



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta elektrotechniky
Katedra elektroenergetiky**

**Spolehlivost dodávky elektrické energie v kabelových sítích distribuční
soustavy**

Reliability of electricity delivery in underground lines of distribution grid

Diplomová práce

Studijní program: Magisterský

Studijní obor: Elektrotechnika, energetika a management

Vedoucí práce: doc. Ing. Radek Procházka, Ph.D.

Bc. Jan Branný

Praha 2018



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Branný** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **425650**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra elektroenergetiky**
Studijní program: **Elektrotechnika, energetika a management**
Studijní obor: **Elektroenergetika**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Spolehlivost dodávky elektrické energie v kabelových sítích distribuční soustavy

Název diplomové práce anglicky:

Reliability of electricity delivery in underground lines of distribution grid

Pokyny pro vypracování:

1. Popis systému kabelových sítí a rozvodu distribuční soustavy, metod výpočtu celosystémových spolehlivostních ukazatelů a systémů údržby a diagnostiky kabelových sítí
3. Analýza poruchovosti kabelových sítí z dlouhodobého hlediska, stanovení četnosti poruch
4. Vliv obnovy prvků kabelové sítě a aplikace inteligentních sítí na spolehlivostní ukazatele, provedení výpočtu spolehlivostních ukazatelů na části kabelové sítě

Seznam doporučené literatury:

- [1] Tůma, J., Rusek, S., Martínek, Z. et al., Spolehlivost v elektroenergetice, CONTE ČVUT Praha
- [2] Brown, R. E., Electric power distribution reliability, second edition, CRC Press, 2008

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Radek Procházka, Ph.D., katedra elektroenergetiky FEL

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **10.02.2018**

Termín odevzdání diplomové práce: **25.05.2018**

Platnost zadání diplomové práce: **30.0**

doc. Ing. Radek Procházka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Abstrakt

Předkládaná práce se zabývá spolehlivostí kabelové sítě. Klade si za cíl vyzdvihnout důležité principy pro zlepšování spolehlivosti kabelové sítě a používání jednotlivých nástrojů na snižování poruchovosti. Dále bude vysvětleno, jaké mají jednotlivé nástroje a možnosti tzv. chytrých sítí vliv na ukazatele SAIFI a SAIDI.

Klíčová slova

Kabel, spojky, koncovky, SAIFI, SAIDI, částečné výboje, analýza, poruchovost, chytré sítě

Abstract

This thesis deals with reliability of the cable network. The main goal is to highlight important principles for improving reliability of this network and also the usage of individual tools for reducing failure rates. It will be also explained how individual tools and possibilities of so called smart grids have an impact on SAIFI and SAIDI.

Key words

Cable, joint, termination, SAIFI, SAIDI, partial discharge, analysis, fault, smart grid

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne

.....

Jan Branný

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Radkovi Procházkovi, Ph.D., za připomínky a metodické vedení práce. Dále společnosti PREdistribuce, a. s., za podporu ve studiu a přípravě diplomové práce. A v neposlední řadě své rodině, která se mnou celé studium prožívá.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM ZKRATEK	10
ÚVOD.....	11
1 SYSTÉM KABELOVÝCH SÍTÍ A ROZVODEN.....	12
1.1 DRUHY KABELOVÉHO SILNOPROUDÉHO ROZVODU	12
1.1.1 <i>Papřskový rozvod</i>	12
1.1.2 <i>Okružní rozvod</i>	13
1.1.3 <i>Mřížový rozvod</i>	13
1.2 KABELY VN	13
1.2.1 <i>Kabely PILC</i>	14
1.2.2 <i>Kabely XLPE</i>	15
1.3 KABELY NN	17
1.4 KABELOVÉ SOUBORY	18
1.4.1 <i>Spojky vn</i>	18
1.4.2 <i>Koncovky vn</i>	20
1.4.3 <i>Spojky nn</i>	21
1.5 ELEKTRICKÉ STANICE.....	21
1.5.1 <i>Rozvodny</i>	23
1.5.2 <i>Rozpínací stanice</i>	23
1.5.3 <i>Transformační stanice</i>	23
1.5.4 <i>Měničny</i>	23
1.6 KABELOVÉ TUNELY A KOLEKTORY.....	23
2 METODY VÝPOČTU CELOSYSTÉMOVÝCH SPOLEHLIVOSTNÍCH UKAZATELŮ.....	25
2.1 SAIFI (SYSTEM AVERAGE INTERRUPTION FREQUENCY INDEX)	25
2.2 SAIDI (SYSTEM AVERAGE INTERRUPTION DURATION INDEX).....	26
2.3 CAIDI (CUSTOMER AVERAGE INTERRUPTION DURATION INDEX)	26
2.4 ZLEPŠOVÁNÍ HODNOT SAIFI, SAIDI	26

2.4.1	SAIFI	26
2.4.2	SAIDI.....	27
3	SYSTÉM ÚDRŽBY KABELOVÝCH SÍTÍ A DIAGNOSTIKA KABELŮ	28
3.1	ÚDRŽBA ELEKTRICKÝCH STANIC	28
3.2	ÚDRŽBA KABELŮ.....	29
3.2.1	Plášťová zkouška	29
3.2.2	VN zkoušky.....	29
3.3	DIAGNOSTIKA KABELŮ	31
3.3.1	Diagnostika částečných výbojů.....	31
3.3.2	Měření částečných výbojů	34
3.3.3	Ukázka praktického použití v PREDistribuci, a.s. na kabelech 22 kV	36
3.4	ZAŘAZOVÁNÍ PRVKŮ KABELOVÉ SÍTĚ DO OBNOVY.....	44
3.4.1	Parametry pro zařazování prvků do obnovy.....	44
3.4.2	Priority podle parametrů	45
4	ANALÝZA PORUCHOVOSTI KABELOVÝCH SÍTÍ Z DLOUHODOBÉHO HLEDISKA..	46
4.1	ANALÝZA PORUCHOVOSTI	46
4.2	STANOVENÍ ČETNOSTI PORUCH	46
4.3	ANALÝZA PORUCHOVOSTI V PREDISTRIBUCI, A. S.	47
4.3.1	Vývoj poruchovosti na kabelech 22 kV v období 2000-2017	47
4.3.2	Poruchovost spojek vn	48
4.3.3	Poruchovost koncovek vn	49
4.3.4	Poruchovost podle stáří prvku	50
4.3.5	Intenzita poruchovosti	51
5	VLIV OBNOVY PRVKŮ KABELOVÉ SÍTĚ A APLIKACE INTELIGENTNÍCH SÍTÍ NA	
	SPOLEHLIVOSTNÍ UKAZATELE	52
5.1	VLIV OBNOVY KABELOVÉ SÍTĚ NA SPOLEHLIVOSTNÍ UKAZATELE.....	52
5.2	VLIV INTELIGENTNÍCH DISTRIBUČNÍCH SÍTÍ NA SPOLEHLIVOSTNÍ UKAZATELE	52
5.3	VÝPOČET SPOLEHLIVOSTNÍCH UKAZATELŮ NA ČÁSTI KABELOVÉ SÍTĚ PREDISTRIBUCE, A. S. ..	53
5.3.1	Vývod bez inteligentních trafostanic	53

5.3.2	<i>Vývod s jednou inteligentní trafostanicí</i>	54
5.3.3	<i>Vývod s dvěma inteligentními trafostanicemi</i>	55
5.3.4	<i>Shrnutí výpočtů</i>	56
6	ZÁVĚR	57
	SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	58

Seznam zkratk

nn	Nízké napětí
vn.....	Vysoké napětí
XLPE.....	Izolace se zesíťovaného polyetylénu
PILC.....	Izolace z papíru napuštěný olejem
PVC.....	Izolace z polyvinylchloridu
DS	Distribuční soustava
ERÚ.....	Energetický regulační úřad
SAIFI.....	Spolehlivostní ukazatel
SAIDI.....	Spolehlivostní ukazatel
SCADA.....	Dispečerský řídicí systém
VLF.....	Typ vn zkoušky s velmi nízkou frekvencí 0,1 Hz
GIS	Geografický informační systém
GPS	Globální poziční systém

Úvod

Tato práce se zabývá nástroji na zlepšování spolehlivosti kabelové sítě a vysvětluje, jaké důsledky tyto nástroje mají na spolehlivostní ukazatele. V první části jsou představeny používané kabely, kabelové soubory a elektrické stanice a krátce jsou vysvětleny možné topologie sítě. Druhá část obsahuje popis celosystémových spolehlivostních ukazatelů a způsoby jejich možného zlepšování. Třetí část vysvětluje postupy v údržbě kabelové sítě a způsob obnovy jednotlivých prvků. Dále vysvětluje přínos diagnostiky částečných výbojů včetně příkladu použití diagnostiky částečných výbojů v reálné síti. Čtvrtá část se věnuje analýze poruchovosti a stanovení četnosti poruch. Následuje ukázka analýzy skutečné distribuční sítě v dlouhodobém horizontu. Pátá část se zabývá vlivem obnovy kabelové sítě a aplikací inteligentních prvků na spolehlivostní ukazatele a ukázkou výpočtu jednotlivých ukazatelů.

1 Systém kabelových sítí a rozvoden

Kabelovou sítí se rozumí soubor vzájemně propojeného podzemního vedení. V některých případech je možné provozovat kabelovou síť jako nadzemní pomocí závěsných kabelů. Kabelové sítě se obvykle nacházejí ve městech, kde není prostor na venkovní vedení. Podzemní vedení je náročnější na finanční prostředky, ale má větší spolehlivost, jelikož není vystaveno povětrnostním vlivům a jiným druhům namáhání. Kabelová vedení se začínají objevovat i mimo města z důvodů územně-právních a majetkoprávních podmínek a také z důvodů kvalitativních hledisek dodávky.

Kabelové sítě jsou součástí distribučních soustav. Distribuční soustava je soubor vedení a elektrických stanic o napětí 0,4/0,23kV, 1,5 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV, 25 kV, 35 kV a 110 kV, vyjma vedení 110 kV, které jsou součástí přenosové soustavy. [1] Tento soubor slouží k zajištění distribuce elektřiny na celém území ČR.

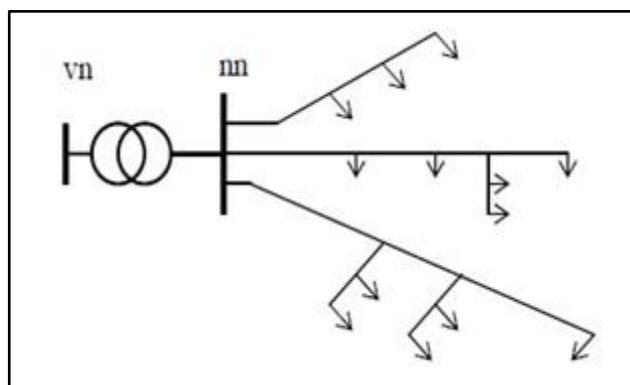
Kabelová síť se skládá z jednotlivých kabelů a jejich kabelových souborů, rozvoden, rozpínacích stanic, transformačních stanic a ve větších městech ze sítě kabelových tunelů a kolektorů.

1.1 Druhy kabelového silnoprůdého rozvodu

Kabelové sítě je možné zapojit do několika druhů rozvodů, uvádím zde základní druhy. Další rozvody principiálně vycházejí z níže uvedených nebo jsou jejich kombinacemi. Liší se od sebe mírou spolehlivosti a vynaložených finančních prostředků. Spolehlivější rozvod rovná se dražší rozvod. Jednotlivé rozvody jsou určeny pro vedení vn i nn.

1.1.1 Paprskový rozvod

Paprsková síť je napájena z jednoho přívodního transformátoru v transformační



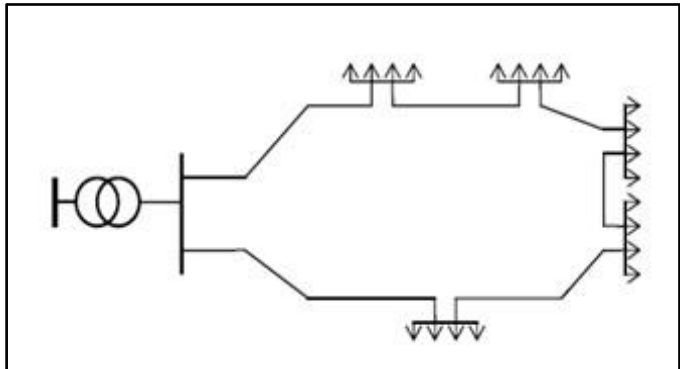
stanici. Jednotlivé paprsky se nikde nespojují. Tento způsob zapojení je velice jednoduchý a levný. Při poruše na paprsku dojde k vyřazení všech odběratelů na paprsku. Nelze použít záložní zdroj. Z pohledu spolehlivosti se

Obrázek 1- Paprskový rozvod

jedná o málo spolehlivou síť hodící se do menších měst nebo vesnic.

1.1.2 Okružní rozvod

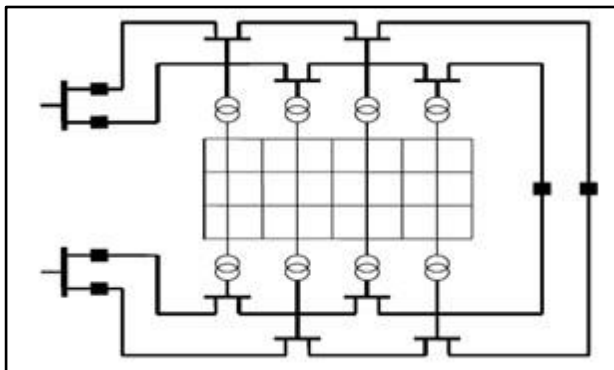
Napájení tohoto rozvodu je možné ze dvou zdrojů. Vedení je navrženo jako rozpojený kruh. Výhoda je, že v případě poruchy je možné napájet vedení z druhé strany. Tím se zvýší spolehlivost sítě. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady.



Obrázek 2 - Okružní rozvod

1.1.3 Mřížový rozvod

Mřížová síť se vyznačuje stejným průřezem všech kabelů, které jsou pospojeny do čtverců (mříže) a ve vybraných uzlových bodech napájeny z transformační stanice. Napájení se provádí 3-5 transformátory. Při použití pouze dvou transformátorů je napájení labilní. [5]



Obrázek 3 - Mřížový rozvod

Tento rozvod se hodí do hustě obydlených oblastí města a nebo průmyslové oblasti. Mřížový rozvod při své velké variabilitě napájecích cest zajišťuje velkou spolehlivost dodávky elektrické energie. Tato vysoká spolehlivost je vykoupena vysokými pořizovacími náklady a nutností zajistit pravidelnou kontrolu sítě.

1.2 Kabely vn

Jsou základním článkem kabelové sítě a zajišťují propojení elektrických stanic, napojení zdrojů na kabelovou síť a připojení odběratelů elektrické energie. Kabely provozované v distribučních soustavách se dají rozdělit na dva typy podle izolace jader. Starší konstrukce kabelu, která je založena na ovíjení vodiče papírovou izolací, která je napuštěná

impregnačním olejem, je označována jako PILC. Novější konstrukce kabelu, kdy se na vodič nanáší vrstva zesíťovaného polyetylénu je označován jako XLPE. Typ kabelu XLPE postupně nahrazuje starší typ kabelu PILC.

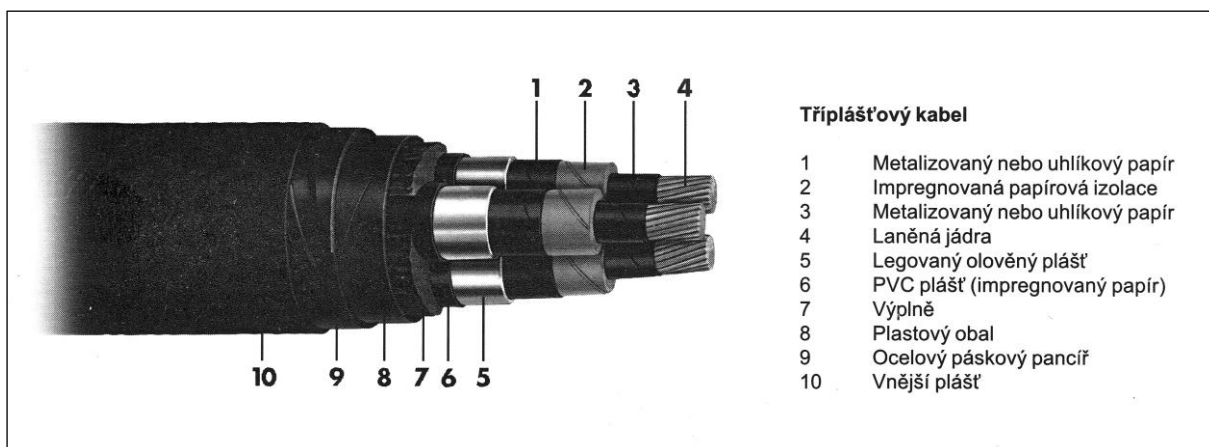
Pokládka kabelů se provádí do výkopu s pískovou vrstvou o mocnosti 80 mm [2] pod i nad kabelem. Na písek se pokládají betonové nebo plastové desky. V náročnějších podmínkách se kabely ukládají do betonových žlabů nebo plastových trubek. Kabely vn (10-35 kV) se pokládají v chodníku, ve volném terénu i v silnici nebo v krajnici do hloubky 1 m. [2]

1.2.1 Kabely PILC

Základem této konstrukce kabelu je papír, který je vysušen a posléze naimpregnován olejem. Takový materiál nenavlhá, je tepelně odolný a má dobré izolační vlastnosti.

Na jednotlivé žíly z měděných nebo hliníkových drátků se navijí impregnovaný papír ve vrstvách bez mezer, aby se zamezilo vzniku částečných výbojů. Jako první a poslední vrstva papírové izolace se přikládá uhlíková nebo hliníková děrovaná páska pro řízení elektrického pole. Žíly jsou dále opláštěny nejběžněji olovem, které brání vniku vody a jiných korozivních materiálů do izolace. Další vrstvy zvyšují odolnost kabelu podle uložení kabelu.

Nejpoužívanějším kabelem typu PILC je kabel ANKTOYPVs. Technologie výroby tohoto kabelu je dobře zvládnutá a v distribučních sítích slouží od konce 60. let 20. stol. do dnešních dnů. Pojdme se podrobněji seznámit s jednotlivými vrstvami tohoto kabelu.



Obrázek 4-Kabel PILC

ANKTOYPVs – hliníkové žíly kabelu (A), které jsou obaleny napuštěným papírem s migrujícím impregnátem (N); jedná se o kabel (K) se samostatně opláštěnými žílami (T)

olovem (O) se souvislým bezešvým obalem z PVC (Y) s pancířem ze dvou pásků včetně asfaltem napuštěné tkaniny (P), celé je to zakryté vláknitým asfaltovým obalem (V), (s) označuje zesílení jednotlivých vrstev pro větší odolnost kabelu.

Další možné kombinace jednotlivých vrstev opláštění kabelu naznačuje tabulka 1.

Jádro	A	Hliníkové
	C	Měděné
Izolace	N	Napuštěný papír „migrující impregnat“
	M	Napuštěný papír „nemigrující impregnat“
	Y	Měkčený PVC
	G	Kaučukový vulkanizát
	E	Polyetylén
Kabel	K	Silnoprůdný kabel
Plášť	A	Hliník
	O	Olovo (99,9%)
	Q	Slitina olova (legované olovo)
	Y	Měkčený PVC
	U	Vulkanizát z chloroprenového kaučuku
	T	Samostatné opláštěné žíly
Obaly nad pláštěm	J	Asfaltem napuštěná tkanina
	V	Vláknitý asfaltový obal
	B	Asfaltem napuštěná tkanina a dva nebo tři pásy z měkčeného PVC
	Y	Souvislý bezešvý obal z měkčeného PVC
	P	Pancíř z dvou pásků včetně asfaltem napuštěné tkaniny
	D	Pancíř z drátů včetně asfaltem napuštěné tkaniny
	Z	Pancíř z nemagnetických drátů (pro jednožilové kabely na střídavý proud)

Tabulka 1 - Značení kabelů PILC [3]

1.2.2 Kabely XLPE

Izolace tohoto typu kabelu je tvořena polyetylenem. Vlastnosti tohoto polymeru jsou zásadně vylepšeny jeho zesíťováním, při kterém dochází ke křížovému propojení lineárních makromolekul. Zesíťování polyetylenu se provádí ozařováním nebo chemicky. Díky této úpravě je materiál odolnější vůči tepelnému namáhání a udržuje si své vlastnosti v širokém spektru teplot. Jednotlivé vrstvy se musí nanášet v ose kabelu rovnoměrně, aby nedocházelo ke zvyšování intenzity elektrického pole v místech se slabší vrstvou izolace.

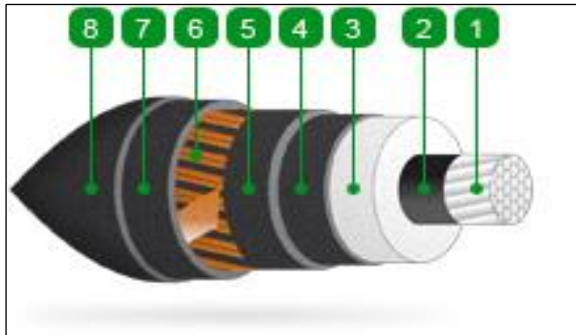
Na žílu z hliníkových nebo měděných drátků je vytlačována polovodivá vrstva s úpravou zabraňující podélné šíření vody. Tloušťka vnitřní polovodivé vrstvy nesmí být méně

než 0,3 mm. [4] Dále se nanese vrstva zesíťovaného polyetylenu a vnější polovodivá vrstva na řízení pole, která má mít šířku 0,3-0,6 mm. [4] Povrch na rozhraní mezi jednotlivými vrstvami musí být hladký a bez výstupků. Přímo na vnější polovodivou vrstvu se pokládá měděné stínění, které musí mít kontakt s polovodivou vrstvou. Další vrstvy nad stíněním zvyšují odolnost kabelu, které jsou naznačeny v tabulce 2.

Jádro	A	Hliníkové jádro
	C	Měděné jádro
	AV	Hliníkové vodotěsné
	CV	Měděné vodotěsné
Izolace	XE	Zesíťovaný polyetylén
Kabel	K	Silnoproudý kabel
Stínění	C	Měděné kovové stínění
	VC	Měděné kovové stínění s ochranou proti podélnému šíření vody pod pláštěm
Kabel typu AIRBAG	(AR)	Ochranná vrstva pod pláštěm proti mechanickému poškození
Plášť	Y	PVC plášť
	E	Plášť z PE
	ER	Plášť PE retardovaný proti ohni
	EER	Plášť PE + PE retardovaný proti ohni
	EY	Kombinovaný plášť PE + PVC
	VE	Vodotěsný plášť s Al fólií
	OY	Olověný plášť s PVC ochrannou vrstvou
Závěsný kabel	Z	Za posledním písmenem značky

Tabulka 2 - Značení kabelů XLPE [4]

Na obrázku 2 je běžně používaný kabel 22-AXEKVCEY. Kabel je vybaven nad stíněním vodoodpudivou vrstvou a dalšími vrstvami z PE a PVC jako dodatečná ochrana kabelu.



Obrázek 5 - Kabel 22-AXEKVCEY

- 1 AL jádro kulaté lanované (A)
- 2 Dolní vytlačovaná polovodivá vrstva
- 3 Izolace XLPE (XE)
- 4 Horní vytlačovaná polovodivá vrstva
- 5 Polovodivá vodu blokující páska
- 6 Měděné kovové stínění s ochranou proti podélnému šíření vody pod pláštěm (VC)
- 7 PE plášť černý (E)
- 8 Ochranný plášť z PVC (Y)

1.3 Kabely nn

Kabelová síť nn slouží k distribuci elektrické energie koncovým zákazníkům. Konstrukce kabelů je vzhledem k nízkému provoznímu napětí jednoduchá. Nejběžnější typ celoplastového kabelu se používá s označením AYKY nebo CYKY.

Uložení kabelů nn v zemi se provádí ve výkopu s pískovým ložem o mocnosti 80 mm [2] pod a nad kabelem. Na vrstvu písku se klade výstražná folie nebo plastové desky. Kabely nn se pokládají v chodníku v hloubce 700 mm, ve volném terénu v hloubce 350 mm a v silnici nebo v krajnici v hloubce 1000 mm. [2]

Kabel AYKY/CYKY – Jsou to zemní kabely s PVC izolací a PVC pláštěm. Základem jsou



lanované nebo plné vodiče z mědi nebo hliníku. Jádra jsou obalena izolací z PVC a stočena do duše kabelu. Celá duše kabelu je obalena plastovou páskou nebo výplňovou gumou. Vrchní ochranný plášť je z černého PVC, které je odolné proti UV záření.

Obrázek 6 - Kabel CYKY

1.4 Kabelové soubory

Některé kabelové trasy jsou velmi dlouhé a položení takové trasy v jednom kuse bez přerušení kabelu není možné. Kabely je možné vyrábět teoreticky jako nekonečné za předpokladu, že je zajištěn dostatečný přísun surovin, ale hlediska dopravy to nelze. Kabely se dopravují na cívkách a na ně je možné uložit omezené množství kabelu. Tento problém je řešen průběžným spojováním kabelu pomocí spojek. Principem je spojování žil spojovačem, který je lisován nebo stahován trhacími šrouby. Spojovač je překryt vysokonapěťovou izolací s řízením elektrického pole a krycím pláštěm. Spojky rozdělujeme podle konstrukce spojovaných kabelů.

Kabely vn je nutné ukončovat pomocí speciálních koncovek. Slouží k napojování kabelů např. do rozvaděčů vn nebo k transformátorům. Principem je ukončit kabel, zabránit svodu el. proudu a vyhladit el. pole po odstranění polovodivé vrstvy. Konstrukčně lze rozdělit také podle konstrukce kabelů.

1.4.1 Spojky vn

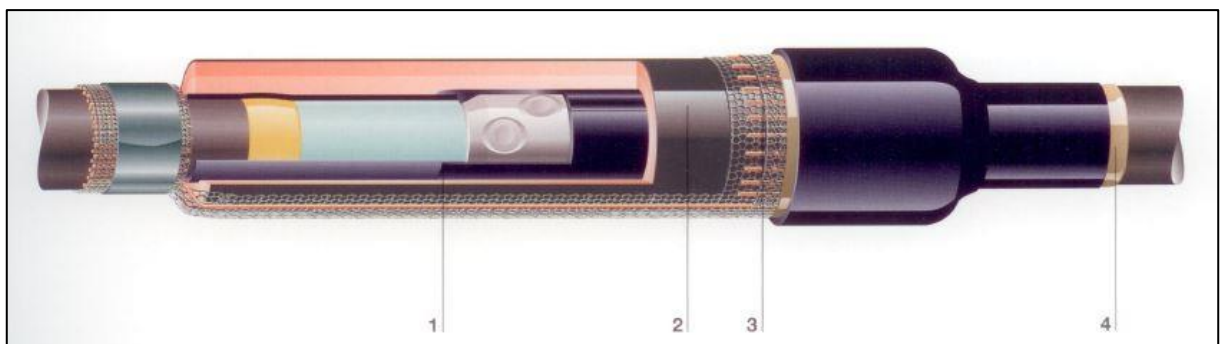
Dají se rozdělit na spojky pro konstrukci kabelů PILC, spojky pro konstrukci kabelů XLPE a spojky tzv. přechodové, které spojují kabely obou konstrukcí.

Spojky PILC – dnes již dožívají a tato technologie je nahrazována. I přesto zařadím pár řádek, jak se tyto spojky montovaly. Spojování kabelů PILC nebylo jednoduché a bylo potřeba jisté zručnosti a dovednosti. *Po spojení žil se spojovač ovinul několika vrstvami olejem impregnovaných papírků, papírky se uzavřely olověnou vložkou, všechny tři fáze se vložily do litinového tělesa a zalily se kabelovou izolační hmotou. Výhodou této technologie je, že umožňuje migraci oleje v papírové izolaci kabelu.* [6]



Obrázek 7- Spojka na kabelu PILC

Spojky XLPE – tento typ spojky začíná v kabelových sítích převládat. Dochází k postupné výměně kabelů PILC za XLPE a tím i spojek. Montáž tohoto typu spojky je jednoduchá a rychlá díky prefabrikovaným dílům. Spojky jsou jednofázové a odpadá společné pouzdrění jednotlivých fází. Na spojovač (1) je nanесena vysokonapěťová izolace v podobě prefabrikátu s polovodivými vrstvami pro řízení el. pole (2) a spojí se stínění měděnou sítkou pomocí měděných per (3). Nakonec se spojka uzavře ochranným pláštěm, který je teplem smrštitelný nebo je předepjatý a smrští se za studena (4). Výhodou je rychlá a jednoduchá montáž.



Obrázek 8-Spojka na kabelu XLPE

Přechodové spojky – ukončením výroby PILC kabelů a pokládkou nových tras v kabelech XLPE vznikla potřeba spojování kabelů různých konstrukcí. Tato situace dala vzniknout tzv. přechodovým spojkám. Zvláště pro kabely PILC není tato situace dobrá. Tyto spojky a následně i kabely XLPE zabraňují v migraci kabelového oleje. V případě oboustranného uzavření není možnost doplňování oleje z koncovek a hrozí tu zvýšené riziko poruchy. *Existují dvě technologie přechodových spojek. Novější technologie je založena na plastových*

prefabrikátech tvořících jednotlivé vrstvy spojky, které jsou postupně smršťovány. Starší technologie je založena na postupném navíjení jednotlivých vrstev izolačními páskami. [6]

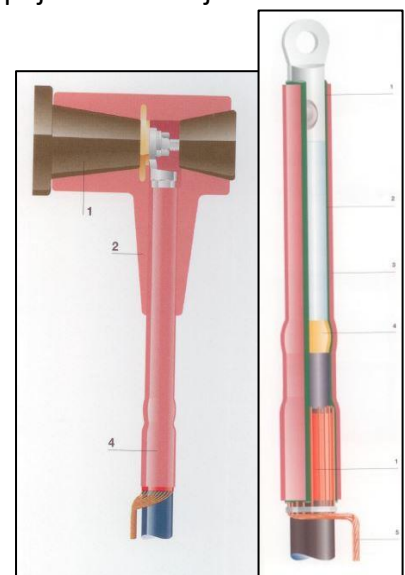


Obrázek 9 - Přechodová spojka

1.4.2 Koncovky vn

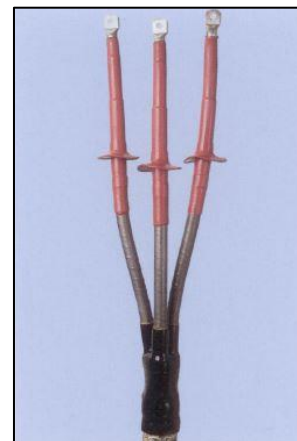
Koncovky slouží k zajištění vhodné vzdálenosti mezi jádrem a stíněním, aby nedošlo k přeskoku. Zároveň zajišťují řízení elektrického pole po odstranění polovodivých vrstev z kabelu, aby zde nedocházelo k vysokým hodnotám intenzity elektrického pole, která způsobuje zvýšené elektrické namáhání izolace a tím může dojít k poruše. Koncovky se využívají pro obě konstrukce kabelů, jak PILC, tak i XLPE. Funkce těchto koncovek je stejná pouze se liší konstrukcí kabelů.

Koncovky na kabelu XLPE – vyrábí se mnoho typů, ale konstrukčně jsou podobné. Dráty stínění jsou ukončeny v těsnící hmotě, polovodivá vrstva je ukončena páskou, která vyhlazuje el. pole. Na žíle je nalisováno kabelové oko pro připojení. Celé to je zakryto izolační trubící, která je odolná vůči svodovým proudům. Vnitřní strana trubice je pokryta těsnící a el. pole řídící hmotou. Izolační trubice zajišťuje utěsnění a izolaci mezi kabelovým okem a koncem pláště. Podle napětí je smrštěn na izolační trubici potřebný počet stříšek. Rostoucí obliba zapouzďených rozvaděčů si vyžádala vývoj izolačních adapterů tzv. T – adapterů, kdy se na výše uvedenou koncovku nasune stíněný výlisek ze silikonové pryže. Výhodou je, že se koncovka vejde i do stíněného prostoru kobky zapouzďeného rozvaděče vn a zkouška vn kabelu lze provést bez demontáže koncovky.



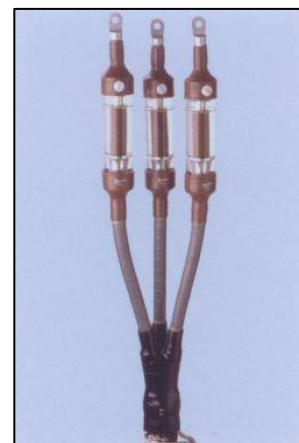
Obrázek 10 - Koncovky XLPE

Koncovky s plastovou izolací na kabelu PILC – Tyto koncovky jsou vhodné pro kabely PILC s nestékavým impregnátem. Na jednotlivých žilách je nejdříve nutné zamezit úniku impregnátu z papírové izolace. To je provedeno výplňovou páskou na konci olověného pláště a plastovou smrštitelnou trubicí od kabelového oka až po olověný plášť, která impregnat utěsní. Dále jsou nanесeny trubice a pásy na řízení pole a na závěr je smrštěna izolační trubice s potřebným počtem stříšek. Výhoda je v možnosti instalace PILC kabelu do zapouzdřeného rozvaděče. Plášť je uzemněn pomocí kruhových měděných per.



Obrázek 11-Koncovka na kabelu PILC

Koncovky se zásobníky impregnátu na kabelu PILC – Tyto koncovky jsou vhodné pro kabely PILC se stékavým impregnátem. V místě ukončení kovového pláště je osazen kovový deflektor, který je uchycen k olověnému plášti. Mezi deflektor a kabelové oko se vloží skleněný izolátor. Po obou stranách skleněného izolátoru jsou umístěny teplem smrštitelné díly opatřené lepidlem pro utěsnění na kabelovém oku a kabelovém plášti. Po montáži se koncovka naplní impregnátem. Výhoda je, že dochází k doplňování impregnátu do kabelu a nedochází k vysoušení části kabelu přímo pod koncovkou. Plášť je uzemněn pomocí kruhových měděných per.



Obrázek 12-Koncovka na kabelu PILC

1.4.3 Spojky nn

Konstrukce je jednoduchá, jelikož provozované napětí 400/230 V neklade zvýšené nároky na izolaci. Jednotlivé žíly jsou spojeny spojovačem. Spojovač je překryt za tepla smrštitelnou trubicí. Vrchní plášť je řešen také za tepla smrštitelnou trubicí, která zakrývá všechny žíly a uzavírá celé tělo spojky.

1.5 Elektrické stanice

V kabelové síti jsou vytvořeny uzlové body v místech, kde se spojují jeden nebo více

kabelů. Některé uzlové body mohou být koncipovány jako zdroje s dodávkou energie do sítě, které se nazývají napáječe [7] nebo je v uzlu soustředěn odběr elektrické energie a pak se jedná o distribuci elektrické energie.

Uzlové body nazýváme elektrické stanice. *Elektrické stanice jsou uzlová zařízení různého rozsahu, která slouží k rozvádění elektrické energie v jedné napěťové hladině, nebo k transformaci elektrické energie na napětí vhodné k přenosu či distribuci energie, nebo k přeměně elektrické energie o střídavém napětí na energii s napětím stejnosměrným a k jejímu rozvodu a distribuci.* [7]

Nejdůležitější součástí elektrických stanic jsou přípojnice. Na zvoleném systému přípojnic závisí i spolehlivost. V případě poruchy na přípojnicích může dojít k vyřazení z provozu části nebo všech vývodů z rozvodny.

Z důvodů vyšší spolehlivosti se elektrické stanice osazují nejen jednoduchým systémem přípojnic, ale i dvojitým nebo trojitým systémem přípojnic. Přípojnicové systémy lze doplnit pro zlepšení spolehlivosti o podélné dělení nebo o pomocné přípojnice.

Jednoduchý systém přípojnic – používá se nejčastěji na napěťových hladinách nn a vn do 10kV a pro 22kV a 35kV je použití méně obvyklé. [7] Nejjednodušší provedení přípojnic je ekonomicky výhodné, ale lze ho použít jen tam, kde není třeba zajišťovat náhradní dodávku elektrické energie. Z hlediska spolehlivosti dodávky elektrické energie je tento systém nejméně spolehlivý.

Dvojitý systém přípojnic – používá se v místech, kde je nutné oddělit dva zdroje od sebe a zároveň se zde nachází větší množství vývodů. Oba zdroje se mohou vzájemně doplňovat při výpadku napájení jednoho z nich. Ekonomicky je toto řešení náročnější, ale je tu možnost zálohy v případě poruchy.

Trojitý systém přípojnic – tento systém se používá v největších rozvodnách. Jedná se o velké a složité rozvodny, kde je velké množství přívodů a vývodů. Pomocí trojitého systému přípojnic je možné provozovat odděleně několik úseků přípojnic, což slouží k rovnoměrnému rozdělení výkonu v rozvodně. Spolehlivost u tohoto systému je vysoká a zdroje je možné vzájemně nahrazovat v případě poruchy.

Podélné dělení a pomocná přípojnice – podélné dělení slouží k rozdělení přípojnicového systému na dva a více sekcí, což umožňuje provozování nezávisle několik částí rozvodny a v případě poruchy přepnout na jiný vývod. Pomocná přípojnice je záložní

system, který se používá na převedení výkonu do jediného vývodu v případě poruchy nebo revize výkonového vypínače vývodu. Oba systémy doplňují výše uvedené systémy přípojníc a zvyšují jejich spolehlivost.

1.5.1 Rozvodny

Jsou to rozsáhlé uzlové celky, které mají funkci hlavního uzlového bodu v kabelové síti. Je zde soustředěna transformace napětí z úrovně zvn, vvn na úroveň vn. Rozvodny jsou koncipovány v síti jako zdroje elektrické energie. Může zde být umístěna i transformace na úroveň nn a zajišťovat tak distribuci elektrické energie. Distribuce elektrické energie může být prováděna i na vyšších hladinách tedy vvn a vn.

1.5.2 Rozpínací stanice

Jsou to uzlové body, kde nedochází k transformaci elektrické energie, ale pouze k rozdělování energie do různých větví kabelové sítě. Může zde být i část distribuční, kde dochází k transformaci na úroveň nn nebo se provádí distribuce elektrické energie pouze z úrovně vn.

1.5.3 Transformační stanice

Jedná se o distribuční stanice, kde probíhá transformace z úrovně vn na nn. Dochází zde k rozvětvení nn sítě, která dopravuje elektrickou energii ke koncovým zákazníkům.

1.5.4 Měničny

V těchto stanicích dochází k přeměně střídavé energie na stejnosměrnou energii nebo naopak. Může se zde měnit energie ze standardního kmitočtu sítě na energii jiného kmitočtu. Měničny se využívají pro napájení stejnosměrné trakce, jako koncové body dálkových vedení nebo napájení průmyslových technologických procesů.

1.6 Kabelové tunely a kolektory

Ve velkých městech se mohou kabely ukládat do kabelových tunelů nebo kolektorů. Potřeba těchto nákladných podzemních staveb vychází z nedostatku prostoru v chodnících a lepší dostupnosti kabelů v případě poruchy nebo výměny. Kabely jsou v těchto stavbách

umístěny na kabelových lávkách. Tyto stavby velkou měrou zvyšují spolehlivost kabelového vedení, jelikož uložené kabely nejsou vystaveny náročným podmínkám v podzemí a v neposlední řadě je minimalizována možnost cizího zásahu při výkopových pracích.

Kabelové tunely – jsou to hlubinné stavby v hloubkách 25-35m. Některé tunely se nacházejí i v hloubkách okolo 100 m. Slouží k vyvedení velkého množství kabelů vn z rozvoden a přivedení napájecích kabelů 110 kV do rozvoden. V kabelových tunelech nebývají umístěny jiné inženýrské sítě.

Kolektory – jsou to podpovrchové stavby nacházející se nejčastěji do 5 m pod povrchem. Své uplatnění nacházejí v historických centrech měst, kde je omezený prostor na pokládku inženýrských sítí. Slouží k umístění kabelů vn a nn a dalších inženýrských sítí.

2 Metody výpočtu celosystémových spolehlivostních ukazatelů

Celosystémové spolehlivostní ukazatelé vedou k určení nepřetržitosti (plynulosti) dodávky elektrické energie v určité oblasti nebo celé DS. Zaměřují se na plánované nebo neplánované přerušení dodávky elektrické energie, která může být úplná nebo částečná.

Nepřetržitost dodávky elektrické energie je jedním z hlavních požadavků zákazníků, i když pro provozovatele DS je tento požadavek obtížně splnitelný. Sledování nepřetržitosti dodávky elektrické energie se řídí podle § 21 vyhlášky ERÚ č. 540/2005 o kvalitě dodávek elektřiny a souvisejících služeb v elektroenergetice. Provozovatelé DS by měli v rámci spolehlivosti a kvality dodávek elektrické energie optimalizovat své sítě tak, aby dosahovaly co nejvyšší úroveň kvality ve vztahu k investičním prostředkům. K efektivnímu vynakládání investičních prostředků na zvyšování kvality DS dohlíží regulační orgán ERÚ. [1]

Výpočet ukazatelů se provádí pouze z dlouhodobých přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny. Dlouhodobým přerušením se myslí doba přerušení nad 3 minuty. Přerušení začíná v okamžiku výpadku dodávky elektřiny, kdy se provozovatel distribuční soustavy dozvěděl nebo měl dozvědět o vzniku přerušení.

Celosystémové ukazatelé jsou tyto:

- četnost výpadků-počet výpadků za rok na odběratele (SAIFI)
- celková doba trvání všech výpadků-minuty za rok na odběratele (SAIDI)
- doba trvání jednoho výpadku-minuty na výpadek (CAIDI)

2.1 SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

Je to průměrná systémová intenzita poruch. [1] Tento ukazatel nám vyjadřuje poměr počtu odběratelů postižených jedním výpadkem za rok vztaheno k celkovému počtu odběratelů.

Vzorec pro výpočet:

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i \cdot N_i}{\sum N_s} \left[\frac{\text{přerušení}}{\text{rok}} \right] \quad (1)$$

λ_i je počet přerušení dodávky elektrické energie

N_i celkový počet zákazníků postižených přerušením distribuce událostí i

N_s celkový počet zákazníků

2.2 SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

Je to průměrná systémová doba trvání výpadku. [1] Tento ukazatel nám vyjadřuje poměr mezi počtem odběratelů postižených za rok jednominutovým výpadkem vztaženo k celkovému počtu odběratelů.

Vzorec pro výpočet:

$$SAIDI = \frac{\sum \lambda_i \cdot \tau_i \cdot N_i}{\sum N_s} \left[\frac{\text{minuty}}{\text{rok}} \right] \quad (2)$$

λ_i je počet přerušení dodávky elektrické energie

τ_i střední doba výpadku

N_s celkový počet zákazníků

2.3 CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)

Je to průměrná doba trvání výpadku u odběratele. [1] Tento ukazatel nám vyjadřuje poměr mezi počtem postižených odběratelů za rok jednominutovým výpadkem vztaženo k počtu odběratelů postižených výpadkem.

Vzorec pro výpočet:

$$CAIDI = \frac{\sum \lambda_i \cdot \tau_i \cdot N_i}{\sum \lambda_i \cdot N_i} \left[\frac{\text{minuty}}{\text{výpadek}} \right] \quad (3)$$

λ_i je počet přerušení dodávky elektrické energie

τ_i střední doba výpadku

N_i celkový počet zákazníků

2.4 Zlepšování hodnot SAIFI, SAIDI

2.4.1 SAIFI

Je ukazatel, který říká, kolik bylo výpadků u jednoho odběratele za rok. Počet výpadků je možné ovlivnit pravidelnou údržbou zařízení, tj. pohledové kontroly, pravidelné revize,

termovizní měření, napěťové zkoušky při jakékoliv změně v síti. Pro snížení počtu poruch kabelové sítě je dobré zařazovat do sítě spolehlivé prvky. Provádět cílené investice do sítě na základě podrobné analýzy poruchovosti a pomocí výsledků diagnostiky částečných výbojů. Věnovat pozornost kvalitě provedené práce spolupracujících firem, tj. důsledná kontrola a certifikace pracovníků. Cizí zásahy lze omezit kvalitní zákresem podzemního vedení do GIS.

2.4.2 SAIDI

Je ukazatel, který říká, jak dlouho byl odběratel průměrně bez elektrické energie za rok. Je tedy závislý na době výpadku. Pokud doba výpadku není větší než 3 minuty, není tento výpadek započítáván. Nabízí se využití této doby k rychlému přepnutí sítě. V tak krátkém čase dokáží zareagovat pouze tzv. chytré prvky, které jsou schopny přepnout síť sami bez zásahu dispečinku. Chytrými prvky jsou myšleny inteligentní trafostanice, nové dispečerské řízení SCADA, inteligentní odpínače, systémy opětovného zapnutí OZ, aj.

3 Systém údržby kabelových sítí a diagnostika kabelů

Majitelé distribučních soustav jsou nuceni do zvyšování spolehlivosti svých sítí, proto používají ucelené nástroje na zlepšování spolehlivostních ukazatelů jako je údržba kabelové sítě a diagnostika kabelů. Úkolem údržby je průběžné ověřování odpovídajícího stavu bezpečnosti a provozuschopnosti kabelové sítě. Údržba probíhá podle řádu preventivní údržby, který si sestavuje každý provozovatel DS. Řád preventivní údržby stanovuje lhůty na periodické prohlídky a stanovuje způsob diagnostiky kabelů.

Údržba lze provádět dvěma způsoby:

- Údržba sítě do poruchy
- Údržba na základě stavu zařízení

Údržba do poruchy – jsou aplikovány nástroje na zjišťování stavu (pohledové kontroly a diagnostika), ale nejsou prováděna opatření na prevenci poruch. Tento způsob údržby se může použít v oblastech, kde není velký nárok na spolehlivost sítě. V případě poruchy dochází k výpadku na delší dobu, jelikož oprava kabelu nebo vypínače si žádá odpojení příslušné části zařízení po dobu opravy. Až v případě zvýšené četnosti poruch dochází k výměně.

Údržba na základě stavu zařízení – není prováděna v pevně daných časových intervalech, ale v termínech vyplývajících z analýzy stavu zařízení na základě pohledových kontrol a diagnostiky zařízení a jsou prováděna opatření na prevenci poruch. Tento způsob údržby dokáže určit pravděpodobné místo poruchy. Je tedy dost času zasáhnou a podezřelé místo v síti vyměnit.

V další části mé práce se budu věnovat možnostem údržby kabelů na základě stavu zařízení a za jakých podmínek dochází k výměně kabelů.

3.1 Údržba elektrických stanic

Elektrické stanice jsou součástí kabelové sítě a jejich spolehlivost závisí na kvalitní údržbě. Údržba je prováděna na základě pohledových prohlídek revizí a diagnostiky, jejichž termíny určuje řád preventivní údržby. Rozsah prohlídek a revizí je dán velikostí a důležitostí rozvodného systému v elektrické stanici. Příkladně pohledové kontroly jsou stanoveny u rozvodu 110/22 kV po 6 měsících, rozpínacích stanic vn 1 rok, transformačních stanic 22/0,4 4 roky a spínací skříně nn 4 roky. [15] V elektrických stanicích je nutná údržba nejen

silové části jako jsou vypínače, odpojovače, přípojnicový systém, transformátory, aj., ale i podpůrné systémy jako jsou ochrany, kompresorové stanice a rozvod vzduchu, záložní stejnosměrné zdroje, kabelové tunely, aj.

3.2 Údržba kabelů

Údržba kabelů je složitá v tom, že velká část kabelů je pod zemí a není možná pohledová kontrola. Z toho vyplývá, že je nutné zvolit metody údržby, které vyhodnotí stav kabelů i pod zemí. U kabelového vedení provozovatele DS zajímá stav ochranného pláště a stav hlavní izolace.

Poškození vnějšího pláště, které mohlo vzniknout při pokládce, stavební činnosti v blízkosti kabelu nebo prostým dožitím, prověří u kabelů XLPE plášťová zkouška. U kabelů PILC není plášťová zkouška možná z důvodu konstrukční odlišnosti. U těchto kabelů nelze sledovat stav vnějšího pláště a je nutné se spolehnout na metody sledující stav hlavní izolace.

Stav hlavní izolace u kabelů XLPE a PILC lze sledovat napětovými zkouškami a diagnostikou částečných výbojů. Napětové zkoušky se používají 0,1 Hz a 50 Hz. Kabely PILC je možné zkoušet i stejnosměrnou zkouškou. Diagnostika částečných výbojů odhalí skryté nehomogenity nebo růst tzv. vodních stromečků.

O jednotlivých zkouškách a jejich vypovídajících schopnostech věnuji další pokračování mé práce.

3.2.1 Plášťová zkouška

Zkouška hodnotí stav vnějšího pláště celoplastových kabelů. Zkouší se izolační odpor mezi oboustranně odpojeným stíněním a zemí. Zkouška se provádí stejnosměrným napětím o napětí 5 kV pro kabely 22 kV [8] a 10 kV pro kabely 110 kV [2]. Výsledkem zkoušky je informace, jestli je plášť porušen. Jestliže je plášť porušen, lze přesně dohledat místo poruchy a provést opravu. Výhodou je, že není potřeba kabel po nevyhovující zkoušce vyřadit z provozu, ale je možné realizovat opravu v nejbližším možném termínu. Hrozí nebezpečí pronikání vlhkosti do kabelu nebo dokonce poškození hlavní XLPE izolace.

3.2.2 VN zkoušky

Vysokonapětové zkoušky na kabelech VN se řídí především dvěma podnikovými normami. A to normou PNE 34 7626 o Provozních zkouškách VN kabelových vedeních v

distribuční síti do 35 kV a podnikovou normou v interním značení PK 201 o Zkoušení kabelových vedení 22 kV, rozveden, rozpínacích a transformačních stanic. Tato zkouška odhalí závadu v tzv. posledním stádiu před poruchou nebo potvrdí nejistotu o stavu hlavní izolace v případě poruchy.

3.2.2.1 Zkouška zvýšeným DC napětím

Zkouška ověřuje elektrickou pevnost hlavní izolace PILC kabelů stejnosměrným napětím s efektivní hodnotou $4U_0$ 54 kV. [8] Svodový proud nesmí překročit hodnotu 2,5 mA/km. [11] Zkouší se mezi fází (příp. 3 fázemi současně) a kovovým stíněním nebo pláštěm, příp. pancířem kabelu připojeným k uzemnění stanice. Výsledkem zkoušky je schopnost vydržet napěťové namáhání po celou dobu zkoušky bez průrazu. Vypovídací schopnost zkoušky zvyšuje možnost odečtení svodového proudu. Jedná se o destruktivní zkoušku a v případě průrazu izolace nelze kabel dále provozovat.

3.2.2.2 Zkouška střídavým napětím 0,1 Hz VLF (very low frequency)

Zkouška ověřuje izolační pevnosti XLPE, PILC a kombinovaných kabelů. Provádí se střídavým zkušebním napětím s efektivní hodnotou $3U_0$ 38 kV [8] o kmitočtu 0,1 Hz. Při zkoušce nesmí dojít k průrazu. Zkouší se mezi fází (příp. 3 fázemi současně) a kovovým stíněním nebo pláštěm, příp. pancířem kabelu připojeným k uzemnění stanice. Výsledkem zkoušky je schopnost odolat napěťovému namáhání po celou dobu zkoušky bez průrazu. Vypovídací schopnost zkoušky zvyšuje možnost odečtení svodového proudu. Jedná se o destruktivní zkoušku a v případě průrazu izolace nelze kabel dále provozovat.

3.2.2.3 Zkouška zvýšeným napětím AC 50 Hz

Zkouška ověřuje izolační pevnosti XLPE, PILC a kombinovaných kabelů. Provádí se střídavým zkušebním napětím s efektivní hodnotou $2U_0$ 25 kV [8] o kmitočtu 50 Hz mezi fází (popř. 3 fázemi současně) a kovovým stíněním nebo pláštěm připojeným k uzemnění stanice. Při zkoušce nesmí dojít k průrazu. Výsledkem zkoušky je schopnost odolat napěťovému namáhání po celou dobu zkoušky bez průrazu. Vypovídací schopnost zkoušky zvyšuje možnost odečtení svodového proudu. Jedná se o destruktivní zkoušku a v případě průrazu izolace nelze kabel dále provozovat.

3.3 Diagnostika kabelů

3.3.1 Diagnostika částečných výbojů

Diagnostika částečných výbojů nám umožňuje klasifikovat stav kabelu a zjistit, zda je nutné kabel vyměnit či nikoliv. Touto metodou lze identifikovat riziková místa a navrhnout výměnu kabelu, než dojde k poruše. Dále ušetří investiční prostředky, jelikož není třeba obměňovat síť plošně, ale jen po vybraných úsecích.

Jedná se o nedestruktivní zkoušku, která pomocí vzniku částečných výbojů určí kvalitu izolace nebo montáže kabelových souborů.

3.3.1.1 Částečné výboje

Jsou to místní jiskřivé elektrické výboje s velmi malou energií, které částečně zkratují izolační systém mezi vodiči nebo elektrodami o různém potenciálu. Částečné výboje negativně působí na dielektrikum tím, že zhoršují jeho elektrickou pevnost, proto dochází k výraznému snížení jeho životnosti. Částečné výboje lze rozdělit na: [12]

- **Vnější částečné výboje – externí.** Jedná se o částečné výboje v plynech v okolí elektrod malých poloměrů nebo zakřivení – doutnavé výboje, korónové výboje atd.
- **Vnitřní částečné výboje – interní.** Jedná se o částečné výboje v plynech, obklopené pevným či kapalným dielektrikem. Například v pevném dielektriku jde o výboje v plynných dutinkách.
- **Povrchové částečné výboje.** Jsou to částečné výboje v okolí elektrod na rozhraní pevného a plynného dielektrika. Příkladem jsou klouzavé výboje.

V této práci se dále budu zabývat pouze vnitřními částečnými výboji, které se vyskytují ve vn izolaci kabelů jako praskliny nebo dutinky.

3.3.1.2 Model vnitřního částečného výboje

V plynné dutince dielektrika dochází vlivem vnějšího střídavého napětí ke zvyšování napětí až na hodnotu zápalného napětí U_i a dojde k přeskoku. Neutrální molekuly plynu se dělí na kladné a záporné ionty. V elektrickém poli se pohybují opačným směrem, až dosáhnou stěny vnitřní dutinky. Na stěnách se hromadí náboj, který vytváří elektrické pole opačné polarity, než je přiložené napětí. Přiložené napětí je částečně kompenzováno. Přeskok v dutince trvá do té doby, než se na stěnách dutinky nenashromáždí tak velký náboj,

že napětí v dutince klesne pod hodnotu zápalného napětí U_e . Při tomto napětí se oblouk neudrží a zhasne. Jestliže se střídavé napětí dále zvyšuje, v dutince opět vznikne zápalné napětí a děj se opakuje. Pokud se přiložené napětí dále nezvyšuje, tudíž na dutince se nedosáhne dalšího zápalného napětí, odchází nashromážděný náboj na stěnách dutinky a napětí opět vzrůstá do druhé polarity, až dosáhne opět zápalného napětí. Výše popsané děje se opakují v obou polaritách stejně.

Rychlost odtékání nashromážděného náboje z dutinky je závislá na povrchovém odporu dutinky a vnitřního odporu izolantu. Tento odpor určuje, jakou rychlostí bude oblouk v dutince přeskokovat. Interval přeskoku může být v rozmezí 1 s až 1 h. [12] U dobrých dielektrik přeskoky nastávají v minutách až hodinách u špatných dielektrik v sekundách.

3.3.1.3 Působení vnitřních částečných výbojů na dielektrika

Částečné výboje v nehomogenitách způsobují chemické a fyzikální změny v izolantu. Při dlouhodobém namáhání dochází k degradaci izolantu. Ta je způsobená především bombardováním stěn dutinky ionty, které se vytvořili rozpadem plynné výplně dutinky a ničí izolant. Dalším destruktivním faktorem je chemická degradace a vlhkost v dutince. Postupem času se z dutinky rozšíří tzv. elektrické stromečky, které vyústí v průraz dielektrika.

Všechny izolační materiály nejsou náchylné na působení částečných výbojů. Příkladem slída nebo keramika, které patří do skupiny anorganických materiálů, dokáží dlouhodobě odolávat účinkům výbojové činnosti. Opačně na tom jsou organické materiály například zesíťovaný polyetylen (XLPE), který se používá jako izolace ve vysokonapěťových kabelech. Tato izolace je náchylná na degradační účinky částečných výbojů i v krátkodobém intervalu.

Chemické účinky – vlivem chemických reakcí v dutince při vzniku oblouku vznikají plynné, kapalná a pevná produkta, které difundují do dielektrika a vytvářejí významné vodivé oblasti. [1]

Plynné produkty – v plynové nehomogenitě v XLPE, která je vystavená částečným výbojům, se vytváří monoxidy a dioxidy uhlíku a vodík. Stejná složení plynů obsahuje i elektrický stromeček. [12]

Kapalná produkta – v plynných nehomogenitách obsahujících vodu mohou vznikat kapičky, ale pouze za předpokladu, že je přítomen vodík, kyslík a uhlík. Potom se na stěnách dutinky vytváří elektrolytická vrstva, která obsahuje uhlík. Díky tomu se mnohonásobně

zvětší vodivost. [12]

Pevné produkty – vytvářejí se z kapiček v místech dopadu částečných výbojů. Vznikají zde částice, které mají tvar krystalu jejich složení je hydrát kyseliny šťavelové. [12]

Elektrické účinky – jestliže dojde v dutince k přeskoku, je pravděpodobné, že dojde k vytvoření vodivé cesty. Vlivem vysoké koncentrace elektrického pole v tomto místě může nastat čistě elektrický průraz. Ničivý účinek vytvářejí ionty a elektrony narážející do stěn dutinky. [12]

Erozivní účinky – dopadající ionty a elektrony rozrušují stěny dutinky. Toto vede k rozrušování stěn a zvětšování dutinky. Tento děj může později vyústit až v průraz dielektrika.

Tepelné účinky – aktivita částečných výbojů způsobují oteplení, které dále způsobuje tepelnou nestabilitu izolantu a může přejít v tepelný průraz.

3.3.1.4 Vývoj elektrického stromečku

Tento jev vzniká působením částečných výbojů v dielektriku, při němž dochází ke vzniku vodivé cesty. Vznik elektrického stromečku se dá rozdělit do tří časových fází:

Fáze 1 – v této fázi dochází k počátečnímu vzniku elektrického stromečku. Toto stádium lze detekovat jen velmi citlivou technikou.

Fáze 2 – v této chvíli nastává vytvoření první větve stromečku a růstu dalších větví směrem k uzemněné elektrodě. Tato fáze končí dosažením první malé větve uzemněné elektrody. Nedochozí však ještě k průrazu, protože větve stromečku mají malou vodivost a procházející proud je malý na to, aby vznikl průraz dielektrika. Průměr větví se pohybuje do 10 μm u hlavních větví a do 1 μm ve špičkách stromečku. [12] Vnitřek větví je vyplněn degradovaným polymerem, který rozrušily vznikající částečné výboje.

Fáze 3 – v tomto okamžiku dochází k rozšiřování vodivých kanálků a k rozvětvení stromečku. Průměr kanálků se pohybuje v rozmezí 60–150 μm . [12] Pokud takovýto dutý kanálek dosáhne uzemněné elektrody, dojde k průrazu dielektrika. Na těchto kanálcích lze naměřit hodnoty zdánlivého výboje v rozmezí 50–220 pC. [12]

3.3.2 Měření částečných výbojů

3.3.2.1 Metody detekce částečných výbojů

Způsoby detekce částečných výbojů se dělí na elektrické a neelektrické metody. Neelektrické se soustřeďují na vnější projevy částečných výbojů, jako jsou akustické, optické a chemické. Tyto projevy nejsou vzhledem k malé energii částečného výboje moc výrazné. Lze změřit četnost, intenzitu nebo zkoumat chemické složení. Jejich citlivost je v porovnání s elektrickými metodami výrazně menší. Elektrické metody pracují s těmito základními elektrickými veličinami.

- ZDÁNLIVÝ NÁBOJ q
- ČETNOST IMPULZŮ n
- ZÁPALNÉ NAPĚTÍ ČÁSTEČNÝCH VÝBOJŮ U_i
- ZHÁŠECÍ NAPĚTÍ ČÁSTEČNÝCH VÝBOJŮ U_e

ZDÁNLIVÝ NÁBOJ q impulzu částečného výboje, je takový náboj, který ve velmi krátkém intervalu změní hodnotu napětí mezi elektrodami zkoušeného zařízení a vytvoří na měřicím přístroji stejnou výchylku jako skutečný proudový impulz částečného výboje. Zdánlivý náboj se nerovná skutečnému množství náboje působícímu v místě výboje. Skutečný náboj nelze přímo změřit vzhledem k jeho nedostupnosti. Hodnota zdánlivého náboje je uváděna v pC a stala se základním měřicím parametrem pro vyhodnocování částečných výbojů.

ČETNOST IMPULZŮ n je poměr celkového množství impulzů za určitý čas a je vyjádřen v impulzech za sekundu. Při reálném měření se měří jen pulzy nad určitou úrovní nebo v určitém rozsahu.

ZÁPALNÉ NAPĚTÍ ČÁSTEČNÝCH VÝBOJŮ U_i je takové napětí, při kterém se u testovaného zařízení vyskytnou první stálé částečné výboje. Hodnota je uváděna ve voltech nebo v kilovoltech.

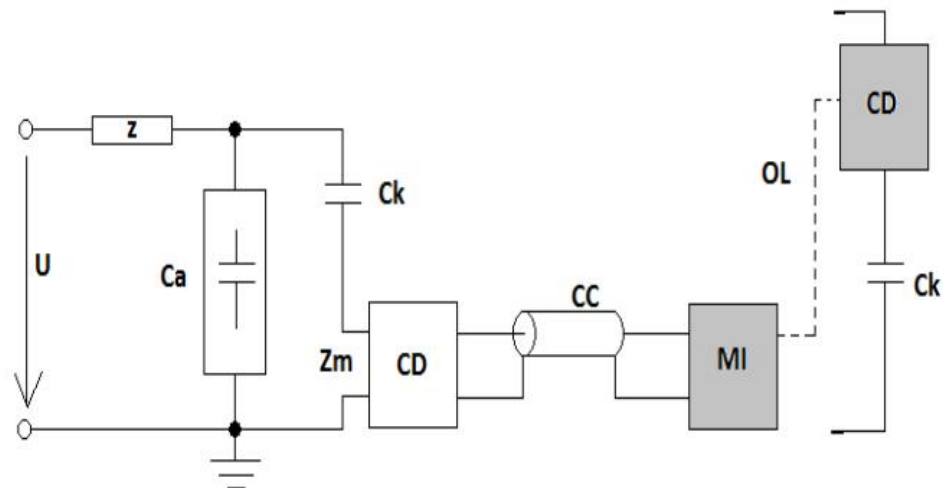
ZHÁŠECÍ NAPĚTÍ ČÁSTEČNÝCH VÝBOJŮ U_e je to napětí, při kterém přestávají vznikat opakované částečné výboje. Hodnota je opět uváděna ve voltech nebo kilovoltech.

3.3.2.2 Zkušební obvod

Nejobvyklejší metodou měření částečných výbojů je galvanické připojení měřicího

objektu. Pomocí měřicí impedance je sledována výbojová činnost, která je vytvořena RLC obvodem s ochrannými prvky proti přepětí a jsou odfiltrovány nežádoucí částečné výboje z napájecí frekvence.

Pro přímé měření kabelů (vysoká kapacita) se používá zkušební obvod s paralelní snímací impedancí. Tento obvod je odolný i proti případnému průrazu zkoumaného kabelu.



- U - napájecí napětí,
- Z - filtr rušení, zábrana vybíjení ČV přes impedanci zdroje,
- Ca - testovaný objekt,
- Ck - vazební kondenzátor,
- Zm - snímací impedance,
- CD - vazební zařízení
- CC - spojovací stíněný kabel,
- MI - detektor
- OL - optický kabel

Obrázek 13: Zkušební obvod s paralelní snímací impedancí [12]

Galvanické připojení je výhodné především pro svou vysokou citlivost měření a velkou vypověditelnost. Nicméně i toto připojení má své slabiny, a to v podobě citlivosti na rušivé signály.

3.3.2.3 Kalibrace měřicího obvodu

Jelikož měřené objekty mají různou kapacitu, je nutné provést kalibraci měřicího obvodu, abychom docílili přesné hodnoty zdánlivého náboje. Měřicím obvodem je myšleno jak měřené zařízení, tak i měřicí přístroj. Při kalibraci je vysílán do měřeného objektu přesně definovaný signál o známé velikosti náboje a s velikostí amplitudy, která je rovna U_0 . [12] Tato kalibrace se musí provádět před každým měřením nového objektu.

Přístroje pro kalibraci měřicího obvodu se nazývají kalibrátory. Jsou to přenosné bateriové generátory pravoúhlých impulzů. Připojují se paralelně a co nejbližší k měřenému objektu z důvodu omezení parazitních kapacit. Po dokončení kalibrace je nutné kalibrátor odpojit od obvodu, jelikož by došlo k jeho destrukci.

3.3.3 Ukázka praktického použití v PREdistribuci, a.s. na kabelech 22 kV

V praxi je měření částečných výbojů používáno jako vstupní kontrola po výměně části nebo celého kabelu. Další možnost využití technologie částečných výbojů je ke klasifikaci stávajících kabelů. Budeme se dále věnovat klasifikaci kabelů, respektive hodnocení jejich stavu.

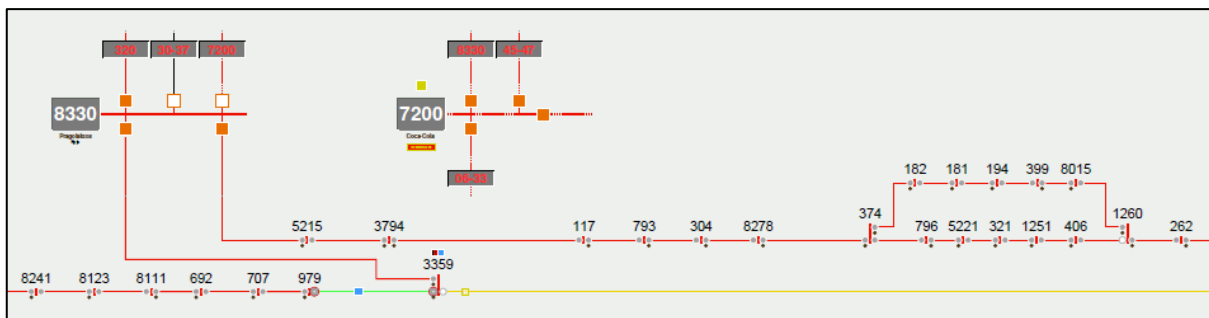
Nejzajímavější informace pro vlastníka distribuční soustavy je, kdy vyměnit staré kabely za nové. To znamená, že musíme odhadnout správně dobu, než se zvýší poruchovost v oblasti a zároveň nevyměňovat kabely, které by bylo možné ještě několik let provozovat. Toto rozhodnutí může ušetřit nemalé investiční prostředky. Teď nejzásadnější otázka. Je nutné vyměňovat kabelové vedení na konci jejich teoretické životnosti? Na tuto otázku nám pomůže najít správnou odpověď diagnostika částečných výbojů. Vybereme oblast, kde se kabely 22 kV blíží ke konci své životnosti. Zhodnotíme jejich stav a získaná data nám odpoví na otázku, zda je třeba vyměnit kabely plošně nebo stačí vyměnit několik úseků.

3.3.3.1 Měřená oblast

Měřenou oblast bylo třeba vybrat tak, aby se většina kabelů v oblasti blížila ke konci své životnosti. Životnost kabelů je 40 let. [13] Tomuto zadání se blíží kabelová síť nacházející se na katastru pražských městských částí Kyje, Hostavice a Dolní Počernice. Výstavba této sítě probíhala v letech 1987–1989.

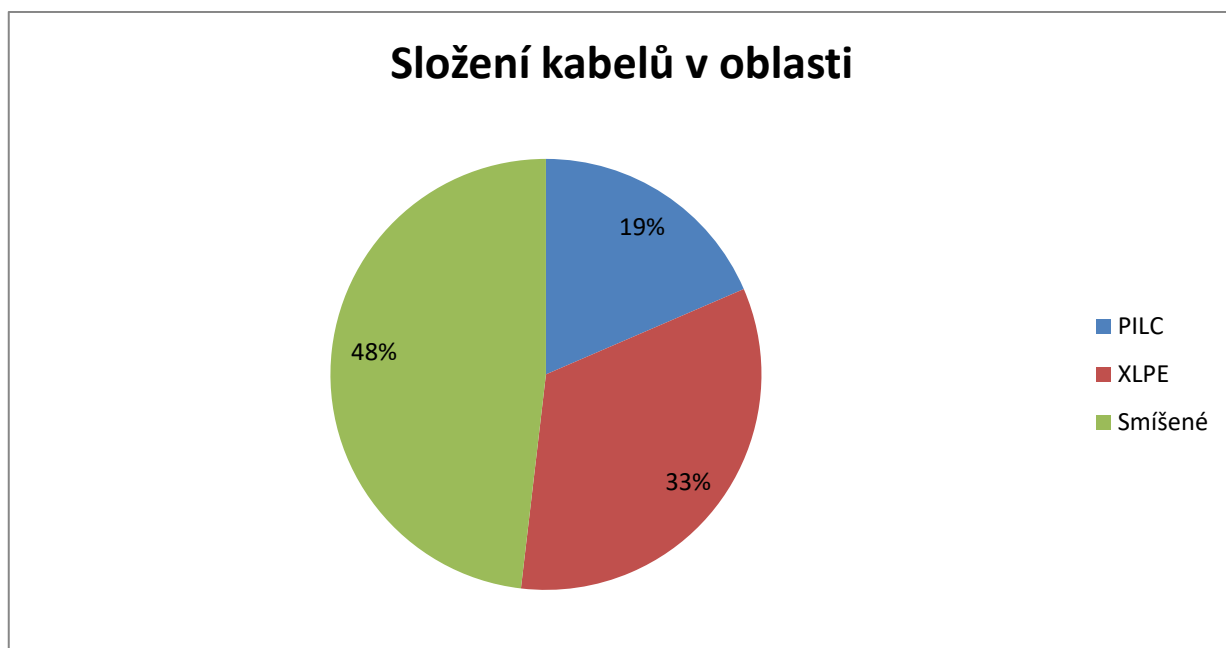
Typem zástavby se jedná o obytnou oblast. Většina domů je řešena jako rodinné domy. Žádná průmyslová zátěž distribuční soustavy zde není.

Oblast je napájena z R Malešice a R Běchovice. Skládá se z 27 trafostanic a 27 kabelů. Na obrázku 1 je znázorněna část zapojení jednotlivých trafostanic v síti. Jedná se o výřez z dispečerského programu Spektrum Power 4 používaného v PREdistribuci, a.s. k řízení distribuční sítě.



Obrázek 14: Zapojení oblasti do distribuční soustavy [6]

Typy kabelů, které jsou použity v této oblasti, se dají rozdělit do tří skupin. Kabely s plastovou izolací zesíťného polyetylénu (XLPE), kabely s papírovou izolací napuštěnou olejem (PILC) a smíšené kabely.



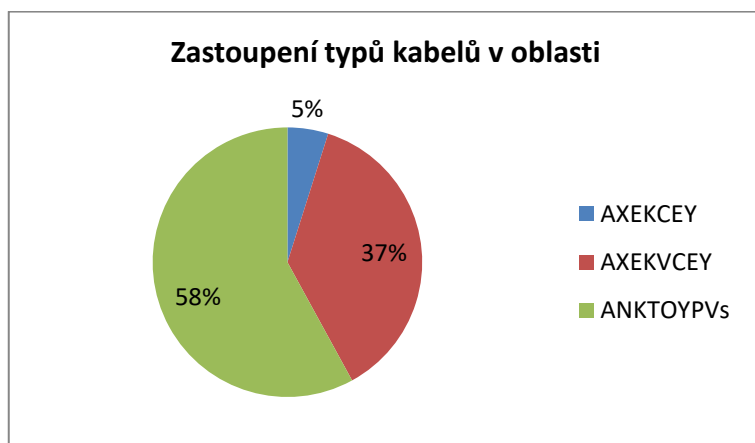
Graf 1: Složení kabelů v oblasti

3.3.3.2 Měřené kabely

V tabulce 1 jsou uvedeny jednotlivé kabely. Tabulka obsahuje katastrální umístění kabelu, podílové zastoupení jednotlivých typů kabelů a hodnocení při dřívějším měření, pokud bylo provedeno. V grafu 1 je přehledně shrnuto procentuální zastoupení jednotlivých typů kabelů, které se nacházejí ve vybrané oblasti.

TS1	TS2	Oblast	AXEKCEY [m]	AXEKVCEY [m]	ANKTOYPVs [m]	Typ	Hodnocení
707	979	Kyje	280	5	387	SM	horší
979	3359	Hostivice	286			PE	neměřen
3359	8330	Kyje		915		PE	neměřen
5215	8330	Kyje		590		PE	neměřen
3794	5215	Hostivice		530		PE	neměřen
117	3794	Hostivice		502	531	SM	dobrý
117	793	Hostivice		670		PE	dobrý
304	793	Hostivice		90	212	SM	dobrý
304	8278	Hostivice		95		PE	neměřen
374	8278	Dolní Počernice		120	638	SM	neměřen
182	374	Hostivice			504	PA	horší
374	796	Hostivice		20	847	SM	dobrý
796	5221	Hostivice		18	521	SM	dobrý
321	5221	Hostivice		255	824	SM	neměřen
321	1251	Hostivice		452	148	SM	dobrý
406	1251	Dolní Počernice		190	417	SM	dobrý
181	182	Dolní Počernice			435	PA	dobrý
181	194	Dolní Počernice		4	896	SM	neměřen
194	399	Dolní Počernice	128	732	263	SM	dobrý
399	8015	Dolní Počernice		322		PE	dobrý
1260	8015	Dolní Počernice	172		351	SM	neměřen
406	1260	Dolní Počernice			355	PA	neměřen
262	1260	Dolní Počernice			940	PA	dobrý
262	5247	Dolní Počernice			755	PA	dobrý
279	5248	Dolní Počernice		222	1238	SM	dobrý
97	279	Dolní Počernice		693		PE	dobrý
97	UV127	Dolní Počernice		150		PE	dobrý

Tabulka 3: Kabely v oblasti



Graf 2: Procentuální zastoupení typů kabelů v oblasti

3.3.3.3 Měřicí zařízení

Pro diagnostiku částečných výbojů se v PREdistribuci, a.s. používá měřicí systém OWTS [Oscilating Wave Test System]. Zkouška odpovídá normě ČSN EN 60270 a na ní navazuje podniková norma PREdistribuce, a.s. PK 202.

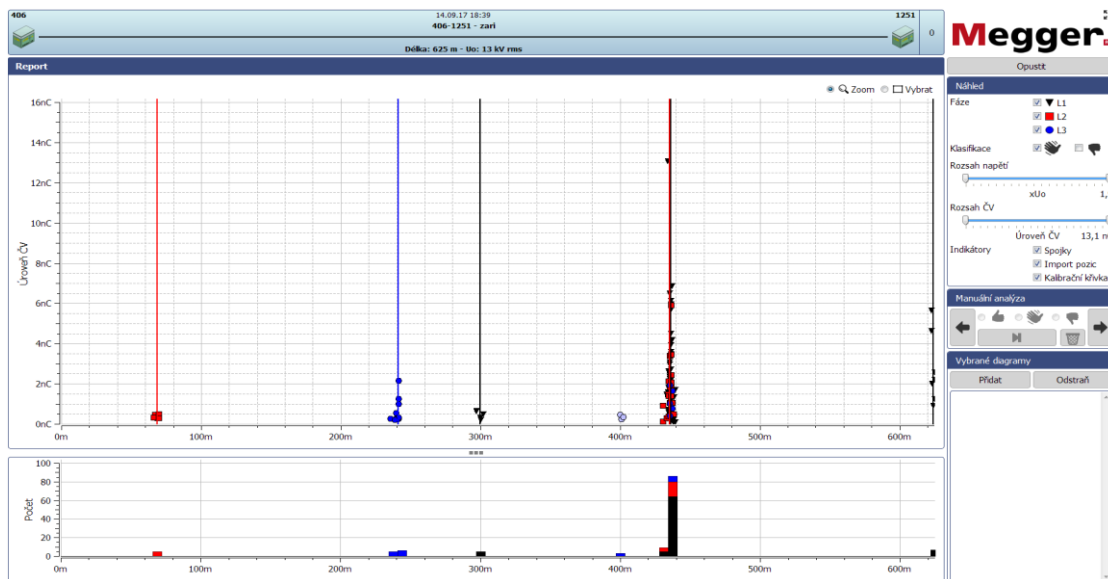
Principem zkoušky je nabití kabelu na předepsané napětí a jeho vybití přes paralelní tlumivku. Zkušební napětí má tlumený sinusový průběh, jehož maximální průběh odpovídá nabíjecímu napětí. Kmitočet závisí na kapacitě kabelu, popřípadě přídavného kondenzátoru a indukčnosti vybíjecí tlumivky. Zkušební napětí má kmitočet v rozmezí 150–600 Hz. [14]

Měření se provádí mezi fází a kovovým pláštěm kabelů, který je připojen k uzemnění trafostanice. Zkouška probíhá v pěti napěťových cyklech 0,5; 0,8; 1,0; 1,4; 1,7 U_0 . [14] Měřicí aparatura je schopna měřit kabely v délkách 100 - 5 000 m [14] v závislosti na typu kabelu, respektive na útlumu signálu v kabelu.

Měřicí zařízení OWTS je zabudováno do měřicího vozu a je provozováno jako mobilní zkušebna.

3.3.3.4 Hodnocení diagnostiky částečných výbojů

Stav izolace měřených kabelů se hodnotí podle četnosti výbojů, místa výskytu a velikosti částečných výbojů. Dále na napěťové hladině, při které dochází k zapalování částečných výbojů. Tyto hodnoty jsou zpracovávány vyhodnocovacím softwarem PD Detektor od firmy Megger. Tento software převádí data do přehledné mapy a umožňuje provést hodnocení kabelu. Výřez vyhodnocovacího programu PD Detektor je na obrázku 6.



Obrázek 15: Ukázka vyhodnocovací mapy kabelu 406-1251

Hodnocení kabelů se provádí podle tabulky 4, která je součástí podnikové normy PREdistribuce a.s. PK 202.

Hodnocení	PILC Q_{max} . (pC)	XLPE Q_{max} . (pC)	Doplňující podmínky k hodnocení kabelů PILC (Q_{max} . je vztaheno k $U_0=13$ kV)
Nízké	< 5 000	nezjištěny	Nízká četnost výbojů
Vyšší	<10 000	<250	Četnost výbojů $Q \geq 2\,000$ pC je vyšší než 6.
Vysoké	<20 000	<500	Zapalovací napětí $U_z \leq U_0$, četnost výbojů $Q \geq 5\,000$ pC je vyšší než 6. Velký počet roztroušených výbojů. Výboje $Q \geq 5\,000$ pC jsou v místě nebo v okolí přechodové spojky
Kritické	> 20 000	>500	Výboje při zvyšování napětí prudce rostou. Četnost výbojů $Q > 10\,000$ pC je vyšší než 6. Velký počet roztroušených výbojů

Tabulka 4: Hodnocení diagnostiky částečných výbojů [14]

3.3.3.5 Výsledky měření

Vyhodnocení bylo provedeno na všech 27 kabelech. Výsledek je prezentován v tabulce 5.

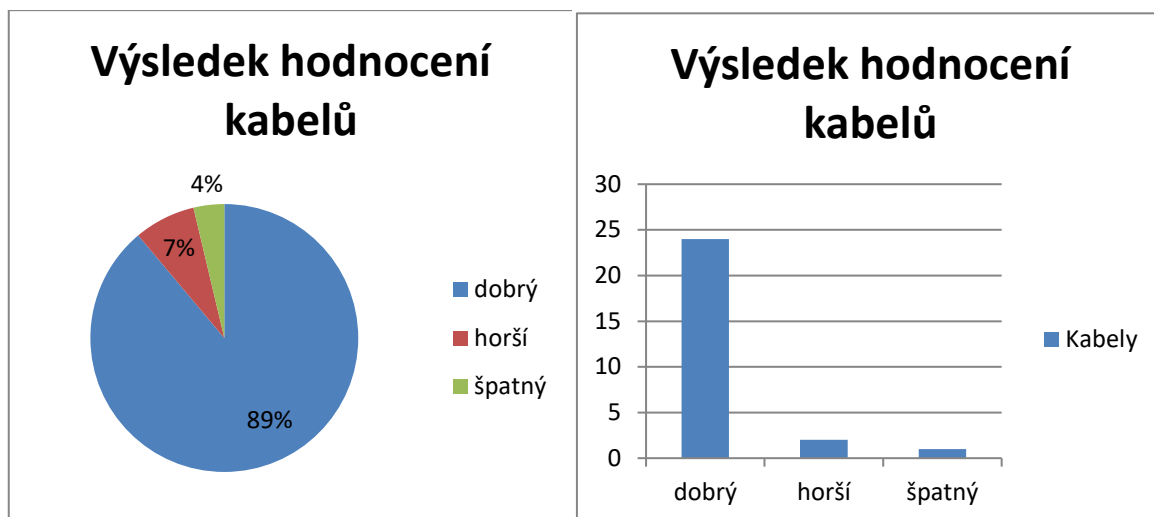
Datum měření	TS1	TS2	Oblast	Typ	Délka (m)	Hodnocení	Doporučení Přeměření
29.01.09	97	UV127	Dolní Počernice	PE	150	dobrý	10 let
21.06.12	399	8015	Dolní Počernice	PE	322	dobrý	10 let
14.09.12	3794	5215	Kyje	PE	500	dobrý	10 let
28.01.13	279	5248	Dolní Počernice	SM	1460	dobrý	5 let
26.02.13	262	1260	Dolní Počernice	PA	940	dobrý	5 let
26.02.13	262	5247	Dolní Počernice	PA	755	dobrý	5 let
20.01.15	117	3794	Hostivice	SM	1280	dobrý	5 let
29.10.15	5215	8330	Kyje	PE	464	dobrý	10 let
07.09.16	97	279	Dolní Počernice	PE	693	dobrý	10 let
08.11.16	374	796	Hostivice	SM	890	dobrý	5 let
14.08.17	117	793	Hostavice	PE	437	dobrý	10 let
24.08.17	406	1260	Dolní Počernice	PA	370	dobrý	5 let
24.08.17	1260	8015	Dolní Počernice	SM	533	dobrý	5 let
29.08.17	194	399	Dolní Počernice	SM	690	dobrý	5 let
31.08.17	796	5221	Hostavice	SM	560	dobrý	5 let
31.08.17	321	5221	Hostavice	SM	1110	dobrý	5 let
06.09.17	181	182	Dolní Počernice	PA	445	dobrý	5 let
06.09.17	181	194	Dolní Počernice	SM	940	dobrý	5 let
11.09.17	406	1251	Hostavice	SM	625	špatný	doporučení
11.09.17	321	1251	Hostavice	SM	598	horší	doporučení
13.09.17	182	374	Dolní Počernice	PA	522	dobrý	5 let
13.09.17	374	8278	Dolní Počernice	SM	790	dobrý	5 let
20.09.17	979	3359	Kyje	PE	283	dobrý	10 let
20.09.17	3359	8330	Kyje	PE	695	dobrý	10 let
05.10.17	707	979	Kyje	SM	680	dobrý	5 let
10.10.17	304	8278	Hostivice	PE	95	dobrý	10 let
10.10.17	304	793	Hostivice	SM	307	horší	doporučení

Tabulka 5: Výsledky měření na kabelech diagnostikou částečných výbojů

Podle hodnocení stavu kabelu a jeho typu se přiřazuje doporučení na přeměření nebo výměnu. Tyto termíny vycházejí z normy PREDistribuce a.s. PK 202. Na základě těchto termínů jsme kabely, kterým nevypršela tato lhůta, neměřili.

3.3.3.6 Analýza výsledků

Při měření bylo zjištěno, že z 27 kabelů obdrželo 24 kabelů hodnocení dobrý, 2 kabely hodnocení horší a jeden hodnocení špatný.



Graf 3 - Hodnocení kabelů

Klasifikace kabelů nám ukázala, že v nejlepším stavu jsou kabely s XLPE izolací. Tyto kabely nejsou ještě zdaleka před koncem své životnosti, proto je jejich kontrola naplánována nejdříve za 10 let. Kabely PILC izolací jsou také ve velice dobrém stavu. I po mnoha letech provozu nevykazují zvýšené úrovně částečných výbojů. U těchto kabelů je naplánována kontrola nejdříve za 5 let. Vzhledem ke stáří se zde mohou stát nenadálé změny v izolaci. Hůře dopadly ve výsledcích smíšené kabely. Jsou v oblasti nejpočetnější skupinou a u 3 kabelů se vyskytly částečné výboje. U ostatních byla stanovena kontrolní lhůta také na 5 let.

Kabel 321-1251 vykazuje jen začínající nízké výboje. Hodnoty částečných výbojů jsou v tabulce 6. Částečné výboje se nacházejí v úseku kabelu PILC, který je uzavřen z obou konců kabely XLPE. V této situaci není možné doplňovat kabel PILC kabelovou hmotou, jelikož nemá koncovky. Zde je pravděpodobné, že když už tu nějaké výboje jsou, budou se zvětšovat, jelikož nedochází k migraci impregnátu. Z tohoto důvodu bylo přistoupeno k doporučení na plánovanou výměnu části kabelu PILC cca 150 m.

L1			L2			L3		
Náboj max. (pC)	Náboj zápalný (pC)	Napětí zápalné (kV)	Náboj max. (pC)	Náboj zápalný (pC)	Napětí zápalné (kV)	Náboj max. (pC)	Náboj zápalný (pC)	Napětí zápalné (kV)
1 000	450	20,1	1 400	300	25,6	0	0	0

Tabulka 6: Hodnoty částečných výbojů na kabelu 321-1251

Kabel 304-793 vykazuje vyšší výbojovou činnost na dvou místech. První místo je v blízkosti přechodové spojky PILC/XLPE a druhé místo s nižší výbojovou činností je v blízkosti průběžné spojky PILC/PILC. Hodnoty částečných výbojů jsou v tabulce 7. Jako v předchozím

případě nejsou úrovně částečných výbojů vysoké, ale i zde je uzavřen úsek kabelu PILC mezi úseky XLPE a z tohoto důvodu přistupujeme k doporučení na plánovanou výměnu PILC v délce cca 180 m.

L1			L2			L3		
Náboj max. (pC)	Náboj zápalný (pC)	Napětí zápalné (kV)	Náboj max. (pC)	Náboj zápalný (pC)	Napětí zápalné (pC)	Náboj max. (pC)	Náboj zápalný (pC)	Napětí zápalné (kV)
8 000	2 000	22	1 300	400	25,6	3 600	600	29,3

Tabulka 7: Hodnoty částečných výbojů na kabelu 304-793 v blízkosti přechodové spojky

Na kabelu 406-1251 byly zjištěny vysoké výboje v L1 v blízkosti přechodové spojky a začínající výboje po celé délce kabelu PILC. Hodnoty částečných výbojů z tabulky 8 nejsou kritické, aby bylo nutno spojku vyměnit ihned. Bylo provedeno doporučení na plánovanou výměnu kabelu PILC v celé délce cca 420 m.

L1			L2			L3		
Náboj max. (pC)	Náboj zápalný (pC)	Napětí zápalné (kV)	Náboj max. (pC)	Náboj zápalný (pC)	Napětí zápalné (kV)	Náboj max. (pC)	Náboj zápalný (pC)	Napětí zápalné (kV)
13 000	300	20,1	6 000	6 000	31,1	2 000	2 000	31,1

Tabulka 8: Hodnoty částečných výbojů na kabelu 406-1251 v blízkosti přechodové spojky

Z předchozího měření vyplývá, že síť v uvedené oblasti je v dobrém stavu. Na plánovanou výměnu byly navrženy celkem 3 úseky kabelu PILC o celkové délce 750 m. Navržené řešení bylo předáno na investiční oddělení PREdistribuce a.s., které rozhodne o realizaci výměny.

Po výměně navržených úseků kabelů a dodržení zkušebních lhůt na přeměření jednotlivých kabelů je velká pravděpodobnost, že se v oblasti nezvýší poruchovost a nebude nutné v oblasti zahájit plošnou výměnu kabelů.

Diagnostika částečných výbojů dokáže výrazně ušetřit investiční prostředky, jelikož nedochází k úplné výměně kabelů. V oblasti činí celková délka úseků kabelů PILC je 10,2 km a pokládka kabelu vyjde na 1048 Kč/m [5], což znamená investici ve výši 10,7 mil. Kč. Při výměně pouze navrhovaných 750 m jde o investici 786 000 Kč. Z toho vyplývá úspora bezmála 10 mil. Kč. Jedná se pouze o orientační kalkulaci.

Tato úspora není úsporou v pravém smyslu slova, jednou tato výměna stejně

nastane. Diagnostika částečných výbojů umí pomoci správně načasovat výměnu, než se v oblasti zvýší poruchovost. Výhodněji se také plánují investiční prostředky. Nedochozí k předčasným výměnám a využívá se celá životnost kabelů.

3.4 Zařazování prvků kabelové sítě do obnovy

K tomu, aby byla dosažena dobrá spolehlivost dodávky, je třeba znát stav kabelové sítě a provádět včas obnovu jednotlivých prvků kabelové sítě, aby nedocházelo k výpadkům. Zároveň dosáhnout přijatelného ekonomického využití jednotlivých prvků.

Rozhodování o zařazení prvků do obnovy závisí na vyhodnocení dlouhodobých provozních a nákladových analýz chování prvku v síti. Pozornost se věnuje i důsledkům selhání prvku. Cílem je minimalizace investičních prostředků a maximalizace využití životnosti jednotlivých prvků sítě. Prodlužování životnosti ale nesmí vést ke zvyšování poruchovosti.

3.4.1 Parametry pro zařazování prvků do obnovy

Zařazování prvků do obnovy se hodnotí podle několika parametrů, které určují míru opotřebení. Tyto parametry jsou ovlivněny životností prvků jak ekonomickou, tak i fyzickou. Ekonomická životnost vychází z odpisů a na konci této doby má zařízení hodnotu 0. Fyzická životnost vychází ze zkušeností provozovatele DS a je delší než ekonomická životnost. Je to doba, po kterou zařízení pracuje s dostatečnou spolehlivostí a za přiměřených provozních nákladů. [13] Ukázka životnosti vybraných součástí DS v tabulce 9.

- Provozní bezpečnost

Jestliže prvek nebo zařízení nesplňuje normy z hlediska nebezpečí úrazu elektrickým proudem nebo jinak ohrožuje z hlediska bezpečnosti provozu své okolí.

- Provozní spolehlivost

Jestliže prvek nebo zařízení vykazuje opakované poruchy spojené s bezproudím, je možné provést výměnu i před dosažením konce ekonomické nebo fyzické životnosti.

- Zvýšení provozních nákladů na prvek

Jestliže na prvku nebo zařízení dochází k výraznému zvýšení provozních nákladů, které mohou být způsobeny zvýšením potřeby preventivní údržby nebo větším počtem poruch.

- Stáří prvku

Dosažení konce ekonomické ani fyzické životnosti prvku nebo zařízení neznamena automatickou výměnu. Je třeba ho provozovat do doby, než se zvýší náklady na údržbu nebo se zvýší poruchovost. Tento parametr pouze doplňuje předešlé parametry.

- Diagnostika částečných výbojů

Jestliže je prvek označen jako špatný a je doporučen na výměnu [14], je nutné ho zařadit do obnovy.

Zařízení	Ekonomická životnost v letech	Dosažitelná fyzická životnost v letech
Silová kabelová vedení – NN, VN, VVN	40	>50
Silové rozváděče – NN, VN, VVN	30	>35
Transformátory – VVN/VN, VN/NN	30	>35
Řídící systém – hlava	8	>8
Řídící systém – ochrany	15	>15
Sdělovací sítě – kabely metalické	10	>20
Sdělovací sítě – kabely optické	30	>35
Stavební části zařízení DS	50	>50
Kabelové tunely – stavební část	70	>100
Kabelové tunely – elektroinstalace	30	>35

Tabulka 9 - Životnost vybraných prvků DS [13]

3.4.2 Priority podle parametrů

Na základě předchozích parametrů je třeba stanovit priority obnovy prvků a zařízení. Nejvyšší prioritu mají prvky, které splňují všechna kritéria. Další v pořadí jsou prvky, které ohrožují plynulost dodávky elektrické energie svou poruchovostí. Také sem patří prvky, které nesplňují normy z hlediska bezpečnosti. Třetí v pořadí jsou prvky přesahující svou fyzickou životnost, které mají větší potřebu preventivní údržby a výrazně zvyšují provozní náklady. Čtvrté pořadí patří prvkům, které byly doporučeny na výměnu diagnostikou částečných výbojů nebo jejich stáří je za hranicí fyzické životnosti a nevykazují zvýšenou potřebu údržby a nezvyšují provozní náklady.

4 Analýza poruchovosti kabelových sítí z dlouhodobého hlediska

Analýza poruchovosti je důležitým nástrojem pro snižování poruchovosti, jelikož umožňuje sledování jednotlivých prvků v DS. Dokáže odhalit dosluhující prvky nebo naopak prvky, které jsou sice za hranicí své ekonomické nebo fyzické životnosti, ale nevykazují zvýšenou poruchovost. Z dat je možné určit i nekvalitní prvky a díky analýze je stahovat postupně ze sítě.

4.1 Analýza poruchovosti

Základem dobré analýzy je kvalitní sledování poruchovosti a přehled o stáří jednotlivých prvků kabelové sítě. Je nutné zaznamenávat jednotlivé poruchy a sledovat, kde a kdy došlo k poruše, na jakém prvku, typ kabelu, fáze, stav diagnostiky aj. Dále sledovat množství poruch po VN zkouškách. Následně z těchto dat analyzovat poruchovost jednotlivých prvků, stáří prvků v poruše a sledovat vývoj poruchovosti.

Z vývoje poruchovosti lze získat informace o stavu sítě a určit prvky s vysokou četností poruch. Tyto prvky je třeba více sledovat a zacílit na mě diagnostiku, aby bylo možné odhalit poruchy před jejich vznikem. Další možností je zařadit tyto prvky do plošné výměny a postupně je stahovat ze sítě.

4.2 Stanovení četnosti poruch

Tato veličina vypovídá o stavu sítě a jednoduše určuje, zda se poruchovost zvyšuje nebo snižuje. Pokud hodnota klesá, počet poruch v síti se snižuje a naopak.

Intenzita poruch je dobrý srovnávací ukazatel, který dokáže posoudit kvalitu jednotlivých DS z pohledu poruchovosti.

Přesné stanovení intenzity a sledování poruchovosti v síti je závislé na dobrém a dlouhodobém sběru dat. Pro výpočet intenzity poruch je důležité znát počet poruch a velikost dané sítě ve sledovaném období.

Pro stanovení intenzity lze použít následující vzorec:

$$\lambda = \frac{N}{L \cdot 0,01 \cdot X} \quad (\text{rok}^{-1} / 100 \text{ km}) [1]$$

kde

N - počet poruch (-)

L - délka sítě (km)

X - délka sledovaného období

4.3 Analýza poruchovosti v PREDistribuci, a. s.

4.3.1 Vývoj poruchovosti na kabelech 22 kV v období 2000-2017

Sledování dlouhodobého vývoje poruchovosti nám přináší kontrolu nad množstvím poruch v síti a přispívá ke správnému vyhodnocení potřeb sítě.

Tabulka obsahuje:

- Poruchy na prvku - označuje poruchovost jednotlivých prvků (spojka, kabel, koncovka), je myšlena čistá poruchovost bez údaje E1, který určuje výpadky kabelové sítě bez zjištěné příčiny
- Cizí zásah - označuje poruchy vzniklé poškozením kabelové sítě při výkopových pracích nebo pokusy o krádež
- Po vn zkoušce - označuje poruchy vzniklé při zkouškách kabelového vedení. Těmito zkouškami byly odhaleny budoucí poruchy.

Z grafu 3 je vidět, že mezi lety 2000-2009 poruchovost postupně klesá. Vymykají se pouze roky 2002 a 2003, kdy Prahu v roce 2002 postihla velká povodeň a její následky se promítly i do poruchovosti kabelů vn v tomto dvouletém období. V tomto období také došlo k nárůstu cizích zásahů vlivem zvýšené stavební činnosti po povodni a nárůstu poruch po vn zkoušce vlivem poškození kabelů povodní.

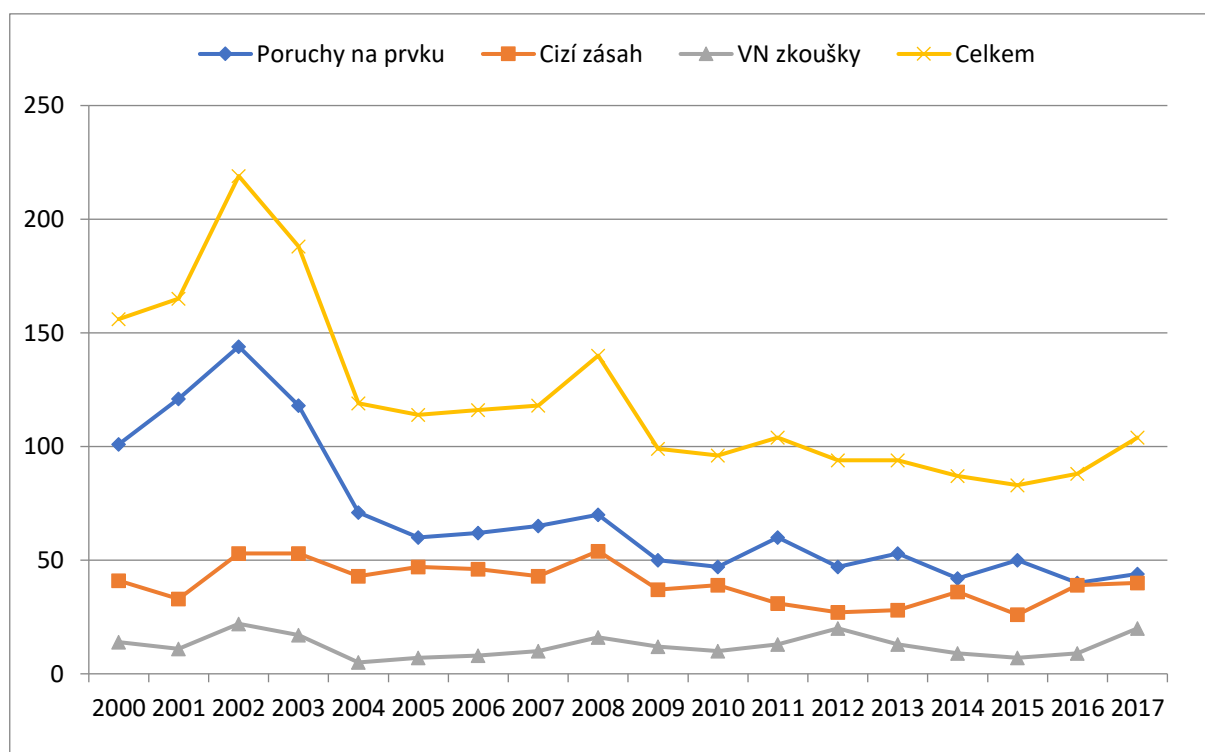
V období 2011-2017 dochází k neustálému snižování poruchovosti na prvku. Pověstného dna jsme ještě nedosáhli. Bude zajímavé sledovat, jak hluboko se tato hodnota dostane vzhledem k rozsáhlosti sítě.

Za povšimnutí stojí mírný propad cizích zásahů mezi lety 2008-2014, který je pravděpodobně způsoben útlumem stavební činnosti vlivem finanční krize. Podle tohoto ukazatele lze odhadnout, že stavební činnost v Praze již dosáhla úrovně před krizí. Tento fakt ještě podporuje celková poruchovost, která v posledních dvou letech stoupá. Tento vzestup jde na vrub cizích zásahů a v roce 2017 ještě na poruchy z vn zkoušek. To napovídá opravdu o zvýšené stavební činnosti ve městě po krizi.

Rok	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Poruchy na prvku	101	121	144	118	71	60	62	65	70
Cizí zásah	41	33	53	53	43	47	46	43	54
Po VN zkoušce	14	11	22	17	5	7	8	10	16
Celkem	156	165	219	188	119	114	116	118	140

Rok	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Poruchy na prvku	50	47	60	47	53	42	50	40	44
Cizí zásah	37	39	31	27	28	36	26	39	40
Po VN zkoušce	12	10	13	20	13	9	7	9	20
Celkem	99	96	104	94	94	87	83	88	104

Tabulka 10 - Poruchovost kabelů vn 2000-2017 [17]



Graf 4 - Poruchovost kabelů vn v období 2000-2017 [17]

4.3.2 Poruchovost spojek vn

V síti PREdistribuce, a.s. se nachází přibližně 22000 spojek. [6] Jsou to spojky různých výrobců, typů a stáří.

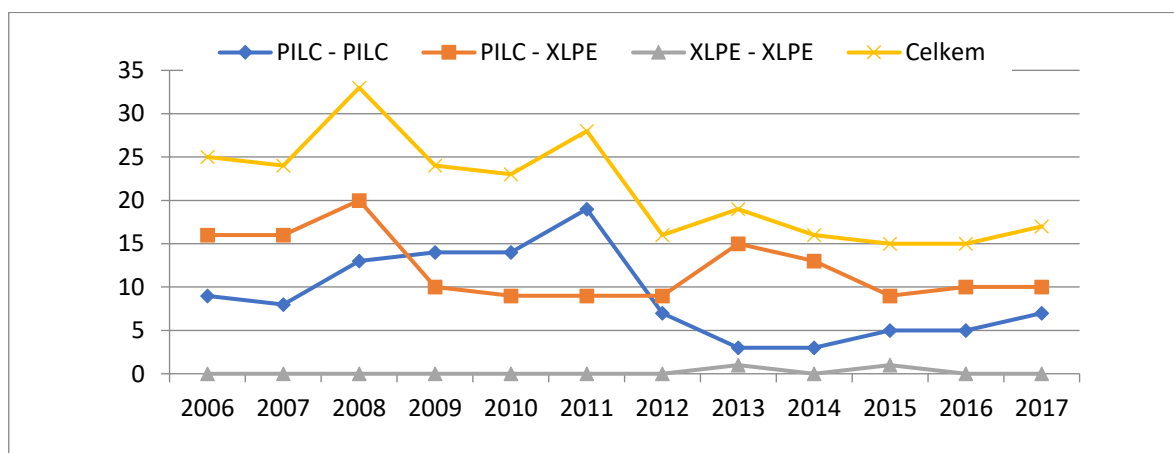
Dají se rozdělit do tří typů:

- Přímé na kabelu PILC, kdy je z obou stran spojky tento typ kabelu (PILC-PILC)
- Přímé na kabelu XLPE, kdy je z obou stran spojky tento typ kabelu (XLPE-XLPE)
- Přechodové, kdy je na každé straně jiný typ kabelu (PILC-XLPE)

Z tabulky 11 a grafu 5 vyplývá, že nejrizikovějším typem jsou za posledních 5 let přechodové spojky. PILC spojky vykazují klesající tendenci i přes jejich velké stáří. Spojky XLPE jsou téměř bezporuchové. Příčinou poruchy je většinou chyba montáže.

Typ Rok	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
PILC-PILC	9	8	13	14	14	19	7	3	3	5	5	7
PILC-XLPE	16	16	20	10	9	9	9	15	13	9	10	10
XLPE-XLPE	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Celkem	25	24	33	24	23	28	16	19	16	15	15	17

Tabulka 11 – Poruchovost spojek vn 2006-2017 [17]



Graf 5 - Poruchovost spojek 2006-2017 [17]

4.3.3 Poruchovost koncovek vn

Dalším sledovaným prvkem jsou koncovky. V síti PREdistribuce, a. s. se nachází přibližně 11 500 koncovek. [6] Jsou to koncovky od různých výrobců, typů a stáří. Dají se rozdělit do tří typů:

- PILC, které jsou eprozinové, epoxidové, navinované na kabelech PILC
- PILC se zásobníky, jsou to koncovky se zásobníky impregnáty na PILC kabelech

- XLPE, jsou koncovky na kabelech XLPE různých výrobců

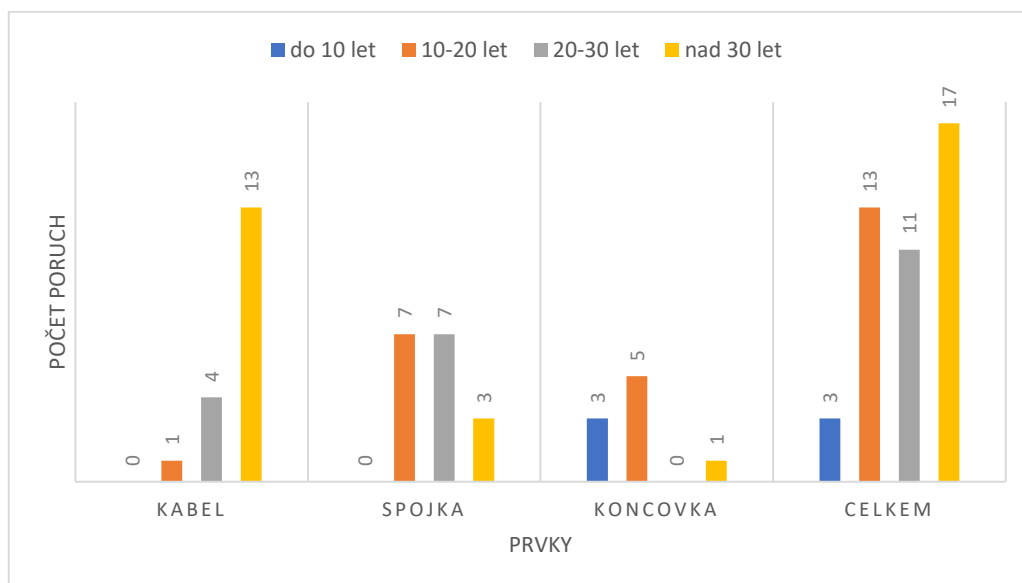
Koncovky PILC mají nízkou poruchovost, jelikož se v síti již prakticky nevyskytují. PILC se zásobníky vykazují největší poruchovost. Skok roce 2013 byl vytvořen uměle, jelikož byla provedena změna v klasifikaci těchto poruch. Poruchovost koncovek XLPE je vzhledem k přibližně stejnému množství jako PILC koncovek zanedbatelná.

Typ koncovky Rok	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
PILC	1	2	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0
PILC se zásobníky	5	1	1	2	2	3	3	11	9	12	10	7
XLPE	0	0	2	0	0	0	1	2	0	0	2	2
Celkem	6	3	3	2	3	5	4	13	9	12	12	9

Tabulka 12 - Poruchy na koncovkách vn 2006-2017 [17]

4.3.4 Poruchovost podle stáří prvku

Vykresluje graf 5 a z něho plyne, že nejporuchovější kabely jsou z období nad 30 let, což jsou převážně kabely typu PILC. Spojky jsou nejporuchovější z období 10-20 let a 20-30 let, což jde na vrub přechodových spojek Barnier, které jsou nejporuchovějším prvkem v kabelové síti PREDistribuce, a. s. Koncovky mají největší poruchovost v období 10-20 let. Jedná se o typy koncovek PILC s se zásobníky.



Graf 6 - Poruchovost podle stáří prvku pro rok 2017 [17]

4.3.5 Intenzita poruchovosti

Intenzita poruchovosti má jasnou sestupnou tendenci a potvrzuje klesající počet poruch v síti. Od roku 2016 se křivka mírně zvyšuje. To je způsobeno zvýšením počtu cizích zásahů.

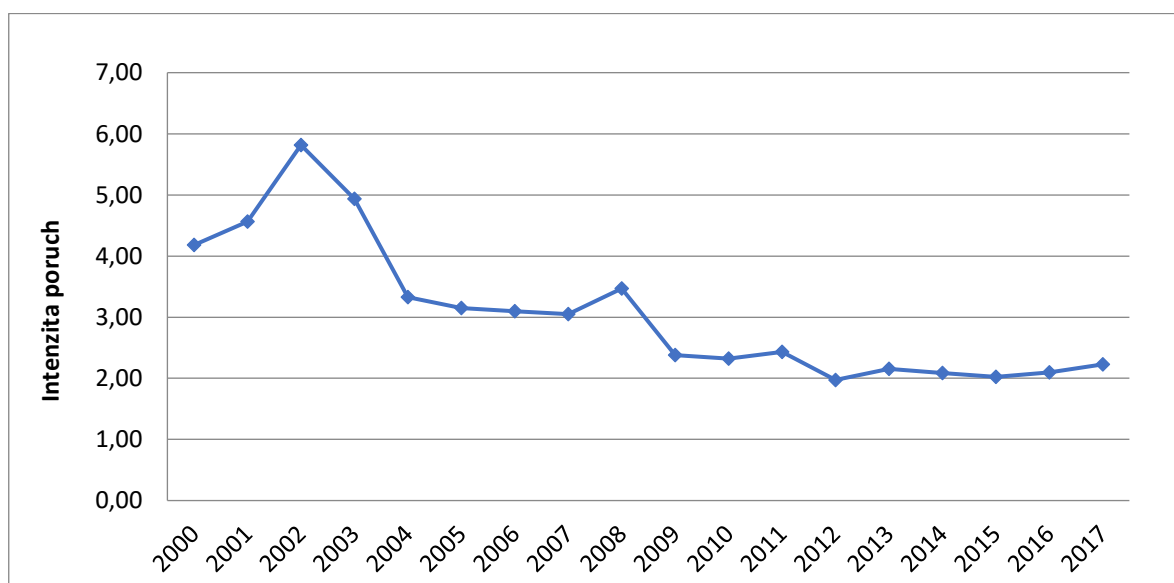
Rok	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Počet poruch (E2)	142	154	197	171	114	108	107	108	124
Délka kabelové sítě (km)	3395	3373	3387	3466	3425	3427	3457	3544	3576
λ (rok ⁻¹ /100 km)	4,18	4,57	5,82	4,93	3,33	3,15	3,10	3,05	3,47

Rok	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Počet poruch (E2)	87	86	91	74	81	78	76	79	84
Délka kabelové sítě (km)	3658	3708	3746	3750	3758	3741	3759	3769	3771
λ (rok ⁻¹ /100 km)	2,38	2,32	2,43	1,97	2,16	2,09	2,02	2,10	2,23

Tabulka 13 - Intenzita poruchovosti 2000-2017

Průměr intenzity poruch 2000-2017 (rok ⁻¹ /100 km)	3,07
--	------

Tabulka 14 - Průměr intenzity poruch 2000-2017



Graf 7 - Intenzita poruch 2000-2017

5 Vliv obnovy prvků kabelové sítě a aplikace inteligentních sítí na spolehlivostní ukazatele

5.1 Vliv obnovy kabelové sítě na spolehlivostní ukazatele

Při správném zacílení investičních prostředků na obnovu kabelové sítě dochází ke zvýšení spolehlivosti dodávky elektrické energie. Obnova sítě, o které jsem se zmiňoval v předchozích kapitolách, eliminuje riziková místa a omezuje vznik poruch. Tím přímo ovlivňuje spolehlivostní ukazatel SAIFI, který udává počet poruch na odběratele za sledované období.

5.2 Vliv inteligentních distribučních sítí na spolehlivostní ukazatele

Současný stav v kabelové síti PREdistribuce, a. s. je takový, že v případě poruchového stavu dojde k reakci ochran a vyřazení celého vývodu z rozvodny nebo rozpínací stanice, které jsou dálkově ovládány. Vymezení poruchy dispečer provádí za pomoci výjezdové čety, která manipuluje v trafostanicích, které nejsou dálkově ovládány.

V případě zavedení inteligentních distribučních trafostanic dojde v případě výpadku k odpojení jen části vývodu, tj. před poruchou. Tím dojde k omezení množství zasažených zákazníků, k rychlému vymezení poruchového místa a k rychlejší rekonfiguraci sítě. To vše vede k rychlejšímu ukončení výpadku.

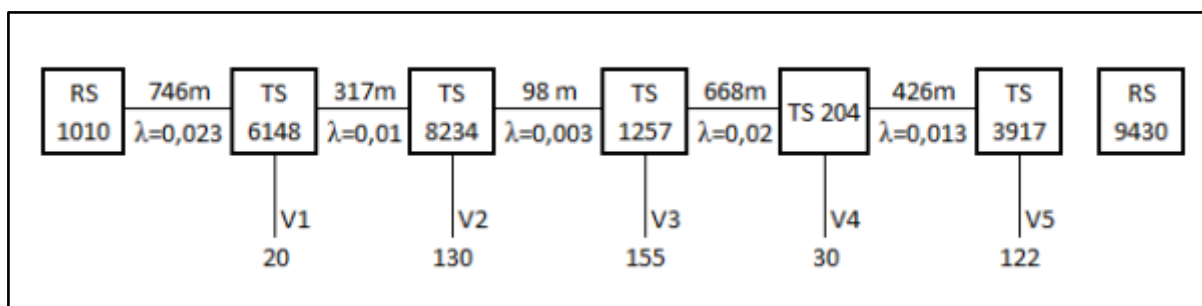
Inteligentní síť nám nezaručí bezporuchovost, ale pokud už k výpadku dojde, bude ušetřeno spousta času při manipulacích a vyhledáváních poruch. Tím se velmi sníží spolehlivostní ukazatel SAIDI.

Pochytrání stanic spočívá v doplnění ručního ovládání o elektrický pohon, instalace jednotky dálkového ovládání, zapojení náhradního zdroje napětí, komunikační modem, indikátory zkratových proudů, proudové a napěťové senzory. Elektrický pohon odpínačů zajistí snížení času na obnovení dodávky elektrické energie na minimum. Jednotka dálkového ovládání slouží jako spojovací článek s dispečerským řízením a sbírá všechny hlášení a ovládací povely nebo může pracovat i samostatně podle naprogramovaných algoritmů. Náhradní zdroj zajistí v případě výpadku energii pro komunikaci a dálkové ovládání trafostanice. Komunikační modem slouží jako pojítka mezi jednotkou dálkového ovládání a dispečinkem. Indikátory zkratových proudů a proudové senzory slouží ke sledování toku zkratových proudů.

5.3 Výpočet spolehlivostních ukazatelů na části kabelové sítě PREDistribuce, a. s.

Ukázkový výpočet bude obsahovat ukazatele SAIFI a SAIDI na různých variantách vývodu. První varianta je vývod bez inteligentní trafostanice, druhá s jednou inteligentní trafostanicí a třetí se dvěma inteligentními trafostanicemi. Bude možné porovnat jednotlivé hodnoty a sledovat, o kolik se sníží hodnota spolehlivostních ukazatelů při jednotlivých variantách.

Výpočet bude proveden na vývodu z RS 1010, kde je dálkově ovládaný výkonový vypínač s ochranami. Pro příklad jsem vybral jen prvních 5 trafostanic. Záložní zdroj je z RS 9430. Na obrázku 17 je znázorněn vývod z RS 1010 s délkami kabelů a vypočtenými intenzitami poruch z hodnoty 3,07 (rok⁻¹/100 km), kterou jsem použil z předešlé kapitoly. Jednotlivé vývody V1-V5 jsou označeny počtem odběratelů. Celkový počet odběratelů je 457.



Obrázek 16 - Vývod z RS 1010

Pro výpočet celkové intenzity vývodu byl použit vztah pro sériové zapojení prvků, kdy se jednotlivé intenzity sčítají. [16]

	λ
výkonový vypínač	0,015 rok ⁻¹
transformátor NN/VN	0,03 rok ⁻¹

Tabulka 15 - Intenzity poruch jednotlivých prvků [16]

5.3.1 Vývod bez inteligentních trafostanic

Tato varianta obsahuje současný stav distribuční sítě PREDistribuce, a. s. a přibližné postupy při odstraňování poruch. V tabulce 16 je vidět proces vyhledávání poruchy dispečinkem vn (DVN) s četou poruchové služby (PS)

Proces manipulace	čas od poruchy (min)	událost
vybavení ochran v RS 1010 na směr TS 6148 v L1	0	T0
odečtení IZP v TS 8234, TS 1257 a TS 204 (PS)	15	T1
v TS 204 vyp. směr TS 3917 (PS)	25	
v RS 1010 zap. směr TS 6148 (DVN) - výpadek	27	
v TS 1257 vyp. směr TS 204 (PS)	32	
v RS 1010 zap. směr TS 6148 (DVN) - nalezena porucha, částečné obnovení dodávky	37	T2
v TS 204 zap. směr 3917 a vyp. směr 1257 (PS)	40	
V RS 9430 zap. směr 3917 (DVN) - úplné obnovení dodávky	42	T3

Tabulka 16 - Manipulace bez inteligentní trafostanice

$$SAIFI = \frac{0,441 \cdot 457}{457} = 0,44 \left[\frac{\text{výpadek}}{\text{rok}} \right]$$

$$SAIDI = \frac{0,111 \cdot 37 \cdot 305 + 0,088 \cdot 42 \cdot 152}{457} = 4 \left[\frac{\text{minuty}}{\text{rok}} \right]$$

Vlivem poruchy došlo k výpadku celého vývodu z RS 1010. Bylo tedy postiženo všech 457 odběratelů. Všichni odběratelé byli postiženi dlouhodobým výpadkem nad 3 minuty.

5.3.2 Vývod s jednou inteligentní trafostanicí

Pokud v ukázkové síti bude použita inteligentní trafostanice, postup hledání poruchy bude odlišný. V tomto případě má dispečink možnost dálkově ovládat TS 1257. Mělo by dojít k rychlému částečnému obnovení dodávky. Trafostanice, kde není možnost dálkového ovládání, manipuluje poruchová služba.

Proces manipulace	čas od poruchy (min)	událost
vybavení ochran v RS 1010 na směr TS 6148 v L1	0	T0
dálkové odečtení IZP a analýza zkratové cesty (DVN)	0,5	T1
v TS 1257 vyp. směr TS 204 (DVN)	1	
v RS 1010 zap. směr TS 6148 (DVN) - částečné obnovení dodávky	2	
v TS 204 vyp. směr 1257 (PS)	15	
V RS 9430 zap. směr 3917 - úplné obnovení dodávky, nalezení poruchy (DVN)	25	T2, T3

Tabulka 17 - Manipulace s inteligentní trafostanicí

$$SAIFI = \frac{0,141 \cdot 305 + 0,088 \cdot 152}{457} = 0,12 \left[\frac{\text{výpadek}}{\text{rok}} \right]$$

$$SAIDI = \frac{0,111 \cdot 2 \cdot 305 + 0,088 \cdot 25 \cdot 152}{457} = 0,88 \left[\frac{\text{minuty}}{\text{rok}} \right]$$

Vlivem poruchy došlo k výpadku celého vývodu z RS 1010. Manipulacemi do 3 minut byla obnovena částečná dodávka. Dlouhodobým výpadkem bylo tedy postiženo 152 odběratelů. Při použití jedné inteligentní trafostanice ve vývodu došlo při poruše k vyřazení menšího počtu odběratelů, jelikož se přepnutí sítě a obnovení částečné dodávky stihlo do 3 minut. Výrazně tím klesly hodnoty celosystémových ukazatelů SAIFI a SAIDI.

5.3.3 Vývod s dvěma inteligentními trafostanicemi

V tomto případě bude vývod rozdělen na 1/3 a měl by být spolehlivější. Dispečink má možnost manipulovat v TS 8234 a TS 204. Opět v ostatních trafostanicích manipuluje poruchová služba.

Proces manipulace	čas od poruchy (min)	událost
vybavení ochran v RS 1010 na směr TS 6148 v L1	0	T0
dálkové odečtení IZP a analýza zkratové cesty (DVN)	0,5	T1
v TS 8234 vyp. směr TS 1257 (DVN)	1	
v RS 1010 zap. směr TS 6148(DVN) - částečné obnovení dodávky	1,5	
v TS 204 vyp. směr 1257 (DVN)	2	
V RS 9430 zap. směr 3917 (DVN) - další částečné obnovení dodávky	2,5	
v TS 1257 vyp. směr 204 (PS)	15	
v RS 1010 vyp. směr TS 6148 (DVN) - částečný výpadek dodávky	15,5	
v TS 8234 zap. směr TS 1257 (DVN)	16	
v RS 1010 zap. směr TS 6148 (DVN) - obnovení dodávky, nalezení poruchy	16,5	T2, T3

Tabulka 18 - Manipulace s dvěma inteligentními trafostanicemi

$$SAIFI = \frac{0,108 \cdot 150 + 0,048 \cdot 155 + 0,088 \cdot 152}{457} = 0,08 \left[\frac{\text{výpadek}}{\text{rok}} \right]$$

$$SAIDI = \frac{0,108 \cdot 2,5 \cdot 150 + 0,048 \cdot 16,5 \cdot 155 + 0,088 \cdot 2,5 \cdot 152}{457} = 0,43 \left[\frac{\text{minuty}}{\text{rok}} \right]$$

Vlivem poruchy došlo k výpadku celého vývodu z RS 1010. Manipulacemi do 3 minut byla obnovena částečná dodávka. Delším výpadkem bylo postiženo 155 odběratelů. Při použití dvou inteligentních trafostanic ve vývodu došlo při poruše k rychlejšímu obnovení dodávky. Delším výpadkem bylo postiženo 155 odběratelů.

5.3.4 Shrnutí výpočtů

Všechny výsledky jsou v tabulce 19 pro lepší přehlednost. Jestliže do vývodu zařadíme jednu inteligentní trafostanic a porovnáme hodnoty s výpočtem bez inteligentní trafostanice, vzniká u SAIFI 72 % a SAIDI 78 % rozdíl. Pokud zařadíme do vývodu dvě inteligentní trafostanice a porovnáme hodnoty s výpočtem s jednou trafostanicí, vzniká u SAIFI 33 % a SAIDI 51 % rozdíl. Je tedy vidět, že velký efekt má použití jedné inteligentní trafostanice ve vývodu. Spolehlivost vývodu výrazně stoupne. Při použití dvou inteligentních trafostanic je procentuální rozdíl menší.

	běžné TS	1 inteligentní TS	2 inteligentní TS
SAIFI	0,44	0,12	0,08
SAIDI	4	0,88	0,43

Tabulka 19 - Porovnání výsledků

Z předchozích příkladů vyplývá, že je nutné navrhovat uvážlivě místa umístění a počty inteligentních trafostanic, jelikož vložené investiční prostředky do více inteligentních trafostanic by se nemusely odrazit na spolehlivosti sítě.

6 Závěr

Jestliže chceme, aby provozovaná kabelová síť byla co nejspolehlivější, je třeba věnovat pozornost všem výše zmíněným aspektům. Pokud chceme dobře udržovat distribuční síť, je dobré mít podrobné informace o všech prvcích v síti. Je tím myšleno, že je třeba znát stáří prvků (nejlépe datum montáže), znát složení typů kabelů a jejich délku atd. Mít dobré zakreslení kabelové sítě pomocí GPS v GIS mapách.

Distribuční soustava je jako živý organizmus. Stále se vyvíjí, jak reaguje na nové požadavky odběratelů a stárne. Je potřeba stále sledovat její stav vhodnou analýzou, která na základě dobrých vstupních dat dokáže zavčas odhalit její nedostatky. Analýza dokáže například upozornit na neobvykle poruchový prvek nebo prvek, který je sice za svou ekonomickou nebo fyzickou životností, ale není poruchový a jeho výměna není nutná. V dlouhodobém horizontu nám může potvrdit, zda se stav kabelové sítě zlepšuje nebo zhoršuje. Důležitým prvkem na cestě ke spolehlivé kabelové síti je také propracovaný systém údržby. Elektrická zařízení je třeba v určitých lhůtách revidovat nebo aspoň provést pohledovou kontrolu, zda není potřeba větší servisní zásah. Dalším vhodným nástrojem na cestě k lepší spolehlivosti je diagnostika částečných výbojů, která dokáže klasifikovat stav kabelů a poukazuje na místa budoucích poruch. Výše zmíněné aspekty přispívají ke snižování poruchovosti a přímo ovlivňují celosystémový spolehlivostní ukazatel SAIFI, který určuje počet poruch za rok.

Další celosystémový spolehlivostní ukazatel je SAIDI, který určuje počet minut výpadku za rok. Dobu jednotlivých výpadků lze snížit pouze zrychlením manipulací při výpadku. Cesta ke snížení doby výpadku vede přes zavedení inteligentních prvků v síti, jako jsou inteligentní trafostanice, které v krátkém čase mohou zareagovat na povely z dispečinku a odpojit vadnou část sítě. V budoucnu bude možná i jakási autonomie, kdy trafostanice komunikují mezi sebou a dispečerským programem SCADA a vyřadí vadný úsek bez zásahu lidské ruky.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Zákon o podmínkách podnikání a o výkonu státní zprávy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (Energetický zákon)*. In.: Praha: Ministerstvo vnitra, 2000, ročník 2000, číslo 458.
- [2] PNE 34 1050. *Kladení kabelů NN, VN A 110 kV v distribučních sítích energetiky*. Druhé vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [3] KESSLER, J. KABLO KLADNO. *Silové kabely*. Kladno, 1978
- [4] PNE 34 7625. *VN kabely se zesítěnou PE izolací pro distribuční sítě do 35 kV*. Páté vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [5] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika distribučních a průmyslových zařízení*. Ostrava: VŠB-TU ve vydavatelství Montanex, 2008. ISBN 978-80-7225-291-6.
- [6] BRANNÝ, Jan. *Analýza poruch kabelového rozvodu vysokého napětí*. Praha, 2016. Bakalářská práce. ČVUT, Fakulta elektrotechnická
- [7] FENCL, František. *Rozvodná zařízení*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-01798-2.
- [8] PNE 34 7626. *Provozní zkoušky kabelových vedení vn v distribuční síti do 35 kV*. Druhé vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [9] RADOUCH, Antonín. *Strategie zvyšování spolehlivosti distribuční soustavy*. Plzeň, 2017. Diplomová práce. Západočeská univerzita, Fakulta elektrotechnická.
- [10] ŠEFRÁNEK, Jan. *Spolehlivost a kvalita dodávek elektřiny a možnosti jejich ovlivňování*. Praha, 2014. Disertační práce. ČVUT, Fakulta elektrotechnická.
- [11] PN PK 201. *Zkoušení kabelových vedení 22 kV, rozvoden, rozpínacích stanic a transformačních stanic*. Praha: PREDistribuce, a.s., 2014.
- [12] Mentlík, V.; Pihera, J.; Polanský, R.; Prosr, P.; Trnka, P.; *Diagnostika elektrických zařízení*; BEN, Praha 2008, ISBN 978-80-7300-2
- [13] PN KA 902. *Pravidla zařazování prvků do obnovy – Prostá reprodukce*. 4. verze. Praha: PREDistribuce, a.s., 2016.
- [14] PN PK 202. *Diagnostika kabelů 22 kV*. 5. verze. Praha: PREDistribuce, a.s., 2014.

- [15] PN UX 501. *Řád preventivní údržby*. 8. verze. Praha: PREdistribuce, a.s., 2017.
- [16] TŮMA J., ROUSEK S., MARTÍNEK Z. *Spolehlivost v energetice*, ČVUT Praha, 2006.
- [17] PREdistribuce, a.s., *Provozní zprávy 2000-2017*. Praha, 2000-2017