

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROMECHANIKY A VÝKONOVÉ ELEKTRONIKY**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Metody a přístroje pro vyhledávání poruch na kabelech  
VN a NN**

**vedoucí práce: prof. Ing. Václav Mentlík, CSc.  
autor: Lukáš Krónes**

**2013**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2012/2013

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš KRÖNES**  
Osobní číslo: **E10B0039K**  
Studijní program: **B2644 Aplikovaná elektrotechnika**  
Studijní obor: **Aplikovaná elektrotechnika**  
Název tématu: **Metody a přístroje pro vyhledávání poruch na kabelech vysokého a nízkého napětí**  
Zadávací katedra: **Katedra elektromechaniky a výkonové elektroniky**

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

1. Prostuduje a popíše přístroje pro vyhledávání poruch na kabelech.
2. Uvedte zásady používání uvedených přístrojů.
3. Popište nejpoužívanější metody vyhledávání poruch na kabelech.
4. Provedte zhodnocení uvedených metod pro vyhledávání poruch na kabelech.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

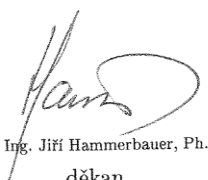
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

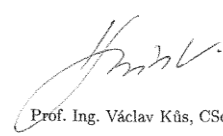
1. Podnikové normy PRE distribuce pro připojení měřícího vozu a lokalizaci poruch
2. Firemní materiály SEBA KMT

Vedoucí bakalářské práce: Prof. Ing. Václav Mentlík, CSc.  
Katedra technologií a měření

Datum zadání bakalářské práce: 15. října 2012  
Termín odevzdání bakalářské práce: 7. června 2013

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



  
Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2012

## **Anotace**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na problematiku vyhledávání poruch na kabelech VN a NN. Jednotlivé části se zabývají popisem základních typů kabelů a příslušných kabelových spojek, popisem jednotlivých přístrojů pro vyhledávání poruch a jejich zásad připojení, popisem nejpoužívanějších metod vyhledávání poruch a jejich zhodnocení.

## **Klíčová slova**

Kabel, spojka, porucha, zaměřování poruchy, vyhledávání poruchy, přístroj, metoda, zkoušení, měřicí vůz, vytyčení, plášťová porucha

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

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

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

# Obsah

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ÚVOD .....</b>   | <b>7</b>  |
| <b>1 KABELY A KABELOVÉ SPOJKY .....</b>                           | <b>8</b>  |
| 1.1 SILOVÝ KABEL ANKTOYPV .....                                   | 9         |
| 1.2 SILOVÝ KABEL AXEKVCEY .....                                   | 10        |
| 1.3 SILOVÝ KABEL AYKY .....                                       | 10        |
| 1.4 SILOVÝ KABEL ANKOY .....                                      | 11        |
| 1.5 PŘÍMÁ SPOJKA PRO KABEL AXEKVCEY .....                         | 12        |
| 1.6 PŘÍMÁ SPOJKA PRO KABEL AYKY .....                             | 12        |
| 1.7 PŘÍMÁ SPOJKA PRO KABELY ANKOY A ANKTOYPV .....                | 12        |
| 1.8 PŘECHODOVÁ SPOJKA PRO KABELY AXEKVCEY A ANKTOYPV .....        | 13        |
| 1.9 PŘECHODOVÁ SPOJKA MEZI KABELY AYKY A ANKOY .....              | 13        |
| <b>2 PŘÍSTROJE PRO VYHLEDÁVÁNÍ PORUCH .....</b>                   | <b>14</b> |
| 2.1 PROPALOVACÍ PŘÍSTROJ .....                                    | 15        |
| 2.2 RÁZOVÝ GENERÁTOR .....  | 16        |
| 2.3 ZDROJ STŘÍDAVÉHO NAPĚTÍ .....                                 | 17        |
| 2.4 ZDROJ STEJNOSMĚRNÉHO NAPĚTÍ .....                             | 18        |
| 2.5 MĚŘIČ IZOLAČNÍHO ODPORU .....                                 | 19        |
| 2.6 PROGRAM ARC VIEWER .....                                      | 20        |
| 2.7 PŘÍSTROJ K ZAMĚŘOVÁNÍ PLÁŠŤOVÝCH PORUCH .....                 | 21        |
| 2.8 TÓNOVÝ GENERÁTOR .....  | 23        |
| 2.9 IMPULSNÍ ZAMĚŘOVAČ .....                                      | 25        |
| <b>3 ZÁSADY PŘIPOJENÍ PŘÍSTROJŮ PRO VYHLEDÁVÁNÍ PORUCH .....</b>  | <b>27</b> |
| <b>4 METODY PRO VYHLEDÁVÁNÍ PORUCH .....</b>                      | <b>29</b> |
| 4.1 NAPĚŤOVÁ ZKOUŠKA .....  | 30        |
| 4.2 VYTYČENÍ TRASY KABELU .....                                   | 30        |
| 4.3 IMPULSNÍ ODRAZOVÁ METODA .....                                | 31        |
| 4.4 METODA ARM .....  | 33        |
| 4.5 METODA KMITŮ .....  | 34        |
| 4.6 METODA ÚBYTKU NAPĚTÍ .....                                    | 35        |
| 4.7 METODA SNÍMÁNÍ PODZEMNÍCH HLUKŮ .....                         | 35        |
| 4.8 METODA KROKOVÉHO NAPĚTÍ .....                                 | 36        |
| 4.9 METODA ZÁVITŮ .....   | 37        |
| <b>5 ZHODNOCENÍ METOD PRO VYHLEDÁVÁNÍ PORUCH .....</b>            | <b>38</b> |
| <b>ZÁVĚR .....</b>  | <b>40</b> |
| <b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>                                   | <b>41</b> |
| <b>PŘÍLOHA Č. 1: PODNIKOVÁ NORMA ENERGETIKY PNE 34 7625 .....</b> | <b>42</b> |

## **Úvod**

Tato práce je věnována zaměřování a vyhledávání poruch na kabelech NN a VN v rozvodné síti PREdistribuce, a.s. První část je zaměřena na základní typy kabelů používané v PREdistribuce, a.s. Následně v další části jsou popsány přístroje používané pro vyhledávání poruch a jejich zásady připojení z hlediska bezpečnosti a funkčnosti. Funkce těchto přístrojů jsou stručně popsány v hlavní části této práce věnované metodám pro vyhledávání poruch a v závěru je zhodnocení popsaných metod.

## 1 Kabely a kabelové spojky

Na kabelech a kabelových spojkách se vyskytují poruchy, které se následně vyhledávají. V pražské rozvodné soustavě je uloženo velké množství typů kabelů, ale pro tuto práci jsem vybral jen čtyři hlavní zástupce kabelových vedení. Dva pro napěťovou hladinu 22 kV a dva pro napěťovou hladinu 1 kV. Vždy jeden starší typ, který se již nevyrábí, ale stále má ještě velký podíl v kabelové síti, a dále jeho současného nástupce, který se v dnešní době nejvíce pokládá v pražské rozvodné síti. Pro napěťovou hladinu 1 kV jsou to silové kabely ANKOY, jako starší zástupce a AYKY, jako jeho současný nástupce. Pro napěťovou hladinu 22 kV jsou to silové kabely ANKTOYPV, jako starší zástupce a AXEKVCEY, jako jeho současný nástupce. Značení kabelů se řídí podle podnikové normy energetiky PNE 34 7625. V označení kabelu se za každým písmenem nebo případně více písmeny skrývají parametry jdoucí v tomto pořadí: materiál jádra, materiál izolace, druh kabelu, materiál a provedení stínění, materiál vnějšího pláště. Vysvětlení významu jednotlivých písmen viz příloha 1.

Kabely se pokládají na rovný podklad, kabelové lávky, rošty, stěny, konstrukce, pod omítku, do kabelových kanálů, kolektorů, do tvárnic, do trubek, do země atd. V naší síti se nejčastěji setkáme s uložením v zemi, kde se kabel zasype pískem a navrch se položí cihly nebo betonové desky, většinou se k tomu ještě přiloží plastový barevný kryt s označením nebezpečného napětí. Když vede kabelová trasa pod silnicí, tak se kabely ukládají do tzv. chrániček, což je vlastně plastová nebo betonová trubka, nebo do kabelových kanálů. Dále se také v naší síti často setkáme s uložením v kolektorech na kabelových lávkách, což je hodně rozšířené v centru města nebo v oblastech panelákových sídlišť. Kabely také mohou být v různých hloubkách, ale podle podnikové normy energetiky PNE 34 1050 musejí být kabely do napěťové hladiny 1 kV alespoň 35 cm hluboko a v chodníku a vozovce alespoň 50 cm hluboko, kabely do napěťové hladiny 35 kV musejí být minimálně 1 m hluboko, což platí pro všechny terény.

Kabelové spojky jsou důležitou součástí kabelů a jsou vlastně nejslabším místem v kabelu, tak v nich také poruchy často vznikají. Poruchy ve spojkách se často obtížněji vyhledávají než poruchy přímo v kabelu a to díky často vyskytující se poruše charakteru mezifázového zkratu. V naší rozvodné soustavě se používá větší množství druhů spojek.



Rozdělují se na spojky přímé a přechodové. Velkým technickým pokrokem jsou spojky smrštitelné za studena, které se v současné době s oblibou používají díky značnému snížení časové náročnosti. Přiblížíme si typy přímých spojek pro kabely AYKY, ANKOY, ANKTOYPV, AXEKVCEY a přechodové spojky pro přechod mezi těmito typy kabelů.

### 1.1 Silový kabel ANKTOYPV

Tyto kabely se používají pro rozvod elektrické energie v napěťové hladině 22 kV. Již se nevyrábí, ale v naší rozvodné síti je značná část v provozu. Spíše se vyskytují v tzv. smíšené verzi kabelu, což znamená, že část se skládá z tohoto kabelu a druhá část je nějaký jiný typ např. AXEKVCEY. Jelikož jsou tyto kabely v zemi již několik desítek let (první byly položeny koncem 60. let minulého století), tak někde bývají ve velkých hloubkách, což je způsobeno např. navážkou. Na druhou stranu je obdivuhodné, že i po tolika letech stále fungují. Mají jednu velkou nevýhodu a to takovou, že potřebují mít neustále dolévaný olej do izolace, aby nevysychala, což se řeší na koncovkách pomocí speciálních nádob s olejem, které se musejí pravidelně dolévat. Samotný kabel ANKTOYPV se skládá ze tří žil. Jeho laněná jádra jsou vyrobena z elektrovodného hliníku a izolaci tvoří papír napuštěný olejem, který je obalený legovaným olověným pláštěm opatřeným zvláštní protikorozní bezešvou ochranou a PVC pláštěm. To vše je vloženo do vyplněného plastového obalu, pancíře tvořeného dvěma překrývajícími se ocelovými pásky a na povrchu vláknitého obalu napuštěným asfaltem, aby se zabránilo korozi pancíře.



Obr. 1: Fotografie řezu kabelu ANKTOYPV

## 1.2 Silový kabel AXEKVCEY

Tento kabel se stejně jako předchozí používá pro rozvod elektrické energie v napěťové hladině 22 kV. V současné době se tento typ kabelu v pražské rozvodné síti nejvíce pokládá a to ve jmenovitých průřezích 120 mm<sup>2</sup> pro distribuční kabely a 240 mm<sup>2</sup> pro napájecí kabely. Na první pohled ho poznáme podle jeho červené barvy vnějšího pláště. Oproti jeho předchůdci má velkou výhodu, že nepotřebuje dolévat olej do izolace a je mnohem lehčí a tím pádem je snadnější a levnější jeho pokládka. Také je mnohem ohebnější a dá se s ním následně i bez problémů hýbat. Další výhodou je snadnější spojování. Na rozdíl od předchozího kabelu se u tohoto typu kabelu montuje každá žíla zvlášť a ty se pak pokládají v trojúhelníkovém svazku, výjimečně vedle sebe. Každá žíla se skládá z hliníkového kulatého jádra, to je dále obaleno vnitřní polovodivou vrstvou, pak následuje izolace z XLPE, dále je vnější polovodivá vrstva, stínění z měděných drátů a protispirála z měděného pásku. To vše chrání proti podélnému šíření vody pod pláštěm vodoblokující separační vrstva obalená PE pláštěm a nakonec je do PVC pláště.



Obr. 2: Fotografie řezu kabelu AXEKVCEY

## 1.3 Silový kabel AYKY

Tento kabel se používá pro rozvod elektrické energie v napěťové hladině 1 kV. Tento typ kabelu se dodává ve třech jmenovitých průřezích a to 4 žíly po 50 mm<sup>2</sup>, 3 žíly po 185 mm<sup>2</sup> a nulový vodič o průřezu 95 mm<sup>2</sup>, 3 žíly po 240 mm<sup>2</sup> a nulový vodič o průřezu 120 mm<sup>2</sup>. Barva jeho vnějšího pláště je černá a v současné době je v naší síti nejrozšířenější. Barvy žil jsou černá, černá, hnědá, žlutozelená. Každá žíla se skládá z vodivého hliníkového jádra v PVC izolaci. To vše je vloženo do vnějšího PVC pláště.



Obr. 3: Fotografie řezu kabelu AYKY

#### 1.4 Silový kabel ANKOY

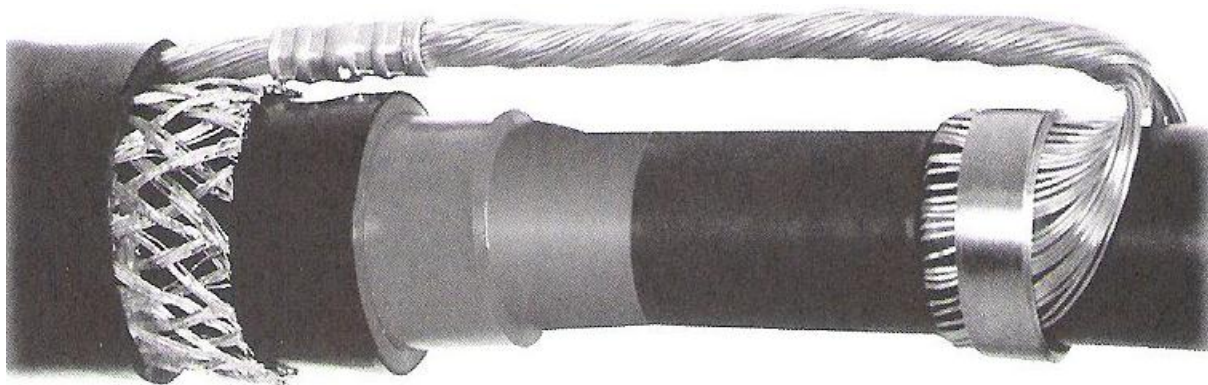
Tento kabel se používá pro rozvod elektrické energie v napěťové hladině 1 kV. Také se již nevyrábí a stejně jako kabel ANKTOYPV má stále ještě velký podíl v pražské rozvodné síti. V jeho izolaci je sice také použitý papír napuštěný olejem, ale už není potřeba tento olej stále dolévat. Kabel se skládá ze čtyř žil, přičemž nulový vodič má vždy menší průřez než ostatní tři fáze. Tyto žíly jsou tvořené z hliníkového jádra, obaleným izolací z papíru napuštěným olejem a to celé ve svazku ještě jednou obalené v takovéto izolaci. Následuje další vrstva z PVC, dále pancířový obal ze dvou pásků a na povrchu je vrstva juty.



Obr. 4: Fotografie řezu kabelu ANKOY

## 1.5 Přímá spojka pro kabel AXEKVCEY

Tělo spojky je vyrobeno ze silikonové pryže. Na vnitřním povrchu je ve střední části polovodivá vrstva, která dosedá na hliníkový spojovač, který spojuje žíly kabelu a může být se šestihřanným nebo vrubovým lisováním nebo šroubovaný. Silikonová izolace zajišťuje nejen elektrickou izolaci, ale i odvod tepla z jádra kabelu. Na krajích těla jsou po obou stranách nanесeny vrstvy pro řízení elektrického pole. Vnější povrch těla tvoří polovodivá vrstva, která je uzemněna a uzavírá elektricky celou spojku. Po vrstvách je zde vnější utěsnění a ochrana, univerzální propojení stínění, kovové stínění, elastomerová součást spojky, hmota vyhlazující elektrické pole, spojovač, výplňový materiál vyhlazující elektrické pole.



Obr. 5: Přímá kabelová spojka pro kabel AXEKVCEY [11]

## 1.6 Přímá spojka pro kabel AYKY

Tato spojka je již mnohem jednodušší. Obsahuje vzájemně izolované lisovací nebo šroubovací spojovače, pomocí kterých se spojí obnažená jádra kabelů. To vše se vloží do plášťové trubice teplem smrštitelné, která zajistí podélnou vodotěsnost, mechanickou stálost a odolnost, odolnost vůči chemikáliím a UV záření, elektrickou izolaci.



Obr. 6: Přímá kabelová spojka pro kabel AYKY [11]

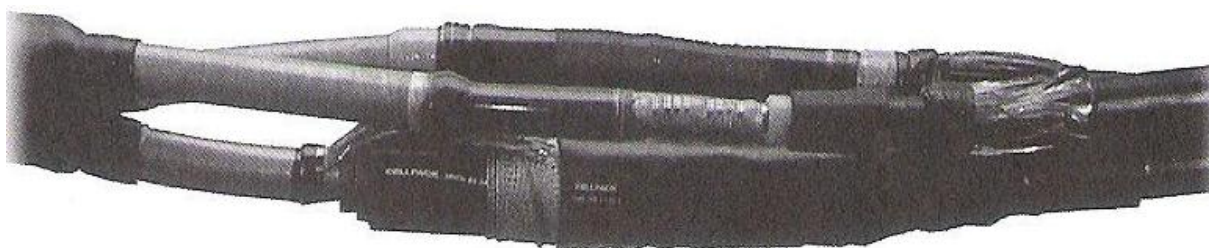
## 1.7 Přímá spojka pro kabely ANKOY a ANKTOYPV

Tento starší typ spojky se skládá z nastřelovacích spojovačů, které se navzájem od sebe izolují v případě kabelu ANKOY pomocí příčně a podélně vloženého skla a v případě kabelu

ANKTOYPPV olejem napuštěným papírem. To vše je umístěno v mohutném litinovém těle, které se následně po uložení a zašroubování zaplní asfaltem.

### 1.8 Přejíchodová spojka pro kabely AXEKVCEY a ANKTOYPPV

Tato spojka se skládá z transparentních separačních trubic, odolné modré výplňové pásky se zvýšenou permitivitou, rozdělovací tříprsté hlavy, násuvných silikonových elementů pro řízení pole, silnostěnných teplem smrštiteľných izolačních trubic, měděné pletené stínící punčošky, silnostěnné teplem smrštiteľné plášťové trubice. V zemi to pak vypadá tak, že jádra jsou spojená pomocí spojovače s přepážkou. Na straně ANKTOYPPV následuje vrstva papírové izolace, silikonový element pro řízení pole, hoechstaedterská folie a na straně AXEKVCEY to samé bez hoechstaedterské folie. To vše je obalené těsnící páskou a vloženo do vnitřní spojky tvořené trubicí. Na straně AXEKVCEY pak následuje ještě vnější polovodiivá vrstva. Po stranách jsou kruhové kovové pružiny, které pomocí měděných drátků propojují na straně ANKTOYPPV olovený plášť se síťovým měděným stíněním na straně AXEKVCEY. To je vloženo do dvouvrstvé trubice. Na straně ANKTOYPPV následuje rozdělovací hlava, ve které je pancíř omotaný pletenou měděnou páskou a oddělovací těsnící páskou. Na straně AXEKVCEY pak následuje jen plášťová trubice.



Obr. 7: Přejíchodová kabelová spojka pro kabely AXEKVCEY a ANKTOYPPV[11]

### 1.9 Přejíchodová spojka mezi kabely AYKY a ANKOY

Tento druh spojky se skládá z lisovacích žilových trubic, pomocí kterých se spojí jádra. Ty se překryjí žilovými izolačními teplem smrštiteľnými trubicemi. Na stranu ANKOY se dává rozdělovací hlava, ta odděluje jednotlivé fáze. Pomocí propojovacího lanka a kruhové pružiny se spojí olovený plášť kabelu ANKOY s nulovým vodičem kabelu AYKY. To vše je vloženo do teplem smrštiteľné plášťové trubice.



Obr. 8: Přejímová kabelová spojka mezi kabely AYKY a ANKOY [11]

## 2 Přístroje pro vyhledávání poruch

Úkolem všech přístrojů určených k vyhledávání poruch na kabelových vedeních je co nejpřesnější určení místa poruchy. To vede k podstatnému snížení nákladů spojených s opravami a ke zkrácení doby obnovení dodávky elektrické energie.

K vyhledávání poruch na kabelech se obecně používají kabelové měřicí vozy, které jsou vybaveny několika integrovanými a přenosnými přístroji. Tyto přístroje slouží nejen k vyhledávání poruch, ale také k vytyčování kabelových tras, identifikaci kabelu v trasách s větším počtem kabelů, vysokonapěťovým zkouškám nebo diagnostice kabelu. Všechny tyto přístroje jsou speciálně konstruovány pro měřicí vůz tak, aby vyhovovaly z hlediska rozměrů a váhy. PREDistribuce vlastní kabelový měřicí vůz značky Mercedes Sprinter vyfotografovaný na obr. 9, který má v zadní části sestaven kompaktní systém dodávaný společností Seba KMT sídlící v Německu. Kompaktní systém se skládá z několika integrovaných přístrojů zabudovaných se zajištěním ochrany IP 00 a kabelů sloužícím k propojení s měřeným objektem. Je zde silový vysokonapěťový kabel, dále kabel pro napájení měřicího vozu, pak kabel pro ochranné uzemnění a slabý nízkonapěťový kabel pro teleflex. Ve střední části vozu je umístěný monitor s ovládacím panelem, k němuž je možné otočit sedačky spolujezdce i řidiče. Tímto panelem se ovládají veškeré přístroje v zadní části. Kabelový měřicí vůz je vybaven také přenosnými přístroji pro případ špatně přístupných trafostanic nebo rozvodných skříní. Tyto přenosné přístroje dodává také firma Seba KMT a Megger.



Obr. 9: Fotografie střední (vpravo) a zadní (vlevo) části našeho kabelového měřicího vozu

## 2.1 Propalovací přístroj

Úkolem tohoto přístroje je zapálit v místě poruchy dostatečně velký oblouk tak, aby se uhlíkové zplodiny, které vznikly při poruše, přeměnily na vodivý uhlík. Tato přeměna má za následek snížení přechodového odporu poruchy. Pak už ji lze zaměřit pomocí reflektografu, který pracuje na principu impulsní odrazové vlny. Přístroj může pracovat také jako proudový zdroj vybavený taktovacím zařízením s poměrem 1 s provoz a 3 s přestávka, což slouží k zaměřování míst plášťových poruch.

Tento zkratově odolný přístroj dokáže v celém svém proudovém rozsahu dodávat konstantní výkon a to i při změnách odporu poruchy. Propalovací napětí lze plynule regulovat. Tyto vstupní hodnoty proudu a napětí se nám zobrazují na monitoru ovládacího panelu jako grafy časových průběhů.

Hlavní součástí je vysokonapěťový transformátor pracující na frekvenci 50 Hz, který je napájen na vstupní straně pomocí regulačního transformátoru. Vytvořený propalovací nebo nabíjecí proud je přiveden na výstup přes můstkový usměrňovač. Přístroj se impedančně přizpůsobí pomocí tlumivky a diod. Diody i vysokonapěťový transformátor jsou chráněny proti přetížení. Z bezpečnostních důvodů je přístroj opatřen blokováním zapnutí vysokého napětí a vybíjecím zařízením.

## 2.2 Rázový generátor

Toto zařízení je nejvíce využíváno k vyhledávání poruch. K dispozici máme tento přístroj jak integrovaný, tak i přenosný, který je vyfotografován na obr. 10. Slouží k naprosto přesnému určení místa poruchy. Je použitelný zejména pro poruchy s vysokou nebo proměnlivou hodnotou elektrického odporu. Pracuje na principu vybití náboje kondenzátorové baterie přes jiskřiště do vadného kabelu. V místě poruchy díky tomuto náboji vznikne elektrický průraz nebo přeskok. Jestli došlo k zapálení oblouku, nám signalizuje výrazné snížení odchylky napětí, kterou přístroj zobrazuje.

Rázový generátor je vybaven čtyřmi rázovými impulsními kondenzátory, které se dají pomocí vysokonapěťového přepínacího voliče přepnout do paralelního, sériového a sério-paralelního zapojení. Tím máme zajištěno několik volitelných rozsahů napětí v hodnotách 4 kV, 8 kV, 16 kV a 32 kV. Rázový generátor je schopen dodat energii až 1800 J, kterou však dostaneme pouze při nejvyšší hodnotě rázového napětí ve zvoleném rozsahu. Při jemné regulaci tohoto rázového napětí musíme počítat se snížením výstupního výkonu. Ke každému kondenzátoru je paralelně připojen rezistor s vyšší ohmickou hodnotou, který zajišťuje pomalé vybití kondenzátorů v případě vypnutí přístroje. Dále nám úplné vybití kondenzátorů a připojeného kabelu zajišťuje jiskřiště, které je konstruováno jako pracovní, vybíjecí a ochranné. Pracovní jiskřiště můžeme spínat ručně nebo automaticky motorovým pohonem v taktech 1,5 až 6 s. Z bezpečnostních důvodů je přístroj vybaven blokováním zapnutí vysokého napětí a automatickým uzemněním při výpadku napájecí elektrické energie.



Obr. 10: Fotografie přenosného rázového generátoru



Neodmyslitelnou součástí rázového generátoru je přijímač rázového generátoru, což je přístroj, který slouží k následné lokalizaci místa poruchy přímo v terénu na trase kabelu. Tento přijímač přijímá prostřednictvím připojeného půdního mikrofonu akustický signál vyvolaný vzniklým elektrickým obloukem. Půdní mikrofon se skládá z vlastního mikrofonu uloženým na kovové podstavě, držený pomocí dlouhého kovového úchyty s vyvedeným koaxiálním kabelem pro propojení s přijímačem. Přijímač umožňuje sledovat na vestavěném LCD displeji i intenzitu akustického signálu. Tento signál reprodukuje z boku zabudovaný reproduktor, což není vhodné při výskytu rušivých zvuků např. aut. Z tohoto důvodu používáme k posлуcháání speciální sluchátka s tlumením proti vnějším hlukům. Na přijímači lze nastavit hlasitost reprodukováného signálu a citlivost měření intenzity akustického signálu.

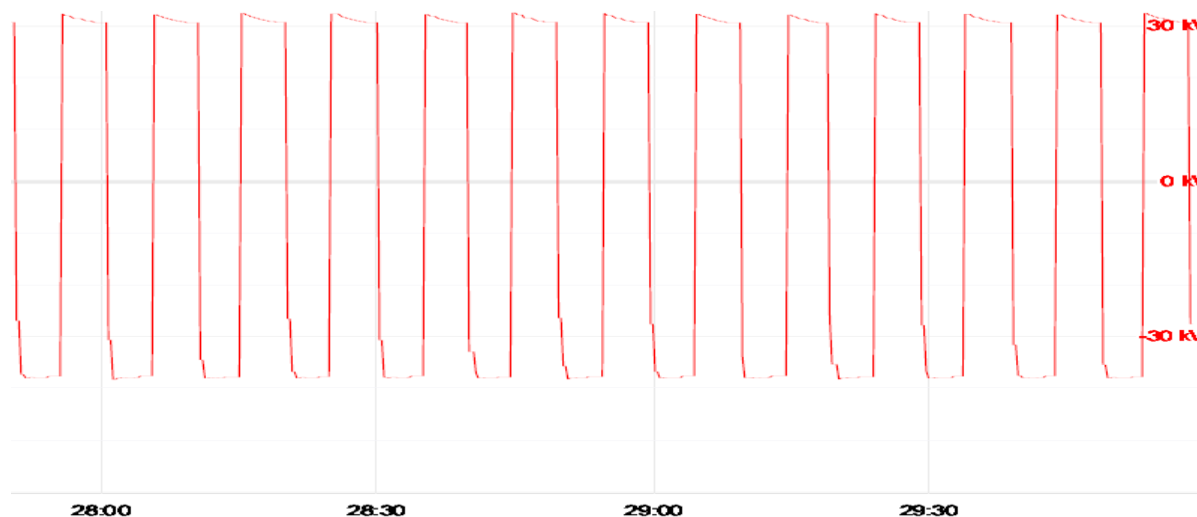


Obr. 11: Fotografie přijímače rázového generátoru se sluchátky a půdního mikrofonu

### 2.3 Zdroj střídavého napětí

Jelikož stejnosměrné napětí není vhodné pro vysokonapěťové zkoušky kabelů s plastovou izolací a to především kvůli vznikajícím prostorovým nábojům v dielektriku kabelu, je potřeba zdroj střídavého napětí. Při laboratorních testech a i následných testech v praxi se nejvíce osvědčilo střídavé napětí s velmi nízkou frekvencí 0,1 Hz a právě s touto frekvencí náš přístroj pracuje. Jeho výstupní napětí má pravoúhlý průběh s kosinusovým přechodem polarity viz obr. 12. Maximální efektivní hodnota napětí je 52 kV.

Základním prvkem je usměřovač, který se otáčí mezi kontakty tak, aby vytvořil rytmus o frekvenci 0,1 Hz. Celé toto otáčení je vytvářeno motorovým pohonem. Přístroj umožňuje nejen jemné ladění výstupního napětí, ale i nastavení doby zkoušky. Přístroj je samozřejmě vybaven bezpečnostními prvky jako automatickým vybitím při výpadku napájecí elektrické energie nebo při průrazu kabelu a následném vzniku velkého proudu. Také nechybí blokování zapnutí vysokého napětí.



Obr. 12: Ukázka průběhu výstupního napětí zdroje

## 2.4 Zdroj stejnosměrného napětí

K dispozici máme zdroj stejnosměrného napětí jak integrovaný, tak i přenosný vyfotografovaný na obr. 13. Je to klasický zdroj, který využívá nabití kondenzátoru přes vstupní transformátor a usměřovač. Tento zdroj umožňuje plynulou jemnou regulaci hodnoty výstupního napětí až do 80 kV. Na rozdíl od střídavého napětí se při stejnosměrném napětí v měřeném kabelu projevuje jen odporová zátěž, a proto přístroj umožňuje měřit i svodový proud. Výstupní hodnoty proudu a napětí jsou zobrazovány na monitoru ovládacího panelu spolu s jejich grafy časových průběhů. V případě přenosného přístroje jsou tyto hodnoty zobrazeny na stupnicích.



Obr. 13: Fotografie přenosného zdroje stejnosměrného napětí

## 2.5 Měřič izolačního odporu

Tento přenosný měřicí přístroj je klasický analogový ohmmetr. Přístrojem lze měřit na čtyřech hladinách výstupního napětí a to 500 V, 1000 V, 2500 V, 5000 V. Rozsah měření odporů je od 100 k $\Omega$  do 20 G $\Omega$  a nekonečna. Při měření obvodů kapacitního charakteru se po ukončení měření přístroj chová jako voltmetr a ručička ukazuje hodnotu stejnosměrného nebo střídavého napětí. Toto napětí klesá, protože systém je automaticky vybíjen. Toto vybití však není vždy 100% zajištěno, protože není vždy k dispozici dobré uzemnění. Je potřeba na to dávat pozor. Napájení zajišťuje osm klasických baterií s napětím po 1,5 V. Možností je i napájení pomocí otočné kličky, kterou je potřeba otáčet po celou dobu měření.



Obr. 14: Fotografie měřiče izolačního odporu

## 2.6 Program ARC Viewer

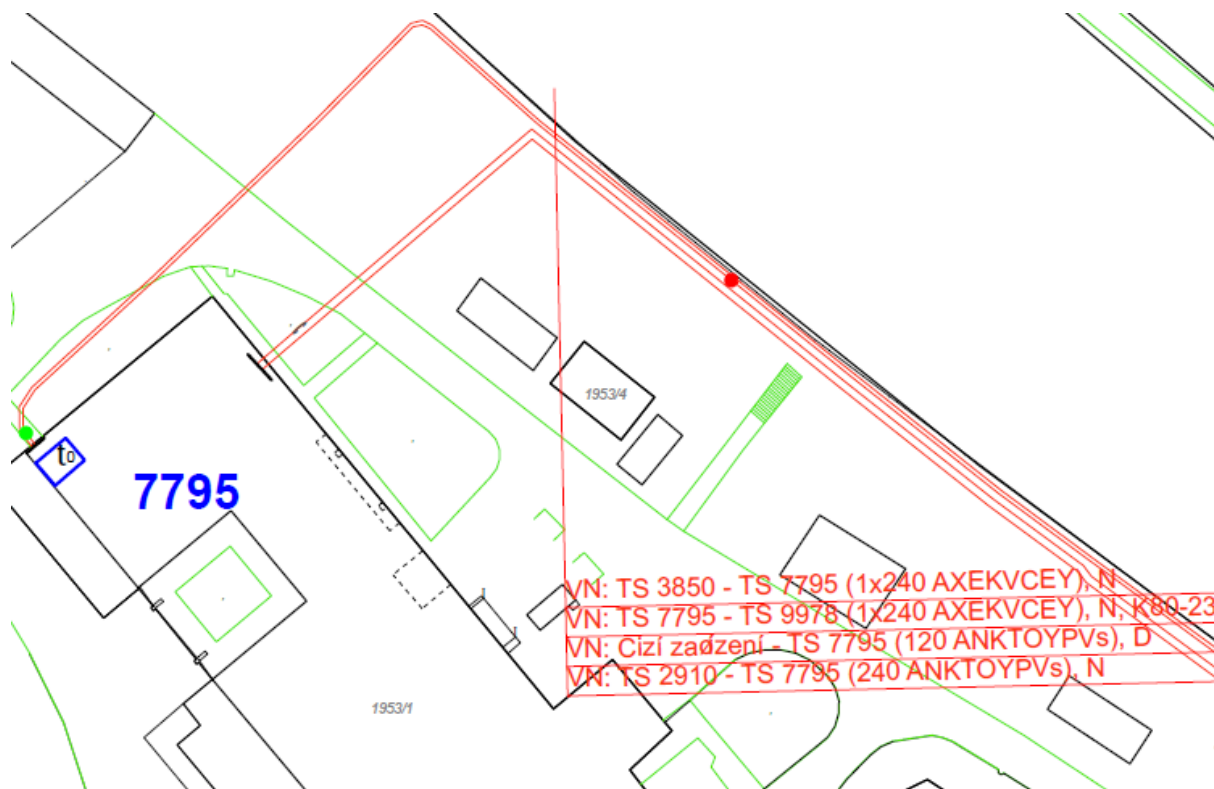
Tento program je neodmyslitelnou součástí vybavení pro vyhledávání poruch, který ušetří spoustu času stráveného hledáním v mapách. ARC Viewer je program, který obsahuje databázi map naší rozvodné soustavy. Jsou zde zakresleny po vrstvách veškeré kabely napěťových hladin 1 kV a 22 kV a sdělovací kabely. Má mnoho funkcí, pro vyhledávání poruch jsou však důležité pouze čtyři.

Funkce střílení slouží k identifikaci kabelu, jeho typu a pořadí v kabelových trasách obsahující více kabelů. Příklad použití je na obr. 15.

Staničení je funkce pro předběžné určení místa poruchy. Po označení počátečního místa měření se zadá vzdálenost získaná předběžným měřením. Místo se pak označí na kabelu vyplněným kolečkem viz obr. 15.

Další funkcí je uživatelské trasování, které umožňuje kabel zvýraznit a následně upravit měřítko mapy tak, aby byl kabel vidět v celé své délce.

Poslední funkcí je vyhledávání trafostanic. To je možné pomocí různých atributů, jako je například adresa nebo číslo trafostanice. Tato funkce usnadňuje jinak zdoluhavé hledání v mapě.



Obr. 15: Ukázka použití funkcí střílení a staničení v programu ARC Viewer

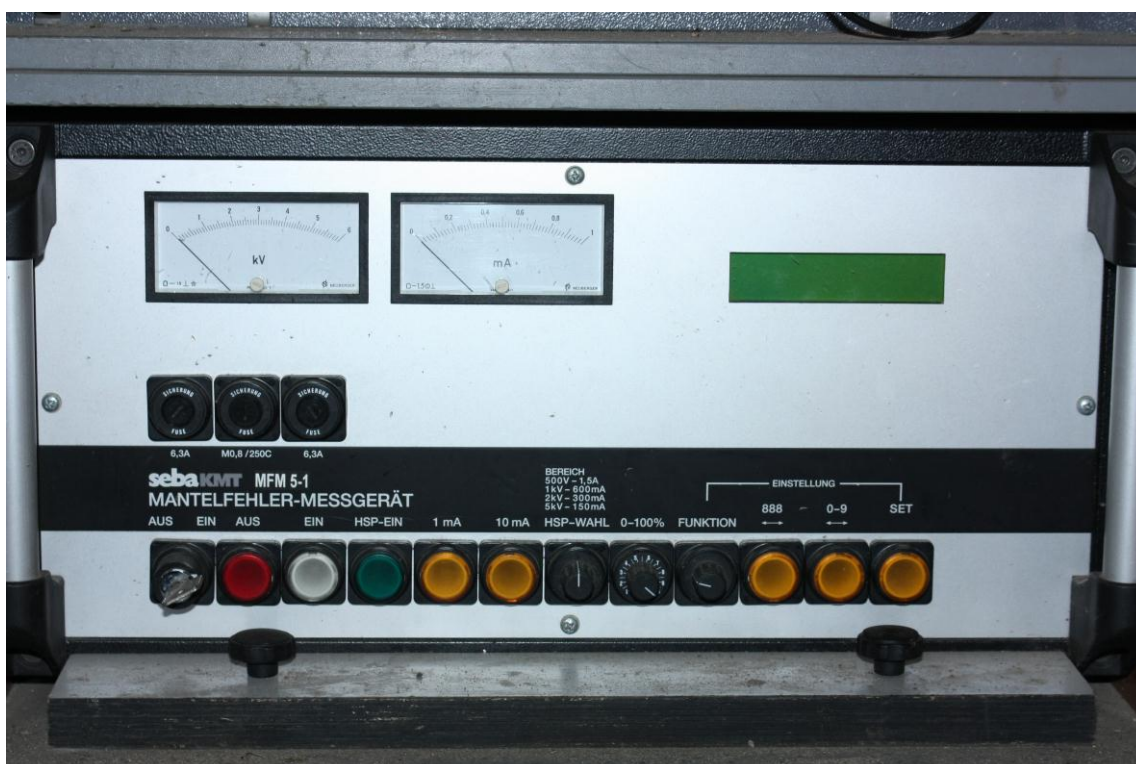
## 2.7 Přístroj k zaměřování plášťových poruch

Přístroj k zaměřování plášťových poruch je v principu propalovací přístroj. V kabelovém měřicím voze máme k dispozici takový přístroj jak integrovaný, tak i přenosný. Oba se mohou použít jako propalovací i zkušební přístroj. Přenosný má navíc zabudovaný systém sloužící k předběžnému zaměření poruchy. Jako zkušební přístroj funguje stejně jako výše popsaný měřič izolačního odporu s tím, že výstupní hodnotou není velikost odporu, ale svodový proud.

Přístroj je vybaven regulačním rozptylovým transformátorem. Na jeho primární straně je zapojení pro jemnou regulaci propalovacího napětí a zabudovaný ampérmetr, díky kterému lze sledovat propalovací proud. Primární část obsahuje ještě také zapojení elektromagnetických spínačů s velmi krátkou dobou sepnutí, kterým lze měnit napětí stupňovitě bez přerušení měření. Na sekundární straně je paralelně připojené jiskřiště, které slouží pro připojení k měřenému kabelu i pro vybití možného náboje vzniklého v měřeném

kabelu po vypnutí přístroje. Výstupní proud může být pro usnadnění vyhledání poruchy taktován v různých časových intervalech. Úkolem tohoto přístroje je v místě poruchy vytvořit takový proud, který vyvolá dostatečný napěťový trychtýř.

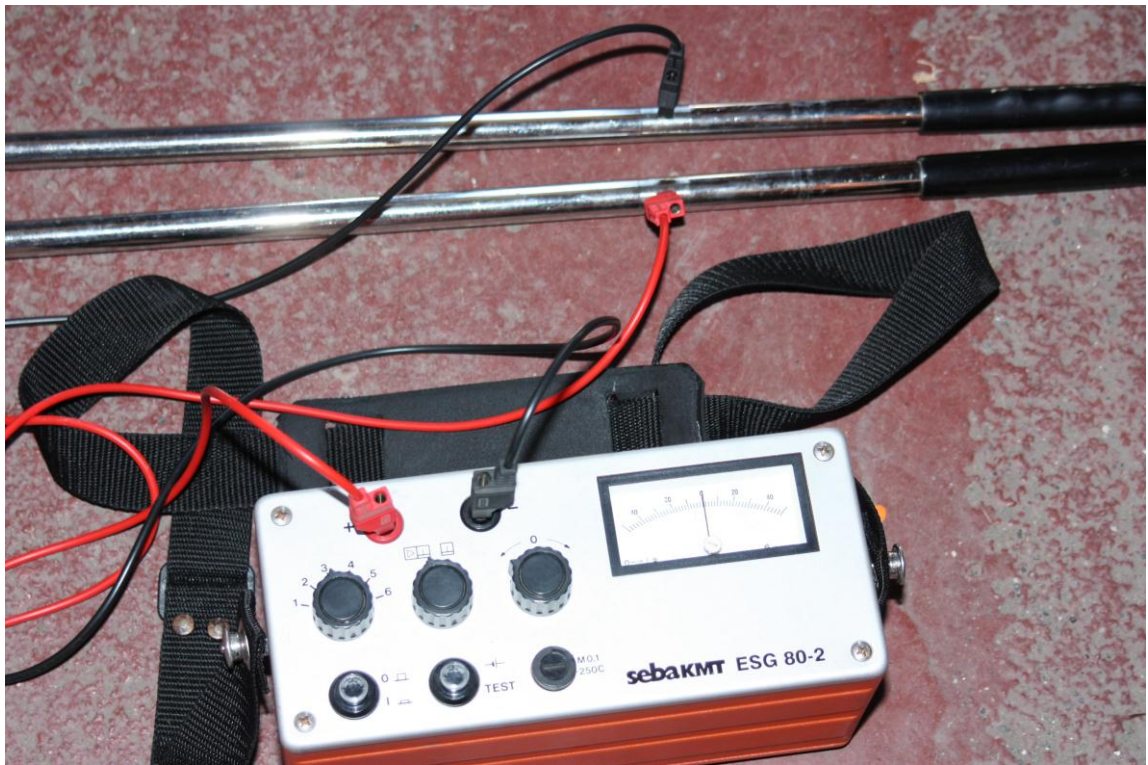
Zařízení pro předběžné zaměření místa poruchy, kterým je vybaven přenosný přístroj, funguje tak, že sleduje úbytek stejnosměrného napětí. Využívá k tomu zvláštní zapojení se zdravou žílou kabelu. Sleduje úbytek napětí, vzniklým před místem poruchy a za ním. Tyto údaje následně srovná a udá přibližné místo poruchy v metrech. K tomu je zapotřebí mu zadat celkovou délku kabelu.



Obr. 16: Fotografie přenosného přístroje pro zaměřování pláštěvých poruch

Po předběžném zaměření následuje přesné dohledání poruchy v terénu a k tomu slouží snímač krokového napětí. Tento snímač je v podstatě velmi citlivý galvanoměr s ručkou ve střední poloze, což slouží nejen k měření velikosti napětí, ale i k identifikaci směru proudu. Snímač je vestavěn do pouzdra z plastu a kovu odolným vůči vodě, který má na čelní straně mimo stupnice a ovládacích prvků i vstupní svorky, pomocí kterých se připojují zemní sondy. Zemní sondy jsou kovové tyče s plastovou rukojetí a vyvrtným otvorem pro připojení pomocí vodiče ke vstupním svorkám. Uvnitř je umístěn elektronický zesilovač, přepínač

funkcí, dělič napětí a kompenzační regulátor. Jištění proti vyšším vstupním napětím je provedeno napěťově závislým rezistorem. Napájení zajišťují baterie.



Obr. 17: Fotografie snímače krokového napětí se zemními sondami

## 2.8 Tónový generátor

Tento přenosný přístroj slouží převážně k vytyčování tras kabelů, ale lze s ním zaměřit také některé poruchy, zejména mezifázové zkraty. Zařízení lze také použít v kabelovém měřicím voze pomocí externích svorek. Přístroj se dá připojit k měřenému kabelu galvanicky pomocí vodičů nebo induktivně pomocí vysílacích kleští.

Uvnitř zařízení jsou zabudovány klopné obvody, které mají za úkol generovat signál požadované frekvence. Standardními kmitočty jsou 491 Hz, 982 Hz a 8440 Hz, ale přístroj dokáže vytvořit i signály s jinými kmitočty, které jsou ve slyšitelném pásmu. Tento signál o maximálním výkonu 50 W, který můžeme měnit v krocích po 0,5 W, má sinusový průběh. Přístroj má také zabudovaný obvod pro impedanční přizpůsobení k měřenému kabelu. Z tohoto hlediska hraje důležitou roli uzemnění na opačném konci kabelu nebo právě v místě poruchy, které by ideálně mělo mít nulovou hodnotu odporu, aby se celý obvod elektricky uzavřel. Tuto ohmickou hodnotu přístroj změří a ukáže na displeji umístěném na ovládacím

panelu. Na displeji je zobrazena také hodnota frekvence signálu v Hz a hodnota vysílaného výkonu ve W. Všechny tyto parametry se dají měnit pomocí tlačítek na ovládacím panelu. Pro napájení je v přístroji zabudována nabíjecí baterie, ale přístroj lze také napájet přímo ze sítě.



**Obr. 18: Fotografie tónového generátoru**

Vysílaný signál se pak přímo v terénu detekuje pomocí univerzálního přijímače, což je vlastně přijímač rázového generátoru výše popsaný, který se přepne do tohoto módu. K přijímači se místo půdního mikrofону připojí induktivní senzor. Induktivní senzor je snímací cívka fungující jako anténa umístěná na konci plastové tyče. Na druhém konci je vyvedený koaxiální kabel pro připojení k přijímači. Tuto cívku lze otáčet do vertikální či horizontální polohy. Přijímač lze také použít samostatně bez tónového generátoru, který nám nahradí zapnutý kabel napájený ze sítě, jenž vytváří magnetické pole o frekvenci 50 Hz, na kterou lze přijímač naladit. To nám při hledání poruchy umožní informativní vytyčení trasy za předpokladu, že vadný kabel je v trase v souběhu s jiným zapnutým kabelem.





Obr. 19: Fotografie univerzálního přijímače s induktivním senzorem

## 2.9 Impulsní zaměřovač

Impulsní zaměřovač jinak nazývaný teleflex je zařízení, které pracuje v několika režimech. V principu je to měřič odrazu vlnové impedance, tedy spíše odrazů změn vlnové impedance v závislosti na průběhu vyslaného impulsu. Tento impuls může vysílat teleflex sám nebo spolupracuje s jiným přístrojem např. rázovým generátorem.

Základním režimem funkce impulsního zaměřovače je klasický teleflex, pomocí kterého se měří délka kabelu. V tomto režimu je možné zaměřit zkrat i poruchu typu přerušeni, což je vesměs také konec kabelu. Při tomto měření pracuje teleflex sám tak, že vyšle do měřeného kabelu impuls a měří dobu návratu odrazu tohoto impulsu od místa, kde vysoce vzroste impedance. Tento údaj následně vyhodnotí a na monitor ovládacího panelu vykreslí graf průběhu této impedance v závislosti na vzdálenosti, na kterém lze pomocí kurzoru přesně identifikovat konec kabelu nebo místo poruchy v metrech.

Dalším režimem je porovnání, kdy se připojí všechny tři žíly kabelu a vzájemně se porovnají. Měření probíhá stejně jako u klasického teleflexu s tím, že vestavěné relé zajišťující rychlé spínání přepíná mezi všemi žilami několikrát za sekundu tak, aby bylo

možné vykreslit na monitor grafy všech tří žil najednou. To umožní tyto grafy porovnat mezi sebou a získat údaj o místě poruchy v metrech.

Poslední používaným režimem je měření společně s rázovým generátorem nebo stejnosměrným zdrojem. Při tomto měření je teleflex zapojen sériově přes vazební člen a rázový generátor přes oddělovací filtr na vadnou žílu měřeného kabelu. Uzemnění je společné. K zapojení se stejnosměrným zdrojem je potřeba pouze oddělovací filtr. Nejdříve provede měření teleflex sám klasickou metodou výše popsanou a následně v době vyslaného impulsu rázovým generátorem. Tato měření se vyhodnotí a na základě toho se vykreslí grafy obou měření současně. To nám umožňuje grafy porovnat a určit místo změny neboli poruchy v metrech.

Je třeba podotknout, že teleflex musí mít při každém měření správně nastavenou hodnotu rychlosti šíření elektrického signálu a uzemnění je potřeba zajistit co nejlepší.



Obr. 20: Fotografie přenosného impulsního zaměřovače

### 3 Zásady připojení přístrojů pro vyhledávání poruch

Pro připojení integrovaných přístrojů se používají kabely pevně umístěné v zadní části kabelového měřicího vozu. Před každým měřením je nutné provést kontrolu obou konců kabelu, na kterém je potřeba odpojit zkratovací soupravu a zajistit proti nebezpečí vzniku úrazu elektrickým proudem. Pak v místě připojení na kabelu odzkoušíme beznapěťový stav a kabel zkratujeme. Potom můžeme provést samotné připojení. V každém případě se musíme řídit podnikovou normou PX 509, která nám říká: [9]

#### 1. Úkony před započítím měření:

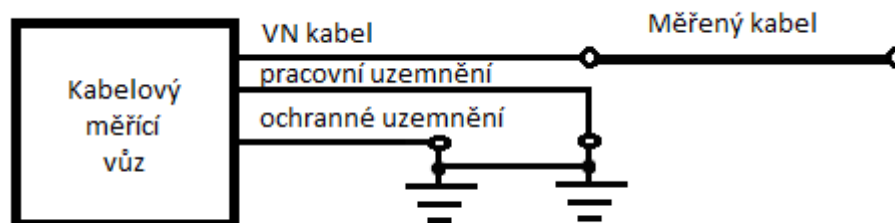
- a) připojit ochranné uzemnění FU, F Ohm,
- b) připojit elektrický přívodní kabel,
- c) provést připojení zkušební kabelu s použitím ochranných pomůcek,
- d) provést odzkratování a odzemnění měřeného (zkoušeného) kabelu,
- e) uzavřít dveře zadní části karosérie měřicího vozu,
- f) zamezit přístupu k místu měření nepovolaným osobám,
- g) upozornit všechny zúčastněné zaměstnance na zahájení měření,
- h) zapnout přístroje a zahájit vlastní měření.

#### 2. Úkony po skončení měření

- a) vypnout použité přístroje,
- b) vybit elektrický náboj (provádí jej automaticky zařízení měřicího vozu); obsluha provede kontrolu vybití uzemňovací tyčí,
- c) odpojit zkušební kabely,
- d) odpojit napájení vozu,
- e) odpojit ochranné vodiče FU, F Ohm,
- f) uvést pracoviště do původního stavu,
- g) ohlásit ukončení prací na energetický dispečink.

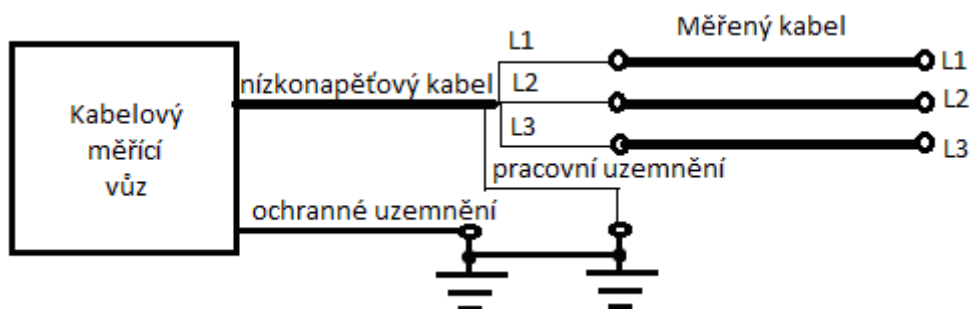
V případě přenosných přístrojů postupujeme stejně jako při práci s měřicím vozem se zvýšenou pozorností.

Z hlediska funkčnosti je zapojení většiny integrovaných přístrojů stejný. Vysokonapěťový kabel se připojuje pomocí kleští na měřenou žílu případně plášť kabelu a zem. Ochranné uzemnění propojíme pomocí svorky také se zemí. Ochranné a pracovní uzemnění musejí mít přechodové odpory menší než  $2 \Omega$ .



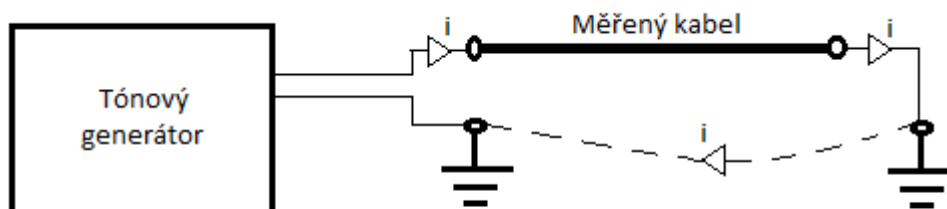
Obr. 21: Schéma zapojení kabelového měřicího vozu s VN kabelem

Teleflex ve funkci porovnání se připojuje pomocí nízkonapěťového kabelu na všechny tři žíly a zem.



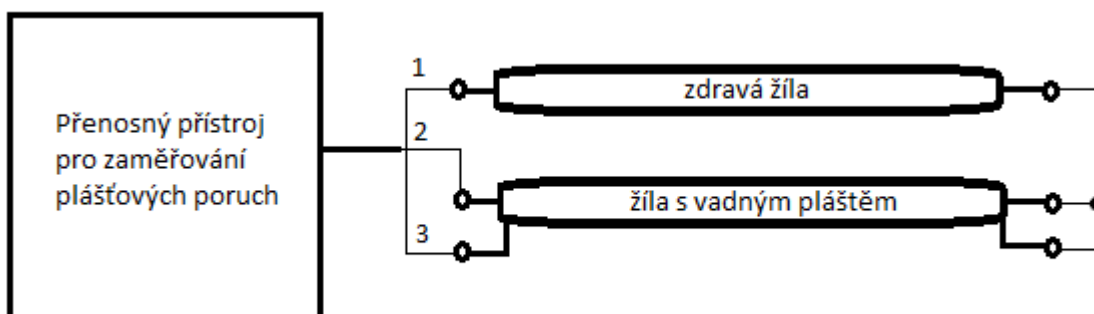
Obr. 22: Schéma zapojení kabelového měřicího vozu s NN kabelem

Výstupní svorky tónového generátoru se zapojují pomocí vodičů mezi žílu kabelu a zem. Lze ho také připojit přes VN kabel kabelového měřicího vozu pomocí externích svorek umístěných na ovládacím panelu. Tónový generátor vyžaduje pro svou funkci druhý konec kabelu uzemněný, aby se obvod elektricky uzavřel.



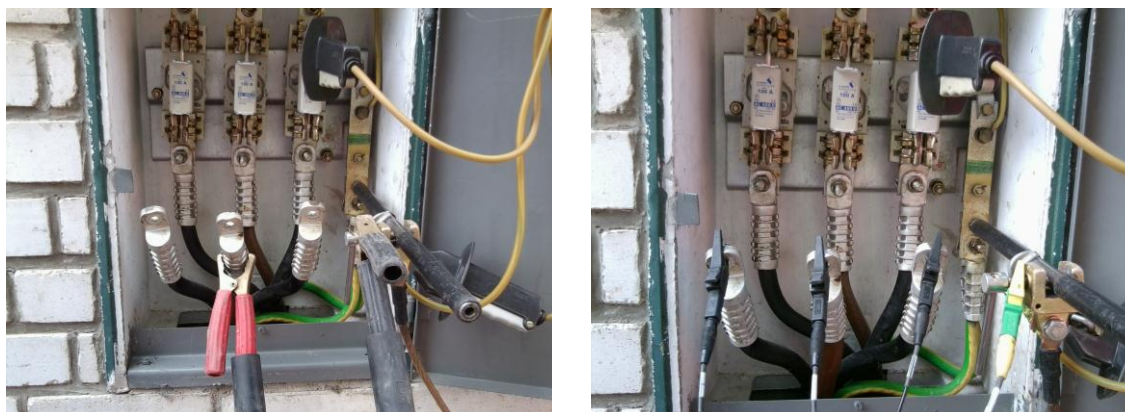
Obr. 23: Schéma zapojení tónového generátoru

Zvláštní připojení na druhém konci kabelu vyžaduje pro svou funkci i přenosný přístroj k zaměřování plášťových poruch a to propojení pomocí dvou vodičů jádra vadné a zdravé žíly a jádro s pláštěm vadné žíly.



Obr. 24: Schéma zapojení přenosného přístroje pro zaměřování plášťových poruch

Napájení vozu lze připojit jednofázově i třífázově. Pokud není k dispozici zásuvka, je možné připojit se k síti v rozvodné skříni jak je vidět na obr. 25.



Obr. 25: Ukázka připojení měřícího vozu ke kabelu 1 kV (vlevo) a nízkonapětového kabelu (vpravo) pro porovnání

## 4 Metody pro vyhledávání poruch

Stejně jako přístroje, tak i metody pro vyhledávání poruch mají za úkol co nejpřesněji určit místo poruchy. Využíváme metody určené k hrubému zaměření místa poruchy a metody, které slouží k následnému přesnému nalezení místa poruchy. Každá metoda nefunguje pokaždé, proto je velmi důležitá její správná volba, která je vždy ovlivněna charakterem poruchy. Poruchy si můžeme obecně rozdělit na nízkoohmové např. zkrat a vysokoohmové, což je např. poškození izolace vykazující vůči zemi odpor řádově stovky až

tisíce ohmů. Velkou roli hraje také typ poškozeného kabelu a přístup k jeho napájecím bodům.

#### 4.1 Napět'ová zkouška

Napět'ová zkouška předchází každému měření a slouží k určení chybné fáze a charakteru poruchy. U kabelů 22 kV použijeme zdroj střídavého nebo stejnosměrného napětí. Zdroj se připojí na fázi proti zemi a zkoušku opakujeme pro každou fázi zvlášť. Zdravý kabel by měl podle podnikové normy energetiky PNE 34 7626 vydržet 38 kV střídavého napětí a 52 kV stejnosměrného napětí bez průrazu. Pokud dojde během zkoušky k průrazu nebo přeskoku, fáze je chybná. Pro nás je důležitá hodnota napětí, při které k průrazu nebo přeskoku došlo. Čím je tato hodnota vyšší, tím má porucha větší hodnotu odporu.

U kabelů 1 kV postačí zkoušečka. Jelikož je naše rozvodná síť v převážné většině okruhová, tak je v rozvodné skříní k dispozici kabel pod napětím. Ten nám poslouží jako zdroj napětí. Jednu elektrodu zkoušečky připojíme k němu a druhou k žíle vadného kabelu. Pokud je žíla chybná, zobrazí zkoušečka hodnotu napětí. Jestli je porucha nízkoohmová, zobrazí se hodnota zdroje. Když se kabel jeví jako dobrý, může být ale ještě přerušený. Proto se na jednom konci kabelu pomocí propojek všechny žíly uzemní a zkouška se provede ještě jednou. Pokud v tomto případě zkoušečka napětí nezobrazí, fáze je přerušena.

Pro tuto zkoušku se hodí také měřič izolačního odporu, který se připojí mezi žílu a zem. Tento přístroj ukáže rovnou hodnotu odporu poruchy.

#### 4.2 Vytyčení trasy kabelu

Přesné určení kabelové trasy je základem určování poruch. Je k tomu potřeba tónový generátor společně s univerzálním přijímačem a induktivním senzorem. Tónový generátor galvanicky připojíme mezi žílu kabelu a zem. Druhý konec připojené žíly musíme uzemnit, aby vznikl uzavřený elektrický obvod. Toto uzemnění je potřeba provést co nejlépe, kvůli impedančnímu přizpůsobení přístroje, který v případě nulové ohmové hodnoty tohoto uzemnění dodává nejvyšší výkon. Pokud jako uzemnění nestačí stínění kabelu popř. nulový

vodič, je potřeba uzemnění provést pomocí zemní sondy. Pro vyšší výkon lze také použít propojení na straně přístroje s ostatními žilami s otevřenými konci a tím využijeme tok kapacitního proudu. V případě použití poruchy jako uzemnění je nejlepší použít frekvenci 8440 Hz, protože je nejméně rušena poruchovými stavy.

Tato metoda využívá toho, že kolem vodiče, kterým prochází proud, vzniká elektromagnetické pole. Toto pole má maximum intenzity v bezprostřední blízkosti vodiče a v cívce na induktivním senzoru natočené horizontálně ke kabelu vytváří maximum příjmové energie. Pokud je tato cívka natočena vertikálně ke kabelu, vytváří nad tímto kabelem minimální úroveň snímaného signálu. Vhodnější je použít snímání minima signálu, jelikož je lépe slyšitelné.

### 4.3 Impulsní odrazová metoda

Tato metoda slouží k hrubému určení místa poruchy, což vede ke zkrácení úseku na trase kabelu pro přesné určení místa poruchy. K užití této metody slouží impulsní zaměřovač zvaný Teleflex. Princip je v tom, že teleflexem vyslaný impuls se odráží zpět od všech míst, kde dochází ke změně vlnového odporu. Podle času průběhu impulsu a známé rychlosti šíření tohoto impulsu, která je 160 m/s univerzálně pro všechny kabely, provede přístroj výpočet vzdálenosti místa odrazu podle vzorce (1) a vykreslí průběh těchto odrazů v závislosti na délce kabelu, jak je patrné na obr. 26. Energie těchto odrazů je závislá na velikosti změny vlnového odporu a na tom jak je kabel dlouhý a místo odrazu daleko. Tuto energii udává faktor odrazu, který je v případě zkratu záporný (2) a v případě přerušení kladný (3). Kladný faktor odrazu znamená vychýlení průběhu odrazů nahoru a záporný směrem dolů. Touto metodou lze spolehlivě zaměřovat zkraty s odporem menším než 100  $\Omega$  a přerušení s odporem větším než 1000  $\Omega$ . Pokud tyto hodnoty nejsou splněny, je možné tuto hodnotu odporu poruchy snížit pomocí propalovacího přístroje.

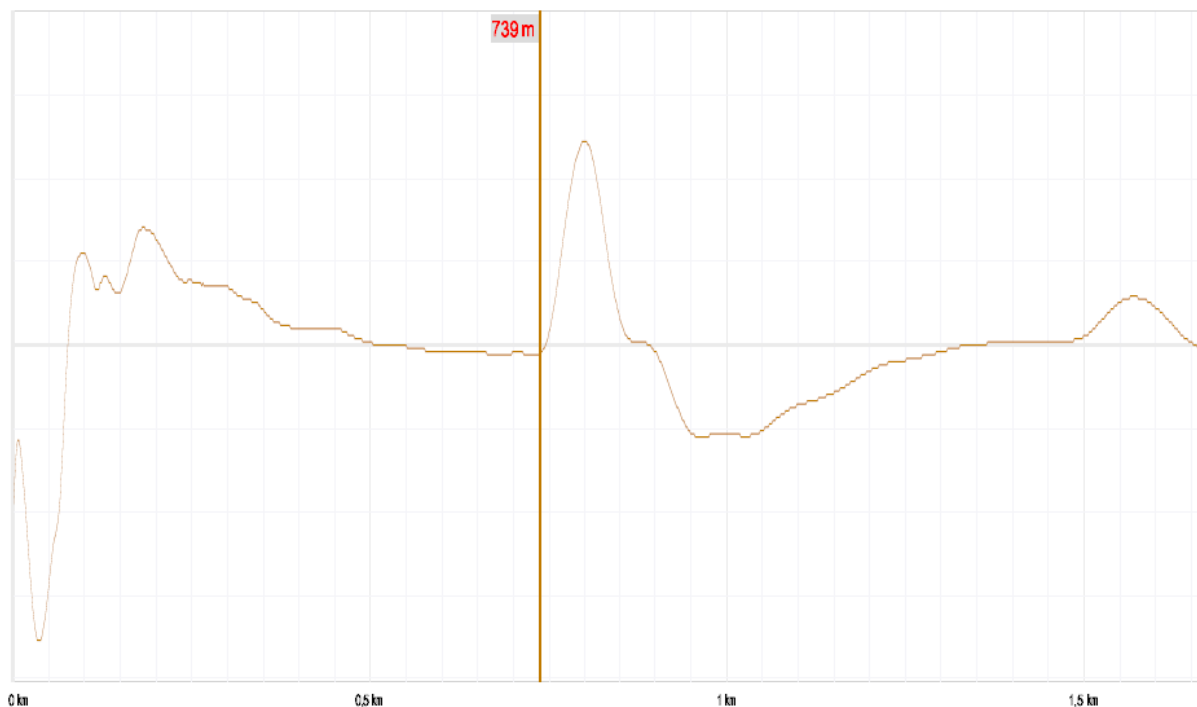
$$L = \frac{v}{2} \times t, \quad (1)$$

kde  $L$  je vzdálenost poruchy v [m],  $v$  je rychlost šíření impulsu v [m/s] a  $t$  je doba návratu impulsu v [s].

$$r = \frac{-Z}{2Z + R} \quad (2)$$

$$r = \frac{R}{2Z + R}, \quad (3)$$

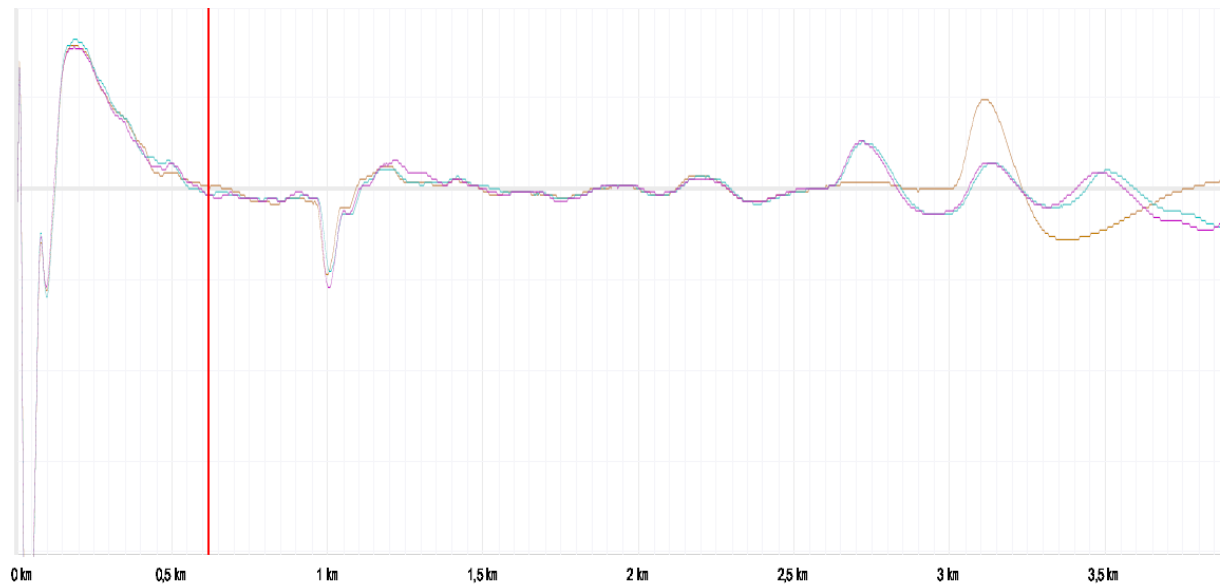
kde  $r$  je faktor odrazu v [%],  $R$  je odpor poruchy v [ $\Omega$ ] a  $Z$  je vlnový odpor kabelu v [ $\Omega$ ].



Obr. 26: Příklad přerušení fáze na 739 m

U vícežilových kabelů a pokud není vychýlení průběhu odrazů zcela jasné, lze tuto metodu vylepšit funkcí porovnání. Funkce porovnání umí porovnat všechny tři fáze najednou, díky čemuž jsou zjištěné i nepatrné odchylky odrazů. Na obr. 27 je zřetelné přerušení dvou fází asi 350 m před koncem kabelu.



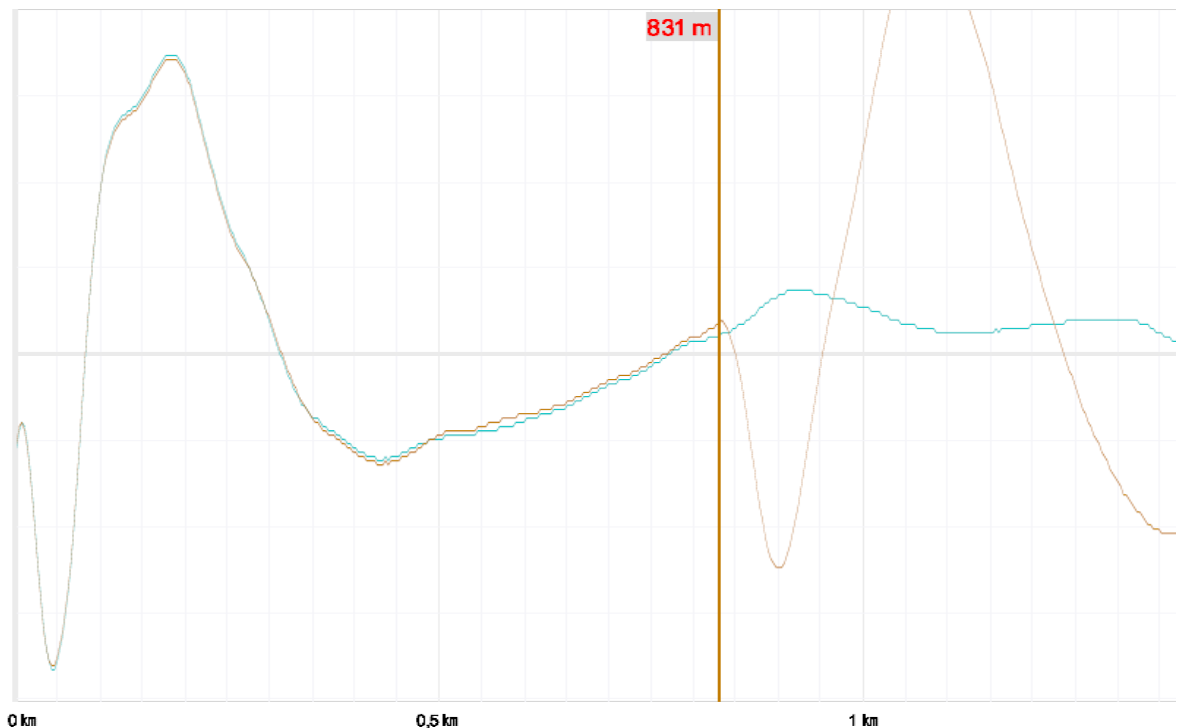


Obr. 27: Příklad porovnání tří fází

#### 4.4 Metoda ARM

Touto metodou se zaměřují poruchy, které mají proměnnou hodnotu odporu nebo je nelze zaměřit impulsní odrazovou metodou. Využívá se zapojení teleflexu společně s rázovým generátorem.

Měření probíhá tak, že nejdříve teleflex provede měření klasickou impulsní odrazovou metodou a vykreslí a uloží průběh odrazů modře, přičemž místo poruchy není zřetelné. Následně se provede měření společně s rázovým generátorem. Rázová vlna, vystupující z rázového generátoru, je přivedena na vadnou žílu a v místě poruchy vyvolá průraz nebo přeskok. Takto vyvolaný elektrický oblouk má prakticky nulový odpor a teleflex jej vyhodnotí jako zkrat. To se na vykresleném červeném průběhu odrazů projeví odchylkou dolů. Tento průběh odrazů se porovná s průběhem získaným z předchozího měření a lze určit přibližné místo poruchy viz obr. 28.



Obr. 28: Příklad poruchy zaměřené metodou ARM na 831 m

#### 4.5 Metoda kmitů

Jelikož ne vždy stačí napětí rázového generátoru, byla vyvinuta tato metoda využívající vyslání vyvolaného impulsu k impulsnímu zaměřovači. Používá se k tomu teleflex v zapojení se zdrojem stejnosměrného napětí.

Pomocí stejnosměrného zdroje se nabíjí vadný kabel do té doby, dokud není překročena hodnota napětí, při kterém dojde k přeskoku v poruše. Při překročení této hodnoty se veškerá energie nashromážděná v kabelu vybije v místě poruchy a tím se zapálí elektrický oblouk. Díky tomu vznikne postupné vlnění, které se šíří do obou směrů od poruchy. Na konci kabelu se vlna odrazí a postupuje zpět k poruše, kde se opět odrazí, ale v opačné fázi. Toto charakteristické kmitání napěťové vlny se využívá k zaměření vzdálenosti poruchy. Je důležité nastavit rozsah teleflexu tak, aby byly viditelné alespoň 3 plné periody tohoto kmitání. Pak lze podle vzorce (4) vypočítat vzdálenost poruchy od místa měření v metrech.

$$L = \frac{T}{2} \times \frac{v}{2}, \quad (4)$$

kde  $L$  je vzdálenost poruchy v [m],  $T$  je čas jedné periody v [s] a  $v$  je rychlost šíření impulsu v [m/s].

#### 4.6 Metoda úbytku napětí

Tato metoda slouží k předběžnému zaměření místa poruchy pláště kabelu 22 kV. V tomto případě se použije přenosný přístroj k zaměřování plášťových poruch, který vyžaduje propojení se zdravou a chybnou žílou a pláštěm na druhém konci kabelu. Dělá se to proto, že přístroj zaměřuje poruchu z obou stran, přičemž je potřeba znát celkovou délku kabelu a před měřením ji správně zadat.

Princip této metody spočívá v tom, že výstupní napětí přístroje přiložené na pancíř nebo stínění kabelu a zemi vyvolá v místě poruchy tok proudu do země. Tento proud tekoucí pláštěm způsobí mezi místem napájení a místem poruchy úbytek napětí díky odporu pláště. Velikost tohoto úbytku je závislá na vzdálenosti poruchy. Po změření tohoto úbytku z obou stran přístroj tyto hodnoty podle vzorce (5) vyhodnotí a udá přibližné místo poruchy v metrech. Předpokladem správného zaměření je použití stejné hodnoty proudu pro obě měření.

$$L = \frac{l \times U_1}{U_1 + U_2}, \quad (5)$$

kde  $L$  je vzdálenost poruchy v [m],  $l$  je celková délka kabelu v [m],  $U_1$  je úbytek napětí měřený před poruchou ve [V] a  $U_2$  úbytek napětí měřený za poruchou ve [V].

#### 4.7 Metoda snímání podzemních hluků

Tato metoda je používána v převážné většině měření, jelikož slouží k naprosto přesnému určení místa poruchy. Pomocí této metody lze dohledat většinu poruch až na zkratky s hodně nízkou hodnotou odporu. K tomu se využívá rázový generátor s přijímačem rázového generátoru a půdním mikrofonem. Rázový generátor připojíme mezi vadnou žílu a zem. Po nabití kondenzátoru v rázovém generátoru se tento náboj vybije do kabelu přes poruchu. Pro lepší identifikaci akustického signálu se používá taktování tohoto vybití po 6 s.

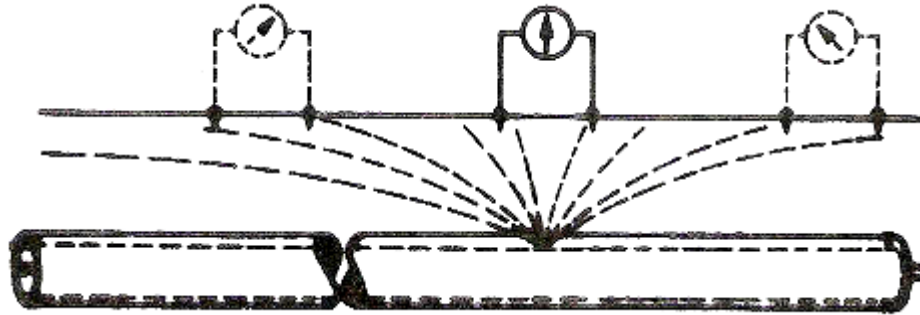
Principem této metody je akustický signál vyvolaný elektrickým výbojem vzniklým v místě poruchy, který se snímá pomocí přijímače rázového generátoru a půdního mikrofону. Nad místem poruchy je tento akustický signál nejsilnější. Díky speciálním sluchátkům lze toto místo přesně určit, přičemž intenzitu akustického signálu nám také zobrazuje přijímač rázového generátoru.

Na kabelu vzniká v době rázu také magnetický signál, který je v některých případech tak silný, že se jeví jako signál akustický. Rozdíl mezi magnetickým a akustickým signálem je potřeba praxí odposlouchat a tím eliminovat případné chybné určení místa poruchy. Ovšem z praxe také víme, že ne vždy je nejsilnější akustický signál nad místem poruchy, což je způsobeno např. betonovou deskou nad místem poruchy nebo poruchou v chráničce či ve staré litinové spojce. V těchto případech je nezbytné vytyčení trasy kabelu.

#### **4.8 Metoda krokového napětí**

Metoda krokového napětí se používá v případě poruch pláštěů nebo kabelů s plastovou izolací. Je k tomu potřeba přístroj k zaměřování plášťových poruch a snímač krokového napětí se zemními sondami. Tento přístroj se zapojí mezi vadnou žílu nebo plášť a zem.

Principem metody je, že do vadné žíly nebo pláště přístroj vysílá klíčované stejnosměrné napětí. V místě poškození toto napětí vystupuje a vytváří v tomto místě napěťový trychtýř, který se dá měřit. Po paralelní trase kabelu se zapichují zemní sondy do země co nejdále od sebe. Pokud je na trase povrch, do kterého nelze zemní sondy zapíchnout např. asphalt, tak je potřeba tento povrch polít vodou a pak stačí sondy pouze přiložit. Při tomto měření snímač ukáže svou odchylkou intenzitu napětí a směr k poruše jak je patrné z obr. 29. Za poruchou se polarita obrátí a odchylka bude na druhou stranu stupnice. Přesně nad poruchou by měla ručička zůstat v nulové poloze.



Obr. 29: Metoda krokového napětí [10]

## 4.9 Metoda závitů

Touto metodou se zaměřují poruchy typu mezifázový zkrat u vícežilových kabelů, které nelze jinou z výše popsaných metod zaměřit. Je potřeba k tomu tónový generátor a univerzální přijímač s induktivním senzorem. Před měřením je potřeba vytyčit si trasu kabelu a v případě zkratovaných žil společně s pláštěm kabelu se pokusit toto spojení s pláštěm pomocí rázového generátoru odstranit. Tónový generátor se zapojí mezi obě zkratované žíly a nastaví se výstupní signál na frekvenci 1 kHz a na co nejvyšší výkon.

Metoda závitů využívá zkrutu kabelů. Jestliže protékají dvěma vodiči, které jsou navzájem zkrouceny, proudy opačného směru, tak vzniká elektromagnetické pole, které je kabelem přenášeno a končí u místa poruchy. Velikost tohoto pole je proměnná a závisí na délce zkroucení vodičů. Pro úspěšné měření je důležité, aby nebyla hloubka uložení kabelu větší než polovina délky zkroucení. Na trase se pak toto elektromagnetické pole snímá pomocí univerzálního přijímače a induktivního senzoru s cívkou natočenou horizontálně tak, že její podélná osa je paralelní s trasou kabelu. Intenzita tohoto pole se různě mění z maxima na minimum a v místě poruchy zaniká, ale velmi často se stává, že v místě poruchy je intenzita snímaného elektromagnetického pole nejvyšší.

## 5 Zhodnocení metod pro vyhledávání poruch

Volbu metody ovlivňuje charakter poruchy a typ kabelu, ale také hlavně délka kabelu. U krátkých kabelů do 20 m ani nemá cenu používat metody pro hrubé zaměření místa poruchy a rovnou se použije metoda snímání podzemních hluků, která je ze všech nejpřesnější. U delších kabelů do 100 m je výhodné pro přiblížení místa poruchy použít nejdříve metodu krokového napětí a následně upřesnit místo poruchy metodou snímání podzemních hluků. U kabelů delších než 100 m se rozhodně vyplatí si poruchu přibližně zaměřit např. pomocí metody ARM a následně opět metodou snímání podzemních hluků upřesnit místo poruchy s použitím vytyčení trasy kabelu. Jak už bylo řečeno, volbu metody ovlivňuje hlavně charakter poruchy a typ kabelu, takže když bude na krátkém kabelu mezifázový zkrat, tak se musí stejně použít metoda závitů.

Nejvíce požívaná je metoda snímání podzemních hluků, kterou lze prakticky zaměřit jakoukoliv poruchu s výjimkou mezifázového zkratu, který se vyskytuje na starších typech kabelů. Pro tento typ poruchy poslouží metoda závitů. Metoda krokového napětí se hodí v případech poškozených plášťů s nižší hodnotou odporu poruchy, kdy nejsou podzemní hluky dobře slyšitelné a hlavně měření musí probíhat na novějších typech kabelů s plastovou izolací. Kvůli pancéřovému plášti se metoda krokového napětí nehodí pro starší typy kabelů. Metoda úbytku napětí se používá výhradně jen pro plášťové poruchy. Pokud má porucha nízkou hodnotu odporu, tak pro hrubé zaměření použijeme impulsní odrazovou metodu, v případě vyšší hodnoty odporu metodu ARM a v případě hodně vysoké hodnoty odporu použijeme metodu kmitů.

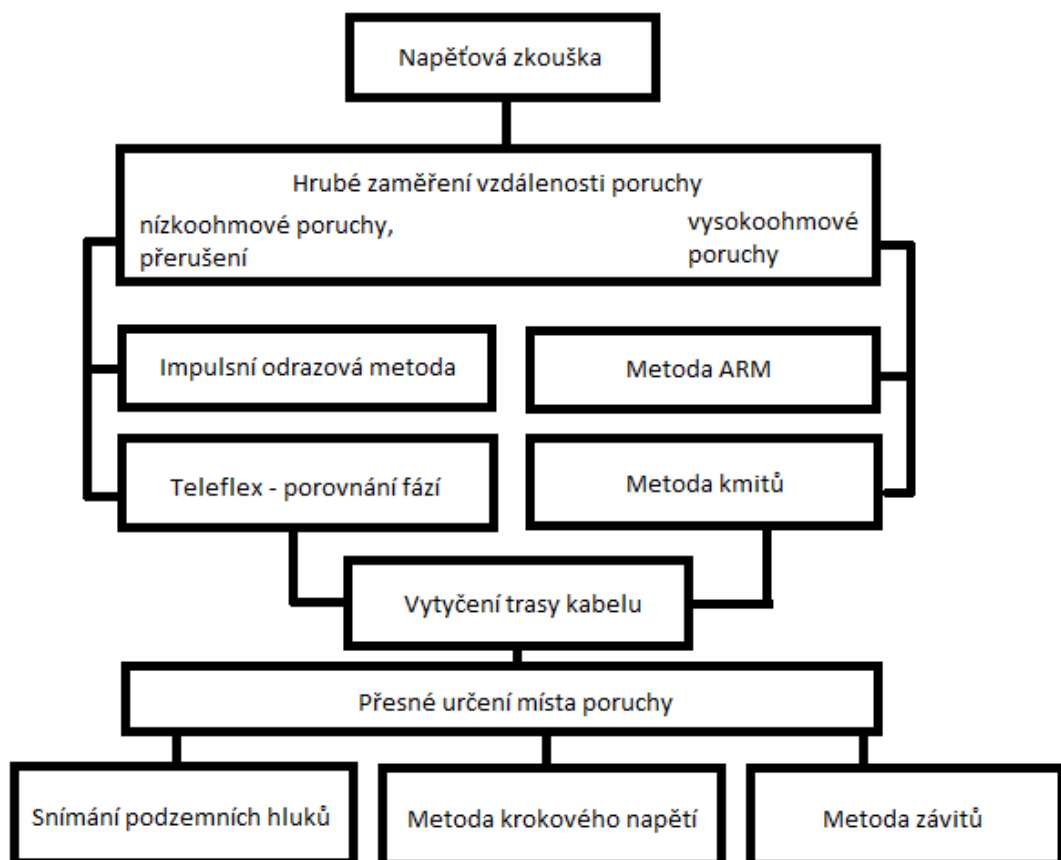
Měření je také mnohdy výrazně ovlivňováno okolními vlivy. Indukční metody jako je vytyčení kabelu nebo metoda závitů jsou značně ovlivňovány magneticky vodivými materiály v zemi jako např. železná trubka. Takový předmět vzniklé magnetické pole deformuje a jeho snímání pak není přesné. Deformace magnetického pole se dá snadno ověřit přizvednutím indukčního senzoru a zkontrolovat zda se minimum přijímaného signálu nachází na stejné úrovni jako níže u země.

Metoda snímání podzemních hluků je dost často ovlivňována různými typy materiálů v zemi. Nejčastěji jsou to betonové desky, které zvuk utlumí. Důležité je také dávat pozor na přechodech z trávníku na asfalt, protože každý z těchto materiálů vede zvuk jinak. Tyhle

rušivé elementy lze odstranit pouze správným vytyčením trasy kabelu.

Metody pro hrubé zaměření poruchy jsou nejvíce ovlivněny uzemněním. Při vysokém odporu pracovního uzemnění jsou výsledky měření hodně zkresleny. Proto je nezbytně nutné pro připojení vyhledat co nejvhodnější zemnič.

Na obr. 30 je znázorněn postup vyhledání poruchy. Na základě napěťové zkoušky se odhadne charakter poruchy. Porucha je buď nízkoohmová nebo vysokoohmová. V případě nízkoohmové poruchy je dobré pro hrubé zaměření poruchy použít impulsní odrazovou metodu nebo Teleflex-porovnání fází a v případě vysokoohmové poruchy se hodí použití metody ARM nebo v případě nedostačujícího rázového napětí metody kmitů. Po hrubém zaměření se pomocí programu ARC Viewer vyhledá přibližné místo poruchy na mapě. V tomto místě se vytyčí trasa kabelu. Následuje přesné určení místa poruchy nejlépe metodou snímání podzemních hluků, pokud snímání podzemních hluků nefunguje je dobré zvolit metodu krokového napětí. V krajních případech, kdy nefunguje žádná z předchozích metod, se použije metoda závitů.



Obr. 30: Stručný souhrn metod pro vyhledávání poruch

## Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo shrnout problematiku vyhledávání poruch na kabelech. Byli popsány kabely včetně kabelových spojek, jejichž složení je důležité znát, aby bylo možné vytvořit si představu jak poruchy fyzicky vypadají a kde vznikají.

Stručně byly popsány přístroje, které se pro vyhledávání poruch používají v PREdistribuce. Vývoj přístrojů a metod pro vyhledávání poruch se neustále vyvíjí. Zatím asi největší pokrok se týká snímače rázového generátoru, který SEBA KMT vyvinula tak, že dokáže sám určit přesně místo poruchy díky vyhodnocení magnetického a akustického signálu. Dokonce při vyhledávání umí kontrolovat zda se nachází na trase měřeného kabelu. Že probíhá neustálý vývoj dokazuje také nový univerzální přístroj pro vyhledávání poruch, který obsahuje rázový generátor a impulsní zaměřovač umístěné v jednom přenosném přístroji. V současné době jsou na vzestupu také přístroje určené k prevenci poruch. Nejmodernější je nepochybně diagnostika kabelů, která už má u PREdistribuce více jak desetiletou tradici.

Dále byly probrány nejpoužívanější metody pro vyhledávání poruch. Metody jako takové už nemají tak rychlý vývoj, jelikož jsou dosti omezovány přístroji. Volba metody je závislá na mnoha parametrech jako jsou např. charakter poruchy a typ kabelu. Ovšem musí se brát také v potaz vliv okolního prostředí a možnost připojení k měřenému kabelu.

Investice do kabelového měřicího vozu se rozhodně vyplatí, protože pro provozovatele rozvodné soustavy je naprosto nezbytné především rychlé odstranění přerušení dodávky elektrické energie v důsledku poruchy na kabelu a to za co nejnižší náklady. V současné době jsou přístroje na takové úrovni, že prakticky umožňují vyhledat jakoukoliv poruchu. Kabelové měřicí vozy u PREdistribuce mají 100% úspěšnost, v některých případech se pouze prodlužuje čas potřebný k zaměření poruchy. Nejčastější příčinou prodlužování času jsou velmi rušné ulice, tudíž se musí porucha vyhledávat až v noci. Také se může stát, že porucha se nachází na soukromém pozemku, který není přístupný.

Tato práce může být použita jako návod pro výběr kabelu do rozvodné soustavy či výběr přístrojů a metod pro vyhledávání poruch.



## Použitá literatura

- [1] Kučerová, E.; *Elektrotechnické materiály*, ZČU Plzeň 2002
- [2] Artbauer, J. a kolektiv autorů: *Kabely a vodiče*, SNTL, Praha 1956
- [3] List, V.: *Elektrické sítě*, Technicko-vědecké vydavatelství, Praha 1951
- [4] ČSN 34 7621: *Silové kabely s papírovou izolací a olověným pláštěm*, úřad pro normalizaci 1954
- [5] PNE 34 7626: *Provozní zkoušky VN kabelových vedení*, Český normalizační institut 2001
- [6] PNE 34 7625: *VN kabely se nesítěnou PE izolací pro distribuční sítě do 35 kV*, Český normalizační institut 2001
- [7] Podniková norma PRE a PREdi SK 221: *Jednožilový kabel 22-AXEKVCEY*, PREdistribuce 2009
- [8] Podniková norma PRE a PREdi SK 111: *Silový kabel 1-AYKY*, PREdistribuce a.s. 1999
- [9] Podniková norma PRE a PREdi PX 509: *Místní pracovní a bezpečnostní předpisy pro obsluhu měřicího vozu PREdi při zaměřování poruch a VN zkouškách*, PREdistribuce a.s. 2006
- [10] Firemní materiály a pracovní návody SEBA KMT
- [11] Firemní materiály a pracovní návody CELLPACK
- [12] Firemní materiály a pracovní návody MEGGER
- [13] Firemní materiály a pracovní návody KABLO KLADNO

## Přílohy

### Příloha č. 1: Podniková norma energetiky PNE 34 7625

#### 1.5.3 Tvorba písmenové značky kabelu.

Kabely určené pro distribuční sítě mají značku vytvořenou následujícím způsobem (nevztahuje se na určené délky pro specifické dodávky):

|                   |   |
|-------------------|---|
| Jádro             | A hliníkové vícedrátové   |
|                   | C měděné vícedrátové  |
|                   | AV hliníkové vodotěsné  |
|                   | CV měděné vodotěsné   |
| Izolace           | XE zesítný polyethylen  |
| Kabel             | K silnoproudý kabel   |
| Stínění           | C měděné kovové stínění   |
|                   | VC měděné kovové stínění s ochranou proti axiálnímu šíření vody pod pláštěm |
|                   | A stínění z Al laminované folie tepelně svařené s pláštěm                   |
| Kabel typu AIRBAG | (AR) ochranná vrstva pod pláštěm proti mechanickému poškození               |
| Plášť             | Y PVC plášť   |
|                   | E plášť z PE  |
|                   | EY kombinovaný plášť PE+PVC   |
|                   | VE vodotěsný plášť s Al folií   |
|                   | OY olověný plášť s PVC ochranou vrstvou                                     |
| Závěsný kabel     | z za posledním písmenem značky  |

#### Příklad označení:

AXEKAVEz - třížilový závěsný kabel s hliníkovým jádrem žíly, s XPE izolací, Al stíněním a pláštěm žíly z polyetylénu, radiálně vodotěsný

AXEKVC(AR)E kabel s Al jádrem, s XPE izolací, Cu kovovým stíněním s ochranou proti axiálnímu šíření vody pod pláštěm, s ochrannou vrstvou pod pláštěm proti mechanickému poškození

a s PE pláštěm

AVXEKVCVE - vodotěsný kabel s vodotěsným Al jádrem, s XPE izolací, Cu kovovým stíněním s ochranou proti axiálnímu šíření vody pod pláštěm a s PE pláštěm kombinovaným s Al folií, která brání vniknutí vody s okolí do kabelu