

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2018

Dominik Gabrys



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

## PREVENTIVNÍ ÚDRŽBA ENERGETICKÝCH ZAŘÍZENÍ NA ZÁKLADĚ SKUTEČNÉHO TECHNICKÉHO STAVU

PREVENTIVE MAINTENANCE OF POWER EQUIPMENT BASED ON ACTUAL TECHNICAL CONDITION

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dominik Gabrys

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

BRNO 2018



# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

**Student:** Dominik Gabrys

**ID:** 183229

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2017/18

## NÁZEV TÉMATU:

### Preventivní údržba energetických zařízení na základě skutečného technického stavu

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s historickým vývojem řádu preventivní údržby.
2. Popište účel a obsah preventivní údržby energetických zařízení.
3. Nastudujte způsob provádění diagnostiky VN kabelů.
4. Analyzujte poskytnutá data z měření.
5. Navrhněte metodiku, na základě které bude možno efektivně optimalizovat časové intervaly kontrol.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Literatura je stanovena dle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 5.2.2018

**Termín odevzdání:** 29.5.2018

**Vedoucí práce:** Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

**Konzultant:**

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

#### UPOZORNĚNÍ:

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

## **ABSTRAKT**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na problematiku řádu preventivní údržby, diagnostiky vysokonapěťových kabelů a návrh údržby energetických zařízení. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Teoretická část obsahuje přehled o řádu preventivní údržby, možnosti údržby energetických zařízení a profil českých sítí. Praktická část je zaměřena na diagnostiku vysokonapěťových kabelů a analýzu dat z protokolů pro vytvoření efektivnější údržby.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

údržba, diagnostika, spolehlivostně orientovaná údržba, rozvodná zařízení

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis is focused on issue preventive maintenance, diagnostics of high voltage cables and optimization for power distribution equipment. Thesis is divided in two parts, theoretical and practical. Theoretical part contains survey about reliability centered maintenance, options of maintenance and overview of czech distribution systems. Practical part contains diagnostics of high voltage cables and analysis data for create more efficient maintenance.

## **KEYWORDS**

maintenance, diagnostics, reliability centered maintenance, power systems

GABRYS, Dominik. *Preventivní údržba energetických zařízení na základě skutečného technického stavu*. Brno, 2018, 65 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektroenergetiky. Vedoucí práce: Ing. Lukáš Radil, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Preventivní údržba energetických zařízení na základě skutečného technického stavu“ jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil(a) autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl(a) nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom(a) následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

podpis autora(-ky)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing.Lukáši Radilovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále bych také rád poděkoval konzultantovi ve společnosti E.ON Ing. Davidu Štajnerovi za obětovaný čas a vstřícný přístup k mé bakalářské práci.

Brno .....

.....

podpis autora(-ky)

# OBSAH

Úvod	10
<b>1 Řád preventivní údržby</b>	<b>11</b>
1.1 Úvod do řádu preventivní údržby	11
1.2 Historie vzniku řádu preventivní údržby	12
1.2.1 První etapa	13
1.2.2 Druhá etapa	13
1.2.3 Třetí etapa	13
1.2.4 Čtvrtá etapa	15
1.3 Formy řádu preventivní údržby	15
1.3.1 Úvod do spolehlivostně orientované údržby	16
1.4 Kvalita dodávky elektrické energie přenosových a distribučních sítí podle ERÚ	17
1.4.1 Přenos elektřiny	17
1.4.2 Distribuce elektřiny	18
<b>2 Diagnostika vysokonapěťových kabelů</b>	<b>21</b>
2.1 Zkoušky velmi nízkých frekvencí	21
2.1.1 Výhody VLF zkoušek	22
2.1.2 Zkoušení a diagnostika v souladu s normami	23
2.2 Monitorovaná zkouška odolnosti	24
2.3 Kombinovaná diagnostika kabelů	25
2.3.1 Měření ztrátového činitele TD	26
2.3.2 Lokalizace a měření úrovně částečných výbojů PD	30
2.4 Vzorový protokol	31
2.5 Ukázka a popis měření KDK v terénu	32
2.6 Typy silových kabelů vyskytující se v protokolech	34
2.7 Zpracování protokolů	35
2.7.1 AXEKCY	36
2.7.2 AXEKCY, AXEKCY	36
2.7.3 AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY	37
2.7.4 AXEKCY, AXEKVCEY, NA2XS(F)2Y	37
2.7.5 NA2XS(F)2Y, AXEKCY, AXEKCY, NA2XS(F)2Y	38
2.7.6 AXEKCY, NA2XS(F)2Y, AXEKCY	38
2.7.7 AXEKCY, AXEKCY, NA2XS(F)2Y	38
2.7.8 AXEKCY, AXEKVCEY	38
2.7.9 NA2XS(F)2Y, AXEKCY, NA2XS(F)2Y	39

2.7.10 AXEKCY, NA2XS(F)2Y . . . . .	39
2.8 Shrnutí výsledků skupin . . . . .	39
<b>Závěr</b>	<b>41</b>
<b>Literatura</b>	<b>42</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>45</b>
<b>3 Příloha A</b>	<b>46</b>
<b>4 Příloha B</b>	<b>52</b>
<b>5 Příloha C</b>	<b>58</b>
<b>6 Příloha D</b>	<b>64</b>



# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Vývoj údržby ve 20.století [1]	13
1.2	Vanová křivka spolehlivosti[6]	14
1.3	Vývoj ukazatelů nepřetržitosti provozu [5]	19
1.4	Profil distribučních společností [5]	19
1.5	Vývoj ukazatelů nepřetržitosti distribuce [5]	20
2.1	Náhradní schéma izolace kabelu a diagram úhlu $\delta$ [17]	26
2.2	Ilustrace motýlkovitých a odvětraných stromečků[17]	27
2.3	Vodní stromeček[17]	28
2.4	Elektrický stromeček[17]	28
2.5	Vývoj trendu stability[17]	30
2.6	Napojení měřících koncovek	33
2.7	Zadní část měřícího auta	33
2.8	Displej ukazující aktuální průběh měření.	34

## SEZNAM TABULEK

1.1	Profil společnosti ČEPS, a.s.[5]	18
1.2	Vývoj ukazatelů nepřetržitosti provozu[5]	18
1.3	Ukazatele nepřetržitosti distribuce v roce 2016[5]	20
2.1	Přehled indikátorů pro měření ztrátového činitele[17]	29

# ÚVOD

Předkládaná práce je zaměřena na problematiku údržby energetických zařízení. Seznámíme se s vývojem řádů preventivní údržby, možnostmi plánování údržby, měřením a vyhodnocením diagnostiky vysokonapěťových kabelů a zpracováním protokolů pro nový návrh údržby těchto kabelů.

Práce se primárně zabývá diagnostickým měřením, které je využíváno pro efektivnější využití řádu preventivní údržby. Propojením těchto složek získáváme dostatečný přehled o stavu zařízení tak, aby bylo možné optimalizovat lhůty pracovních činností na těchto zařízeních. Dále se seznámíme s diagnostikou jako měřením ve kterém se vyhodnocují dvě zkoušky, měření ztrátového činitele a měření částečných výbojů. Práce má také praktickou část, kde byly vyhodnoceny protokoly diagnostického měření pro návrh nové údržby.

V příloze mimo zpracovaných dat, které jsou následně vyhodnoceny, nalezneme příklady vzorových protokolů a tabulky potřebné k vyhodnocení.

# 1 ŘÁD PREVENTIVNÍ ÚDRŽBY

## 1.1 Úvod do řádu preventivní údržby

Řád preventivní údržby (ŘPÚ) obecně obsahuje soubor pokynů a činností, které jsou vykonány k zajištění bezpečného a bezporuchového provozu. ŘPÚ se využívá v průmyslových závodech z pravidla s napětovou hladinou vyšší než 6 kV. Tento soubor činností zaručuje bezproblémový chod skupin zařízení za cenu konstantních nákladů. Aplikováním této prevence se předchází fatálnímu selhání a tím i značným hospodářským škodám. Jsou upřednostněny trvalé náklady na údržbu zařízení před celkovým selháním a mnohonásobně vyššími ztrátami. Další výhodou je možnost plánování údržby, tedy přerušení provozu nebo výroby, před nepředvídatelným výpadkem. Náhodné poruchy jsou značně komplikovanější, a to z důvodu náročnosti jejich lokalizace nebo z důvodu řetězcového selhání dalších zařízení.

Elektrická rozvodná zařízení provozována na území České republiky soukromými společnostmi musí být podle zákona kontrolována a udržována tak, aby splňovala základní kritéria bezpečnosti a funkčnosti. Tuto povinnost stanovuje [16]–ČSN 331500 podle které musí být spolehlivost a bezpečnost ověřována revizemi, a průběžně musí být prováděna údržba včetně kontrol ve stanovených intervalech. Účel řádu preventivní údržby dle normy ČSN 331500 tedy je, aby elektrická zařízení splňovala požadavky stanovené v této normě, tj. odpovídat příslušným ustanovením, ostatním souvisejícím technickým normám a právním předpisům [13][16].

Dle ŘPÚ [13] z hlediska formy a náplně rozlišuje pracovní činnosti na, cituji:

- *prohlídka: pohledová kontrola stavu zařízení a jejího okolí (včetně ochranného pásma) během provozu (zařízení pod napětím),*
- *běžná údržba: úkony zajišťující bezpečný a provozuschopný stav zařízení. Dle charakteru a obsahu stanoveného úkonu se provádí*
  - *na zařízení za provozu,*
  - *na zařízení mimo provoz zejména v případech, kdy je nezbytná částečná demontáž kontrolovaného zařízení,*
  - *zkoušení: touto činností se prokazuje funkčnost zařízení,*
  - *měření: zjišťují se hodnoty, které se posuzují ke stavu zařízení,*
  - *diagnostické zkoušky: porovnání parametrů zařízení měřením a zkouškami pro ověření stavu jejich bezpečnosti a provozuschopnosti. Dle charakteru diagnostických zkoušek v návaznosti na přístrojové vybavení měřící a diagnostickou technikou se provádí:*
    - \* *na zařízení za provozu (zařízení pod napětím),*

- \* na zařízení mimo provoz (zařízení bez napětí) při provádění běžné údržby;
- \* funkční zkouška: ověřuje se funkčnost zařízení.

*Lhůty úkonů ŘPÚ pro jednotlivé druhy zařízení jsou určovány dle:*

- významu příslušného zařízení na provozní spolehlivost distribuční soustavy,
- úrovně smluvně stanovené spolehlivosti dodávky elektřiny odběratelům zásobovaných z příslušného zařízení,
- provozní zkušenosti s jednotlivými druhy zařízení dle jejich konstrukčního a přístrojového vybavení.

Tyto úkony musí společnosti provádět a evidovat v daných intervalech dle normy[16]. Toto opatření vzniklo na základě historického vývoje řádu preventivní údržby, a také kvůli závislosti lidské populace na zajištění základních potřeb, jejíž primárním základem je elektrická energie. Od dob, kdy přerušení toku energie znamenalo ztrátu na životech nebo nákladné hospodářské škody, začaly být kontrolovány rozvodné sítě pro tuto kritickou infrastrukturu. Společnostem se vyplatilo zvýšit náklady na údržbu energetických a rozvodných zařízení za cenu předcházení výpadku elektrické energie a následnému nerovnoměrnému rozložení toků elektrické energie ve veřejné síti. V následujících letech si společnosti mohly dovolit upravit množství kontrol údržby a to z důvodu kvalitnějších přístrojů, větší stability sítě a lepšího monitoringu aktuálního stavu zařízení. Po ustálení vývoje a v době privatizace minulého století začaly soukromé firmy starající se o údržbu rozvodných zařízení vymýšlet postup, jak snížit náklady na údržbu energetických zařízení, tedy na ŘPÚ. Výsledkem této inovace bylo snížení kontrol a prohlídek v předem daných intervalech, a zavedení údržby na základě reálného technického stavu zařízení. Tuto problematiku a vývoj si více vysvětlíme v následující kapitole.

## 1.2 Historie vzniku řádu preventivní údržby

Energie je základem pro jakýkoliv technický i průmyslový rozvoj. Její spotřeba v zemi je ukazatelem stavu technického vývoje, a ukazuje mnohem více rozdílnosti než jiná srovnání mezi vysoce industrializovanými a rozvinutými zeměmi. Při těchto nárocích na trvalé poskytnutí elektřiny o daných(garantovaných) parametrech jsou společnosti zatěžovány velkou odpovědností. Aby předešly přerušení dodávky elektrické energie, musely vzniknout postupem času různá opatření.Nyní se seznámíme s historií vzniku údržby elektrických sítí. Tato kapitola čerpá ze zdroje[1]

### 1.2.1 První etapa

Mezi prvotní zkušenosti s veřejnou dodávkou řadíme meziválečné období a také druhou světovou válku. Závislost průmyslu na elektrické energii nebyla podstatná a tudíž v rámci údržby opomíjená. V prvním období využití elektrické energie byly stroje také hodně předimenzované a robustní, tudíž se údržba omezila pouze na mazání a seřizování těchto strojů.

### 1.2.2 Druhá etapa

Druhá světová válka zvýšila poptávku veškerého zboží. Důsledkem toho bylo zvýšení a rozšíření mechanizace, která je závislá na spolehlivější dodávce elektrického proudu. Vzniká postup pravidelných kontrol a měření k předcházení poruch. Zde se poprvé setkáváme s pojmem preventivní údržba. Šlo primárně o důkladnou údržbu zařízení prováděnou v pevně daných intervalech. Tento princip byl zaveden v šedesátých letech.



Obr. 1.1: Vývoj údržby ve 20.století [1]

### 1.2.3 Třetí etapa

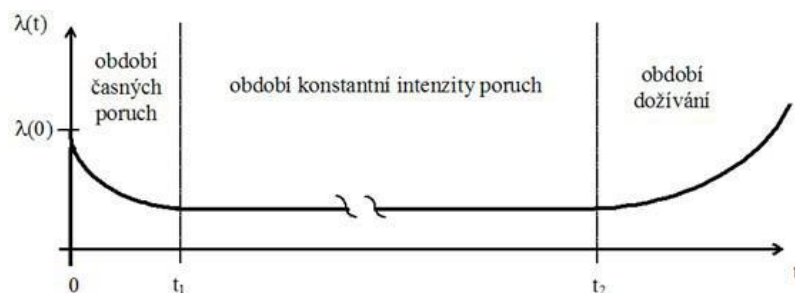
Od poloviny 70. let 20. století nastupuje éra automatizace a významný rozvoj elektrotechniky. Nároky na dodávku elektrické energie se zvyšují. Díky automatizaci a mechanizaci vznikají nové poruchy, které ovlivňují celkovou dodávku energie. Začíná se zálohovat dodávka elektrické energie v místech možnosti vzniku ekologických škod nebo ztrátě na životech. Pro předcházení poruch se zavádí nový systém kontrol, Řád preventivní údržby. Tento systém je odvozen od předešlých zkušeností s poruchami, kdy je navržena periodická kontrola zařízení pro předcházení jejich selhání. Po osvojení tohoto postupu společnosti začínají upravovat a prodlužovat doby mezi kontrolami, za vidinou menších nákladů. Provozovatel se snaží nalézt minimální provozní náklady sítě, při kterých zaručí kvalitu elektrické energie. tato metoda je také

efektivnější ve snížení chybovosti revizních techniků a údržbářů, kteří provádí pravidelné kontroly. Každý nový zásah lidskou složkou je nedokonalý a snižuje životnost zařízení. Společnosti si mohou dovolit snížit periody oprav díky novým zařízením s vyšší spolehlivostí. Dále se objevila myšlenka nejednotných kontrol a zavedení více dynamické prevence. Tato údržba se provádí podle vzoru tzv. Vanových křivek, která je založena na výzkumu četnosti poruch zařízení v době jeho životnosti[6].

### Vanová křivka - ukazatel spolehlivosti

Tento ukazatel popisuje Jan Schwarz ve své diplomové práci[6], cituji: *Vanová křivka znázorňuje časový průběh intenzity poruch, a používá se pro posouzení bezporuchovosti. Na začátku má křivka klesající charakter, který se od určitého okamžiku promění v téměř konstantní průběh, a v poslední fázi začíná růst. Tyto 3 různé intervaly lze charakterizovat jako:*

1. fáze období časných poruch
2. fáze období konstantní intenzity poruch
3. fáze období dožívání



Obr. 1.2: Vanová křivka spolehlivosti[6]

1. V první fázi se nejprve objeví zvýšené množství poruch způsobené neodhalenými nedostatky v konstrukci, výrobě a montáži, nebo také nedodržením podmínek použití. Tato počáteční poruchovost velmi rychle klesá.
2. V druhé fázi, kdy jsou počáteční nedostatky odstraněny a zařízení je již zaběhlé, dochází k poruchám pouze vlivem náhodných mechanismů.
3. V poslední fázi dochází k trvalému nárůstu intenzity poruch, jelikož se začne projevovat únava, stárnutí a opotřebení materiálu.

V některých případech nemusí Vanová křivka obsahovat první fázi (v případě, kdy je zařízení velmi pečlivě zkontrolováno, nebo je před prvním použitím již zaběhnuto), nebo třetí fázi (v případě, že je zařízení vyřazeno z provozu dříve, než začne stárnout). Pro výpočty spolehlivosti elektrotechnických systémů se obvykle používá předpoklad konstantní intenzity poruch, tzn. že se první a třetí fáze zanedbává.

### 1.2.4 Čtvrtá etapa

V současné době je výzkum na přelomu mezi třetí a čtvrtou etapou, kdy čtvrtá etapa je známa pod pojmem INDUSTRY 4.0. Jde o technologický pokrok, kdy značná část tvoří digitalizace. Každé zařízení bude propojeno s dispečinkem, a samostatně se bude kontrolovat, výjimečně i opravovat. Tento pokrok není u energetiky tak viditelný. Je to z důvodu spolehlivosti a důležitosti energetického komplexu. Předtím, než si společnosti dovolí investovat do těchto novodobých technologií, musí jim být zaručena funkčnost, význam a bezpečnost tohoto řešení.

## 1.3 Formy řádu preventivní údržby

Tato kapitola doplňuje informace a možnosti v rámci řádu preventivní údržby. Pokud si shrneme vývoj ŘPÚ dle kapitoly 1.2 na straně 12, můžeme dle vývoje rozdělit druhy ŘPÚ na 2 formy:

- ŘPÚ s předem stanovenými intervaly,
- ŘPÚ na základě jejich skutečného technického stavu.

Údržba s předem stanovenými intervaly byla zavedena jako první v historii, a to pro svou jednoduchost. S pokrokem technologií bylo možné zefektivnit tento postup do ŘPÚ na základě jejich skutečného technického stavu zařízení.

Posouzení skutečného technického stavu zařízení nám umožňuje snížit cenu nákladů na údržbu a zvýšit spolehlivost zařízení, tedy snížit četnost poruch. Oproti ŘPÚ s předem stanovenými intervaly ovšem musíme znát a spravovat mnohem více informací. Je nutné vytvořit databázi se záznamy o všech zařízeních sítě, jejich poruchovosti, záznamech o poruchách, důvody poruch aj. Tato údržba má vyšší investiční náklady, které stojí za uvažování.

Podle [11] je příčina poruchy vlivem okolí prostředí a přírodními vlivy přibližně 40 % u rozvodných zařízení venkovního vedení. Téměř polovina poruchovosti je neovlivnitelná, protože je spjata s nekontrolovatelnými faktory, a proto je nezbytností předem posoudit na která zařízení má smysl investovat do této údržby.

Dnešní pokrok v elektrotechnice umožňuje řídit údržbu rozvodných sítí i pomocí simulačních programů. Vývoj tohoto algoritmu je popsán v [9]. Mnohé další zdroje rozvíjí tuto problematiku, jako např. [7], [12], [10]. Ačkoliv má tento systém mnohé výhody, stěžejním problémem k vytvoření této údržby je dostatek informací o daném systému. Úvod do ŘPÚ na základě skutečného technického stavu, který je totožný se spolehlivostně orientovanou údržbou, zmiňujeme v další kapitole.



### 1.3.1 Úvod do spolehlivostně orientované údržby

Spolehlivostně orientovaná údržba (RCM) je systematický proces, který definuje parametry, které musí být vypořádány nebo zjištěny tak, aby jakýkoliv fyzický prvek bylo možné provozovat s minimální poruchovostí. Jakákoliv společnost může profitovat z RCM snížením nákladů na údržbu až o 25 %. Tato metoda je založena na vytvoření poruchového modelu – křivky poruchovosti, kdy se snaží udržet rovnováhu mezi preventivní údržbou a opravami. RCM je nastavená tak, aby se dosáhlo co nejnižších nákladů na údržbu daného systému. Poprvé byla popsána v roce 1978 akademikem Nowlanem. Již od roku 1980 se používá v jaderné energetice, a od roku 1990 ve vodních elektrárnách. RCM je specifická určením prioritních zařízení, zjištěním poruchových modelů, udržením stability systému a výběrem efektivního postupu údržby. Hlavním zájmem této metody je redukovat náklady na údržbu se zaměřením na nejdůležitější prvky systému. RCM nemá jednotný postup řešení, a podle různých zdrojů se může lišit. I přesto by různé postupy RCM měly odpovídat na tyto základní otázky:

1. Jaké jsou funkce a postavení daného zařízení v jeho současném zařazení?
2. Jakými způsoby může zařízení selhat tak, aby nedokázalo plnit svoji funkci?
3. Co bylo příčinou pro selhání zařízení?
4. Co se stane, když dané zařízení selže?
5. Jak stěžejní problém způsobí dané selhání?
6. Co může být provedeno k lepší prevenci selhání?

Metoda RCM může být považována za sérii kroků k dosažení efektivní údržby. Dále se zabývá sběrem dat nutných k vytvoření logického diagramu. Potřebná data zjistíme z následujících kroků:

- Definování systému, podsystému, ostatních větví, přidružených prvků a stanovení hranic mezi nimi.
- Definování funkcí jednotlivých systémů a podsystémů, a stanovení funkcí jednotlivých prvků v systému.
- Identifikace následků při selhání prvků.
- Odhad dopadu na systém a četnost poruch při těchto selháních.
- Identifikace současného systému údržby.
- Vytvoření databáze dynamického systému údržby, který vychází z nasbíraných dat, simulací a předchozích rutinních úkonů na těchto zařízeních a systémech.

Při zařazení nového zařízení do provozu chybí společnosti tyto data pro sestavení RCM, proto je nutné odhadnout spolehlivost daných zařízení. Při tomto postupu

hraje významnou roli komunikace se společnostmi, které tyto zařízení již využívají, případně je vhodné se obrátit se přímo na výrobce a získání spolehlivosti zařízení přímo. Ne však všichni výrobci tyto data shromažďují a poskytují. Na křivky poruchovosti působí mnoho dalších faktorů, které není možné opomíjet. Jedná se převážně o umístění zařízení v terénu a vlivu vnějších faktorů, jako námraza, vlhkost, vysoký rozsah teplot apod[8] [9] [12].

## 1.4 Kvalita dodávky elektrické energie přenosových a distribučních sítí podle ERÚ

Tato kapitola popisuje jakým způsobem je vyhodnocována kvalita dodávky elektrické energie, jejíž problematika je úzce provázána s preventivní údržbou. Zdroj informací je ze Zprávy o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2016[5]. Informace získané z tohoto přehledu nám poskytuje profil společností zabezpečujících distribuci a přenos elektrické energie. Dále zde vidíme kvalitu sítí dle definovaných ukazatelů, četnost poruch, procentuální zastoupení druhu sítí, a charakteristiku jednotlivých společností. Můžeme získat přehled o procentuálním rozdělení mezi kabelovým a venkovním vedením a využít tyto data pro představu návrhu řádu preventivní údržby na základě jejich skutečného stavu.

Cituji[5]:*Podle paragrafu § 23 odst. 6 vyhlášky č. 540/2005 Sb., o kvalitě dodávky elektřiny, musí úřad předložit zprávu o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektrické energie za daný rok.*

### 1.4.1 Přenos elektřiny

*Přenosová soustava je vzájemně propojený soubor energetických zařízení o napětových hladinách 400kV, 220kV a 110kV. Tato soustava slouží k přenosu elektrické energie a k propojení s elektrizačními soustavami sousedních států. Kvalita se soudí pomocí dvou definovaných ukazatelů:*

- 1. průměrná doba trvání jednoho přerušeni přenosu elektřiny v kalendářním roce (min)*
- 2. nedodaná elektrická energie v kalendářním roce (MWh)*

Tab. 1.1: Profil společnosti ČEPS, a.s.[5]

Profil společnosti ČEPS, a.s.	
Množství elektřiny přenesené přenosovou soustavou na výstupu (GWh)	62914
Délka vedení 400 kV (km)	3724
Délka vedení 220 kV (km)	1909
Počet transformátorů 400/110 kV (-)	48
Počet transformátorů 220/110 kV (-)	21

Tab. 1.2: Vývoj ukazatelů nepřetržitosti provozu[5]

Ukazatele nepřetržitosti přenosu v roce 2016	
Počet přerušení přenosu elektřiny v roce (-)	3
Celková doba trvání přerušení přenosu elektřiny v roce (min)	37
Průměrná doba trvání přerušení přenosu elektřiny v roce (min)	12,3
Nedodaná elektrická energie v roce (MWh)	45

### ***Vývoj ukazatelů nepřetržitosti přenosu***

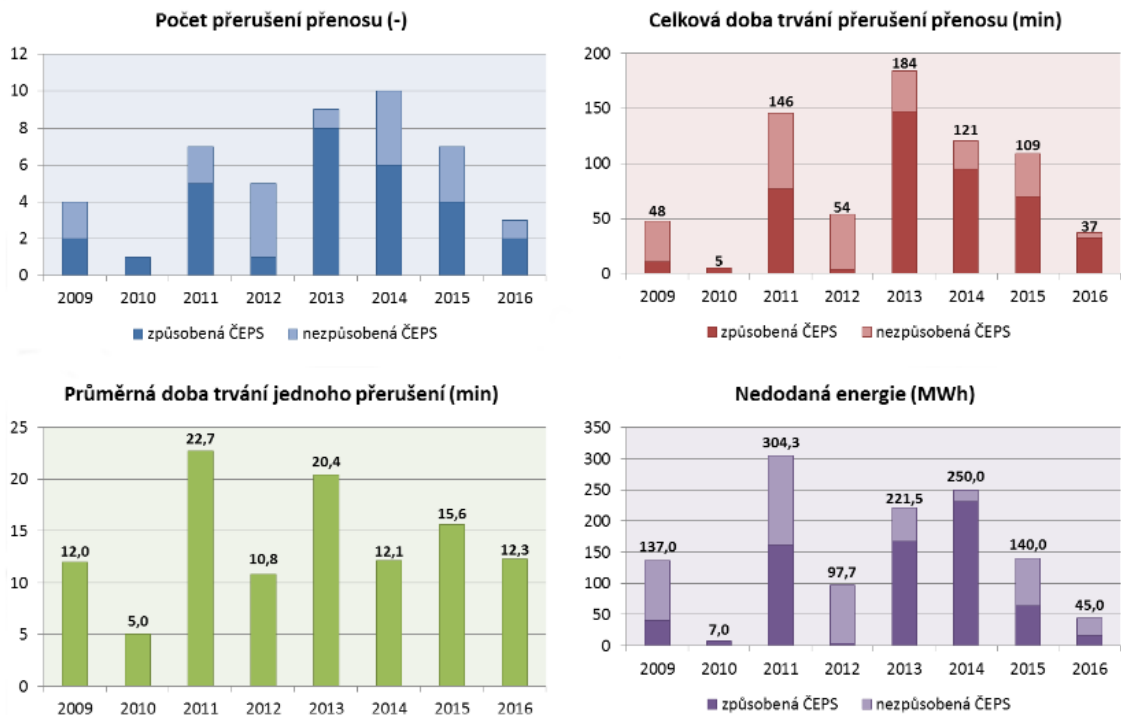
#### **1.4.2 Distribuce elektřiny**

*Energetický regulační úřad stanovuje ukazatele podle vyhlášky o kvalitě § 21 úroveň kvality v distribučních soustavách. Ukazatele jsou definovány jako:*

- 1. ukazatel SAIFI - průměrný počet přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období*
- 2. ukazatel SAIDI - průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období*
- 3. ukazatel CAIDI - průměrná doba trvání jednoho přerušení distribuce elektřiny u zákazníků v hodnoceném období*

*Výpočet ukazatelů nepřetržitosti byl proveden v souladu s přílohou č. 5 vyhlášky. V případě ukazatelů nepřetržitosti distribuce elektřiny jsou uvedeny hodnoty systémových ukazatelů. Uvedené ukazatele zahrnují veškeré kategorie přerušení přenosu nebo distribuce elektřiny podle přílohy č. 4 vyhlášky.*

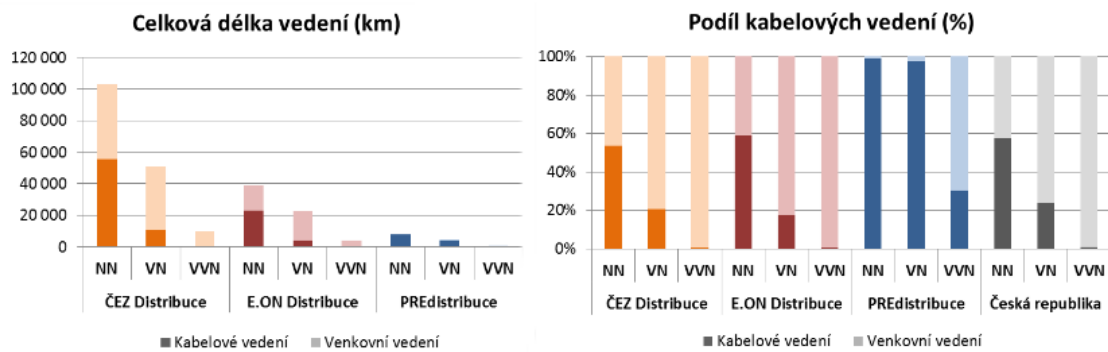
*V této souvislosti je potřeba upozornit, že vzhledem k velkým rozdílům v sítích jednotlivých provozovatelů distribučních soustav, není možné mezi sebou jednoduše ukazatele nepřetržitosti porovnávat. Z tohoto důvodu je důležitý profil společností, který popisuje charakter jednotlivých sítí. Hlavní vliv na ukazatele nepřetržitosti má podíl kabelových vedení, způsob zapojení sítí, hustota odběru, geografické podmínky,*



Obr. 1.3: Vývoj ukazatelů nepřetržitosti provozu [5]

*počet zákazníků, atd...[5]*

### Profil distribučních společností



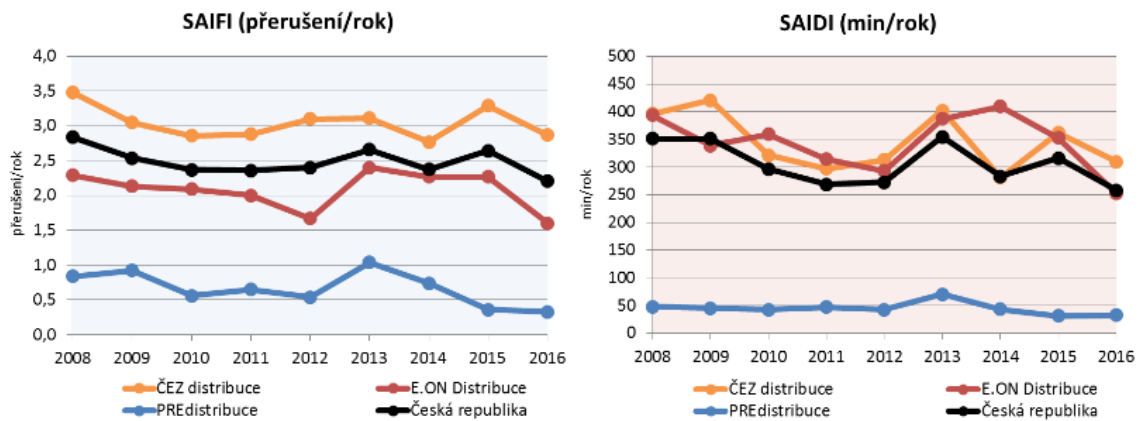
Obr. 1.4: Profil distribučních společností [5]

## Ukazatele nepřetržitosti distribuce v roce 2016

Tab. 1.3: Ukazatele nepřetržitosti distribuce v roce 2016[5]

Ukazatel*	ČEZ distribuce	E.ON distribuce	PREdistribuce	Česká republika
SAIFI (přerušení/rok)	2.87	1.60	0.33	2.2
SAIDI (min/rok)	309.64	252.14	32.52	258.29
CAIDI (min)	107.86	157.56	99.34	116.96

### Vývoj ukazatelů nepřetržitosti distribuce



Obr. 1.5: Vývoj ukazatelů nepřetržitosti distribuce [5]

Jak již bylo uvedeno výše, jednotlivé společnosti není možné mezi sebou jednoduše porovnávat, jelikož výsledky závisí na profilu daných soustav a dalších okolnostech. Z tohoto pohledu je podstatnější sledovat časový vývoj jednotlivých ukazatelů. V roce 2016 bylo dosaženo nejnižších hodnot ukazatelů nepřetržitosti SAIFI i SAIDI za ČR od doby jejich sledování. Na pokles ukazatelů má vliv zavedení motivační regulace kvality, kdy jsou jednotlivé společnosti motivovány formou bonusů/penále k dosažení požadovaných hodnot ukazatelů nepřetržitosti, které jsou stanoveny úřadem na počátku daného regulačního období. Pozitivní vliv na pokles ukazatelů měl i průběh roku 2016, kdy nedocházelo ke kumulaci poruch způsobených vlivem nepříznivých povětrnostních podmínek jako v minulých letech. Podrobnější informace lze nalézt v souhrnných ročních zprávách o dosažené úrovni kvality umístěných na stránkách provozovatelů soustav[5].

## 2 DIAGNOSTIKA VYSOKONAPĚŤOVÝCH KABELŮ

Následující část bakalářské práce bude zaměřena na diagnostiku vysokonapěťových (VN) kabelů. Jsou zde popsány principy a využití diagnostiky VN kabelů, praktickým měřením v terénu, a následně bude provedena analýza naměřených dat a doporučení pro zefektivnění stávajícího způsobu provádění.

Druhů prevence, které zajišťují pokud možno nepřetržitou dodávku elektrické energie odběrateli, je mnoho. Jednou z nich, která není přímo zahrnuta do ŘPÚ, je diagnostika kabelů pomocí níž je možné včas odhalit vznikající poruchu. Tímto způsobem je distributorovi umožněno včas reagovat na vznikající problém a předcházet tak nežádoucím výpadkům sítě.

Samotná diagnostika VN kabelů je důležité odvětví údržby pro správné posouzení stavu kabelů. Diagnostika a ŘPÚ, jsou spolu úzce spjaty. Zatímco pod řádem preventivní údržby, u VN kabelů, si můžeme představit údržbu, revize, prohlídky a opravy těchto komponent, diagnostika nám slouží k získání podrobných informací o těchto kabelových systémech.

Hlavními důvody využití diagnostiky je snížení nákladů na údržbu kabelového vedení a zmenšení zatížení kabelového systému jakýmkoliv vnějším zásahem – ať již lidským nebo strojovým, např. odkrytí zeminy pro kontrolu stavu spojky. Diagnostika je schopna bez poškození a s minimálním zásahem do systému přesně určit stav vedení. K jejím dalším pozitivním vlastnostem patří jednoduchost, rychlost měření a značná mobilita měřícího týmu i s přístroji.

Životnost VN kabelu je dána kvalitou izolace a proto je diagnostika velmi důležitý nástroj k posouzení jeho stavu. Tyto zkoušky nám jasně vyhodnocují stav izolace a vyjadřují provozuschopnost kabelů. K zajištění spolehlivého a výkonného napájení v distribučních sítích je tato nedestruktivní zkouška velkým přínosem. Na základě nejnovějšího vývoje a rozvoje rozvodných sítí je s roustoucími požadavky na spolehlivost dodávky elektrické energie stále větší náročnost monitorování stavu distribučních kabelů. Z tohoto důvodu je potřebou provádět častěji výkonnostní zkoušky a kontroly.

### 2.1 Zkoušky velmi nízkých frekvencí

Podle [17] je vlnění velmi nízkých frekvencí pro diagnostické zkoušky definováno takto, citují: *Vlnění velmi nízkých frekvencí je definováno jako střídavé napětí o frekvenci 0,01 Hz až 1 Hz. Tvar vlny se může měnit od sinusoidy po obdélník. Tolerance naměřené hodnoty musí ležet v rozsahu  $\pm 5$  %.* Tato hodnota omezuje přijatel-

nou hodnotu zkreslení. Tato definice je platná dle normy IEC 60060-3, která udává tvarovou charakteristikou aplikovaných napětí .

V polovině 80. let minulého století byly představeny alternativní metody provozních zkoušek podzemních kabelů středního napětí pomocí pevného dielektrika s využitím velmi nízkých frekvencí v rozsahu 0.1 až 4 Hz. Kromě silových frekvencí bylo jako alternativu možné použít také zkoušku vlnění velmi nízké frekvence. Z důvodu koordinace izolace je nutností zkoušet dielektrickou pevnost zařízení se zatížením, které je co nejvíce shodné s provozním zatížením. Diagnostické postupy umožňují benevolentní přístup při intenzitě zatížení. Primárním požadavkem VLF zkoušení je nepoškození samotné izolace, a zároveň dosažení dostatečného posouzení stavu. VLF zkoušení se prvně použily k testování vysoce výkonných generátorů. Po zjištění rizik vznikajících při stejnosměrné (DC) zkoušce kabelů XLPE (izolace jádra ze zesíťovaného polyetylénu) byly VLF zkoušky jednou z možných alternativ. První VLF zkoušky kabelů se prováděly v časovém intervalu jedné hodiny s hodnotou napětí  $3 U_0$ . Následně byla tato zkouška rozšířena o měření ztrátového činitele (TD) a částečných výbojů (PD)[15] [18] [17].

### 2.1.1 Výhody VLF zkoušek

Využití VLF zkoušek má své opodstatnění v oblasti technické, komerční nebo strategické. Mezi strategické důvody využívání VLF zkoušek je zvýšení celkové spolehlivosti systému, tedy snížení doby prostojů na uživatele na rok. Dále umožňuje výhledově rozhodnout a naplánovat výměnu nevyhovujících úseků kabelů a tedy snížit celkové náklady na údržbu. Hlavní technickou výhodou této zkoušky je malá provozní hmotnost a rozměry zkušebních zařízení. Tato výhoda velmi úzce souvisí s mobilitou při použití v terénu. Podrobnější specifikace uvedeme v kapitole 2.5 na stránce 32. Dalšími pozitivy jsou vyšší citlivost a přesnost měření TD ve srovnání se silovou frekvencí nebo oscilační vlnou, monitorování vzdálenosti poruchy během uvádění do provozu, a zkoušek odolnosti s monitorováním částečných výbojů. VLF zkoušky jsou mnohem účinnější než zkoušky stejnosměrné, a primárně nevytváří v suché izolaci kabelu prostorové náboje s dlouhodobým poškozením kabelu[15].

**Stejnosemřné zkoušky na kabely XLPE:** Většina energetických zařízení používala na přelomu 21. století k diagnostické metodě stejnosměrné napětí. Charakteristika a rozdělení kabelů je uvedena v kapitole 2.6 na stránce 34. Stejnosemřné napětí je dostatečně spolehlivé u kabelů s izolací PILC (izolace jádra s napuštěným papírem), avšak po vyvinutí nové technologie izolace XLPE bylo zjištěno, že tato zkouška trvale znehodnocuje tuto izolaci. Tato skutečnost byla odhalena téměř po 20 letech. Zkouška stejnosměrným napětím je také neúčinná při detekci skrytých

závad v izolaci XLPE. Důvodem poškození izolace XLPE stejnosměrným napětím je vznik v polymerním materiálu uzavřeného prostorového náboje. Tento náboj negativně ovlivňuje dielektrickou pevnost kabelů. Dalším úskalím této zkoušky je, že kabely úspěšně projdou DC zkouškou, a brzy po obnovení zatížení dojde k jejich selhání. Prostorové náboje lze zobrazit rozdělením napětí během stejnosměrné zkoušky po délce izolace mezi pláštěm a žílou. Dutinky slouží jako miniaturní kondenzátory, které hromadí energii. Tato energie značně narůstá v závislosti na poloze vzhledem k průměru a délce trvání. Po dokončení zkoušky dojde k vybití žíly, která zůstane uzemněná. Izolace ovšem po určitou dobu napětí udrží. Nabitě dutinky si mohou svůj náboj zachovat díky okolnímu vysoce izolačnímu materiálu XLPE. Po zapnutí kabelů, které úspěšně prošly stejnosměrnou zkouškou, může dojít k přetížení míst s dutinkami, a kabel může brzy po zapnutí selhat[17].

### 2.1.2 Zkoušení a diagnostika v souladu s normami

Za normu můžeme považovat technický předpis nebo standard, který jasně určuje parametry materiálu nebo pracovní postup. V naší problematice normy primárně slouží k definování parametrů měřících přístrojů. Díky předpisům jsme schopni porovnávat a zpracovávat výsledky z různých měřících zařízení. Ačkoli není povinné normy dodržovat, firmy zabývající se diagnostikou spolupracují na toto téma a průběžně diskutují a upravují normy dle nových zjištění. Tato spolupráce jim umožňuje posoudit kvalitu svých přístrojů s jinými výrobci, dosáhnout lepších výsledků a větší inovaci v oblasti vývoje. V České republice se techniky zkoušek vysokým napětím provádí dle norem [19] [20] [21], které jsou českou verzí evropských norem.

Od 80. let minulého století, kdy alternativní metody provozních zkoušek podzemních kabelů velmi nízkých frekvencí začaly být značně používány, stalo se nutností definovat tvar vysokonapětového VLF vlnění. Celosvětově nejběžnějším tvarem vlnění je signál harmonického sinusového průběhu dle IEC 60060-3. Nadále byl v roce 2014 zpracován dokument pro podzemní kabely s vytlačovanou XLPE izolací. Byl zvolen standard IEC 60502, který se stal oficiálně doporučený pro měření XLPE izolací. Aktuální norma IEC 60060-3 uvádí podrobnosti ohledně zkušebních zařízení k provádění zkoušek na místě. Jedná se o tzv. horizontální normu, která uvádí specifikaci ohledně všech komponent měření (kabely, transformátory, rotační stroje).

Dle normy IEEE 400.2-2013 rozeznáváme v kabelové diagnostice 3 typy zkoušek. Tyto zkoušky dle [17] jsou:

1. instalační zkouška: Zkouška v terénu, která se provádí před spojením jednotlivých úseků kabelu. Tato zkouška je aplikována před ukončením kabelu a před zavedením napětí. Provádí se z důvodu odhalení poškození během přepravy, instalace nebo skladování. Pro úspěšnost této zkoušky je nutné použít dočasné



koncovky, zejména u napěťové hladiny vyšší 35 kV.

2. přejímací zkouška: Tato zkouška se provádí po instalaci celé kabelové trasy, tj. po spojení a po instalaci koncovek. Zkoušku provádíme ještě před uvedením do provozu. Zkouška má odhalit chyby instalace kabelu nebo komponent instalovaných k celému kabelovému systému.
3. zkouška při údržbě: Zkoušku aplikujeme po uvedení do provozu během celé životnosti kabelové trasy. Účelem je detekce zhoršení stavu a kontrola provozuschopnosti.

## 2.2 Monitorovaná zkouška odolnosti

Zkoušky odolnosti sloužily jako základ pro posouzení kvality kabelů při výrobních zkouškách. Ačkoli je tato zkouška v průmyslu i nadále poměrně užitečná, setkávají se uživatelé při realizaci jednoduché zkoušky odolnosti v terénu se třemi problémy:

1. Neexistuje způsob, jak před aplikací zkušebního napětí posoudit kvalitu kabelového systému, a tím i riziko jeho selhání.
2. Neexistuje způsob, jak nastavit rozsah zkoušky podle kvality kabelového systému.
3. Pokud kabelový systém odolá zkušebnímu napětí, neexistuje způsob, jak posoudit kvalitu, s jakou vyhověl, tzn. zda systém vyhovuje s rezervou, nebo pouze těsně[17].

Během vývoje a zlepšování monitorovací zkoušky (MWT) byly postupně určeny parametry, které je nutno sledovat. Pokud bychom sledovali charakteristické vlastnosti, jako dielektrická ztráta, svod nebo částečné výboje, lze na předchozí tři otázky odpovět. Tato hypotéza se ukázala jako velmi efektivní, a přináší technikům v dnešní době, v průběhu i po skončení zkoušky, rozsáhlé a užitečné informace. Jedním z dalších důvodů proč je jednoduchá zkouška odolnosti, tedy monitorovací zkouška bez sledování ostatních parametrů, nevýhodná je ten, že neexistuje přímý způsob, jak odhadnout vyhovující rozmezí. Vyhovující rozmezí chápeme jako rovnoměrné zatížení všech úseků kabelové trasy. Jelikož ale kabelové trasy jsou spojovány z různých izolačních materiálů, a s různou dobou životnosti, nejsme schopni výsledek zkoušky adekvátně posoudit k různým částem úseků. Z praktického hlediska můžeme říct, že první úsek by vyhověl 120 minutové zkoušce, druhý pouze 40 minutové. Výsledek zkoušky bude vyhovující, avšak už nemáme další podrobné informace o vlastnostech jednotlivých úseků, a nejsme schopni posoudit kritická místa kabelové trasy. Z tohoto důvodu je užitečné přijmout koncepci monitorované zkoušky odolnosti se současným sledováním dielektrických ztrát a částečných výbojů. Tímto postupným vývojem se přešlo na kombinovanou diagnostiku kabelů(kapitola 2.3), která doplňuje nedostatky monitorované zkoušky odolnosti[15].

Během zkoušky jsou tyto údaje užitečné pro rozhodování ve čtyřech směrech:

1. Umožňují odhadnout vyhovující rozmezí.
2. Umožňují okamžité ukončení zkoušky v zařízení, pokud z monitorované vlastnosti vyplývá, že při zkoušce hrozí bezprostřední riziko selhání, díky čemuž lze v reálném čase (s nižšími náklady) zahájit opravná opatření.
3. Umožňují dřívější ukončení zkoušky v zařízení, pokud z monitorované vlastnosti zřetelně vyplývá dobrá výkonnost, díky čemuž lze zvýšit počet dokončených zkoušek, a zlepšit celkovou účinnost provozních zkoušek.
4. Umožňují pokračovat ve zkoušce v zařízení, pokud z monitorované vlastnosti vyplývá, že "vyhovující" rozmezí není dostatečné, díky čemuž lze zaměřit zkušební zdroje na úseky, které vyžadují nejvyšší pozornost[18].

Pro jednoduchou zkoušku odolnosti je charakteristické napětí 1,5 až 2,5 násobku jmenovitého provozního napětí. Účelem této zkoušky je nalézt kritická místa, a způsobit v nich poruchu. Tato zkouška probíhá při zásobování energie zákazníkům, ale v době, kdy je přenášena energie výrazně nižší. Zkoušky probíhají v době, kdy je dopad poruchy nízký, a kdy lze rychle a nejúčinněji provést opravy.

Monitorovací zkouška odolnosti má po čas výdržné doby sledovány dielektrické nebo vybíjecí vlastnosti. Tyto údaje při měření dostáváme v reálném čase, tudíž můžeme učinit výše uvedená rozhodnutí. MWT se provádí formou krokového zvyšování napětí a doby výdrže. Technici jsou schopni pomocí krokového stoupání napětí posoudit stav kabelu ještě před zahájením této zkoušky. Kabel může vykazovat špatné vlastnosti v jednom koncentrovaném místě (průrazu) nebo široce rozložené zhoršené izolační vlastnosti – všeobecné stárnutí. Z tohoto hlediska zkoušený kabel vyhoví při zkoušce MWT, pokud nedojde k dielektrickému průrazu. Je doporučeno posoudit rozdíly mezi výsledky standardních měření dielektrických ztrát, a vyhodnocením stejných vlastností ve zkoušce MWT[18][17].

## 2.3 Kombinovaná diagnostika kabelů

Společnost E.ON používá ke kombinované diagnostice kabelů (KDK) zařízení firmy BAUR. Tato firma s dlouholetou tradicí se osvědčila při diagnostice zařízení v mnoha energetických podnicích. Parametry používaného zařízení BAUR TanDelta najdeme v [22]. Dovolme si zmínit pouze základní výhody. Toto zařízení je odolné, mobilní a nezávislé na vnějších vlivech. Samotné měření trvá deset minut na jednu fázi s okamžitými výsledky v elektronické podobě.

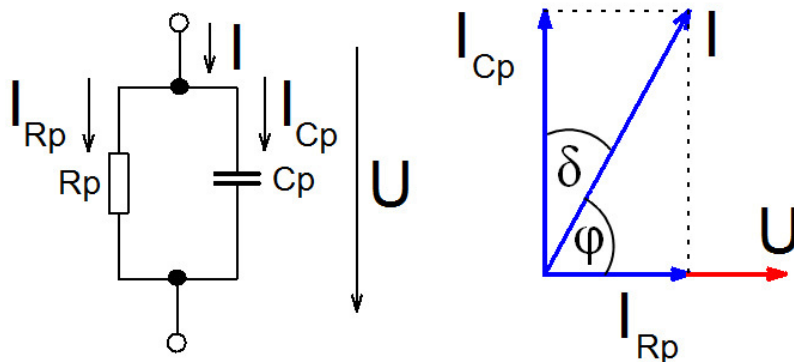
KDK se skládá z měření a vyhodnocování dvou hlavních parametrů, ztrátového činitele a částečných výbojů. Nyní se seznámíme s charakteristikou těchto parametrů a benefity využití VLF oproti silovým frekvencím. Tato kapitola čerpá z [17].

### 2.3.1 Měření ztrátového činitele TD

Ztrátový činitel TD představuje ztráty energie, které vznikají v dielektrickém materiálu. Určuje stupeň reálné ztráty výkonu. Silové kabely s XLPE izolací a opláštěné kabely s papírovou izolací impregnovanou olejem tvoří v ideálním případě koaxiální kondenzátor představovaný kapacitou kabelu a izolačním odporem, který odpovídá ztrátám v izolaci. S narůstající délkou kabelu kapacita kabelu roste a odpor izolace klesá. Z hlediska modelu si izolační systém kabelu můžeme představit jako paralelně zapojený odpor s kondenzátorem, jak je znázorněno na obrázku 2.1. K vyjádření ztrát u střídavých kmitočtů jsou zavedeny v praxi dvě veličiny: ztrátový činitel a úhel  $\delta$ . Výpočet ztrátového činitele charakterizuje rovnice 2.1

$$TD = \frac{P}{Q} = \frac{1}{\omega \cdot R \cdot C} \quad (2.1)$$

Po připojení tohoto modelu k napětí bude celkový proud  $I$  procházející obvodem tvořen proudem kondenzátoru  $I_{Cp}$  a proudem odporu  $I_{Rp}$ . Ztrátový činitel vyjadřuje poměr proudu odporu a proudu kondenzátoru. Úhel  $\delta$  stanovuje úhel mezi součtovým proudem a nabíjecím proudem, pokud jsou zobrazeny jako fázory (vidíme na diagramu obrázku 2.1).



Obr. 2.1: Náhradní schéma izolace kabelu a diagram úhlu  $\delta$ [17]

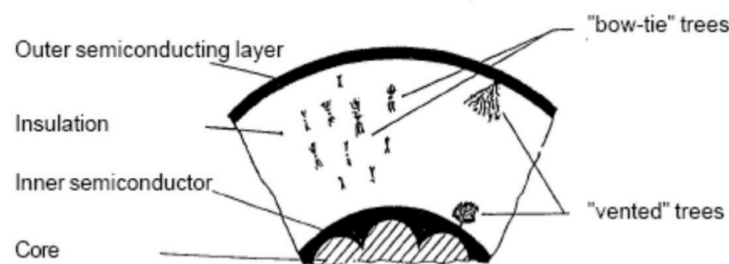
Tato zkouška určuje celkové ztráty kabelu, nikoli ztráty dané jednou poruchou. Z tohoto důvodu zkouška TD slouží k všeobecnému posouzení stavu izolace kabelu. TD lze měřit u všech typů kabelů, je ovšem nutností posoudit výsledky zkoušky s ohledem na daný izolační materiál kabelu, k posouzení nám pomůže příloha D (odkaz 6 na stránce 64).

Izolace každého kabelu postupem času degraduje. U kabelů XLPE je hlavním

důvodem tvorba vodních stroměčků, u kabelů PILC je z důvodu dlouhodobého tepelného namáhání pronikání vlhkosti do izolace. Degradaci izolace rozumíme jako omezení schopnosti izolace, tedy snížení izolačního odporu  $I_{Rp}$ , a nárůstu ztrátového činitele. Z uvedené rovnice 2.1 vyjádřením závislostmi mezi kmitočtem, kapacitou a odporem si můžeme všimnout důležitého poznatku. Ztrátový činitel s klesající hodnotou frekvence zkušebního napětí roste. Díky tomuto poznatku je zřejmé, že měření ztrátového činitele při nižších frekvencích, u VLF 0,01 – 0,1 Hz, je přesnější a citlivější než při měření o síťovém kmitočtu [14] [15].

### Charakteristika vodního stroměčku a elektrického stroměčku

Zhoršování stavu izolace přispívá ke zvyšování ztrát a poklesu dielektrické pevnosti. Dielektrickou pevností jsme schopni odhalit stav elektrické izolace jakéhokoli druhu. Po vniknutí vlhkosti do polymerové izolace se tvoří vodní stroměčky, které s narůstajícím elektrickým polem rostou. Tyto stroměčky jsou považovány za nejrizikovější faktor ohrožující životnost rozvodných kabelů XLPE a za příčinou degradace izolace.



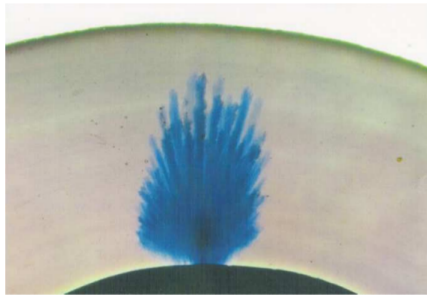
Obr. 2.2: Ilustrace motýlkovitých a odvětraných stroměčků [17]

Vlhkost a vodní stroměčky navíc vytváří svodové proudy, absorpční stejnosměrný proud, polarizační a depolarizační proud i vybíjení zbytkového napětí. Provozní měření těchto parametrů je vhodným prostředkem k detekci degradace a přítomnosti vodních stroměčků. Toto měření také má své nedostatky. Měřením ztrátového činitele získáme přehled o celkovém stavu kabelového systému, nikoli však o nejvíce poškozených částech. Tuto problematiku řeší v kombinované diagnostice kabelů měření doprovázející ztrátového činitele, a to částečné výboje, kapitola 2.3.2 na stránce 30. Další nevýhodou je, že svodový proud ve spojích a v koncovkách je zahrnut do svodového proudu celého kabelového systému.

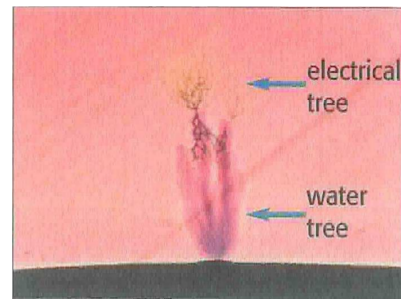
Vodní stroměčky se u polymerových kabelů vyskytují v místech, které není možné

lokálně opravit, tak jako např. u instalačních a montážních závad. Prodloužení životnosti kabelů lze z hlediska vodních stromečků pouze výměnou celého úseku kabelu nebo chemickou renovací. K vzniku vodních stromečků se váže mnoho hypotéz, žádná doposud nebyla plně vysvětlena. Vodní stromečky se vytváří ve formě kanálků, které se rozrůstají vlivem vlhkosti a elektrického pole. Tento jev není možné v izolaci pozorovat prostým okem, proto musí být zjišťovány měřením. Proces, kdy se vytvoří vodní stromeček, který již způsobí značné poškození izolace, trvá několik let. Vytváření vodních stromečků v prvních obdobích nijak nezhoršuje funkční kapacitu. Zlom nastává, jakmile dojde k překročení intenzity pole částečných výbojů ve špičkách vodních stromečků. Jelikož vodní stromečky ovlivňují svodový proud podél kabelu, lze je určit pouze měřením ztrátového činitele, nikoli částečnými výboji.

Rozdíl vzniku vodních stromečků oproti elektrickým je v procesu, který pro-



Obr. 2.3: Vodní stromeček[17]



Obr. 2.4: Elektrický stromeček[17]

bíhá pouze v místech s vysokou lokální intenzitou elektrického pole s následnou sérií částečných výbojů. Tyto struktury jsou také oproti vodním stromečkům viditelné prostým okem. Konečný průraz způsobený vznikem elektrického stromečku je otázkou řádově minut až hodin. Tyto stromečky jsme také schopni detekovat měřením částečných výbojů. S vysokou pravděpodobností vznik elektrických stromečků předchází výskyt vodních stromečků. Oba druhy stromečků se využívají k posouzení stavu izolace. U této diagnostické metody, při zjišťování koncentrace stromečků, nedostáváme jasný výsledek o stavu porušeného místa kabelu. Protokol TD umožňuje posoudit pouze celkový stav izolace. Proto je toto měření pouze jako indikátor následného rozhodnutí o setrvání nebo výměně celé kabelové trasy, nikoli o výměně nejvíce poškozených částí[18] [17].

### Vyhodnocení dílčích parametrů ztrátového činitele

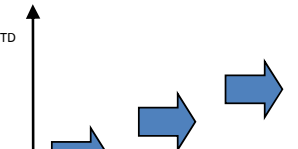
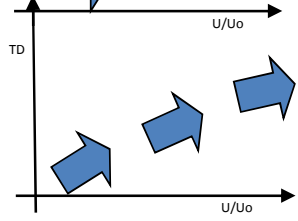
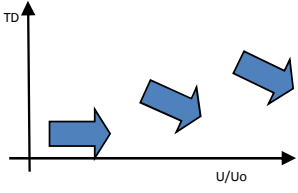
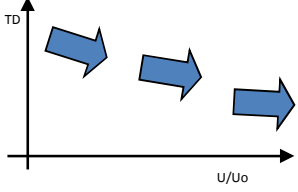
Vyhodnocení ztrátového činitele je komplexní téma a mělo by zahrnovat různá hlediska. Při měření ztrátového činitele vyhodnocujeme několik dílčích parametrů a ukazatelů. Primárně sledujeme absolutní hodnotu TD, Delta Tan Delta DTD, srovnání fází, stabilitu a stabilitu TD v průběhu času. U zpracování protokolů jsme

používali pouze srovnání grafů a fází a stabilitu. U těchto parametrů je vysvětlena podrobně pouze stabilita. Ostatní indikátory jsou shrnuty pouze v tabulce 2.1. Posouzení výsledků úzce souvisí i s vnějšími podmínkami a dalšími faktory. Stabilita je popsána na obrázku 2.5 na stránce 30, kde přehledně můžeme vidět různé vzorce chování.

Tab. 2.1: Přehled indikátorů pro měření ztrátového činitele[17]

<b>Indikátor</b>	<b>Výpočet</b>	<b>Informace</b>
stabilita $\tan\delta(\text{SDTD})$	Standardní odchylka 6- 10 měření $U_0$	–částečné výboje –vlhké spoje
delta $\tan\delta$	Rozdíl průměrných hodnot při $1.5U_0$ a $0.5U_0$	–vodní stromečky –částečné výboje –účinky vypařování
střední $\tan\delta$ (MTD)	průměrná hodnota 6- 10 měření při $U_0$	–vodní stromečky –účinky stárnutí

**Stabilita – standardní odchylka:** Standardní odchylka je definována jako průměrná hodnota, o kterou se výsledky rozložení liší od průměru, bez ohledu na znaménko tohoto rozdílu. Určená standardní odchylka je velmi užitečný údaj při analýze příčiny degradace. Důležité je rovněž sledovat směr vývoje[17].

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stabilní hodnoty během napěťových stupňů.</li> <li>• Nízká standardní odchylka.</li> </ul> <p>⇒ Stabilní stav.</p> <p>⇒ Indikace aktivity PD, mírná přítomnost vodních stromečků.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stoupající TD během napěťových stupňů.</li> <li>• Nízká úroveň standardní odchylky.</li> </ul> <p>⇒ Rozvoj svodových, vodivých, tepelných proudů.</p> <p>⇒ Rozvoj vodních stromečků do pokročilé fáze, elektrických stromečků.</p> <p>⇒ Indikace zvýšení svodů během aplikace napětí.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klesající TD během napěťových stupňů.</li> <li>• Vyšší rychlost klesání při vyšších napětích.</li> <li>• Nízká standardní odchylka.</li> </ul> <p>⇒ Indikace přítomnosti vlhkosti.</p> <p>⇒ Indikace PD, TD se s napětím zvyšuje.</p> <p>⇒ Po určité době aplikace napětí se voda/vlhkost vypaří.</p> <p>⇒ Indikace přítomnosti vody / vlhkosti na koncovkách nebo spojích.</p> <p>⇒ Doporučuje se opakované měření.</p> <p>⇒ Při opakování měření TD se voda / vlhkost vypaří a hodnoty budou stabilnější.</p>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Negativní DTD, klesající hodnota TD přes napětí .</li> <li>• Klesající TD v průběhu napěťových stupňů.</li> <li>• Vyšší rychlost klesání při vyšších napětích.</li> <li>• Velká standardní odchylka.</li> </ul> <p>⇒ Indikace přítomnosti vlhkosti / vody.</p> <p>⇒ Po aplikaci napětí se voda začne vypařovat.</p> <p>⇒ Indikace přítomnosti vody na koncovkách nebo spojích.</p> <p>⇒ Doporučuje se opakované měření.</p> <p>⇒ Voda se vypaří a hodnoty budou stabilnější.</p>	

Obr. 2.5: Vývoj trendu stability[17]

### 2.3.2 Lokalizace a měření úrovně částečných výbojů PD

Měření částečných výbojů (PD) s lokalizací zdroje nám umožňuje přímo stanovit aktivitu částečných výbojů v kabelových úsecích, spojích nebo koncovkách. Průchod impulsů částečných výbojů závisí na tlumení v kabelu. Kvůli tlumení kabelu je naměřená úroveň závislá na vzdálenosti od konce zdroje částečných výbojů. Pro zjištění místa s kritickou hodnotou částečných výbojů je důležitá časová prodleva mezi prvním a odraženým impulsem.

Princip lokalizace částečných výbojů v XLPE kabelech je v příslušenství, nikoli v samotné izolaci kabelu. Pokud by lokalizace probíhala v samotné izolaci mohlo by dojít k trvalému poškození izolace a vzniku elektrických stromečků. Statistiky měření odkazují na nejčastější zdroje částečných výbojů ve spojích. Mimo spoje dochází ke zdrojům ojedinele, v tomto případě jde o porušení pláště kabelu. Měření PD je v souladu s normou IEC 60270, podle které se v obvyklých situacích provádí měření na konci kabelu. Částečné výboje způsobí krátkodobý průraz izolace uvnitř kabelu. Takto vzniklý dobíjecí proud impulsní charakteristiky je detekován pomocí vazebního čtyřpólového kondenzátoru, zapojený paralelně s kabelem, který převádí impuls na ekvivalentní napěťový signál. V následujícím kroku je signál zaznamenán a zobrazen v elektronické podobě.

VLF zkouška a diagnostika stárnutí kabelů XLPE pomocí měření ztrátového činitele jsou kritériem, z něhož může vycházet posouzení energetických kabelů. Měření PD s lokalizací jejich zdroje nám doplňuje mezeru v diagnostice kabelů PILC a poskytuje vyhodnocení plastových kabelů.

Nejslabší místa dielektrické pevnosti lze posoudit pomocí zkoušky odolnosti s jednoduchým výsledkem vyhověl/nehověl. Zkouška odolnosti se provádí při položení kabelů, po opravách nebo při vyhodnocení provozní bezpečnosti starších kabelů, víc o zkoušce odolnosti najdeme v kapitole 2.2 na stránce 24. Zkouška částečných výbojů doplňuje měření ztrátového činitele o charakteristiku případných chyb při instalaci kabelu nebo elektrických stromečcích na plastových kabelech, které nebyly způsobené průrazem. Výhodou PD zkoušky je lokalizace zdroje, díky kterému je provozovatel schopen vyhodnotit riziko PD, a přiřadit místo k daným úsekům, spojům nebo koncovkám. Díky této výhodě jsme schopni přijmout preventivní opatření a primárně zamezit výpadkům rozvodu elektrické energie[17].

## **Kalibrace**

Měřící tým provádí kalibraci u každé nové zkoušky. Způsob kalibrace uvádí norma IEC 60270. Z důvodu útlumu amplitudy měřených částečných výbojů je nutné provést korekci činitelem útlumu. Do zkoušeného objektu je vyslán známý náboj, pomocí kterého lze zjistit délku trasy, ale i počet a vzdálenost spojů.

## **2.4 Vzorový protokol**

Zmíněná diagnostika VN kabelů se skládá z protokolů o částečných výbojích a ztrátového činitele. Pro lepší představu, jaké informace byly zpracovány jsou v příloze A 3 a příloze B 4 uvedeny vzorové protokoly. Seznámení s protokoly přibližuje celé vyhodnocení stavu kabelu v praxi. Teoretický popis je v kapitole 2.3 na straně 25.



Při zpracování dat byly prvně zpracovány protokoly o ztrátovém činitele. Snahou bylo získat přehled o postupné degradaci izolace kabelu a najít závislost průměrné hodnoty ztrátového činitele na době životnosti kabelu. K této závislosti bylo nutné vzít v potaz trend stability ztrátového činitele (viz. obrázek 2.5). Dále byly srovnány jednotlivé fáze v daném protokolu a následně porovnání grafů protokolů ve shodných skupinách (termín shodné skupiny je vysvětlen v kapitole 2.7).

V samotném protokolu je uveden graf závislosti ztrátového činitele na zkušebním napětí, tabulka hodnot průměrného ztrátového činitele v závislosti na zkušebním napětí, standardní odchylka, zátěž a proud. Po měření je protokol okamžitě vyhodnocen. Celková zpráva diagnostiky ještě obsahuje komentář měřícího týmu.

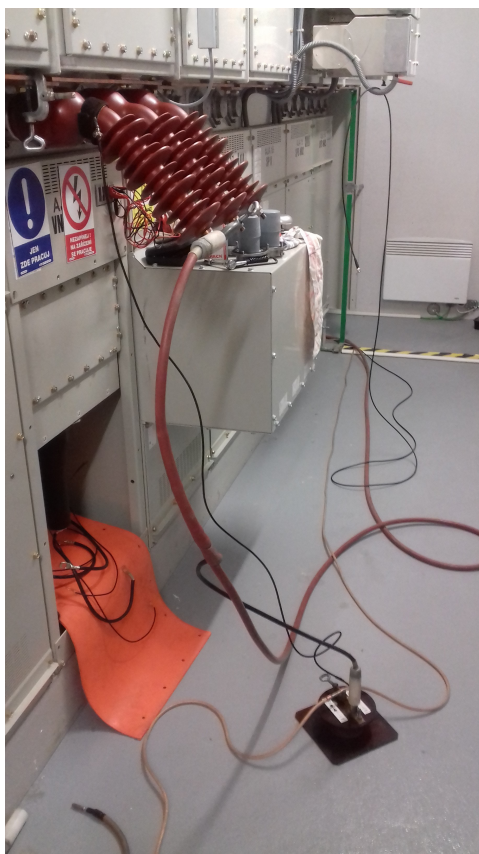
Při porovnávání protokolů ztrátového činitele je nutností k doplnění celkového přehledu o stavu izolace současně analyzovat protokol částečných výbojích. PD doplňuje informace o nejkritičtějších místech, kde by mohl nastat elektrický průraz. Jelikož průměrná hodnota ztrátového činitele nám popisuje celkový stav kabelu, může se stát, že hodnoty vychází v oblasti výsledku kabel s vysokým rizikem a skutečný výsledek izolace systému je provozuschopný. Je to v případech, kdy je jedno místo kritické a ovlivňuje tak celkovou průměrnou hodnotu ztrátového činitele. Proto je nutné sledovat oba parametry zároveň. Dále v obou protokolech jsou informace o délce a umístění trasy, jména zkoušejících, typ izolace a počet spojek a koncovek.

## 2.5 Ukázka a popis měření KDK v terénu

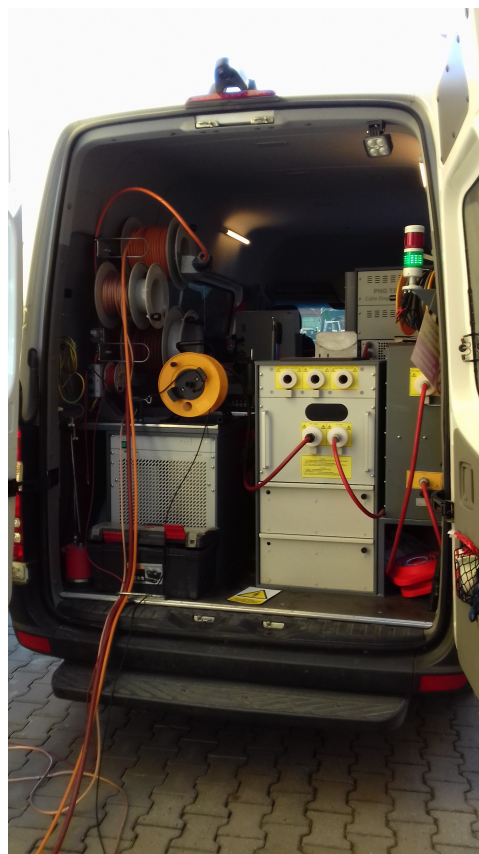
Diagnostika kabelů v praxi probíhá za pomoci mobilního týmu umístěného v automobilu Mercedes-Benz Sprinter. Tento automobil obsahuje veškeré přístroje a zařízení k provedení diagnostické zkoušky. Aby bylo možné měření zrealizovat je nutná koordinace několik pracovních složek.

V prvním kroku je nutné danou kabelovou trasu odpojit od zátěže. Tento úkon provádí dispečink podle předem naplánovaných odstávek. Dle daného času odstávky musí správce rozvodny, kde probíhá měření, zpřístupnit prostor rozvodny pro měřící tým. Měřící tým čítá posádku dvou členů, který zvládne za pracovní směnu, trvající osm hodin, měření dvou kabelových tras.

Po odpojení kabelu od zátěže se v dalším kroku odpojí od veškerých měřících zařízení a přepětových ochran na obou koncích kabelu. Pro samotnou diagnostiku zůstává pouze holý kabel. K měření je nutné nechat konce fází kabelu na druhé straně volné, nikoli zkratované. Ke správnému připojení diagnostiky ke kabelům slouží speciální koncovky – vývody. Pro dosažení přesných výsledků musíme brát v úvahu znečištění koncovek, které ovlivňuje výsledný ztrátový činitel. Je to z toho důvodu, že snižuje celkový izolační odpor a zkrsluje průměrnou hodnotu ztrátového



Obr. 2.6: Napojení měřících koncovek



Obr. 2.7: Zadní část měřícího auta

činitele celého kabelového systému. Proto je nutné správně připojit měřící diagnostiku. Vývody můžeme vidět na fotografii 2.6. Automobil obsahuje vysokonapěťový generátor PHG 70 - VLF 0.1 Hz - Baur. Tento stroj je napájen z rozvodny jednofázovým připojením. Z automobilu vedou celkem čtyři různé vývody. První pro napájení generátoru, druhý pro uzemnění automobilu – zajišťuje ochranu majetku a osob měřícího týmu, třetí a čtvrtý jsou samotné měřící kabely. Veškeré elektronické zařízení automobilu je speciálně stíněno proti náhodným elektrickým jevům způsobených při měření.

V první zkoušce probíhá kalibrace měření. Kalibrace slouží k určení délky kabelu a zjištění počtu spojek v trase. Tyto údaje jsou kontrolovány s informací z předchozích měření a slouží k ověření, zda daný kabel je na protější straně řádně odpojen. Kalibrace také slouží k určení korekčního činitele pro správnost měření, viz kapitola 2.3.2 na straně 30.

Po tomto úkonu probíhá již samotné měření ztrátového činitele a částečných výbojů. Měření jedné fáze na jedné napěťové úrovni probíhá deset minut. Měřící tým dostává okamžité hodnoty měření v elektronické podobě.

Stupně vyhodnocení stavu izolace kabelů je: kabel je provozuschopný, provoz ka-



Obr. 2.8: Displej ukazující aktuální průběh měření.

belu s mírným rizikem, provoz kabelu s vysokým rizikem. Samotnému vyhodnocení napomáhá tabulka 6 na stránce 64 v příloze *D*.

Problematika vyhodnocení zahrnuje mnoho dalších faktorů. Technici musí zohlednit vnější podmínky (primárně vlhkost), délku kabelu, počty druhů izolace, rušící elementy jako vodivá potrubí, kolejnice, jiná kabelová vedení, stabilitu trendu TD 2.5 aj. Po odměření všech fází se kabel opět připojí k síti, včetně měřících zařízení a přepětových ochran, a zatíží se nominálním výkonem.

## 2.6 Typy silových kabelů vyskytující se v protokolech

V této kapitole jsou popsány typy kabelů dle izolace a jádra. Popsány jsou pouze druhy, které byly zpracovány v protokolech pro návrh metodiky vyhodnocení. Informace jsou použity z [23][24].

**NA2XS(F)2Y:** Tento kabel je charakteristický hliníkovým jádrem s XLPE izolací. Dále je podélně vodotěsný a má plastový plášť. Je vhodný pro instalaci v elektrárnách, kabelových kanálech, pro venkovní uložení do země nebo do vody.

### Konstrukce kabelu:

- Kulaté holé Al jádro laněné dle IEC 60228.
- Vnitřní polovodivá vrstva.

- Izolace jádra zesítený polyetylén XLPE.
- Vnější polovodivá vrstva svařená s izolací.
- Vodoblokující polovodivá páska .
- Stínění z Cu drátů a z jedné nebo dvou protisměrně vinutých. Cu pásek
- Plášť z PE směsi, barva černá.

**AXEKVCEY:** Jednožilový distribuční kabel pro vnitřní i venkovní použití v 3-fázovém uspořádání. Instalace do trubek a pokládka do země/vzduchu. Kabely splňující požadavky PNE 34 76 25.

**Konstrukce kabelu:**

- Lanované, kulaté a komprimované hliníkové jádro podle ČSN EN 60228, třída 2.
- vytlačovaná, nesloupatelná polovodivá vrstva.
- Izolace jádra zesítený polyetylén XLPE.
- Koncentrický vodič z žíhaných měděných drátků a protispirály z měděné pásky.
- Ochranný plášť tvoří bezolovnatý PVC.
- Plášť z PE směsi, barva černá.

**AXEKCY:** Jednožilový distribuční kabel pro vnitřní i venkovní použití v 3-fázovém uspořádání. Instalace do trubek a pokládka do země/vzduchu. Kabely splňující požadavky PNE 34 76 25.

**Konstrukce kabelu:**

- Lanované, kulaté a komprimované hliníkové jádro podle ČSN EN 60228, třída 2.
- Vytlačovaná, nesloupatelná polovodivá vrstva.
- Izolace jádra zesítený polyetylén XLPE.
- Koncentrický vodič z žíhaných měděných drátků a protispirály z měděné pásky.
- Ochranný plášť tvoří bezolovnatý PVC.
- Plášť z PE směsi, barva černá.

## 2.7 Zpracování protokolů

Zadaným úkolem bylo zpracovat 200 zpráv o měření a diagnostice. Každá zpráva obsahuje informace o jednotlivé kabelové trase, protokol o měření částečných výbojů a protokol o měření ztrátového činitele. Tyto zprávy byly rozříděny do shodných skupin. Ve skupině musela být absolutní shoda v pořadí typu kabelů a počtu spojek. Primárním kritériem výběru těchto 200 protokolů byl obsah kabelového typu

AXEKCY o minimální délce 50 metrů.

V příloze *C* na straně 58 vidíme tabulku č.1 a tabulku č. 2 Vstupní hodnoty, která nám ukazuje výchozí data s kterými jsme pracovali. Tento přehled obsahuje identifikační číslo kabelové trasy – FID trasy, která je následně rozdělena podle spojů do úseků – identifikační číslo FID úseku. Počet spojů nám udává sloupec pořadí. Dále zde vidíme rok výstavby kabelového úseku, průřez a jednotlivé délky. Pomocí identifikačních údajů, ať již FID trasy nebo FID úseku, byly dohledány zprávy o měření a diagnostice z databáze firmy. Pro představu zprávy nám pomůže příloha *A* a *B*, které obsahují vzorové protokoly. Následně byly tyto zprávy rozděleny do skupin podle shodných počtu úseků a identických(i v pořadí a typu) kabelů, pro lepší přehled nám opět pomůže příloha *C* na stránce 58 tabulka č.3 Vyhodnocení skupiny.

Z poskytnutých dat bylo vytvořeno 15 skupin, 10 je dále analyzováno. Nezpracovatelných pět skupin nebylo možné vyhodnotit z důvodu nedostatečného počtu informací. V příloze *C* nalezneme tyto skupiny v tabulkách, kde jsou jako dodatečné informace uvedeny rok výstavby, FID trasy, střední hodnota ztrátového činitele AVG TD a dodatečný komentář.

### 2.7.1 AXEKCY

**Vyhodnocení:** Kabelové trasy této skupiny jsou složeny pouze z druhu kabelu AXEKCY a bez žádných spojů. Skupina obsahuje 21 tras. V pěti případech diagnostika dosáhla výsledku kabelu s vysokým rizikem. Výsledky najdeme na straně 58 v tabulce č. 9. Je zde patrné, že instalované trasy od roku 1980 budou vykazovat horší izolační vlastnosti tak, jak potvrzuje tato pětice protokolů.

Na druhou stranu ostatní protokoly instalované také v tomto období, jsou provozuschopné. Důvodem proč se zde vyskytují špatné výsledky v menší četnosti (35 %) je, že u těchto kabelů mohla být provedena chyba při výrobě. Pro potvrzení této teorie je nutné dohledat identifikační číslo jednotlivých kabelů a porovnat chybné trasy s místem a rokem výroby. Další možností je, že těchto pět tras se špatnými výsledky může vést v podloží s trvale zvýšenou vlhkostí. U této skupiny bych doporučil, až na trasy již se zhoršenými výsledky, lhůtu diagnostiky zvýšit na dvojnásobek, tj. 6let.

### 2.7.2 AXEKCY, AXEKCY

**Vyhodnocení:** Skupina lišící se předchozí pouze tím, že obsahuje jednu spojku mezi identickými kabely. Byly zde vyhodnoceny pouze 4 protokoly. Z vyhodnocení není možné stanovit žádný závěr, jelikož se různě lišily. Výsledky byly následující: kabel musí být přeměřen po roce kvůli vysoké vlhkosti, 2 kabely provozuschopné a

poslední s vysokým rizikem. Tato skupina je zde uvedena jako názorná ukázka proč nemohly být určité skupiny vyhodnoceny pro nedostatek informací.

### 2.7.3 AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY

**Vyhodnocení:** Zde jsme pracovali s 18 protokoly, 10 protokolů vyhovělo kritériu provozuschopný kabel. Ve většině případech v protokolech se špatnými výsledky byla pouze jedna fáze nevyhovující, což nedokážeme nijak zdůvodnit. Nebyly to špatné výsledky částečných výbojů, ale vyhodnocení ztrátového činitele. Z jakého důvodu jsou výsledky pouze jedné fáze nepřijatelné, když sdílí stejné podmínky i rok instalace, není zřejmé.

Důležitým faktorem je, že v této skupině je ukázkově vidět postupné zhoršení stavu izolace u kabelů instalovaných v letech 1984 – 1995. Shodné výsledky u těchto protokolů nám umožňují odhadnout průběh stavu izolace v následujících letech u tras kabelů z AXEKCY. Je zde vidět, že kabely instalované v tomto období průběžně přechází z provozuschopného stavu do stavu s mírným rizikem. Podle aktuálních a předchozích zpráv o diagnostice jsme schopni stanovit kvalitu izolace v závislosti na době provozu kabelu. Podle informací získaných z protokolů navrhuji zvýšit lhůtu diagnostiky na dvojnásobnou dobu v prvních 35 letech životnosti, protokoly je možné nalézt podle FID trasy v tabulce na stránce 58 tabulka č. 10. Pokud by nově instalovaná trasa vykazovala špatnou tendenci výsledků, doporučil bych přeměření po roce. Jestliže by se výsledky potvrdily bylo by nutné trasu měřit opět co tři roky. V druhém případě, kdy kabel by zvrátil špatné výsledky z prvního měření nechal bych lhůtu dvojnásobnou.

### 2.7.4 AXEKCY, AXEKVCEY, NA2XS(F)2Y

**Vyhodnocení:** Pro tuto skupinu navrhuji zvýšení kontrolní lhůty diagnostiky z tří na šest let u kabelů položených od roku 2000 a mladší, příloha C na stránce 58 tabulka č. 3. U starších kabelů bych pokračoval v měřící lhůtě 3 roky. Tato skupina ukazuje vliv vnějších faktorů. Jedno měření je nutné opakovat po roce z důvodu nadměrné vlhkosti kabelu. U druhého kabelu, ačkoliv jde o poměrně nový kabel instalovaný v roce 2000, jsou výsledky obou protokolů nevyhovující. Měření PD napovídá, že důvod těchto výsledků je způsobeno vnějším strojovým zásahem. Je zde i možnost posunu půdy, která mohla zhoršit stav spojky. Tato možnost je ovšem minimální.

### 2.7.5 NA2XS(F)2Y, AXEKCY, AXEKCY, NA2XS(F)2Y

**Vyhodnocení:** V této skupině je pět shodných kabelových tras. Oproti jednomu výsledku s vysokým rizikem ostatní trasy vyhověly dle požadavků provozuschopnému kabelu, příloha *C* na stránce 58 tabulka č. 4. Perioda měření se může zvýšit z tří na šest let, ale bylo by vhodné dohledání dalších protokolů této skupiny a potvrzení výsledků. Jestliže požadujeme použít již novou navrženou periodu měření navrhl bych to pouze pro trasy bez kritické infrastruktury.

### 2.7.6 AXEKCY, NA2XS(F)2Y, AXEKCY

**Vyhodnocení:** Výsledky této skupiny jsou uspokojivé. Veškeré trasy dosahují výsledku kabel je provozuschopný a to i přes určité stáří kabelu. Nejdelší životnost v této skupině má trasa od roku 1983, příloha *C* na stránce 58 tabulka č. 5. Doporučil bych vyhledat další trasy tohoto typu nebo trasy podobné. Při analogii výsledků je doporučeno zvýšit periodu měření na dobu šesti let.

### 2.7.7 AXEKCY, AXEKCY, NA2XS(F)2Y

**Vyhodnocení:** Tato skupina má slabý počet zastoupení, pouze 3 kabelové trasy, příloha *C* 58 tabulka č. 6. Řešením je dohledání dalších identických tras a konzultace s odborníky na problematiku, zda pořadí úseků ovlivňuje celkové měření a výsledný stav kabelu. Po této diskuzi by mohla být nalezena shoda mezi skupinami, např. AXEKCY, AXEKCY, NA2XS(F)2Y a AXEKCY, NA2XS(F)2Y, AXEKCY.

### 2.7.8 AXEKCY, AXEKVCEY

**Vyhodnocení:** Skupina s jednou spojkou mezi typy AXEKCY a AXEKVCXEY obsahuje 13 kabelových tras, příloha *C* na stránce 58 tabulka č. 7. I přesto, že tento počet je nadprůměrný oproti ostatním skupinám, vyhodnocení není zřejmé. Nedá se určit postupná degradace izolace, jelikož špatné výsledky se objevují v rozmezí let 1979 až 2002. Je diskutabilní proč přibližně stejný počet tras má vyhovující výsledky a to v podobných letech instalace. Další neznámou je, proč se zde nevyskytují výsledky s mírným rizikem. Proto zůstává na zvážení upravit mezní hodnoty pro vyhodnocení diagnostického činitele (viz. příloha *D* na straně 64) tak, aby s postupným stářím bylo možné posoudit stav izolace detailněji. Tedy aby mezi výsledkem provozuschopný a vysoké riziko bylo možné naměřit hodnocení kabelu s mírným rizikem. Pomocí více druhů výsledků budeme schopni lépe analyzovat průběh stáří izolace.

### 2.7.9 NA2XS(F)2Y, AXEKCY, NA2XS(F)2Y

**Vyhodnocení:** Důkazem, že u provozu kabelových vedení musíme zohlednit větší počet faktorů dokazuje tato skupina. I když čítá pouze pět, vcelku nových, kabelových tras, vidíme zde značně rozdílné výsledky. Po dvou provozuschopných trasách nalezneme mezi výsledky kabely s vysokým rizikem a to z různých důvodů – špatně provedené měření a narušená izolace vnějším vlivem, viz. příloha C na stránce 58 tabulka č. 8. Tuto skupinu nelze vyhodnotit pro nedostatečný počet údajů, ale můžeme si opět uvědomit závažnosti vnějších vlivů ovlivňující provoz kabelů.

### 2.7.10 AXEKCY, NA2XS(F)2Y

Poslední zpracovaná skupina má 24 protokolů, viz. příloha C na stránce 58 tabulka č. 12. U této skupiny převažují, až na pár výjimek, trasy s provozuschopnými výsledky. Při porovnání ztrátového činitele vidíme, že kabely instalované roku 1980–1983 vykazují vyšší hodnotu ztrátového činitele. I přesto, že kabel je vyhodnocen jako provozuschopný můžeme očekávat v následujících letech přechod do mírného rizika. Kabelům instalovaným po roce 1990 bych zvýšil lhůtu diagnostiky na 6 let a u kabelů starších bych ponechal periodu co tři roky.

## 2.8 Shrnutí výsledků skupin

Při analyzování protokolů byl stěžejní problém dostatečný počet dat. K vyhodnocení jedné charakteristické skupiny je vhodné, aby skupina obsahovala alespoň deset zpráv. V této práci je zpracováno 200 protokolů, ale použitelných tras, rozdělených do skupin, bylo pouze 49 %. Společnost vlastní tisíce zpráv o protokolech. Primárně navrhuji upravit stávající databázi a sestavit výpočetní program, který by třídil protokoly do shodných skupin podle aktuálně nahraných zpráv z měření. Při splnění tohoto požadavku bude možné lépe analyzovat a porovnávat dostatečné množství informací. Tento krok je klíčový k efektivnějšímu návrhu kontrol diagnostiky kabelových tras.

Každý zásah do homogenního vedení ovlivní životnost systému. Kabelové trasy obsahují nejkritičtější místa v bodě spojení dvou kabelů – spojce. Ačkoli je spojení kabelů v dnešní době na vysoké úrovni vyskytují se zde nedostatky, a proto bych doporučil zvýšit investice do oblasti spojování kabelů. Správně spojený kabel bude provozuschopnější a zároveň se dosáhne vyšší životnosti. V ideálně spojené kabelové trase bude možné více navýšit periodu kontrol.

Tyto dva poznatky, vytvoření lepší databáze a správné spojení kabelů, musí být primárně vyřešeny k dosažení lepší údržby. Mimo navýšení životnosti a provozuschopnosti kabelových systémů se sníží celkové náklady na údržbu, ale i na instalaci



nového vedení.

Určité skupiny obsahují dostatečný počet informací pro vytvoření údržby na základě skutečného technického stavu. Uvedme skupinu 2.7.3. Na základě dat z protokolů je možné sestavit lhůty diagnostiky tak, aby jejich počet byl minimální. Vyhovující kontroly diagnostikou by měly být po instalaci trasy, jako kontrola správné instalace, po roce provozu k odhalení nedostatků při instalaci, a přemění po třech letech. Dále by se diagnostika prováděla co osm let. Po 90 % životnosti kabelu se kontroly budou opět provádět častěji. V tomto období není možné plánovat lhůty kontrol, ale návrh opětovného měření by měl navrhnout samotný technik provádějící poslední aktuální měření a rozhodnout o lhůtě podle stavu kabelu. Po splnění výše uvedených bodů je možné navrhnout údržbu na základě skutečného technického stavu těchto zařízení a profitovat z jejich výhod.

# ZÁVĚR

Bakalářská práce předkládá možnosti údržby rozvodných zařízení, které v současnosti plní důležitý faktor v zájmu lidského rozvoje. V první části je seznámení s vývojem údržby energetických zařízení až po vznik řádu preventivní údržby. ŘPÚ je zde popsán a v návaznosti na něj přechází do úvodu spolehlivostně orientované údržby. Poslední kapitola první části se zabývá profilem českých sítí.

V následující části byla popsána diagnostika vysokonapětových kabelů tak, jak ji provádí firma E.ON. Jelikož jde o zkoušku, která nijak neovlivní a nepoškodí zkoušené vedení, začíná být nedílnou součástí údržby energetických zařízení. V době při nepřetržitém toku elektrické energie je tato prevence velkým přínosem.

V praktické části proběhla analýza dat 200 zpráv a návrh na základě těchto informací efektivnějších lhůt diagnostiky. Pro lepší vyhodnocení navrhuji vytvořit rozsáhlejší databázi těchto protokolů. Ačkoli firma provozuje přehledné prostředí pro dohledání a náhled těchto zpráv, neumožňuje žádné roztrídění podle potřebných technických vlastností kabelové trasy. Po tomto úkonu bude možné dohledávat identické trasy i podle roku instalace a bude možné přesnější vyhodnocení degradace izolace. Na základě toho bude možné vytvoření křivek poruchovosti podle kterých se stanoví počty a lhůty kontrol pro dané kabely. Firma tak zefektivní provozuschopnost a ušetří náklady na údržbu a diagnostiku. Jedinou investicí bude vytvoření této databáze.

Ze zpracování protokolů vyplynulo také, že největší důraz by měl být kladen na správnou instalaci kabelů, spojení kabelů a správné uvedení do provozu. Při splnění těchto podmínek se poruchovost sníží a opět klesnou náklady na údržbu. Také se zvýší životnost kabelové trasy čímž se sníží četnost instalace nových tras.

Dále byla v určitých skupinách nalezena shoda podle které byla navržena nová lhůta diagnostiky. K lepšímu návrhu těchto kontrol je kromě vytvoření databáze, jak uvádíme výše, vhodné upravit samotné měření diagnostiky. Větší důraz bych zavedl na měření ztrátového činitele. Měřící tým provedením měření obdrží pouze střední hodnotu TD v závislosti na zkušebním napětí. Nijak ale nepracuje s trendem stability a ostatními dílčími parametry ztrátového činitele. Také komentáře v celkové zprávě jsou strohé. Pokud firma jeví zájem o kvalitnější přehled kabelových systémů doporučuji upravit měření ztrátového činitele. Tato úprava by byla vhodná pro nově instalované kabely, kde by již byla zaručena lepší metoda spojování než v současnosti. Dále musíme počítat s větším sběrem dat při měření více dílčích parametrů a také větší časové náročnosti. Po vyřešení těchto kroků se kabelová trasa po většině doby své životnosti stane bezúdržbová. Vzhledem k počtu kabelových tras po České republice spravované firmou E.ON bude snížení nákladů na údržbu a diagnostiku markantní.

## LITERATURA

- [1] *Metody alokace a estimace nákladů pro optimalizaci komplexní údržby energetických zařízení*. Plzeň, 2011. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Přemysl Voráč.
- [2] Bez jádra to nepůjde. *Masarykova univerzita* [online]. Brno: ČEZ, 2008 [cit. 2017-10-18]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1441/jaro2011/FY2MP\\_ENVI/um/bez\\_jadra\\_to\\_nepujde.pdf](https://is.muni.cz/el/1441/jaro2011/FY2MP_ENVI/um/bez_jadra_to_nepujde.pdf)
- [3] MATAL, Oldřich a Hugo ŠEN. *Jaderná zařízení a jejich bezpečnost*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 174 s. ISBN 978-80-214-4349-5.
- [4] Státní úřad pro jadernou bezpečnost: *Jaderná zařízení v ČR. Státní úřad pro jadernou bezpečnost* [online]. 2014 [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/jaderna-bezpecnost/jaderna-zarizeni/jaderna-zarizeni-v-cr/>
- [5] *Zpráva o dosažené úrovni nepřetržitosti přenosu nebo distribuce elektřiny za rok 2016*. In: . Praha: Energetický regulační úřad, 2016, ročník 2016, číslo 1.
- [6] *Spolehlivostní databáze elektrických zařízení pro jadernou energetiku*. Plzeň, 2014. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Ing. Jana Jiříčková Ph.D.
- [7] F. WILIAM, Horton. THE FAILURE RATES OF OVERHEAD DISTRIBUTION SYSTEM COMPONENTS. *IEEE* [online]. California Polytechnic State University, 1991 [cit. 2018-01-14]. DOI: 10.1109/TDC.1991.169563. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/169563/>
- [8] A Review of the Reliability of Electric Distribution System Components. *EPRI* [online]. 2001, -(1001873), 1-17 [cit. 2018-01-14]. Dostupné z: <https://www.epri.com/#/pages/product/000000000001001873/>
- [9] LINA, Bertling. *Reliability centred maintaince for electric power distribution systems*. Stockholm, 2002. Doctoral dissertation. Royal institue of technology.
- [10] LINA, Bertlin. A Reliability-Centered Asset Maintenance Method for Assessing the Impact of Maintenance in Power Distribution Systems. *IEEE Transactions on power systems* [online]. IEEE, 2005, **20**(1), 75-82 [cit. 2018-01-14]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1388495/>

- [11] SOJKA, Jaroslav a Radomír GOŇO. Problematika údržby vedení VVN. In: *EPE* [online]. Ostrava: VŠB-TU, 2011, s. 1-5 [cit. 2018-01-14]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/302358036\\_Problematika\\_udrzby\\_vedeni\\_vvn](https://www.researchgate.net/publication/302358036_Problematika_udrzby_vedeni_vvn)
- [12] Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems. *Electrical Power and Energy Systems* [online]. 2014, **1**(1), 108-115 [cit. 2018-01-14]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061513003669>
- [13] KOTRC, Pavel. *Porovnání provozu venkovních a kabelových sítí vysokého napětí*. Plzeň, 2012. Diplomová. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Jiřina Mertlová.
- [14] Reid, R. – Vitner, P. *Vysokonapěťová zkušební zařízení 0,1 Hz se sinusovým průběhem*. *Elektro*, 1999, č. 7-8, s. 22-24.
- [15] *Guide for Field Testing of Shielded Power Cable Systems Using Very Low Frequency (VLF)* IEEE P400.2 .
- [16] *Elektrotechnické předpisy. Revize elektrických zařízení: ČSN 33 1500*. In: . Praha: ČSN, 1991, ročník 3, číslo 91. Dostupné také z: <https://csnonline.agentura-cas.cz/Detailnormy.aspx?k=32590>
- [17] NEIER, Tobias. *Diagnostika kabelů: V podzemních SN kabelových sítích, teoretické podklady a praktické aplikace*. 02. Feldkirch: Baur, 2015.
- [18] KRŮNES, Lukáš. *Elektrotechnická diagnostika kabelových vedení*. Plzeň, 2015. Diplomová. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Doc. Ing. Pavel Trnka PhD.
- [19] *Technika zkoušek vysokým napětím: Definice a požadavky na zkoušky na místě*. ČSN 60060-3. Praha: ÚNMZ, 2006.
- [20] *Technika zkoušek vysokým napětím: Měřicí systémy*. ČSN 60060-2. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [21] *Technika zkoušek vysokým napětím: Část 1: Obecné definice a požadavky na zkoušky*. ČSN 60060-1. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [22] *VLF- zkoušení a diagnostika kabelů přístrojem PHG 70/80 TD / PD: datový list*. Raiffeisenstrasse 8, 6832-Sulz/Austria, 2010. Dostupné také z: [http://www.baur.cz/wp-content/uploads/2015/08/DS\\_VLFTestandDiagnosoticsSystem\\_BAUR\\_PHG70-80TD-PD\\_cs-cz.pdf](http://www.baur.cz/wp-content/uploads/2015/08/DS_VLFTestandDiagnosoticsSystem_BAUR_PHG70-80TD-PD_cs-cz.pdf)

- [23] ORSÁGOVÁ, Jaroslava. *Rozvodná zařízení*. Brno, 2015. Skripta. Vysoké učení technické.
- [24] *Kabely a vodiče* [online]. Brno: DDA, 2011 [cit. 2018-05-21]. Dostupné z: <http://www.kabelyvodice.cz/>

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

ČEPS	Česká přenosová soustava
ČSN	Česká technická norma
DC	Stejnoseměrné napětí
ERÚ	Energetický regulační úřad
IEC	Mezinárodní elektrotechnická komise
IEEE	Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
KDK	Kombinovaná diagnostika kabelů
MWT	Monitorovaná zkouška odolnosti
PD	Měření částečných výbojů
PILC	Izolace napuštěným papírem
PVC	Polyvinylchlorid
RCM	Spolehlivostně orientovaná údržba
ŘPÚ	Řád preventivní údržby
TD	Měření ztrátového činitele
VLf	Vlnění velmi nízké frekvence
VN	Vysokonapěťový
XLPE	Izolace zesítěným polyetylénem

### **3 PŘÍLOHA A**

Tato příloha obsahuje vzorový protokol o měření částečných výbojů. Slouží k ukázce informací, které byly zpracovány. Protokol začíná na další stránce.



ENSURING THE FLOW.

BAUR Prüf- und Messtechnik  
GmbH

Raiffeisenstrasse 8  
A-6832 Sulz/Austria

Tel. +43 / 5522 / 4941-0  
Telefax +43 / 5522 / 4941-3  
e-mail: [headoffice@baur.at](mailto:headoffice@baur.at)  
internet: [www.baur.at](http://www.baur.at)

# Zpráva o měření částečných výbojů

## Projekt

**Název projektu:** Protivin  
**Doplňkové informace:** E.ON  
**Z rozvodny:** TS Bramac Protivin  
**Do rozvodny:** UO 377 Linka Protivin

**Jméno zkoušejícího:** Adam,Klic  
**Komentář:**

## Kabelová data

**ID:**  
**Typ:** XLPE  
**Výrobce:**  
**Jmenovité napětí:** 12.7  
**Počet fází:** 3  
**Označení fází:** L1  
L2  
L3  
**Rok pokládky:** 0  
**Délka:** 246.0 m  
**Rychlost šíření:** 80.0 m/us





---

## Spojky a koncovky

0.0 m - L1	koncovka Raychem - Trojúhelník; Zelená
0.0 m - L2	koncovka Raychem - Trojúhelník; Zelená
0.0 m - L3	koncovka Raychem - Trojúhelník; Zelená
239.0 m - L1	koncovka 3M - Trojúhelník; Modrá
239.0 m - L2	koncovka 3M - Trojúhelník; Modrá
239.0 m - L3	koncovka 3M - Trojúhelník; Modrá



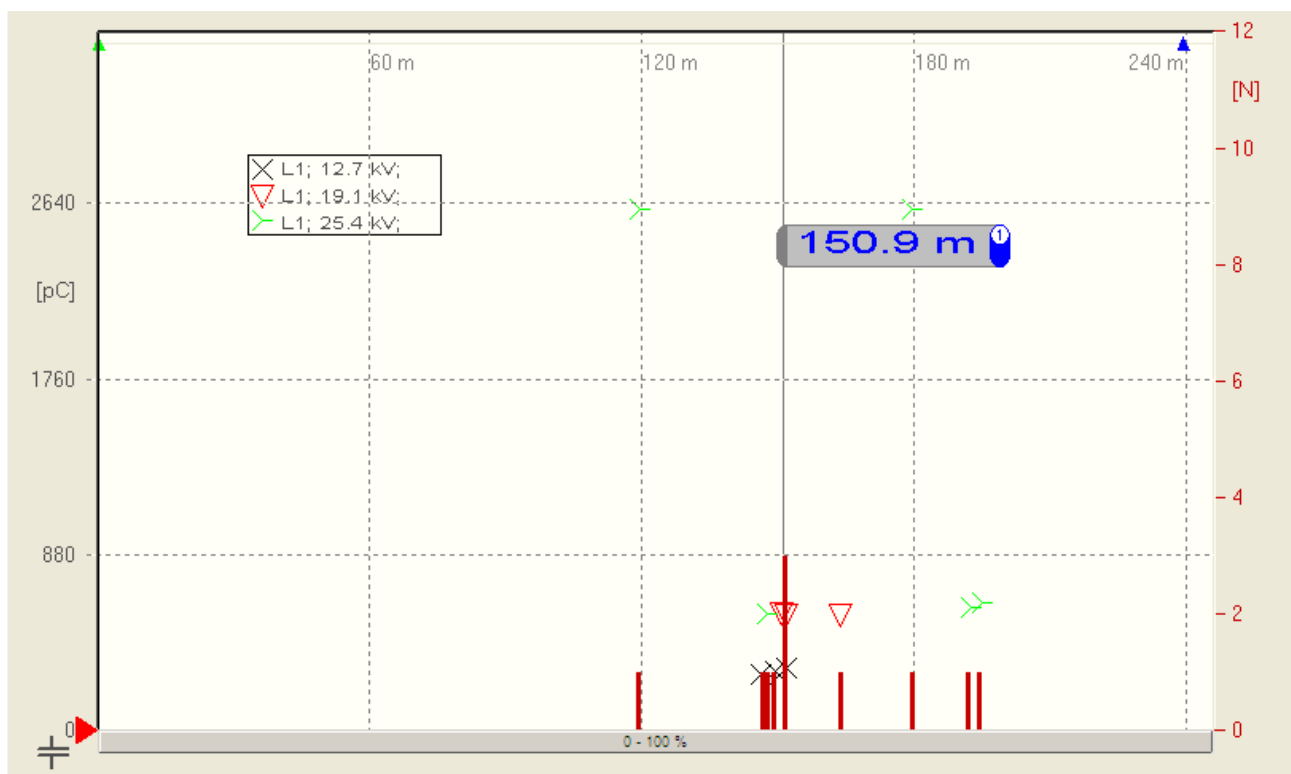
## Měření



## Podrobnosti snímku

- |   |  |
|---|--|
| 1 | L1; Sinus; 12.70 kV; 0.1 Hz; 26.09.2014 09:45:20; 12.7 kV; |
| 2 | L1; Sinus; 19.10 kV; 0.1 Hz; 26.09.2014 09:47:35; 19.1 kV; |
| 3 | L1; Sinus; 25.40 kV; 0.1 Hz; 26.09.2014 09:50:15; 25.4 kV; |

Vzdálenost	Nabíjení
154.01 m	-349.7 pC
160.41 m	-303.1 pC



## Podrobnosti snímku

- 1 L1; Sinus; 12.70 kV; 0.1 Hz; 26.09.2014 09:54:09; 12.7 kV;
- 2 L1; Sinus; 19.10 kV; 0.1 Hz; 26.09.2014 09:56:19; 19.1 kV;
- 3 L1; Sinus; 25.40 kV; 0.1 Hz; 26.09.2014 09:58:59; 25.4 kV;

Vzdálenost	Nabíjení
179.61 m	-2610.0 pC
119.61 m	-2610.0 pC
192.41 m	-616.8 pC
194.81 m	-643.6 pC
147.61 m	-588.8 pC



## Podrobnosti snímku

- 1 L3; Sinus; 12.70 kV; 0.1 Hz; 26.09.2014 10:03:52; 12.7 kV;
- 2 L3; Sinus; 19.10 kV; 0.1 Hz; 26.09.2014 10:05:34; 19.1 kV;
- 3 L3; Sinus; 25.40 kV; 0.1 Hz; 26.09.2014 10:07:11; 25.4 kV;

Vzdálenost	Nabíjení
150.81 m	-669.1 pC
130.01 m	-2610.0 pC
2.81 m	-670.3 pC

## 4 PŘÍLOHA B

Tato příloha obsahuje vzorový protokol o měření ztrátového činitele. Čtenář získá přehled o obsahu protokolu. Protokol následuje na další stránce.



E.ON Servisní, s.r.o.

# Protokol diagnostiky ztrátového činitele tg delta

## Projekt

**Název místa:** Brno  
**Provozovatel:** E.ON RCDs Brno  
**Z rozvodny:** TS 2507 Ceshynska Form  
**Do rozvodny:** TS 2579 Mlynska 45 GTK

**Čas:** 08:09  
**Datum:** 23.01.2015

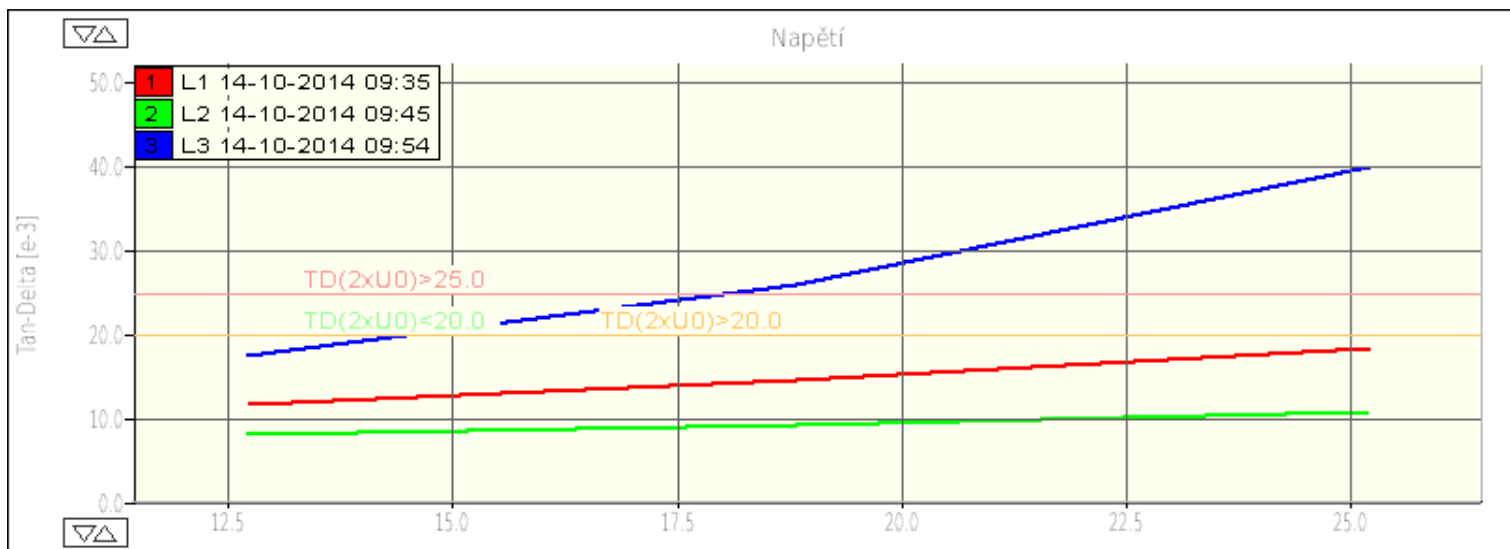
**Jméno zkoušejícího:** Kovar,Hajek  
**Komentář:**

## Kabelová data

**ID:** VN 1341  
**Typ:** Smiseny  
**Výrobce:**  
**Jmenovité napětí:** 12.7  
**Number of Phases:** 3  
**Name of Phases:** L1  
L2  
L3  
**Rok výroby:** 0  
**Délka:** 318.0 m  
**Rychlost šíření :** 79.6 m/us



## Měření



## Provoz s vysokým rizikem!!

### Evaluation

Evaluation Name	PILC (E.ON)
Expression	Comment
TD(U0)-TD(2xU0)>0.05	Izolace souborů nebo kabelu je zvlhlá!
TD(2xU0)>25.0	Provoz s vysokým rizikem!!
TD(2xU0)-TD(U0)>8.0	Provoz s vysokým rizikem!!
TD(2xU0)>20.0	Provoz s mírným rizikem!
TD(2xU0)<20.0	Kabel je provozuschopný.
TD(2xU0)-TD(U0)<6.0	Kabel je provozuschopný.

### Detaily:

#	Čas	Napětí kV	Proud mA	Tan-Delta E-3
1	09:37:32	12.7	0.7	11.86
2	09:37:42	12.7	0.7	11.89
3	09:37:52	12.7	0.7	11.91
4	09:38:03	12.7	0.7	11.94
5	09:38:13	12.7	0.7	11.93
6	09:38:23	12.7	0.7	11.95
7	09:38:33	12.7	0.7	11.97
8	09:38:43	12.7	0.7	11.98

Fáze ..... : L1  
 Datum/Čas ..... : 14-10-2014 09:38:44  
 Krok ..... : 1  
 Střední hodnota ztrátového čí : 11.929 E-3  
 Standardní odchylka ..... : 51.039 E-3  
 Číslo zkoušky ..... : 8  
 Zátěž ..... : 93.6 nF

Proud tekoucí přes VSE ..... : 68.0 uA  
 Generátor VSE proudu ..... : 6.0 uA

#	Čas	Napětí kV	Proud mA	Tan-Delta E-3
1	09:40:05	18.8	1.1	14.65
2	09:40:15	18.8	1.1	14.71
3	09:40:25	18.8	1.1	14.73
4	09:40:36	18.8	1.1	14.77
5	09:40:46	18.8	1.1	14.77
6	09:40:56	18.8	1.1	14.80
7	09:41:06	18.8	1.1	14.82
8	09:41:17	18.8	1.1	14.84

Fáze ..... : L1  
 Datum/Čas ..... : 14-10-2014 09:41:18  
 Krok ..... : 2  
 Střední hodnota ztrátového či : 14.762 E-3  
 Standardní odchylka ..... : 0.059 E-3  
 Číslo zkoušky ..... : 8  
 Zátěž ..... : 94.8 nF  
 Proud tekoucí přes VSE ..... : 102.0 uA  
 Generátor VSE proudu ..... : 8.0 uA

#	Čas	Napětí kV	Proud mA	Tan-Delta E-3
1	09:42:39	25.2	1.5	18.36
2	09:42:49	25.2	1.5	18.40
3	09:42:59	25.2	1.5	18.45
4	09:43:09	25.2	1.5	18.51
5	09:43:19	25.2	1.5	18.50
6	09:43:29	25.2	1.5	18.53
7	09:43:40	25.2	1.5	18.55
8	09:43:50	25.2	1.5	18.56

Fáze ..... : L1  
 Datum/Čas ..... : 14-10-2014 09:43:51  
 Krok ..... : 3  
 Střední hodnota ztrátového či : 18.481 E-3  
 Standardní odchylka ..... : 0.068 E-3  
 Číslo zkoušky ..... : 8  
 Zátěž ..... : 97.2 nF  
 Proud tekoucí přes VSE ..... : 138.0 uA  
 Generátor VSE proudu ..... : 12.0 uA

#	Čas	Napětí kV	Proud mA	Tan-Delta E-3
1	09:46:56	12.7	0.8	8.30
2	09:47:06	12.7	0.8	8.30
3	09:47:17	12.7	0.8	8.31
4	09:47:27	12.7	0.8	8.31
5	09:47:37	12.7	0.8	8.31
6	09:47:47	12.7	0.7	8.31
7	09:47:58	12.7	0.8	8.31
8	09:48:08	12.7	0.8	8.32

Fáze ..... : L2  
 Datum/Čas ..... : 14-10-2014 09:48:08  
 Krok ..... : 1  
 Střední hodnota ztrátového či : 8.307 E-3  
 Standardní odchylka ..... : 0.007 E-3  
 Číslo zkoušky ..... : 58  
 Zátěž ..... : 93.9 nF  
 Proud tekoucí přes VSE ..... : 68.0 uA



Generátor VSE proudu ..... : 6.0 uA

#	Čas	Napětí kV	Proud mA	Tan-Delta E-3
1	09:49:30	18.8	1.1	9.41
2	09:49:40	18.8	1.1	9.44
3	09:49:50	18.8	1.1	9.43
4	09:50:00	18.8	1.1	9.45
5	09:50:10	18.8	1.1	9.45
6	09:50:20	18.8	1.1	9.46
7	09:50:31	18.8	1.1	9.47
8	09:50:41	18.8	1.1	9.48

Fáze ..... : L2  
 Datum/Čas ..... : 14-10-2014 09:50:42  
 Krok ..... : 2  
 Střední hodnota ztrátového či : 9.449 E-3  
 Standardní odchylka ..... : 0.019 E-3  
 Číslo zkoušky ..... : 8  
 Zátěž ..... : 95.0 nF  
 Proud tekoucí přes VSE ..... : 102.5 uA  
 Generátor VSE proudu ..... : 8.3 uA

#	Čas	Napětí kV	Proud mA	Tan-Delta E-3
1	09:52:03	25.2	1.5	10.85
2	09:52:13	25.2	1.5	10.87
3	09:52:23	25.2	1.5	10.90
4	09:52:34	25.2	1.5	10.91
5	09:52:44	25.2	1.5	10.91
6	09:52:54	25.2	1.5	10.91
7	09:53:04	25.2	1.5	10.91
8	09:53:14	25.2	1.5	10.99

Fáze ..... : L2  
 Datum/Čas ..... : 14-10-2014 09:53:16  
 Krok ..... : 3  
 Střední hodnota ztrátového či : 10.906 E-3  
 Standardní odchylka ..... : 0.037 E-3  
 Číslo zkoušky ..... : 8  
 Zátěž ..... : 94.9 nF  
 Proud tekoucí přes VSE ..... : 138.0 uA  
 Generátor VSE proudu ..... : 12.0 uA

#	Čas	Napětí kV	Proud mA	Tan-Delta E-3
1	09:56:14	12.7	0.8	17.39
2	09:56:24	12.7	0.8	17.48
3	09:56:34	12.7	0.8	17.58
4	09:56:44	12.7	0.8	17.66
5	09:56:55	12.7	0.8	17.64
6	09:57:05	12.7	0.8	17.70
7	09:57:15	12.7	0.8	17.74
8	09:57:25	12.7	0.8	17.80

Fáze ..... : L3  
 Datum/Čas ..... : 14-10-2014 09:57:26  
 Krok ..... : 1  
 Střední hodnota ztrátového či : 17.623 E-3  
 Standardní odchylka ..... : 0.126 E-3  
 Číslo zkoušky ..... : 8  
 Zátěž ..... : 504.5 nF  
 Proud tekoucí přes VSE ..... : 68.0 uA  
 Generátor VSE proudu ..... : 6.0 uA

#	Čas	Napětí kV	Proud mA	Tan-Delta E-3
1	09:58:47	18.8	1.1	25.60
2	09:58:58	18.8	1.1	25.75
3	09:59:07	18.8	1.1	25.94
4	09:59:17	18.8	1.1	26.07
5	09:59:28	18.8	1.1	26.08
6	09:59:38	18.8	1.1	26.20
7	09:59:48	18.8	1.1	26.31
8	09:59:59	18.8	1.1	26.40

Fáze ..... : L3  
Datum/Čas ..... : 14-10-2014 10:00:00  
Krok ..... : 2  
Střední hodnota ztrátového či : 26.044 E-3  
Standardní odchylka ..... : 0.255 E-3  
Číslo zkoušky ..... : 8  
Zátěž ..... : 95.6 nF  
Proud tekoucí přes VSE ..... : 102.5 uA  
Generátor VSE proudu ..... : 8.5 uA

#	Čas	Napětí kV	Proud mA	Tan-Delta E-3
1	10:01:20	25.2	1.6	39.18
2	10:01:31	25.2	1.6	39.63
3	10:01:41	25.2	1.6	39.83
4	10:01:51	25.2	1.6	40.05
5	10:02:01	25.2	1.6	40.07
6	10:02:11	25.2	1.6	40.30
7	10:02:21	25.2	1.6	40.51
8	10:02:32	25.2	1.6	40.70

Fáze ..... : L3  
Datum/Čas ..... : 14-10-2014 10:02:33  
Krok ..... : 3  
Střední hodnota ztrátového či : 40.032 E-3  
Standardní odchylka ..... : 0.457 E-3  
Číslo zkoušky ..... : 8  
Zátěž ..... : 98.2 nF  
Proud tekoucí přes VSE ..... : 138.0 uA  
Generátor VSE proudu ..... : 12.0 uA

Soubor:

Fáze	Krok	Napětí kV	Průměr Tan-Delta	Standardní [e-3]	Množstv
L1	1	12.7	11.929	0.039	8
L1	2	18.8	14.762	0.059	8
L1	3	25.2	18.481	0.068	8
L2	1	12.7	8.307	0.007	8
L2	2	18.8	9.449	0.019	8
L2	3	25.2	10.906	0.037	8
L3	1	12.7	17.623	0.126	8
L3	2	18.8	26.044	0.255	8
L3	3	25.2	40.032	0.457	8

## 5 PŘÍLOHA C

V této příloze najdeme tabulky potřebné k vyhodnocení skupin protokolů.

## 1. Ukázka vstupních hodnot

Tabulka 1: Vstupní hodnoty.

Řádek tabulky	FID trasy	Pořadí	FID úseku	Rok výstavby	Materiál	Průřez (mm <sup>2</sup> )
1.	1022213057	1	1000723651	2008	NA2XS(F)2Y	240
2.	1022213057	2	1000719814	2002	AXEKVCEY	240
3.	1022213057	3	1000730514	1994	AXEKCY	240
4.	1022212658	1	1000731482	1990	AXEKCY	240
5.	1022212658	2	1000731473	1997	AXEKCEY	240
6.	1022212658	3	1000726388	1990	AXEKCY	240
7.	1022212658	4	1000729086	2006	AXEKVCEY	240
8.	1022212658	5	1000729085	1990	AXEKCY	240
9.	1022212658	6	1000721381	2006	AXEKVCEY	240

Tabulka 2: Vstupní hodnoty

Řádek tabulky	Délka (m)	OPDs	Název vedení	Číslo vedení
1.	71,82	OPDs Brno západ	BM TS JULI-TS STAVOPROJEKTA	VN1275
2.	32,44	OPDs Brno západ	BM TS JULI-TS STAVOPROJEKTA	VN1275
3.	130,68	OPDs Brno západ	BM TS JULI-TS STAVOPROJEKTA	VN1275
4.	160	OPDs Brno západ	BM Banka nám.Svobody - Biskupská	VN1206
5.	139,79	OPDs Brno západ	BM Banka nám.Svobody - Biskupská	VN1206
6.	18,93	OPDs Brno západ	BM Banka nám.Svobody - Biskupská	VN1206
7.	2,58	OPDs Brno západ	BM Banka nám.Svobody - Biskupská	VN1206
8.	20,52	OPDs Brno západ	BM Banka nám.Svobody - Biskupská	VN1206
9.	25,44	OPDs Brno západ	BM Banka nám.Svobody - Biskupská	VN1206

## 2. Tabulky vytvořených skupin

### 1. Skupina AXEKCY, AXEKVCEY, NA2XS(F)2Y

Tabulka 3: Vyhodnocení skupiny AXEKCY, AXEKVCEY, NA2XS(F)2Y.

FID trasy	Rok výstavby	Stav kabelu	AVG tan $\delta$	Poznámka
1025178582	2006	provozní	1.758	
1024326111	2003	provozní	2.218	
1024279309	1997	vysoké riziko	11.5	
1023506223	1991	vysoké riziko	8.6	
1022217694	1996	vysoké riziko	3.8	
1022215572	1992	provozní	neuveďeno	
1022214979	2000	vysoké riziko	7.5	*
1022213057	1994	mírné riziko	2.222	

\* Kabelová trasa má špatné výsledky ve všech třech fázích. Zhoršující výsledky potvrzuje jak měření tanD. Je možný výskyt vysoké vlhkosti nebo špatné výroby kabelu. Částečné výboje odhalují jedno kritické místo kabelu, s nejvyšší pravděpodobností kabel byl poškozen strojovým zásahem.

## 2. Skupina NA2XS(2F)2Y, AXEKCY, AXEKCY, NA2XS(2F)2Y

Tabulka 4: Vyhodnocení skupiny NA2XS(2F)2Y, AXEKCY, AXEKCY, NA2XS(2F)2Y.

FID trasy	Rok výstavby	Stav kabelu	AVG tan δ	Poznámka
1022218677	1985	vysoké riziko	2.5	1 f špatná
1024777307	1984	provoznoschopný	12.4	PILC
1024778101	1987	provoznoschopný	4.9	*
1025078103	1991	provoznoschopný	1.7	
1025251141	1991	provoznoschopný	0.7	

\* Jeden špatný spoj odhalen pomocí PD.

## 3. Skupina AXEKCY, NA2XS(F)2Y, AXEKCY

Tabulka 5: Vyhodnocení skupiny AXEKCY, NA2XS(F)2Y, AXEKCY.

FID trasy	Rok výstavby	Stav kabelu	AVG tan δ	Poznámka
1022216552	1999	provoznoschopný	1.2	
1022216883	1985	provoznoschopný	2.2	*
1022217842	1990	provoznoschopný	1.649	
1022916924	1983	provoznoschopný	2.347	
1024880039	1981	provoznoschopný#	-	#

\* Mírně odchýlená jedna fáze – vlhkost.

# Zvlhlá izolace kabelu, opětovné měření po roce.

## 4. Skupina AXEKCY, AXEKCY, NA2XS(F)2Y

Tabulka 6: Vyhodnocení skupiny AXEKCY, AXEKCY, NA2XS(F)2Y.

FID trasy	Rok výstavby	Stav kabelu	AVG tan δ	Poznámka
1022215851	1980	vysoké riziko	24.4	*
1024825275	1991	provoznoschopný	1.95	
1023566236	1984	provoznoschopný	18.3	PILC

\* Velmi odchýlena pouze jedna fáze, ostatní dvě v normě.

## 5. Skupina AXEKCY, AXEKVCEY

Tabulka 7: Vyhodnocení skupiny AXEKCY, AXEKVCEY.

FID trasy	Rok výstavby	Stav kabelu	AVG tan $\delta$	Poznámka
1022212131	1989	provozní	1.4	
1022213746	2002	vysoké riziko	3.8	3f špatné
1022214831	1984	vysoké riziko	42.6	*
1022215447	1983	vysoké riziko	18.3	3f špatné
1022215794	1979	vysoké riziko	2.6	3f špatné
1022216997	1992	provozní	1.18	
1022217501	1988	provozní	0.892	
1022218693	1994	provozní	1.9	
1022220052	1995	vysoké riziko	3.5	#
1024875183	1987	provozní	2.1	
1025465232	1996	provozní	2.16	
1022213803	1981	provozní	1.59	
1024867877	1993	provozní	2.871	

\* Všechny fáze špatné, jedna extrémně, přeměřit po roce.

# Všechny fáze mají stejnou tendenci nárůstu se zvyšováním zkušebního napětí, 1f extrémně, opětovné měření po roce.

## 6. Skupina NA2XS(F)2Y, AXEKCY, NA2XS(F)2Y

Tabulka 8: Vyhodnocení skupiny NA2XS(F)2Y, AXEKCY, NA2XS(F)2Y.

FID trasy	Rok výstavby	Stav kabelu	AVG tan $\delta$	Poznámka
1022212548	1990	provozní*	0.7	*
1022215844	1995	vysoké riziko	2.7	#
1022217295	1994	vysoké riziko	3.05	**
1023877808	1995	mírné riziko	3.3	##
1025194300	1999	provozní	1.8	

\*Izolace kabelu je zvlhlá. Provést měření po roce.

# Při měření nebylo možné odpojit přepětíové ochrany a kapacitní děliče, které mohly značně ovlivnit výsledky. Vyřešit, opakovat měření bez těchto komponent.

\*\* Velká četnost PD ve fázi L3 256m, vyšší ztrátový činitel v této fázi. Zjištění závady, oprava(chybný spoj).

## Ve fázi L1 a L3, obě v 114m, vysoká četnost PD. Výměna spojky nebo oprava narušení kabelu.

## 7. Skupina AXEKCY

Tabulka 9: Vyhodnocení skupiny AXEKCY.

FID trasy	Rok výstavby	Stav kabelu	AVG tan $\delta$	Poznámka
1022215160	1985	vysoké riziko	146	PILC
1022219823	1984	vysoké riziko	2,9	*
1022220408	1982	vysoké riziko	9	**
1024250126	1991	vysoké riziko	3,2	1 f špatná
1025920221	1990	vysoké riziko	4,5	#

\* Všechny fáze mají stejnou tendenci růst přes povolenou mez, zhoršený stav izolace.

\*\* Všechny fáze mají stejnou tendenci růst přes povolenou mez, zhoršený stav izolace.

# Dvě fáze mají stejný špatný stav (stejná tendence), třetí fáze je ukázková.

## 8. Skupina AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY

Tabulka 10: Vyhodnocení skupiny AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY.

FID trasy	Rok výstavby	Stav kabelu	AVG tan $\delta$	Poznámka
1022212146	1984	vysoké riziko	50	1 f špatná
1022212147	1984	vysoké riziko	2.2	
1022215109	1984	vysoké riziko	4.2	
1022216374	1984	vysoké riziko	2.3	
1022216377	1984	mírné riziko	3.3	
1022216439	1995	vysoké riziko	3.81	
1022216787	1995	mírné riziko	2.025	
1022218399	1992	mírné riziko	--	
1022218524	1984	mírné riziko	2.215	

## 9. Skupina AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY

Tabulka 11: Vyhodnocení skupiny AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY.

FID trasy	Rok výstavby	Stav kabelu	AVG tan $\delta$	Poznámka
1022214609	1984	mírné riziko	2.383	*
1022214627	1984	vysoké riziko	3.628	1 f špatná
1022214687	1984	provozní schopný	0.963	--
1022219890	1995	vysoké riziko	2.796	#

\* Dvě fáze v mírné oblasti, pomalý přechod do vysokého rizika.

# Všechny tři fáze mírnou tendencí přechází do vysokého rizika.

## 10. Skupina AXEKCY, NA2XS(F)2Y

Tabulka 12: Vyhodnocení skupiny AXEKCY, NA2XS(F)2Y.

FID trasy	Rok výstavby	Stav kabelu	AVG tan δ	Poznámka
1022215686	1991	vysoké riziko	19.91	
1022215720	1994	provozní	14.185	PILC
1022215843	1995	vysoké riziko	2.029	
1022216980	1983	--	--	*
1022216981	1995	provozní	1.525	
1022216982	1983	--	--	*
1022216983	1986	provozní	1.888	
1022217244	1995	provozní	1.159	
1022217252	1992	provozní	1.133	
1022217958	1994	provozní	1.358	
1022218236	1988	provozní	1.499	
1022218387	1993	--	--	*
1022218857	1984	--	--	#
1022219330	1986	provozní	6.56	PILC
1022219696	1980	provozní	1.984	*#
1022412074	1995	provozní	0.768	
1022916925	1983	mírné riziko	1.95	
1022916926	1983	provozní	1.863	*#
1023354279	1997	vysoké riziko	9.419	
1024338939	1996	provozní	0.588	
1024460132	1997	vysoké riziko	3.822	
1025115236	1996	--	#	
1025562309	1996	provozní	1.956	
1025562311	1996	provozní	1.343	

\* Zvlhlá izolace.

# Neplatný protokol.

\*# Pomalý přechod do mírného rizika.

### 3. Nevyhodnocené skupiny

1. Skupina AXEKCY, AXEKCY
2. Skupina AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY,
3. Skupina AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY,
4. Skupina AXEKCY, AXEKCY, AXEKCY, NA2XS(F)2Y, AXEKCY,
5. Skupina NA2XS(F)2Y, NA2XS(F)2Y, AXEKCY, AXEKCY;



## 6 PŘÍLOHA D

Mezní hodnoty pro vyhodnocení diagnostického měření kabelů VN jsou potřebné k vyhodnocení protokolů. Vidíme zde hodnoty rozdělené podle druhu zkoušky. Dále se mezní hodnoty liší podle typu izolace kabelu. V tabulce se nachází podrobnější rozdělení XLPE izolace na dva druhy polymerů – homopolymer a copolymer. Jedná se pouze o rozdílnou strukturu u těchto dvou molekul, která není v této práci podstatná. V případě zkoušky ztrátového činitele je zde rozdělení podle hodnoty zkušebního napětí.

## Mezní hodnoty pro vyhodnocení diagnostického měření kabelů VN.

Hodnocení dle ztrátového činitele TD při sinusovém napětí 0,1 Hz - závislost na napětí.

Kabely XPE

TD $2xU_0$		TD ( $2xU_0 - U_0$ )		Hodnocení
homopolymer	copolymer	homopolymer	copolymer	
TD < 2.0	TD < 2.75	TD < 0.8	TD < 2.0	Kabel je provozuschopný
TD > 2.0	TD > 2.75	TD > 0.8	TD > 2.0	Kabel s mírným rizikem
TD > 2.5	TD > 3.5	TD > 1.2	TD > 2.5	Kabel s vysokým rizikem

Kabely PILC

TD $2xU_0$	TD ( $2xU_0 - U_0$ )	Hodnocení
TD < 20	TD < 6.0	Kabel je provozuschopný
TD > 20	TD > 6.0	Kabel s mírným rizikem
TD > 25	TD > 8.0	Kabel s vysokým rizikem

Hodnocení dle velikosti částečných výbojů - Q pC

Četnost výbojů	Kabely PILC	Četnost výbojů	Kabely XPE	Hodnocení
< 5	$2U_0 < 2000 \text{ pC}$	< 5	$2U_0 < 500 \text{ pC}$	Kabel je provozuschopný
< 10	$1U_0 < 5\,000 \text{ pC}$	< 5	$1U_0 < 600 \text{ pC}$	Kabel je provozuschopný
< 10	$2U_0 < 10000 \text{ pC}$	< 10	$2U_0 < 1000 \text{ pC}$	Kabel s mírným rizikem
< 15	$1U_0 < 10\,000 \text{ pC}$	< 10	$1U_0 < 800 \text{ pC}$	Kabel s mírným rizikem
> 10	$2U_0 > 10000 \text{ pC}$	> 10	$2U_0 > 1000 \text{ pC}$	Kabel s vysokým rizikem
> 15	$1U_0 > 10\,000 \text{ pC}$	> 10	$1U_0 > 800 \text{ pC}$	Kabel s vysokým rizikem

**Kabelová vedení se smíšenou izolací – kritéria dle typu izolace jednotlivých úseků.**  
Pro zařazení do skupin **Hodnocení** je třeba brát v úvahu výsledky měření ČV i TD společně.

Pro zařazení do skupin **Hodnocení** dle výsledků měření ČV platí:

- Hodnota ČV je nižší, ale četnost (koncentrace) vysoká – závažnější situace
- Hodnota ČV je vyšší, ale četnost nesplňuje podmínku – menší závažnost, jedná se o náhodné výboje

Při zařazení dle **Hodnocení** je možno přihlídnout k těmto skutečnostem – odůvodnění se uvede v protokolu.