovou složku činného a jalového výkonu má charakteristiku závislou na popudovém proudu a fázovém úhlu mezi nulovými složkami napětí a proudu. Směrová ochrana by se neměla používat v kompenzované síti bez automatiky připnutí.

Ochrana na nulovou složku proudu se využívá na vedeních VN, které pracují s izolovaným uzlem. Hlídá podíl kapacitního proudu, zdali nepřekročí 30 až 40% velikosti zkratového proudu. V sítích, které jsou kompenzované bez nebo s automatikou připnutí, může být tato ochrana použita, v případě splnění požadavku citlivosti. U normálních podmínek to je možné jen u velmi krátkých vedení a při překompenzování sítě aspoň o 10 %.

Ochrana, hlídající nulový nesměrový svod, má určitý rozsah použití. Je vhodná pro síť VN, které jsou kompenzované s automatikou připínání SO. Nastavení této ochrany je závislé na druhu filtru nulové složky proudu, jejíž filtr nezávisí na parametrech vedení. Nereaguje na prohození svorek v obvodech s nulovými složkami. Je možné ji použít i v sítích s malým rozdílem kapacitních proudů. Použití kritéria směrového svodu, je velmi

omezené. Používá se u sítí, kde jsou dvě pole vlastní potřeby v místech napájení. Týká se to případu spolupráce dvou stanic napájených ze sítě VVN nebo elektráren přes vedení VN, obvykle je i v případě přepínání systémů.

Zemní ochrany směrové, admitanční, susceptanční a konduktanční, vyžadují blokaci působení pro napětí nulového napětí. To je nutné z důvodu napěťové nesymetrie reálné sítě, která je způsobena několika činiteli. Majoritně se projevuje v kompenzovaných sítích a je závislá na koeficientu rozladění kompenzace. Nejdůležitějším kritériem, které má důsledek na časové nastavení ochran, jsou předpisy pro ochranu před dotykem, ze kterých současně vyplývají povolená poruchová a dotyková napětí, která se mohou objevit po dobu zemních poruch na straně VN. Existuje vzájemný vztah mezi hodnotou zemního proudu a nastavením časového zpoždění ochrany před účinkem zemní poruchy.

## 2 Rizika spojená s kabelizací

Veřejné i technické vlivy na elektrizační soustavy nutí provozovatele sítí k patřičným opatřením, které by přinesli vyšší nabíjecí výkony. Jedním z těchto aspektů je kabelizace sítí VN. Kabelizace s sebou přináší mnohem vyšší kapacitu vedení, než najdeme u venkovních vedení. Tím pádem by měla patřičná kabelizace s sebou přinášet odpovídající kompenzaci, nebo v opačném případě dekompenzaci, která by se měla provést tak, aby byl splněn požadavek na určitý účinník.

Kabelizace úseku venkovního vedení je jednou z možností jak zlepšit ukazatele nepřetržitosti dodávky. Jak již bylo řečeno výše, jedná se o investičně náročné opatření, v porovnání s jiným typem opatření, a současně jde o opatření, které má více provázané souvislosti s provozováním distribuční sítě. Může vést k podstatnému snížení počtu poruch na poruchovém úseku. Největší efekt přináší kabelizace u úseků, kde dochází k častým poruchám díky vnějším příčinám, např. pády stromů, jejichž odstranění a znovuzprovoznění je velmi časově náročné v důsledku obtížnějších místních podmínek dané horším terénem a přístupem, často velkého rozsahu poškození a nepříznivého časového výskytu např. v zimním období, či v průběhu kalamity. Opravy poškozených venkovních vedení v těchto úsecích jsou velice nákladné a časově náročné. Řešení pomocí izolovaných vodičů nepřináší dostatečný efekt. Jednak nezabrání přetržení vodičů při pádu větších stromů, ale pouze zabrání zemním spojením při dotyku s větvemi. Dále pokud dojde k přetržení vodiče, nemusí vždy díky izolaci dojít k signalizaci zemního spojení. Investiční náklady na vybudování vedení jsou oproti holému vedení mírně vyšší, ale z hlediska provozních nákladů a odstraňování poruch jsou náklady srovnatelné. K zásadní eliminaci poruch v kritických úsecích také nedojde. Řešení pomocí závěsných slaněných kabelů nebo samonosných kabelů se z hlediska úbytku přerušení dodávky osvědčil. Při pádu stromů do vedení dojde k pádu kabelu na zem, protože jsou použité závěsné háčky, které se pod definovaným zatížením narovnají, a tím kabel spadne na zem. Nicméně je nutné tyto úseky často kontrolovat, zejména po bouřkách, kalamitách, a podobných mimořádných stavech. Pokud je kabel nalezen ležící na zemi, musí se provést jeho opětná instalace. Investiční náklady jsou samozřejmě vyšší. Spolehlivost dodávky je sice zajištěna ve větší míře, ale náklady na provoz a odstranění poruch jsou výrazné. Jako další řešení je standardní kabelizace kritického úseku. Investiční náklady jsou z uvedených variant největší. Nicméně dojde k úplné eliminaci poruch z důvodů vnějších vlivů (pád stromů,

kalamity, zemní spojení, atd.). Dále provozní náklady také významně poklesnou oproti všem předcházejícím řešením.

Pokud se jedná o odbočky v horských údolích, bez možnosti náhradního zásobování z druhé strany, je případná instalace recloseru jen částečným řešením, protože dopad na zákazníky za postiženým úsekem zůstává stejný. Bez ohledu na to, že se může jednat o důležité odběry, jako jsou horská střediska, hotely apod. V České Republice je známá řada příkladů takovéto kabelizace venkovních vedení na hladině VN. Takovéto poměrně dlouhé kabelové úseky můžeme najít pro příklad v Beskydech na Lysou horu, na Radhošť nebo na Kohútku. Venkovní vedení na Radhošť bylo nahrazeno koncem roku 2010 kabelovým vedením v délce zhruba 3 km. Přínosy této investice byly zřejmé již po několika letech, protože v zimním období docházelo v tomto úseku často k pádům stromů do vedení. Krom příkladů, kde byly kabelizovány celé úseky, existují i úseky, kde byl kabel vložen do venkovního vedení, které je před i za kabelem provedeno jako venkovní. Známým příkladem mohou být také rozsáhlé kabelové sítě v Krkonoších, které však vznikly z odlišných podmínek. Před tím, než padne rozhodnutí o kabelizaci určitého úseku venkovního vedení, je potřeba dopodrobna zanalyzovat očekávané příspěvky, které by vedli ke zlepšení ukazatelů nepřetržitosti dodávky. Důležité je také provést ekonomické zhodnocení pro každý jednotlivý návrh. Podrobná analýza musí vycházet z reálných dat daných vývodů distribuční sítě a z konkrétní lokality.

## 2.1 Nevýhody kabelizace

Častější kabelizace však sebou přináší i značné nevýhody. Mezi největší nevýhodu kabelizace patří bezesporu fakt, že kabelová vedení dosahují vyšších kapacit. Dále přichází v úvahu i horší chlazení vedení, které je pod zemí a často ještě v souběhu s jinými kabely, které má za následek nižší přenosovou kapacitu oproti stejné trase venkovního vedení. Pokud by se jednalo o úsek v lesním průseku, tak předpoklad souběhu nebo křížení s jinými inženýrskými sítěmi je minimální. Skutečností také je, že trasa venkovního vedení vede téměř vzdušnou čarou, oproti delším kabelovým vedením, které se zpravidla projektují tak, aby vedení šla po hranicích pozemků, a ne vždy mohou jít kvůli jakýmkoliv překážkám přímo. To může mít za následek, vyšší poruchové proudy při zemním spojení, což má za následek vyšší krokové a dotykové napětí. Tento jev vychází z technického uspořádání kabelu. Jakýkoliv vodič představuje pomyslnou elektrodu kondenzátoru. Mezi těmito vodiči je vzduch, který je ve své podstatě dielektrikum. Navíc u kabelů máme dielektrikum i ve formě jednotlivých izolačních vrstev. Celková provozní kapacita je

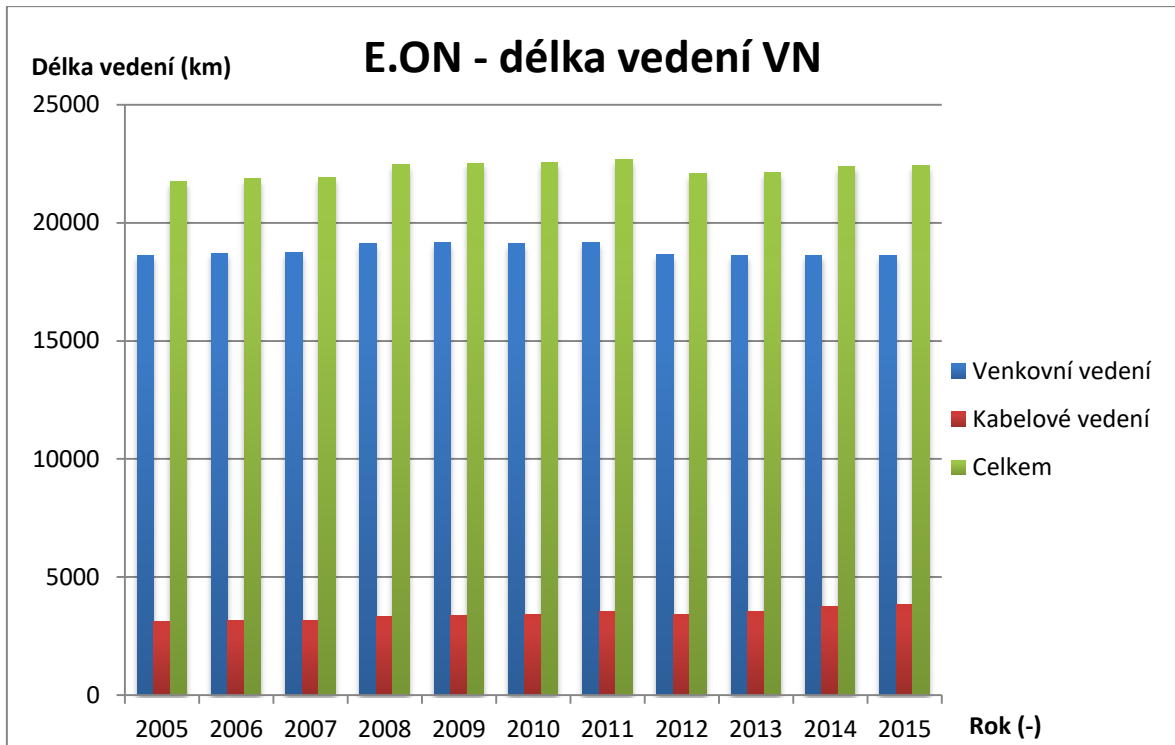
pak dána součtem kapacit proti zemi a kapacit mezi vodiči. Díky působení této kapacity vznikají zemní kapacitní proudy, jejichž existence se vyskytuje i u nezátížených vedení. Zde tyto proudy vyvolají vznik kapacitního jalového výkonu, který zejména v nočních hodinách, kdy zaznamenáváme, minimální odběr, může způsobit přetok jalové energie, která při nadměrném zvýšení musí být kompenzována. Důsledkem tohoto jevu vzniknou vyšší ztráty na vedení. Proto se snažíme tento kapacitní zemní proud co nejvíce snížit. Ke snížení kapacitních proudů můžeme využít:

- Zhušťování sítí
- Použití Petersonovy tlumivky
- Modernější technologie
- Konfigurace fázových vodičů na konzolích
- Materiál izolace
- Vypínání nezátížených vedení
- Přenos pomocí stejnosměrných nebo supravodivých VN kabelů

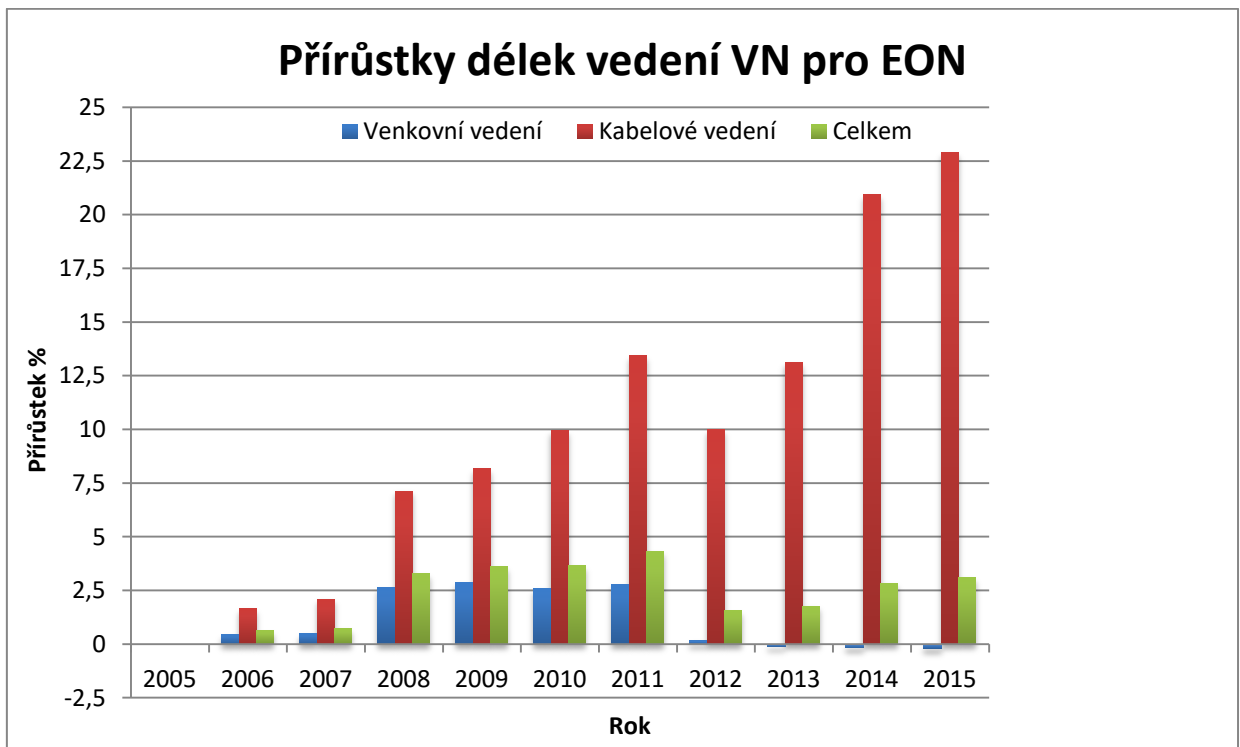
Zhušťováním sítí se rozumí propojení pomocí kratších vedení. Tlumivky vytváří induktivní proud, který vyprodukuje i jalový výkon induktivního charakteru, který působí proti kapacitnímu proudu. Použitím modernějších technologií se rozumí použití lepších materiálů, instalace kabelů ze zesíťovaného polyetylenu, které mají nižší kapacitní proud oproti kabelům s papírovou a olejovou izolací, či novějších typů konzolí. V dnešní době se nejvíce používají konzole typu "pařát" a "delta", které mají nižší kapacitní proudy oproti starším rovinným konzolám.<sup>[26]</sup>

Znalost velikosti kapacitních proudů je důležitá zejména kvůli bezpečnému provozu sítě a to z hlediska dimenzování uzemnění, které souvisí s velikostí dotykových a krokových napětí. Podle tohoto proudu se nastavují ochrany, ale i kompenzační tlumivka, která se nastavuje tak, aby byla v blízkosti rezonance obvodu mezi kapacitou a indukčností vedení. V dnešní době dochází k neustále zvyšujícímu trendu kabelizace, díky které roste nárok na následnou kompenzaci kapacitních proudů. Tento trend může vést v krajním případě k výměně stávajících tlumivek, které již nebudou svým výkonem stačit, za větší. Z níže uvedených grafů lze vypočítat, že od roku 2005 dochází k neustálému zvyšování počtu kabelových vedení, které se v roce 2012 oproti předchozímu roku snížilo, ale vzápětí opět vzrůstá.

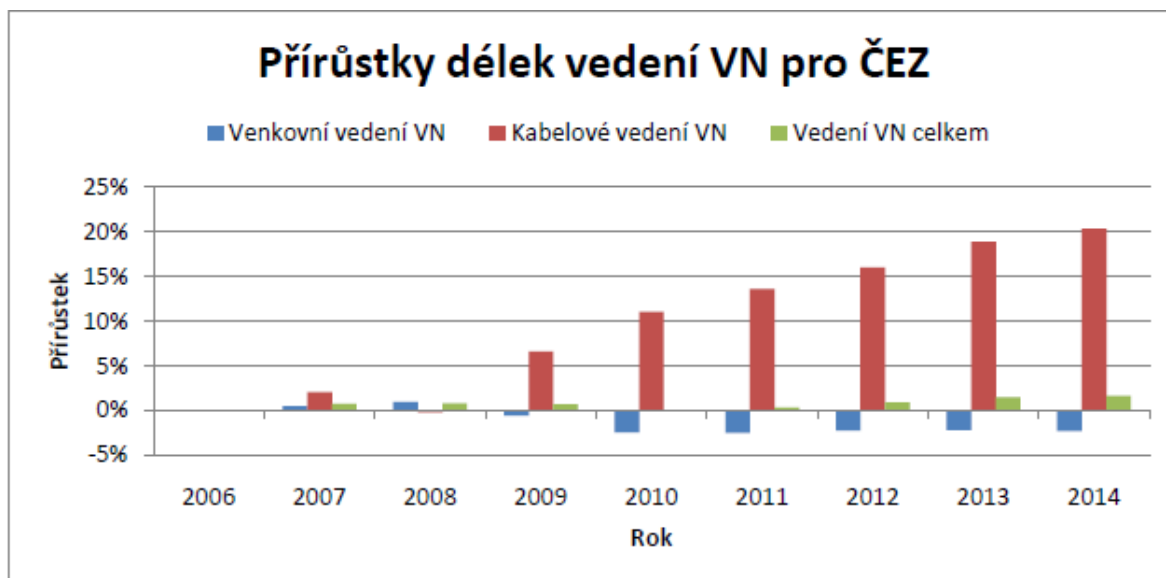




Obr. 10 Graf vývoje délek vedení[26]



Obr. 11 Graf vývoje přírůstků vedení EON [26]



Obr. 12 Graf vývoje přírůstků vedení ČEZ [26]

### 3 Kvalita dodávané energie

V dnešní době je kladen velký důraz na kvalitu dodávané elektrické energie, která je definována energetickým regulačním úřadem (dále jen ERÚ) a to vyhláškou č.540/2005 Sb. a č.41/2010 Sb. Tyto dvě vyhlášky stanovují kvalitu dodávek elektřiny a s ní související služby v elektroenergetice. Standardy kvality elektrické energie se dají rozlišit na standardy distribuce elektřiny (§5 - §18) a na standardy dodávek (§19 - §20). Provozovatelé distribučních i přenosových sítí jsou motivováni ERÚ k tomu, aby tyto parametry elektřiny zajistili, jinak jim hrozí příslušná penalizace. Standard distribuce elektřiny se dá dále rozdělit na dvě skupiny. První skupinu tvoří standardy, které jsou propojené s tzv. komerční kvalitou. Ta je charakterizována jako schopnost distributora, nebo dodavatele přizpůsobit se na požadavky konečných zákazníků. Tato skupina přímo nesouvisí s provozováním přenosových ani distribučních sítí.

Druhou skupinu tvořící informace, které se vztahují k nepřetržitosti dodávek elektrické energie v sítích, což jsou údaje, které ovlivňují poruchy na vedení, nebo plánované práce v celých těchto sítích. Mezi hlavní paragrafy této skupiny patří:

- § 5 Standard ukončení přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny [13]
- § 6 Standard dodržení plánovaného omezení nebo přerušení distribuce elektřiny [13]

V Tab. 1 můžeme vidět plnění standardů z hlediska distributorů elektrické energie.

Tab. 1 Plnění standardů distribuce elektřiny za rok 2016 [13]

§	ČEZ Distribuce			E.ON Distribuce			PREdistribuce		
	Počet případů			Počet případů			Počet případů		
	Celkem	Standard nedodržen		Celkem	Standard nedodržen		Celkem	Standard nedodržen	
	[-]	[-]	[%]	[-]	[-]	[%]	[-]	[-]	[%]
5	28 326	37	0,13	16 796	38	0,23	996	4	0,41
6	17 837	45	0,25	9 983	64	0,64	1 638	12	0,73

Z tabulky Tab. 1 lze vidět, že podíl nedodržených případů se téměř u všech standardů nachází pod hodnotou jednoho procenta. Nejen kvůli tomuto faktu je nadále potřebné průběžně analyzovat nastavení těchto jednotlivých limitů vyhlášky a zhodnotit jejich případné zpřísnění či doplnění standardů o nové a cílenější limity. Přitom v tomto roce nebyla podle dostupných informací vyplacena žádná finanční náhrada za porušení předepsaného standardu. V případě porovnání získaných hodnot jednotlivých distributorů je potřeba brát v potaz rozdílnost jednotlivých distribučních soustav do počtu zákazníků,

tak rozdílnost v druhu a způsobu provozu sítí. Hlavně u standardů, které souvisejí s nepřetržitostí dodávek (§5 a §6) je velice důležitá míra kabelových vedení v dané síti. Díky tomuto důvodu je důležitější sledovat časový vývoj plnění jednotlivých standardů.

### 3.1 Vyhodnocování nepřetržitosti dodávky

Na základě výše zmíněných vyhlášek o kvalitě je energetickým regulačním úřadem sledována a vyhodnocována nepřetržitost přenosu a distribuce elektřiny v přenosových a distribučních soustavách.

Přenosová soustava slouží k vzájemně propojenému komplexu vedení a zařízení na hladině velmi vysokého napětí, které slouží pro zajištění přenosu elektřiny po celém území našeho státu, včetně propojení s elektrizačními soustavami okolních států. Zde je úroveň kvality dána ukazateli nepřetržitosti přenosu podle §21 vyhlášky. Pro provozovatele přenosové soustavy, u nás firma ČEPS,a.s., jsou vyhláškou určeny následující ukazatele:

- průměrná doba trvání jednoho přerušení přenosu elektřiny v kalendářním roce [13]
- nedodaná elektrická energie v kalendářním roce [13]

V Tab. 2 jsou uvedeny základní informace o hodnotách ukazatelů nepřetržitosti dodávky.

Tab. 2 Hodnoty ukazatelů nepřetržitosti dodávky pro přenosovou soustavu za rok 2016 [13]

Počet přerušení přenosu elektřiny	Celková doba trvání přerušení přenosu elektřiny	Průměrná doba trvání jednoho přerušení přenosu elektřiny	Nedodaná elektrická energie
3 [-]	37 [min]	12,3 [min]	45 [MWh]

V distribučních soustavách je úroveň kvality dána ukazateli nepřetržitosti distribuce elektřiny podle §21 vyhlášky o kvalitě. Vyhláška definuje následující tři ukazatele nepřetržitosti dodávky:

- průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období (SAIFI) [13]

$$SAIFI = \frac{\sum_i N_{ih}}{N_{sh}} \quad (1) [14]$$

- průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období (SAIDI) [13]

$$SAIDI = \frac{\sum_i t_{ih} * N_{ih}}{N_{sh}} \quad (2) [14]$$

- průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období (CAIDI) [13]

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (3) [14]$$

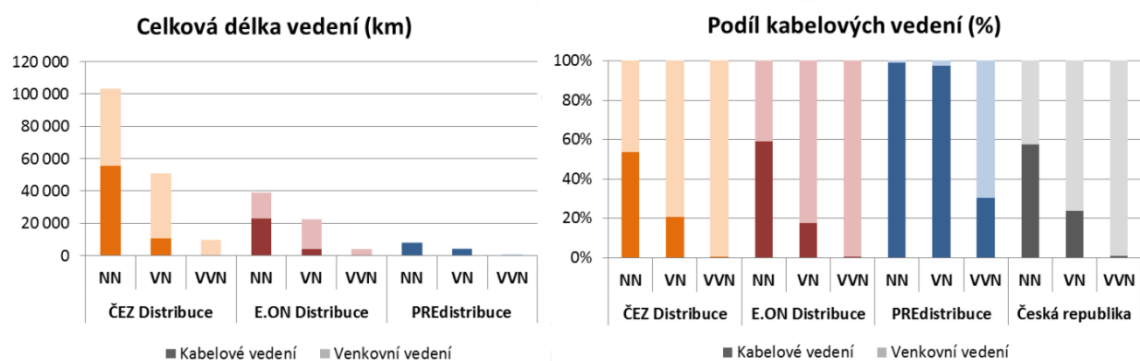
, kde:

$t_{ih}$  - doba trvání i-tého přerušení

$N_{ih}$  - počet postižených odběratelů i-tého přerušení

$N_{sh}$  - celkový počet odběratelů

Na základě kategorií přerušení, které se zohledňují ve výpočtech, lze tyto jednotlivé ukazatele rozdělit podle potřeby. Vzhledem k velkým rozdílům v provozování sítí u jednotlivých provozovatelů distribučních soustav není možné porovnávat ukazatele nepřetržitosti mezi sebou. Pro tento fakt je důležitý profil společností, který zohledňuje charakter jednotlivých sítí. Největší vlivy na ukazatele nepřetržitosti má podíl kabelových vedení v síti, ale také způsoby zapojení těchto sítí, nebo hustota odběru včetně počtu zákazníků.



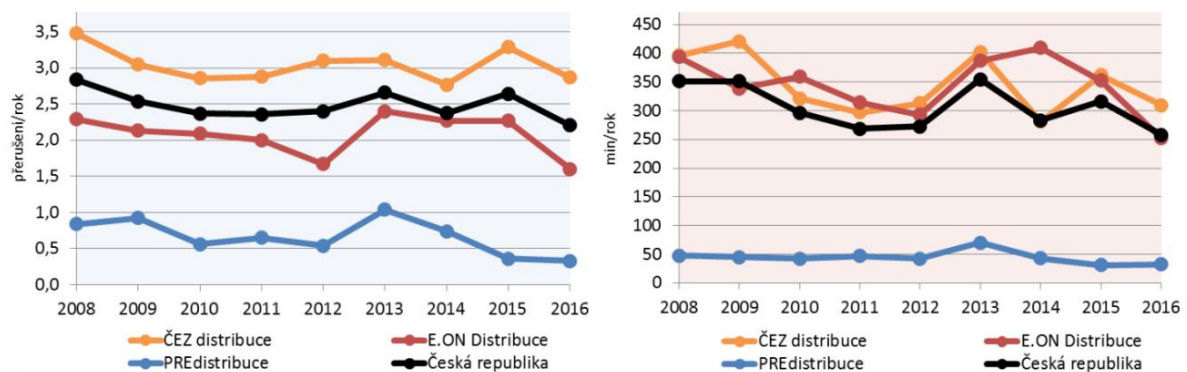
Obr. 13 Délka vedení a podíl kabelizace jednotlivých distributorů [13]

Celkový systémový ukazatel je dán součtem plánovaných a neplánovaných událostí. Neplánované události dále můžeme dělit podle příčin přerušení na poruchová přerušení při obvyklých povětrnostních podmínkách, poruchová přerušení způsobená při nepříznivých povětrnostních podmínkách, dále na ty, které byly způsobeny jednáním třetí osoby, nebo byly vynuceně přerušeny, popř. mimořádná přerušení a události mimo soustavu daného provozovatele. V níže umístěné tabulce můžeme vidět shrnutí celosystémových ukazatelů nepřetržitosti dodávky, které obsahují veškeré kategorie přerušení. Současně jsou zde ukázané hodnoty ukazatelů nepřetržitosti dodávky pro Českou republiku přepočteny na celkový počet zákazníků.

Tab. 3 Porovnání ukazatelů nepřetržitosti dodávky [13]

Ukazatel	ČEZ Distribuce	E.ON Distribuce	PREdistribuce	Česká republika
SAIFI [přerušení/rok]	2,87	1,60	0,33	2,21
SAIDI [min/rok]	309,64	252,14	32,52	258,29
CAIDI [min]	107,86	157,56	99,34	116,96

Jak již bylo jednou zmíněno, hodnoty ukazatelů nepřetržitosti jednotlivých společností nelze mezi sebou jednoduše porovnat vzhledem k odlišnému charakteru sítí. Kvůli tomu je důležitější sledování časového vývoje ukazatelů pro jednotlivé společnosti. Nicméně časová řada je omezena a to pouze od roku 2008. Pro porovnání je v Obr. 2 zobrazena hodnota ukazatelů za celou Českou republiku.



Obr. 14 Vývoj ukazatelů SAIDI a SAIFI [13]

Můžeme vidět, že v roce 2016 bylo dosaženo nejnižších hodnot ukazatelů nepřetržitosti SAIFI i SAIDI od doby jejich sledování. Na snížení těchto hodnot má vliv zavedení motivační regulace kvality, kdy jsou jednotlivé distribuční společnosti finančně motivovány, ať už ve formě bonusů při lepších hodnotách, nebo ve formě penále při horších hodnotách. Hodnoty nepřetržitosti dodávky jsou vždy stanoveny ERÚ na začátku daného regulačního období. Nízká nepřetržitost dodávky byla způsobena i díky tomu, že v průběhu roku 2016, oproti předchozím rokům, nedošlo k žádným větším poruchám, které byly způsobeny vlivem nepříznivých povětrnostních podmínek.

O již zmíněnou hodnotu bonusu, nebo penále jsou poté upraveny dovolené výnosy jednotlivých společností pro nadcházející regulační rok. Aby distribuční společnosti nebyly penalizovány za události, na které nemají vliv, tak se při motivační regulaci kvality tyto vlivy nezahrnují. Berou v potaz pouze ty události, na které má daný distributor vliv, např. nejsou zahrnuty události způsobené nepříznivými povětrnostními podmínkami,

mimořádná přerušení, apod. Současně se uplatňuje princip tzv. "dvouletého klouzavého průměru", kdy se dané hodnoty porovnávají s průměrem, kterého se dosáhne za poslední dva roky. ERÚ rozhodlo, že by mohlo dojít k prodloužení zásad IV. regulačního období i na roky 2019 a 2020, a to včetně nastavení požadovaných parametrů ukazatele kvality. Při předpokládání stejného klesajícího trendu, by požadované hodnoty na roky 2019 až 2020 měli vypadat tak, že ukazatel SAIFI by v roce 2020 měl klesnout pod hodnotu 1,8 přerušení/rok a ukazatel SAIDI by se měl v roce 2020 přiblížit hodnotě 200 minut/rok.

## 4 Vyhodnocení kabelizace lesních průseků

Mým hlavním úkolem v praktické části bylo navrhnout modelové příklady kabelizace, včetně posouzení jejich vlivů na ukazatele nepřetržitosti dodávky elektrické energie a navrhnout možná technicko-ekonomická řešení dané problematiky. Postupoval jsem tak, že jsem si nejprve zvolil nejvíce poruchové úseky obsahující lesní průseky, pro které jsem následně navrhl náhradní trasy kabelových vedení. Pro tyto úseky jsem spočetl ukazatele nepřetržitosti dodávky SAIDI před kabelizací a po kabelizaci, které jsem následně mezi sebou porovnal. Následně jsem určil investiční náklady pro každý kabelizovaný úsek a porovnal je s vyčíslenou hodnotou nedodané elektrické energie během poruch. Tímto jsem získal tzv. "Cost Benefit" koeficient, který určuje, zdali je investice výhodná, či nikoliv. Vycházel jsem ze zápisu poruch od roku 2009 do roku 2016, kde byly uvedeny veškeré informace nutné k výpočtu ukazatele nepřetržitosti dodávky SAIDI a dále pak z utajovaného ceníku montážních prací a postupů firmy E.ON Distribuce, a.s. Cílem těchto výpočtů bylo analyzovat, zdali se tato nemalá investice do kabelizace poruchových lesních úseků vyplatí, či nikoliv. Výsledky pak budou sloužit k porovnání výhodnosti investice pro firmu E.ON Distribuce z hlediska ukazatele nepřetržitosti dodávek a investičních nákladů.

### 4.1 Výběr vhodných vývodů

Abych mohl posoudit vliv kabelizace na ukazatele nepřetržitosti dodávky, musel jsem v první řadě vybrat vhodné linky, které by byly vhodné pro tuto kabelizaci. Ze zápisů poruch od roku 2009 do roku 2016, které mi poskytla firma E.ON Distribuce, a.s, jsem si nejdříve vybral dva nejproblémovější vývody VN. Zvolil jsem vývody označené jako Planá (vet) a Olšina (vet) z rozvodny Větrní, která se nachází v obci Větrní nedaleko Českého Krumlova. Vývod Planá obsahoval v celkovém součtu poruch o jednu poruchu více než vývod Olšina. Celkem je v této rozvodně 8 vývodů VN. Dále jsem musel určit z výčtu všech poruch tři nejporuchovější úseky z každého vývodu. Tyto úseky jsou uvedené níže v tabulce *Tab. 4*, kde číselné označení značí čísla úsekových odpínačů v dané lince.



Tab. 4 Výběr vývodu a úseků vhodných ke kabelizaci

Rozvodna Větrní			
Planá (vet)		Olšina (vet)	
Úsek VN	Počet poruch	Úsek VN	Počet poruch
144-634-735 (CK)	7	145-642-644 (CK)	13
636-756 (CK)	7	651-652-965 (CK)	11
776-654-655 (CK)	5	647-648-658	8

Na vývodu Planá (vet) se nachází úsek mezi úsečníky 640-641-726 (CK), který měl o jednu poruchu více než úsek 776-654-655 (CK), ale tento úsek se částečně nacházel v jiné správní oblasti, ke které jsem neměl podklady, a navíc se zde nenacházel žádný vhodný lesní úsek, jelikož většina tohoto úseku se nacházela na polích, či v blízkosti přílehlých vesnic a obcí. Proto jsem tento úsek musel vyřadit.

Po zvolení těchto úseků jsem z dispečerských schémat zjistil potenciální trasy kabelových vedení, které by nahradily vzdušné vedení. Pro zjednodušení, jsem uvažoval kabelizaci pouze kmenových vedení, jelikož tato varianta má větší smysl, než kabelizace vývodů z těchto kmenů. Pouze v pár případech jsem musel toto zjednodušení porušit, jelikož se vývodové linky, respektive odběratelské trafostanice, nacházely v lesních průsecích a bylo tedy nutné pro ně zajistit dodávku elektrické energie.

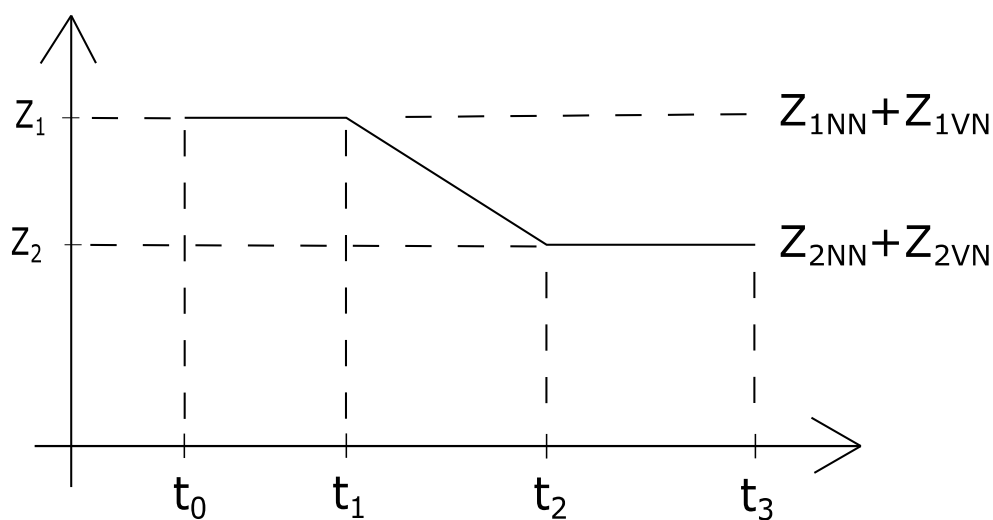
## 4.2 Výpočet SAIDI

Cílem této práce bylo zjistit, jak selepší ukazatelé SAIDI na hladině vysokého napětí, především u venkovních vedení, kde je potenciál zlepšení velmi vysoký. Ukazatel nepřetržitosti dodávky SAIFI jsem se rozhodl zde nepočítat, jelikož se čísla tohoto ukazatele budou měnit nepatrně. Činitel SAIDI dosahuje oproti ukazateli SAIFI mnohonásobně vyšších hodnot. Ukazatel nepřetržitosti dodávky SAIFI, jak již bylo zmíněno, přepočítává počet přerušení jedno odběrné místo. Tento ukazatel spíše ovlivní použití recloseru než kabelizace lesních průseků, protože použitím tohoto zařízení nebude kvůli případným manipulacím odpojena "zdravá" část vedení. To znamená, že tito zákazníci nepostřehnou poruchu. Při použití ukazatele SAIDI dostaneme informaci, která nám ukáže, na kterém vývodu trvá vyhledání poruchy nejdéle. Odstraněním těchto problémových míst dokáže provozovatel distribuční soustavy snížit dobu potřebnou pro lokalizaci poruchy a tím pádem snížení i ukazatele nepřetržitosti dodávky SAIDI. Toto tvrzení je podpořeno výsledky finské studie, která se zabývala vlivem různých

opatření na změny ukazatelů nepřetržitosti dodávky elektrické energie.<sup>[24]</sup>

Kabelizace lesních průseků je opatření, které vede ke zvyšování spolehlivosti sítí, včetně eliminace počtu a doby trvání dlouhodobých přerušení, z čehož je jasné, želepší ukazatele nepřetržitosti dodávky SAIDI. Samotný výpočet vychází z dat, které jsou dostupné v zápisu poruch za již zmiňované období. Zápis poruch obsahoval veškeré informace o celkem 95 jednotlivých poruchách, které zde nastaly. Obsahuje například informace o vývodu a úseku, na kterém došlo k poruše, ale také i kolik lidí na straně NN a VN zůstalo bez dodávky elektrické energie. Dále dobu do první manipulace, dobu do vymanipulování poruchy, dobu pro odstranění závady, příčinu poruchy, ale i důležitá data, zdali za poruchu mohli poruchy typu "DŘEVINA", "IZOLÁTOR" apod. Tyto informace jsou důležité k samotnému výpočtu ukazatelů nepřetržitosti dodávky SAIDI.

Výpočet ukazatele nepřetržitosti dodávky SAIDI vychází z lichoběžníkové metody, což ve zjednodušení je součet tří intervalů. Jedná se o intervaly doby první manipulace, doby vymanipulování poruchy a doby odstranění závady.



Obr. 15 Lichoběžníková metoda

, kde:

$t_0 - t_1$  = doba první manipulace

$t_1 - t_2$  = doba vymanipulování poruchy

$t_2 - t_3$  = doba odstranění závady

První interval, doba první manipulace, se vypočte jako:

$$Z_1 * (t_1 - t_0) \quad (4)$$

, kde:

$$- Z_1 = Z_{1VN} + Z_{1NN} \quad (5)$$

-  $Z_1$  je počet postižených odběratelů na straně nízkého i vysokého napětí bezprostředně po vzniku poruchy

Druhý interval, což je již zmíněná doba vymanipulování poruchy se vypočte jako:

$$\frac{(Z_1 + Z_2) * (t_2 - t_1)}{2} \quad (6)$$

, kde:

$$- Z_1 = Z_{1VN} + Z_{1NN} \quad (7)$$

$$- Z_2 = Z_{2VN} + Z_{2NN} \quad (8)$$

-  $Z_1$  je počet postižených odběratelů na straně nízkého i vysokého napětí bezprostředně po vzniku poruchy

-  $Z_2$  je počet postižených odběratelů na straně nízkého i vysokého napětí po poruše

Poslední interval, což je již zmíněná doba po vymanipulování poruchy se určí jako:

$$Z_2 * (t_3 - t_2) \quad (9)$$

, kde:

$$Z_2 = Z_{2VN} + Z_{2NN} \quad (10)$$

Takovýmto způsobem byly spočteny všechny ukazatele SAIDI pro každou poruchu. Ze součtu těchto ukazatelů můžeme dostat celkový ukazatel SAIDI ať už pro daný úsek, celou linku, či dokonce celou rozvodnu. Musíme však vycházet jen z určitých typů poruch, za kterých se SAIDI dá počítat. Což jsou například poruchy kategorie č.11, které jsou spjaté s neplánovaným přerušením, které vzniklo při běžných povětrnostních podmínkách. Například kalamitní stavy, či extrémní atmosférické výkyvy nemůže distributor ovlivnit, proto se takovéto poruchy do těchto výpočtů nezahrnují. Pro určení ukazatelů SAIDI bylo nutné shromáždit data získaná ze zápisů poruch a sjednotit je do jedné kontingenční tabulky. Tímto krokem jsem získal přehled o celkovém SAIDI obou vývodů. Vyčlenil jsem poruchy, které se za určitých předpokladů staly pouze v lesních průsecích. Ty jsem určil tak, že jsem uvažoval pouze poruchy typu "DŘEVINA" a "IZOLÁTOR". Tyto dvě poruchy v drtivé většině případů nastávají při pádu stromů do vedení, čímž způsobí výpadek elektrické energie. Po vyčlenění poruch spjaté s lesními průseky jsem tyto poruchy označil za odstraněné, tudíž činitel SAIDI bude roven nule. Nový činitel SAIDI tedy bude dán rozdílem původního činitele SAIDI a činitele SAIDI,

který vznikne po vyjmutí poruch spjatými s lesními průseky. Pro lepší porovnání jsem přepočítal vypočtené ukazatele SAIDI na průměrnou hodnotu za celých 8 let a poté ještě přepočítal na jedno odběrné místo. V roce 2016 byl počet odběrných míst 1 513 973 OM.

### 4.3 Kabelizace lesních průseků

Jak již zde bylo řečeno, že nelze vyměnit stejnou délku venkovního vedení za stejnou délku kabelového vedení. Z toho tvrzení vyplývá, že délka kabelového vedení bude s největší pravděpodobností delší. Trasa kabelů se musí přizpůsobit různým faktorům, které ovlivňují délku nové trasy kabelového vedení:

- Místní poměry (povrch, půda, vodní toky apod.)
- Rozhraní pozemků
- Stávající infrastruktura
- Komunikace (silnice, železniční infrastruktura apod.)

Pro svedení vzdušného vedení do země je zapotřebí speciálního sloupu, či stožáru, který má speciální výbavu. Na každém takovémto svodu musí být omezovač přepětí a konstrukce umožňující změnit charakter vedení. Tyto svodové sloupy, nebo stožáry mohou být různých provedení. Buďto může být svod neodpínaný, nebo odpínaný. Tyto dvě možnosti zpřístupňují řadu variant, které můžeme zohlednit při kabelizaci venkovního vedení. Variantu se dvěma neodpínanými svodovými sloupy jsem zavrhl. Sice by kabelizace značně snížila ukazatele nepřetržitosti dodávky elektrické energie, ale tato varianta neumožňuje případně vymanipulovat poruchový úsek ať už při provozních či poruchových odstávkách elektrické energie. Další variantou kabelových svodů je použít jeden neodpínaný a jeden odpínaný svodový sloup. Neodpínaný svodový sloup se použije tam, kde se v jeho blízkosti nachází již osazený úsekový odpínač, který je v části venkovního vedení. Takovýmto způsobem by se dal vymanipulovat úsek mezi těmito dvěma body. Samozřejmě nejefektivnější, ale i ekonomicky nejdražší variantou je použití dvou odpínaných svodů kabelového vedení. Tato varianta, by v případě potřeby, umožnila vymanipulovat pouze úsek, ve kterém je kabelové vedení.

Kabelizaci je možné provést dvěma způsoby. První je klasický výkop, který je uvedený v kapitole 1.3, nebo se může použít tzv. "pluhování". Tato speciální "bezvýkopová" metoda spočívá v použití speciálního pluhovacího zařízení, které je vhodnější použít u pokládky pro delší úseky (více než 600m), které nebudou přerušeny (přechod vozovky, křížení inženýrských sítí apod.).

Výhody takovéto pokládky:

- Rychlost při provedení samotné stavby
- Odpadají náklady na případný odvoz zeminy, terénní úpravy, skladování apod.
- Neřeší se třída zeminy
- Oproti výkopu není potřeba zajistit plán BOZP (ohraničení výkopů, značky apod.)
- Není potřeba archeologický průzkum
- Geodetické zaměření při pokládce

Nevýhody:

- Ekonomicky nevýhodné pro kratší úseky a více přerušení
- Pokládka kabelů bez mechanické ochrany

Tím, že se kabelové vedení nachází několik desítek centimetrů pod zemí, je jeho identifikace zejména v lesních průsecích problém. Aby se nemuseli používat sondy, či jiné speciální lokační přístroje, využívá se speciálních označníků, které mohou být buďto tzv. "patníčky", které je lepší použít na polích, v zástavbě apod., nebo se využívá svislých označníků. Ty se skládají z varovné tabulky, kde mohou být základní informace o kabelu, a umísťuje se na vyšší železnou tyč. Tyto označníky se umísťují do lomů kabelových tras, kde kabely mění svůj směr vedení. Jak pro venkovní vedení, tak i pro vedení kabelové by se měli provádět lesní průseky, aby se v případě poruchy, či jiné potřeby bylo možné dostat k danému vedení. Ochranné pásmo kabelového vedení je 1m. Jelikož se v tomto případě uvažuje kabelizace pouze kmenového vedení, je patrné, že s největší pravděpodobností bude kmenové vedení venkovního vedení nahrazeno kabelem o průřezu 240 mm<sup>2</sup> a to buďto kabelem typu AXEKVCE, nebo NA2XS(F)2Y.

Výsledný hrubý investiční odhad nákladů pro kabelizaci těchto tras a úseků je složený z několika pracovních postupů. Skládá se z ceny za metr demontáže venkovního vedení, z ceny za metr kabelového výkopu do 600 metrů, nebo pluhováním při trase nad 600 metrů a z ceny odpínaného či neodpínaného svodového stožáru. Přesné ceny zde nejsou uvedené, jelikož se jedná o důvěrné a citlivé informace, proto byly ceny pouze orientační. Výsledné investiční náklady se v tomto případě spočetly jako:

$$N_{celk} = \sum_{i=1}^p N_i \text{ [Kč]} \quad (11)$$

$$N_{i-\text{úsek}} = N_{demont.} + N_{poklad.} + N_{SVOD} \text{ [Kč]} \quad (12)$$

$$N_{demont.} = n_{demont./1m} * l_{ven.ved.} \text{ [Kč]} \quad (13)$$

$$N_{poklad.} = n_{pokl./1m} * l_{kab.ved.} \text{ [Kč]} \quad (14)$$

$$N_{SVOD} = n_{SVOD} * x \text{ [Kč]} \quad (15)$$

, kde:

$p$  - počet úseků

$N_i$  - investiční náklady

$N$  - Náklady

$x$  - počet svodů

Pro nastínění příkladu výpočtu investičních nákladů bude použit první lesní průsek z úseku mezi úsekovými odpínači 144-634-735. Pro výpočty investičních nákladů byl poskytnut ceník, ale opět zdůrazňuji, že po dohodě se zadavatelem diplomové práce, zde nelze zveřejnit určité částky za daný technologický postup, jelikož se jedná o citlivé a důvěrné informace.

Tab. 5 Hodnoty pro nastínění příkladu výpočtu investičních nákladů

144-634-735	Úsek	l.
Venkovní vedení [m]	Kmenové	294
	Vývod	0
Kabelizace [m]		328
Investiční náklady [Kč]		1 053 273

Délky všech vedení byly odečteny z geografické mapy poskytnuté firmou EON Distribuce, a.s. Samotné délky kabelových vedení nejsou zcela přesné. Jejich délka se může změnit například použitím přesnějších digitálních map a podkladů, popřípadě přesným geodetickým zaměřením. Příklad takové trasy je uveden níže v kapitole 4.4.

$$N_{demont.} = n_{demont./1m} * l_{ven.ved.} = X * 294 = Y \text{ [Kč]} \quad (16)$$

$$N_{poklad.} = n_{pokl./1m} * l_{kab.ved.} = X * 328 = Y \text{ [Kč]} \quad (17)$$

$$N_{SVOD} = n_{SVOD} * x = Y \text{ [Kč]} \quad (18)$$

$$N_{i-úsek} = N_{demont.} + N_{poklad.} + N_{SVOD} = 1\,053\,273 \text{ [Kč]} \quad (19)$$

Jedná se pouze o hrubý odhad investičních nákladů. Celkové investiční náklady budou o poznání dražší. Není zde zahrnut určitý typ VN kabelu a jeho cena, jelikož se může použít různého typu kabelu, který má odlišnou cenu. V případě demontáže venkovního vedení je cena závislá na konkrétní struktuře linky jako použitý typ vodiče, rozdílné typy sloupů, rozdílné základy sloupů apod.

Existuje celá řada dalších významných faktorů, které mohou tuto cenu ovlivnit:

- Cena za projektovou dokumentaci
- Výše poplatků (kolaudace, náhrady škod, apod.)
- Cena za ekologickou likvidaci materiálů vzniklých při výstavbě

- Výše věcných břemen
- Úprava povrchů
- Realizace protlaků, podvrtů a jiných montážních postupů
- drobný materiál potřebný pro realizaci

Abych mohl lépe porovnat investiční náklady s celkovým ziskem vytěženým z této kabelizace, je nutné převést a následně vyčíslit nedodanou energii v korunách. Pro toto vyčíslení jsem musel provést pár zjednodušujících předpokladů. Jelikož nedodávkou elektrické energie během poruchy trpí i odběratelé na straně NN, musel jsem zvolit průměrnou hodnotu jističe, která by pokryla rozdíly mezi odběrateli na straně vysokého a nízkého napětí. Jako průměrnou hodnotu jsem zvolil 40A. Po spočtení činného výkonu, dle vzorce:

$$P = \sqrt{3} * U_s * I * \cos\varphi [W] \quad (20)$$

jsem tuto hodnotu za jedno odběrné místo NN i VN zkorigoval pro denní a noční zatížení. Korekce daných hodnot výkonů zahrnovala proměnlivé denní a noční zatížení, včetně přepočtu výkonu na dobu a počet jednotlivých odběratelů, kteří během poruchy neobdrželi smlouvenou elektrickou energii.

$$P_{den} = P * \beta = P * 0,5 [W] \quad (21)$$

$$P_{noc} = P * \beta = P * 0,25 [W] \quad (22)$$

$$P_{kor} = P * (Z_{t0-t1} + Z_{t1-t2} + Z_{t2-t3}) [W] \quad (23)$$

Po vynásobení této zkorigované hodnoty s cenou za 1kWh jsem získal vyčíslenou nedodanou elektrickou energii:

$$N_{ned} = N_{1kWh} * P_{kor} [Kč] \quad (24)$$

Pro samotné určení zisku jsem vycházel z tzv. analýzy nákladů a přínosů ("Cost Benefit"). Tato analýza vychází z určení tzv. cost benefit koeficientu, který se spočte jako:

$$\frac{C}{B} = \frac{Cost}{Benefit} = \frac{N_{inv}}{N_{ned}} [-] \quad (25)$$

, kde:

*C* jsou investiční náklady

*B* je vyčíslená nedodaná energie v Kč

Pokud tento poměr vyjde vyšší než 1, pak je tato investice špatná. Pakliže vyjde nižší než jedna, už se tato investice zdá výhodná. Jelikož jsou poruchy náhodného charakteru a nikdy nemůžeme tento jev predikovat, tak je odhad nedodané energie, či cost benefit koeficientu těchto poruch velice obtížný. Nikdy nejsme schopni určit, kdy dojde k dané poruše. Není ani jisté, zda se budou poruchy uvedené v zápisu poruch od roku 2009 do roku 2016 opakovat, nebo zdali bude těchto poruch více, či naopak méně. Proto je

velice obtížné určit ziskovou, či ztrátovou investici, pokud se bude tento koeficient pohybovat v blízkosti 1.

#### 4.4 Problémové úseky na vývodu Planá

Tento vývod se skládá z celkového počtu 60 911 metrů dlouhého vedení, kde je elektrická energie majoritně přenášena přes venkovní vedení, které dosahuje délky 57 400 metrů. Podíl kabelového vedení, v celkové délce 3 510 metrů, tvoří 5,76 % celkového vedení. Na této lince se vyskytlo od roku 2009 do roku 2016 celkem 48 poruch, ale ne všechny souvisejí s lesním průsekem. Z předem známého celkového kapacitního proudu za rozvodnu Větrní jsem tento proud rozdělil mezi další vývody. Pro zjednodušení výpočtu je uvažován fakt, že kabelové vedení má oproti venkovnímu vedení 30-ti násobně vyšší hodnotu kapacity. Nejprve z předem známého kapacitního proudu a délek kabelových a venkovních vedení za celou rozvodnu jsem určil provozní kapacitu  $C_p$  dle vzorce:

$$C_p = \frac{I_{kap}}{\sqrt{3} * U_s * (l_{ven} + 30 * l_{kab})} = \frac{232}{\sqrt{3} * 22000 * (24003 + 30 * 275057)} = 6,12 * 10^{-9} F \quad (26)$$

Z této provozní kapacity a zjištěných délek vedení jsem určil  $I_{kap}$  pro dané vývody.  $I_{kap}$  jsem spočetl jako:

$$I_{kap} = \sqrt{3} * U_s * C_p * (l_{ven} + 30 * l_{kab}) = \quad (27)$$

$$= \sqrt{3} * 22000 * 6,12 * 10^{-9} * (57400 + 30 * 3510) = \quad (28)$$

$$I_{kap} = 37,93 A \quad (29)$$

Tato hodnota kapacitního proudu je ještě před kabelizací.

Hodnoty celkové souhrnné doby a početných ukazatelů nepřetržitosti dodávky SAIDI pro celkový vývod Planá jsou uvedeny níže v tabulkách *Tab.6* a *Tab.7*.

Tab. 6 Celková souhrnná doba pro vývod Planá

	[min]	[%]
$t_{sauh(CELKEM)}$ pro všechny poruchy	30 476 919	-
$t_{sauh(CELKEM)}$ pro poruchy typu "Dřevina"	29 731 005	97,55
$t_{sauh(CELKEM)}$ pro poruchy typu "Izolátor"	538 024	1,77



Tab. 7 Činitel SAIDI po přepočtu na 1 OM a na jeden rok pro vývod Planá

	SAIDI po přepočtení na 1 odběrné místo [min/OM]	∅SAIDI po přepočtení na 1 rok [min/OM/rok]
SAIDI Celkem pro všechny poruchy	20,13	2,52
SAIDI Celkem pro poruchy typu "Dřevina"	19,64	2,45
SAIDI Celkem pro poruchy typu "Izolátor"	0,36	0,04

Pro ukázkou bude v následujících řádcích znázorněn jeden z podrobných výpočtů souhrnné doby pro výpočet ukazatele nepřetržitosti dodávky SAIDI pro čtvrtou poruchu v úseku mezi úsekovými odpínači 636-756 (CK) z vývodu Planá. Další výpočty jsou analogií tohoto výpočtu. Samotný výpočet vychází z předem známých časových intervalů, počtu zákazníků bezprostředně po vzniku poruchy a z počtu zákazníků po poruše. Tyto hodnoty byly vyjmuty ze zápisu poruch od roku 2009 do roku 2016 od firmy EON Distribuce, a.s.

Tab. 8 Hodnoty pro výpočet souhrnné doby nutné pro výpočet SAIDI

$Z_{1NN}$ [OM]	$Z_{1VN}$ [OM]	$Z_{2NN}$ [OM]	$Z_{2VN}$ [OM]	$t_1 - t_0$ [min]	$t_2 - t_1$ [min]	$t_3 - t_2$ [min]
2302	4	18	0	2	1075	1177

Ze vzorců (4), (6) a (9) se vypočítá souhrnná doba, potřebná pro výpočet ukazatele SAIDI pro jednotlivé časové úseky:

$$t_{sauh(t_0-t_1)} = Z_1 * (t_1 - t_0) = (2302 + 4) * 2 = 4 612 \text{ [min]} \quad (30)$$

$$t_{sauh(t_1-t_2)} = \frac{(Z_1+Z_2)*(t_2-t_1)}{2} = \frac{((2302+4)+(18+0))*1075}{2} = 1 249 150 \text{ [min]} \quad (31)$$

$$t_{sauh(t_2-t_3)} = (18 + 0) * 1177 = 21 186 \text{ [min]} \quad (32)$$

$$t_{sauh(CELKEM)} = t_{sauh(t_0-t_1)} + t_{sauh(t_1-t_2)} + t_{sauh(t_2-t_3)} \quad (33)$$

$$t_{sauh(CELKEM)} = 4 612 + 1 249 150 + 21 186 \quad (34)$$

$$t_{sauh(CELKEM)} = 1 274 948 \text{ [min]} \quad (35)$$

Výsledný výpočet ukazatele nepřetržitosti SAIDI se vypočítá jako:

$$SAIDI = \frac{t_{sauh(CELKEM)}}{OM} \text{ [min/OM]} \quad (36)$$

Za proměnnou  $t_{sauh(CELKEM)}$  lze dosadit buďto souhrnnou dobu za jednu poruchu, tím dostaneme SAIDI jedné poruchy. Dále můžeme za tuto proměnnou dosadit součet všech souhrnných dob jednotlivých poruch a získáme SAIDI celého úseku. V případě dosazení součtu všech souhrnných dob za všechny poruchy, pak je výsledkem celkové

SAIDI za celý vývod. Tabulky s hodnotami a výpočty ukazatelů nepřetržitosti SAIDI pro jednotlivé poruchy jsou uvedeny v příloze.

#### 4.4.1 Úsek 144-634-735 (CK)

Nejproblémovější ze všech úseků je úsek mezi úsekovými odpínači 144-634-735. Z celkových 7 poruch, které se na tomto úseku staly, jsou na vině 3 poruchy vlivem trasy venkovního vedení skrze lesní průseky. Příklad takového lesního průseku lze vidět níže na Obr. 16, kde lze vidět názornou ukázkou kabelové trasy.



Obr. 16 Návrh kabelové trasy[25]

Celkem se mezi těmito úsekovými odpínači nachází 5 lesních průseků, přičemž skrze ně vede 1350 metrů kmenového vedení a 595 metrů vývodového venkovního vedení napájené z těchto kmenů. V případě posledních tří úseků, je potřeba nahradit vývodové venkovní vedení kabelem, jelikož po demontáži kmenové linky, by nebylo zajištěné napájení odběratelských trafostanic. V tabulce Tab. 9, uvedené níže, se nachází soupis všech tras, včetně investičních nákladů za daný úsek.

Tab. 9 Délky tras venkovních a kabelových vedení mezi úsekovými odpínači 144-634-735

<b>144-634-735</b>	Úsek	I.	II.
Venkovní vedení [m]	Kmenové	294	156
	Vývod	0	0
Kabelizace [m]		328	174
Investiční náklady [Kč]		1 053 273	734 220

III.	IV.	V.	Celkem	
211	529	159	1350	1944
161	325	109	595	
515	817	351	2185	
1 488 000	2 177 100	1 087 866	6 540 459	

Vlivem výše uvedených faktorů dojde k navýšení celkové délky vývodu o 241 metrů. Tímto krokem, by se samotný zprůměrovaný činitel SAIDI, po přepočtení na jedno odběrné místo snížil na tomto úseku o 24,53 %. Během poruch, které vznikly v tomto úseku, se nedodaná energie pohybovala okolo 19MW, přičemž byla tato hodnota vyčíslena na 56 351 Kč. V porovnání s investičními náklady vyšel Cost Benefit koeficient mnohonásobně vyšší než 1, takže kabelizace se v tomto případě v porovnání s investičními náklady nevyplácí.

#### 4.4.2 Úsek 636-756 (CK)

Dalším z navrhovaných úseků pro kabelizaci je úsek ležící mezi úsekovými odpínači 636-756. Na tomto úseku došlo také k 7 poruchám, ale jen 4 se s největší pravděpodobností stali v jednom z lesních průseků, který se zde nachází. Jedná se o lesní průsek, přes který vede 442 metrů dlouhé kmenové venkovní vedení. Pro jeho nahrazení by bylo nutné vytvořit kabelové vedení, které by mělo délku 417 metrů, přičemž by toto vedení bylo o 25 metrů kratší. Za tuto kratší délku může fakt, že venkovní vedení obchází nedalekou vesnici, přičemž kabelové vedení by se mohlo vézt kratšími trasami skrze již zmíněnou vesnici. V tabulce *Tab. 10*, uvedené níže, se nachází výpis trasy venkovního i kabelového vedení, včetně investičních nákladů za daný úsek.

*Tab. 10 Délky tras venkovních a kabelových vedení mezi úsekovými odpínači 636-756*

636-756	Úsek	I.	Celkem	
Venkovní vedení [m]	Kmenové	442	442	442
	Vývod	0	0	
Kabelizace [m]		417	417	
Investiční náklady [Kč]		1 333 461	1 333 461	

Takto by se samotný zprůměrovaný činitel SAIDI, po výše zmíněném přepočtení snížil na tomto úseku o 99,3 %. Během vzniklých poruch se nedodaná energie pohybovala okolo 387MW, což je oproti předchozím poruchám v úseku 144-634-735 mnohonásobně vyšší hodnota. Zde nastaly poruchy, které firma EON Distribuce, a.s. nedokázala zprovoznit rychleji. Nejdelší zaznamenaná porucha trvala po dobu 20 hodin, kdežto nejdelší porucha

v předchozím případě trvala 1 hodinu a 17 minut. Nedodanou energii jsem vyčíslil na 574 952 Kč. Ani v tomto případě však nevyšla, v porovnání s investičními náklady, tato investice jako zisková. Cost Benefit koeficient je sice mnohem nižší než v prvním případě kabelizace, ale i přesto se dá toto řešení označit za neziskové.

#### 4.4.3 Úsek 776-654-655 (CK)

Posledním vybraným úsekem je úsek 776-654-655. Tento úsek se téměř napojuje na úsek 651-652-965 z jiného vývodu Olšina. Převážně se jedná o trasu vedoucí přes pole a otevřená prostranství, ale také vede přes tři problémové lesní průseky. Všech 5 zaznamenaných poruch vzniklo pravděpodobně v těchto místech. Zde nalezneme největší rozdíl mezi délkou venkovního a navrhovaného kabelového vedení. Tento rozdíl činí celkem 312 metrů. Důvodem této markantní změny je způsob pokládky kabelových vedení, jelikož se kabelové trasy projektují tak, aby vedly v blízkosti hrany pozemků a již vzniklých cest, jelikož tato varianta jednak zjednodušuje případné projednání věcných břemen, které zatíží daný pozemek a dále částečně eliminuje problémy vzniklé s překopáním úrodných polí či problémům s opravou případných poruch.

Tab. 11 Délky tras venkovních a kabelových vedení mezi úsekovými odpínači 776-654-655

776-654-655	Úsek	I.	II.	III.	Celkem	
Venkovní vedení [m]	Kmenové	180	323	90	593	593
	Vývod	0	0	0	0	
Kabelizace [m]		259	523	123	905	
Investiční náklady [Kč]		970 386	1 488 573	536 235	2 995 194	

Těmito kroky by se dosáhlo snížení zprůměrované hodnoty činitele SAIDI o 100%. V tomto úseku, byly poruchy až na jeden případ odstraněny během pár hodin. Na tomto úseku došlo k delšímu a také nejrozsáhlejšímu přerušení, které trvalo necelých 14 hodin. V prvním okamžiku tohoto výpadku bylo bez elektrické energie 30 096 odběratelů na straně nízkého napětí a 112 odběratelů na straně vysokého napětí. Po téměř desetihodinovém vymanipulování poruchy se podařilo obnovit dodávku pro 13 216 odběratelů na straně NN a 64 odběratelů na straně VN. Tyto výpadky elektrické energie způsobily nedodání 2,7GW energie. Tato částka je v porovnání s investičními náklady znatelně vyšší. Hodnota Cost Benefit koeficientu je daleko pod hranicí 1, takže se tato investice vyplácí.

#### 4.4.4 Shrnutí problémových úseků na vývodu Planá

V případě, že by se realizovala veškerá navrhnutá kabelizace, tak by došlo ke změnám v celkových poměrech mezi délkami obou sítí. Oproti předchozímu kabelovému vedení, které tvořilo 5,76% z celkové délky, by tento podíl vzrostl na 11,5%, přičemž by délka všech kabelových vedení vzrostla o 3507 metrů na celkových 7017 metrů. Tento zvýšený podíl kabelizace by s sebou přinesl zvýšený kapacitní proud. Při výpočtech tato hodnota proudu na celý vývod vyšla 61,76A, což je navýšení téměř o 24A. Nejvýhodnější investicí se nabízí úsek 776-654-655, kdy se Cost Benefit koeficient pohyboval vysoko nad hranicí ziskovosti. V případě, že by se poruchy a s nimi spjaté časy s počty postižených zákazníků opakovaly, mohlo by se touto kabelizací ušetřit nemalé peníze, při zachování dodávky všem 30 208 odběrných míst. V úvahu také přichází kabelizace úseku 636-756, jelikož se Cost Benefit koeficient pohyboval okolo hodnoty 0,43. Momentálně se tato investice zdá nevýhodná, ale když se uváží neustálé zpřísnování podmínek a sankcí za nepřetržitosti dodávky ze strany energetického regulačního úřadu, dalo by se toto opatření zdát jako příprava na tyto zpřísněné podmínky. Jako naprosto nevýhodná investice se z hlediska Cost Benefit koeficientu tváří úsek 144-634-735. Zde tento koeficient vyšel  $8,62 \cdot 10^{-3}$ , což by se při opakování těchto poruch v budoucnu vůbec nevyplatilo. Ovšem jak již zde bylo řečeno, poruchy jsou náhodné jevy, takže se teprve tento lesní průsek může projevit. V součtu zde docházelo k dlouhodobějším poruchám, oproti vývodu Olšina, avšak největší podíl na nedodané energii a z ní vyčíslené finanční ztrátě nese úsek 776-654-655, který svou dobou a rozsahem předčil všechny analyzované úseky. V konci kvůli všem poruchám se nedodalo 3 106 MW, které zapříčinily ztrátu 51 783 496 Kč.

## 4.5 Problémové úseky na vývodu Olšina

Celková délka tohoto vývodu je o 778 metrů delší než u vývodu Planá. Tento vývod je složen z 8 242 metrů dlouhého kabelového vedení a 53 448 metrů venkovního vedení. Zde se pohybuje podíl kabelového vedení okolo 13,37% což je více než dvojnásobek procentuální hodnoty předchozího vývodu. To má za následek také mnohonásobně vyšší podíl na celkovém kapacitním proudu. Po přepočtení celkového kapacitního proudu vychází na tuto linku 70,1A. Tato hodnota je dána vyšším podílem kabelového vedení. V níže uvedených tabulkách jsou znázorněné hodnoty početných ukazatelů nepřetržitosti dodávky SAIDI pro celkový vývod Olšina.

Tab. 12 Celková souhrnná doba pro vývod Olšina

	[min]	[%]
$t_{sauh(CELKEM)}$ pro všechny poruchy	3 079 704	-
$t_{sauh(CELKEM)}$ pro poruchy typu "Dřevina"	192 749	6,26
$t_{sauh(CELKEM)}$ pro poruchy typu "Izolátor"	1 764 760,5	57,3

Tab. 13 Činitel SAIDI po přepočtu na 1 OM a na jeden rok pro vývod Planá

	SAIDI po přepočtení na 1 odběrné místo [min/OM]	∅SAIDI po přepočtení na 1 rok [min/OM/rok]
SAIDI Celkem pro všechny poruchy	2,03	0,25
SAIDI Celkem pro poruchy typu "Dřevina"	0,13	0,02
SAIDI Celkem pro poruchy typu "Izolátor"	1,17	0,15

### 4.5.1 Úsek 145-642-644 (CK)

Nejvíce poruchovým úsekem z vývodu Olšina od roku 2009 do roku 2016 je úsek mezi úsekovými odpínači 145-642-644. Toto nejrozsáhlejší venkovní vedení, které je zhruba 8070 metrů dlouhé, prochází skrze 5 lesních průseků. Za sledované období zde došlo celkem k 13 poruchám, z čehož je na vině 9 poruch, které mohli pravděpodobně nastat právě kvůli těmto lesním průsekům. Zde bylo v jednom případě zapotřebí, kabelizovat i vývodové venkovní vedení a to z důvodu zachování dodávky elektrické

energie pro odběratelský transformátor VN/NN. Níže v tabulce *Tab.4.10.* je znázorněn soupis všech tras, včetně investičních nákladů za daný úsek.

Tab. 14 Délky tras venkovních a kabelových vedení mezi úsekovými odpínači 145-642-644

<b>145-642-644</b>	Úsek	I.	II.
Venkovní vedení [m]	Kmenové	357	584
	Vývod	0	0
Kabelizace [m]		418	570
Investiční náklady [Kč]		1 308 960	1 501 731

III.	IV.	V.	Celkem	
1313	726	630	3610	3778
0	0	168	168	
1512	733	762	3995	
3 339 625	1 838 735	1 985 067	9 974 118	

Případné kabelizování tohoto poruchového úseku by přineslo snížení zprůměrované hodnoty činitele SAIDI o 39,13%. Zde dochází spíše ke kratšímu přerušení, jelikož v šesti případech se porucha odstranila okolo jedné hodiny. Nejdelší odstranění poruchy trvalo okolo 13 hodin, kdy byl na vině vadný izolátor a bez dodávky elektrické energie bylo 2156 odběratelů NN a 11 odběratelů VN. Po vymanipulování poruchového úseku se podařilo obnovit dodávku všem VN odběratelům a 94% odběratelům NN. Všechny výpadky elektrické energie zapříčinily nedodání 441,3MW energie, která byla vyčíslena na hodnotu 394 431 Kč. Tato částka opět v porovnání s investičními náklady nepřesahuje investiční náklady a proto je investice do této kabelizace nevýhodná.

#### 4.5.2 Úsek 651-652-965 (CK)

Na úseku s úsekovými odpínači 651-652-965 došlo celkem k 11 poruchám. Zde na rozdíl od předchozího případu došlo k 10 poruchám, které byly zapříčiněny lesními průseky. Daný úsek obchází přílehlou vesnici a pokračuje dále skrze lesní koridory do dalšího správního rajónu firmy EON Distribuce, a.s. Nachází se zde pouze dva lesní průseky, ale vzhledem k tomu, že jsem neměl k dispozici data z jiného správního rajónu, tak se v této oblasti s největší pravděpodobností nachází těchto průseků více. Zde bylo taktéž nutné změnou charakteru vedení opětovně připojit jednu odběratelskou trafostanici.

Tab. 15 Délky tras venkovních a kabelových vedení mezi úsekovými odpínači 651-652-965

651-652-965	Úsek	I.	II.	Celkem	
Venkovní vedení [m]	Kmenové	171	0	171	671
	Vývod	0	501	501	
Kabelizace [m]		181	781	963	
Investiční náklady [Kč]		827 721	1 931 457	2 759 178	

Změna charakteru vedení by v tomto případě snížila zprůměrované hodnoty činitele SAIDI o 99,47 %. Zde se stalo celkem 9 poruch z celkových 11 vlivem špatného stavu izolátoru. Vyjma tří případů se podařilo obnovit dodávky okolo 2 hodin, přičemž rozsáhlejší poruchy vyřadili tento úsek na 3-8 hodin. Tyto delší a rozsáhlejší poruchy připravili o elektřinu v prvním případě 1662 odběratelů NN a 9 VN odběratelů, přičemž v druhém případě 1573 NN odběratelů a 10 VN odběratelů. V případě třetí nejrozsáhlejší poruchy bylo bez elektřiny s porovnání s druhou největší poruchou zhruba stejný počet odběratelů, ale daný úsek se opět zprovoznil o 2,75 hodiny dříve. Celkem se kvůli těmto výpadkům nedodalo 994,8MW, která způsobila ztrátu v hodnotě 1 156 174 Kč. Opět tato hodnota nepřesahuje investiční náklady, a proto se tato investice zdá jako nevýhodná.

#### 4.5.3 Úsek 647-648-658 (CK)

Posledním úsekem s celkovým počtem 8 poruch je úsek 647-648-658. Tento úsek je převážně vedený skrze rozsáhlá pole, ale i skrze 2 lesní průseky. V tomto případě se rozdíl mezi délkou kabelových a venkovních vedení bude rovnat 5 metrům, jelikož se v obou případech téměř povedlo kopírovat trasu venkovního vedení. Zde došlo pouze k 3 poruchám, které byly pravděpodobně způsobeny lesními průseky. Za všechny poruchy může porucha typu "IZOLÁTOR". Porucha typu "DŘEVINA" se zde vůbec neobjevuje. Níže v tabulkách jsou uvedeny délky tras venkovního i navrhovaného kabelového vedení, včetně investičních nákladů pro jejich demontáž a montáž.

Tab. 16 Délky tras venkovních a kabelových vedení mezi úsekovými odpínači 647-648-658

647-648-658	Úsek	I.	II.	Celkem	
Venkovní vedení [m]	Kmenové	269	381	649	649
	Vývod	0	0	0	
Kabelizace [m]		270	385	654	
Investiční náklady [Kč]		305 619	1 181 772	1 487 391	

Díky této kabelizaci by bylo možné snížit samotný zprůměrovaný činitel SAIDI, po přepočtení na jedno odběrné místo o 68,24 %. Během poruch, které trvaly v rozmezí



od 1,75 do 4 hodin, se nedodalo zhruba 173 MW elektrické energie. Po vyčíslení vyšla tato nedodaná energie na 156 042 Kč. V porovnání s investičními náklady vyšel opět Cost Benefit koeficient mnohonásobně vyšší než 1, což znamená, že se tato investice opět nevyplácí.

#### 4.5.4 Shrnutí problémových úseků na vývodu Olšina

Vlivem kabelizování lesních průseků tohoto vývodu se opět změní celkové poměry mezi délkami obou sítí. Ve stávající variantě tvoří kabelové vedení 13,37% z celkové délky. Toto navržené technické řešení s sebou přináší nárůst na 22,27%. Délka samotných kabelových vedení by vzrostla o 5 612 metrů na celkových 13 854 metrů. Již v předchozím případě se prokázalo, že zvýšení podílu kabelového vedení s sebou přinese zvýšení kapacitních proudů. I zde vzroste kapacitní proud z 70,1A na výsledných 108,16A. Zde se pro kabelizaci z pohledu Cost Benefit koeficientu nejeví žádný úsek jako ziskový, ale nejvíce se přibližuje úsek 651-652-965, který má tento koeficient nejbližší pod hranicí 1. Tento úsek je svým charakterem téměř totožný s úsekem 636-756 z vývodu Planá. Taktéž by se mohl jevit jako dobrá příprava pro ztížené podmínky ze strany energetického regulačního úřadu. Oba dva zbylé úseky se svým poměrem investičních nákladů a nedodané energie zdají jako neziskové. V obou případech vyšly koeficienty daleko pod hranicí ziskovosti. Nejvíce je tento fakt znát u úseku 145-642-644, kde by byly investiční náklady zhruba 25x vyšší, než vyčíslená nedodaná energie. Na tomto vývodu docházelo v porovnání s vývodem Planá ke krátkodobějším výpadkům energie, které zapříčinily nedodání celkem 1 609,1 MW, které po vyčíslení způsobily ztrátu firmě EON Distribuce, a.s. ve výši 1 706 647 Kč. V porovnání s výše uvedeným vývodem je to však nepatrná hodnota.

## Závěr

Výsledkem této práce je analýza, která zkoumala jednak technické řešení náhrady venkovního za kabelové vedení v lesních průsecích, vliv této kabelizace na ukazatele nepřetržitosti dodávky a celkové ekonomické zhodnocení. Z této analýzy vyplývá, že kabelizace lesních průseků je účinný nástroj pro snížení ukazatele nepřetržitosti dodávky SAIDI, jejíž zlepšení ukazuje níže uvedená tabulka Tab. 17.

Tab. 17 Souhrnné zhodnocení SAIDI před a po kabelizaci

	$t_{sauh(CELKEM)}$ pro všechny poruchy	SAIDI po přepočtení na 1 odběrné místo [min/OM]	∅SAIDI po přepočtení na 1 rok [min/OM/rok]
Před kabelizací	46 510 229	30,27	3,84
Po kabelizaci	14 281 579	9,43	1,18

V případě, že by se tyto poruchy opakovaly, může dojít ve skutečnosti ke zlepšení o 69,29 %, přičemž by firma EON Distribuce, a.s. musela investovat celkem 25 089 801 Kč. Ne však každý z analyzovaných průseků by byl po vyčíslení nedodané energie ziskový. Z Cost Benefit koeficientů vyplývá, že zisk by přinesla pouze kabelizace průseku 776-645-655. Ostatní úseky by stály za posouzení, jelikož zisk by momentálně nepřinesly, ale při aktuálním trendu neustálého zpřísňování ze strany energetického regulačního úřadu, by tato kabelizace mohla přinést v budoucnu určitý profit. V konečném řešení, kdy by došlo ke kabelizaci všech úseků, dojde k nárůstu celkové délky kabelového vedení z původních 24 003 metrů na 33 122 metrů. Venkovní vedení by pak zaznamenalo pokles z původních 275 057 metrů na 266 980 metrů. Při nárůstu o 9 119 metrů kabelového vedení by došlo ke zvýšení i kapacitního proudu a to z původních 232 A na 293,89 A. Kvůli tomuto nárůstu nebude nutné nahrazovat kompenzační tlumivku, jelikož se tyto tlumivky navrhují na dvojnásobek svého jmenovitého výkonu. Jelikož kabelizace řeší pouze lokální problém, není bohužel tak jednoduché říci, zdali toto opatření je nejlepší možné řešení. Někomu by se mohlo zdát, že by bylo výhodnější investovat buďto do indikátorů poruch, či zařízení a vybavení provozních čt, jelikož by se tím snížila doba, která je potřebná pro lokalizaci a odstranění poruchy. Další variantou pak může být použití recloserů, či zajištění dodávky pomocí dieselgenerátorů pro důležité odběratele. Tyto opatření by pak byly vhodnější pro pokrytí rozsáhlejších tras. Co se týče nejlepšího technicko-ekonomického hodnocení, nelze jednoznačně říct, která z variant je nejvýhodnější. Ať už se jedná o odpínané či neodpínané svody, či varianty s úsečníky hned

u kabelizovaných úseků, či až na nejbližším stávajícím opěrném bodu. V místech, kde se v blízkosti kabelizovaného úseku nachází stávající úsekový odpínač, je zbytečné osazovat další, proto se může tento úsek odpínat již z tohoto stávajícího úsekového odpínače. Při uvažování odpínaného a neodpínaného svodu je zapotřebí určit, zdali chce provozovatel distribuční soustavy odpínat jednotlivé kabelové úseky, či provozovat variantu jeden odpínaný a jeden neodpínaný svod, která je samozřejmě levnější, ale neumožňuje v případě potřeby odpojit kabelové od venkovního vedení. Optimální varianty závisí na jednotlivých lokalitách a jejich technické vybavenosti a tudíž nelze jednoznačně říci, která varianta je nejvýhodnější, jelikož každému jednotlivému úseku může vyhovovat jiná varianta.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Elektrické ochrany. *Home.zcu.cz* [online]. Plzeň [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: [http://home.zcu.cz/~tesarova/EE2/Soubory/C3\\_Elektricke\\_ochrany.pdf](http://home.zcu.cz/~tesarova/EE2/Soubory/C3_Elektricke_ochrany.pdf)
- [2] HALUZÍK, E. Ochrany a automatiky v elektrických sítích, Vysoké učení technické v Brně, Brno 1985
- [3] HALUZÍK, E., WEIDIGER, L., KRÁTKÝ, M. Ochrany a jištění energetických zařízení. Vysoké učení technické v Brně, Brno 2003
- [4] Distribuční soustava, technická data. *Cezdistribuce.cz* [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: [//www.cezdistribuce.cz/cs/distribucni-soustava/technicka-data.html](http://www.cezdistribuce.cz/cs/distribucni-soustava/technicka-data.html)
- [5] Popis Distribuční soustavy E.ON Distribuce, a.s. *Eon-distribuce.cz* [online]. 2017 [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: <https://www.eon-distribuce.cz/o-nas/distribucni-soustava/technicke-informace/elektrina/-a12371?field=data>
- [6] TECHNICKÁ POLITIKA - ROZVOJ DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ A TECHNOLOGICKÝCH PRVKŮ V DSO: PŘÍLOHA č.5 – KONCEPCE VENKOVNÍCH SÍTÍ VN. *Cezdistribuce.cz* [online]. 2006 [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: [www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/technicke.../priloha-5.doc](http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/technicke.../priloha-5.doc)
- [7] Odpojovače, odpínače, vypínače VN. *Http://files.milanovo-misto.webnode.cz* [online]. [cit. 2017-11-20]. Dostupné z: <http://files.milanovo-misto.webnode.cz/200000449-0dca50ec42/14%20Odpojova%C4%8De%20odp%C3%ADna%C4%8De%20vyp%C3%A4Dna%C4%8De%20VN.pdf>
- [8] Protlaky Plzeň. *Protlaky-Plzeň* [online]. [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: <https://www.protlaky-plzen.cz/pluhovani>
- [9] Grym, R, Hochman, P., Machon, J. Bermann, J., Dohoň, B.: Chránění II, IRIS 2004
- [10] Princip distanční ochrany. *Courseware.zcu.cz* [online]. ZČU Plzeň [cit. 2017-11-27]. Dostupné z: [file:///C:/Users/David/Desktop/Princip\\_distancni\\_ochrany\\_Stepanek.pdf](file:///C:/Users/David/Desktop/Princip_distancni_ochrany_Stepanek.pdf)
- [11] Bc. Petr Šoustal. Ochrany venkovních vedení VN a jejich koordinace s automatizovanými úsečníky. Brno, 2009. 60 stran. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Ing. Jaroslava Orságová, Ph.D.
- [12] Tomáš Kocourek, František Štefek, Jozef Tomčík, Viktor Blažek, Ladislav Mikuláš. Principy budování sítí VN ve městech. Konference ČK CIRED 2012. Sekce č.5/referát č.3. Tábor 6. a 7.11.2012.
- [13] Jan Šefrámek. Vyhodnocení kvality dodávek elektřiny za rok 2016. Konference ČK CIRED 2017. Sekce č.5/referát č.7. Tábor 7. a 8.11.2017.

- [14] Pravidla provozování distribučních soustav: METODIKA URČOVÁNÍ NEPŘETRŽITOSTI DISTRIBUCE ELEKTŘINY A SPOLEHLIVOSTI PRVKŮ DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ. *Cezdistribuce.cz* [online]. 2016, Prosinec 2016 [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: [http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/ppds-2017\\_priloha-2.pdf](http://www.cezdistribuce.cz/edee/content/file-other/distribuce/energeticka-legislativa/ppds/ppds-2017_priloha-2.pdf)
- [15] Přenosová a distribuční soustava 3. část - dispečink, systémy chránění, komunikace a HDO. *Eon-distribuce.cz: Přenosová a distribuční soustava 3. část - dispečink, systémy chránění, komunikace a HDO* [online]. [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: <https://www.eon-distribuce.cz/o-nas/novinky/media/prenosova-a-distribucni-soustava-3-cast-dispecersky-ridici-system-systemy-chraneni-komunikace-a-hdo>
- [16] Přenosová a distribuční soustava 2. část - transformovny. *Eon-distribuce.cz: Přenosová a distribuční soustava 2. část - transformovny* [online]. [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: <https://www.eon-distribuce.cz/o-nas/novinky/media/prenosova-distribucni-soustava-2>
- [17] Přenosová a distribuční soustava 4. část - vedení vysokého a nízkého napětí VN NN. *Eon-distribuce.cz: Přenosová a distribuční soustava 4. část - vedení vysokého a nízkého napětí VN NN* [online]. [cit. 2017-12-05]. Dostupné z: <https://www.eon-distribuce.cz/o-nas/novinky/media/prenosova-a-distribucni-soustava-4-cast-vedeni-vysokeho-a-nizkeho-napeti-vn-nn>
- [18] TECHNICKÁ POLITIKA - ROZVOJ DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ A TECHNOLOGICKÝCH PRVKŮ V DSO: PŘÍLOHA č.4 – KABELOVÝCH ZEMNÍCH SÍTÍ VN. *Cezdistribuce.cz* [online]. 2006 [cit. 2017-12-05]
- [19] NKT Cables: 22-AXEKVCE. *Nkt cables - datasheets* [online]. [cit. 2018-01-010]. Dostupné z: [http://81.0.246.66/nkt\\_pk/datasheets\\_pdf/22-AXEKVCE.pdf](http://81.0.246.66/nkt_pk/datasheets_pdf/22-AXEKVCE.pdf)
- [20] MP Projekt: Příčný řez kabelovým výkopem. *Mprojekt.cz* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.mprojekt.cz/fotogalerie/>
- [21] PURET, Christian. MV public distribution networks throughout the world. 3/201992, s. 11-19.
- [22] Česká energetická společnost. *OCHRANA DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ NN, VN A 110 KV PŘED PŘEPĚTÍM*. Praha, Novotného lávka, 26.listopadu 2010. Praha, Novotného lávka, 2010.
- [23] Mapa DS. *Tzb-info.cz* [online]. [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/docu/texty/0002/000211o1.gif>

- [24] Siirto Osmo, Hyvärinen Markku, *Improving reliability in an urban network*. In: Electric power system research 120(2015). Pages 47-55.
- [25] Nahlížení do katastru nemovitostí. *Nahlížení do katastru nemovitostí* [online]. [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: <http://sgi.nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&MarExtent=-990320.44597457629%20-1239836%20-346646.55402542371%20-923033&MarWindowName=Marushka>
- [26] SCHNEIDER, Martin. Diplomová práce: <https://dspace5.zcu.cz/handle/11025/26847>. *Dspace5.zcu.cz: Kabelizace distribučních sítí a její dopady* [online]. Plzeň, 2017, 2017 [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/handle/11025/26847>
- [27] HEJČL, Josef. Školení pracovníků DS: Provedení elektrických venkovních a kabelových vedení z hlediska bezpečnosti. *Spolky.csvts.cz: Školení pracovníků DS* [online]. 9-10/2014 [cit. 2017-04-07]. Dostupné z: [http://spolky.csvts.cz/cenes/prezentace/skoleni\\_CEZ/vedeni\\_nn\\_vn\\_kabely.pdf](http://spolky.csvts.cz/cenes/prezentace/skoleni_CEZ/vedeni_nn_vn_kabely.pdf)
- [28] NKT Cables: 3-AHKCY. *Nkt cables - datasheets* [online]. [cit. 2018-01-010]. Dostupné z: [http://www.nkt.cz/fileadmin/user\\_upload/Products/Data\\_sheets/3-AHKCY\\_one\\_core+DS+CZ+EN.pdf](http://www.nkt.cz/fileadmin/user_upload/Products/Data_sheets/3-AHKCY_one_core+DS+CZ+EN.pdf)
- [29] NKT Cables: 6-AYKCY. *Nkt cables - datasheets* [online]. [cit. 2018-01-010]. Dostupné z: [http://81.0.246.66/nkt\\_pk/datasheets\\_pdf/6-AYKCY\\_3zil.pdf](http://81.0.246.66/nkt_pk/datasheets_pdf/6-AYKCY_3zil.pdf)
- [30] NKT Cables: 22-AXEKVCEY. *Nkt cables - datasheets* [online]. [cit. 2018-01-010]. Dostupné z: [http://www.nkt.com/fileadmin/user\\_upload/Products/Data\\_sheets/22-AXEKVCEY+DS+CZ+EN.pdf](http://www.nkt.com/fileadmin/user_upload/Products/Data_sheets/22-AXEKVCEY+DS+CZ+EN.pdf)
- [31] KABELYVODICE.CZ: NA2XS(F)2Y. [online]. [cit. 2018-01-010]. Dostupné z: [http://www.kabelyvodice.cz/kabely-vodice/09\\_na2xf2y.php](http://www.kabelyvodice.cz/kabely-vodice/09_na2xf2y.php)
- [32] Elektrické sítě. *Courseware.zcu.cz* [online]. Plzeň [cit. 2018-02-26]. Dostupné z: <https://courseware.zcu.cz/portal/studium/courseware/kee/pe/prednasky.html>

## Přílohy

### Příloha A - Výtah ze zápisu poruch pro poruchové úseky vývodu Olšina

- Výtah ze zápisu poruch pro úsek 636-756 (CK)

Porucha	t0-t1	t1-t2	t2-t3	Z1nn	Z2nn
1.	0	0	77	500	500
2.	0	0	25	481	481
3.	0	0	29	472	472

Z1vn	Z2vn	Čítatel SAIDI	Dřeviny	Izolátory
0	0	38 500,00	0	1
0	0	12 025,00	0	1
0	0	13 688,00	0	1

- Výtah ze zápisu poruch pro úsek 636-756 (CK)

Porucha	t0-t1	t1-t2	t2-t3	Z1nn	Z2nn
1.	0	0	36	263	263
2.	0	0	25	268	268
3.	3	78	145	2434	404
4.	2	1075	1177	2302	18

Z1vn	Z2vn	Čítatel SAIDI	Dřeviny	Izolátory
0	0	9 468,00	0	0
0	0	6 700,00	0	0
4	0	176 732,00	0	0
4	0	1 274 948,00	1	0

- Výtah ze zápisu poruch pro úsek 776-654-655 (CK)

Porucha	t0-t1	t1-t2	t2-t3	Z1nn	Z2nn
1.	0	0	136	54	54
2.	3	140	299	2414	228
3.	0	0	59	219	219
4.	4	595	839	30096	16880
5.	3	50	138	478	478

Z1vn	Z2vn	Čítatel SAIDI	Dřeviny	Izolátory
0	0	7 344,00	0	1
4	0	260 646,00	0	1
0	0	12 921,00	0	1
112	64	28 364 568,00	1	0
1	1	91 489,00	1	0

### Příloha B - Výtah ze zápisu poruch pro poruchové úseky vývodu Planá

- Výtah ze zápisu poruch pro úsek 145-642-644 (CK)

Porucha	t0-t1	t1-t2	t2-t3	Z1nn	Z2nn
1.	0	0	63	207	207
2.	66	170	783	2156	125
3.	4	104	272	1672	192
4.	0	0	31	114	114
5.	0	0	41	116	116
6.	0	0	31	175	175
7.	3	34	50	1574	395
8.	0	0	45	120	120
9.	0	0	45	36	36

Z1vn	Z2vn	Čítatel SAIDI	Dřeviny	Izolátory
1	1	13104,00	0	1
11	0	435717,00	0	1
13	0	156568,00	0	1
0	0	3534,00	0	1
0	0	4756,00	0	1
0	0	5425,00	1	0
11	5	58500,00	1	0
0	0	5400,00	0	1
0	0	1620,00	0	1



## - Výtah ze zápisu poruch pro úsek 651-652-965 (CK)

Porucha	t0-t1	t1-t2	t2-t3	Z1nn	Z2nn
1.	0	0	45	13	13
2.	0	0	158	13	13
3.	0	0	86	1355	1355
4.	0	0	92	21	21
5.	3	78	143	1548	310
6.	0	0	24	255	255
7.	2	313	485	1662	337
8.	6	12	86	1556	1170
9.	2	80	312	1573	320
10.	3	76	152	1579	322

Z1vn	Z2vn	Čítatel SAIDI	Dřeviny	Izolátory
0	0	585,00	0	1
0	0	2 054,00	0	1
8	8	117 218,00	0	1
0	0	1 932,00	1	0
9	0	121 814,00	0	1
0	0	6 120,00	0	1
9	0	481 039,00	0	1
10	5	126 892,00	1	0
10	1	179 478,00	0	1
10	1	126 519,00	0	1

## - Výtah ze zápisu poruch pro úsek 647-648-658 (CK)

Porucha	t0-t1	t1-t2	t2-t3	Z1nn	Z2nn
1.	0	0	107	1	1
2.	0	0	233	95	95
3.	2	77	210	1590	85

Z1vn	Z2vn	Čítatel SAIDI	Dřeviny	Izolátory
1	1	214,00	0	1
2	2	22 601,00	0	1
10	2	86 419,50	0	1