



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

Fakulta elektrotechniky  
Katedra elektroenergetiky

**Analýza poruch kabelového rozvodu vysokého napětí**

**Fault Analysis of Underground Cable Distribution System**

Bakalářská práce

Studijní program: Bakalářský  
Studijní obor: Elektrotechnika, energetika a management

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

**Jan Branný**

---

**Praha 2016**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická  
katedra elektroenergetiky

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: Jan Branný

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management  
Obor: Aplikovaná elektrotechnika

Název tématu: **Analyza poruch kabelového rozvodu vysokého napětí**

Pokyny pro vypracování:

1. Popis kabelového systému distribučních soustav vysokého napětí, používané technologie a diagnostické metody pro zjišťování poruch.
2. Rozbor typických poruch kabelových systémů.
3. Na základě záznamů PREDi proveďte analýzu a statistické vyhodnocení poruchovosti kabelové sítě v dlouhodobém časovém období.

Seznam odborné literatury:

- [1] Tůma J., Rusek S., Martínek Z., et al.: Spolehlivost v elektroenergetice, ČVUT Praha, 2006
- [2] Mentlík Václav, Pihera Josef, Polanský Radek, et al.: Diagnostika elektrických zařízení, BEN, 2008

Vedoucí: Ing. Radek Procházka, Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2017/2018



V Praze dne 18. 4. 2016

## **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.



.....  
podpis

V Praze 26.5.2016

Jan Branný

## **Anotace**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na analýzu poruch rozvodu vysokého napětí v PREdistribuci, a.s. Jednotlivé části se zabývají kabely provozované v síti, metodami pro zjišťování poruch, rozboru typických poruch kabelových systémů. Podrobně je rozebrána poruchovost jednotlivých kabelových prvků, poruchovost podle stáří prvku a porovnána intenzita poruch. Představení nástrojů na snižování poruchovosti.

## **Klíčová slova**

Kabel, spojka, koncovka, analýza, poruchovost, zkouška kabelů

## **Annotation**

This bachelor thesis is focused on the analysis of the failures of components in the PREDistribuce, a.s. high voltage electrical systems. The individual parts of this thesis are dealing with cables operated in the network, methods of fault detection, analysis of typical malfunctions of the cable system. In detail is analyzed the failure rate of individual cable components, the failure rate according to the age of the component compared to the intensity of the malfunction. The performance tools for reducing failure rate will be included.

## **Key words**

Cable, joint, termination, analysis, fault, cable test

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Radkovi Procházkovi, Ph.D. za připomínky a metodické vedení práce, Zdeňku Komrskovi za pomoc při zpracování tématu typických poruch kabelových systémů a Ing. Františkovi Křivánkovi za pomoc při analýze poruchovosti. Dále společnosti PREdistribuce, a.s. za poskytnutí potřebných dat a za svolení zabývat se tímto tématem.

## Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>OBSAH</b> .....  | <b>7</b>  |
| <b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....                             | <b>8</b>  |
| <b>ÚVOD</b> .....   | <b>9</b>  |
| <b>1 DISTRIBUČNÍ SOUSTAVA</b> .....                               | <b>10</b> |
| <b>2 KABELOVÉ VEDENÍ VN</b> .....                                 | <b>11</b> |
| 2.1 HISTORIE VÝROBY KABELŮ.....                                   | 11        |
| 2.2 KABELY PROVOZOVANÉ V PŘEDISTRIBUCI .....                      | 12        |
| 2.2.1 <i>Kabely s XLPE izolací</i> .....                          | 13        |
| 2.2.2 <i>Kabel s PILC izolací</i> .....                           | 15        |
| <b>3 POUŽÍVANÉ METODY PRO ZJIŠŤOVÁNÍ PORUCH</b> .....             | <b>17</b> |
| 3.1 STRUČNÝ POPIS MĚŘÍCÍCH METOD .....                            | 17        |
| 3.2 ZAMĚŘENÍ VZDÁLENOSTI PORUCHY .....                            | 18        |
| 3.2.1 <i>Nízkoohmová porucha</i> .....                            | 18        |
| 3.2.2 <i>Vysokoohmová porucha</i> .....                           | 18        |
| 3.3 URČENÍ TRASY KABELU .....                                     | 20        |
| 3.4 PŘESNÉ URČENÍ MÍSTA PORUCHY .....                             | 20        |
| 3.4.1 <i>Distanční metoda</i> .....                               | 20        |
| 3.4.2 <i>Metoda krokového napětí</i> .....                        | 20        |
| 3.4.3 <i>Závitová metoda</i> .....                                | 20        |
| 3.5 LOKALIZACE PORUCHY VE VÝKOPU .....                            | 21        |
| 3.6 VYSOKONAPĚŤOVÉ ZKOUŠKY .....                                  | 22        |
| <b>4 ROZBOR TYPICKÝCH PORUCH KABELOVÝCH SYSTÉMŮ</b> .....         | <b>24</b> |
| 4.1 KONCOVKY KABELŮ PILC.....                                     | 24        |
| 4.2 KABELY .....  | 25        |
| 4.3 SPOJKY PILC/PILC TYPU SVN.....                                | 26        |
| 4.4 SPOJKY PILC/XLPE .....  | 26        |
| <b>5 ANALÝZA PORUCHOVOSTI KABELŮ VN</b> .....                     | <b>28</b> |
| 5.1 VÝVOJ PORUCHOVOSTI NA KABELECH 22 kV V OBDOBÍ 2000-2015 ..... | 28        |
| 5.2 PORUCHOVOST NA JEDNOTLIVÝCH PRVCÍCH ZA OBDOBÍ 2006-2015 ..... | 30        |
| 5.2.1 <i>Poruchy na kabelech vn</i> .....                         | 30        |
| 5.2.2 <i>Poruchy na spojkách vn</i> .....                         | 30        |
| 5.2.3 <i>Poruchy na koncovkách vn</i> .....                       | 33        |
| 5.3 PORUCHOVOST PRVKŮ PODLE STÁŘÍ V ROCE 2015.....                | 34        |
| 5.4 INTENZITA PORUCH 2000-2015 .....                              | 34        |
| 5.5 SNIŽOVÁNÍ PORUCHOVOSTI .....                                  | 36        |
| 5.5.1 <i>Diagnostika částečných výbojů</i> .....                  | 36        |
| 5.5.2 <i>Mapy sítí</i> .....                                      | 36        |
| 5.5.3 <i>Kontroly firem a certifikace pracovníků</i> .....        | 37        |
| <b>ZÁVĚR</b> .....  | <b>38</b> |
| <b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....              | <b>39</b> |
| <b>PŘÍLOHY</b> .....  | <b>1</b>  |

## **Seznam symbolů a zkratk**

|            |   |
|------------|---|
| PILC ..... | Kabely s papírovou izolací napuštěnou olejem      |
| XLPE.....  | Kabely s plastovou izolací zesíťového polyetylénu |
| K2 .....   | Pryskyřice na dolévání kabelových koncovek        |
| K3 .....   | Olej na dolévání kabelových koncovek              |
| PE .....   | Polyetylén  |
| PVC .....  | Polyvinylchlorid                                  |
| E1 .....   | porucha bez poškození zařízení                    |
| E2 .....   | porucha s poškozením zařízení                     |



## Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na analýzu poruchovosti kabelových prvků a výpočet spolehlivosti v síti PREdistribuce, a.s. (dále jen PREdistribuce). Vzhledem k tomu, že se jedná o městskou síť, je zde kladen zvýšený důraz na spolehlivost a rychlé odstranění poruch.

První část krátce seznamuje s rozsahem distribuční soustavy. Druhá část je zaměřena na historii výroby kabelů a popis konstrukcí kabelů v síti PREdistribuce. Další část rozebírá metody zaměřování poruch na kabelech vn a problematiku vn zkoušek. Rozbor typických poruch, které se vyskytují na kabelových souborech, představuje část čtvrtá.

Hlavní část je věnována analýze poruchovosti. Je zaměřena na vývoj dlouhodobé poruchovosti, vyjádření poruchovosti na jednotlivých prvcích kabelové sítě a poruchovosti prvků podle stáří. Dále bude představena intenzita poruch jako ukazatel spolehlivosti sítě a bude provedeno srovnání.

Na závěr budou krátce představeny nástroje, které se používají v PREdistribuci na snižování poruchovosti.

# 1 Distribuční soustava

Distribuční soustava PREDistribuce se rozkládá na ploše 505 km<sup>2</sup> a zahrnuje Prahu a Roztoky u Prahy. Na tomto území zásobuje elektrickou energií 1 272 343 osob. Velká míra zastavěnosti tohoto území má vliv i na distribuční soustavu. Důsledkem je, že drtivá část vedení vn je pod zemí. Kabelové vedení vn tvoří přibližně 99% z celkové délky, která k 1. 1. 2016 byla 3 759 km. Kabelová síť je rozsáhlá a zahrnuje 22 rozvodů 110/22 kV, 349 rozpínacích stanic 22 kV a 4494 trafostanic 22/0,4 kV. Množství energie dodané v roce 2015 odběratelům odpovídalo 5813 GWh. [12]

Distribuční soustava PREDistribuce je největší městskou sítí v ČR. Na její spolehlivost jsou kladeny zvýšené nároky. Vzhledem k tomu, že zde sídlí mnoho významných státních i zahraničních institucí a průměrná hustota obyvatelstva je 2519 osob/km<sup>2</sup> [12], je nutné zajistit téměř bezporuchový stav. Pokud už k nějaké poruše dojde, je třeba urychleně poruchu odstranit.

## 2 Kabelové vedení vn

### 2.1 Historie výroby kabelů

Dnešní dobu si nelze představit bez přenášení elektrické energie pomocí kabelů. Kabely jsou součástí našich měst a jsou jimi protkány jako nervová soustava.

Výrobu kabelů můžeme datovat k roku 1870 [15], ale než se začal tento nový technický prvek využívat, ještě to nějakou dobu trvalo. Příkladně v Brně v městském divadle v roce 1882 [15] bylo rozhodnuto, že pro rozvod elektrické energie budou použity holé vodiče uložené v dřevěných žlábcích.

Vzniku kabelu moderního typu můžeme děkovat Franci Borelovi ze Švýcarska, který pracoval jako ředitel asfaltových dolů ve společnosti Val de Travers Asphalt Pasing Co. Franc Borel odhalil elektroizolační vlastnosti asfaltu a zkonstruoval první pokusný kabel. Obalil měděnou žílu asfaltem a celé to spirálovitě obalil ocelovým páskem. Tato konstrukce nebyla moc trvanlivá, jelikož asfalt se vysušoval a praskal. [15]

Borel se poučil, jak tento problém vyřešit v italských Pompejích, které sopka Vesuv v roce 79 př. n. l. úplně zničila. Zde si Borel všiml, že předměty chráněné vrstvou olova byly dobře zachovány i po tolika staletích. Po návratu využil této zkušenosti a aplikoval olovo jako ochranu před vnějšími vlivy na kabel. Provedl ještě úpravu asfaltu a doplnil ho o směs pryskyřice a oleje. Takto vznikl v roce 1879 [15] první kabel pro distribuci elektrické energie, který bylo možno uložit do země a dopravovat ho na cívkách.

Borelův kabel byl nejdříve využíván jako telekomunikační. V roce 1880 [15] byl položen na dno Neuchatelského jezera, kde sloužil bez poruchy až do roku 1928, kdy již nestačila jeho kapacita.

Silnoproudý kabel byl použit poprvé v Paříži v roce 1881 [15] na světové výstavě, kde jim byl rozveden proud mezi obloukové lampy.

V roce 1882 [15] v Lausanne ve Švýcarsku byla zprovozněna první distribuční síť, která byla vedena městem.

První vysokonapěťový kabel byl vyroben v roce 1886 [15] také ve Švýcarsku. Bylo to pro elektrickou dráhu Vevey - Montreux. Kabely byly provozovány na 600 V a byly v provozu více jak 50 let.

Na konci 19. století ve světě strmě narůstalo množství kabelových elektroinstalací. Ani České země nezůstaly pozadu. Pražská síť vysokého střídavého napětí vznikla v roce 1900 [14] výstavbou Ústřední elektrické stanice v Holešovicích. Byla provozována kabely 3kV o průřezu 3 x 50 mm<sup>2</sup> CU. O tomto vývoji elektrifikace Prahy rozhodla v roce 1897 [14]



Obrázek 1: Pokládka kabelu ve Vršovicích 20. léta 20. století

komise odborníků (prof. Pulaje, dvorní rada Kapreise, prof. Dörfela). Komise vydala návrh na novou elektrickou síť se střídavým proudem 50Hz o vysokém napětí 3 kV a nízkém napětí 3 x 120V. Tato síť byla provozována ještě v nedávné minulosti. Poslední část rozvodu 3/0,1 kV byla zrušena v roce 2008. [12]

Další milník pro vývoj kabelů byla 2. světová válka, kdy se z nedostatku surovin začala používat plastová izolace kabelů nn. V 60. letech 20. století se začali objevovat první kabely s izolací PVC a PE a později i z XLPE. Konstrukce kabelů s těmito materiály jsou používány dodnes a jsou stále zdokonalovány. [8]

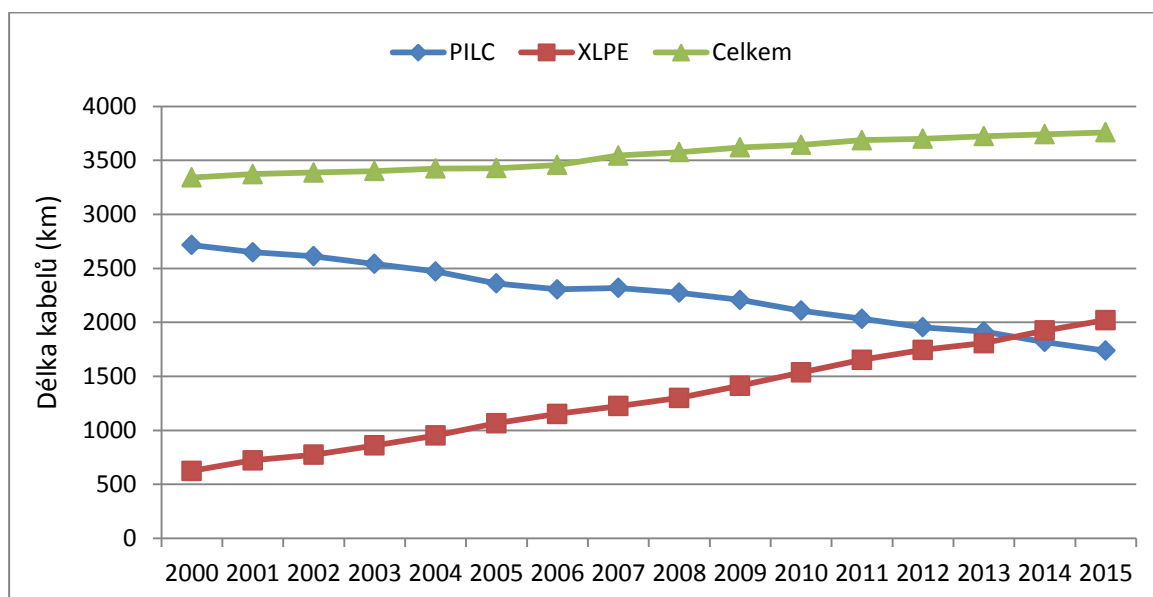
## 2.2 Kabely provozované v PREDistribuci

Největší zastoupení v kabelové síti vn mají dva typy kabelů. Jejich poměr se během let mění v rámci investic do kabelové sítě. Vývoj obměny kabelové sítě popisuje tabulka 1 a graf 1. Kabely XLPE typu AXEKVCEY, AXEKVCER, AXEKCY, AXEKCEY jsou zastoupeny asi 53,5% a kabely s izolací PILC typu ANKTOYPVs, ANKTOYPV jsou zastoupeny přibližně 46%. Dosluhujících typů kabelů HSO, HSE, SO, HATP, HATPs zbývá ještě cca 0,5%, přibližně 20 km. [12]

| Typ kabelu   Rok   | 2000        | 2001        | 2002        | 2003        | 2004        | 2005        | 2006        | 2007        |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| PILC (km)          | 2716        | 2650        | 2612        | 2541        | 2472        | 2361        | 2305        | 2319        |
| XLPE (km)          | 625         | 723         | 775         | 860         | 953         | 1066        | 1152        | 1225        |
| <b>Celkem (km)</b> | <b>3341</b> | <b>3373</b> | <b>3387</b> | <b>3401</b> | <b>3425</b> | <b>3427</b> | <b>3457</b> | <b>3544</b> |

| Rok                | 2008        | 2009        | 2010        | 2011        | 2012        | 2013        | 2014        | 2015        |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| PILC (km)          | 2275        | 2207        | 2108        | 2033        | 1954        | 1915        | 1818        | 1738        |
| XLPE (km)          | 1301        | 1413        | 1536        | 1654        | 1746        | 1808        | 1924        | 2021        |
| <b>Celkem (km)</b> | <b>3576</b> | <b>3620</b> | <b>3644</b> | <b>3687</b> | <b>3700</b> | <b>3723</b> | <b>3742</b> | <b>3759</b> |

Tabulka 1: Vývoj obměny kabelové sítě vn [12]



Graf 1: Vývoj obměny kabelové sítě [12]

### 2.2.1 Kabely s XLPE izolací

V současnosti má izolace z polymerového materiálu velké uplatnění v kabelovém průmyslu. Pro kabely do 6kV se používá PVC izolace, pro vyšší napětí se používá polyetylén.

Polyetylén, který patří do skupiny polymerů, tvoří makromolekuly ( $-\text{CH}_2-$ ) navzájem propojených do řetězce, mezi kterými neexistují žádné křížové chemické vazby. Zesítním dochází k vytvoření stabilních chemických vazeb mezi molekulovými řetězci. Zesítněný polyetylén působením tepla netaje a zachovává si svoje vlastnosti v širokém rozmezí teplot. Díky vysoké čistotě použitého materiálu se dosáhnou vynikající elektrické vlastnosti. Vzhledem k vysoké teplotní stálosti jsou výrazně zlepšené i mechanické vlastnosti zesítněného polyetylénu (XLPE). [3]

Používají se pro instalaci ve venkovním prostředí, v zemi i pro vnitřní použití. Používají se i v kabelových kanálech a kolektorech, kde je nutné použít variantu s pláštěm odolným proti podélnému šíření ohně.

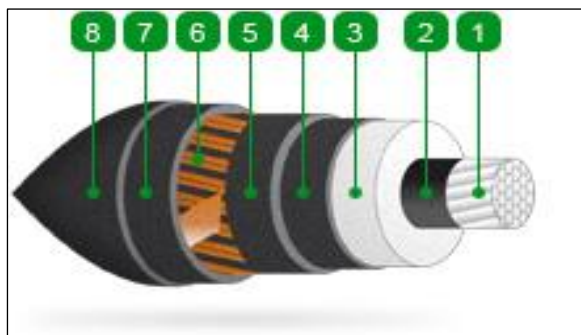
V PREdistribuci se používají tyto kabely s XLPE izolací:

- AXEKCY
- AXEKCEY
- AXEKVCEY
- AXEKVCER

Jednotlivé významy písmen na jednotlivých pozicích jsou v tabulce 2.

|                   |                                       |  |
|-------------------|---------------------------------------|--|
| Jádro             | A                                     | Hliníkové jádro  |
|                   | C                                     | Měděné jádro   |
|                   | AV                                    | Hliníkové vodotěsné  |
|                   | CV                                    | Měděné vodotěsné   |
| Izolace           | XE                                    | Zesítný 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: Písmenné značené kabelů XLPE [7]



Obrázek 2: Ukázka konstrukce kabelu XLPE [16]

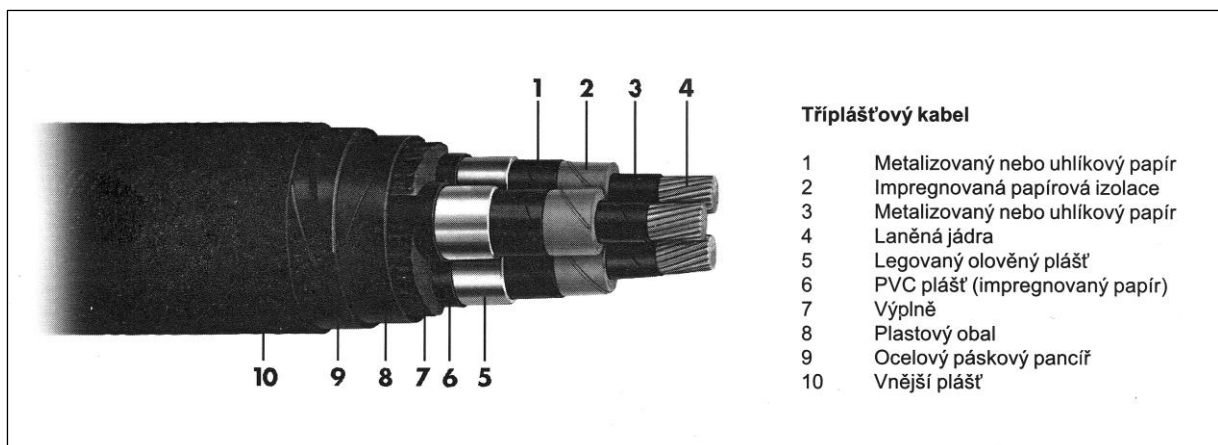
- 1 AL jádro kulaté lanované a komprimované podle ČSN EN 60228, třída 2
- 2 Dolní vytlačovaná polovodivá vrstva
- 3 Izolace XLPE
- 4 Horní vytlačovaná polovodivá vrstva
- 5 Polovodivá vodu blokuující páska
- 6 Koncentrický vodič z žíhaných měděných drátů a protispirála z Cu páska
- 7 PE plášť černý
- 8 Ochranný plášť z PVC

### 2.2.2 Kabel s PILC izolací

Jádro kabelu se ovíví papírovými páskami. Páska se musí překrývat, aby nevznikaly mezery a nedocházelo k částečným výbojům. Na zvýšení elektrické pevnosti se papírová izolace impregnuje, buď kabelovou hmotou (pro kabely s napětím do 35 kV), anebo kabelovým olejem (pro napětí od 110 kV). Poté následuje opláštění kabelu. Plášť chrání kabel před vnějšími vlivy a brání tak v průrazu. Další obaly nad pláštěm vytvářejí protikorozní ochranu a mechanickou ochranu kabelu (tabulka 3). [2,4]

V PREdistribuci se do devadesátých let minulého století pokládaly kabely s papírovou izolací typu „A“ označované:

- ANKTOYPV
- ANKTOYPVs



Obrázek 3: Trojplášťový kabel (PILC) [16]

Jednotlivé významy písmen na jednotlivých pozicích jsou v tabulce 3.

|                   |   |  |
|-------------------|---|--|
| Jádro             | A | Hliníkové  |
|                   | C | Měděné   |
| Izolace           | N | Napuštěný papír „normální“   |
|                   | M | Napuštěný papír „nemigrující“  |
|                   | Y | Měkčený PVC  |
|                   | G | Kaučukový vulkanizát   |
|                   | E | Polyetylén   |
| Kabel             | K | Silnoproudý 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 pásek včetně asfaltem napuštěné tkaniny                    |
|                   | D | Pancíř z drátů včetně asfaltem napuštěné tkaniny                         |
|                   | Z | Pancíř z nemagnetických drátů (pro jednožilové kabely na střídavý proud) |

**Tabulka 3: Písmenné značení kabelů PILC [4,5]**

**ANKTOYPPV** - jádro kabelu je z hliníku (A), který je obalený napuštěným papírem (N); jedná se o kabel (K) se samostatně opláštěnými žilami (T) olovem (O) se souvislým bezešvým obalem z PVC (Y) s pancířem ze dvou pásek včetně asfaltem napuštěné tkaniny (P), celé je to zakryté vláknitým asfaltovým obalem (V). Pro izolační vrstvy se používá napuštěný papír v několika vrstvách překládaný tenkými děrovanými hliníkovými páskami pro rozložení elektrického pole.

**ANKTOYPPVs** - u tohoto typu jsou vrstvy zesíleny

V dřívějších dekádách se používaly a zřídka ještě používají i kabely typu H. První skupina jsou jednoplášťové kabely s označením HSO, HSE, SO, kterým už skončila plánovaná životnost. Jejich výroba skončila v předválečném období a jsou v provozu téměř 80 let. Druhá skupina jsou dvouplášťové kabely typu HATP a HATPs, jejichž výroba probíhala v 50. letech 20. století a jsou provozovány cca 60 let.



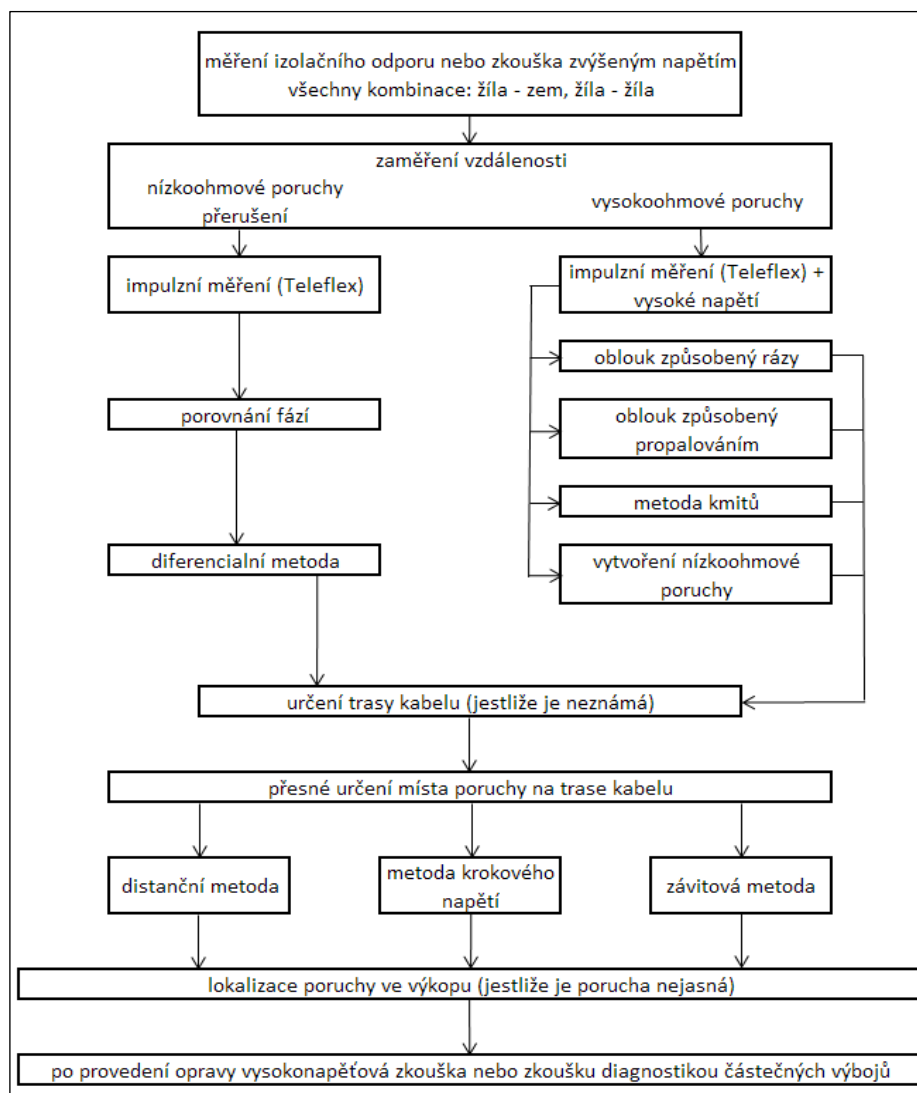
### 3 Používané metody pro zjišťování poruch

Přesné zaměření a lokalizace poruch je nedílnou součástí energetiky, jelikož velmi zrychluje obnovení dodávky elektrické energie zákazníkům a snižuje náklady na odstranění poruch v kabelovém vedení.

#### 3.1 Stručný popis měřících metod

Každé měření by mělo začít měřením izolačních odporů nebo napěťovou zkouškou, které odhalí vlastnosti poruchy, zda se jedná o nízkoohmovou nebo vysokoohmovou poruchu.

Nízkoohmovou poruchu lze zaměřit s velkou přesností impulzní odrazovou metodou (Teleflex), vysokoohmová porucha vyžaduje více kroků. Pro zaměření používáme rázového generátoru, který vysílá do kabelu rázové impulzy. V místě poruchy vytvářejí přeskoky, kterými můžeme zaměřit vzdálenost a určit přesné místo poruchy.



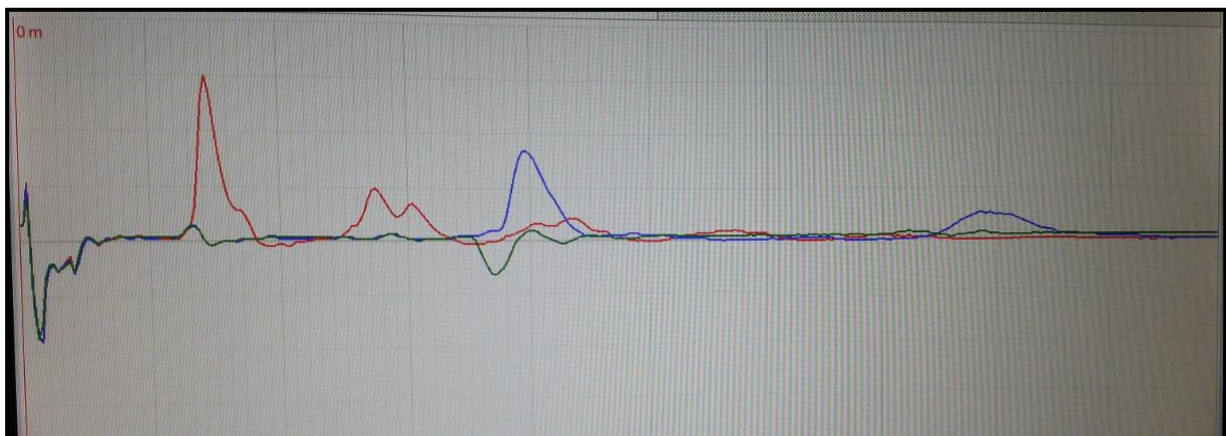
Obrázek 4: Postup zaměření poruchy kabelu vn [11]

## 3.2 Zaměření vzdálenosti poruchy

Principem zaměření vzdálenosti poruchy je vyslání vysokofrekvenčního impulzu do kabelu, který se v místě poruchy odrazí a vrací se zpět. Tímto procesem vzniká reflektogram a je možné ho sledovat na zobrazovacím zařízení (Teleflex). Vzdálenost poruchy závisí na době průběhu impulzu a rychlosti šíření v kabelu. Rychlost šíření u kabelu vn a nn se pohybuje v rozmezí 156 – 170 m/ $\mu$ s. [9]

### 3.2.1 Nízkoohmová porucha

Tyto poruchy se zaměřují impulzní odrazovou metodou. Metoda využívá toho, že dochází k odrazu ve všech částech kabelu, kde dochází ke změně vlnového odporu. Velikost odražené energie závisí na velikosti změny vlnového odporu, na počtu odrazů, délce kabelu a vzdálenosti poruchy. U kabelů, které nemají odbočky, je měření jednoduché. Na reflektogramu je vidět jasně konec kabelu, spojky a popřípadě porucha. Složitější situace nastává u vedení, která se různě větví. V tomto případě bývá reflektogram špatně čitelný, ale můžeme si pomoci porovnáním zdravé a vadné fáze. [9,11]



Obrázek 5: Zaměřená porucha impulzní odrazovou metodou

### 3.2.2 Vysokoohmová porucha

Běžnou impulzní odrazovou metodu nelze použít, jelikož ji lze využít pouze na přerušené kabely nebo na nízkoohmovou poruchu. Zaměřování vysokoohmových poruch je náročnější a vyžaduje složitější přístrojové vybavení.

Při hoření oblouku ve vysokoohmové poruše dochází krátkodobě ke snížení odporu na nízkoohmovou, jelikož odpor elektrického oblouku je skoro nulový. V tomto okamžiku lze poruchu zaměřit impulzní odrazovou metodou. [9,11]

- ***Oblouk způsobený rázy***

Metoda využívá hoření elektrického oblouku, jehož zdrojem je rázový generátor. Ten vyše napěťový ráz, který vyvolá v místě poruchy přeskok. Místo poruchy se zaměří reflektografem se synchronizovaným s rázovým generátorem. Přístroj zaměří místo, jako by se jednalo o zkrat. [9,11]

- ***Oblouk při propalování***

Metoda využívá hoření elektrického oblouku, jehož zdrojem je výkonný ss propalovací zdroj, který v místě poruchy vytvoří dlouhodobě hořící elektrický oblouk o frekvenci cca 100 Hz. Stejně jako v předchozím případě reflektograf zaměří poruchu. [9,11]

- ***Metoda kmitů***

Pokud je napětí rázů a propalovacího zdroje malé, že nedochází k přeskoku elektrického oblouku v poruše, je nutné použít metodu kmitů.

Vadný kabel je nabíjen vysokonapěťovým zdrojem a nabíjí se tak dlouho, dokud se nepřekročí hodnota přeskokového napětí v poruše. V tomto okamžiku se celá nabitá kapacita kabelu vybije do poruchy. V poruše se zapálí elektrický oblouk, což vyvolá postupné vlnění, které se šíří na obě strany kabelu. Dochází k charakteristickému kmitání napěťové vlny, kterou lze použít k zaměření vzdálenosti poruchy. Přitom je poloviční hodnota periody vlny úměrná časovému intervalu nutnému pro průběh napěťové vlny od poruchy k začátku a zpět. [9,11]

- ***Vytvoření nízkoohmové poruchy***

Tato metoda mění charakter poruchy z vysokoohmové na nízkoohmovou nebo na přímý zkrat. Pokud se podaří přeměna, lze použít impulzní odrazovou metodu. Charakter poruchy se mění pomocí vysokonapěťového propalovacího zdroje. [9,11]

### 3.3 Určení trasy kabelu

Metoda na určení trasy kabelu využívá signálu s tónovou frekvencí. Pomocí generátoru tónové frekvence a přijímače vybaveného hledací sondou lze sledovat průběh magnetického pole vytvořeného nad kabelem. Magnetické pole vzniká rozdílem proudů protékajících vodičem a pláštěm. Diferenciální pole vzniká odtokem proudu z kabelového pláště a z uzemnění na druhém konci kabelu. [9,11]

### 3.4 Přesné určení místa poruchy

Přesné zaměření poruchy je zásadní činnost v celém postupu hledání poruchy. Pro určení místa poruchy se používá především rázové metody používající rázový generátor. V místě poruchy po vyslání strmého vysokonapěťového rázu vznikne silný akustický ráz. Tento ráz sledujeme speciálním zemním mikrofonem. Intenzita akustického rázu závisí na energii rázového kondenzátoru vybitého do poruchy. Výše rázovacího napětí nemá na intenzitu rázu žádný vliv. [9,11]

#### 3.4.1 Distanční metoda

Tato metoda je založena na snímání akustického rázu a magnetického impulzu v kabelu při použití rázového generátoru. Přístroj pro vyhledávání poruchy je vybaven dvoukanálovým přijímačem. První kanál je vybaven cívkou na sledování magnetického pole a druhý kanál je vybaven mikrofonem na snímání akustických rázů. Dojde-li k současnému příjmu obou signálů, máme jistotu, že se nacházíme na trase kabelu, našli jsme poruchu a při příjmu akustických signálů se nejedná o příjem cizích vzruchů. [9,11]

#### 3.4.2 Metoda krokového napětí

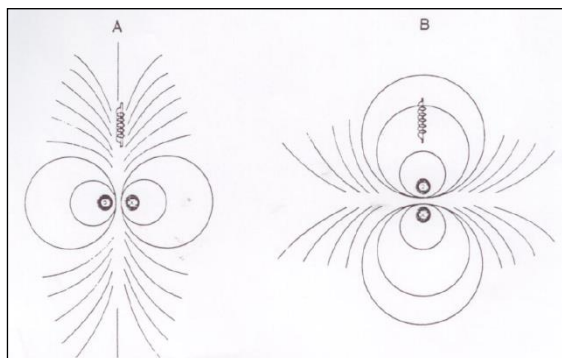
Metoda se používá k zaměřování plášťových poruch na kabelech XLPE a nebo na bezplášťových kabelech izolovaných PVC.

Principem metody je vysílání klíčovaných napěťových impulzů. Tyto impulzy v místě poruchy vytvářejí napěťový trychtýř, který na povrchu vytváří krokové napětí. Toto krokové napětí je snímáno galvanicky na povrchu. Největší koncentrace zemních proudů se nachází v místě poruchy a přímo nad poruchou dochází ke změně polarity krokového napětí. [9,11]

#### 3.4.3 Závitová metoda

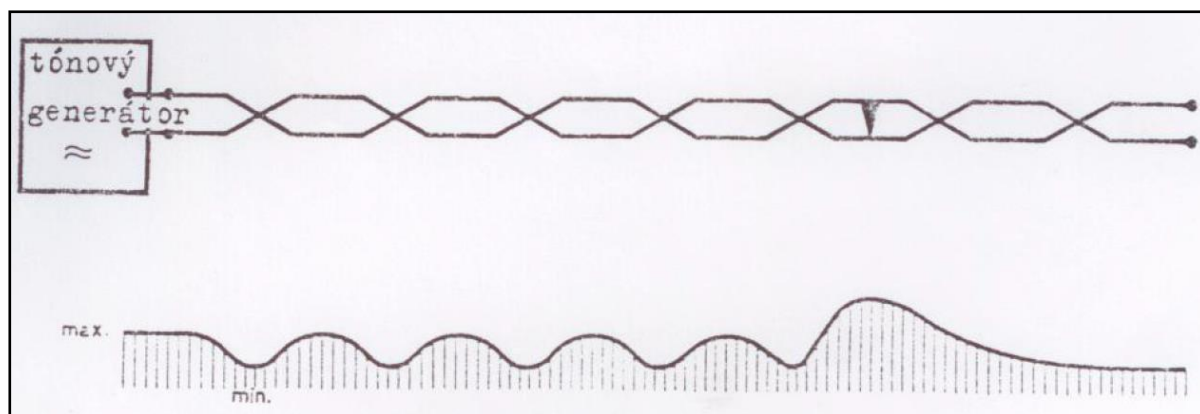
Závitová metoda je v zásadě použitelná u všech vícežilových jednoplášťových kabelů vyrobených metodou stáčení žil. Pokud je mezi žilami nízkoohmová porucha (zkrat), připojíme tónový generátor mezi dvě žíly kabelu a vznikne nad kabelem tzv. závitové pole.

Tímto polem se rozumí magnetické pole vznikající nad dvěma stáčenými žilami v kabelu. V žilách prochází proud proti sobě. V okamžiku, kdy jsou žíly v kabelu uloženy vodorovně, indukuje se do vyhledávací cívky nejvyšší napětí (obrázek 6A). Naopak pokud jsou svisle, v cívkce se žádné napětí neindukuje (obrázek 6B).



Vzájemná poloha obou žil se periodicky mění v rytmu jejich stáčení v kabelu. Pohybujeme-li cívkou podél kabelu, dostáváme magnetické pole v rytmu závitů obou vodičů (obrázek 7). Pole se změní až v místě poruchy. Zde se projeví buď velmi silné maximum, za nímž následuje již jen trvalý signál bez závitů, nebo magnetické pole zcela zmizí. [9,11]

Obrázek 6: Závětová metoda u dvou žilového kabelu [9]



Obrázek 7: Rytmičké závětové pole [9]

### 3.5 Lokalizace poruchy ve výkopu

Pokud není ve výkopu místo poruchy zřejmé, můžeme pomocí dvou metod určit přesné místo poruchy.

- *Lokalizace pomocí rázového generátoru*

Na kabel připojíme rázový generátor a v místě poruchy se objeví elektrický výboj a charakteristický akustický ráz. V případě, že porucha je uvnitř kabelu, slyšíme pouze akustický ráz. [9,11]

- *Lokalizace identifikací kabelu*

Pokud je porucha uvnitř kabelu a nijak se na venek neprojevuje, nebo je ve výkopu více kabelů, můžeme přejít k metodě identifikace kabelu. Do kabelu je pouštěn proud pilového

kmitočtu, který se přes uzemnění kabelu vrací zpět zemí a pláštěm kabelů do přístroje. Tento proud snímáme pomocí smyčky, která se obepne kolem kabelu a je připojena na snímač. Snímač reaguje podle způsobu připojení negativní nebo pozitivní výchylkou. To umožňuje, podle směru toku proudu, určit kabel, který je připojený na generátor pilových kmitů. [9,11]

### 3.6 Vysokonapět'ové zkoušky

Vysokonapět'ové 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, rozvoden, rozpínacích a transformačních stanic. Napět'ové zkoušky se dají rozdělit na čtyři druhy. První je napět'ová zkouška, která se provádí stejnosměrným napětím. Druhá zkouška se provádí střídavým napětím 0,1 Hz. Třetí je zkouška diagnostikou částečných výbojů a čtvrtá zkouška izolačního stavu vnějšího pláště celoplastových kabelů. Podívejme se teď na jednotlivé zkoušky podrobněji.

- **Zkouška zvýšeným napětím**

Zkouška ověřuje elektrickou pevnost kabelů stejnosměrným napětím 54 kV. [13] U kabelů s papírovou izolací nesmí svodový proud překročit hodnotu 2,5 mA/km. [13] Zkouší se mezi fázemi (příp. 3 fázemi současně) a kovovým stíněním nebo pláštěm, příp. pancířem kabelu připojeným k uzemnění stanice.

- **Zkouška střídavým napětím 0,1 Hz VLF**

Zkouška ověřuje izolační pevnosti celoplastových a kombinovaných kabelů i kabelů s papírovou izolací. Provádí se střídavým zkušebním napětím s efektivní hodnotou  $3U_0$  (38 kV) [13] o kmitočtu 0,1 Hz. Při zkoušce nesmí dojít k průrazu. Zkouší se mezi fázemi (příp. 3 fázemi současně) a kovovým stíněním nebo pláštěm, příp. pancířem kabelu připojeným k uzemnění stanice.

- **Zkouška diagnostikou částečných výbojů OWTS**

Tato zkouška pomocí měření částečných výbojů vyhledává nehomogenity vysokonapět'ové izolace a jiná slabá místa v kabelu. Má velkou výhodu, že nedochází k destrukci kabelu a kabelových souborů. Jedná se o preventivní zkoušku.

- **Zkouška izolačního stavu vnějšího pláště celoplastových kabelů**

Plášťová zkouška se provádí stejnosměrným zkušebním napětím 5 kV po dobu 2 minut. [13] U nových kabelových vedení uváděných do provozu musí být izolační odpor větší než 2,5 MΩ/km, tj. svodový proud menší než 2 mA/km.[13] Zkouška probíhá mezi stíněním kabelu, který je oboustranně odpojen a zemí.

- **Porovnání jednotlivých zkoušek**

Žádná zkouška se nepoužívá na všechny typy kabelů. Zkouška zvýšeným napětím se používá pro kabely s papírovou izolací, kdy dochází v místě poruchy k hoření papírové izolace a vytváření uhlíkové cesty až k průrazu. Zkouška střídavým napětím se používá na celoplastové kabely. Zde se projevuje podobnost frekvence 0,1 Hz a 50 Hz. Přesněji frekvence 0,1 Hz má podobnou strmost náběhu sinusového průběhu jako 50 Hz. Zkouška diagnostikou částečných výbojů je nedestruktivní zkouška a používá se jako náhrada zkoušky VLF u nově položených kabelů a hledá nehomogenity v kabelových souborech respektive jejich špatnou montáž. VLF je v tomto případě neúčinná, jelikož i chybně namontovaná spojka může odolat napětí 38 kV - 0,1 Hz. Kabel jako takový vydrží mnohonásobně vyšší napětí. Plášťová zkouška je nedílnou součástí diagnostické zkoušky. Při zkoušce se zjišťuje, zda není plášť kabelu poškozen. Tato zkouška nachází i malá poškození pláště a odhaluje místa eventuelních budoucích poruch.[13]

## 4 Rozbor typických poruch kabelových systémů

Poruchy na kabelových systémech vznikají vlivem stárnutí jednotlivých prvků nebo vlivem kvality montáže a pokládky. V neposlední řadě také cizími zásahy při stavebních pracích. Kabelové systémy můžeme rozdělit na tři části:

- koncovky
- kabely
- spojky

Na typické poruchy jednotlivých částí se podíváme podrobněji.

### 4.1 Koncovky kabelů PILC

- *Eprozinové a epoxidové koncovky*

Tyto koncovky jsou dosluhující prvek v síti. Dochází k postupné výměně za dolévací koncovky. Porucha na této koncovce se nejčastěji objevuje přímo pod koncovkou v kuželovité části pod tělem z eprozinu nebo ve svislé části kabelu. Příčina je vysychání



papírové izolace pod koncovkou. Toto vysychání je způsobeno gravitací, kdy jednoduše olej z této části zmizí do kabelu. Olej není odkud doplňovat a dochází ke zhoršení izolačního stavu, až dojde k průrazu. Porucha se projevuje roztržením olověného pláště nebo dochází pouze k přeskokům mezi žílou a olověným pláštěm. Řešením je výměna koncovky za dolévací koncovku se zásobníky oleje, která vyřeší problém s doplňováním oleje do kabelu.

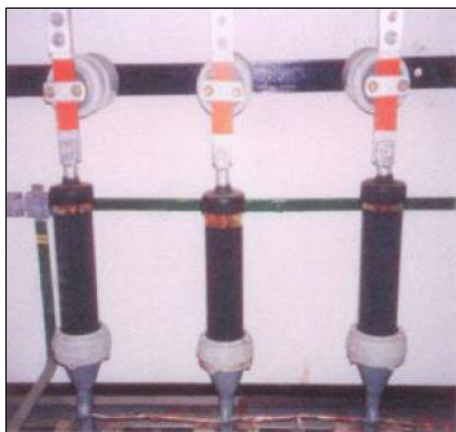
Obrázek 8: Eprozinová koncovka

- *Dolévací koncovka KSNDA*

Koncovka slouží k jednožilovému ukončování kabelů s napuštěnou papírovou izolací. U těchto koncovek dochází k poruše ve spodní části koncovky, kdy se roztrhne kuželovitá část pod šroubením, která se nazývá špička nebo deflektor. Příčina těchto poruch je dvojitá. Ve skleněném zásobníku dochází ke krystalizaci kabelové hmoty, která je způsobena složením dolévacích materiálů K2 a K3. Složení těchto materiálů způsobuje, že vzájemným působením dochází po určité době v zásobníku koncovky ke krystalizaci. Toto zkrystalizování má za následek pronikání vzdušné vlhkosti do papírové izolace pod koncovkou. Řešením by bylo



změna složení dolevacích materiálů K2 a K3. Vzhledem k tomu, že výrobce materiálů Kablo Kladno již neexistuje, je tato změna nepravděpodobná. Je možné pouze zásobník vyčistit a znovu doplnit.



Obrázek 9: Dolévací koncovka KSNDA Kablo Kladno

Další příčinou poruchy může být vyprázdnění zásobníku, které je způsobeno buď přirozenou migrací oleje v kabelu, nebo netěsností šroubení spojující deflektor a skleněný izolátor. Následek této příčiny je, že vysychá a navlhá papírová izolace v koncovce. Řešením jsou průběžné pohledové kontroly koncovek a případné dolítí kabelovou hmotou.

## 4.2 Kabely

Poruchy na kabelovém vedení bývají způsobeny vlivem vnějších faktorů působících na kabel. U kabelů může být příčinou poruchy nešetrné zacházení s kabelem, drobné poškození při pokládce nebo v průběhu let činností kolem kabelu, které časem postoupí až do poruchy.

Další možností je propadání kabelu pískovým ložem a napíchnutí na kámen nebo špatné uložení kabelu. Toto jsou příčiny, které se mohou projevit v dlouhodobém horizontu desítek let. U kabelů XLPE tyto příčiny odstraňuje plášťová zkouška, která u kabelů PILC nelze provést.

Příčinou poruchy na kabelech PILC je také zabránění migrace oleje v kabelu. V dnešní době postupného přechodu na kabely XLPE se stává, že zůstávají části kabelů PILC mezi úseky XLPE a zde dochází k vysoušení papírové izolace, protože není možnost doplňování oleje z dolevacích koncovek.



Obrázek 10: Poškození kabelu AXEKVCEY

Poruchy se projevují roztržením všech vrstev kabelu a vzniká otvor, jehož velikost je závislá na zatížení kabelu a rychlosti vypnutí zkratu. Nebo je porucha uzavřena uvnitř kabelu a dochází k přeskokům mezi jádrem a olověným pláštěm.

### 4.3 Spojky PILC/PILC typu SVN

Spojování kabelů PILC původní technologií bylo velmi náročné. 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 (obrázek 11). Výhodou této technologie je, že umožňuje migraci oleje v papírové izolaci kabelu.

Příčinou poruch v této spojkce bývá vniknutí vlhkosti vstupními otvory pro kabely nebo nešetrné zacházení při výkopových pracích, kdy dojde k pohybu jednotlivých žil uvnitř spojky a dojde k poškození olověné vložky. Většina poruch vznikne z důvodu dožití spojek. Poruchy bývají ukryty uvnitř spojky, k roztržení spojky vzhledem k její masivnosti nedochází.



Obrázek 11: Kabelová spojka 22 SVN Kablo Kladno

### 4.4 Spojky PILC/XLPE

Ukončením výroby PILC kabelů a pokládka nových tras v kabelech XLPE, vznikla potřeba spojování kabelů různých konstrukcí. Tato situace dala vzniknout tzv. přechodovým spojkám.

Zásadní nevýhoda přechodových spojek je, že nedochází k migraci oleje v papírové izolaci kabelů PILC. V důsledku toho se kabely PILC u spojek vysouší. Dojde-li k výměně přechodové spojky, i tak je v kabelu PILC zvýšené riziko poruchy. Konkrétní případ v příloze č. 1.

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. Následně bylo vytvořeno tělo spojky, které se naplnilo pryskyřicí. Tento druh spojky je jedním z nejproblematictějších prvků v síti. [11,16] Konkrétně se jedná o typ Barrier (obrázek 12). Poruchy vznikají v drtivé většině na straně kabelu PILC a důvodem je nedostatečná ochrana proti vnikání vlhkosti. Ve spojkce dochází k odlepení pryskyřice od kabelu, mikrotrhlinami se dostává vlhkost do těla spojky a vnitřní uspořádání navinutých

izolací na straně PILC kabelu není schopno této vlhkosti odolat. Spojky byly montovány přibližně v období 1995-2003. Již od roku 2002 začaly spojky vykazovat zvýšenou poruchovost. Na tyto spojky je cíleně nasazovaná diagnostika částečných výbojů a při výskytu zvýšených výbojů dochází k výměně těchto spojek.



**Obrázek 12: Přechodová spojka Barnier[10]**

## 5 Analýza poruchovosti kabelů vn

Vznik poruch přináší pro majitele distribuční sítě problémy. Primární problém je vznik bezproudí, které přímo ovlivňuje odběratele elektrické energie. Tato nedodávka elektrické energie znamená pro distributora finanční ztrátu, která vznikne nemožností dodávky a posléze i opravou chybného místa v soustavě. Další problémy přináší omezení provozního stavu a s tím je spjato i omezení plánovaných prací.

Na odstranění poruch je termín, který je nutno dodržet. Konkrétně u poruch nn 12h a u poruch vn 8h. PREDistribuci jsou vytvořeny kratší časové termíny na odstranění poruch, jelikož na zásobovacím území je velká hustota zastavěnosti a koncentrace obyvatelstva. Sídlí zde velké množství důležitých institucí.

Sledování poruchovosti může pomoci lépe plánovat investice do distribuční soustavy a odhalit zvýšené množství poruch jednotlivých prvků, což může v budoucnu znamenat velký problém v distribuční soustavě. Právě na základě analýzy poruchovosti v předchozích letech byl odhalen zvýšený výskyt poruchovosti přechodových spojek Barnier, ustoupilo se od jejich montáže a bylo zahájeno jejich postupné stahování ze sítě.

### 5.1 Vývoj poruchovosti na kabelech 22 kV v období 2000-2015

Dlouhodobá statistika přispívá ke správnému vyhodnocení potřeb kabelové sítě. Může odhalit nekvalitní prvek v síti a tím i cíleně využívat investiční prostředky. Poruchovost na kabelové síti vn PREDistribuce popisuje tabulka 4 a graf 2.

Údaje v tabulce:

- 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
- Poruchy po vn zkoušce - označuje poruchy vzniklé při zkouškách kabelového vedení

Z grafu 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.

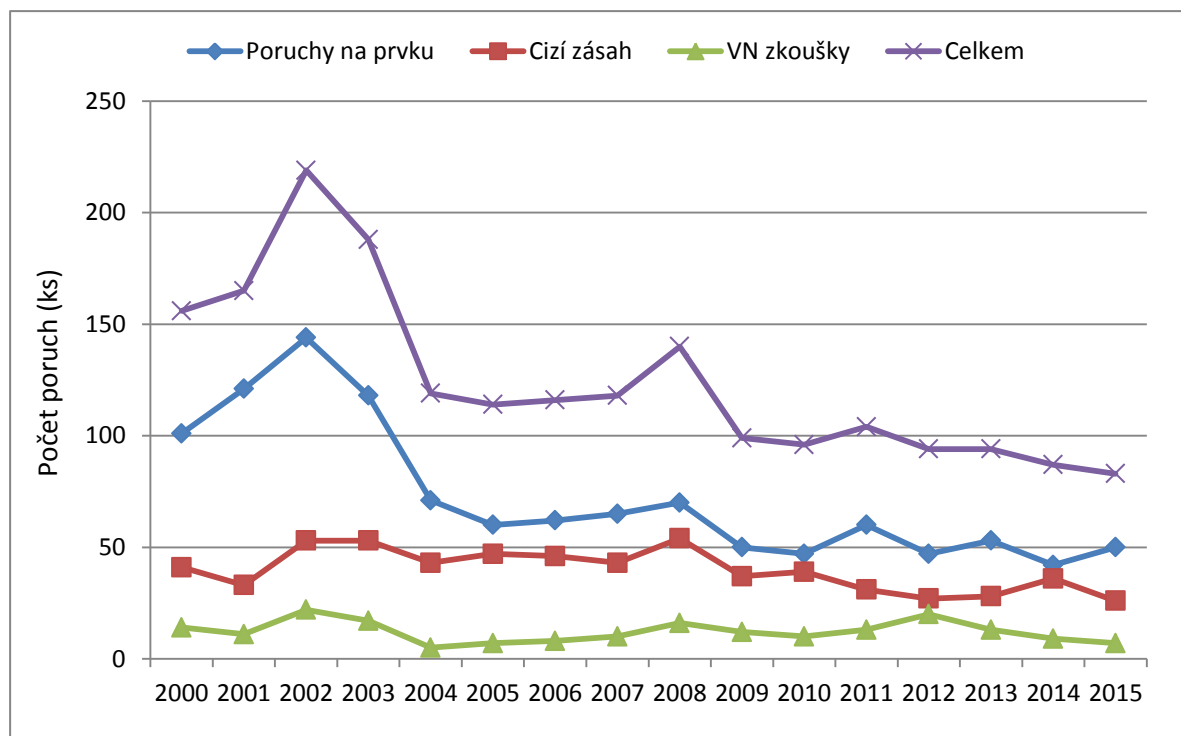
V období 2010-2015 došlo k ustálení poruchovosti kolem 50 poruch za rok. Můžeme spekulovat, že jsme se dostali na pověstné dno poruchovosti. Bude složité se dostat pod tuto hranici, vzhledem k rozsáhlosti sítě.

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 ještě nedosáhla množství činností jako před krizí v roce 2008.

| Druh poruchy   Rok    | 2000       | 2001       | 2002       | 2003       | 2004       | 2005       | 2006       | 2007       |
|-----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Poruchy na prvku      | 101        | 121        | 144        | 118        | 71         | 60         | 62         | 65         |
| Cizí zásah            | 41         | 33         | 53         | 53         | 43         | 47         | 46         | 43         |
| Porucha po VN zkoušce | 14         | 11         | 22         | 17         | 5          | 7          | 8          | 10         |
| <b>Celkem</b>         | <b>156</b> | <b>165</b> | <b>219</b> | <b>188</b> | <b>119</b> | <b>114</b> | <b>116</b> | <b>118</b> |

| Druh poruchy   Rok    | 2008       | 2009      | 2010      | 2011       | 2012      | 2013      | 2014      | 2015      |
|-----------------------|------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Poruchy na prvku      | 70         | 50        | 47        | 60         | 47        | 53        | 42        | 50        |
| Cizí zásah            | 54         | 37        | 39        | 31         | 27        | 28        | 36        | 26        |
| Porucha po VN zkoušce | 16         | 12        | 10        | 13         | 20        | 13        | 9         | 7         |
| <b>Celkem</b>         | <b>140</b> | <b>99</b> | <b>96</b> | <b>104</b> | <b>94</b> | <b>94</b> | <b>87</b> | <b>83</b> |

Tabulka 4: Poruchovost kabelů za období 2000-2015[12]



Graf 2: Poruchovost kabelů za období 2000-2015[12]

## 5.2 Poruchovost na jednotlivých prvcích za období 2006-2015

Na dalších tabulkách a grafech si podrobněji rozebereme poruchovost jednotlivých prvků.

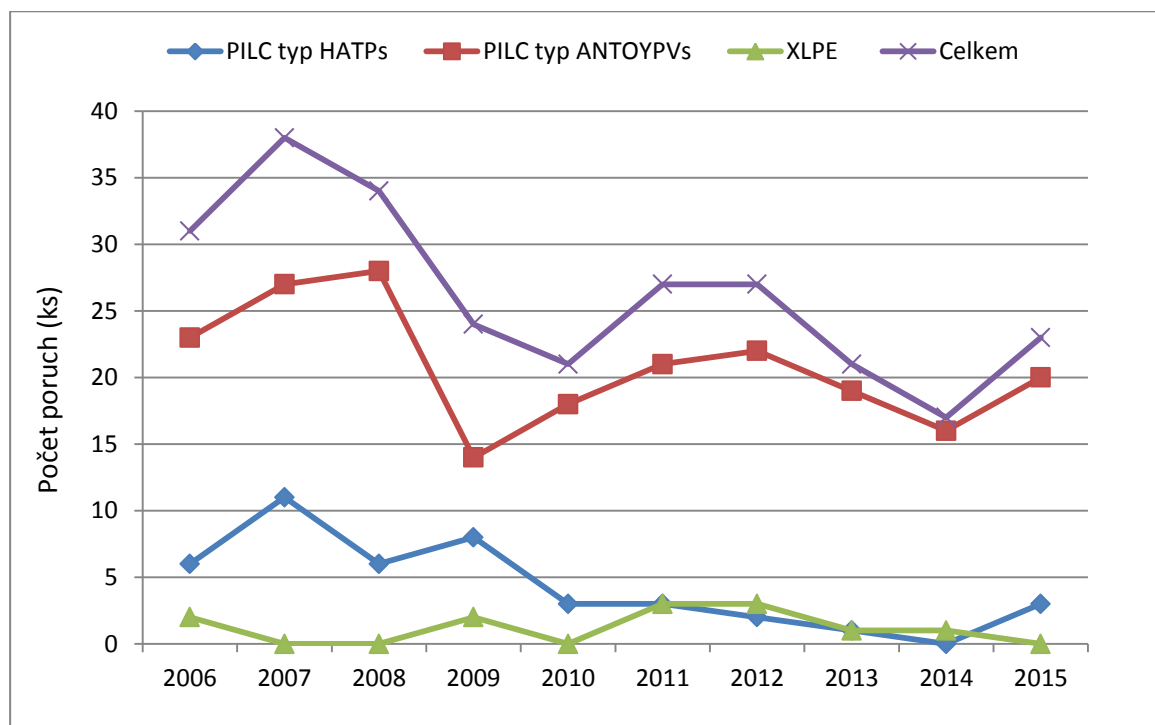
### 5.2.1 Poruchy na kabelech vn

V tabulce 5 a grafu 3 jsou rozděleny poruchy podle typu kabelů. Pro přesnost údajů je skupina PILC rozdělena na starší kabely typu HATPs a na typ ANKTOYPVs.

Z tabulky vyplývá, že poruchovost nových kabelů s XLPE izolací je zanedbatelná a poruchy na kabelech PILC mají sestupnou tendenci, která je zapříčiněna postupnou výměnou za kabely XLPE. Tato tendence je vidět zvláště u kabelů HATPs, u kterých již došlo skoro ke kompletní výměně, proto poruchovost na tomto prvku klesla.

| Typ kabelu   Rok  | 2006      | 2007      | 2008      | 2009      | 2010      | 2011      | 2012      | 2013      | 2014      | 2015      |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| PILC typ HATPs    | 6         | 11        | 6         | 8         | 3         | 3         | 2         | 1         | 0         | 3         |
| PILC typ ANTOYPVs | 23        | 27        | 28        | 14        | 18        | 21        | 22        | 19        | 16        | 20        |
| XLPE              | 2         | 0         | 0         | 2         | 0         | 3         | 3         | 1         | 1         | 0         |
| <b>Celkem</b>     | <b>31</b> | <b>38</b> | <b>34</b> | <b>24</b> | <b>21</b> | <b>27</b> | <b>27</b> | <b>21</b> | <b>17</b> | <b>23</b> |

Tabulka 5: Poruchy na kabelech vn[12]



Graf 3: Poruchy na kabelech vn[12]

### 5.2.2 Poruchy na spojkách vn

V síti PREdistribuce bylo v roce 2015 přibližně 22000 spojek. V tabulce 6 a grafu 4 se

nachází složení spojek v období 2006-2015.

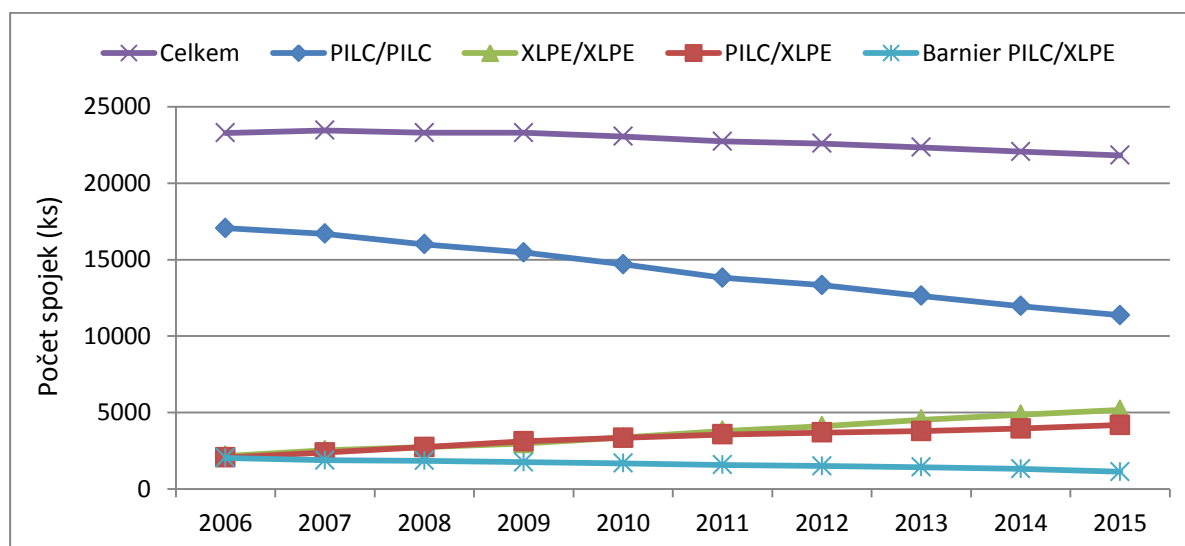
Význam údajů:

- PILC/PILC - spojka na kabelu s papírovou izolací (litinové spojky Kablo Kladno a nové typy výrobců Raychem a Pirelli)
- PILC/XLPE - spojky přechodové mezi kabely s plastovou izolací a kabely s papírovou izolací bez typu Barnier
- Barnier PILC/XLPE - přechodová spojka typu Barnier samostatně
- XLPE/XLPE - spojky na plastových kabelech

Z grafu je vidět, že množství spojek v síti dlouhodobě klesá. Je to vlivem investic, které jsou cílené na kabely PILC s litinovými spojkami, kterých je v síti nejvíce a jejich počet klesá nejrychleji. Dále klesá množství přechodových spojek Barnier, které jsou problematickým prvkem v síti a cíleně dochází k jejich výměně. Naopak stoupá podíl spojek XLPE/XLPE a PILC/XLPE, jelikož se používají k pokládce nových tras pouze kabely XLPE.

| Typ spojky   Rok  | 2006         | 2007         | 2008         | 2009         | 2010         | 2011         | 2012         | 2013         | 2014         | 2015         |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| PILC / PILC       | 17056        | 16691        | 16000        | 15473        | 14690        | 13814        | 13329        | 12627        | 11959        | 11361        |
| PILC / XLPE       | 2048         | 2374         | 2729         | 3105         | 3336         | 3563         | 3686         | 3777         | 3942         | 4182         |
| Barnier PILC/XLPE | 2030         | 1874         | 1838         | 1749         | 1672         | 1568         | 1500         | 1426         | 1310         | 1123         |
| XLPE / XLPE       | 2160         | 2522         | 2733         | 2977         | 3365         | 3787         | 4090         | 4523         | 4851         | 5159         |
| <b>Celkem</b>     | <b>23294</b> | <b>23461</b> | <b>23300</b> | <b>23304</b> | <b>23063</b> | <b>22732</b> | <b>22605</b> | <b>22353</b> | <b>22062</b> | <b>21825</b> |

Tabulka 6: Vývoj složení spojek v kabelové síti PREdistribuce[12]



Graf 4: Vývoj složení spojek v kabelové síti PREdistribuce[12]

Poruchovost na spojkách ukazuje tabulka 8 a graf 5. Je zde vidět klesající tendence

celkové poruchovosti. Bližší rozbor ukazuje, že spojky XLPE/XLPE a PILC/XLPE mají minimální poruchovost. Jedná se většinou o chyby montáže. Spojky PILC/PILC vykazují také nízkou poruchovost vzhledem k počtu spojek a ke stáří spojek v síti. Přejíždě spojky Barnier mají vysokou poruchovost a počet poruch se daří držet na sestupné tendenci vlivem postupné výměny prvku a intenzivním sledováním prvku.

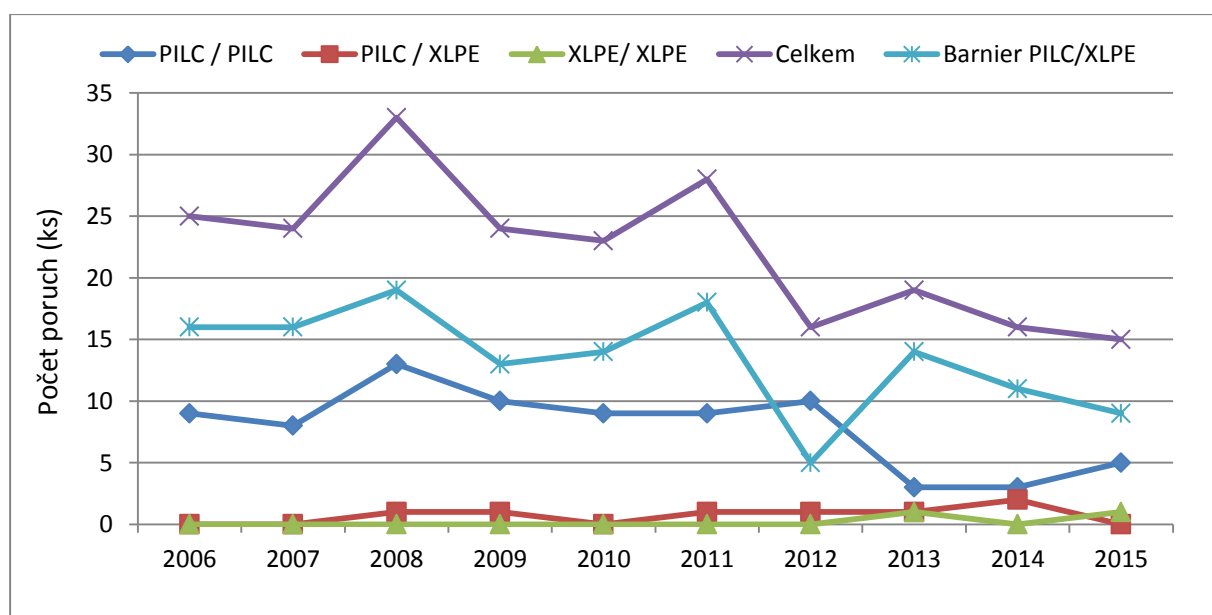
Na tabulce 7 je blíže rozebrán procentuální podíl na počtu poruch jednotlivých typů spojek v roce 2015 v závislosti na množství spojek v síti.

| Typ spojky        | kusů v síti | počet poruch | %    |
|-------------------|-------------|--------------|------|
| PILC/PILC         | 11361       | 5            | 33,3 |
| PILC/XLPE         | 3912        | 0            | 0    |
| Barnier PILC/XLPE | 1123        | 9            | 60   |
| XLPR/XLPE         | 5159        | 1            | 6,7  |

Tabulka 7: Procentuální poruchovost spojek[12]

| Typ spojky   Rok  | 2006      | 2007      | 2008      | 2009      | 2010      | 2011      | 2012      | 2013      | 2014      | 2015      |
|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| PILC / PILC       | 9         | 8         | 13        | 10        | 9         | 9         | 10        | 3         | 3         | 5         |
| PILC / XLPE       | 0         | 0         | 1         | 1         | 0         | 1         | 1         | 1         | 2         | 0         |
| Barnier PILC/XLPE | 16        | 16        | 19        | 13        | 14        | 18        | 5         | 14        | 11        | 9         |
| XLPE/ XLPE        | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         | 1         | 0         | 1         |
| <b>Celkem</b>     | <b>25</b> | <b>24</b> | <b>33</b> | <b>24</b> | <b>23</b> | <b>28</b> | <b>16</b> | <b>19</b> | <b>16</b> | <b>15</b> |

Tabulka 8: Poruchovost spojek za období 2006-2015[12]



Graf 5: Poruchovost spojek v období 2006-2015[12]



### 5.2.3 Poruchy na koncovkách vn

Tabulka 10 a graf 6 popisuje poruchovost kabelových koncovek.

V síti PREdistribuce je mnoho typů koncovek od různých výrobců, které jsou shrnuty ve třech kategoriích:

- PILC - eprozinové, epoxidové, navinované na PILC kabelech
- PILC dolévací - dolévací koncovky na PILC kabelech výrobců Kablo Kladno a Elektrovod Žilina
- XLPE - koncovky na kabelech XLPE různých výrobců

Poruchovost tohoto prvku je nízká. Nejporuchovější jsou koncovky PILC dolévací, což je dáno stářím prvku. Skok poruchovosti tohoto prvku v roce 2013 je zapříčiněn novou klasifikací poruch. Nízká poruchovost prvku PILC má příčinu v malém výskytu koncovek PILC v síti. Poruchovost koncovek XLPE je vzhledem k množství zanedbatelná. Pro dokreslení situace je v tabulce 9 počet prvku v síti v roce 2015.

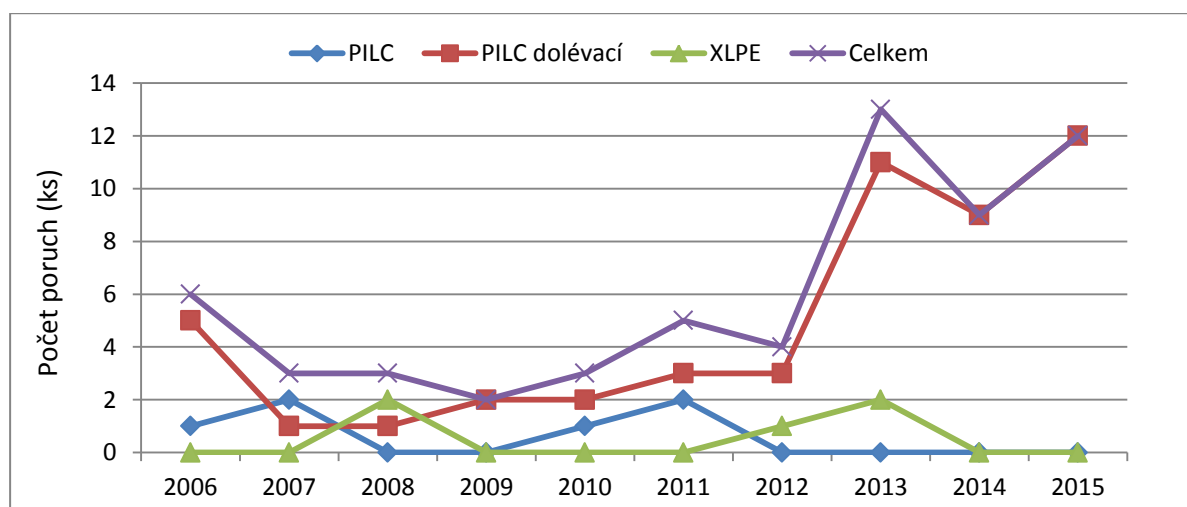
| Typ           | Počet (ks) |
|---------------|------------|
| PILC          | 78         |
| PILC dolévací | 5439       |
| XLPE          | 6009       |
| Celkem        | 11526      |

klasifikací poruch. Nízká poruchovost prvku PILC má příčinu v malém výskytu koncovek PILC v síti. Poruchovost koncovek XLPE je vzhledem k množství zanedbatelná. Pro dokreslení situace je v tabulce 9 počet prvku v síti v roce 2015.

Tabulka 9: Počet koncovek v síti v roce 2015[12]

| Typ koncovky   Rok | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|--------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PILC               | 1    | 2    | 0    | 0    | 1    | 2    | 0    | 0    | 0    | 0    |
| PILC dolévací      | 5    | 1    | 1    | 2    | 2    | 3    | 3    | 11   | 9    | 12   |
| XLPE               | 0    | 0    | 2    | 0    | 0    | 0    | 1    | 2    | 0    | 0    |
| Celkem             | 6    | 3    | 3    | 2    | 3    | 5    | 4    | 13   | 9    | 12   |

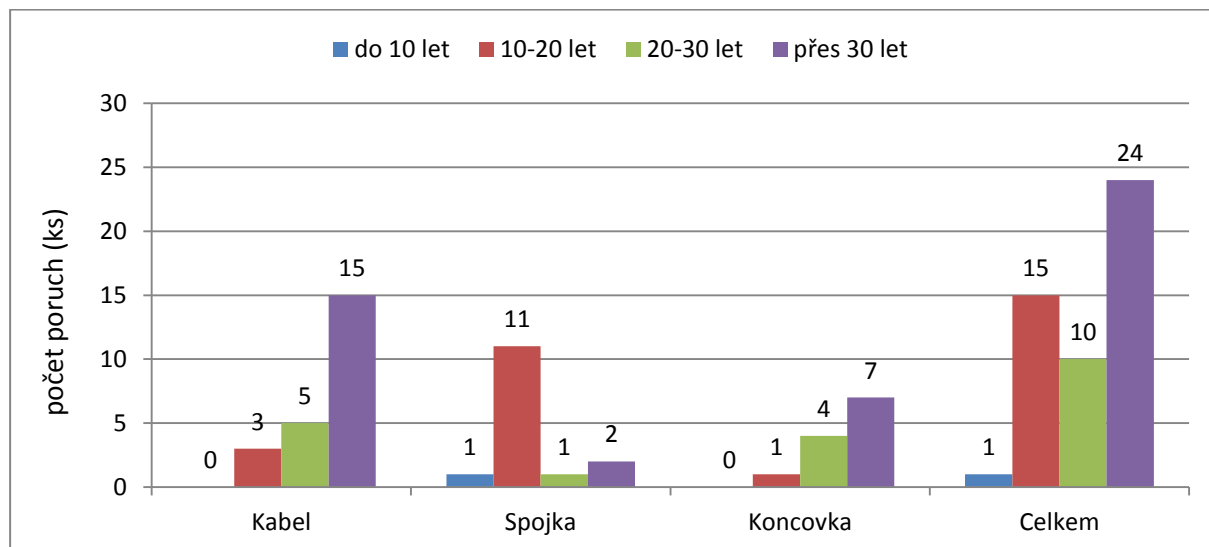
Tabulka 10: Poruchy na koncovkách za období 2006-2015[12]



Graf 6: Poruchovost koncovek v období 2006-2015[12]

### 5.3 Poruchovost prvků podle stáří v roce 2015

Tento pohled umožňuje graf 7. Na grafu je vidět, že největší poruchovost zaznamenávají prvky starší 30 let. Na tuto část je zaměřeno nejvíce investičních prostředků pro obnovu sítě. Pouze u spojek je to jinak. Zde je největší poruchovost v období 10-20 let. V tomto období se montovaly přechodové spojky Barrier.



Graf 7: Poruchovost prvků podle stáří v roce 2015 [12]

### 5.4 Intenzita poruch 2000-2015

Výsledky spolehlivostních výpočtů jsou závislé na kvalitě vstupních dat a zvolení správné metody výpočtu. V PREDistribuci se vede velmi kvalitní a dlouhodobá statistika poruchovosti. Vzhledem k této skutečnosti jsem zvolil empirický výpočet spolehlivosti, podle následujícího vzorce:

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

kde

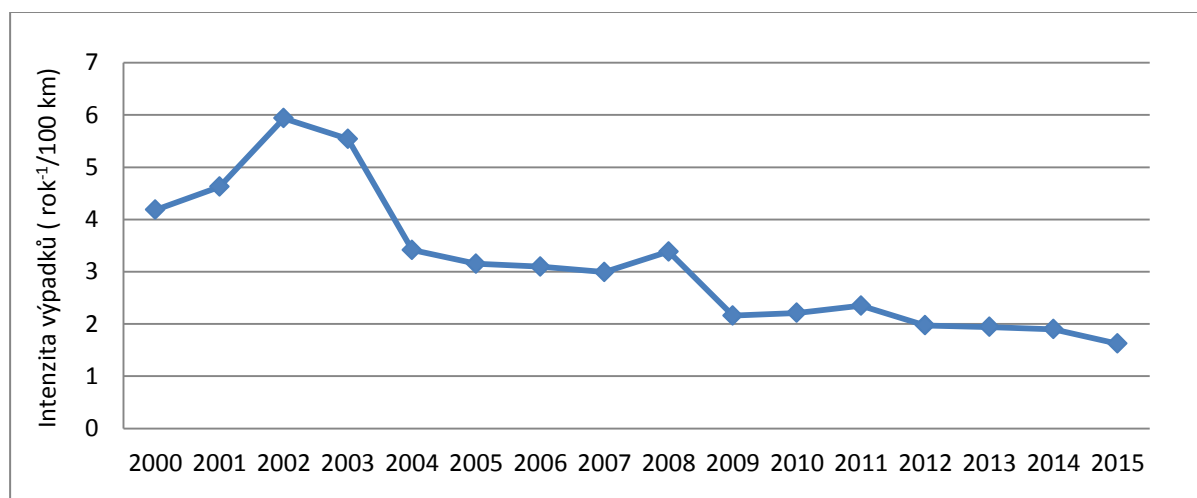
- N - počet poruch (-)
- L - délka sítě (km)
- X - délka sledovaného období

V počtu poruch jsou zahrnuty cizí zásahy. Jedná se o poruchy typu E2. Kabelová síť PREDistribuce se stále vyvíjí, proto jsou v jednotlivých letech různé délky kabelové sítě. Vývoj intenzity poruch v tabulce 11 a grafu 8 potvrzuje klesající trend poruch, který byl popsán v předchozích kapitolách. Rozdíly mezi poruchami E2 a jednotlivými poruchami na prvcích kabelové sítě je způsobeno tím, že při výpadku v některých případech vzniká více chybných prvků.

| Rok                                   | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Počet výpadků (E2)                    | 142  | 156  | 201  | 192  | 117  | 108  | 107  | 106  |
| Délka kabelové sítě (km)              | 3395 | 3373 | 3387 | 3466 | 3425 | 3427 | 3457 | 3544 |
| $\lambda$ (rok <sup>-1</sup> /100 km) | 4,18 | 4,62 | 5,93 | 5,54 | 3,42 | 3,15 | 3,10 | 2,99 |

| Rok                                   | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 |
|---------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Počet výpadků (E2)                    | 121  | 79   | 82   | 88   | 74   | 73   | 71   | 61   |
| Délka kabelové sítě (km)              | 3576 | 3658 | 3708 | 3746 | 3750 | 3758 | 3741 | 3759 |
| $\lambda$ (rok <sup>-1</sup> /100 km) | 3,38 | 2,16 | 2,21 | 2,35 | 1,97 | 1,94 | 1,90 | 1,62 |

Tabulka 11: Intenzita poruch v síti 2000-2015



Graf 8: Intenzita poruch v síti 2000-2015

Z předchozích dat lze vyhodnotit spolehlivost sítě PREdistribuce a srovnat to s hodnotami spolehlivosti ČEZ 22/80[1], která zahrnuje všechny distribuční soustavy v ČR. Tato databáze je dnes již zastaralá a pracuje se na její obnově. Z nové databáze je zatím znám údaj intenzity poruch kabelů 22 kV z let 2000-2005, který udává hodnotu 4,84 rok<sup>-1</sup>[1].

V tabulce je podle mne špatně udaná jednotka, mělo by být uvedeno rok<sup>-1</sup>/100 km. Zdůvodňuji to porovnáním mnou vypočtených dat. Porovnával jsem i výpočty na jednotky prvků a vycházely mi velmi odlišné výsledky. Hodnotou budu dále uvádět s jednotkou rok<sup>-1</sup>/100 km.

Srovnání intenzit poruch v PREdistribuci a nové databáze ČEZ 22/80 (tabulka 12) vyplývá, že za období 2000-2005 PREdistribuce vykazuje lepší spolehlivost sítě než je uvedený průměr. V dalším desetiletí 2006-2015 došlo u PREdistribuce k více jak 50% poklesu intenzity výpadků. Lze předpokládat, že i vývoj nové databáze ČEZ 22/80 bude mít podobný průběh.

| Období                  | 2000-2005 | 2006-2015 |
|-------------------------|-----------|-----------|
| PREdistribuce           | 4,47      | 2,36      |
| Nová databáze ČEZ 22/80 | 4,84      | -         |

Tabulka 12: Porovnání intenzit poruch

## 5.5 Snižování poruchovosti

V PREdistribuci se používá několik nástrojů na snižování poruchovosti:

- Cílené investice do sítě - investice se cílí podle podrobné analýzy poruchovosti a pomocí výsledků diagnostiky částečných výbojů
- Předcházení poruchám za provozu - zkoušky před uvedením kabelu do provozu
- Předcházení cizích zásahů - podrobné mapy sítě v GIS
- Kvalita montážních prací - kontroly firem pracujících v síti PREdistribuce a certifikace pracovníků provádějících montáže

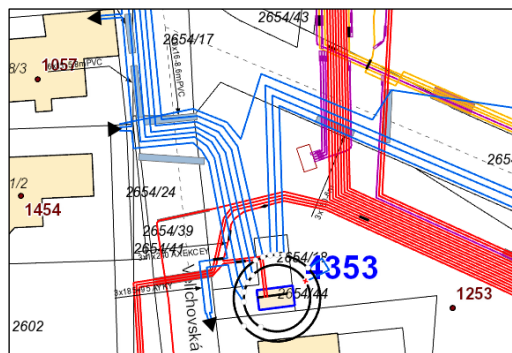
### 5.5.1 Diagnostika částečných výbojů

Tato metoda vyhledávání částečných výbojů byla zavedena v roce 1999 a do roku 2015 bylo provedeno více než 6500 měření. Výhodou je nedestruktivnost této metody. Pokud je nalezeno podezřelé místo, je možno kabel zprovoznit a při vhodné příležitosti se k řešení problému vrátit. Využití diagnostiky částečných výbojů:

- zjišťování rizikových skupin provozovaných kabelů a jejich cílenou obnovu
- zjišťování kvality pokládky a montáže kabelových souborů
- výchozí zkouška kabelů XLPE
- kontrola přechodových spojek

### 5.5.2 Mapy sítí

Kompletní síť všech napěťových hladin je zakreslena v programu ArcGis, který vyvinula



firma ESRI (obrázek 13). Jedná se o databázový program, jehož zakreslení je v několika vrstvách, které lze podle potřeby vypnout. V programu je uložena informace o každém prvku v síti (typ, výrobce, datum montáže, montážní firma atd.). Je zde možnost pro lepší orientaci proložit mapu s

Obrázek 13: Ukázka mapy sítí

leteckými snímky. Nové prvky jsou uloženy v GPS souřadnicích, starší jsou opatřeny kótami. Mapy sítí jsou k dispozici i pro externí firmy na požádání, měly by podle těchto map přizpůsobit svou stavební činnost.

### 5.5.3 Kontroly firem a certifikace pracovníků

Kontroly firem:

- Pouze firmy uvedené v katalogu PRE
- Vybavení pro činnosti, ke kterým mají firmy oprávnění
- Kontroly provádění pokládky
- Kontroly provádění řádného uložení vedení (pískové lože, deskování )
- Plášťové zkoušky XLPE vedení
- Evidence činností

Certifikace pracovníků:

- Každý pracovník provádějící montáže armatur na vedeních vn
- Praktické zkoušky pro daný typ armatur
- Jméno a evidenční číslo pracovníka uváděno u každé montáže
- Pravidelné přezkoušení

## Závěr

Cílem této práce bylo shrnout problematiku poruch a provést analýzu poruchovosti kabelových systémů v síti PREdistribuce. Bylo poukázáno na důležitost analýzy poruchovosti jako na nástroj předcházení poruch v kabelové síti.

Bylo provedeno krátké seznámení se sítí PREdistribuce a jednotlivými prvky kabelové sítě. Dále byla popsána konstrukce kabelů. Došlo k popsání historického vývoje výroby kabelů. V další části byl představen postup zaměřování poruch a používané metody a vysvětlen jejich princip. Dále byla vysvětlena důležitost napěťových zkoušek kabelového vedení, které se také podílejí na snižování poruchovosti.

Dalším úkolem bylo provést rozbor typických poruch. Byly zvoleny nejčastější poruchy, které se v síti vyskytují, byl proveden jejich popis a uvedena i příčina.

Analýza byla provedena na základě statistických dat z poruchovosti PREdistribuce. Celková poruchovost v dřívějších letech klesla a v posledních letech se udržuje na stejné úrovni. Můžeme spekulovat, že prostor pro další snižování poruchovosti není už moc velký. Je to dáno rozlehlostí sítě a zde poruchy vznikají budou. Nelze předpokládat, že se jednou stane síť bezporuchová.

Poruchovost jednotlivých prvků v síti se daří udržovat na nízké úrovni. Je to výsledkem investic do sítě a pravidelným sledováním problematických prvků. Díky správné analýze byla odhalena i problematická spojka typu Barnier. Tato skutečnost vyplývá z předchozích grafů a tabulek.

Srovnání intenzit poruch v PREdistribuci a nové databáze ČEZ 22/80 vyplývá, že za období 2000-2005 PREdistribuce vykazuje o 8,6% lepší spolehlivost sítě než je uvedený průměr 4,84 (rok<sup>-1</sup>/100 km). V dalším desetiletí 2006-2015 došlo u PREdistribuce k více jak 50% poklesu intenzity poruch na 2,36 (rok<sup>-1</sup>/100 km). Můžeme předpovědět, že i nová databáze ČEZ 22/80 bude mít sestupný průběh.

Na závěr bylo poukázáno na systém snižování poruchovosti, byly představeny jejich principy a vyzdvižena jejich důležitost.

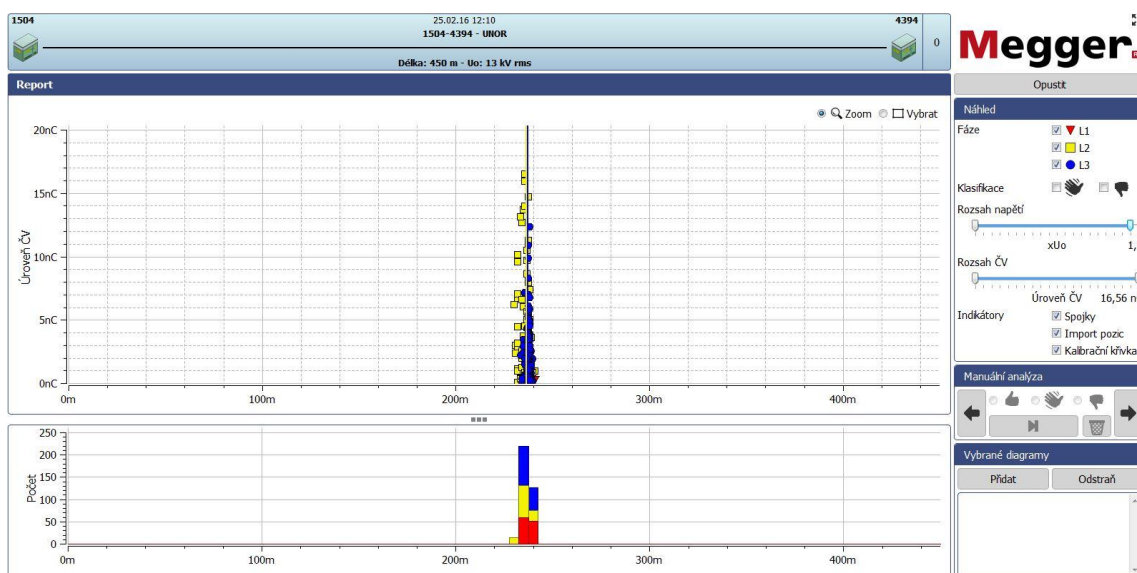
## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] TŮMA J., ROUSEK S., MARTÍNEK Z. *Spolehlivost v energetice*, ČVUT Praha, 2006.
- [2] ARTBAUER, J. a kolektiv autorů. *Kabely a vodiče*, SNTL, Praha, 1956.
- [3] KUČEROVÁ, E. *Elektrotechnické materiály*, ZČU Plzeň, 2002.
- [4] KESSLER, J. KABLO KLADNO. *Silové kabely*. Kladno, 1978.
- [5] ČSN 34 7621: *Silové kabely s papírovou izolací a olověným pláštěm*, Úřad pro normalizaci, 1954
- [6] PNE 34 7626: *Provozní zkoušky VN kabelových vedení*, Český normalizační institut, 2001
- [7] PNE 34 7625: *VN kabely s nesítěnou PE izolací pro distribuční sítě do 35 kV*. Český normalizační institut, 2001.
- [8] KŘIVÁNEK, F.: *Diagnostika kabelových vedení 22 kV v PREDistribuci, a.s. a vývoj poruchovosti kabelů VN za dobu používání diagnostiky částečných výbojů*, ZČU Plzeň, 2013
- [9] SEBA KMT. *Firemní materiály*. Baunach, 2001.
- [10] BARNIER. *Firemní materiály*. Valance, 1994.
- [11] HAGENUK KMT. *Firemní materiály a pracovní návody*. Radeburg, 1996.
- [12] PREDISTRIBUCE. *Provozní zprávy 2000-2015*. Praha, 2000-2015.
- [13] PREDISTRIBUCE. *Podniková norma PK 201: Zkoušení kabelových vedení 22 kV, rozvoden, rozpínacích stanic a transformačních stanic*. 1. Praha, 2014.
- [14] DOLEŽÁLEK, J. *110 let Jsme energie tohoto města*. 1. Praha, 2007.
- [15] Z historie kabelů. *ELEKTRO: časopis pro elektrotechniku* [online]. 2008, **2008**(01) [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/z-historie-kabelu--11642>
- [16] PRISMIAN PIRELLI. *Firemní materiály a literatura*

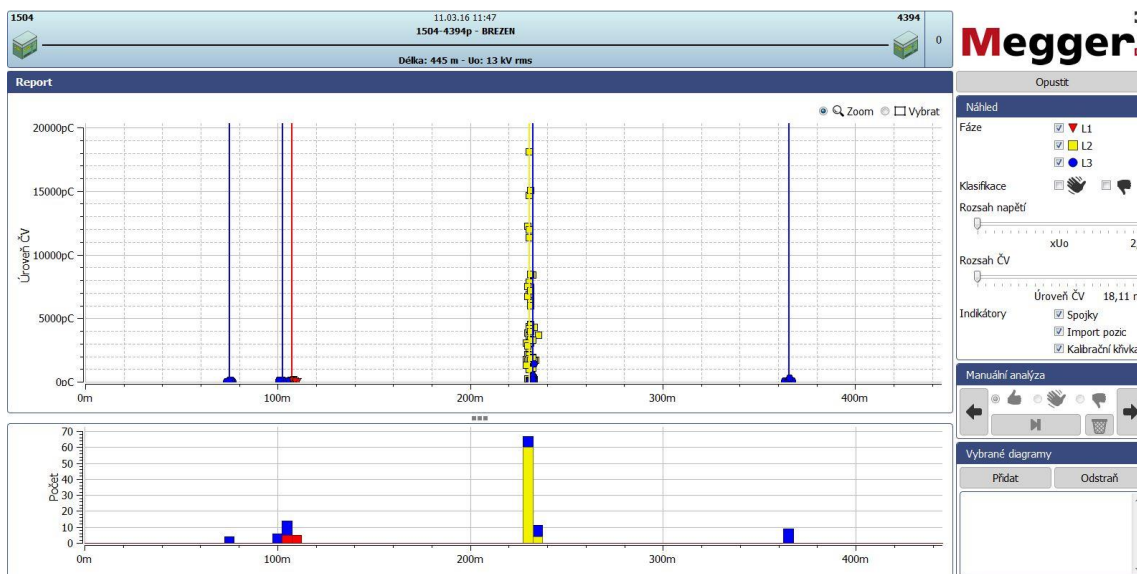
## Přílohy

### Příloha č. 1: Kabel PILC u přechodové spojky

Pomocí diagnostiky částečných výbojů jsme detekovali přechodovou spojku Barnier s vysokými hodnotami (obr. 15). Na přechodové spojnici během 14 dnů došlo k průrazu a následnému bezproudí. Spojka byla vyměněna. Potom byla provedena zkouška zvýšeným napětím a zkouška diagnostikou částečných výbojů, která odhalila na stejném místě stále vysokou hodnotu částečných výbojů (obr. 16). Četnost výbojů se snížila, ale výboje v L2 jsou stále vysoké. Je zde předpoklad vysoušení kabelu PILC a možné navlhnutí od přechodové spojky. Nehrozí zde přímé nebezpečí poruchy, proto byl kabel PILC navržen do plánované výměny.



Obrázek 14: Výboje na přechodové spojnici



Obrázek 15: Výboje po výměně přechodové spojky