



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra aplikované fyziky a techniky

Diplomová práce

Problematika zaměřování poruch na kabelech

Vypracoval: Bc. Petr Vokálek
Vedoucí práce: RNDr. Pavel Kříž, Ph.D.

České Budějovice 2014

Anotace

Tato práce se zabývá problematikou zaměřování poruch na kabelech uložených v zemi. Nejprve seznamuje s jednotlivými druhy kabelů a jejich základními fyzikálními vlastnostmi. V další části uvádí nejpoužívanější metody na zaměřování kabelových poruch včetně jejich porovnání. Poté popisuje stejnosměrná měření, která mimo jiné slouží i pro určení o jaký druh poruchy se jedná. V praktické části je provedeno kompletní stejnosměrné měření na konkrétním kabelu a zjištění mezí použitelnosti vybraných metod na zaměřování poruch.

Klíčová slova

Kabel, měření, izolační odpor, porucha, zaměřování, kabelový hledač.

Abstract

This work is focused on the locating of faults of the cables laid in the ground. Firstly it describes particular types of cables and their basic physical characteristics. Following part deals with widely used methods for locating cable faults including their comparison. Than it describes DC measurements which are used to identify the type of fault. In the practical part there is a complete DC measurement on the specific cable and finding out the limits of usefulness regarding to the chosen methods for locating the failures.

Keywords

Cable, measurement, insulation resistance, fault, locating, cable locator.

Poděkování

Děkuji RNDr. Pavlu Křížovi, Ph.D., vedoucímu mé diplomové práce, za odborné vedení, cenné rady a vřelou pomoc. Dále bych chtěl poděkovat svému zaměstnavateli a kolegům za trpělivost a pomoc při řešení praktické části.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

30. dubna 2014

.....
(podpis autora)

Obsah

1.	Úvod	6
2.	Základní pojmy	7
3.	Rozdělení a popis jednotlivých druhů kabelů	8
3.1.	Silové kabely	8
3.1.1.	Kabely nn	9
3.1.2.	Kabely vn a vvn	11
3.2.	Sdělovací kabely	12
3.2.1.	Symetrické kabely	13
3.2.2.	Koaxiální kabely	15
3.3.	Optické kabely	15
3.3.1.	Mnohavidová vlákna	16
3.3.2.	Jednovidová vlákna	16
4.	Základní fyzikální vztahy kabelových vedení	18
4.1.	Náhradní schéma kabelového vedení	18
4.2.	Primární parametry vedení	19
4.2.1.	Činný odpor R	19
4.2.2.	Indukčnost L	21
4.2.3.	Kapacita C	22
4.2.4.	Svod G	23
4.3.	Sekundární parametry vedení	24
4.3.1.	Měrná vlnová míra přenosu γ	24
4.3.2.	Charakteristická (vlnová) impedance Z	26
4.4.	Parametry optických vedení	26
4.4.1.	Index lomu n	26
4.4.2.	Numerická apertura NA	27
4.4.3.	Měrný útlum α	27
5.	Metody používané na zaměřování poruch na kabelech a jejich porovnání	29
5.1.	Impulsová metoda	29
5.1.1.	Metoda TDR	29
5.1.2.	Metoda OTDR	33
5.2.	Můstkové metody	35
5.2.1.	Zaměřování izolačních chyb	36
5.2.2.	Zaměřování přerušených žil	42
5.3.	Induktivní metoda	44
5.3.1.	Metoda nejasného minima	44
5.3.2.	Závitová metoda	45
5.4.	Rázová akustická metoda	46
5.5.	Metoda krokového napětí	47
6.	Postup při zaměřování různých druhů poruch	49
6.1.	Druhy kabelových poruch	49
6.1.1.	Snížený izolační odpor vůči zemi	49
6.1.2.	Zkraty	49
6.1.3.	Přerušení žil	49
6.1.4.	Přeskoky	49
6.1.5.	Přeslechy	49
6.2.	Postup při zaměřování poruch	50
6.2.1.	Předběžná lokalizace	50
6.2.2.	Vytyčení trasy	51

6.2.3.	Přesné určení místa poruchy	55
7.	Stejnoseměrná měření na kabelech	57
7.1.	Zkouška kontinuity.....	58
7.2.	Měření izolačního odporu	58
7.3.	Napěťová zkouška.....	60
7.4.	Měření stejnosměrného odporu.....	61
8.	Zjišťování mezí použitelnosti měřicích metod	63
8.1.	Popis jednotlivých poruch.....	65
8.1.1.	Porucha číslo 1	65
8.1.2.	Porucha číslo 2	66
8.1.3.	Porucha číslo 3	68
8.1.4.	Porucha číslo 4	70
8.1.5.	Porucha číslo 5	71
8.1.6.	Porucha číslo 6	72
8.1.7.	Porucha číslo 7	73
8.1.8.	Ostatní poruchy	74
8.2.	Vyhodnocení	74
8.3.	Analýza poruch a jejich zaměřování	75
9.	Závěr	76
10.	Seznam zkratk	77
11.	Seznam použité literatury	78
12.	Přílohy	81

1. Úvod

Kabely patří mezi nejdůležitější součásti dnešního světa. Přestože jsou všude kolem nás, většinu jich nevidíme. Jejich význam si tak uvědomíme až v případě jejich poruch, kdy se ocitneme bez elektrického proudu nebo spojení s okolím.

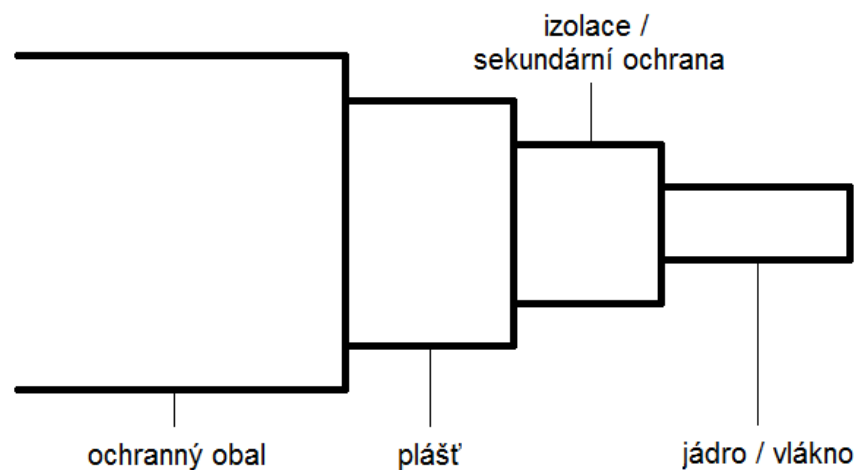
Kabelové poruchy vznikají z různých důvodů. Největší poruchovost způsobují různá mechanická poškození. Nejčastější příčinou těchto poškození je přehlédnutí kabelu při výkopových pracích, ačkoliv je nad nimi položena výstražná fólie upozorňující na jejich přítomnost. Barva fólie pak alespoň usnadňuje, zejména v případě jejího potíštění, identifikaci majitele kabelu (červená značí silové, oranžová telekomunikační a modrá železniční sdělovací a zabezpečovací kabely). Poškození kabelu zemním strojem obvykle způsobí úplné nebo částečné přerušení jeho provozu. K přetržení kabelu pak dochází v případě slabších průměrů, především celoplastových kabelů, velmi snadno a často. Zaměření tohoto druhu poruchy je tedy většinou snadnou záležitostí, spočívající v kontrole stavební činnosti poblíž kabelové trasy. Mezi další důvody vzniku poruch patří například: trvalé otřesy, zemní posuny, korozní účinky prostředí, působení bludných proudů, hlodavců a brouků, stárnutí izolace, provozní a atmosférické přepětí. Neobvyklé nejsou ani poruchy, jejichž příčinou je neodborná nebo nespolehlivá práce montážních a údržbových pracovníků. Rychlé zaměření poruch způsobených těmito příčinami vyžaduje nejen různé druhy měřicích přístrojů, ale také zkušenosti měřicího technika spočívající v jejich správné volbě a užití.

Kabelová technika je obor, kterým se pracovně zabývám. Při své činnosti jsem však nenalezl literaturu, která by se souhrnně věnovala všem typům kabelů ukládaných do země. Tato diplomová práce je tak zaměřena na problematiku okolo kabelů, zejména pak na jejich poruchy, jež jsou s kabely neodmyslitelně spojeny.

2. Základní pojmy

Kabel je soustava paralelně vedených vodičů chráněných společným pláštěm. Ačkoliv většinou obsahuje více vodičů, jsou i takové, které obsahují vodič jen jeden. Vodiče v kabelu mohou být buď metalické, nebo optické, případně i jejich kombinace. Z důvodu ochrany před mechanickým poškozením a klimatickými změnami jsou nejčastěji umisťovány do země. [1, 2]

Základem každého elektrovodného kabelu je vodič, jenž je v kabelové terminologii nazýván jádrem. Jádro obalené izolací tvoří žílu. Stočením dvou nebo čtyř žil mezi sebou vzniká prvek (platí pro sdělovací kabely). V případě optického kabelu je základem optické vlákno. Kabelová duše, jež je vytvořena stáčením několika těchto elementů dohromady, je kryta pláštěm. Ten slouží k ochraně kabelové duše před vnějšími vlivy, hlavně vlhkostí. Zejména proti mechanickému poškození může být kabel vybaven další vrstvou v podobě druhého pláště nebo ochranného obalu. Na obr. 2.1 je schématické zobrazení hlavních částí kabelu. [2, 3, 4, 5]



Obr. 2.1 Schématické zobrazení hlavních částí kabelu

S kabely jsou spjaty tzv. kabelové soubory, jež v sobě zahrnují zejména spojky rovné, spojky odbočovací a podle druhu kabelu buď koncovky, nebo závěry. Tyto soubory tedy slouží ke spojování, odbočování a ukončování kabelů. Ačkoliv s nástupem nových technologií a používáním materiálů s lepšími vlastnostmi došlo ke značnému snížení pracnosti montáže těchto souborů a zlepšení jejich výsledných parametrů, stále jsou to provozně nejslabší místa kabelového vedení. V současnosti jsou nejvíce používány teplem smrštitelné trubice a manžety a ke spojení nebo ukončení jednotlivých jader se místo pájení používá lisování nebo zařezávání.

3. Rozdělení a popis jednotlivých druhů kabelů

Kabely lze rozdělit do skupin podle mnoha kritérií. Například podle způsobu instalace na kabely závlačné, úložné, závěsné, samonosné, říční a podmořské. Nejběžnější rozdělení je však do tří základních kategorií na: [1, 2]

- silové kabely,
- sdělovací kabely,
- optické kabely.

3.1. Silové kabely

Silové kabely jsou tvořeny metalickými vodiči, jež jsou určeny k přenosu a rozvodu elektrické energie pro pracovní účely. Přenášený výkon je řádově v rozsahu 10^1 až 10^8 W, přičemž frekvence zpravidla nepřesahuje hodnotu několika desítek Hz. V příloze č. 1 a 2 je uvedeno současné i dnes již nepoužívané značení silových kabelů, včetně významu jednotlivých symbolů. Určujícími podmínkami silových kabelů jsou jmenovité napětí, počet žil, materiál a průřez jader a také materiál pláště a ochranného obalu. [2, 3, 6]

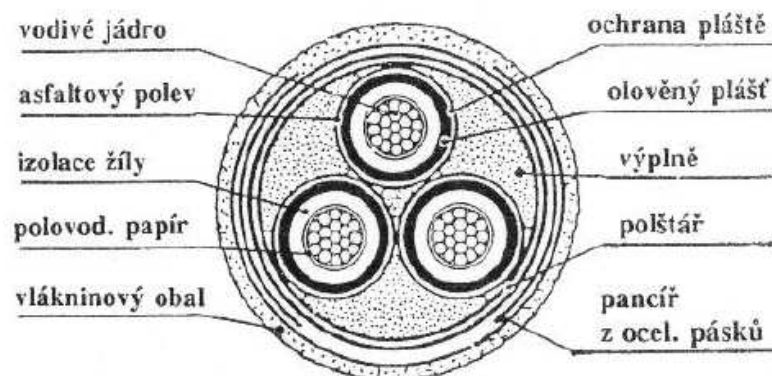
Jmenovité napětí kabelu je referenční napětí, na něž je kabel navržen a zkoušen. Je vyjádřeno dvěma hodnotami střídavého napětí U_0/U kde:

U_0 je efektivní hodnota napětí mezi krajním vodičem a zemí [V],

U je efektivní hodnota napětí mezi dvěma krajními vodiči vícežilového kabelu nebo soustavy jednožilových kabelů [V].

Toto napětí kabelů musí být v systémech střídavého proudu větší nebo rovno napájecímu jmenovitému napětí. Nejvyšší provozní napětí kabelu může být o 15% vyšší než napětí jmenovité. V systémech stejnosměrného proudu nesmí být napájecí jmenovité napětí větší než 1,5 násobek jmenovitého napětí kabelu. Nejčastější rozdělení silových kabelů je podle výše provozního napětí, na: [2, 3, 6]

- nízkonapěťové kabely (kabely nn),
- vysokonapěťové kabely (kabely vn),
- kabely pro velmi vysoké napětí (kabely vvn).



Obr. 3.1 Řez silovým kabelem s napouštěnou papírovou izolací [7]

3.1.1. Kabely nn

Tyto kabely jsou určeny pro jmenovité napětí do 1kV a tvoří tak nejpočetnější skupinu silových kabelů. [2, 3, 6]

3.1.1.1. Počet žil

Kabely nn se vyrábějí jak v provedení s jednou žílou tak i v provedení s více žilami. Nejčastější provedení je tří, čtyř a pěti žilové. [3, 6, 9]

3.1.1.2. Materiál a průřez jader

Jádra silových kabelů se nejčastěji vyrábějí z čistého hliníku a elektrolytické mědi. Protože hliník má v porovnání s mědí horší vodivost (hodnoty vodivosti jsou uvedeny v tabulce 4.1), musí být pro stejně dimenzované kabely průřez hliníkových jader větší. Ačkoliv jsou kabely s hliníkovými jádry silnější, jsou oproti kabelům s měděnými jádry podstatně lehčí a levnější. [2, 3, 6]

Jmenovité průřezy jader jsou předepsány z této řady: 0,5; 0,75; 1,0; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70; 95; 120; 150; 185; 240; 300; 400; 500; 800 mm². Nejmenší průřez kabelů s hliníkovými jádry je 2,5 mm². Průřezy vyšší než 300 mm² jsou jen u jednožilových kabelů. U vícežilových kabelů mají všechna jádra stejný průřez. Výjimku tvoří pouze čtvrtá žíla sloužící jako ochranný vodič. Její průřez je u kabelů větších průřezů menší. V tabulce č. 3.1 jsou uvedeny průřezy a jim odpovídající průměry plných jader. [3, 6, 7]

Tabulka 3.1: Rozměry plných jader [7, 10]

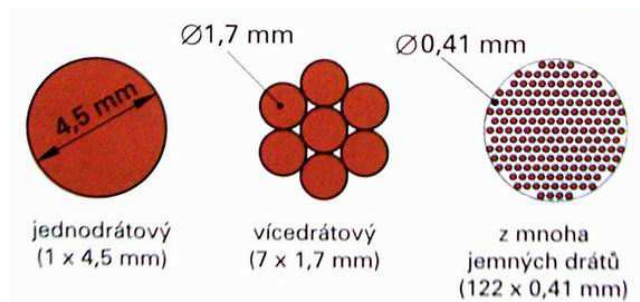
Jmenovitý průřez [mm ²]	Průměr plného vodiče [mm]
0,5	0,80
0,75	0,98
1	1,13
1,5	1,38
2,5	1,78
4	2,26
6	2,76
10	3,57
16	4,50

3.1.1.3. Provedení a profil jader

Provedení jader musí zajišťovat dostatečnou ohebnost kabelu. Podle provedení rozlišujeme jádro na: [2, 3, 6, 7]

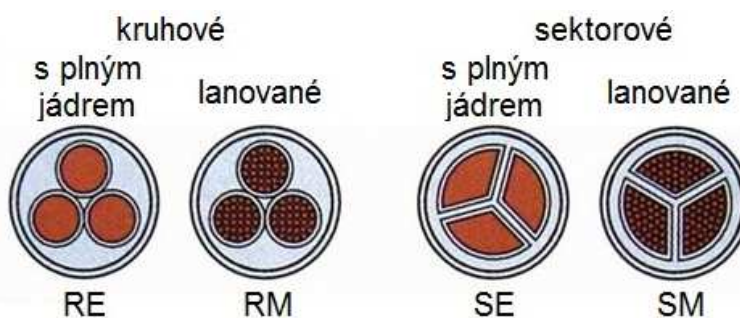
- tuhé plné (jednodrátové), toto jádro může být do maximálního průřezu 16 mm² a podle normy ČSN EN 60228 je zařazeno do třídy 1,
- tuhé slané (vícedrátové), zpravidla je sedmidrátové a podle normy ČSN EN 60228 je zařazeno do třídy 2,
- ohebné (vícedrátové, tzv. sypané lanko) je složeno z většího počtu tenkých drátků a podle normy ČSN EN 60228 je zařazeno do třídy 5.

Na obr. 3.2 jsou zobrazena jednotlivá provedení pro Cu jádro o průřezu 16 mm² včetně počtu a průměru jednotlivých vodičů.



Obr. 3.2 Provedení Cu jádra o průřezu 16 mm² [15]

Profil jader může být kruhový nebo sektorový (obr. 3.3). Sektorová jádra se používají u tří a čtyř žilových kabelů větších průřezů ke zmenšení výsledného průměru kabelu. Značení jader pochází z němčiny a je uvedeno v obr. 3.3. V příloze č. 3 jsou uvedena jádra silových vodičů a kabelů dle ČSN EN 60228. [2, 3, 6]



Obr. 3.3 Profil kabelových jader [15]

3.1.1.4. Izolace jader

Jádra silových kabelů se izolovala napuštěným papírem (tzv. klasická izolace). Jednou složkou této izolace je tedy papír, druhou složku tvoří impregnační hmota. Tou je zahuštěný speciální minerální olej, který je za běžných okolních teplot tekutý. Kabely nn se s tímto typem izolace již několik desítek let nepokládají, a proto je jich funkčních jen nepatrné množství. Kabely s touto klasickou izolací jsou označovány zkratkou PILC.

Ostatní typy izolace jsou z různých druhů polymerů. Nejběžnějším typem izolace kabelů nn je PVC. V prostředích kde je PVC nevyhovující mají jádra buď pryžovou, PE, XLPE (zesíťovaný polyetylen) nebo případně teflonovou izolaci. [2, 3, 6, 8, 9, 10]

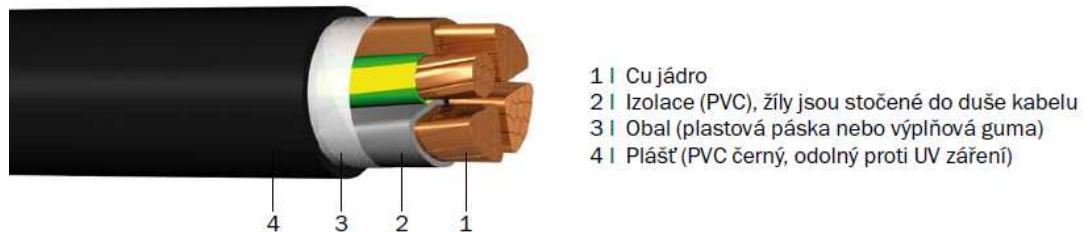
3.1.1.5. Materiál pláště a ochranného obalu

Pláště silových kabelů jsou trubkové bezešvé a lze je rozdělit na kovové a nekovové.

Kovové pláště jsou z hliníku nebo z olova. Tyto pláště mají všechny staré kabely, tedy s napuštěnou papírovou izolací (PILC). Nad tímto pláštěm je vždy další vrstva. U kabelů PILC je nejčastěji z PVC, které je dále chráněno pancířem ze dvou ocelových pásků krytých vlákninovým asfaltovým obalem (obr. 3.1). [3, 6, 8]

Nekovové pláště jsou z PVC (nejčastější plášť kabelů nn) nebo PE. Nově jsou v prostředích vyžadující bezpečnost osob v případě požáru, typicky v budovách a tunelech, instalovány kabely s oranžovým nebo hnědým pláštěm. Pláště těchto kabelů, jež jsou označovány jako HFFR (bezhalogenový oheň retardující) nebo LSZH (bezhalogenový, nízkokouřový), jsou obecně založeny na polyetylenu s

přídavkem minerálních plniv. Mezi pláštěm a izolací mohou mít některé typy kabelů nn stínění měděnými dráty s protispirálou z měděné pásky. V případě ochranného obalu mohou mít plastové kabely druhý plášť opět z PE nebo PVC. Mezi těmito plášti může být opleť z ocelových pozinkovaných drátů nebo pásků, tzv. armování. [2, 8, 9, 10]



Obr. 3.4 Zemní kabel nn (1-CYKY) [16]

3.1.2. Kabely vn a vvn

Kabely vn jsou určeny pro jmenovitá napětí 3, 6, 10, 22, 35 kV. Kabely vvn pak pro napětí 110 kV a více. [3, 6]

3.1.2.1. Počet žil

Kabely vn a vvn se vyrábějí buď v provedení s jednou žílou, nebo se třemi žilami. Nejběžnější provedení plastových kabelů je jednožilové, naopak nejběžnější provedení kabelů PILC je třížilové (obr. 3.1). V případě použití jednožilových kabelů je pak třífázový rozvod řešen třemi kabely položenými blízko sebe, v průřezu do tvaru trojúhelníku. [3, 6, 11, 12]

3.1.2.2. Materiál a průřez jader

Materiál jader je stejný s jádry kabelů nn, tedy čistá měď a hliník. Stejná je i řada předepsaných jmenovitých průřezů jader s tím rozdílem, že začínají od 25 mm². Všechna jádra mají zásadně stejný průřez. [3, 6, 7, 11, 12]

3.1.2.3. Provedení a profil jader

Profil jader je kruhový plný nebo lanovaný. Sektorový je jen u kabelů do 6 kV. [3, 6, 7, 11, 12]

3.1.2.4. Izolace jader

Stejně jako v případě kabelů nn se i jádra kabelů vn a vvn izolovala napuštěným papírem. S touto izolací se, ale u nás kabely vn a vvn pokládali ještě v počátku devadesátých let minulého století. Vzhledem k životnosti kabelů několika desítek let, je jich tedy stále funkčních nezanedbatelné množství.

Materiál izolace současných kabelů vn a vvn je výhradně XLPE. Tento polymer, který vznikne po vytvoření příčných vazeb mezi polymerními řetězci PE, tedy zesítním, má podstatně lepší mechanické vlastnosti (zejména za vyšších a nižších teplot), chemickou odolnost a nižší dielektrické ztráty. Pro zajištění rovnoměrného rozložení elektrického pole mají kabely vn a vvn oproti kabelům nn navíc mezi jádrem a izolací polovodivou vrstvu (viz obr. 3.5). [3, 6, 8, 11, 12]

3.1.2.5. Materiál pláště a ochranného obalu

Pláště kabelů PILC jsou podobné jako pláště nn kabelů. V případě třížilového kabelu má ale každá žíla svůj olověný plášť. Ten je chráněn vrstvou PVC. Mezi pláštěm a izolací je další vrstva polovodivého papíru (obr. 3.1).

Dnes používané kabely vn (obr. 3.5) a vvn mají také nad izolací další polovodivou vrstvu. Nad touto vrstvou je ale stínění měděnými dráty s protispirálou z měděné pásky. Protože kabely vvn mají navíc oproti kabelům vn kovové pouzdro, jsou i provedení bez tohoto stínění. Materiálem kovových pouzder je hliník nebo olovo, případně i ocel. Materiálem plášťů je PE (nejčastěji), PVC nebo nějaký typ bezhalogenního polymeru. V případě ochranného obalu mohou mít plastové kabely druhý plášť opět z PE nebo PVC. Mezi těmito plášti může být oplet z ocelových pozinkovaných drátů nebo pásků, tedy stejně jako u kabelů nn. [3, 8, 11, 12]

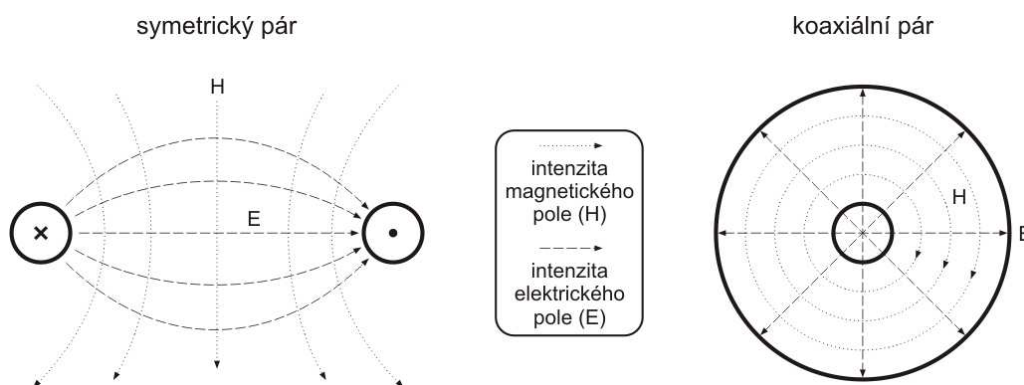


Obr. 3.5 Kabel vn (10-AXEKCE) [11]

3.2. Sdělovací kabely

Sdělovací kabely jsou určeny k přenosu elektrických signálů na malé i mezikontinentální vzdálenosti. Na rozdíl od silových kabelů přenášejí nepatrný výkon (až 10^{-6} W), ale o frekvencích až 10^8 Hz. Elektrické signály jsou přenášeny po dvojici souběžných metalických vodičů. Dvojice vodičů tak tvoří základní konstrukční prvek (pár) sdělovacích kabelů. Oproti silovým kabelům není uváděn průřez jádra, ale jeho průměr. Podle uspořádání vodičů (obr. 3.6), se sdělovací kabely rozdělují na dva základní druhy: [1, 2, 4, 13, 14]

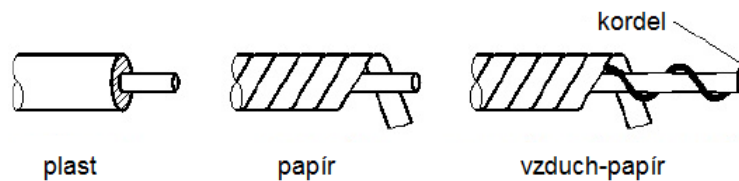
- symetrické kabely a
- koaxiální (asymetrické) kabely.



Obr. 3.6 Elmag. pole symetrického a koaxiálního páru [5]

3.2.1. Symetrické kabely

Oba vodiče symetrického páru jsou ve vzájemně rovnocenné pozici, jsou stejné a mají tudíž vůči zemi téměř shodné impedance. Vodiče jsou vyrobeny z plného měděného drátu o velké čistotě (až 99,95 %). Hliník, se kvůli špatným mechanickým vlastnostem přestal používat již před několika desítkami let. Izolace vodičů má zásadní vliv na parametry kabelového vedení. Se vzrůstající přenášenou frekvencí rostou nároky na její elektrické vlastnosti. V současnosti nejpoužívanější izolací je plný nebo napěněný PE. Mezi další používané izolace patří PVC a teflon (PTFE). Dříve se používala izolace polyizobutylenová (PIB), papírová a protože nejlepším dielektrikem je vzduch, tak kombinace vzduch-papír a vzduch-styroflex. Vzduchová vrstva je vytvořena kordelem, což je provázek ovinutý kolem jádra (obr. 3.7). [1, 2, 4, 13, 14]

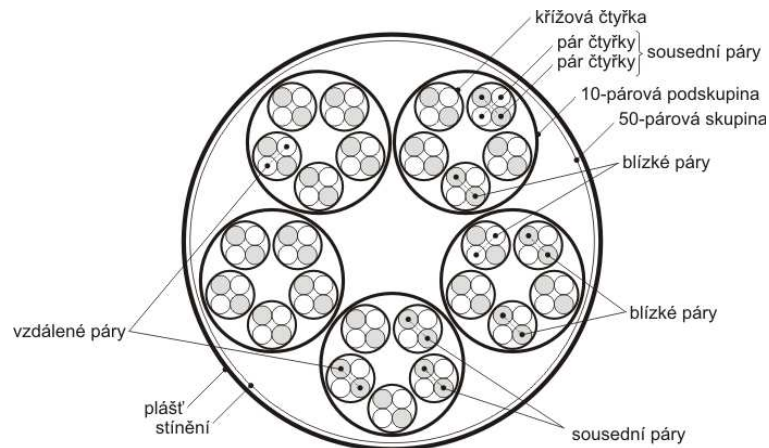


Obr. 3.7 Izolace jader symetrických kabelů [30]



Obr. 3.8 Typy symetrických prvků [5]

Dvě žíly spolu stočené s určitou délkou zkrutu tvoří symetrický pár. Kabely tvořené tímto prvkem se potom nazývají párové. Dalším kabelovým prvkem symetrických kabelů je čtyřka a to buď křížová, nebo DM (Dieselhorst-Martin). Stočením čtyř žil se stejnou délkou zkrutu vznikne křížová čtyřka, označovaná X. K přenosu elektromagnetické vlny se potom využívá dvojice protilehlých žil. DM čtyřka vzniká stočením dvou párů, každého s rozdílnou délkou zkrutu téhož charakteru, jež jsou poté spolu stáčený s další délkou zkrutu, opačného charakteru (obr.3.8). Kabely tvořené žilami stáčených do čtyřek jsou potom označovány jako čtyřkové. [1, 4, 13]



Obr. 3.9 Skupinová konstrukce místních kabelů (25-čtyřkový kabel) [5]

Kabelovou duši tvoří prvky, tedy páry nebo čtyřky, jež jsou stáčeny buď v protisměrných koncentrických polohách (vrstvách) nebo skupinově (obr. 3.9).

Plášť kabelu chrání duši je v případě starých, tedy papírových kabelů z olova (často legovaného antimonem) nebo hliníku s následnými dalšími ochrannými obaly z PVC a pancířem ze dvou ocelových pásků krytých vlákninovým asfaltovým nebo opět plastovým obalem.

V případě plastové izolace jader, tedy relativně nových kabelů, je plášť opět plastový (PE, PVC, HFFR) a kabel je tak označován jako celoplastový. Tyto kabely mají plášť doplněný hliníkovou stínící fólií. Jako ochrana proti podélnému šíření vlhkosti, může být jejich duše mezi žilami plněna gelem. Kabel ještě může být chráněn proti mechanickému poškození pancéřováním z ocelových pásků nebo drátů potažených opět plastovým pláštěm. V případech, vyžadující ochranu před naindukovaným napětím jsou dráty hliníkové. V příloze č. 4 a 5 je uvedeno značení těchto kabelů.

Z hlediska provozu se dále tyto kabely dělí na: [4, 13]

- nízkofrekvenční a
- vysokofrekvenční.

3.2.1.1. Nízkofrekvenční kabely

Jsou označovány jako nf kabely a používají pro místní a spojovací účely. Jejich duše je složena z párů, křížových čtyřek (ty jsou pak značeny XN) nebo DM čtyřek. Počet těchto prvků v místních kabelech může být až 1000. Průměry jader párů jsou 1 mm, XN čtyřek 0,4; 0,6 nebo 0,8 mm. DM čtyřky jsou v nf pupinovaných dálkových nebo uzlových kabelech a mají průměr jader od 0,9 do 1,3 mm. Pupinace (pojmenovaná po M. I. Pupinovi) slouží ke snížení útlumu a zmenšení zkreslení útlumové charakteristiky v nf pásmu, dlouhých kabelových vedení. Je založena na umělém zvyšování indukčnosti vedení vkládáním indukčních cívek po pravidelných vzdálenostech (pupinační krok). Protože digitální systémy vyžadují širší kmitočtové pásmo, jež pupinační cívky omezují, byli v 90. letech minulého století ve velké míře pupinované kabely depupinovány. V nových kabelech se tedy pupinace již nepoužívá.



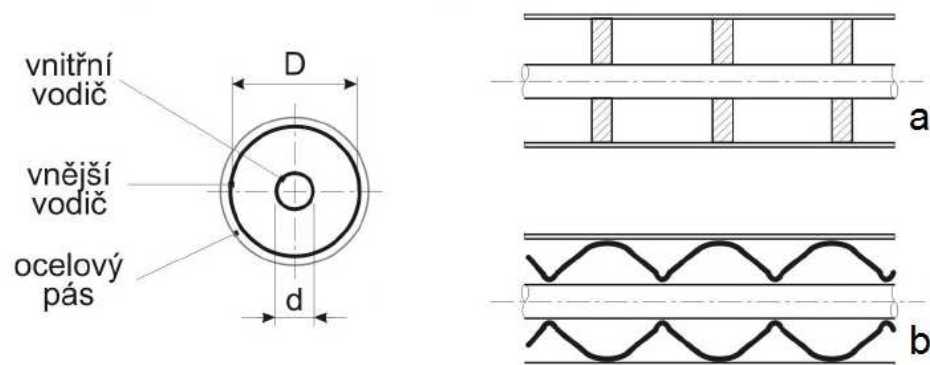
Obr. 3.10 Sdělovací kabel konstrukce TCEPKPFLE [16]

3.2.1.2. Vysokofrekvenční kabely

Jsou označovány jako vf kabely a jsou určeny pro nosné telefonní systémy. Používají pouze křížové čtyřky (ty jsou pak značeny XV) s izolací vzduch-papír nebo vzduch-styroflex. Průměr jader je od 0,9 do 1,3 mm. Dálkové kabely většinou obsahují kombinaci XV a DM. Počet prvků v těchto kabelech bývá do několika desítek. V současnosti jsou tyto kabely nahrazovány kabely s optickými vlákny.

3.2.2. Koaxiální kabely

Vodiče koaxiálního páru jsou uspořádány soustředně. Tvoří tak trubku (vnější vodič) se středovým vodičem (vnitřní vodič). Elektromagnetické pole zůstává uvnitř trubky a nevzniká tak vzájemné ovlivňování souběžných párů (viz obr. 3.6). Vnitřní vodič, označován jako jádro, je z plného měděného drátu (bývá i v podobě trubičky). Vnější vodič tvoří měděný pás stočený do trubky. Ta obepíná PE izolační kotoučky, které jsou nasazeny na vnitřním vodiči a zajišťují tak souosost (obr. 3.11a). V novějších kabelech jsou tyto kotoučky nahrazeny balónkovou izolací vytvořenou z PE trubičky, jež je smáčklá v malých vzdálenostech k vnitřnímu vodiči (obr. 3.11b). Izolace bývá provedena i plnou pěnovou vrstvou PE. Ocelový pásek ovinutý kolem trubky slouží jako elektromagnetické stínění a také zajišťuje ochranu proti mechanickým deformacím. Průměry vodičů koaxiálního páru musí být kvůli minimalizaci měrného útlumu v určitém poměru. Optimální poměr D/d pro vzduchové dielektrikum a měděné vodiče je 3,6 (obr. 3.11). Nejrozšířenější typ v telekomunikacích je tzv. střední koaxiální pár (9,5/2,6 mm), malý koaxiální pár (4,4/1,2 mm) a mikrokoaxiální pár (2,8/0,65 mm). [1, 2, 4, 13]



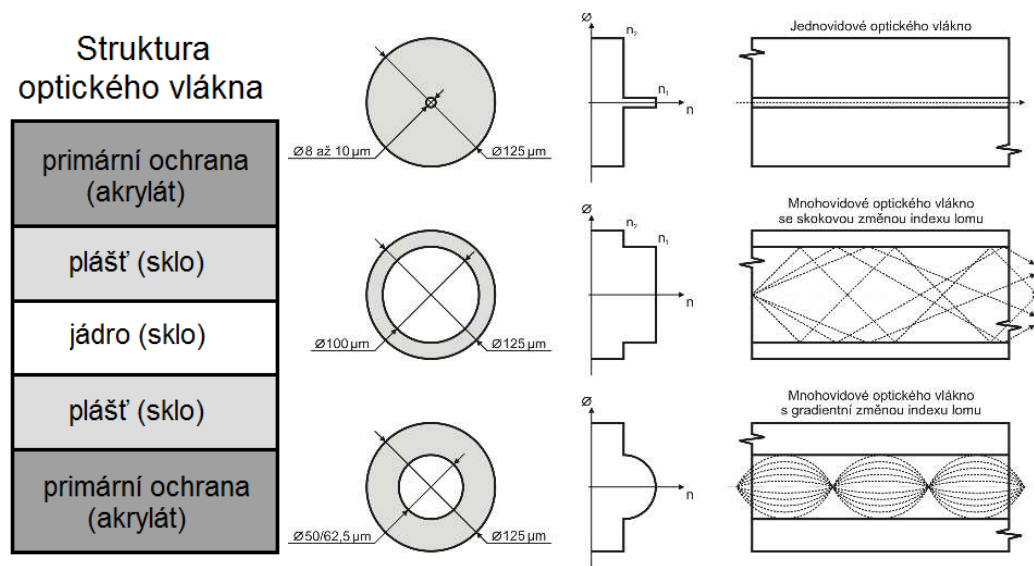
Obr. 3.11 Konstrukce koaxiálního páru [5]

V současnosti se koaxiální kabely používají zejména pro rozvod CATV, tedy na malé vzdálenosti. V telekomunikacích jsou tyto kabely většinou již nahrazeny kabely s optickými vlákny.

3.3. Optické kabely

Tyto kabely jsou určeny k přenosu světelných signálů na malé i mezikontinentální vzdálenosti. Elektromagnetické vlnění je vedeno v dielektrických optických vláknech, čímž se zásadně liší od výše uvedených kabelů. Proto nejsou tyto kabely uvedeny jako další druh sdělovacích kabelů. K přenosu se využívá buď jedno vlákno, nebo častěji dvojice vláken (pro každý směr jedno). Každé vlákno se skládá z jádra o indexu lomu n_1 , pláště o indexu lomu n_2 a primární ochrany (obr. 3.12). Vedení světelných paprsků optickým vláknem je založeno na principu úplného odrazu (viz kap. 4.4). Paprsek je veden jádrem, jež má (stejně jako primární ochrana) větší index lomu než plášť (obr. 3.12). Vlákna mohou být z plastu (vlákna POF), ze skla (celokřemenná vlákna) nebo z kombinace skleněného jádra a plastového pláště (vlákna PCS). Vlákna používaná v kabelové technice mají jádro a plášť vyrobeno z ultra čistého křemičitého skla SiO_2 a liší se pouze obsahem dopantů, kterými je ovlivňována přesná hodnota indexu lomu. Jádro s pláštěm tvoří vzájemně neoddělitelný celek. Primární ochrana zajišťuje ohebnost optického vlákna a slouží tak i k jeho mechanické ochraně.

Průměr vlákna s primárním ochranným povlakem, který bývá ze silikonové pryskyřice, je 250 μm . [2, 17, 18, 19, 20]



Obr. 3.12 Struktura a profil indexu lomu optických vláken [5]

Podle počtu možných vidů v jádře, se vlákna a tím i následně kabely, dělí na dva základní druhy: [2, 17, 18, 19, 20]

- mnohavidová vlákna a
- jednovidová vlákna.

Oba druhy vláken jsou většinou vzájemně fyzicky nerozeznatelné.

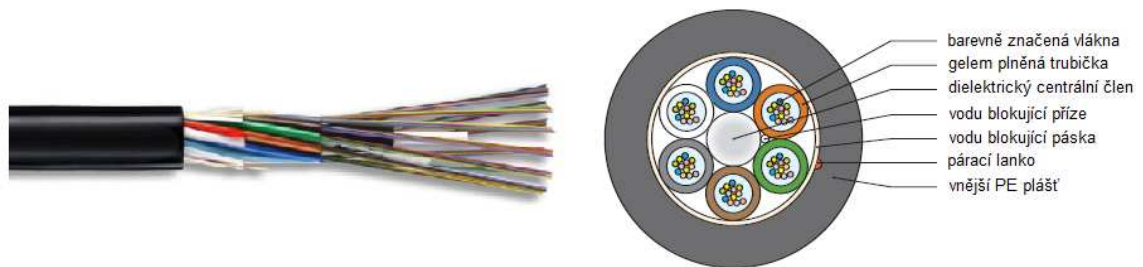
3.3.1. Mnohavidová vlákna

V těchto vláknech se šíří řádově až tisíce vidů a proto jsou označována zkratkou MM (multi mode). Podle průběhu indexu lomu jádra se dělí na vlákna se skokovou změnou indexu lomu (SI) a tzv. vlákna gradientní (GI), (obr. 3.12). MM vlákna se skokovou změnou indexu lomu jsou historicky nejstarší a z důvodu špatných přenosových vlastností se v telekomunikacích již dávno nepoužívají. Gradientní vlákna mají průměr jádra 50 nebo 62,5 μm a jeho profil indexu lomu je blízký parabolickému. Tento profil zabezpečuje vyrovnaní rychlosti šíření jednotlivých vidů v jádru, čímž dojde oproti vláknům s SI profilem k podstatnému snížení vidové disperze a tedy zlepšení přenosových vlastností. Tato vlákna se používají pro přenos na krátké vzdálenosti (většinou do 1 km) a jsou nejrozšířenější v LAN sítích. Jednotlivé profily včetně vyznačených vidů v jádru jsou zobrazeny v obr. 3.12.

3.3.2. Jednovidová vlákna

Tato vlákna označovaná SM (single mode) mají průměr jádra (6-10 μm), který je tak srovnatelný s vlnovou délkou světla. Při použití vlnové délky větší než je tzv. mezní vlnová délka (její hodnota závisí na typu SM vlákna, bývá kolem 1260 nm) se jádrem může šířit jen jeden axiální elektromagnetický vid. Šíření jen jednoho vidu má zásadní vliv na dosah přenosu. Tato vlákna mají velmi malý útlum (0,2 dB/km při λ 1550 nm), čímž vzdálenost mezi opakovači může být i přes 100 km. Používají se tedy k přenosu na delší vzdálenosti. Z důvodu podstatného snížení výrobních cen jak samotných vláken, tak i přenosových zařízení, jsou v současnosti tato vlákna používána i na vzdálenost jen několika desítek metrů

Protože optická vlákna jsou velmi citlivá na mechanické namáhání, jsou obalena ještě další, tzv. sekundární ochranou (buffer). Ta může být buď volná, nebo těsná. Volná sekundární ochrana je tvořena plastovou trubičkou, ve které jsou vlákna volně uložena. Mezi vlákny je speciální gel nebo pásek zabráňující podélnému šíření vlhkosti. Průměr trubičky je několik mm a závisí zejména na počtu vláken, která jsou uvnitř. Zpravidla jsou v počtu od 2 do 12 vláken. Maximální počet vláken v trubičce je 24, což je dáno barvami pro jejich vzájemné rozlišení. Pokud jsou vlákna slepená do pásků (po 4, 8 nebo 12 vlákech) tzv. ribbonu, může jich být i 144 a výsledný kabel pak může mít i přes 1000 vláken. Těsná sekundární ochrana je nanášena přímo na primárním povlaku a tvoří tak s vláknem jeden celek. Jeho průměr potom bývá 900 μm . Vlákna s touto ochranou bývají volně umístěna do aramidové příze se kterou jsou pak zaplášťena. Počet takto umístěných vláken v kabelu je maximálně několik desítek.



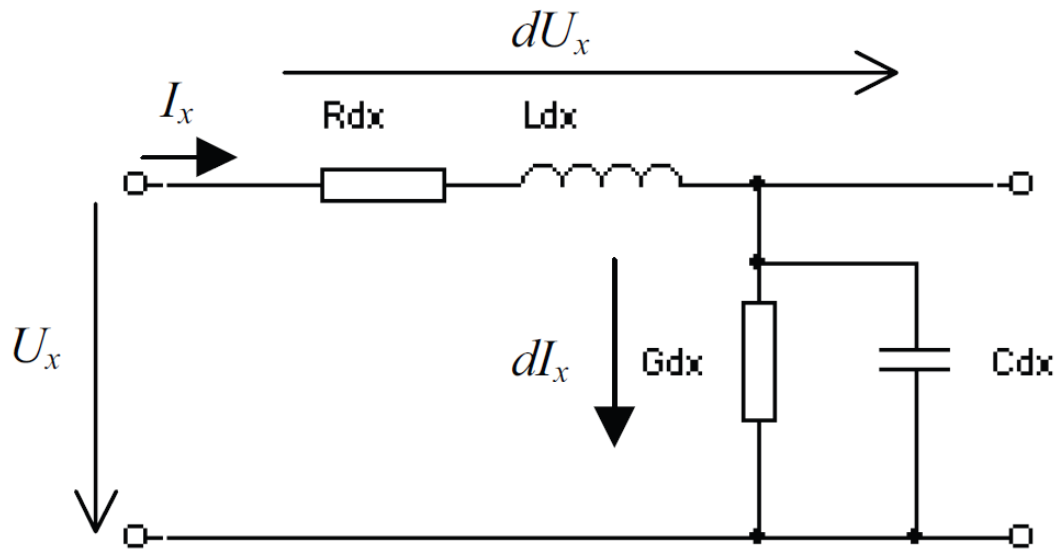
Obr. 3.13 Konstrukce optického kabelu Samsung SJAD [21]

Kabely určené pro venkovní prostředí využívají volnou sekundární ochranu. Trubičky jsou stáčeny podél centrálního tahového členu a jsou fixovány různými oplety, často pomocí aramidové příze. Ta potom zároveň slouží i jako další tahový prvek kabelu. Celá konstrukce je kryta plastovým pláštěm, nejčastěji z PE (obr. 3.13). Tato standardní konstrukce je určena pro zafukování do v zemi umístěných HDPE chrániček, což je nejběžnější aplikace optických kabelů. Pro ostatní případy, jako je zavěšení nebo přímé uložení do země, je vnitřní konstrukce doplněna například o větší množství aramidové příze nebo o oplet ocelovou páskou a vnější plášť doplněn o další ochranné prvky (druhý plastový plášť, armování atp.). Kabelová duše může obsahovat i Cu pár. Trubička s vlákny může být i součástí duše symetrických kabelů, případně pláště kabelů vn. Kabely určené pro vnitřní prostředí využívají těsnou sekundární ochranu a nemají centrální prvek. Plášť je jednovrství, nejčastěji z PA. Díky této konstrukci jsou tyto kabely dobře ohebné. [2, 17, 18, 19, 20]

4. Základní fyzikální vztahy kabelových vedení

4.1. Náhradní schéma kabelového vedení

Kabelové vedení lze zjednodušeně považovat za homogenní (stejnorodé), tedy takové vedení, jehož každá nejmenší část má stejné elektrické vlastnosti. Vedení o délce l , můžeme rozdělit na nekonečně krátké elementy o délce dx (obr. 4.01). [1, 3, 4, 14, 22]



Obr. 4.01 Element homogenního vedení délky dx [14]

Mezi základní elektrické veličiny, tzv. primární parametry, jež se uplatňují v homogenním kabelovém vedení spojitě, patří: [1, 3, 4, 14, 22]

- měrný odpor R [Ω/km],
- měrná indukčnost L [H/km],
- měrná kapacita C [F/km],
- měrný svod G [S/km].

Z důvodu vztažení těchto parametrů k určité jednotce délky, jsou nazvány jako měrné. Pro daný typ vedení a danou frekvenci jsou to parametry konstantní. Jejich frekvenční závislost je zobrazena na obr. 4.04.

Z Primárních parametrů vedení, které jsou prakticky dány konstrukcí kabelu, lze vypočítat tzv. sekundární parametry vedení: [1, 3, 4, 14, 22]

- měrnou vlnovou míru přenosu γ a
- charakteristickou (vlnovou) impedanci Z [Ω].

Tyto parametry charakterizují přenosové vlastnosti homogenního vedení, a proto jsou též nazývány parametry provozními.

4.2. Primární parametry vedení

4.2.1. Činný odpor R

Elektrický odpor vodiče je závislý na jeho geometrických rozměrech a na použitém materiálu. Velikost stejnosměrného odporu roste úměrně s délkou vodiče l a nepřímo s jeho průřezem S . [3, 13, 22, 23, 24]

$$R_0 = \varphi \cdot \frac{l}{S} \quad [\Omega], \quad (4.01)$$

kde: l je délka vodiče [m],
 S je průřez vodiče [m^2],
 φ je rezistivita (měrný odpor) vodiče [$\Omega \cdot \text{m}$].

Rezistivita udává měrný odpor vodiče délky 1 m při tzv. pokojové teplotě 20°C . K této teplotě je vztažena hodnota velikosti odporu dle vztahu (4.01). V technické praxi se průřez vodiče udává v jednotkách mm^2 , a proto bývá hodnota rezistivity v tabulkách udávaná v jednotkách $\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$ případně $\mu\Omega \cdot \text{m}$. Rezistivita vodiče je silně závislá na čistotě materiálu. Například pro měď užívanou ve sdělovacích kabelech může být její hodnota v rozsahu $0,01501 - 0,01754 \mu\Omega \cdot \text{m}$. Převrácená hodnota rezistivity se nazývá konduktivita (měrná vodivost) jejíž jednotkou je $\text{S} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^{-2}$.

Kromě závislosti na materiálu a jeho průřezu je tedy činný odpor vodiče závislý také na teplotě. Se zvyšující se teplotou se odpor vodiče zvětšuje a naopak s klesající se snižuje. Tato závislost je v širokém teplotním rozsahu pokrývající všechny případy použití v praxi lineární. Odpor vodiče při jiné než pokojové teplotě se vypočítá podle vztahu: [3, 13, 22, 24, 25]

$$R_\vartheta = R_{20} \cdot [1 + \alpha_{20} \cdot (\vartheta - \vartheta_{20})] \quad [\Omega], \quad (4.02)$$

kde: R_ϑ je odpor vodiče při teplotě ϑ [Ω],
 R_{20} je odpor vodiče při teplotě 20°C [Ω],
 α_{20} je teplotní součinitel rezistivity [K^{-1} , $^\circ\text{C}^{-1}$],
 ϑ je teplota, při které odpor vodiče měříme [K, $^\circ\text{C}$].

Tabulka 4.1: Konstanty některých vodičů při pokojové teplotě (20°C) [25]

Vodič	Rezistivita φ_{20} [$\Omega \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$]	Konduktivita σ_{20} [$\text{S} \cdot \text{m} \cdot \text{mm}^{-2}$]	Teplotní součinitel α_{20} [K^{-1}]
Stříbro	0,016	62,50	$3,80 \cdot 10^{-3}$
Měď	0,017	55,60	$3,92 \cdot 10^{-3}$
Zlato	0,023	43,50	$4,00 \cdot 10^{-3}$
Hliník	0,028	35,70	$3,77 \cdot 10^{-3}$
Wolfram	0,050	20,00	$4,10 \cdot 10^{-3}$
Železo (čisté)	0,097	10,30	$6,00 \cdot 10^{-3}$
Cín	0,100	10,00	$4,20 \cdot 10^{-3}$
Olovo	0,207	4,80	$4,20 \cdot 10^{-3}$

Teplotní součinitel rezistivity α_{20} udává relativní změnu odporu při teplotní změně o jeden Kelvin (hodnota je stejná i pro změnu o jeden stupeň Celsia).

Činný odpor vodiče se při přenosu střídavého proudu zvětšuje, je tedy závislý na frekvenci. Celkový činný odpor je pak dán vztahem: [13]

$$R = R_0 + R_f \quad [\Omega], \quad (4.03)$$

kde: R_0 je stejnosměrný odpor vodiče $[\Omega]$,

R_f je doplňující odpor kladený střídavému proudu $[\Omega]$.

Doplňující odpor R_f lze vyjádřit vztahem: [13]

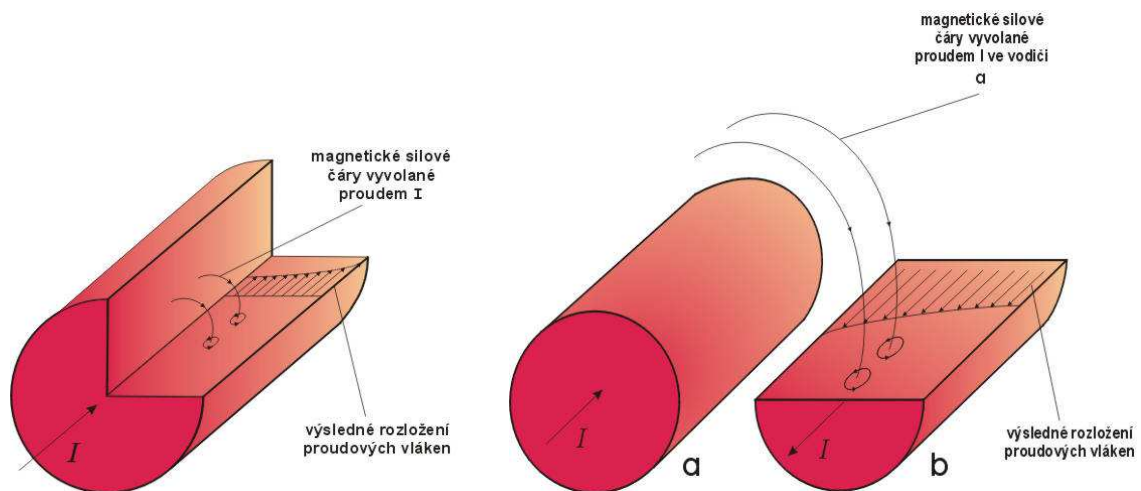
$$R_f = R_S + R_B + R_M \quad [\Omega], \quad (4.04)$$

kde: R_S je dodatečný odpor vlivem povrchového efektu $[\Omega]$,

R_B je dodatečný odpor vlivem efektu blízkosti $[\Omega]$,

R_M je dodatečný odpor zapříčiněný ztrátami v kovových částech kabelu $[\Omega]$.

Povrchový (skin) efekt je fyzikální děj, při kterém je proud vytlačován při vyšších frekvencích na povrch vodiče, tím dochází jakoby ke zmenšení průřezu vodiče. Je způsoben vířivými proudy, které indukuje magnetické pole protékajícího základního střídavého proudu ve vodiči. Tyto vířivé proudy mají blíže ke středu vodiče opačný směr než je směr základního protékajícího proudu, kdežto blíže k povrchu mají směr souhlasný. Hustota proudu tedy vzrůstá směrem k povrchu vodiče (obr. 4.02). Při frekvenci 50 Hz je zvýšení činného odporu vodiče zanedbatelné, naopak při frekvencích nad 10 MHz je skoro všechen proud veden v tenké vrstvě blízko povrchu vodiče a hodnota dodatečného odporu R_S naopak značně převyšuje hodnotu stejnosměrného odporu.



Obr. 4.02 Povrchový efekt [27]

Obr. 4.03 Efekt blízkosti [27]

Efekt blízkosti nastává u dvou vodičů téhož vedení, jimiž protéká proud v různých směrech. Siločáry vnějšího magnetického pole vyvolaného proudem ve vodiči a , které protínají vodič b , způsobují vznik dílčích vířivých proudů v tomto vodiči. Na blízké

straně k vodiči a se procházející proud zvětší, na odvrácené straně zmenší (obr. 4.03). Důsledkem je podobně jako u povrchového jevu změna rozložení proudové hustoty ve vodiči a tím zvýšení jeho činného odporu dodatkovým odporem R_B . Efekt je přímo úměrný frekvenci, magnetické permeabilitě, vodivosti a nepřímo úměrný vzdálenosti mezi vodiči. Podobně působí i vliv blízkosti vodičů sousedních párů, kovového pláště nebo stínění zvyšující celkový činný odpor o hodnotu R_M .

4.2.2. Indukčnost L

Při průchodu proudem vodičem se kolem něho vytváří magnetické pole, jež charakterizuje intenzita magnetického pole H . V případě nekonečně dlouhého přímkového vodiče, bude mít magnetické pole buzené proudem I ve vzdálenosti d intenzitu: [3, 23, 24]

$$H = \frac{I}{2\pi d} \quad [\text{A}]. \quad (4.05)$$

Intenzita magnetického pole je všude kolmá ke směru vodiče. Indukční čáry kolem vodiče mají tvar soustředných kružnic. V důsledku průchodu časově proměnného proudu vodičem vzniká v jeho okolí proměnné magnetické pole. Ve vodiči nacházejícím se v proměnném magnetickém poli se pak indukuje napětí: [23, 24]

$$u_i = -\frac{d\Phi}{dt} \quad [\text{V}], \quad (4.06)$$

kde: Φ je magnetický indukční tok [Wb],
 t je čas [s].

Toto napětí působí proti změně magnetického toku a tím i proti změně proudu, který ho vyvolal: [23, 24]

$$u_i = -L \frac{di}{dt} \quad [\text{V}], \quad (4.07)$$

kde: L je indukčnost [H],
 I je proud protékající vodičem [A].

U vedení s více vodiči nedochází k indukci napětí jen v tomto vodiči, ale i v blízkosti ostatních vodičů. Indukčnost kabelových vedení se tedy skládá z vnitřní a vnější indukčnosti. Vypočítává se z geometrického uspořádání vodičů podle vzorce: [4, 13, 22]

$$L = 0,4 \cdot \left(\ln \frac{2a}{d} + \frac{1}{4} \right) \quad [\text{mH/km}], \quad (4.08)$$

kde: a je vzdálenost vodičů [mm],
 d je průměr vodiče [mm].

Číselná hodnota 0,4 je poměr permeability vzduchu 1,256 mH/km ku π . První člen v závorce odpovídá indukci magnetického pole mimo vodiče a druhý člen

magnetickému poli uvnitř vodiče. Se vzrůstající frekvencí přenášeného proudu, vlivem povrchového efektu, dochází ke zhuštění magnetického pole ve vodiči směrem k povrchu, čímž se zmenšuje vnitřní indukčnost vodiče. Proto se od frekvence vyšší než 10 kHz, indukčnost vypočítává bez druhého členu ve vztahu (4.08), tedy dle vztahu: [4, 13, 22]

$$L = 0,4 \cdot \ln \frac{2a}{d} \quad [\text{mH/km}]. \quad (4.09)$$

4.2.3. Kapacita C

Připojíme-li osamocený vodič ke svorce zdroje, získá vodič stejný potenciál jaký má svorka. Náboj na vodiči je přímo úměrný jeho potenciálu. Veličina charakterizující vodič C se nazývá kapacita vodiče a je závislá na velikosti a tvaru vodiče: [23, 24]

$$C = \frac{Q}{\varphi} \quad [\text{F}], \quad (4.10)$$

kde: Q je elektrický náboj [C],
 φ je elektrický potenciál [V].

Kapacita osamocené vodiče je velmi malá. Přiblížíme-li druhý vodič do jeho blízkosti tak, aby elektrostatické pole bylo soustředěno mezi nimi, kapacita se značně zvýší. Soustava dvou plochých vodičů (elektrod) oddělených od sebe vrstvou dielektrika, sloužící ke shromažďování elektrického náboje se nazývá kondenzátor.

Kapacita kabelových vedení je analogická s kapacitou kondenzátoru. U prostorově rozmístěných kapacit, jako například u vodičů vedení, je kapacita úměrná jejich délce. Kapacita vedení, tj. dvou vodičů (například venkovního vedení, kabelu bez kovového pláště) je určena vztahem: [22]

$$C = \frac{\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}{\ln \frac{2a}{d}} \quad [\text{nF/km}], \quad (4.11)$$

kde: ε_0 je permitivita vakua 8,855 pF/km,
 ε_r je relativní permitivita závislé na použitém materiálu dielektrika
(vzduch: $\varepsilon_r = 1$, papír – vzduch: $\varepsilon_r = 1,7$, styroflex – vzduch: $\varepsilon_r = 1,4$),
 a je vzdálenost vodičů od sebe [mm],
 d je průměr vodiče [mm].

Provozní kapacita vedení víceprvkových kabelů je složena z dílčích kapacit mezi jednotlivými vodiči navzájem a z kapacit vůči kovovému plášti, respektive vůči zemi. Lze ji určit empiricky podle vzorce: [4, 13, 22]

$$C = \frac{\pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r}{\ln p \frac{a}{d}} \quad [\text{nF/km}], \quad (4.12)$$

kde: p je činitel uspořádání vodičů v kabelu.
Pro prvky typu DM: $p = 0,65$,

pro prvky křížové: $p = 0,75$,
 pro prvky párové: $p = 0,94$.

Se vzrůstajícím průměrem vodičů provozní kapacita kabelových vedení stoupá, avšak se vzrůstající vzdáleností mezi žilami klesá.

4.2.4. Svod G

Svod představuje míru dielektrických ztrát na vedení. Ideální izolaci by charakterizovala jen její permitivita. Skutečná izolace má však i jistou vodivost. Při stejnosměrném napětí je příčinou svodového proudu (v ustáleném stavu), při střídavém napětí přistupují ještě ztráty dipólové. Celkový svod je proto dán vztahem: [4, 13, 22, 26]

$$G = G_0 + G_f \quad [\text{S/km}], \quad (4.13)$$

kde: G_0 je svod při působení stejnosměrného napětí [S/km],
 G_f je svod při působení střídavého napětí [S/km].

Protože izolace kabelů není dokonalá, protékají izolací podél vedení malé proudy. Nedokonalé izolaci odpovídá konečná hodnota svodu G_0 , jehož převrácenou hodnotou je lehce měřitelný izolační odpor R_i (viz kapitola 5.2). Celkový izolační odpor R_i tedy představuje výslednou hodnotu všech paralelně zapojených dílčích izolačních odporů jednotlivých elementárních úseků vedení a proto je nepřímo úměrný délce tohoto vedení, což je vyjádřeno vztahem: [3, 4, 22]

$$R_i = \frac{R_0}{l} \quad [\text{M}\Omega], \quad (4.14)$$

kde: R_0 je izolační odpor 1 km vedení [MΩ.km],
 l je délka vedení [km].

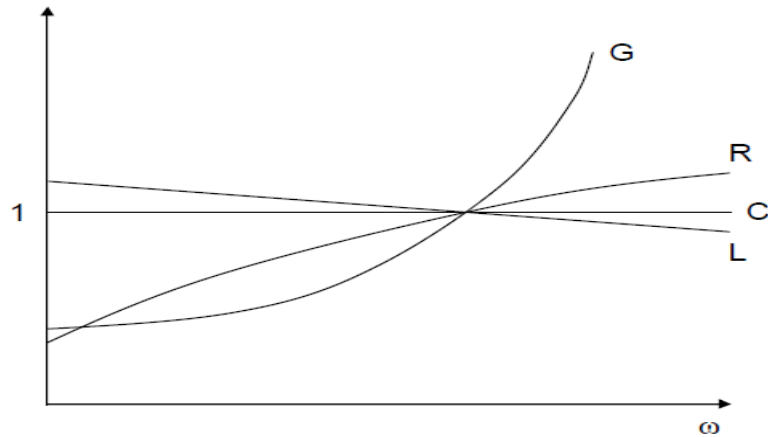
Ztráty energie v dielektriku způsobené svodem G_0 jsou analogické s tepelnými ztrátami energie ve vodičích. Tyto ztráty oteplením vzniklé vlivem nedokonalosti izolace jsou nepatrné v porovnání se ztrátami způsobených svodem G_f , proto je můžeme prakticky zanedbat. Ztráty energie v dielektriku svodem G_f vznikají jeho polarizací. Polarizace dielektrika je jev, při kterém se tvoří dipóly (působením elektrického pole jsou částice s elektrickým nábojem uvnitř atomů rozloženy tak, že blíže k jedné straně jsou elektrony, blíže ke druhé straně je jádro atomu). Tyto dipóly se přesunují v rytmu změn elektromagnetického pole. Hodnota svodu G_f je tedy frekvenčně závislá a tuto závislost vyjadřuje vztah: [4, 13]

$$G_f = \omega \cdot C \cdot \text{tg } \delta \quad [\text{S/km}], \quad (4.15)$$

kde: ω je úhlová frekvence [s^{-1}],
 C je provozní kapacita [F/km],
 $\text{tg } \delta$ je ztrátový činitel.

Ztrátový činitel $\text{tg } \delta$ představuje poměr činného proudu k proudu kapacitnímu (jalovému). Fázový posuv kapacitního (ideálního) proudu oproti napětí tedy není 90° ,

ale je zmenšený o ztrátový úhel δ . Stárnutí izolace je provázeno zhoršováním činitele dielektrických ztrát $\text{tg}\delta$ a vede až k jejímu průrazu.



Obr. 4.04 Frekvenční závislost primárních parametrů [28]

4.3. Sekundární parametry vedení

4.3.1. Měrná vlnová míra přenosu γ

Velikost primárních parametrů určuje ztráty ve vedení. Například u silnoproudých vedení dosahují hodnoty 10%, u telefonních vedení mohou být až 90%. Měrná vlnová míra přenosu γ (někdy nazývána jako součinitel přenosu nebo i činitel šíření) je konstanta určena změnou napětí a proudu v každém elementu vedení vztahem na jednotkovou délku vedení. Je dána vztahem: [1, 13, 22]

$$\gamma = \alpha + j\beta, \quad (4.16)$$

kde: α je měrný (vlnový) útlum [Np/km],
 β je měrný fázový posuv [rad/km].

Jedná se tedy o komplexní veličinu s reálnou složkou α a imaginární složkou β . Obě tyto složky se sčítají vektorově. Vztah (4.16) můžeme pomocí primárních parametrů vedení zapsat takto: [1, 13]

$$\gamma = \sqrt{(R + j\omega L) \cdot (G + j\omega C)}, \quad (4.17)$$

kde: R je měrný odpor [Ω/km],
 ω je úhlová frekvence [s^{-1}],
 L je měrná indukčnost [H/km],
 G je měrný svod [S/km],
 C je měrná kapacita [F/km].

4.3.1.1. Měrný útlum α

Měrný útlum kabelového vedení můžeme určit z primárních parametrů vedení podle vztahu: [4, 13]

$$a = \frac{R}{2} \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{G}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} \quad [\text{Np/km}], \quad (4.18)$$

kde jednotlivé veličiny a jejich jednotky mají stejný význam jako ve vztahu (4.17).

V současnosti je měrný útlum udáván v dB/km. Rozdíl mezi jednotkami neper a decibel je v použitých logaritmech. Neper, užívá přirozeného logaritmu podílu dvou porovnávaných hodnot, decibel užívá logaritmu dekadického. Převodní vztah mezi těmito jednotkami je: [13]

$$\begin{aligned} 1 \text{ dB} &= 0,115 \text{ Np}, \\ 1 \text{ Np} &= 8,69 \text{ dB}. \end{aligned} \quad (4.19)$$

Z měrného útlumu kabelového vedení α , který představuje útlum vedení vztážený na jednotku délky l v km, je tedy útlum vedení A dán vztahem: [1, 4, 13, 22]

$$A = \alpha \cdot l \quad [\text{dB}]. \quad (4.20)$$

Útlum vedení je měřítkem jeho ztrát. Vyjadřuje schopnost přenosového média přenést signál představovaný elektrickým výkonem ze vstupu na výstup. Je snadno měřitelný, definován jako: [1, 4, 13, 22]

$$A = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad [\text{dB}], \quad (4.21)$$

kde: P_1 je referenční hodnota výkonu na vstupu vedení [W],
 P_2 je referenční hodnota výkonu na výstupu vedení [W].

4.3.1.2. Měrný fázový posuv β

Hodnota měrného fázového posuvu (tzv. fázová konstanta) značí o kolik stupňů je na délku 1 km vedení pootočen vektor výstupního napětí proti vektoru napětí na vstupu vedení. Můžeme ho určit z primárních parametrů podle vztahu: [22]

$$\beta = \omega \cdot \sqrt{L \cdot C} \quad [\text{rad/km}], \quad (4.22)$$

kde jednotlivé veličiny a jejich jednotky mají stejný význam jako ve vztahu (4.17). Měrný fázový posuv určuje také délku vlny na vedení λ : [22, 29]

$$\lambda = \frac{2\pi}{\beta} \quad [\text{km}]. \quad (4.23)$$

Vydělíme-li délku vlny λ dobou kmitu, tj. periodou T , dostaneme fázovou rychlost šíření vlny podél vedení v . Po úpravě a dosazení vztahu (4.22) vyjde vztah závislosti

rychlosti šíření (tzv. fázová rychlost v) na primárních parametrech vedení: [22, 26, 29]

$$v = \frac{\omega}{\omega \cdot \sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad [\text{m/s}]. \quad (4.24)$$

4.3.2. Charakteristická (vlnová) impedance Z

Impedance představuje odpor, který klade vedení střídavému proudu. Charakteristická impedance vedení je poměr napětí U a proudu I , který je v každém bodě homogenního vedení stejný. Jedná se o komplexní veličinu, jejíž absolutní velikost lze určit z primárních parametrů podle vztahu: [22, 29]

$$Z = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = \sqrt{\frac{R^2 + \omega^2 \cdot L^2}{G^2 + \omega^2 \cdot C^2}} \quad [\Omega]. \quad (4.25)$$

Z poměru imaginární a reálné složky se vypočte i fázový úhel φ (argument vlnové impedance) mezi vektorem napětí a proudu: [22, 29]

$$\varphi = \frac{1}{2} \left[\arctan\left(\frac{\omega L}{R}\right) - \arctan\left(\frac{\omega C}{G}\right) \right]. \quad (4.26)$$

Vlnovou impedanci vedení můžeme vypočítat změřením impedance naprázdno a nakrátko podle vztahu: [1, 22, 29]

$$Z = \sqrt{Z_0 \cdot Z_K} \quad [\Omega], \quad (4.27)$$

kde: Z_0 je impedance naprázdno $[\Omega]$,
 Z_K je impedance nakrátko $[\Omega]$.

4.4. Parametry optických vedení

Optická vlákna jsou válcové, podélně homogenní optické vlnovody, jež využívají principu totálního odrazu světla. Světlo se v nich tak šíří po trajektorii dané tvarem vlákna.

4.4.1. Index lomu n

Každé optické prostředí je charakterizováno absolutním indexem lomu n , jež je vyjádřen vztahem: [18, 19, 24]

$$n = \frac{c}{v}, \quad (4.28)$$

kde: c je rychlost světla ve vakuu $[\text{m/s}]$,
 v je rychlost světla v daném prostředí $[\text{m/s}]$.

Všechna optická prostředí jiná než vakuum, tak mají $n > 1$ (vzduch má $n \cong 1$). Optická vlákna mají index lomu jádra n_1 vždy větší než pláště n_2 . Vlákna v kabelech jsou

celokřemenná a rozdíl v indexech lomu je dán obsahem příměsí. Rozdíl je tedy minimální, např. $n_1 = 1,48$ a $n_2 = 1,46$.

4.4.2. Numerická apertura NA

Při dopadu světelného paprsku na rozhraní dvou různých prostředí dochází k odrazu a lomu světla. Světlo se částečně odráží a částečně láme do druhého prostředí (obr. 4.05a), přičemž platí zákony odrazu a lomu. [18, 19, 24]

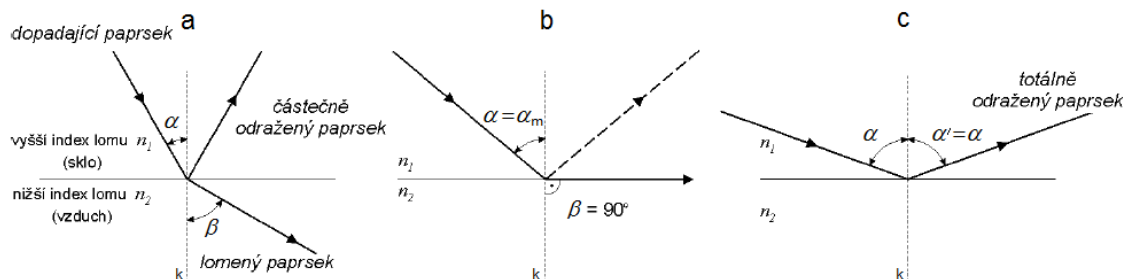
Zákon odrazu: *úhel dopadu α se rovná úhlu odrazu α'* . Odražený paprsek, kolmice a dopadající paprsek leží v jedné rovině. [18, 19, 24]

Zákon lomu (Snellův zákon) je vyjádřen vztahem: [18, 19, 24]

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (4.29)$$

kde: α je úhel dopadu,
 β je úhel odrazu.

Při přechodu světla z prostředí opticky řidšího do opticky hustšího nastává lom ke kolmici. Při přechodu z opticky hustšího do řidšího ($n_1 > n_2$, $v_1 < v_2$) dochází k lomu od kolmice a úhel β je tak větší než úhel α (obr. 4.05a). Úhel dopadu paprsku, jehož úhel lomu je 90° , je nazýván mezním úhlem α_m (obr. 4.05b). Je to maximální úhel dopadu, při kterém ještě dochází i k lomu světla. Je-li potom $\alpha > \alpha_m$ lom už nemůže nastat a dochází tak k úplnému (totálnímu) odrazu (obr. 4.05c) jež je optickými vlákny využíván.



Obr. 4.05 Snellův zákon lomu [30]

Numerická (číselná) apertura určuje vstupní úhel, pod kterým se ještě bude navázaná energie ve vlákně šířit. Paprsky vně kuželu, který je určen vrcholovým úhlem α_c , nesplňují podmínku pro totální odraz, tím přecházejí do pláště a zanikají. Numerická apertura je dána vztahem: [18]

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (4.30)$$

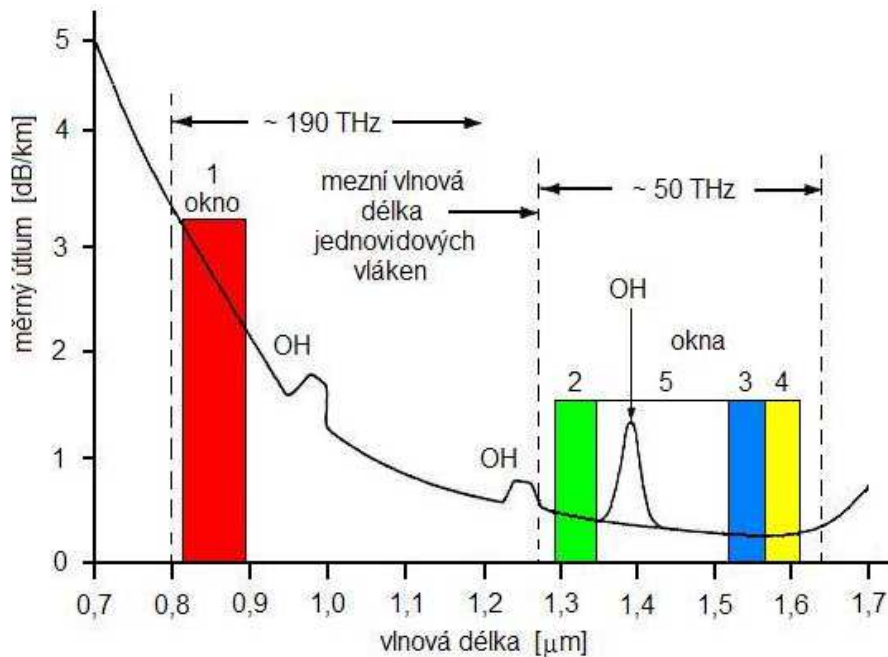
a podle druhu vlákna se pohybuje v rozmezí 0,1 až 0,3.

4.4.3. Měrný útlum α

Stejně jako u metalických vedení, je měrný útlum α i celkový útlum A optických vláken měřítkem jeho ztrát. Je tedy vyjádřen vztahy (4.20) a (4.21). Ztráty v optických vláknech jsou způsobeny materiálem a radiací.

4.4.3.1. Materiálové ztráty

Tyto ztráty vznikají absorpcí a rozptylem záření uvnitř vlákna. K absorpci fotonů dochází v důsledku přítomnosti nečistot. V současných vláknech se vyskytují zejména hydroxidové ionty OH. Rozptyl záření vzniká na nehomogenitách v základní struktuře skla. Tento rozptyl, jenž se nazývá Rayleighův nelze odstranit. Je nepřímo úměrný čtvrté mocnině vlnové délky a představuje tak teoretickou minimální mez útlumu. V obr. 4.06 je znázorněna spektrální útlumová charakteristika optického vlákna s vyznačenými přenosovými okny. [18, 19]



Obr. 4.06 Měrný útlum a přenosová okna optického vlákna [19]

4.4.3.2. Radiční ztráty

Tyto ztráty jsou způsobeny mikro a makroohyby. Jedná se tedy o poruchu vlnovodné struktury vlákna, při které dochází k vyvážání části energie mimo jádro a tím k nárůstu útlumu vlákna. U mnohovidových vláken jsou prakticky spektrálně nezávislé. Naopak u jednovidových vláken se s rostoucí vlnovou délkou velmi zvětšují. Mikroohyby vznikají již při výrobě (nanášení ochrany, kabelování) nebo mechanickým namáháním vlákna (tlak, pnutí). Makroohyby, jež mají poloměr ohybu řádově jednotky cm až mm, většinou vznikají při špatné montáži (ukládání vláknových rezerv, ohyb kabelů kolem rohů místnosti). [18, 19]

5. Metody používané na zaměřování poruch na kabelech a jejich porovnání

5.1. Impulsová metoda

Tato metoda je založena na principu radaru. Změřením doby, za kterou se vyslaný impuls vrátí po odrazu zpět a ze známé rychlosti šíření impulsu v kabelu, lze určit vzdálenost k místu odrazu impulsu od místa měření. Princip metody je univerzální a proto se používá jak na metalických kabelech (metoda TDR), tak i na kabelech optických (metoda OTDR).

5.1.1. Metoda TDR

Tato metoda (Time Domain Reflectometry), jež je také označována jako metoda měření odrazu v časové oblasti, se používá na zaměřování poruch metalických kabelů. Měřicí přístroj bývá často nazýván stejně jako metoda, tedy TDR. Vyslané měřicí impulsy se na každé změně impedance kabelu částečně nebo úplně odrážejí. Změna impedance může být způsobena například poruchou, spojkou, rozvětvením nebo přechodem na kabel jiných vlastností. Rychlost šíření impulsu v , je pro každý kabel specifická a lze ji určit z primárních parametrů vztahem (4.24). Úpravou tohoto vztahu získáme častěji uváděný vztah: [3, 22, 26]

$$v = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \cdot \epsilon_r}} \quad [\text{m/s}], \quad (5.01)$$

kde: c je rychlost světla ve vakuu [m/s],
 μ_r je relativní permeabilita,
 ϵ_r je relativní permitivita.

Protože materiálem jader kabelů je většinou měď nebo hliník, jejichž hodnota relativní permeability je prakticky rovna 1, závisí tedy rychlost šíření impulsu v kabelu pouze na typu kabelu a použitém izolačním materiálu, přesněji na jeho relativní permitivitě. Hodnota relativní permitivity vzduchu je 1,00054. Z tohoto důvodu se jako izolačního materiálu jader dálkových sdělovacích kabelů používala vzduch-papírová izolace. V současnosti se pro výrobu izolace, stejně jako pláště kabelů, používají plastické hmoty. V závislosti na typu plastu vychází hodnota relativní permitivity od 2 (PE) do 5 (PVC). Pro silové kabely potom vychází rychlost šíření 160 až 180 m/μs, pro kabely sdělovací 200 až 280 m/μs.

Změřená doba šíření t_x udává dobu průběhu impulsů k místu odrazu a zpět. Protože nás ale zajímá jen vzdálenost k místu odrazu (poruchy), musíme tedy uvažovat buď poloviční dobu šíření, nebo poloviční rychlost šíření. Vzdálenost místa poruchy l_x je pak dána vztahem: [3, 4, 14, 22, 26]

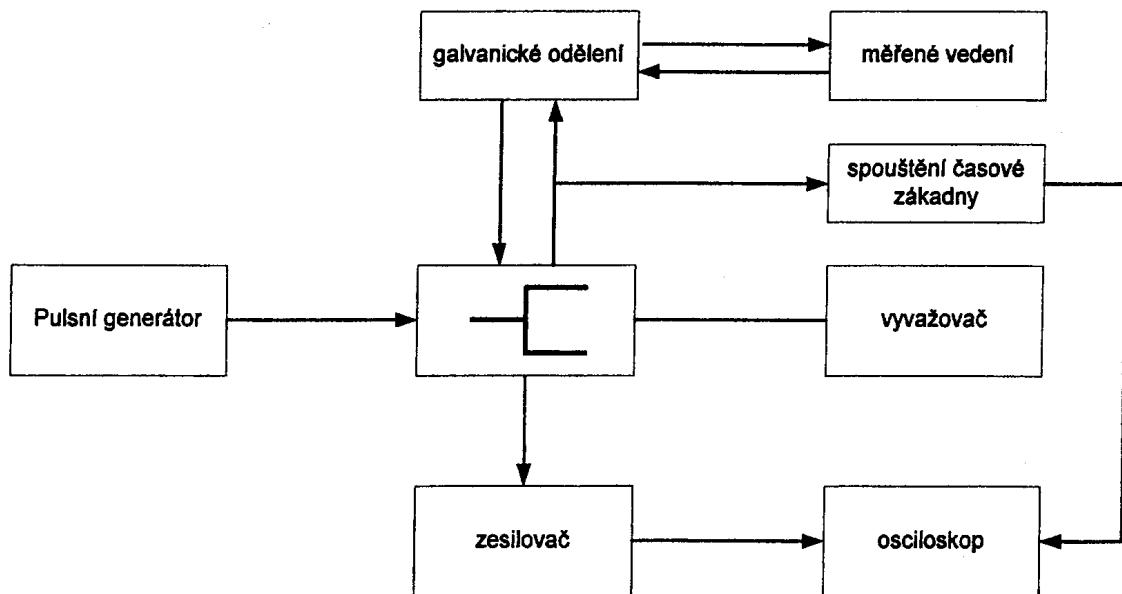
$$l_x = \frac{v}{2} \cdot t_x \quad [\text{m}], \quad (5.02)$$

kde: v je rychlost šíření impulsu kabelem [m/s],
 t_x je doba šíření impulsu [s].

Výrobci kabelů bývá udávána hodnota *NVP* (Nominal Velocity of Propagation). Jedná se o poměr skutečné rychlosti šíření signálu v daném kabelu v , k rychlosti šíření světla ve vakuu c ($c \cong 3 \cdot 10^8$ m/s). Všechny kabely tak mají hodnotu *NVP* menší než 1. Užitím *NVP* se vzdálenost místa poruchy l_x vypočítá úpravou vztahu (5.02) takto: [14]

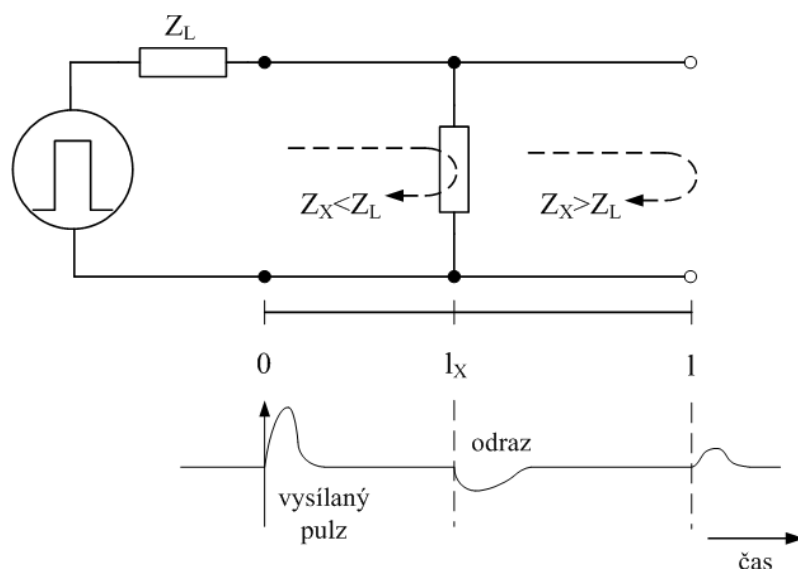
$$l_x = \frac{c \cdot NVP}{2} \cdot t_x \quad [\text{m}]. \quad (5.03)$$

Protože se rychlost šíření v kabelu může měnit s teplotou, stářím, výrobní sérií, je v praxi z důvodu přesnosti nejvýhodnější určit skutečnou rychlost šíření ze známé délky kabelu reflektometrem TDR, jehož blokové schéma je znázorněno na obrázku 5.01.

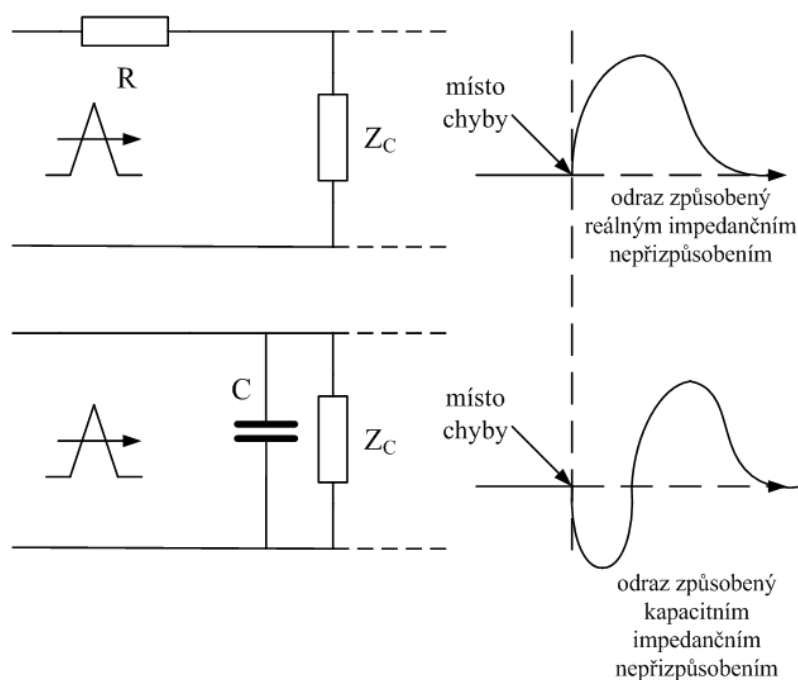


Obr. 5.01 Blokové schéma reflektometru TDR [14]

Po vyslání impulsu z generátoru do měřeného kabelu dochází na všech impedančních nehomogenitách kabelu k odrazu části nebo veškeré energie impulsu zpět k přístroji, což je následně po zpracování užitím vztahu (5.02) zaznamenáno na obrazovce osciloskopu v podobě náměrové křivky. Pokud je kabel přerušen ($Z_X = \infty$) má odražený impuls stejnou fázi jako vyslaný impuls, pokud je zkratován ($Z_X = 0$), má opačnou fázi. V těchto obou krajních případech by v ideálních podmínkách došlo k odrazu celkového množství energie vyslaného pulsu. Pokud by měl kabel konstantní impedanci a byl korektně zakončen ($Z_X = Z_L$), k odrazu nedojde a veškerá energie se absorbuje. Odrazy od impedance větší než je charakteristická impedance kabelu ($Z_X > Z_L$) jsou tedy ve fázi a nastává vzestupný odraz, odrazy od impedance menší než je charakteristická impedance kabelu ($Z_X < Z_L$) jsou v protifázi a nastává naopak sestupný odraz, jak ukazuje obr. 5.02. V případě, že se jedná o kapacitní nebo induktivní závadu, dojde i k deformaci odraženého pulsu. Při induktivní závadě vyrobí náběhová hrana vyslaného pulsu pozitivní část a klesající strana negativní část odraženého pulsu. Na obrázku 5.03 je zobrazena kapacitní závada, u které je tomu naopak. Velikost amplitudy a tvar odraženého impulsu dává názor o velikosti a charakteru chyby. Na obrázku 5.04 jsou uvedeny některé typické tvary odraženého impulsu.



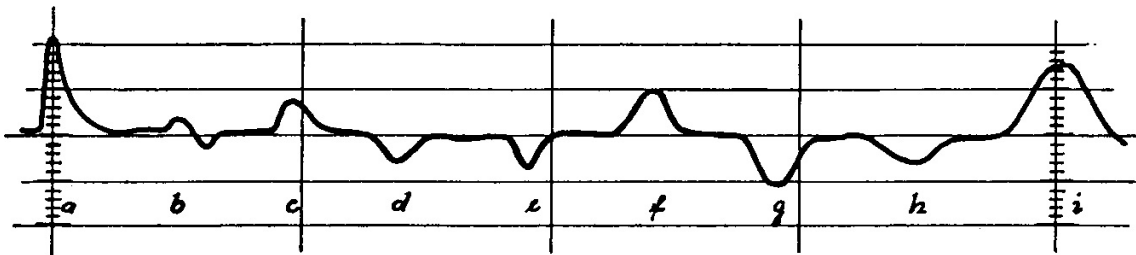
Obr. 5.02 Princip měření odrazu metodou TDR [14]



Obr. 5.03 Porovnání impedanční závady odporového a kapacitního charakteru [14]

Metodou TDR lze tedy mimo jiné určit délku vedení nebo naopak skutečnou rychlost šíření vedením ze známé délky vedení, přičemž platí, že čím delší je známá délka kabelu, tím přesněji je určena skutečná rychlost šíření vedením. Při tomto měření je vhodné, aby byl vzdálený konec impedančně nepřizpůsoben, nejlépe tedy otevřen nebo zkratován. Obdobně snadná je lokalizace zkratu nebo přerušení vodiče v kabelu, neboť opět dochází k úplnému odrazu vyslaného pulsu. Protože je vzdálenost vodičů ve spojce jiná než v kabelu, čímž dochází ke změně impedance (na začátku spojky větší, na konci menší), lze touto metodou lokalizovat i spojky na trase. Podobně je možné lokalizovat i vlhkost v kabelu, která způsobuje nejen snížení izolačního odporu, nýbrž i

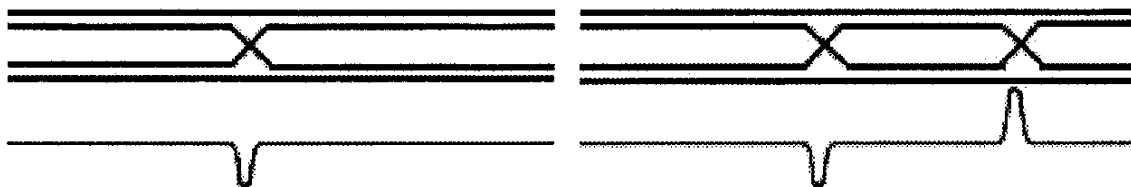
zvýšení provozní kapacity v místě poruchy. Dále je možné například lokalizovat odbočky kabelu, které se projevují snížením impedance, odražený impuls je tedy opačný (jedná se o paralelní řazení kabelů) následovaný vzestupným odrazem od volného konce odbočky. Jednotlivé typy nehomogenit jsou patrné z obrázku 5.04.



Obr. 5.04 Přehled typických tvarů impulsů [3]

- a - vysílaný impuls
- b - impuls odražený od spojky
- c - přechod na kabel s vyšší vlnovou impedancí
- d - přechod na kabel s nižší vlnovou impedancí
- e - impuls odražený od kabelové odbočky
- f - otevřený konec odbočky
- g - zemní zkrat
- h - vlhkost v kabelu
- i - otevřený konec kabelu nebo přerušená žíla

Touto metodou lze určit i polohu pupinačních cívek, kterých se dříve používalo ke snížení útlumu vedení v nf pásmu. Protože vysílané pulsy obsahují vysokofrekvenční složky, které jsou po průchodu pupinační cívkou odfiltrovány, lze lokalizovat pouze první pupinační cívku, od které odražený puls vypadá stejně jako od otevřeného konce. Vzdálenost první pupinační cívky tedy omezuje dosah měření. Kromě zjišťování homogenity vedení, lze touto metodou lokalizovat i záměnu vodičů. Záměna vodičů mezi páry způsobuje přeslechy (změna kapacitní vazby mezi páry). Místo záměny lze lokalizovat tak, že měříme odražený impuls v jiném páru, než do kterého impuls vysíláme (frekvence vysílaných pulsů je v závislosti na délce pulsu přibližně od 83 kHz do 250 MHz). Odražený impuls v měřeném vedení může být jak kladný tak záporný, jak je uvedeno na obrázku 5.05.



Obr. 5.05 Křivky náměrů záměny a opačné záměny vodičů [37]

Protože je puls průchodem vedením tlumen, odpovídá odraženému pulsu ze vzdálenější závady nižší amplituda než v případě stejné závady, která se nachází blíže. Proto je zejména v nejednoznačných situacích nutné provádět měření z obou konců kabelu. Dosah měření tedy závisí na amplitudě a šířce vyslaného pulsu, přičemž větší amplitudě a šířce vyslaného pulsu odpovídá větší dosah měření. Větší šířka pulsu ale zapříčiní, že je puls delší a tudíž chyby, které se nacházejí blízko sebe, jsou sloučeny a

zobrazeny jako chyba jedna. Podobně má vliv velikost amplitudy, jejíž příliš velká hodnota způsobuje deformaci odražených impulsů. T tohoto důvodu mají reflektometry nastavitelnou šířku měřicího pulsu. V následující tabulce jsou uvedeny typické hodnoty měřicích pulsů t_w a jejich přibližných odpovídajících dosahů l .

Tabulka 5.1: Příklad dosahu a slepých úseků některých používaných pulsů [14]

t_w [ns]	l [m]	l_0 [m]
2	165	2
10	250	4
100	660	16
1000	1980	120
6000	5850	564

Vysílaný měřicí puls způsobuje určitý časový úsek od počátku pro reflektometr TDR neviditelný, proto je nazýván jako úsek slepý, označován l_0 . Jak je z tabulky 5.1 patrné, délka slepého úseku závisí na šířce měřicího pulsu. Slepý úsek lze odstranit použitím tzv. předřadného kabelu, který je vložen mezi reflektometr TDR a měřený kabel. Předřadný kabel by měl být stejných vlastností jako kabel měřený.

5.1.2. Metoda OTDR

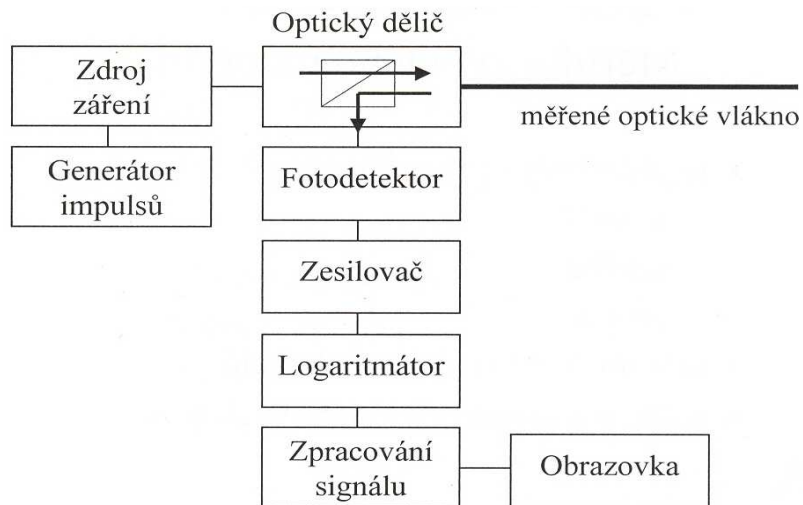
Tato metoda (Optical Time Domain Reflectometry) je určena pro zaměřování poruch na optických kabelech. Měřicí přístroj bývá také často nazýván stejně jako metoda, tedy OTDR. Rychlost šíření optického impulsu je dána indexem lomu n měřeného vlákna. Dosazení vztahu (4.27) do (5.02) je pak vzdálenost l_x k jednotlivým nehomogenitám: [17, 19]

$$l_x = \frac{c}{n} \cdot \frac{t_x}{2} \quad [\text{m}] \quad (5.04)$$

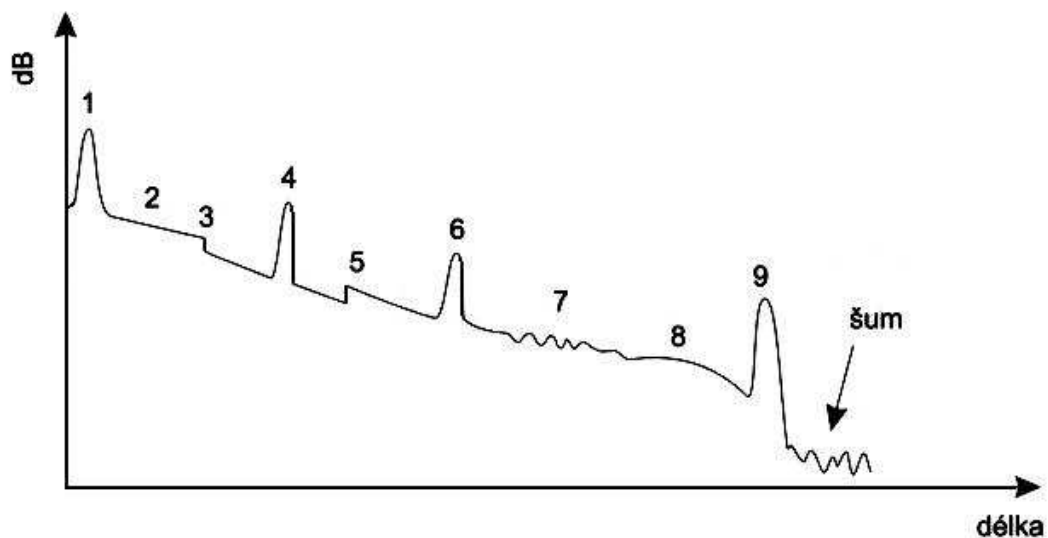
kde: c je rychlost světla ve vakuu [m/s],
 n je index lomu měřeného vlákna pro jmenovitou vlnovou délku,
 t_x je doba šíření impulsu [s].

Index lomu n závisí na vlnové délce světla. Například pro vlnovou délku 1310 nm může být 1,466 a pro vlnovou délku 1550 nm 1,467. Jeho hodnota je pro používané vlnové délky světla udána výrobcem vlákna. Optický reflektometr využívá pro měření zpětný Rayleighův rozptyl ve vlákně a Fresnelův odraz na jednotlivých bodových poruchách a koncích trasy. Na obr. 5.06 je uvedeno jeho blokové schéma. Zdroj záření generuje úzké optické impulsy o frekvenci několika kHz. Šíří impulsů lze volit přibližně od 5 ns do 20000 ns. Protože velikost zpětně rozptýleného optického výkonu se vzdáleností exponenciálně klesá, je signál po zesílení zlogaritmován. Měřidlo OTDR tak navíc oproti TDR obsahuje logaritmátor. Po zpracování je pak signál zobrazen jako délková závislost zpětného rozptylu. V případě ideálního vlákna by tedy byla zobrazena klesající přímka. Na obr. 5.07 je typické zobrazení náměru s vyznačenými příklady poruch. Velikost poklesu křivky na jednotlivých poruchách závisí především na ztrátovosti a není závislá na vzdálenosti od místa měření. Protože průběh zpětně rozptýleného výkonu je ovlivňován i změnami optických nebo geometrických parametrů měřeného vlákna (důvod „ziskových“ poruch), jsou hodnoty útlumu

z jednostranného měření brány jako zdánlivé. Pro získání skutečné hodnoty je třeba provést měření z druhé strany a zdánlivé hodnoty útlumů zprůměrovat.



Obr. 5.06 Blokové schéma reflektometru OTDR [19]



Obr. 5.07 Příklady nejtypičtějších poruch křivky zpětného rozptylu [19]

- 1 - Fresnelův odraz od vstupního čela vlákna,
- 2 - v tomto úseku má křivka konstantní sklon a vlákno je podélně homogenní,
- 3 - bodová porucha způsobená např. svařovanou spojkou,
- 4 - Fresnelův odraz způsobený např. konektorovým spojením,
- 5 - zisková bodová porucha způsobená svařením vlákna na vlákno s větším průměrem vidového pole,
- 6 - „duch“, tato porucha je způsobena mnohonásobným odrazem při špatné volbě měřicího rozsahu,
- 7 - zvlnění křivky, které je obvykle způsobeno měřicím přístrojem,
- 8 - změna sklonu křivky způsobená například měnícím se útlumem podél vlákna nebo plynulou změnou průměru vidového pole,
- 9 - Fresnelův odraz od konce vlákna.

Měřidlem OTDR lze tedy kromě délky vlákna a umístění jednotlivých poruch, změřit i útlum (celé trasy, jednotlivých kabelových úseků, konektorových spojení,

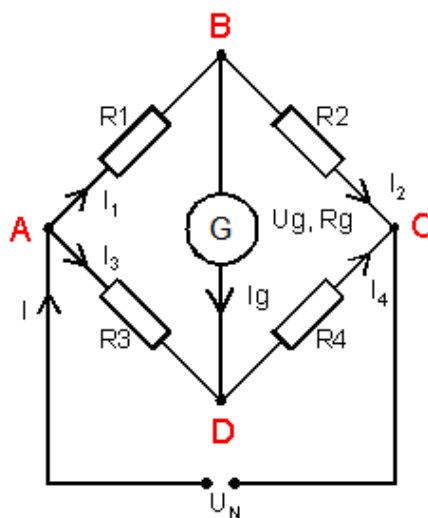
odrazu) a podélnou homogenitu vlákna včetně průměru vidového pole. Správné měření je možné až po odeznění Fresnelova odrazu na vstupním čele vlákna. K odstranění této tzv. mrtvé zóny OTDR se měření provádí s předřadným vláknem (obr. 5.08), tedy obdobně jako v případě měření metalickým reflektometrem. Pokud je optický kabel plně dielektrický, což je převážná část, je to prakticky jediné měřidlo, kterým se dají zaměřit poruchy na těchto kabelech (pro následné zviditelnění přerušovaných vláken v rozvaděčích a spojkách, které jsou do vzdálenosti několika málo km, se používá červený laser). Měřicí dosah, jenž závisí na délce pulsu, dynamice měřené karty a vlnové délce, může být i více než sto kilometrů. Měřidlo OTDR je tedy nejdůležitější a nejuniverzálnější měřicí přístroj na optických kabelových sítích.



Obr. 5.08 Schéma zapojení OTDR [19]

5.2. Můstkové metody

Základem těchto metod je Wheatstonův můstek (obr. 5.09). Vzdálenost poruchy od měřicího místa se určuje výpočtem po změření odporů. Přesnost určení místa tak závisí kromě jiných vlivů na dokumentaci, tedy znalosti například přesné délky a průběhu kabelu. Nevýhodou těchto metod je, že vyžadují téměř pro každý druh poruchy jinou měřicí metodu (speciální zapojení). Ačkoliv patří k historicky nejstarším (jedná se o tzv. klasickou metodu hledání poruch), zejména na sdělovacích kabelech neztratili svůj význam a stále se hojně používají. Impulsovou metodu, jež využívá změnu impedance vedení, totiž není možné použít v případě většího izolačního odporu poruch. Výhodou je také nízká pořizovací cena můstkových přístrojů. Zaměřování poruch těmito metodami se provádí vždy z obou stran kabelu. [3, 4, 13, 22, 26]



Obr. 5.09 Wheatstonův můstek [3]

Podmínkou vyvážení Wheatstonova můstku je nulové napětí na měřicí diagonále, tedy mezi body B a D. Galvanoměrem neprotéká žádný proud a má tedy nulovou výchylku. Napětí mezi body A a B je pak stejné s napětím mezi body A a D, podobně je napětí mezi body C a B stejné jako napětím mezi body C a D. Z toho vyplývá základní podmínka rovnováhy: [3]

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3. \quad (5.04)$$

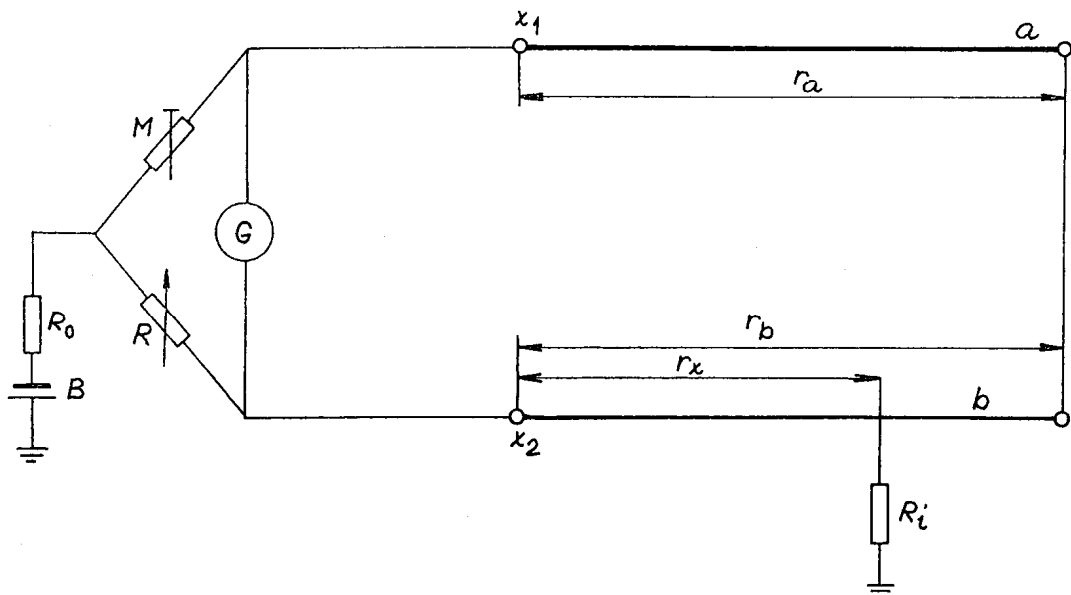
Dosadíme-li do této rovnice za odpor R_1 neznámý odpor R_x a za odpor R_2 srovnávací odpor R_n , obdržíme výsledný vzorec: [3]

$$R_x = R_n \cdot \frac{R_3}{R_4} \quad (5.05)$$

5.2.1. Zaměřování izolačních chyb

5.2.1.1. Murrayova metoda

Tato metoda představuje nejjednodušší aplikaci Wheatstonova můstku pro zaměřování izolačních závad. Používá se pro velké izolační poklesy, přičemž v kabelu musí být žíla, která má ještě dobrou izolaci. Pokud taková žíla není, může být využita dobrá žíla případného sousedního kabelu nebo natažena provizorní žíla stejné délky jako je měřený kabel. Dvě ramena můstku tvoří dobrá a vadná žíla s přívody, zbylá dvě ramena nastavitelné odpory M a R známé hodnoty. Měřené žíly jsou na vzdáleném konci spojeny. Na obr. 5.10 je znázorněno zapojení této metody, ze kterého vyplývá, že odpor poruchy R_i je v sérii se zdrojem napětí. Napájecí body můstku jsou tedy v místě závady a v uzlu odporů M a R .



Obr. 5.10 Zapojení Murrayovy metody [4]

Připojení můstku musí být provedeno velmi krátkými přívody, případně přímo na žíly kabelu, tak aby jejich odpor byl zanedbatelný vůči smyčkovému odporu žil. Nejprve se změří odpor smyčky r_{ab} , následně se můstek zapojí podle obr. 5.10.

Vhodným nastavením odporů M a R dojde k rovnováze, když bude splněna podmínka: [4, 13, 22, 26]

$$\frac{M}{R} = \frac{r_a + r_y}{r_x}, \quad (5.06)$$

kde: r_a je odpor dobré žíly $[\Omega]$,
 r_y je odpor vadné žíly mezi místem poruchy a vzdáleným koncem $[\Omega]$,
 r_x je odpor vadné žíly k místu poruchy $[\Omega]$.

Vyvážením můstku tedy dojde k rozdělení odporu smyčky r_{ab} v místě poruchy izolace vadné žíly na dva úseky, jejichž poměr je roven poměru známých odporů M a R . Úpravou vztahu (5.06) lze vyjádřit odpor k místu poruchy r_x vztahem: [3, 4, 13, 14, 22, 26, 38]

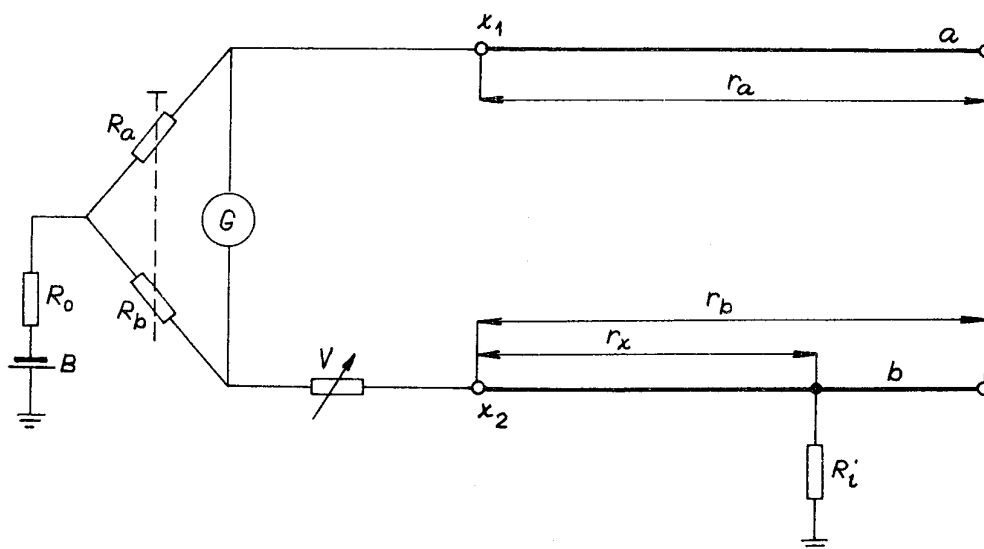
$$r_x = \frac{R \cdot r_{ab}}{M + R} \quad [\Omega]. \quad (5.07)$$

Protože odpor žíly je úměrný délce kabelu, tudíž i odpor smyčky r_{ab} je úměrný délce smyčky l_{ab} ($r_{ab} \sim l_{ab}$), můžeme dosazením do vztahu (5.07), nejsou-li žíly pupinovány, vyjádřit rovnou vzdálenost k místu poruchy l_x : [13, 38]

$$l_x = \frac{R \cdot l_{ab}}{M + R} \quad [\text{m}]. \quad (5.08)$$

5.2.1.2. Varleyova metoda

Tato metoda je rozšířením metody Murrayovy. Rozdíl spočívá v tom, že poměr odporů R_a a R_b , které jsou společně nastavitelné, je dán mocninou čísla 10. Tento pevně nastavený poměr, jehož hodnoty bývají 0,001-0,01-0,1-1-10-100000 se označuje A . Můstek je proto navíc doplněn o odpor V , jehož nastavováním se provádí vyrovnání. Na rozdíl od Murrayovy metody, která se více hodí pro zaměřování poruch na vzdáleném konci kabelu, se tato metoda více hodí na zaměřování izolačních poruch na blízkém konci kabelu.



Obr. 5.11 Zapojení Varleyovy metody [4]

Postup zaměřování je obdobný jako v předcházejícím zapojení. Podle obr. 5.11 bude splněna podmínka rovnováhy, když: [4, 13, 22]

$$\frac{R_a}{R_b} = A = \frac{r_a + r_y}{V + r_x}. \quad (5.09)$$

Odpor žíly k místu poruchy r_x , je pak dán úpravou vztahu (5.09) jako: [4, 13, 22, 38]

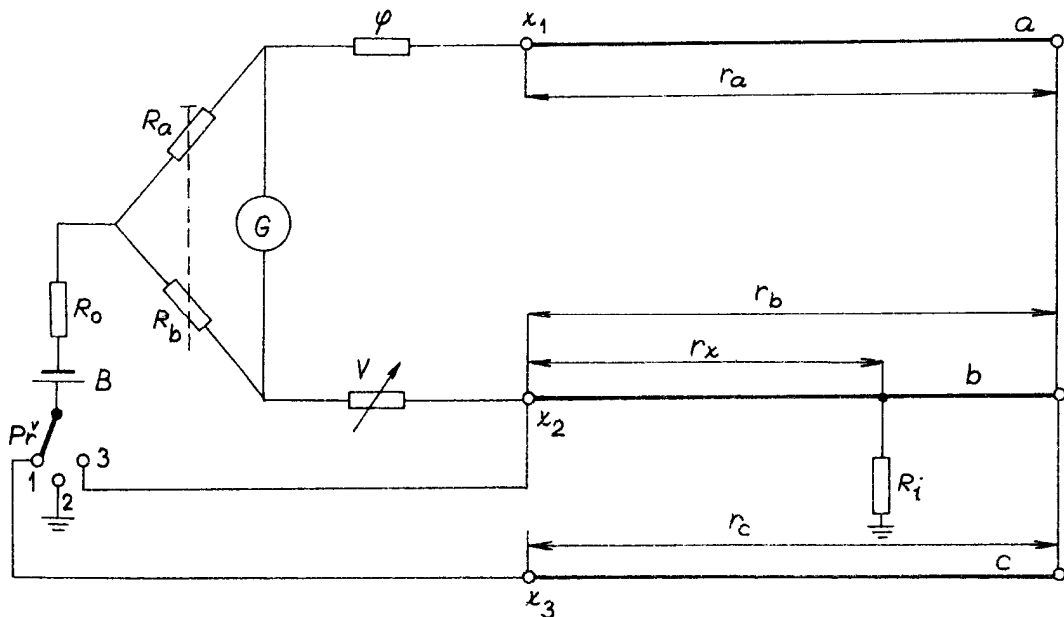
$$r_x = \frac{r_{ab} - AV}{A + 1} \quad [\Omega]. \quad (5.10)$$

Na základě předcházejících vztahů a úměrnosti odporu s délkou je tedy vzdálenost k místu poruchy l_x : [4, 13, 38]

$$l_x = \frac{r_x \cdot l_{ab}}{r_{ab}} \quad [\text{m}]. \quad (5.11)$$

5.2.1.3. Ludvíkova metoda

Tato metoda se používá v případě, že zaměřujeme poruchu na velmi krátkém kabelu nebo na kabelu s velkým průřezem žil, což je typické zejména pro silové kabely. Odporů přívodů vůči smyčkovému odporu žil tedy nelze zanedbávat.



Obr. 5.12 Zapojení Ludvíkovy metody [4]

Z obr. 5.12 je patrné, že se jedná o třibodové zapojení můstku založené na Varleyově metodě. Můstek je navíc napájen na začátku a na konci měřeného kabelu, což vyžaduje k měření další dobrou žílu v kabelu, případně jiný pomocný vodič. Při každé poloze přepínače se provádí vyrovnání můstku odporovou dekadou V . Celkem se tedy dělají tři měření, ze kterých získáme hodnotu odporu V_1 , V_2 a V_3 .

Z měření v poloze přepínače 1 a 3, tedy hodnot V_1 a V_3 lze vypočítat odpor vadné žíly r_b vztahem: [4, 22]

$$r_b = \frac{A \cdot (V_3 - V_1)}{A + 1} \quad [\Omega], \quad (5.12)$$

kde: A je poměr odporů R_a / R_b , tedy hodnota daná mocninou čísla 10.

Z měření v poloze přepínače 2 a 3, tedy hodnot V_2 a V_3 lze vypočítat odpor vadné žíly k poruše r_x vztahem: [4, 22]

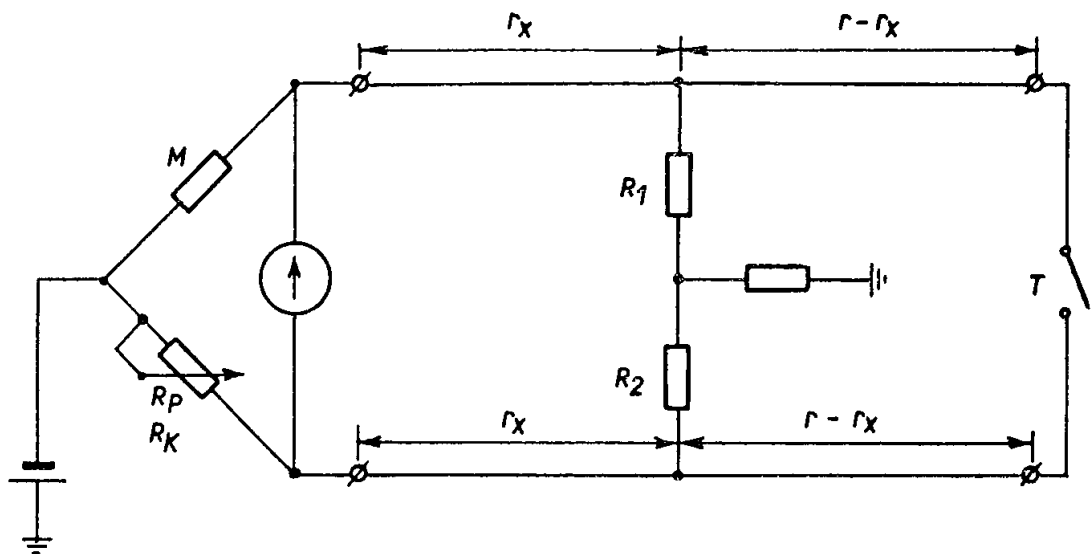
$$r_x = \frac{A \cdot (V_3 - V_2)}{A + 1} \quad [\Omega]. \quad (5.13)$$

Za předpokladu homogenního vedení, tedy že odpor žíly r_b je úměrný délce kabelu l , je vzdálenost k místu poruchy l_x dána vztahem: [4, 22]

$$l_x = \frac{r_x}{r_b} \cdot l = \frac{V_3 - V_2}{V_3 - V_1} \cdot l \quad [\text{m}]. \quad (5.14)$$

5.2.1.4. Küpfmüllerova metoda

Předcházející tři můstkové metody lze použít za předpokladu, že izolační odpor vadné a zdravé žíly se liší nejméně o dva řády a jejich smyčkový odpor je mnohem menší než jejich odpor izolační. Zejména na kabelech s papírovou izolací žil, však vlhkost zasahuje v krátké době celý profil kabelu a není-li k dispozici dobrý vodič z jiného kabelu, případně nelze-li použít jiný pomocný vodič, nelze použít výše zmiňované můstkové metody. Pokud je rozdíl izolačních odporů žil alespoň dvojnásobný, lze poruchu zaměřit Küpfmüllerovou metodou, jejíž schéma zapojení je na obr. 5.13.



Obr. 5.13 Zapojení Küpfmüllerovy metody [22]

Ze schématu zapojení je patrné, že tato metoda vychází z Murrayova zapojení. Předpokladem pro úspěšné zaměření poruchy je, že obě žíly musí být stejné konstrukce a izolační odpory v místě poruchy R_1 a R_2 ($R_1 > R_2$) musí být alespoň řádově větší vůči smyčkovému odporu žil. Můstek se vyrovnává nastavením odporu R na vyrovnávací dekádě, čímž získáme hodnotu R_p při schematicky znázorněném rozpojeném spínači a hodnotu R_k při sepnutém spínači. Z takto naměřených hodnot se potom odpor žíly r_x k místu závady vypočte vztahem: [4, 13, 22]

$$r_x = 2r \cdot \frac{M \cdot (R_k - R_p)}{(M + R_k) \cdot (M - R_p)} \quad [\Omega]. \quad (5.15)$$

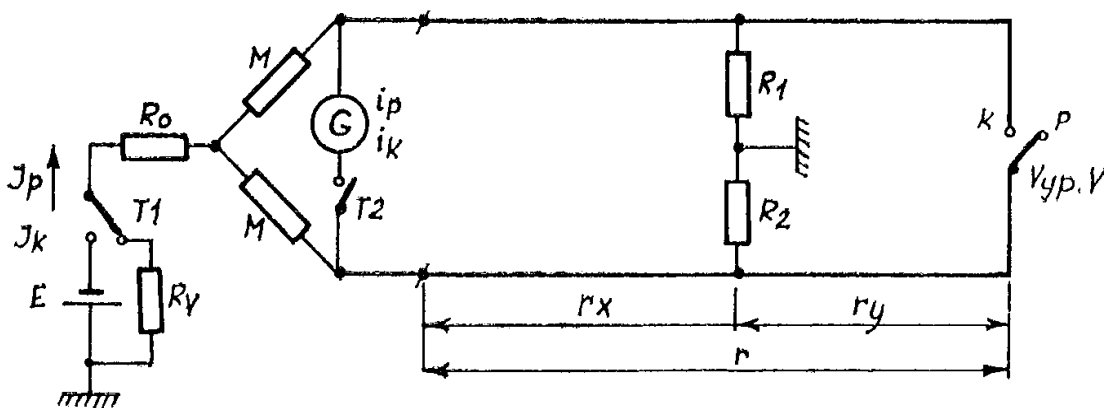
Vzdálenost k chybě l_x se pak za předpokladu homogenního vedení, tedy ($r \sim l$), vypočítá: [13, 22]

$$l_x = 2l \cdot \frac{M \cdot (R_k - R_p)}{(M + R_k) \cdot (M - R_p)} \quad [\text{m}]. \quad (5.16)$$

Protože vlivem měřicího proudu dochází ke změnám hodnot izolačních odporů v místě poruchy, čímž se mění i nastavení odporu R , provádí se měření střídavě při rozpojeném a při sepnutém spínači na vzdáleném konci kabelu v časových intervalech po cca 1 minutě. Pokud se naměřené hodnoty mění, berou se pro výpočet r_x a l_x střední hodnoty R_k a R_p z provedených měření. Při měření nakrátko, často vzniká trvalá výchylka galvanoměru způsobená termoelektrickým proudem vznikajícím v místě závady. Proto se můstek, narozdíl od měření naprázdno, nevyrovnává na nulu, ale na výchylku způsobenou tímto proudem. Se zvýšeným izolačním odporem se zmenšuje citlivost metody. Z tohoto důvodu, se při vyšších hodnotách izolačních odporů, používá zvýšené měřicí napětí a citlivější galvanoměr.

5.2.1.5. Hectorova metoda

Tato metoda je určena pro lokalizaci vysokohmových poruch kabelů s izolačním odporem 20 až 800 M Ω , v jejichž profilu není k dispozici zdravá žíla k měření. Narozdíl od přecházejících můstkových metod je metodou výchylkovou. Schéma zapojení je uveden na obr. 5.14.



Obr. 5.14 Zapojení Hectorovy metody [22]

Na konci vedení, stejně jako při zapojení Küpfmüllerovy metody, je schematicky zapojen vypínač. Z toho vyplývá, že je k zaměření poruchy třeba, minimálně dvou měření, naprázdno a nakrátko. Tedy při izolovaných a při zkratovaných vzdálených konců žil. Dále je z obrázku patrné, že dvě ramena můstku jsou tvořena pevnými, stejně velkými odpory M , proto se při různě velkých svodech R_1 a R_2 galvanoměr vychýlí. Z poměrů velikosti výchylek galvanoměru při měření naprázdno a nakrátko se vypočítá odpor k chybě r_x ze vztahu: [13, 22]

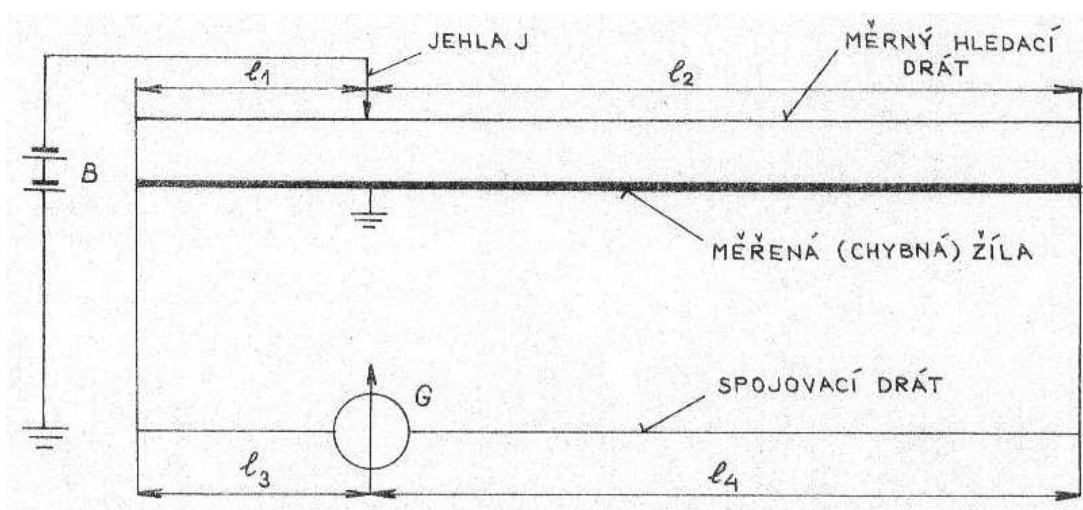
$$r_x = r - \frac{\alpha_k}{\alpha_p} \cdot \left(r + \frac{M \cdot r_g}{2M + r_g} \right) \quad [\Omega], \quad (5.17)$$

kde: α_k je výchylka galvanoměru při měření nakrátko,
 α_p je výchylka galvanoměru při měření naprázdno,
 r je odpor vadné žíly $[\Omega]$,
 r_g je vnitřní odpor galvanoměru $[\Omega]$.

Vzdálenost k chybě se za stejně platících předpokladů vypočítá dle vztahu (5.11). Postup měření je obdobný jako u Küpfmüllerovy metody, tedy měří se střídavě při izolovaných a při zkratovaných vzdálených konců žil v časových intervalech po cca 1 minutě. Mezi každým měřením se vedení vybije přes odpor R_v . Pokud se výchylky mění, berou se pro výpočet jejich střední hodnoty. Napětí měřící baterie bývá až 500V, velikost hodnoty odporů M bývá 1000 Ω . Galvanometr musí být při měření dobře tlumený a měl by mít vnitřní odpor kolem 250 Ω .

5.2.1.6. Metoda měrného drátu

Tato metoda se používá k přesnému určení místa závady na kabelu. Na rozdíl od všech předcházejících metod, se tak jedná o tzv. metodu přímou. Nad kabelovou trasou je nutno položit dva izolované dráty mající velmi dobrý izolační odpor, které se následně paralelně spojí s vadnou žílou. Schéma zapojení je provedeno podle obr. 5.15.



Obr. 5.15 Schéma zapojení pro zjišťování místa závady měrným drátem [4]

Použitím galvanoměru, vadné žíly a dvou dobrých žil tak vznikne Wheatstonův most Murrayova typu, jehož dvě větve tvoří žíla se svodem. Další dvě větve tvoří jeden z drátů položených nad kabelem, tzv. měrný hledací drát. Tento drát musí mít stejnou délku jako vadná žíla, mít všude stejný odpor a nesmí být nikde nastavován. V druhém položeném drátu je zapojen citlivý galvanoměr. Tento drát slouží jako spojovací a nemusí tak mít stejnou délku jako vadná žíla. Pokud je v kabelu dobrá žíla, může být použita jako zpětný vodič k zapojení galvanoměru. Při hledání místa svodu se postupně propichuje izolace měrného drátu ostrou jehlou J, zapojenou v obvodu baterie B, jejíž napětí je 300 až 500 V. Propichováním se hledá na měrném drátu takové místo, ve kterém bude galvanoměr ukazovat nulu. Toto místo přesně odpovídá i místu závady na kabelu, protože pro vyrovnaný most platí vztah: [4, 13, 22]

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{l_3}{l_4} \quad (5.18)$$

Přesné výsledky jsou dosahovány až do hodnoty 10 MΩ. Při větším přechodovém odporu je nutno použít vyšší napětí zdroje.

5.2.2. Zaměřování přerušovaných žil

Princip měření spočívá v porovnání dvou kapacit vzhledem k okolí. Protože kapacita žíly v homogenním kabelu je přímo úměrná její délce, stačí porovnat kapacity přerušené a dobré žíly kabelu. V případě přerušeného celého profilu, kapacitu přerušené žíly z obou konců kabelu. Kapacita žíly se tedy nemusí měřit a následně z ní počítat délku žíly.

5.2.2.1. Zaměřování střídavým proudem

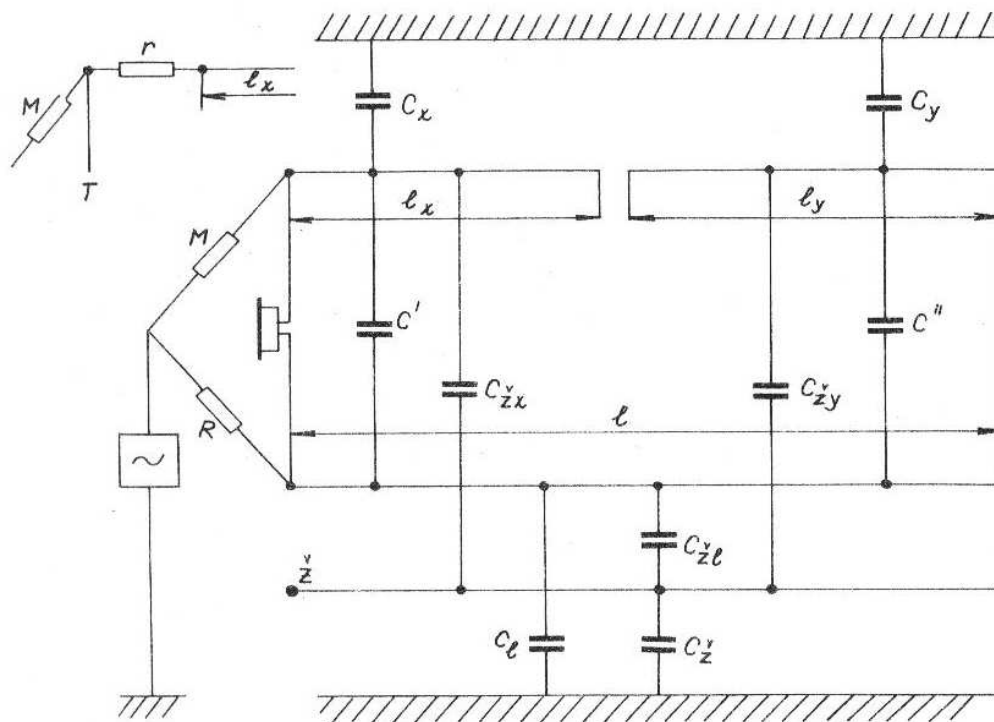
Ze schématu zapojení uvedeného na obr. 5.16 je patrné, že spojením na vzdáleném konci přerušené žíly se sousední dobrou žilou vznikne komplexní můstek. Odpor R je měnitelný a galvanoměr je nahrazen sluchátkem. Můstek je napájen z generátoru střídavým proudem o stálé frekvenci (typicky 800 Hz). Na obr. 5.16 jsou také naznačeny jednotlivé kapacity, přičemž počítáno je pouze s kapacitami žil proti zemi, které tvoří větve mostu (C_x , C_l , C_y). Kapacity žil proti sobě i proti ostatním žilám v kabelu nemají na výpočet vliv. Tón ve sluchátku nebude slyšet při vyrovnaní můstku, které nastane při: [4, 22]

$$\frac{M}{R} = \frac{Z \cdot C_x}{Z \cdot C_{(l+y)}}, \quad (5.19)$$

kde M , R a Z jsou ohmické odpory a impedance mostu.

Vzdálenost k chybě od místa měření je pak za předpokladu, že kapacity C_l , C_x , C_y jsou úměrné délkám l , l_x a l_y dána vztahem: [4, 13, 22]

$$l_x = 2l \cdot \frac{R}{M + R} \quad [\text{m}]. \quad (5.20)$$



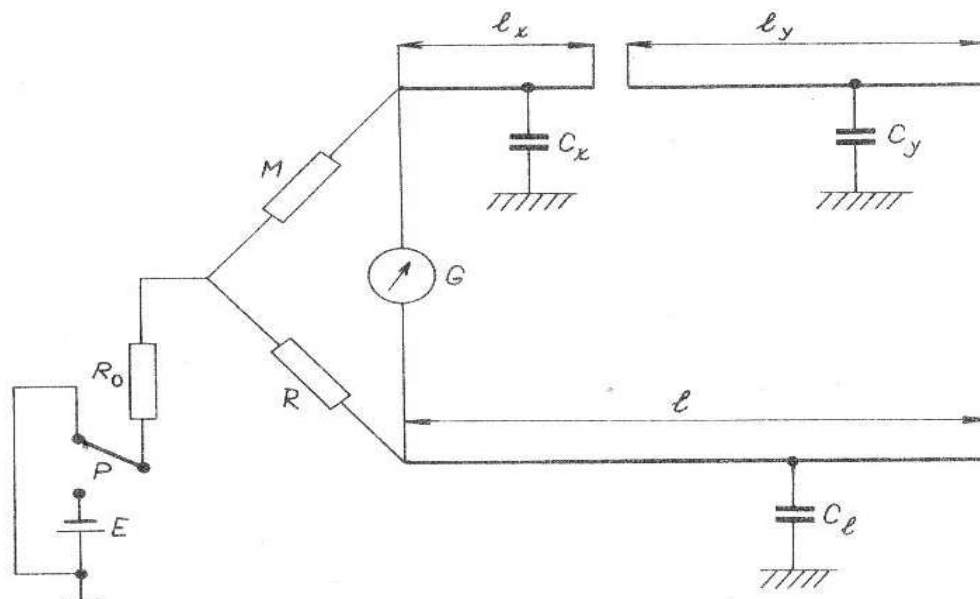
Obr. 5.16 Schéma zapojení pro zaměření přerušené žíly st proudem [4]

Při zaměřování poruchy na kabelech delších než 1 km je nutné, k dosažení přesného minima tónu ve sluchátku, připojit k přerušené žíle ještě měnitelný odpor r (viz obr. 5.16). Tímto odporem vyrovnáváme fázový rozdíl v obou kapacitních větvích, aniž bychom ovlivnili výsledek měření. V případě pupinovaného kabelu lze toto zapojení použít jen mezi pupinačními cívkami.

5.2.2.2. Zaměřování stejnosměrným proudem

Při použití stejnosměrného proudu se neuplatňuje kapacitní složka impedance, jež při zaměřování střídavým proudem omezuje možnou délku kabelu (cca 5 km u místních kabelů). Tuto metodu tak v podstatě můžeme použít na libovolně dlouhých kabelech. Schéma zapojení je na obr. 5.17. Můstek je napájen z baterie a indikace je prováděna galvanoměrem. Na vzdáleném konci je opět spojena vadná žíla s žílou dobrou. Vlastnímu měření předchází tzv. ověření správnosti měřicí připravenosti můstku. Nejprve se nastaví střední citlivost bočníku galvanoměru a odpory R a M na hodnotu 1000Ω . Po připojení baterie přepínačem P se galvanoměr vychýlí. Následně se přepne přepínač a vedení se přes odpory R a M vybije, což by se mělo projevit stejně velkou výchylkou na galvanoměru na opačné straně stupnice než při nabíjení. Jestliže můstek splňuje tuto podmínku, může se začít s měřením. Postupně se zmenšuje odpor R , čímž se snižuje výchylka galvanoměru při střídavém nabíjení a vybíjení vedení. Jakmile je výchylka galvanoměru při jeho nejvyšší citlivosti nulová, je můstek vyrovnán. Vzdálenost k místu poruchy se pak vypočítá pomocí vztahu: [4, 13, 22]

$$l_x = 2l \cdot \frac{R}{M + R} \quad [\text{m}] \quad (5.20)$$



Obr. 5.17 Schéma zapojení pro zaměření přerušené žíly ss proudem [4]

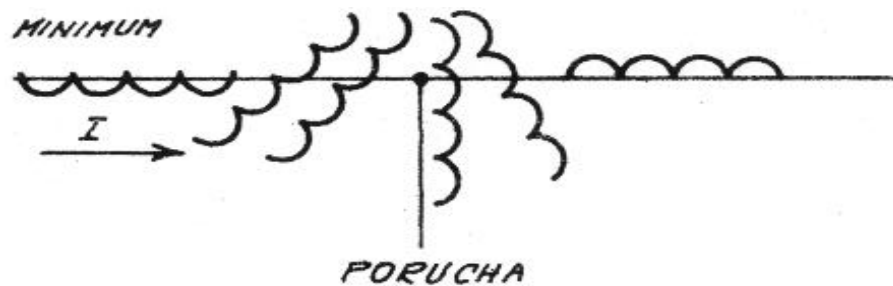
Při zaměřování poruchy na dlouhých kabelech, jejichž přerušená žíla je blízko místa měření, většinou nelze galvanoměr vyrovnat na nulu. Směry jeho výchylek jsou nejednoznačné a kolísají okolo nuly, což je způsobeno nestejnou strmostí nabíjecích křivek obou vodičů. V těchto případech se připojuje k přerušené žíle ještě měnitelný odpor r (například 1000Ω), kterým se provede jemné doladění. Na rozdíl od metody střídavého proudu, je tato metoda o trochu náročnější a používá se tak na dlouhých a pupinovaných kabelech. Vliv pupinačních cívek na výsledek měření je totiž zcela zanedbatelný.

5.3. Induktivní metoda

Tato metoda je založena na poznatku, že kolem vodiče, kterým prochází elektrický proud, se vytváří magnetické pole. Proto je tato metoda též nazývána metodou magnetického pole. Používá se pro přesné určení místa nízkoohmových zkratů pomocí kabelového hledače.

5.3.1. Metoda nejasného minima

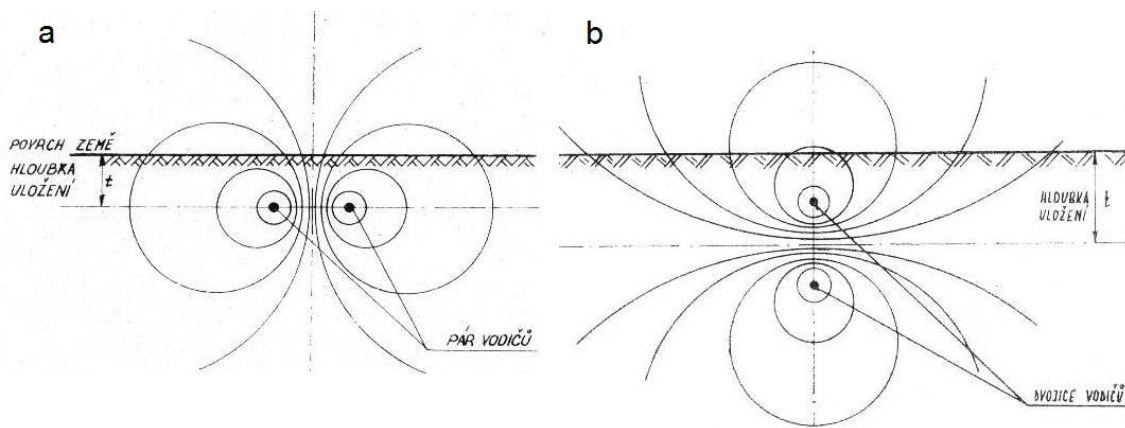
Podmínkou použití této metody je nízký přechodový odpor mezi žilou a kabelovým pláštěm. Vysílač se připojí na vadnou žílu a plášť kabelu. Pro kratší kabely se volí frekvence 10 kHz , pro delší pak 1 kHz . Přijímač se vede těsně nad trasou kabelu. Poloha horizontální hledací cívky je rovnoběžná s kabelem, čímž v přijímači vzniká trvalé tónové minimum. Na místě přechodu proudu ze žíly do pláště vzniká druhé elektromagnetické pole, které způsobí rušení stálého minima. V přijímači je tak nad místem zkratu slyšet tón malé intenzity. V místě chyby totiž není minimum ve vzájemné rovnoběžné poloze osy hledací cívky a kabelu, ale například v poloze kolmé (obr. 5.18). Za poruchou je minimum opět při vzájemné rovnoběžné poloze. Místo chyby se potom ještě kontroluje pomocí vertikální hledací cívky. Nad místem poruchy pak v přijímači vzniká také nejasné tónové minimum. [3, 4, 13, 22, 26]



Obr. 5.18 Poloha cívky při tónovém minimu [13]

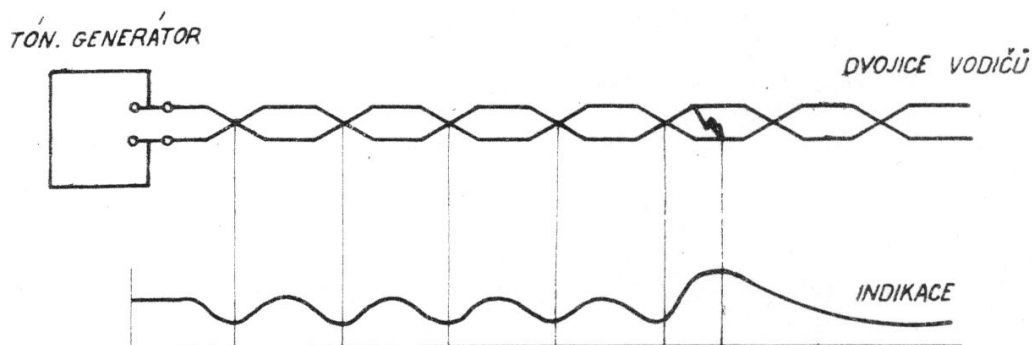
5.3.2. Závitová metoda

Tato metoda se používá k přesnému určení místa polohy zkratu mezi žilami. Je určena pro kabely, v nichž jsou jednotlivé žíly navzájem stočeny. Žíly tak tvoří tzv. závit. Vysílač je připojen ke dvojici vadných žil, jež jsou na vzdáleném konci rozpojeny. Kolem vadných žil vzniká magnetické pole, jehož intenzita se mění podle změny polohy žil v kabelu (závitu). V rovině kolmé k horizontální ose žil, má magnetické pole charakteristický osmičkový tvar (obr. 5.19a) a ve vertikální hledací cívce se tak indukuje maximální napětí. Přesně nad osou žil bude v horizontální hledací cívce umístěné příčně k této ose naopak nulová indikace, která při stranovém posuvu cívky prudce poroste. Je-li osa žil vertikální, má průběh magnetického pole nad povrchem půdy podobný tvar jako má jednotlivý vodič (obr. 5.19b). U vertikální hledací cívky tak obdržíme minimum indukovaného napětí a v případě příčně umístěné horizontální cívky maximum indukovaného napětí. [3, 13, 22, 26]



Obr. 5.19 Magnetické pole dvojice vodičů [3]

Při pohybu hledací cívky nad kabelem v podélném směru, tak můžeme sledovat periodické změny magnetického pole. Ve stejném rytmu se budou střídát maxima a minima a to jak při horizontální, tak při vertikální poloze hledací cívky. Stejný průběh pro obě polohy hledací cívky jsou jen posunuté o jednu čtvrtinu zákrutu. Změna magnetického pole je rytmická až do místa poruchy. V případě malého přechodového odporu mezi žilami (přibližně do 30 Ω), obdržíme v místě poruchy obzvláště silné maximum, přičemž za poruchou indikované magnetické pole přechází v ustálenou hodnotu nebo úplně mizí (obr. 5.20). Má-li přechodový odpor v místě poruchy větší hodnotu, může do další části kabelu téci kapacitní proud, který způsobí vznik závitového pole i za poruchovým místem. V případě velkého přechodového odporu, může také vzniknout i silné magnetické pole mezi žilami a pláštěm kabelu. Toto pole pak svou intenzitou úplně překryje pole závitové. [3, 13, 22, 26, 39, 41]



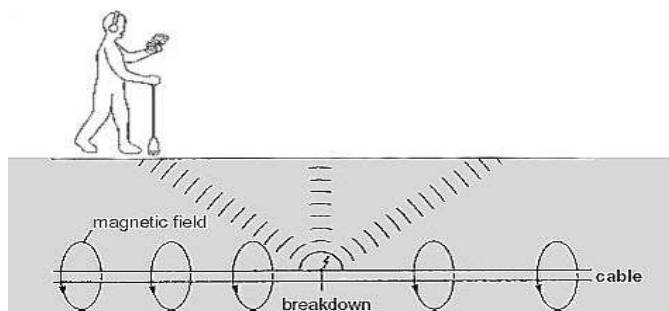
Obr. 5.20 Závitová metoda [3]

Protože žíly ve spojkách jsou od sebe více vzdáleny než v kabelu, je možné určit i polohu spojek na kabelu. Použití této metody je však mimo jiné omezeno i hloubkou uložení kabelu. Je-li hloubka uložení kabelu pod terénem větší, než je délka jednoho zákrutu žíly, dochází ke vzájemnému překrývání signálů a závitové změny nejsou slyšitelné. Protože většina sdělovacích kabelů má zákrutovou délku žil podstatně kratší než je předepsaná hloubka uložení, je tato metoda vhodná zejména pro silové kabely.

5.4. Rázová akustická metoda

Při této metodě je do kabelu opakovaně vyslána rázová vlna o vysoké energii, která v místě poruchy způsobí přeskok, jenž je provázen akustickým rázem. Vytvořená tlaková vlna je pak na povrchu snímána citlivým půdním mikrofonom. Základním předpokladem této metody je tedy porucha vysokoohmového charakteru, kdy k přeskoku dochází až po dosažení určité hodnoty napětí. Tímto předpokladem jejího použití se liší od indukční metody, která rovněž slouží k přesné lokalizaci poruchy na trase kabelu.

Pro získání napěťových rázů se používá rázový generátor, jenž obsahuje rázový kondenzátor. Před použitím rázového generátoru, je nutné všechny žíly měřeného kabelu na vzdáleném konci vzájemně spojit a uzemnit. V případě velkého přechodového odporu by totiž nemuselo dojít v místě poruchy k přeskoku a rázová vlna by tak dospěla až k druhému konci kabelu. Tam by nastal odraz, čímž by se amplituda vlny zdvojnásobila. Prudké zvýšení napětí na kabelu by pak mohlo způsobit vznik dalších poruch nebo i poškodit vlastní rázový generátor. Intenzita zvuku vytvořeného v místě poruchy je závislá na velikosti vzniklé tlakové vlny, která se šíří půdou. Velikost tlakové vlny závisí především na rázovém výkonu v místě poruchy. Ten ovlivňuje průměr vodiče, délka kabelu a jeho impedance. Pro přeskok v místě poruchy je pak rozhodující skokový vzestup napětí za jednotku času. Přestože může být v optimálních podmínkách akustický ráz tak intenzivní, že je slyšitelný i pouhým uchem (frekvenční rozsah je asi 20 až 800 Hz), jsou přijímače vybaveny různými filtry k odlišení rušivých rázů, například od okolní dopravy. Postup rázové vlny kabelem je doprovázen příslušným elektromagnetickým polem, jež bývá kvůli lepšímu rozlišení snímáno také (obr. 5.21). V tomto případě pak bývá přijímači vyhodnocován i časový posuv mezi akustickými a elektromagnetickými signály, čímž se podstatně zlepší a zrychlí navádění k místu poruchy a to i v hlasitém prostředí. Protože u dlouhých kabelů nebo u kabelů s velkým tlumením se původní strmé čelo vybíjecího impulzu zploští, čímž se sníží předpoklad k přeskoku, je tato metoda vhodná pro kratší kabelové úseky. [3, 13, 26, 39, 41]

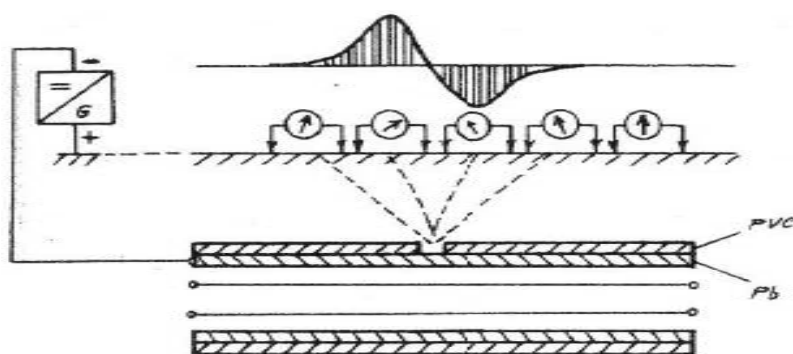


Obr. 5.21 Rázová akustická metoda [39]

5.5. Metoda krokového napětí

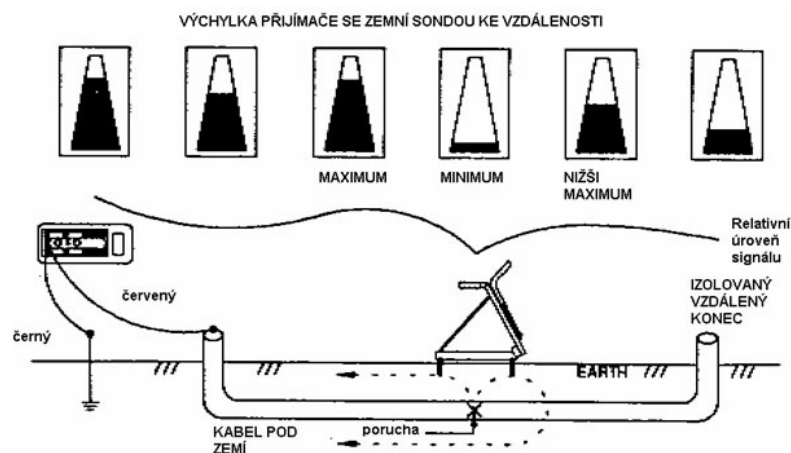
Tato metoda je určena pro vyhledávání poruch kabelového pláště přímo na trase kabelu. V místě, kde proud vstupuje do země, se vytváří napěťový trychtýř, jehož poloha se dá pomocí dvou zemních tyčí a galvanometru přesně určit. Porucha se tak dá lokalizovat s téměř bodovou přesností. Podle typu kabelu se zdroj připojuje jednou svorkou na kovový plášť, stínění nebo k případné vadné žíle a druhou svorkou na zem. Pro vytvoření co nejlepších podmínek je nutné, aby kabel nebyl nikde uzemněn. Tím se zajistí maximální možný proud tekoucí v místě poruchy do země. K uzemnění zdroje se doporučuje užít vlastního uzemňovacího kolíku. Ten by měl být zabodnut do země (v místě, kde se nepředpokládá výskyt jiných podzemních sítí nebo kovových objektů) co možná nejdále a kolmo od měřeného kabelu. Napětí zdroje může být jak stejnosměrné tak i střídavé. Pokud je kabelová trasa neznámá, je nutné ji před vlastním zaměřováním poruchy nejdříve vytýčit a označit.

Jako zdroj stejnosměrného napětí se používá propalovací transformátor (např. Seba BT 500). Na obr. 5.22 je znázorněno zapojení a princip zaměřování poruchy. Z porušeného kabelového pláště vstupuje proud do země a teče zpět ke generátoru. Nad kabelovou trasou se po určité vzdálenosti zabodávají zemní tyče (tyče jsou drženy v ruce a jejich vzájemná vzdálenost zabodnutí je tak do 2 m). Ze začátku měření může být vzdálenost mezi jednotlivými zabodnutími i několik desítek metrů. V těsné blízkosti poruchy se naměří napěťové maximum. Jakmile se porucha přejde, změní se polarita měřeného napětí. Při umístění tyčí ve stejné vzdálenosti na obě strany od místa poruchy jsou napětí opačných polarit vykompenzována a hodnota krokového napětí je tak nulová. Z důvodu eliminace rušivých napětí při měření, se většinou stejnosměrné napájecí napětí v pravidelných intervalech přerušuje (např. 1 sekundu je zapnuté a 3 sekundy vypnuté). Na galvanoměru se pak můžou sledovat jen zvýšené výchylky. Zemní tyče je možné, v případě nemožnosti jejich zabodnutí nad kabelovou trasou zapíchnávat i v posunuté rovině od kabelové trasy.



Obr. 5.22 Metoda krokového napětí pomocí ss proudu [13]

Jako zdroj střídavého napětí se používá výkonový generátor, nejčastěji vysílač kabelové hledačky. Aby napájecí tónový generátor byl co nejméně kapacitně zatížen, volí se nízká frekvence (většinou blízká 1 kHz, maximálně pak 10 kHz). Signál o nízké frekvenci také lépe vtéká v místě poruchy do půdy. Požadavky na připojení jsou stejné jako při použití propalovacího transformátoru. Místo zemních tyčí se však pro příjem signálu používá tzv. A-rám. Vzájemná vzdálenost zemních hrotů je tak pevně dána (cca 60 cm). A-rám může být buď samostatnou jednotkou, která obsahuje zesilovač a galvanoměr nebo příslušenstvím kabelového hledače, se kterým je pomocí propojovacího kablíku spojen. Tónová frekvence se může mnohonásobně selektivně zesílit, čímž se dosáhne úplného potlačení všech rušení, které jsou vyvolány například bludnými proudy. Další výhodou, oproti stejnosměrnému zdroji napětí, je možnost snímat pomocí A-rámu krokové napětí i kapacitně, čímž lze uskutečnit měření i na místech s pevným povrchem. Při zaměřování poruchy se nejprve kontroluje úroveň signálu poblíž zemního kolíku. Přibližně stejný údaj by se totiž měl objevit i u místa poruchy. Postupným zapichováním A-rámu nad kabelovou trasou by měla úroveň signálu směrem k poruše vzrůstat. Těsně před poruchou bude intenzita signálu maximální, těsně za poruchou pak bude maximum o něco nižší. Mezi těmito místy, kde je přijímaný signál nulový, je pak porucha přímo pod středem A-rámu. Jeden zemní hrot je tedy před poruchou a druhý je ve stejné vzdálenosti za poruchou (obr. 5.23). Postup zaměřování je tedy stejný jako v případě použití stejnosměrného zdroje napětí, s tím rozdílem, že nad místem poruchy se nedá zjistit změna polarity. Měření směru proudu totiž obecně při tónové frekvenci není možné. Z tohoto důvodu mají novější typy vysílačů režim vyhledávání poruch, ve kterém jsou současně i zdrojem stejnosměrného napětí. Na přijímači je pak šipkami ukazován směr k poruše. Nevýhodou oproti propalovacímu transformátoru pak zůstává podstatně menší výkon generátoru. [3, 13, 26, 39, 40, 41]



Obr. 5.23 Metoda krokového napětí pomocí st proudu [40]

6. Postup při zaměřování různých druhů poruch

6.1. Druhy kabelových poruch

Mezi nejběžnější druhy kabelových poruch metalických kabelů patří snížený izolační odpor vůči zemi, zkratky a přerušování žil. Mezi další druhy poruch patří zejména přeskoky a přeslechy. Naproti tomu na optických kabelech se kromě poškození pláště, jenž na provoz nemá vliv, vyskytují pouze dva druhy kabelových poruch. Nejčastěji se jedná o přerušovaná vlákna, k jejichž přerušování dochází v důsledku mechanického poškození nebo namáhání. Tou další je pak ohyb vláken. Na typu vlákna a velikosti ohybu pak závisí míra vlivu na provoz (viz kap. 4). Příčinou mohou být kromě jiného i teplotní změny, jež mohou ve spojkách způsobit vytlačování vláken z trubiček do kazet. [3, 4, 13, 17, 19, 22, 26, 39, 41]

6.1.1. Snížený izolační odpor vůči zemi

Ke snížení izolačního odporu dochází v důsledku pronikání vlhkosti poškozenými soubory nebo pláštěm kabelu. Zejména na typu izolace pak závisí rychlost dopadu na provoz. V případě papírové nebo styroflexové izolace nastává celkový výpadek provozu po relativně krátkém čase. Ostatní typy izolací (PVC, PE, XLPE) jsou vůči působení vlhkosti odolnější. Výpadek provozu tak zpravidla nastává až po časově delším působení, při kterém například v XLPE izolaci vn kabelů dochází k charakteristickému růstu vodních stromečků. Konstrukce kabelu pak má vliv na podélné šíření vlhkosti. V případě suchého provedení může vlhkost proniknout i na vzdálenost několika desítek metrů od poruchového místa. V této délce pak musí být kabel vyměněn. Výjimku však tvoří některé typy nových suchých kabelů, jež obsahují vodu blokuující pásy.

6.1.2. Zkratky

Ke zkratu, tedy nízkohmovému spojení dvou nebo více žil dochází v důsledku poškozené izolace. U silových kabelů bývá příčinou mimo jiné její stárnutí. U sdělovacích kabelů pak bývá někdy příčinou spadlá izolační dutinka nebo odkápnutý cín při letování zátorky (stará technologie spojování kabelových žil). V důsledku zkratu přitom může dojít u silových kabelů až ke vzájemnému svaření žil. O zemním zkratu pak mluvíme v případě spojení žíly s kovovým pláštěm, stíněním nebo zemí.

6.1.3. Přerušování žil

K přerušování žíly dochází nejčastěji v důsledku mechanického poškození kabelu. Další příčinou bývá uhoření žíly u silových kabelů nebo opět špatné provedení zátorek (neproletování, studený spoj, případně nalomení žíly při odizolování) u kabelů sdělovacích.

6.1.4. Přeskoky

K přeskokům dochází na vn kabelech a to mezi žilou a stíněním (XLPE kabely) nebo žilou a pláštěm (PILC kabely). Nejčastěji se vyskytují ve spojkách a na rozdíl od výše zmíněných poruch se obvykle neprojevují trvale, ale často jen v závislosti na zatížení kabelu. Příčinou bývá například stárnutí izolace nebo špatně provedená spojka.

6.1.5. Přeslechy

Přeslech, tedy nežádoucí přenos energie z jednoho okruhu do druhého může být způsobován různými vlivy. Nejčastěji je však způsoben záměnou žil nebo snížením izolačního stavu žil. Záměna žil vzniká nepozorností techniků při spojování nebo

ukončování kabelů. Snadno pak k ní dochází zejména ve spojkách, kde bylo prováděno vyrovnání kapacitních nesymetrií vykřížováním.

6.2. Postup při zaměřování poruch

Před vlastním zaměřováním je nejprve nutné určit, o jaký druh poruchy se jedná a v jakém je stavu. Tyto informace zjistíme změřením izolačního odporu a zkouškou continuity. V případě vn kabelů je pak často nutné provést i zkoušku napětíovou. Většina poruch je však kombinovaných, kdy například přerušená žíla má i zemní spojení. Výsledkem různých druhů příčin, typů kabelů a okolních podmínek je tak obrovské množství možných chyb. Navíc stále ještě neexistuje zařízení, kterým by bylo možné najít poruchu na kabelu bez ohledu na její druh. Měřicí technik tak musí podle druhu poruchy a také podle měřících přístrojů, které má k dispozici, zvolit vhodnou měřicí metodu k její lokalizaci. Postup při hledání poruchy se skládá z předběžné lokalizace, vytyčení trasy a následného přesného určení místa poruchy. [3, 4, 13, 22, 26, 39, 41]

6.2.1. Předběžná lokalizace

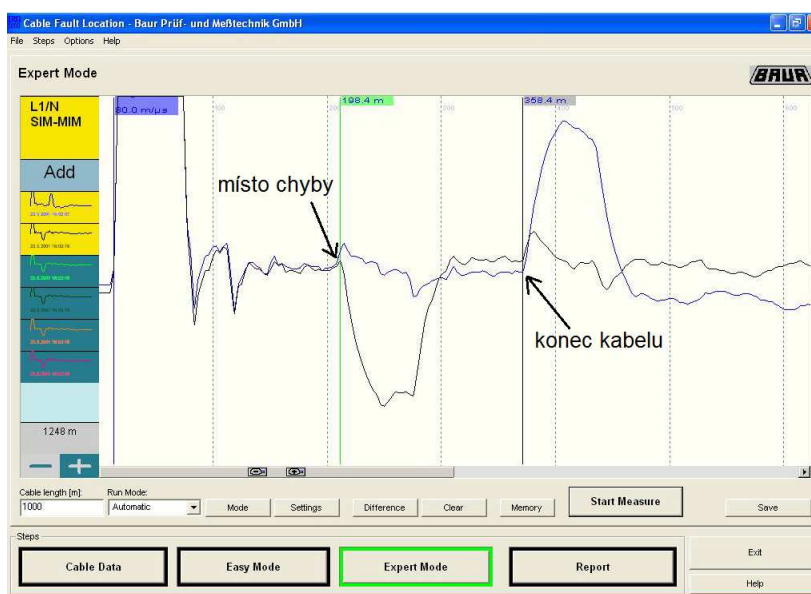
Úkolem předběžné lokalizace je hrubé určení místa poruchy na kabelové trase. Před samotnou lokalizací se nejprve zjišťují případné zjevné příčiny poruchy, například probíhající stavební činnost v blízkosti kabelové trasy. Po jejich vyloučení se určuje konstrukce kabelu, struktura sítě a měřením druh poruchy. Pro dosažení co nejpřesnějšího výsledku je třeba provádět zaměření v nejkratším možném úseku. K předběžné lokalizaci je určena impulsová (viz kap. 5.1) nebo můstková metoda (viz kap. 5.2). Volba měřicí metody závisí zejména na druhu poruchy a kabelu. V případech, kdy je možné provést zaměření pomocí obou metod, se pak obecně dává přednost impulsové metodě. Jedním z hlavních požadavků při odstraňování poruchy je totiž rychlost zaměření. [3, 4, 13, 17, 19, 22, 26, 39, 41]

Na silových kabelech se používá zejména metoda impulsová. Touto metodou se však dají zaměřit jen nízkoohmové chyby a přerušené žíly. V případech, kdy nelze poruchu na silových kabelech touto metodou zaměřit nebo je její určení nejednoznačné, se přistupuje k úpravě poruchy. Úprava spočívá ve snížení přechodového odporu v místě poruchy pomocí propalovacího transformátoru, jenž má regulované výstupní napětí a proud. Tepelným působením se tak přemění izolace na vodivý uhlíkový můstek. V některých případech pak může dojít i k upálení nebo ke vzájemnému svaření žil. Po provedené úpravě je tak porucha lehce zaměřitelná pomocí TDR. Můstkové metody se v současnosti na silových kabelech používají už jen na zaměření chyb kabelového pláště. Typické zapojení je pak podle Murraye.

Na sdělovacích kabelech je většinou snížení přechodového odporu z důvodu nízkého přípustného napětí, délky a malého průřezu žil neúspěšné nebo ho nelze provést. Mnohdy se navíc stává, že dojde jen k vysušení a tedy naopak ke zvýšení přechodového odporu v místě poruchy. Impulsová metoda je tak používána na zaměření přerušovaných žil, záměny žil, čistých zkratů a značně snížených izolačních stavů, tedy v případech, které znemožňují provoz. Na pupinovaných kabelech lze navíc tuto metodu použít jen omezeně (viz kap. 5.1). Kromě pupinovaných kabelů, se tak některá z můstkových metod používá k zamezení výpadku provozu při poklesu izolačního stavu. Nejlépe a nejpřesněji se zaměřují nízkoohmové chyby, kdy jsou v profilu ještě žíly o dobré izolaci. Vhodné měřicí metody jsou Murray, Varley a Ludvík. Není-li k dispozici zdravá žíla v profilu nebo souběžném kabelu, je zaměřování náročnější a výsledek nebývá tak spolehlivý. Vhodná měřicí metoda je například Küpfmüllerova. Případy vysokoohmových chyb (větších než 10 M Ω) se dnes z důvodu značné časové náročnosti

a neuspokojivých výsledků již nezaměřují. V současnosti se tak můstkové metody na sdělovacích kabelech používají stále velmi často. Na optických kabelech je z fyzikální podstaty možné zaměřit poruchu pouze metodou impulsní, tedy měřidlem OTDR.

V současnosti někteří výrobci (např. Baur) nabízejí pro zaměřování poruch silových vn kabelů spojení měřidla TDR a rázového generátoru. Měření pomocí nízkonapěťového a vysokonapěťového impulsu je pak označováno jako metoda SIM (sekundárně impulsní metoda) nebo MIM (několikanásobná impulsní metoda). Princip metody spočívá ve vyslání tří impulsů. První impuls je nízkonapěťový a slouží k vytvoření referenčního náměru. Jako druhý je vyslán vysokonapěťový impuls, jenž v místě chyby vytvoří elektrický oblouk. Poté je vyslán opět nízkonapěťový impuls (pět impulsů v případě metody MIM), který se v místě oblouku odrazí zpět. Tím je chybné místo na náměru zřetelně zaznamenáno (obr. 6.01). Touto inovovanou metodou je tak podstatně zkrácen čas předběžné lokalizace. Metoda je navíc při srovnání s klasickým propalováním šetrnější k okolním kabelům.



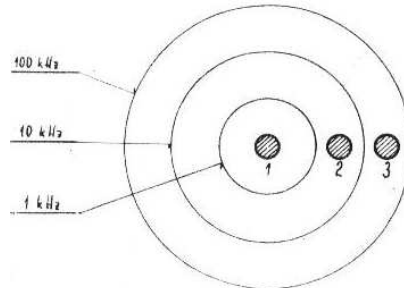
Obr. 6.01 Graf měření Baur IRG 3000, SIM/MIM [41]

6.2.2. Vytyčení trasy

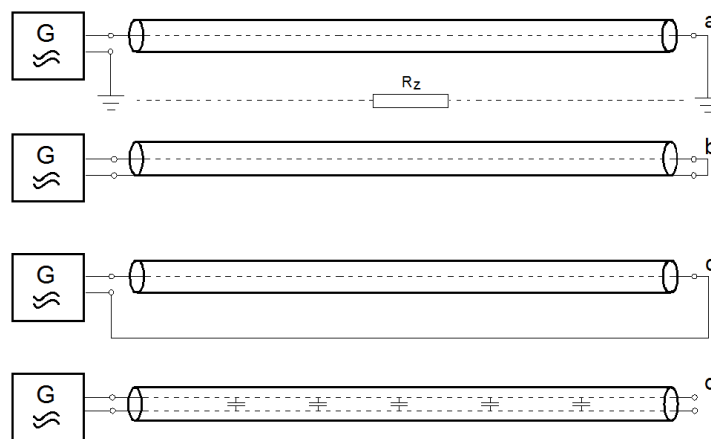
Pro přesné určení místa poruchy je důležitá důkladná znalost kabelové trasy. Úkolem vytyčení trasy je tak získání přesného průběhu a hloubky kabelu. Kabelové plány totiž nejsou vždy úplně přesné, navíc často ani nejsou k dispozici. Hloubka uložení v nich nebývá obvykle ani orientačně uvedena.

Vytyčování podzemních sítí je založeno na účincích magnetického pole. Bude-li vodičem protékat střídavý proud, bude se v cívce, kterou umístíme do magnetického pole, indukovat napětí (viz kap. 4.2.2). Potřebné údaje tak zjistíme z velikosti a tvaru přijímaného signálu. V nejjednodušším, ale také nejméně spolehlivém případě, tak k vytyčení trasy silových kabelů stačí jen přijímač využívající jako zdroj signálu pasivní frekvenci, tedy proud o průmyslové frekvenci 50 Hz. K odlišení jednotlivých silových vedení a k vytyčení ostatních typů metalických kabelů je nutné přivést na vedení aktivní vyhledávací frekvenci z vysílače (tónového generátoru). Frekvenční rozsah vysílače bývá od 600 Hz do 65 kHz. Z tohoto rozsahu je možné zvolit jen pevně dané frekvence (např. 9,8 kHz), přičemž frekvence nastavená na přijímači musí být shodná s vysílací frekvencí. Protože jednotlivé frekvence mají odlišné fyzikální vlastnosti šíření, je

důležitá jejich správná volba. Vyšší frekvence mají větší dosah měření. Vlivem většího vyzařování energie se však více indukují do souběžných okolních vedení. Jak je patrné z obr. 6.02, proud o frekvenci 1 kHz, protékající vedením 1, nemá na sousední vedení žádný vliv. Při použití stejného proudu, ale o frekvenci 10 kHz je však ozařováno i vedení 2 a při použití frekvence 100 kHz, zároveň i vedení 3.



Obr. 6.02 Vliv použité frekvence na sousední vedení [3]



Obr. 6.03 Galvanické připojení vysílače [42]

Přivedení aktivní frekvence na vyhledávané vedení je možné buď galvanicky, nebo indukčně. Správné přivedení signálu je klíčové k následnému přesnému vytyčení kabelu. Nemožnost nebo chybné vytyčení trasy je z 90% způsobeno právě špatným nebo nevhodným způsobem aplikace signálu.

Galvanické připojení zajišťuje nejlepší signál pro trasování. Protože vysílač je spojen pomocí propojovacích kabelů přímo s vyhledávaným vedením, je nazýváno též přímým připojením. Tím je umožněno měření proudu tekoucího vedením a volba všech dostupných frekvencí. Na velikost proudu pak má rozhodující vliv odpor zpětného vedení. Na obr. 6.03 jsou zobrazeny používané způsoby galvanického připojení vysílače. Nejčastěji používané zapojení je *a*, tedy s uzemněním generátoru. Doporučuje se používat vlastního uzemnění vytvořeného pomocí uzemňovacího kolíku. V případě zapojení *b* je jako zpětného vedení využít vodivý plášť nebo stínění kabelu, případně může být využita i jiná žíla v kabelu. Zapojení *c* využívá pomocný vodič mimo kabel a v zapojení *d* je zatěžovací odpor nahrazen kapacitou kabelu, jež roste úměrně s jeho délkou.

Indukčně je přivedena aktivní frekvence na požadované vedení pomocí vnitřní cívky vysílače nebo klešťové cívky, přičemž je nutné na vysílači volit vyšší frekvence (běžně 8 kHz a více). Výhodou této metody je možnost aplikovat signál na provozovaná vedení, tedy pod napětím. Při využití vnitřní cívky stačí jen vysílač položit na kabel

nebo volně na terén, přičemž je důležité položit vysílač přesně nad vedení v jeho směru (obr. 6.04). Jedná se tedy o nejjednodušší a nejrychlejší aplikaci signálu. Trasování je pak možné až v dostatečné vzdálenosti od vysílače (cca 10m). Nevýhodou je aplikace signálu i na všechna blízka vedení a malý dosah. Při využití indukčních kleští procházejí všechny silové čáry uvnitř prstence. Signál je tak aplikován jen na kabel, jenž kleště obemykají (obr. 6.05). Důležité je, aby kleště byly zacvaknuté a oba konce kabelu uzemněné. Tato metoda je zejména v případech kabelů pod napětím také často používána.

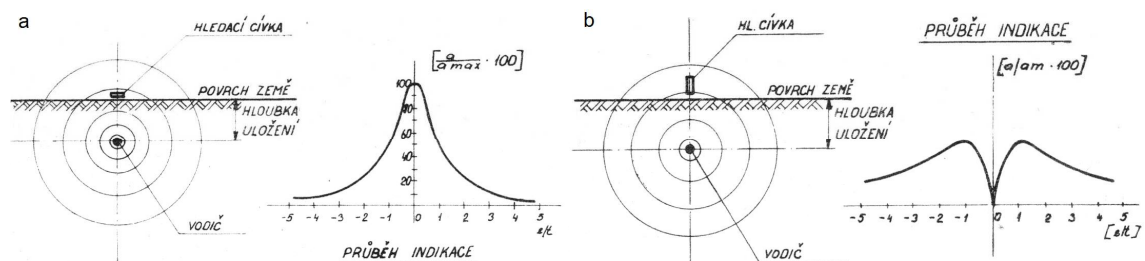


Obr. 6.04 Indukční navázání signálu vnitřní cívkou



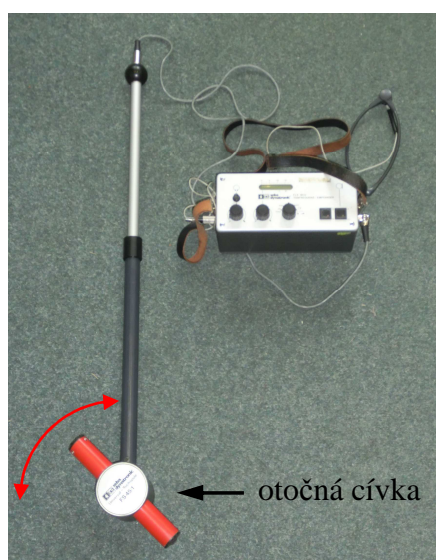
Obr. 6.05 Indukční navázání signálu klešťovou cívkou

Trasa hledaného kabelu se určuje přijímačem, tzv. metodou maxima nebo minima. Maximální metoda je založena na poznatku, že v horizontální cívkě umístěné kolmo k trase, se přesně nad kabelem indukuje nejvyšší napětí (obr. 6.06a). Po určení osy kabelu, je otáčením cívkou možné orientačně zjistit i směr trasy v daném místě. Směr trasy je totiž stejný jako směr natočení cívkou při nulové indikaci. Minimální metoda je naopak založena na poznatku, že svislou cívkou umístěnou přesně nad kabelem, budou siločáry probíhat kolmo k její ose, čímž bude indukované napětí nulové. Na obě strany od kabelu pak indukované napětí prudce roste (obr. 6.06b). Tato metoda je tedy citlivější a proto se používá k přesnému určení polohy poté, co je kabel nalezen metodou maxima. Lidské ucho také lépe určí místo nejslabšího signálu než místo s nejsilnějším signálem. Současné přijímače navíc v tomto režimu indikují polohu kabelu pomocí šipek.

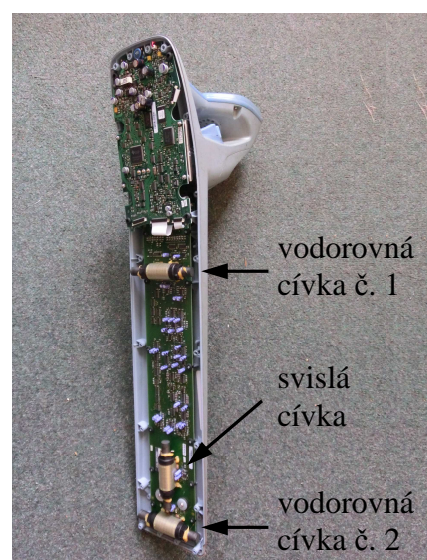


Obr. 6.06 Průběh indikace v závislosti na poloze cívkou [3]

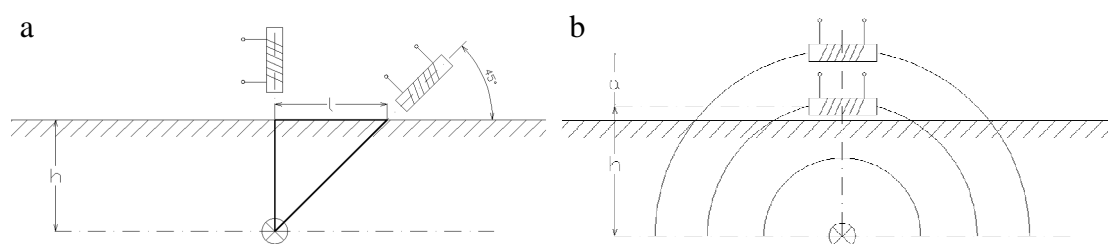
Určení hloubky kabelu závisí na typu přijímače, respektive na počtu snímacích cívek. Starší přijímače mají totiž externí otočnou cívku, která se k nim pomocí propojovacího kablíku připojuje (obr. 6.07). U těchto přijímačů se hloubka určuje minimální metodou. Po určení trasy se cívka pootočí o 45° . Při kolmém pohybu od trasy se cívkou těsně nad povrchem terénu, hledá opět minimum signálu. To nastává, když prodloužená osa cívky protíná osu hledaného kabelu. Vzdálenost obou minim je pak rovna hloubce kabelu pod úrovní terénu (obr. 6.09a). Nové přijímače mají tři snímací cívky, jež jsou pevně integrovány v těle (obr. 6.08). U těchto přijímačů se hloubka určuje maximální metodou, pomocí dvou vodorovných cívek. Hloubka kabelu je tak po stisku tlačítka vypočítána z rozdílu indukovaných napětí (obr. 6.09b).



Obr. 6.07 Starší typ kabelového lokátoru



Obr. 6.08 Novější typ kabelového lokátoru



Obr. 6.09 Měření hloubky uložení kabelu [42]

Přesné vytyčení optických kabelů je možné jen v případech, obsahují-li v sobě metalický prvek. Většina optických kabelů je ale plně dielektrických. Tyto kabely se vytyčují pomocí metalických kabelů, jež jsou s nimi ve společné kynetě nebo pomocí plánů a tzv. markerů. Markery slouží k označování důležitých míst, jako jsou například zlomy optických tras, kabelové komory, chráničky nebo spojky. Marker obsahuje LC obvod, který je většinou uvnitř plastové koule s kapalinou. K jeho lokalizaci je zapotřebí speciální anténa, která vysílá signál, jenž následně vybudí obvod v markeru. [3, 4, 13, 17, 19, 22, 26, 39, 41]

6.2.3. Přesné určení místa poruchy

Předběžnou lokalizací se zjistí vzdálenost poruchy na kabelu od jeho začátku. Na výsledek po zaměřování poruchy impulsovou nebo můstkovou metodou se však většinou nelze plně spolehnout. Kromě chyb způsobených například citlivostí přístrojů a nepřesným odečtením je jedním z hlavních důvodů dokumentace. Například plány trasy jsou kresleny v měřítku, případné kabelové rezervy nebývají uvedeny atp. Nejsou výjimkou ani případy, kdy známe jen místa, v nichž kabel končí. Proto je místo poruchy po předběžné lokalizaci určeno s tolerancí několika jednotek až desítek metrů. V případě velmi dlouhých kabelů, typicky sdělovacích, se však může jednat i o toleranci přesahující sto metrů. Z důvodu provádění jen nejnútnejších výkopových prací, bývá tolerance i několika málo metrů, zejména v zastavěném území pro odstranění poruchy nedostatečná.

K přesnému určení místa poruchy se užívá metoda induktivní, rázová akustická nebo krokového napětí. Tyto přesné metody určení místa poruchy jsou vhodné právě na procházení trasy ve vymezené toleranci. Jednotlivé metody včetně podmínek jejich použití jsou vysvětleny v předešlé kapitole.

Na silových kabelech se nejčastěji používá metoda krokového napětí. Podmínkou jejího použití je nízkoohmový zemní svod. Tato podmínka je právě v případě silových kabelů téměř vždy splněna, protože přechodový odpor v místě poruchy bývá po předběžné lokalizaci malý. Případně je možnost propalováním jeho hodnotu dodatečně ještě snížit. Metoda se však nedá použít na starých typech kabelů, tedy s izolací napuštěným papírem (PILC). Tyto kabely mají pancíř z ocelových pásků krytý jen vlákninovým obalem. Pancíř je tak spojen v celé délce kabelu víceméně vodivě se zemí, čímž v místě poruchy v podstatě zamezuje úniku proudu do země.

V případech, ve kterých není možné poruchu doměřit metodou krokového napětí, se používá rázová akustická nebo induktivní metoda. Obě metody lze použít jak na plastových tak i PILC kabelech. Podmínkou použití akustické metody je vyšší hodnota přechodového odporu v místě poruchy. Čím je přechodový odpor nižší, tím je doměření poruchy obtížnější. Hodnotu lze ale opět pomocí propalovacího nebo rázového generátoru vhodně upravit. Čisté zkraty všech žil však upravit nelze, a protože nedochází k přeskokům, nelze použít ani tato metoda. V těchto ojedinělých případech se pak používá metoda induktivní, tedy zaměření poruchy pomocí kabelového hledače.

Na sdělovacích kabelech je oproti silovým kabelům přesné zaměření místa poruchy podstatně náročnější. Jedním z hlavních důvodů je již zmíněná častá neúspěšnost nebo nemožnost snížení přechodového odporu v místě poruchy. Protože kromě malého průřezu žil mají sdělovací kabely také často i velkou délku, je rázová akustická metoda, jež se používá právě při větších hodnotách odporu, prakticky nepoužitelná. Z důvodu krátkého zákrutu žil je na povrchu nepoužitelná i závitová metoda.

Z metod určených pro přesné doměření, se tak na sdělovacích kabelech používá metoda krokového napětí nebo induktivní metoda. Obě metody však vyžadují nízký přechodový odpor. Metoda krokového napětí se používá v případech plášťových poruch nebo zemních zkratů s velmi nízkým odporem. Čím je hodnota přechodového odporu vyšší, pravděpodobnost určení přesného místa je nižší. Na starých typech kabelů se pak použít tato metoda nedá, což je stejné jako v případě silových kabelů. Zkraty bývá možné zaměřit kabelovým hledačem metodou nejasného minima nebo měřením proudu. Tuto funkci ale mají pouze některé typy nových kabelových hledačů.

Většina poruch na sdělovacích kabelech má často přechodový odpor vyšší, než vyžadují k úspěšnému určení místa obě výše zmíněné metody. V těchto případech se tak spoléhá jen na údaj z předběžné lokalizace. U krátkých kabelů je vzdálenost z bližšího

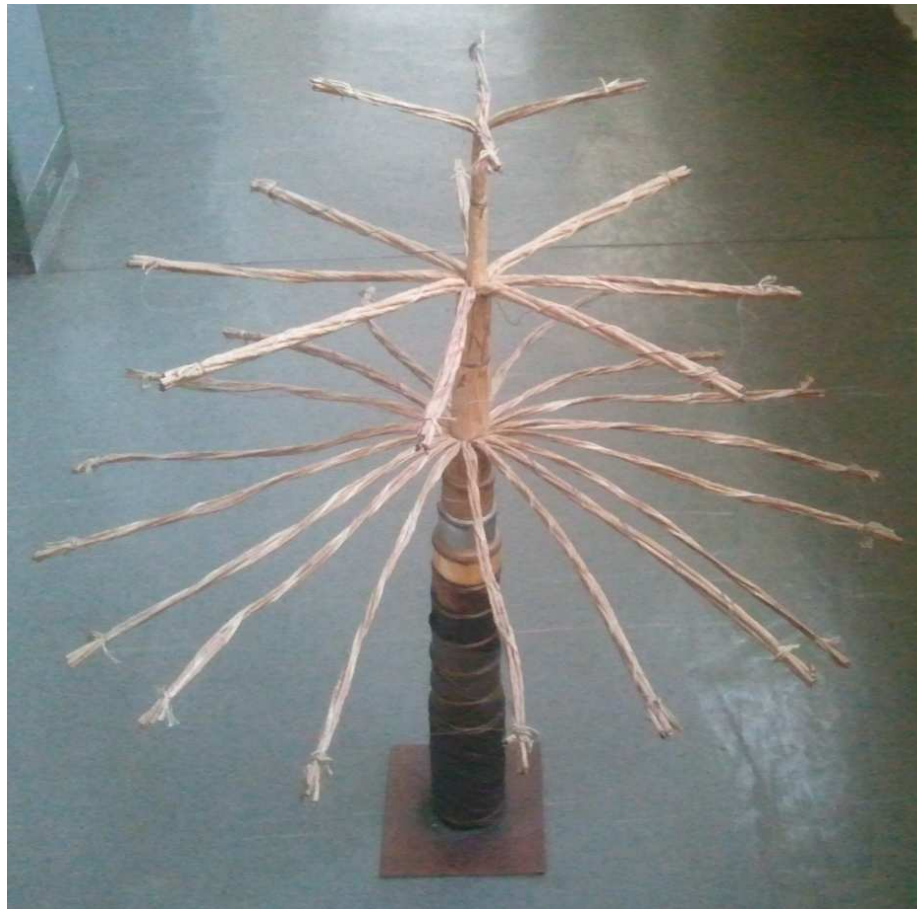
konce k místu poruchy co nejpřesněji na povrchu odměřena. U dlouhých kabelů je však kromě poruch zaměřených blízko jednoho z konců odměření velmi nepřesné. Navíc se stává, že výsledky po předběžném zaměření z obou stran se buď překrývají, nebo k sobě nedosahují. Proto se nejprve otevírá spojka, která je poblíž vypočítaného místa. Přitom se dodržuje pravidlo zaskočení poruchy, tedy otevření spojky, jež je z bližšího konce kabelu za místem předpokládané poruchy. Není-li spojka označena, lze jí občas najít pomocí kabelového hledače. Vychází se přitom z předpokladu, že spojka je buď v menší hloubce, nebo je oproti kabelu vybočena. Otevřením spojky tak dojde k podstatnému zmenšení délky měřeného kabelu. Následuje tedy opětovné měření impulsovou nebo můstkovou metodou. Vzdálenost k místu poruchy je pak pomocí měřicího pásma od spojky odměřena. V případě pochybnosti o správnosti výsledku se ještě otevírá nejbližší spojka za předpokládaným místem poruchy. Porucha se pak může přesně určit pomocí metody měrného drátu.

Nachází-li se v otevřeném výkopu více kabelů, které nelze od sebe jednoduše odlišit, používá se k identifikaci správného kabelu indukční metoda. Magnetické pole je snímáno pomocí indukčních kleští nebo stetoskopu (malá výběrová cívka), jež se připojují ke kabelovému hledači (přijímači). Tímto příslušenstvím přijímače, lze pak závitovou metodou přesně identifikovat zkratky žil i na sdělovacích kabelech. [3, 4, 13, 22, 26, 39, 41]

7. Stejnoseměrná měření na kabelech

Měření prováděná stejnosměrným proudem patří k základním měřením v kabelové technice a jsou tudíž nedílnou součástí všech měření od kontrolních až po komplexní. Na rozdíl od měření prováděných střídavým proudem, jsou to měření jednoduchá a finančně nenáročná na měřicí vybavení. Naměřené hodnoty mají zásadní vliv na ostatní parametry zjišťované při měření střídavým proudem, čímž dávají prvotní informaci vypovídající o stavu kabelu. Proto se tato měření provádějí podstatně častěji než měření střídavým proudem. Stejnoseměrná měření na kabelech jsou navíc prováděna nejen při jejich výrobě, montáži a profylaxi, ale i při zjišťování jejich poruch.

Obecně je potřeba kabel před vlastním měřením nejprve odpojit z provozu a vybit jeho žíly. Ve všech případech měření silových kabelů je celkové odpojení naprosto nezbytné. Měření sdělovacích kabelů je však možné provádět i bez celkového odpojení. Tyto kabely totiž obsahují velký počet prvků, jež jsou na sobě nezávislé, a proto jsou na nich prováděna měření i za jejich provozu. Jedná se o profylaktická a poruchová měření buď na volných prvcích, nebo s dočasným vyřazením provozu jen několika prvků v kabelu. Měření s celkovým odpojením kabelu je zejména v případech větších profilů časově náročné a tedy provozně neúnosné. Proto se tato měření provádí jen výjimečně, například po kabelových přeložkách. Právě tohoto případu, kdy sdělovací kabel byl celkově odpojen z provozu, bylo využito a v rámci této práce bylo provedeno kompletní stejnosměrné měření. Jednalo se o starý dálkový kabel konstrukce DCKAYBPV 4 XV 1,3 + 8 DM 1,3 + 18 DM 0,9, jehož fotografie je uvedena na obr. 7.01.



Obr. 7.01 Dálkový sdělovací kabel DCKAYBPV 4XV1,3 + 8DM1,3 + 18DM 0,9

7.1. Zkouška kontinuity

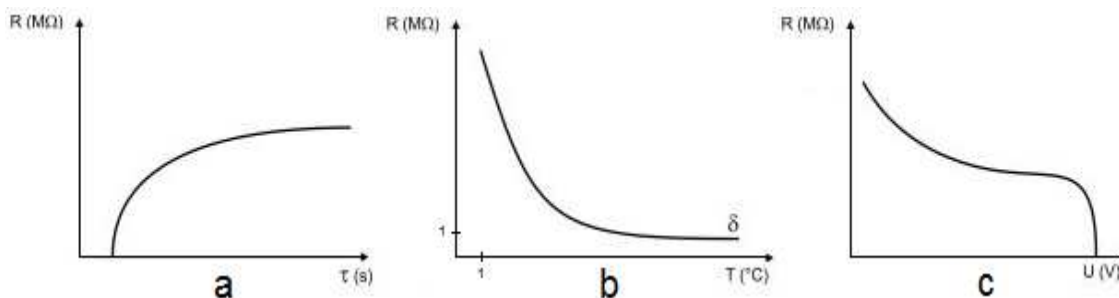
Zkouškou kontinuity se zjišťuje, zda jsou jednotlivé prvky kabelu v celém průběhu vodivě spojeny a zda je sled žil na obou kabelových koncích shodný. Zkouška se provádí např. pomocí ohmmetru, bzučáku případně měřiče izolace tak, že se na jedné straně kabelu postupně spojují jednotlivé žíly s pláštěm kabelu (pokud je vodivý), stínící fólií nebo uzemněním. Obdobně se na druhé straně postupně zapojuje měřič mezi příslušnou kontrolovanou žílu a plášť kabelu, stínící fólii nebo uzemnění. Zkoušce musí bezpodmínečně vyhovět všechny vodivé prvky v kabelu.

Tato zkouška byla na měřeném kabelu provedena pomocí měřiče izolace (viz obr. 8.04). Zkouškou byl zjištěn přehoz žil b a c desáté čtyřky. Tato čtyřka je tedy z důvodu „roztržených“ párů pro přenos nepoužitelná. Dále byla zjištěna přerušovaná žíla a třinácté čtyřky, čímž je její první pár také nepoužitelný. V příloze č. 7 je pak uveden protokol o této zkoušce.

7.2. Měření izolačního odporu

Měřením izolačního odporu R_i se zjišťuje stav izolace každého prvku kabelu proti ostatním vodivým prvkům a proti zemi. Jeho pravidelné měření je nezbytné pro zjištění zhoršení stavu izolace, která zajišťuje správnou funkci zařízení a ochranu před nebezpečným dotykem. Izolační odpor se měří pomocí měřiče izolace, obecně nazývaného meg. Jedná se o speciálně konstruovaný ohmmetr pro měření vysokých odporů stejnosměrným napětím, které je na rozdíl od běžných ohmmetrů podstatně vyšší. Toto napětí, které lze volit od desítek voltů do desítek kilovoltů, musí být stabilní v závislosti na zatížení, přičemž měřicí proud při nastaveném napětí nesmí klesnout pod hodnotu 1mA. Měřicí metody, požadovaná měřicí napětí a minimální hodnoty izolačního odporu jsou definovány v závislosti na typu měřeného kabelu v příslušných technických normách.

Měřená hodnota izolačního odporu je ovlivňována dobou měření (obr. 7.01a), teplotou (obr. 7.01b), měřicím napětím (obr. 7.01c), jakož i vlhkostí a čistotou povrchu izolačního materiálu. Ze vztahu (4.14) pak vyplývá, že izolační odpor je též závislý na délce vedení. Se vzrůstající délkou jeho hodnota klesá. Pro porovnávání izolačních stavů kabelů různých délek je tedy nutné naměřenou hodnotu R_i vynásobit délkou vedení, čímž získáme izolační odpor 1 km délky vedení R_0 vyjádřený v jednotkách $M\Omega \cdot km$. Z důvodu velké kapacity kabelových vedení, je třeba dbát zvýšené opatrnosti i při měření nízkým napětím. Následně po odměření musí být každá žíla znovu vybitá. Izolační stav kabelu, vyjádřený izolačním odporem jeho žil proti zemi, případně má-li kabel kovový plášť nebo pancíř, tak včetně jejich izolačního odporu proti zemi a proti jednotlivým žilám, je jedním z hlavních měřítek kvality kabelu. Proto je jeho měření nejčastěji prováděným. [3, 22, 31, 32, 33]



Obr. 7.01 Závislost izolačního odporu [31]

U sdělovacích kabelů se měří izolační odpor mezi uvažovanou žilou a ostatními žilami spojenými navzájem mezi sebou, vodivým pláštěm kabelu a zemí. Měření na těchto kabelech se provádí i za provozu, tedy bez výpadku provozovaných zařízení. V těchto případech se měří zkoušená žíla jen proti uzemněnému plášti spojenému s druhou žilou u párových nebo ostatním třem žilám téže čtyřky u čtyřkových kabelů. Takto naměřená hodnota nemusí zcela odpovídat hodnotě naměřené předepsaným způsobem, ale dostačuje k odhalení poklesu izolačního stavu. Naměřená hodnota se odečítá přibližně po jedné minutě měření, až se hodnota v důsledku nabití kabelu ustálí. Jsou-li na žíle umístěny pupinační cívky, musí být následně vybití pro jejich ochranu provedeno přes odpor 20 kΩ. Na základě mezinárodních doporučení ITU-T (CCITT) je požadována hodnota izolačního odporu R_0 sdělovacího kabelového vedení o délce 1 km, nejméně 10000 MΩ.km, měřeného stejnosměrným napětím 500 V, při teplotě vedení 10°C. Dosadíme-li tuto hodnotu do vztahu (4.14), bude tedy minimální přípustná hodnota $R_{i \min}$ naměřená při teplotě kabelu 10°C dána vztahem: [3, 4, 13, 22, 32, 33]

$$R_{i \min} = \frac{10000}{l} \quad [\text{M}\Omega], \quad (7.01)$$

kde: l je délka kabelu na tři desetinná místa [km].

Protože se vzrůstající teplotou izolační odpor klesá (obr. 7.01b) a měření se provádí za teplot měnicích se podle roční doby, přepočítává se minimální přípustná hodnota $R_{i \min}$ na minimální přípustnou hodnotu vztahenou k teplotě měřeného kabelu $R_{i(t) \min}$. Teplota kabelů uložených v zemi se mění nikoliv podle teplotní změny vzduchu v průběhu dne, ale v průběhu delších časových období. Dlouhodobým měřením bylo zjištěno, že teploty v zemi uložených kabelů sledují přibližně střední denní teplotu na povrchu země se zpožděním deseti až čtrnácti dnů. V tabulce 7.1 jsou uvedeny průměrné teploty kabelů uložených v hloubce 75 cm, pro jednotlivé kalendářní měsíce. Teplota měřeného kabelu se určuje z této tabulky, tedy podle měsíce, ve kterém měření provádíme. V následující tabulce 7.2 jsou pak uvedeny přepočítací koeficienty odporu z průměrných teplot uvedených v tabulce 7.1 na teplotu 10°C. Minimální přípustná hodnota vztahená k teplotě měřeného kabelu $R_{i(t) \min}$ se tak vypočítá podle vztahu: [22]

$$R_{i(t) \min} = \frac{R_{i \min}}{\kappa} \quad [\text{M}\Omega], \quad (7.02)$$

kde: κ je teplotní koeficient.

Tabulka 7.1 Průměrná teplota kabelů v hloubce 75 cm [22]

Měsíc	1	2	3	4	5	6
Průměrná teplota [°C]	3,5	2,0	3,0	5,5	9,5	13
Měsíc	7	8	9	10	11	12
Průměrná teplota [°C]	15	16	15	13	9,0	5,5

Tabulka 7.2 Teplotní koeficienty pro měděné kabely v hloubce 75 cm [33]

Měsíc	1	2	3	4	5	6
Koeficient κ	0,780	0,722	0,763	0,850	1,000	1,153
Měsíc	7	8	9	10	11	12
Koeficient κ	1,288	1,356	1,288	1,153	0,966	0,850

Minimální hodnotu izolačního odporu silových kabelů udává vždy příslušná norma. Například podle požadavků PNE 34 7659, mají mít nové nn kabely s PVC izolací minimální hodnotu izolačního odporu $10^{10} \Omega \cdot \text{cm}$ a s XLPE izolací $10^{12} \Omega \cdot \text{cm}$. Obecně je izolační odpor nn kabelů vyhovující, jestliže je v souladu s elektrotechnickým předpisem ČSN 33 2000. V tomto předpisu, jenž nahradil dlouho platný ČSN 34 1010, jsou uvedeny minimální hodnoty izolačního odporu a příslušná zkušební napětí (tabulka 7.3), přičemž teplota ani délka kabelu zohledněny nejsou. Izolační odpor vodičů spojených provozně se zemí se proti zemi neměří. Příklad protokolu o měření silových kabelů je uveden v příloze č. 8. [34, 35, 36]

Tabulka 7.3: Minimální hodnoty izolačního odporu [35]

Jmenovité napětí obvodu (distribuční sítě)	Zkušební ss napětí [V]	Izolační odpor [MΩ]
Do 500 V včetně	500	min 1,0
Od 501 V do 1 000 V včetně	1000	min 1,0
Nad 1000 V	Zkouška zvýšeným napětím (ČSN EN 60071-1 a PNE 34 7626)	

Měření izolačního odporu jsem provedl na stejném kabelu jako zkoušku kontinuity. Podle vztahu (7.01) jsem vypočítal minimální přípustnou hodnotu 2053 M Ω . Tu jsem následně vydělil koeficientem 1,153, čímž jsem získal minimální přípustnou hodnotu 1781 M Ω vztahenou k teplotě měřeného kabelu. Naměřené hodnoty izolačních odporů jsou uvedeny v protokolu, který je přílohou č. 7. Hodnoty překračující vypočtený limit jsem označil tučnou kurzívou. Kromě tří párů (čtyřek č. 22, 23 a 30) se jedná o malý izolační pokles, který na provoz nemá žádný vliv. Přestože je téměř polovina žil pod limitem, vzhledem ke stáří kabelu přesahující čtyřicet let, je celkový izolační stav žil vyhovující. Protože měřený kabel má papírovou izolaci žil, je zřejmě příčina nízkého a nulového izolačního stavu tří párů ve špatné montáži nějakého kabelového souboru.

7.3. Napěťová zkouška

Touto zkouškou se zjišťuje funkčnost pláště (plášťová zkouška) a izolace. V průběhu zkoušky nesmí dojít k průrazu ani k přeskokům. Při zkoušce se měří svodový proud. Průběh, velikost napětí a doba trvání jsou stanoveny v příslušných normách k jednotlivým kabelům, přičemž sdělovací kabely se zkouší jen ve výrobním závodě.

V tabulce 7.4 jsou uvedeny podmínky měření vn kabelů. Příklad měřicího protokolu je pak uveden v příloze č. 9.

Praxí bylo zjištěno, že po tradičním zkoušení zvýšeným stejnosměrným napětím, zůstává v XLPE izolaci zbytkový prostorový náboj. Ten může způsobit po následném připojení střídavého provozního napětí její poškození. Jako náhrada měření ss napětím, se proto používá měření st napětím o velmi nízké frekvenci (VLF). Typická frekvence měřicích přístrojů, jež byly pro tento účel vyvinuty, je 0,1 Hz. Tyto přístroje pak mohou měřit i ztrátový činitel $\text{tg} \delta$. V současnosti bývá tato výdržná zkouška, jež zejména u starých kabelů končí jejich destrukcí, nahrazována nedestruktivním diagnostickým měřením. Toto nepřímé zjišťování stavu kabelu spočívá například v měření ztrátového činitele a částečných výbojů. Kabel tak není měřením poškozen a oprava nebo výměna může být odložena na vhodnější dobu. [3, 34, 41]

Tabulka 7.4: Provozní zkoušky kabelového vedení podle PNE 34 7626 [34]

Kabel	Napět'ová zkouška	Napětí	Trvání	Požadavek
XLPE	Zkouška PE pláště Stejnosemřné napětí Svodový proud < 0.2 mA/100m	5 kV	2 – 5 minut	Bez prřrazu
XLPE	Zkouška PVC pláště Stejnosemřné napětí Svodový proud < 0.2 mA/100m	3 kV	5 minut	Bez prřrazu
XLPE	Zkouška izolace Střídavé napětí 50 Hz Střídavé napětí 0,1 Hz	2 U_{0ef} 3 U_{0ef}	60 minut 60 minut	Bez prřrazu Bez prřrazu
PILC	Zkouška izolace Střídavé napětí 50 Hz Střídavé napětí 0,1 Hz	2 U_{0ef} 3 U_{0ef}	30 minut 30 minut	Bez prřrazu Bez prřrazu
PILC	Zkouška izolace Stejnosemřné napětí Ss napětí pro opakovanou zkoušku	5,6 - 8 U_0 4 – 6,5 U_0	10 - 30 minut 10 - 30 minut	Bez prřrazu Bez prřrazu

7.4. Měření stejnosměrného odporu

Měřením ss odporu žil se ověřuje zaručený měrný odpor žil udaný výrobcem kabelu, a zda jsou všechny žíly správně vodivě spojeny. Měří se z jednoho místa můstkovou metodou ss proudem (kabelovým můstkem), jako ss odpor kabelové smyčky, tj. dvou žil zkratovaných navzájem na druhém konci kabelu. Podobně jako izolační odpor, tak i ohmický odpor se mění s teplotou v dosti širokých mezích. Maximálně naměřená hodnota smyčkového odporu nesmí překročit limit vypočtený podle vztahu: [4, 13, 32]

$$R_s = R_m \cdot l \quad [\Omega] \quad (7.03)$$

kde: R_s je limit smyčkového odporu pro danou teplotu měření t [Ω],
 R_m je limit smyčkového odporu udaný výrobcem přepočtený dle vztahu (4.02) na danou teplotu kabelu t [Ω/km],
 l je délka kabelu na tři desetinná místa [km].

Je-li překročen tento limit, jedná se pravděpodobně o špatný přechodový odpor vzniklý nedokonalým zařízením nebo spájením žil v nějakém kabelovém souboru. Výjimečně může být zvýšená hodnota odporu žíly způsobena i zeslabením průřezu vypálením nebo

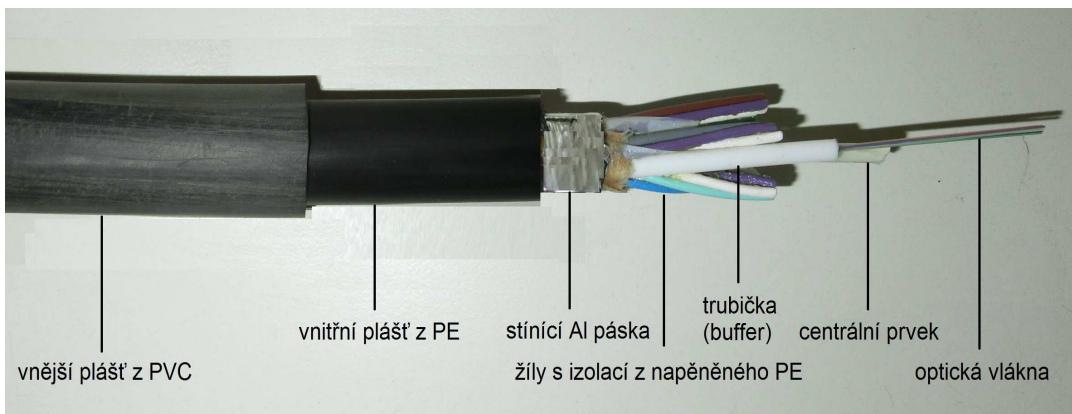
vytažením. Obsahuje-li kabel stínící fólii, tak se navíc měří ss odpor smyčky této fólie s žílou kabelu. Měřením se zjišťuje spolehlivost napojení vývodů fólie na uzemňovací vodiče.

U telekomunikačních kabelů je toto měření doplněno o měření odporových nerovnováh. Větší hodnota odporové nerovnováhy totiž způsobuje zmenšení hodnoty odstupu přeslechu. Pro její zjištění se provádí pět měření ss odporu smyček žil: $a+b$, $a+c$, $b+c$, $b+d$ a $c+d$. Následně se provede z výsledků měření výpočet jednotlivých odporových nerovnováh. Rozdíl hodnoty ss odporů smyček $a+c$ a $b+c$ totiž představuje nerovnováhu mezi žilami a a b , tedy prvního páru, obdobně rozdíl $b+c$ a $b+d$ nerovnováhu mezi žilami c a d , tedy druhého páru. Limity odporových nerovnováh se liší podle délky vedení, průměru žil, typu kabelu a jsou uvedeny v příslušných normách.

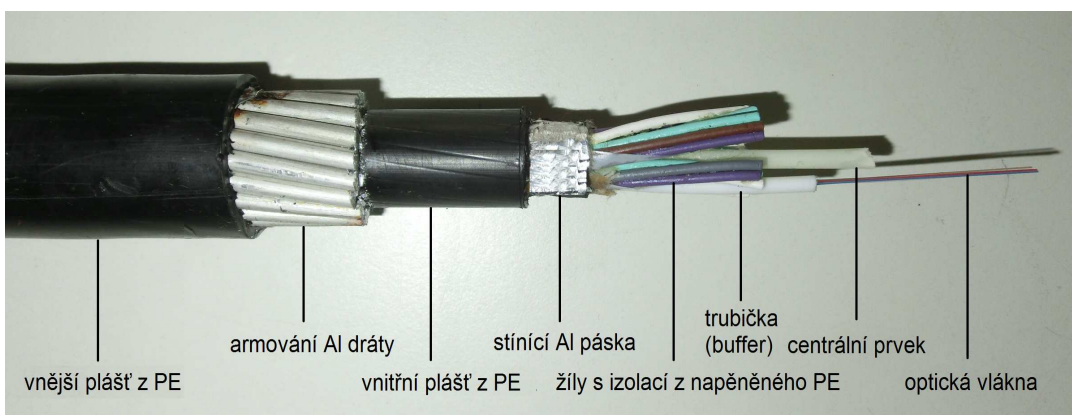
Měření odporu smyček a nerovnováhy ohmických odporů jsem provedl v rámci této práce na stejném kabelu jako zkoušku kontinuity a měření izolačního odporu. Naměřené hodnoty a vypočtené odporové nerovnováhy jsou uvedeny v protokolu, který tvoří přílohu č. 10. Všechny sledované parametry při tomto měření byly shledány podlimitními. Celkový stav kabelu je tak vzhledem k jeho stáří velmi dobrý.

8. Zjišťování mezi použitelnosti měřicích metod

K zjištění mezi použitelnosti měřicích metod jsem vybral induktivní metodu nejasného minima a metodu krokového napětí. Metoda nejasného minima se používá v případě nízkohmového spojení žíly se stíněním nebo kovovým pláštěm, metoda krokového napětí pak v případě poruch kabelového pláště. Pro obě metody, jež jsou určeny k přesné lokalizaci poruchy přímo na kabelové trase, je totiž důležitá zejména velikost izolačního odporu v místě poruchy. S rostoucím odporem pak úspěšnost lokalizace poruchy těmito metodami klesá. Zjišťování mezi použitelnosti bylo prováděno při odstraňování vhodných poruch sdělovacích kabelů. Protože pracuji v telekomunikacích, byl jedním z důvodů volby této kategorie, právě snadnější přístup k těmto kabelům. Dalším důvodem bylo, že při poruše sdělovacích kabelů může být v některých případech, na rozdíl od silových kabelů, úplně nebo alespoň částečně zachován provoz. Tento důvod byl také velmi důležitý, protože při výpadku provozu musí být porucha odstraněna v co nejkratším možném čase. Měření byla prováděna na kombinovaném kabelu, který obsahuje kromě metalických prvků také trubičku s optickými vlákny. Konkrétně se jednalo o kabel TCEPKPFLEY (obr. 8.01) a TCEPKPFLEZE 5XN0,8 + 12E9/125 (obr. 8.02). Většina zařízení provozovaných po těchto kabelech totiž využívá optická vlákna.



Obr. 8.01 Kombinovaný kabel TCEPKPFLEY 5XN0,8 + 12E9/125



Obr. 8.02 Kombinovaný kabel TCEPKPFLEZE 5XN0,8 + 12E9/125

Zjišťování mezi použitelnosti obou měřicích metod bylo provedeno celkem na 10 kabelových poruchách, při kterých optická vlákna nebyla porušena. Neporušenost volných optických vláken byla zjišťována optickým reflektometrem EXFO FTB-400 (obr. 8.03). Izolační odpor byl měřen měřičem izolace Megger BM80/2 (obr. 8.04) napětím 500 V. K předběžné lokalizaci poruch byl použit kabelový můstek M1T 450.1 výrobce Metra Blansko (obr. 8.05) a metalický reflektometr Riser Bond 1270A (obr. 8.06). K vytyčení trasy a přesnému určení místa poruchy metodou nejasného minima byla použita lokační sada výrobce Radiodetection, skládající se z vysílače RD 4000T10 a přijímače RD 4000 (obr. 8.07). Při přesném určování místa poruchy metodou krokového napětí pak byla tato sada doplněna o snímací A-rám (obr. 8.08).



Obr. 8.03 OTDR FTB-400



Obr. 8.04 Megger BM80/2



Obr. 8.05 Můstek M1T 450.1



Obr. 8.06 TDR 1270A



Obr. 8.07 Lokační sada RD 4000



Obr. 8.08 Snímací A-rám

8.1. Popis jednotlivých poruch

8.1.1. Porucha číslo 1

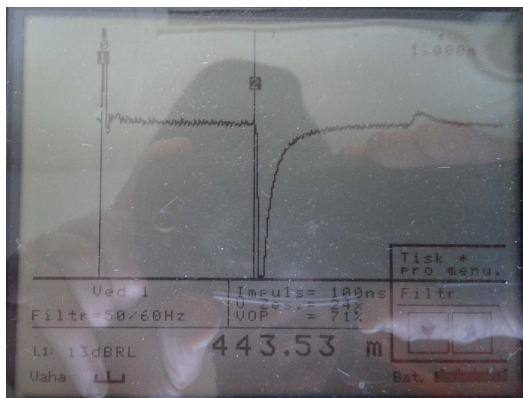
Při této poruše byl veškerý provoz využívající metalických čtyřek přerušen. Měřením bylo zjištěno, že jednotlivé žíly i stínění mají nulový izolační stav proti zemi (obr. 8.09). Jednalo se tedy o čistý zkrat, při kterém bylo možné změřit i smyčkový odpor jak dvou žil (obr. 8.10), tak i žíly se stíněním. Pomocí TDR bylo místo poruchy předběžně určeno ve vzdálenosti 443m (obr. 8.11). Přibližně v této vzdálenosti bylo nalezeno několik ohnišť, která byla již vyhaslá. Přesné místo poruchy bylo shodně určeno jak metodou nejasného minima, tak i metodou krokového napětí (obr. 8.12). Protože by při výkopu tohoto místa došlo k přerušení stále ještě funkčních optických vláken, bylo nejprve provedeno jeho přemostění. To spočívalo v natažení provizorního kabelu a provedení spojek v dostatečné vzdálenosti před a za místem poruchy. Po odkopání zeminy v místě poruchy byl zjištěn silně poškozený kabel od tepelného působení z ohniště (obr. 8.14). Jednotlivá jádra žil však přerušena nebyla (obr. 8.13). Porucha byla odstraněna výměnou kabelu ve vypalovaném úseku v délce 190 m.



Obr. 8.09 Izolační stav žil a stínění



Obr. 8.10 Smyčkový odpor žil



Obr. 8.11 Náměr TDR



Obr. 8.12 Zaměření A-rámem



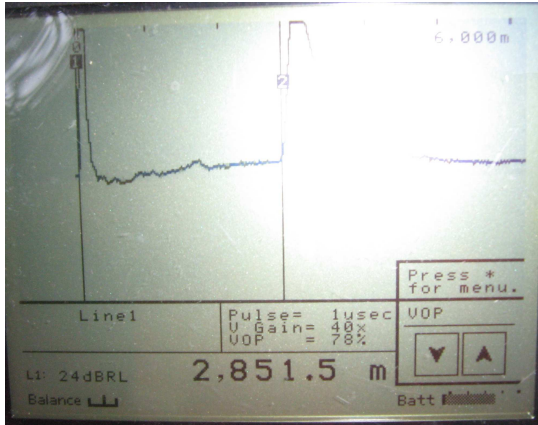
Obr. 8.13 Detail spáleného kabelu



Obr. 8.14 Místo poruchy

8.1.2. Porucha číslo 2

Při této poruše měla téměř polovina profilu proti stínění svod. V nejhorším případě byl izolační odpor žíly proti stínění $0,01 \text{ M}\Omega$. Stínění proti zemi pak mělo izolační odpor $0,03 \text{ M}\Omega$. Délka kabelu uvedená v dokumentaci byla $5,272 \text{ km}$. Měřením TDR nebylo místo poruchy zjištěno. Předběžná lokalizace tak byla provedena můstkem. Protože byly v profilu i žíly o dobré izolaci (nejlepší izolace měla $1,3 \text{ G}\Omega$), byla zvolena Murrayova metoda. Výpočtem zjištěná vzdálenost k poruše byla $2,791 \text{ km}$. Blízko této vzdálenosti se podle dokumentace nacházela spojka ($2,851 \text{ km}$). Po vykopání a otevření této spojky bylo provedeno opětovné zaměřování. Na náměru TDR nebylo místo poruchy stále viditelné, přestože se měřený úsek zkrátil přibližně na polovinu celkové délky kabelu (obr. 8.15). Výpočtem stanovená vzdálenost poruchy od spojky byla po opětovném zaměřování můstkem 81 m . Následovalo přesné určení poruchového místa na kabelové trase. Pomocí obou zjišťovaných metod bylo shodně určeno místo vzdálené 72 m od spojky (obr. 8.16). Po odkopání byl zřetelně vidět poškozený plášť vstupem blesku do kabelu (obr. 8.17) a po odstranění obou plášťů i poškození kabelové duše (obr. 8.18). Při čištění duše od spálené plnicí hmoty zabraňující podélnému šíření vlhkosti se pak poškozené žíly snadno přerušily (obr. 8.19). Místo poškození kabelu pak bylo opraveno spojkou.



Obr. 8.15 Náměr TDR



Obr. 8.16 Zaměření A-rámem



Obr. 8.17 Poškozený plášť



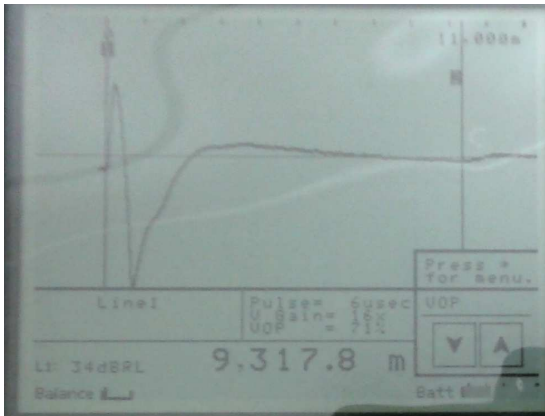
Obr. 8.18 Spálená duše



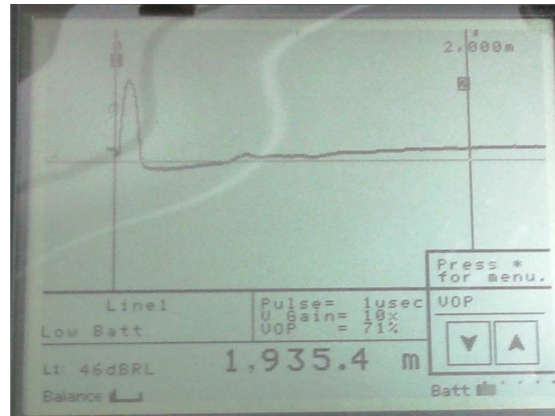
Obr. 8.19 Přerušené žíly

8.1.3. Porucha číslo 3

Tato porucha byla nahlášena jako snížený izolační stav celého kabelu. V nejhorším případě byl izolační odpor žíly proti stínění 0,05 M Ω , v nejlepším případě pak 160 M Ω . Stínění proti zemi mělo izolační odpor 0,09 M Ω . Předběžné zaměření poruchy pomocí TDR nebylo úspěšné, proto bylo přistoupeno k zaměření poruchy můstkem, Murrayovo metodou. Protože nebyla k dispozici dokumentace, ze které by bylo možné zjistit délku kabelu nutnou k výpočtu vzdálenosti místa poruchy, byla délka určena reflektometrickým měřením. Na náměru TDR však nebylo možné přesně určit konec kabelu (obr. 8.20), proto jsem využil optické vlákno a délku kabelu změřil pomocí OTDR (obr. 8.24). Vypočtená vzdálenost poruchy 1927 m se pak téměř shodovala s detekovanou nehomogenitou ve vzdálenosti 1935 m na náměru OTDR. Z této shody jsem usoudil, že porucha bude zřejmě způsobena zateklou spojkou. Poté jsem znovu provedl měření pomocí TDR a zaměřil se na zjištěnou vzdálenost poruchy. Jak je vidět na obr. 8.21, v náměru je místo poruchy neznatelné. Následná lokalizace poruchy na trase byla úspěšná u obou zjišťovaných metod. Pomocí metody nejasného minima však místo nebylo určeno bodově, ale v rozmezí cca 2 m. V tomto rozmezí totiž byla porucha magnetického pole tak velká, že nebylo možné nalézt přesné minimum. Po provedeném výkopu se ukázalo, že v místě poruchy je uložena spojka se stočenou rezervou kabelu (obr. 8.22). Ta byla příčinou nemožnosti určení minima. Po otevření spojky se pak předpoklad plně potvrdil (obr. 8.23). Spojka musela být podle rozsahu koroze (obr. 8.25) zateklá již dlouhou dobu. Na obr. 8.26 jsou pak vidět také usazeniny spolu s místem vniku vody do spojky. Z toho lze usoudit, že příčina utopení spojky byla kvůli špatnému nasazení těsnění. Porucha byla odstraněna výměnou spojky.



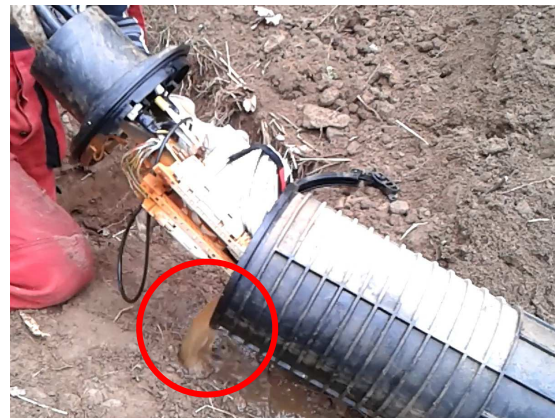
Obr. 8.20 Náměr TDR 1



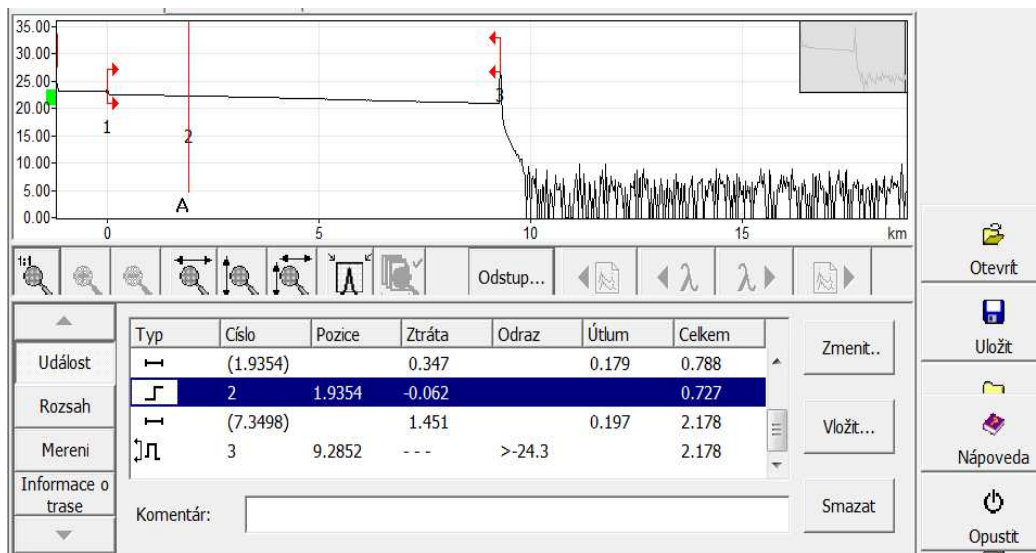
Obr. 8.21 Náměr TDR 2



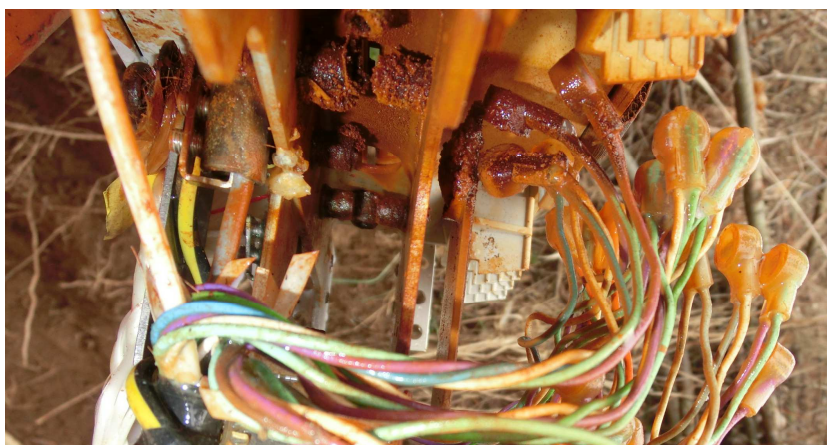
Obr. 8.22 Spojka s kabelovou rezervou



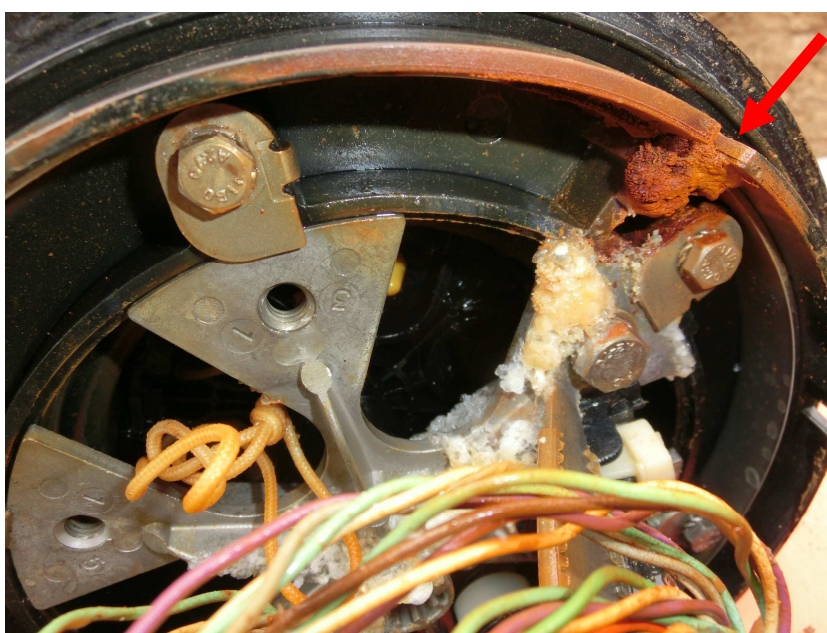
Obr. 8.23 Voda ve spojkě



Obr. 8.24 Náměr OTDR



Obr. 8.25 Detail koroze ve spojce



Obr. 8.26 Usazeniny a místo vstupu vody

8.1.4. Porucha číslo 4

Tato porucha se projevovала rušením provozu indukovaným napětím o frekvenci 50 Hz. Měřením bylo zjištěno, že hliníkové armování, které slouží zejména jako další ochrana před účinky střídavých elektromagnetických polí, má snížený izolační stav vůči zemi na hodnotu 0,18 MΩ. Dále bylo zjištěno, že jedna žíla v profilu má vůči stínění izolační odpor jen 0,03 MΩ, ale stínění vůči armování má hodnotu 560 MΩ. Z důvodu délky kabelu (5,241 km) a velikosti izolačního odporu nebyla porucha měřidlem TDR identifikována. Předběžné zaměření poruchy bylo tedy provedeno opět Murrayovou metodou. Vypočtená vzdálenost byla 1,482 km. Následné přesné určení místa poruchy metodou nejasného minima nebylo z důvodu armování kabelu úspěšné. Vzhledem k vysoké hodnotě izolačního odporu, bylo při lokalizaci metodou krokového napětí nutné, zapichovat A-rám ve vymezeném úseku po malých vzdálenostech. Porucha byla nakonec úspěšně identifikována jen na vzdálenost 1 m. Po odkrytí zeminy byl zjištěn poškozený kabel zemním strojem, který byl následně laicky opraven omotáním izolační páskou (obr. 8.27). Po sundání pásky a odstranění vnějšího pláště bylo vidět značné zploštění kabelu (obr. 8.28). Ačkoliv vnitřní plášť byl relativně v pořádku (obr. 8.29), deformace byla tak velká, že způsobila poškození izolace jádra (obr. 8.30). Porucha byla následně odstraněna spojkou.



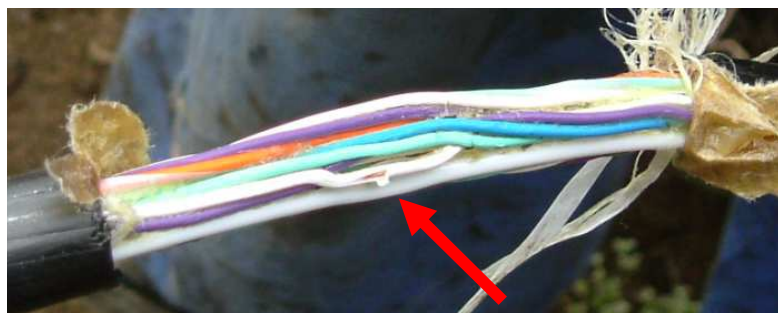
Obr. 8.27 Laicky opravený kabel



Obr. 8.28 Zdeformované armování



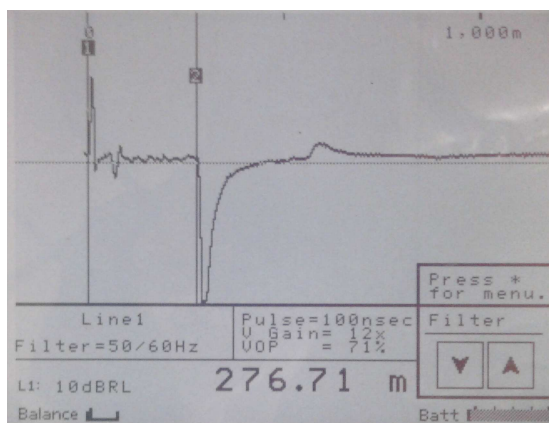
Obr. 8.29 Zploštělý kabel



Obr. 8.30 Poškozená izolace zdeformované žíly

8.1.5. Porucha číslo 5

Při této poruše měli žíly třetího páru v kabelu vůči sobě i stínící fólii izolační odpor jen 0,02 M Ω . Izolační odpor fólie vůči zemi byl 0,11 M Ω . Všechny ostatní žíly v kabelu měly izolační odpor přesahující hodnotu 1 G Ω . Předběžné zaměření poruchy pomocí TDR ukázalo chybu ve vzdálenosti 276 m (obr. 8.31). Následné přesné určení místa chyby na kabelové trase bylo úspěšné u obou metod (obr. 8.32). Z důvodu mělkého krytí byl kabel v tomto místě uložen v ochranných betonových žlabech. Po odkrytí desek byl zjištěn poškozený plášť a izolace žil od hlodavců, jež si ve žlabu udělali hnízdo (obr. 8.33 a 8.34).



Obr. 8.31 Náměr TDR



Obr. 8.32 Zaměření A-rámem



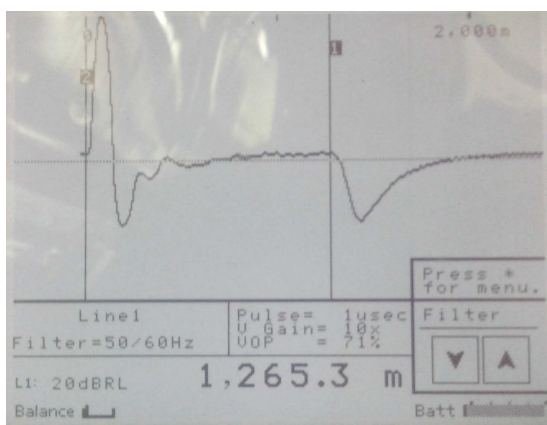
Obr. 8.33 Místo poškození kabelu



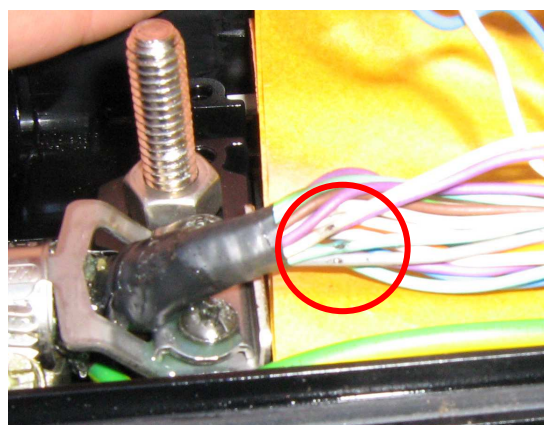
Obr. 8.34 Detail ohlodaného kabelu

8.1.6. Porucha číslo 6

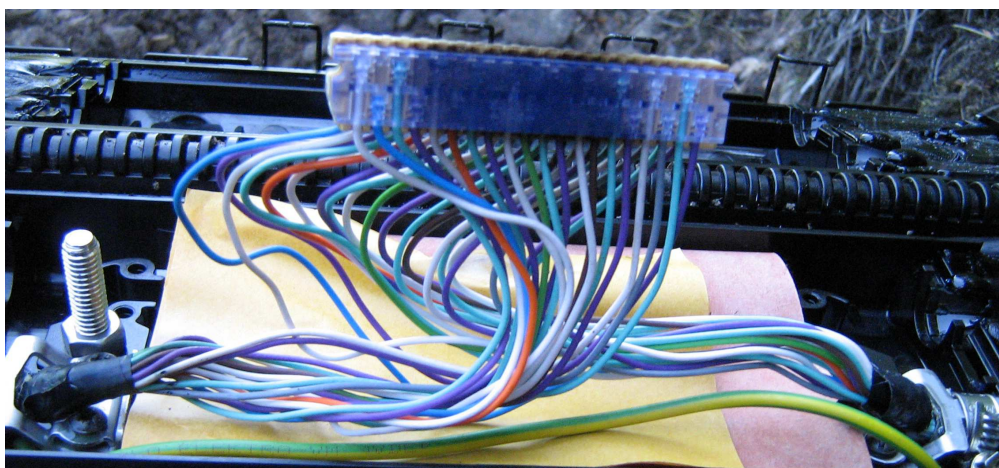
Vzájemným zkratem druhé, třetí a čtvrté čtyřky byla nahlášena tato porucha. Změřená hodnota izolačního odporu nejhorší žíly proti stínění byla 0,01 M Ω . Stínění proti zemi mělo hodnotu 0,26 M Ω . Nejmenší vzájemný izolační odpor žil byl 0,00 M Ω . Na těchto žilách pak byla porucha zaměřena metodou TDR ve vzdálenosti 1265 m (obr. 8.35). Následná přesná lokalizace místa poruchy na trase byla úspěšná jen pomocí indukční metody nejasného minima. Odkopáním zeminy v místě poruchy byla objevena spojka, jež nebyla uvedena v dokumentaci. Po jejím otevření byla zjištěna vypálená propojovací svorkovnice (obr. 8.37) a proražená izolace několika žil (obr. 8.36). Příčinou této poruchy tak bylo atmosférické přepětí. Porucha byla poté odstraněna výměnou spojky.



Obr. 8.35 Náměr TDR



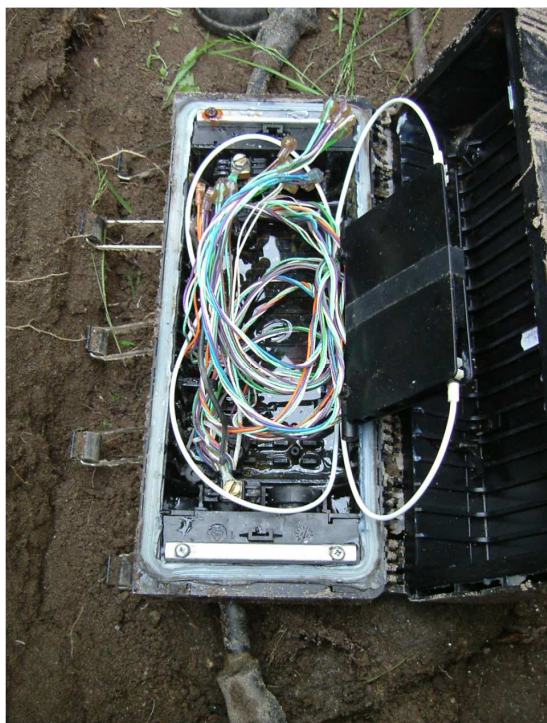
Obr. 8.36 Proražená izolace



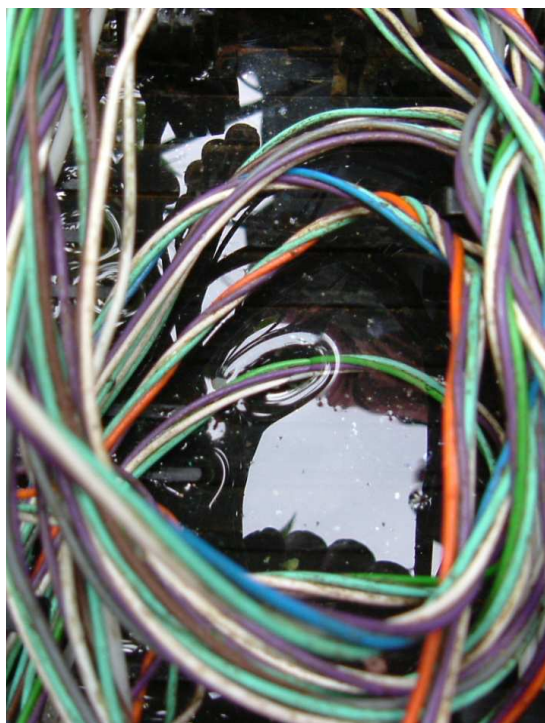
Obr. 8.37 Vypálená propojovací svorkovnice

8.1.7. Porucha číslo 7

Izolační odpor nejhorší žíly vůči stínění měl u této poruchy hodnotu 0,04 M Ω . Většina žil však měla menší pokles a jejich izolační odpor byl větší než 10 M Ω . Hodnota izolačního odporu stínění vůči zemi byla 0,20 M Ω . Provoz zařízení využívající metalické čtyřky tak byl ovlivňován hučením. Chyba na náměru TDR nebyla z důvodu délky kabelu (3,485 km) a relativně ještě vysokému izolačnímu odporu viditelná, proto bylo provedeno předběžné zaměření můstkem, Murrayovo metodou. Vypočtená vzdálenost 1,043 km vycházela blízko spojky uvedené v dokumentaci. V místě spojky však nebyl nalezen žádný označnick ani marker. Na přibližně padesátimetrovém úseku (25 m na každou stranu od předpokládaného místa spojky) byla provedena přesná lokalizace poruchy. Nejprve jsem zvolil metodu nejasného minima, protože jsem vzhledem k vysokému odporu předpokládal, že nalezení poruchy touto metodou bude neúspěšné. Tento předpoklad se potvrdil. Metodou krokového napětí jsem však poruchu při procházení vytýčené trasy, kdy jsem zabodával A-rám každý metr, také nenalezl. Cestou zpět jsem tedy zvolil poloviční vzdálenost zabodávání. V jednom místě ve vymezeném úseku se nakonec šipka na přijímači ustálila, avšak o necelý metr dál už bylo po ustálení. V tomto místě jsem zkusil ještě jednou pomocí indukční metody nejasného minima zaměřit poruchu. Změnu magnetického pole jsem pak na displeji přijímače zaznamenal, ale kdybych neměl místo označené, tak bych si toho nevšiml a místo bych přešel. Proto jsem zkusil použít u této metody ještě starou lokační sadu, jejíž přijímač indikuje přijímaný signál do sluchátek (viz obr. 6.07). Změna intenzity tónu ve sluchátku byla nad místem poruchy oproti optické indikaci výraznější. Pravděpodobně bych tak místo poruchy našel tímto přijímačem i bez předchozího označení. Po vykopání označeného místa byla nalezena porucha, jejíž příčinou byla zateklá spojka (obr. 8.38 a 8.39).



Obr. 8.38 Zateklá spojka



Obr. 8.39 Detail vody ve spojce

8.1.8. Ostatní poruchy

Zbylé tři poruchy, na kterých bylo prováděno zjišťování mezi použitelnosti, jsou kromě hodnot izolačních odporů, alespoň co se týče popisu téměř stejné. Na rozdíl od předchozích poruch se však jednalo o kabel bez optických vláken, konkrétně TCEPKPFLEY 5XN0,8. Tento kabel vypadá téměř stejně jako kabel na obr. 8.01. Všechny poruchy byly předběžně zaměřovány můstkem, Murrayovo metodou. Vypočítaná vzdálenost přesahovala pokaždé délku 3 km. Následná přesná lokalizace nebyla úspěšná ani jednou zjišťovanou metodou. Protože ke kabelu neexistovala dokumentace se zakreslenými spojkami, bylo provedeno tzv. zaskočení poruchy. To spočívalo v otevření kabelu za předpokládaným místem výskytu poruchy ze směru jeho bližšího konce. Z tohoto místa (tzv. okna) bylo poté provedeno opětovné zaměření. Určení přesného místa poruchy na trase tak spočívalo v odměření vypočtené vzdálenosti pásmem. Ve výkopu, který byl pokaždé několik metrů dlouhý (v jednom případě měl 20 m) byla vždy nalezena spojka, která byla zateklá. Z důvodu ztráty fotoaparátu s pořízenými snímky nejsou fotografie z poruch uvedeny. Hodnoty izolačních odporů jsou pak uvedeny v tabulce 8.1.

8.2. Vyhodnocení

Pomocí alespoň jedné zjišťované metody bylo nalezeno celkem sedm z deseti sledovaných poruch. Induktivní metodou nejasného minima bylo nalezeno pět poruch. Za mez použitelnosti této metody lze považovat hodnotu izolačního odporu 0,04 MΩ. Při zjišťování této hodnoty se paradoxně ukázalo, že použití starších typů lokátorů, přestože mají jen jednu snímací cívkou, je k zaměřování poruch touto metodou výhodnější. Hodnotu izolačního odporu 0,05 MΩ v případě poruchy číslo 3, pak nelze považovat za mezní, protože v tomto případě nebyla lokalizována porucha, ale očividně kabelová rezerva, která byla ponechána u spojky. Porucha tak byla nalezena jen shodou okolností. Metodou krokového napětí bylo přesně lokalizováno šest poruch. Za mez použitelnosti této metody, lze v případě použití tónového generátoru, považovat hodnotu izolačního odporu 0,2 MΩ. Tato hodnota je tak dvojnásobná oproti hodnotě udávané výrobcem. V tabulce 8.1 jsou pak přehledně uvedeny hodnoty izolačních odporů u zaměřovaných poruch včetně úspěšnosti obou metod.

Tabulka 8.1: Přehled naměřených hodnot izolačních odporů a úspěšnosti metod

Porucha číslo	Izolační odpor žíla - stínění [MΩ]	Izolační odpor stínění - zem [MΩ]	Nalezení poruchy	
			Induktivní metodou	Metodou krokového napětí
1	0,00	0,00	ano	ano
2	0,01	0,03	ano	ano
3	0,05	0,09	ne	ano
4	0,03	0,18 ¹	ne	ano
5	0,02	0,11	ano	ano
6	0,01	0,26	ano	ne
7	0,04	0,20	ano	ano
8	1,12	0,85	ne	ne
9	0,08	0,23	ne	ne
10	0,42	0,39	ne	ne

Pozn.: ¹ Izolační odpor hliníkového armování

Každá z obou zjišťovaných metod je určena pro jiný druh poruchy. Protože se ve všech případech jednalo o poruchu kombinovanou, lze provést jejich srovnání. Z tabulky 8.1 a zjištěných mezí vyplývá, že metodu krokového napětí lze na rozdíl od induktivní metody nejasného minima použít ve větším rozsahu hodnot izolačního odporu. Z popisu poruchy číslo 4 pak vyplývá i širší možnost použití, neboť lze nalézt poruchu i na armovaných kabelech. V případech nízkých izolačních odporů je navíc její použití podstatně pohodlnější, protože porucha je indikována na velkou vzdálenost. Nevýhodou metody je tak jen nutnost mít snímací A-rám.

8.3. Analýza poruch a jejich zaměřování

Protože zjišťování mezí jsem prováděl na reálných poruchách, provedl jsem ještě rozbor příčin jednotlivých poruch. Potvrdilo se, že největší poruchovost způsobují různé druhy poškození. Vysoký výskyt poruch způsobený neodbornou prací montážních pracovníků je pak trochu překvapením. Vnik vody do všech zateklých spojek byl skrze špatně nasazené těsnění. Z toho lze usoudit, že montážní pracovníci neprošli odborným školením na tento typ mechanických spojek. Při montáži kabelové trasy tak nevědomky chybu stále opakovali. Do následující tabulky jsem zpracoval příčiny všech poruch a také použitou metodu předběžného zaměření.

Tabulka 8.2: Přehled příčin poruch a použitých metod předběžné lokalizace

Porucha číslo	Příčina poruchy	Metoda předběžné lokalizace
1	Poškození tepelným působením	impulsová
2	Poškození atmosférickým přepětím	můstková
3	Neodborná práce montéra	můstková
4	Poškození zemním strojem	můstková
5	Poškození hlodavci	impulsová
6	Poškození atmosférickým přepětím	impulsová
7	Neodborná práce montéra	můstková
8	Neodborná práce montéra	můstková
9	Neodborná práce montéra	můstková
10	Neodborná práce montéra	můstková

Kromě tří případů bylo předběžné zaměření poruchy provedeno můstkovou metodou. Zvolená Murrayova metoda je u sdělovacích kabelů, které mají ochranu proti podélnému šíření vlhkosti jistou volbou. Při proniknutí vlhkosti do kabelové duše nebo spojky se totiž v profilu pokaždé najde žíla, jež má dobrou izolaci. Metodou TDR pak byly spolehlivě identifikovány jen poruchy o izolačním stavu do 0,02 MΩ a to na relativně krátkých vzdálenostech. Předpoklad, že lze touto metodou zaměřit celou řadu nehomogenit, mimo jiné spojky, tedy platí jen pro velmi krátké délky kabelů. Zajímavé je pak srovnání této metody s metodou OTDR, jež je založena na stejném principu. Z popisu poruchy č. 3 je patrné, že touto metodou lze bez problémů identifikovat i běžné nehomogenity jako jsou spojky a to nezávisle na měřené délce. Je samozřejmé, že to je dáno fyzikálními rozdíly metalických a optických vedení. Měřidla OTDR jsou ale také oproti měřidlům TDR sofistikovanější.

9. Závěr

Tato diplomová práce, jež je rozdělena na teoretickou a praktickou část, souhrnně přibližuje problematiku poruch na kabelech ukládaných do země.

V teoretické části jsou nejprve zavedeny hlavní pojmy z kabelové branže. Následuje základní rozdělení kabelů včetně popisu jednotlivých druhů a používaných materiálů. Znalost konstrukce a materiálu kabelů umožňuje nejen odhadnout příčinu poruchy, ale má vliv i na správnou volbu metody pro její zaměřování. Uvedené fyzikální vlastnosti a jejich vztahy jsou pak podstatné pro pochopení prováděných měření na kabelech a principu používaných metod k zaměřování jejich poruch. Tyto metody jsou uvedeny a porovnány v následující kapitole. Poté je provedeno seznámení s postupem při zaměřování různých druhů poruch. Z důvodu rozsahu diplomové práce a rozdílných fyzikálních vlastností optických a metalických vedení, jsou pak další kapitoly zaměřeny převážně na kabely metalické. Následně popsána stejnosměrná měření na kabelech jsou důležitá i pro určení druhu poruchy.

V praktické části bylo provedeno kompletní stejnosměrné měření na dálkovém sdělovacím kabelu. Přestože bylo zjištěno, že velká část měřeného kabelu má izolační stav žil pod stanoveným limitem, byl kabel vzhledem k výši naměřených hodnot a stáří, shledán stále velmi dobrým. Protože nevlastním příslušné elektrotechnické oprávnění, nemohl jsem z důvodu bezpečnosti provést napěťovou zkoušku a měření izolačního odporu silového kabelu. Protokoly z reálného měření těchto kabelů jsou však uvedeny jako vzor v přílohách.

Dále bylo v praktické části provedeno zjišťování mezí použitelnosti u dvou metod na zaměřování poruch. Jednalo se o induktivní metodu nejasného minima a metodu krokového napětí. Tyto metody využívají pro zaměřování poruch kabelový lokátor, který byl důvodem k jejich výběru. Dnes, kdy je země přeplněná podzemními sítěmi, je totiž lokátor naprosto běžným přístrojem. Ačkoliv je zejména určen k jejich vytyčení, lze s ním zaměřovat i některé druhy poruch. Pro zaměřování metodou krokového napětí je pak nutné k němu připojit snímací A-rám. Z vyhodnocení vyplývá, že tato metoda je použitelná pro plášťové poruchy o velikosti izolačního odporu do 0,2 M Ω . Tato hodnota však platí v případě použití generátoru o výkonu 10W. V případě použití výkonnějšího generátoru by však tato hodnota mohla být i podstatně vyšší.

Za mez použitelnosti u induktivní metody nejasného minima lze považovat hodnotu izolačního odporu mezi žílou a stíněním 0,04 M Ω . Při jejím určování bylo zjištěno, že starý typ lokátoru je pro zaměřování poruch lepší volbou. Výrobci lokátorů, ale v současnosti nabízejí u svých nejlepších modelů novou funkci tzv. kompas, který mapuje okolní magnetické pole. S touto funkcí by byla situace zřejmě obrácená.

Následnou analýzou poruch, na kterých byly zjišťovány meze použitelnosti, bylo ověřeno, že největší poruchovost způsobují různé druhy poškození. Přestože příčina všech zateklých spojek byla ve špatné montáži, potvrdilo se, že nejslabší místa kabelového vedení jsou stále spojky. Pro mechanické spojky je pak zásadní zejména správně nasazené těsnění. Z tohoto pohledu jsou teplem smrštitelné spojky lepší volbou, jelikož se u nich tento „problém“ nevyskytuje. Jejich nevýhodou je ale například nemožnost opakovaného přístupu. Dále bylo prokázáno, že z hlediska rychlosti zaměření poruchy má rozhodující úlohu kabelové dokumentace.

Přestože jde vývoj nových technologií a materiálů rychle dopředu, je jisté, že poruchy se na kabelech budou vyskytovat stále.

10. Seznam zkratek

CATV	Kabelová televize (CABLE TV)
CCITT	Mezinárodní poradní sbor pro telegraf a telefon (Comité Consultatif International de Télégraphique et Téléphonique), předchůdce ITU-T
ČSN	Česká technická norma
ČSN EN	Česká verze evropské normy
DM	Dieselhorst-Martin čtyřka
GI	Mnohovidové optické vlákno s gradientním profilem indexu lomu (Gradient Index)
HDPE	Vysokohustotní polyetylen (High-density polyethylene)
HFFR	Bezhalogenový, plamen nešířící (Halogen Free, Flame Retardant)
ITU-T	Složka ITU pro normalizaci v telekomunikacích (Telecommunication Standardization Sector of the International Telecommunications Union)
LAN	Lokální počítačová síť (Local Area Network)
LSZH	Bezhalogenový, nedýmivý (Low Smoke Zero Halogen)
MIM	Několikanásobná impulsní metoda (Multiple Impulse Method)
MM	Mnohovidové optické vlákno (Multi Mode)
nn	Nízké napětí
NVP	Nominální rychlost šíření (Nominal Velocity of Propagation)
OTDR	Metoda zpětného rozptylu pro měření optických vláken, optický reflektometr (Optical Time Domain Reflectometry, Reflectometer)
PA	Polyamid
PCS	Optické vlákno se skleněným jádrem a plastovým pláštěm (Polymer Clad Silica)
PE	Polyetylen
PIB	Polyizobutylen
PILC	Sílový kabel s papírovou izolací (Paper Insulated Lead Cable)
PNE	Podniková norma energetiky
POF	Plastové optické vlákno (Plastic Optical Fiber)
PTFE	Polytetrafluoretylen
PVC	Polyvinylchlorid
SIM	Sekundárně impulsní metoda (Secondary Impulse Method)
ss	Stejnosměrné (napětí, proud)
st	Střídavé (napětí, proud)
TDR	Metoda měření odrazu v časové oblasti, metalický reflektometr (Time Domain Reflectometry, Reflectometer)
VLF	Velmi nízká frekvence (Very Low Frequency)
vn	Vysoké napětí
vvn	Velmi vysoké napětí
XLPE	Zesítný polyetylen
XN	Nízkofrekvenční křížová čtyřka
XV	Vysokofrekvenční křížová čtyřka

11. Seznam použité literatury

- [1] VODRÁŽKA, Jiří. *Přenosové systémy v přístupové síti*. Vyd. 2., přeprac. Praha: ČVUT, 2006, 189 s. ISBN 80-010-3386-4.
- [2] SCHENK, Ferdinand. Jak se dělá kabel. *Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. roč. 2011, č. 7, s. 49-52 [cit. 2012-04-23]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/44238.pdf>
- [3] ASCHERMANN, Pavel a Rudolf PAPÍK. *Vyhledávání poruch a tras silových kabelů*. Praha: Nadas, 1969, 168 s.
- [4] FILKA, Miloslav. *Telekomunikační vedení*. Praha: SNTL, 1984, 225 s.
- [5] BEŠŤÁK, Robert. *Přenosová média (metalická vedení a vlastnosti)* [online]. [cit. 2013-03-01]. Dostupné z: www.comtel.cz/files/download.php?id=5491
- [6] ROŠKOTA, Stanislav a Karel ŠUSTR. *Vodiče a kabely: Volba a použití*. 2., upr. vyd. Praha: SNTL, 1975, 291 s.
- [7] KOBLÍŽEK, Vilém. *Technologické procesy: laboratorní cvičení. Část 1*. Praha: ČVUT, Elektrotechnická fakulta, 1997, 98 s. ISBN 80-010-1602-1.
- [8] *Vodiče a kabely pro silnoproudé rozvody: Sborník přednášek*. Trutnov: Dům kultury, 1990, 89 s. ISBN 80-850-1244-8.
- [9] NKT CABLES. *Silové vodiče a kabely*. Produktový katalog. 2009.
- [10] NKT CABLES. *Bezhalogenové vodiče a kabely*. Produktový katalog. 2010.
- [11] NKT CABLES. *Energetické kabely*. Produktový katalog. 2012.
- [12] NKT CABLES. *High Voltage Cable Systems: Cables and Accessories up to 550 kV*. Produktový katalog. 2000.
- [13] ZEMAN, Ľudovít. *Montáž oznamovacích káblů*. Praha: Nadas, 1986, 676 s.
- [14] VODRÁŽKA, Jiří a Martin HAVLAN. *Přístupové přenosové systémy: cvičení: měření na přípojkách xDSL*. Praha: ČVUT, 2003, 159 s. ISBN 80-010-2786-4.
- [15] NOVÁK, Miroslav. *Vodiče a kabely* [online]. [cit. 2013-03-01]. Dostupné z: www.mti.tul.cz/files/esy/03_Vodice_a_kabely.ppt
- [16] PRAKAB PRAŽSKÁ KABELOVNA. *Katalog produktů* [online]. [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: http://www.prakab.cz/fileadmin/content/prakab/Ke-stazeni/prakab_CZ_2013.pdf
- [17] KUCHARSKI, Maciej a Pavel DUBSKÝ. *Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras*. Praha: Mikrokom, 1998, 141 s. ISBN 80-238-2844-4.

- [18] KOBLÍŽEK, Vilém. *Technologické procesy: laboratorní cvičení - část 2*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004, ©1997, 55, 48 s. ISBN 80-010-3064-4.
- [19] VOKÁLEK, Petr. *Měření charakteristik optických vláken*. České Budějovice, 2006. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta pedagogická.
- [20] KABELOVNA KABEX. *Katalog* [online]. [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: <http://data.kabex.quonia.cz/ke-stazeni/KATALOG.pdf>
- [21] SAMSUNG ELECTRONICS HAINAN FIBEROPTICS. *Products Guide* [online]. [cit. 2013-10-28]. Dostupné z: www.samsungfiberoptics.com
- [22] DLOUHÝ, Miroslav. *Měření na dálkových sdělovacích kabelech*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Nadas, 1976, 329 s.
- [23] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky. Část 3, Elektřina a magnetismus*. V Brně: VUTIUM, 2000, s. 578-888, ISBN 80-214-1868-0.
- [24] LANK, Vladimír a Miroslav VONDRA. *Fyzika v kostce*. 2. vyd. Havlíčkův Brod: Fragment, 1999, 120 s. ISBN 80-720-0335-6.
- [25] Teplotní závislost odporu kovových vodičů. *Elektro: odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. roč. 2008, č. 1, s. 22-23 [cit. 2012-05-03]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/36489.pdf>
- [26] SCHNEIDERKA, Milan. *Hledání poruch silových kabelů*. Praha: SNTL, 1971, 203 s.
- [27] HUBENÝ, Tomáš. *Jevy ovlivňující útlum symetrických kabelových vedení*. [online]. [cit. 2012-06-10]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocianku=2004120201>
- [28] HRAD, Jaromír. *Homogenní vedení* [online]. [cit. 2012-06-10]. Dostupné z: www.comtel.cz/files/download.php?id=4265
- [29] MIKULEC, Milan a Václav HAVLÍČEK. *Základy teorie elektrických obvodů 2*. Praha: ČVUT, 1998, 160 s. ISBN 80-01-01778-8.
- [30] HRAD, Jaromír. *Přenosové cesty* [online]. [cit. 2013-03-01]. Dostupné z: www.comtel.cz/files/download.php?id=5366
- [31] *Měření izolačního odporu s ohledem na BOZP* [online]. [cit. 2012-07-12]. Dostupné z: <http://www.prorevize.cz/mereni-izolacnich-prechodovych-zemnich-odporu/273-mereni-izolacniho-odporu-bozp>
- [32] MINISTERSTVO DOPRAVY. *Předpis pro měření železničních dálkových kabelů*. Praha: Nadas, 1967.

- [33] ŘSD ČR. *Požadavky na měření metalických telekomunikačních kabelů na dálnicích a silnicích ve správě Ředitelství silnic a dálnic ČR*. 06/2006. [online]. [cit. 2012-07-12]. Dostupné z: [http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/a3eda25d005dc6bec125737e0045602e/7372226c4855b4ddc1256eac005300d0/\\$FILE/ATTI7IJG/PPK_MTK_06-06.pdf](http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/a3eda25d005dc6bec125737e0045602e/7372226c4855b4ddc1256eac005300d0/$FILE/ATTI7IJG/PPK_MTK_06-06.pdf)
- [34] PNE 34 7626. *Provozní zkoušky vn kabelových vedení v distribuční síti do 35 kV*. ÚJV Řež, 2001. Dostupné také z: <http://www.csres.cz/CZ/podnikove-normy>
- [35] PNE 33 0000-1. *Ochrana před úrazem elektrickým proudem v distribučních soustavách a přenosové soustavě*. 5. vyd. ÚJV Řež, 2011. Dostupné také z: <http://www.csres.cz/CZ/podnikove-normy>
- [36] PNE 34 7659. *Kabely plastové pro distribuční sítě o jmenovitém napětí 0,6/1 kV*. ÚJV Řež, 2006. Dostupné také z: <http://www.csres.cz/CZ/podnikove-normy>
- [37] RISER BOND. *Model 1270A Impulsní reflektometr symetrické a koaxiální páry: Návod k obsluze*.
- [38] METRA BLANSKO. *Návod k obsluze: kabelový můstek MIT 450.1*.
- [39] NEIER, Tobias. BAUR PRÜF- UND MESSTECHNIK. *Cable Fault Location in LV, MV and HV Underground Cable Networks: Practical Experience*. 2009. Dostupné z: <http://www.electrotest.co.nz/PDF/ETLCableFaultLocation04-09.pdf>
- [40] HEŘMAN, Vladimír. *Vyhledávání kabelových tras a lokalizace kabelových poruch* [online]. [cit. 2013-10-28]. Dostupné z: <http://www.etm.cz/index.php/component/content/article/39-meraky/462-vyhledavani-kabelovych-tras>
- [41] BAUR PRÜF- UND MESSTECHNIK. *Lokalizace chyb kabelů s technologiemi BAUR* [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné z: <http://www.baur.cz/upload-sys/download/484409.pdf>
- [42] VONDRÁK, Miroslav. *Lokalizace inženýrských sítí*. [online]. [cit. 2012-12-17]. Dostupné z: <http://www.comtel.cz/files/download.php?id=5541>

12. Přílohy

Příloha č. 1: Staré značení silových kabelů [3]

Úplné označení kabelů (např. 1-ANKABV 3X150+70 ČSN 34 7622) se skládá z těchto údajů:

Jmenovité napětí v kV

Toto napětí se uvádí bez jednotky. Napětí 750 V se vůbec neuvádí.

Písmenové značky

První písmeno značky udává materiál jader:

- A - hliník,
- C - měď.

Druhé písmeno udává materiál izolace:

- N - napuštěný papír „normální“,
- M - napuštěný papír „nemigrující“,
- Y - měkčený PVC,
- G - kaučukový vulkanizát,
- E - polyetylén.

Třetí písmeno K je společnou charakteristikou pro všechny kabely (K = kabel) a čtvrté písmeno značky udává materiál pláště:

- A - hliník,
- O - olovo,
- Q - legované olovo (např. s přísadou antimonu),
- Y - měkčený PVC,
- U - vulkanizát z polychloroprenového kaučuku.

Páté a případná další písmena udávají obaly nad pláštěm:

- J - polštář z předem napuštěného papíru a asfaltového polevu,
- V - vlákninový obal včetně asfaltového polevu,
- B - vrstva z předem napuštěného papíru nejméně dva pásy z elastomeru,
- Y - souvislý bezešvý obal z měkčeného PVC,
- P - pancíř z ocelových pásků, pod kterým je polštář J (J se ve značce neuvádí),
- D - pancíř z ocelových drátů, pod kterým je polštář J (J se ve značce neuvádí),
- Z - pancíř z nemagnetických drátů (pro jednožilové kabely k přenosu st napětí).

Počet žil a průřez jader

Vyjadřuje se součinem, ve kterém první činitel vyjadřuje počet žil a druhý průřez jádra.

Číslo přidružené normy ČSN

Příloha č. 2: Nové značení silových kabelů [16]

Konstrukční prvek	Silové kabely podle TP PRAKAB	Bezhalogenové silové kabely podle TP PRAKAB	Kabely podle normy DIN VDE
Typ			
Standardní typ	-	-	N
Silové kabely	-	-	-
Speciální konstrukce	-	-	-
Jmenovité napětí U ₀ /U			
300/500 V	05	05	-
0,6/1 kV	1	1	-
Jádro			
Cu	C	C	bez kódu
Al	A	A	A
Pocínované jádro	-	-	V
Pokrytí vodiče (obalení)	-	bez kódu	bez kódu
Izolace			
PVC	Y	-	Y
PE	-	-	2Y
XLPE	-	X	2X
Bezhalogenová polymerní směs, neselitěná	-	H	-
Bezhalogenová polymerní směs, sesitěná	-	-	HX
Speciální konstrukční prvky			
Kabel, nestíněný	K	K	-
Kabel, plochý můstkový	M	-	-
Kabel, stíněný hliníkovou páskou	-	F	-
Kabel, flexibilní	-	T	-
Kabel, stíněný flexibilní	-	TF	-
Stínění, koncentrický vodič			
Koncentrický vodič (Cu, obvykle stáčený)	C	-	C
Koncentrický vodič (Cu, stáčený se střídavým zkrutem)	-	-	CW
Cu stínění	F	-	S
Cu stínění (podélně vodotěsný)	-	-	S(F)
Jednotlivé Cu stínění kolem každého jádra	-	-	SE
Plášť, vnitřní obal			
Pb	-	-	K
PVC	Y	-	Y
PE	E (2Y)	-	2Y
Bezhalogenové polymerové sloučeniny, neselitěný	-	-	H
Bezhalogenové polymerové sloučeniny, sesitěný	-	H	HX
Pancíř/Konstrukce kabelu			
Ocelové páška	P	D1	B
Ocelové ploché dráty	-	-	F
Ocelové kulaté dráty	D	D	R
Ocelová páška (protispirála)	-	-	G
Kabel, plochý	Lo	-	-
Kabel, závěsný	Z	-	-
Vnější obal			
PVC	Y	-	Y
PE	E (2Y)	-	2Y
Bezhalogenové polymerové sloučeniny, neselitěný	-	H	H
Ochranný vodič			
S ochranným vodičem	-J	-J	-J
Bez ochranného vodiče	-O	-O	-O
Funkční schopnost izolace/kabelového systému			
Bezhalogenový, bez funkční schopnosti izolace/kabelového systému	-	-R	-
Bezhalogenový, s funkční schopností izolace ...minuty	-	-V ...	FE ...
Bezhalogenový, s funkční schopností kabelového systému ...minuty	-	P,-R	E ..

Kompletní typové značení se skládá z (složení a struktura se liší podle jednotlivých norem):

- Označení typu
- Označení konstrukce kabelu
- Počet žil x jmenovitý průřez jádra
- Označení barevného provedení
- Označení konstrukce jádra
- Pokud je vyžadováno za pomlčkou – Jmenovitý průřez stínění nebo koncentrického vodiče
- Označení barevného provedení
- Označení jmenovitého napětí
- Označení dodatečných informací

Příklad: NAYY –O 4 x 25 RM 0,6/1 kV, 1–CXKH–V180 –J 4 x 25 RM

Příloha č. 3: Jádra silových vodičů a kabelů podle ČSN EN 60228 [10]

Průřez / Cross-sectional of conductor (mm ²)	Třída 1 / Class 1 Plná měděná jádra jednodrátová / Strong round conductors, solid, one wire			Třída 2 / Class 2 Lanovaná měděná jádra / Stranded copper conductors		
	Průměr drátu / Wire diameter (mm)	Činný odpor při 20°C / Operative resistance at 20°C (max. Ω/km)		Konstrukce (počet drátů x průměr) / Construction (number of wires x diameter) (n x mm)	Činný odpor při 20°C / Operative resistance at 20°C (max. Ω/km)	
		holé / bare	pokovené / plated		holé / bare	pokovené / plated
0,35*)	-	-	-	-	-	-
0,5	0,8	36	36,7	7x0,30	36	36,7
0,75	1	24,5	24,8	7x0,37	24,5	24,8
1	1,13	18,1	18,2	7x0,43	18,1	18,2
1,5	1,38	12,1	12,2	7x0,53	12,1	12,2
2,5	1,78	7,41	7,56	7x0,68	7,41	7,56
4	2,25	4,61	4,7	7x0,86	4,61	4,7
6	2,76	3,08	3,11	7x1,04	3,08	3,11
10	3,57	1,83	1,84	7x1,35	1,83	1,84
16	4,5	1,15	1,16	7x1,71	1,15	1,16
25	-	-	-	7x2,14	0,727	0,734
35	-	-	-	7x2,52	0,524	0,529
50	-	-	-	7x0,183	0,387	0,391
70	-	-	-	19x2,14	0,268	0,27
95	-	-	-	19x2,52	0,193	0,195
120	-	-	-	37x2,03	0,153	0,154
150	-	-	-	37x2,27	0,124	0,126

Průřez / Cross-sectional of conductor (mm ²)	Třída 5 / Class 5 Lanovaná měděná jádra ohebná / Flexible stranded copper conductors			Třída 6 / Class 6 Lanovaná měděná jádra se zvýšenou ohebností / High-flexibility stranded copper conductors		
	Konstrukce (počet drátů x průměr) / Construction (number of wires x diameter) (n x mm)	Činný odpor při 20°C / Operative resistance at 20°C (max. Ω/km)		Konstrukce (počet drátů x průměr) / Construction (number of wires x diameter) (n x mm)	Činný odpor při 20°C / Operative resistance at 20°C (max. Ω/km)	
		holé / bare	pokovené / plated		holé / bare	pokovené / plated
0,35*)	12x0,20	56,5	58,13	19x0,15	56,5	58,13
0,5	16x0,20	39	40,1	26x0,15	39	40,1
0,75	24x0,20	26	26,7	42x0,15	26	26,7
1	32x0,20	19,5	20	56x0,15	19,5	20
1,5	30x0,25	13,3	13,7	84x0,15	13,3	13,7
2,5	50x0,25	7,98	8,21	140x0,15	7,98	8,21
4	56x0,30	4,95	5,09	224x0,15	4,95	5,09
6	84x0,30	3,3	3,39	192x0,20	3,3	3,39
10	80x0,40	1,91	1,95	320x0,20	1,91	1,95
16	126x0,40	1,21	1,24	512x0,20	1,21	1,24
25	196x0,40	0,78	0,795	800x0,20	0,78	0,795
35	278x0,40	0,554	0,565	1120x0,20	0,554	0,565
50	399x0,40	0,386	0,393	705x0,30	0,386	0,393
70	361x0,50	0,272	0,277	990x0,30	0,272	0,277
95	475x0,50	0,206	0,21	1340x0,30	0,206	0,21
120	614x0,50	0,161	0,164	1690x0,30	0,161	0,164
150	765x0,50	0,129	0,132	2123x0,30	0,129	0,132

Poznámka: *) Průřez 0,35 mm² norma ČSN EN 60228 neobsahuje, je-li použit, je specifikován podnikovými standardy nkt cables
/ **Note:** *) There is no cross-section 0,35 mm² in EN 60228 - when is to be used, is to be specified by company standards.

Příloha č. 4: Staré značení sdělovacích kabelů [4]

Úplné označení kabelů (např. TCEKEZE 50 P 0,5 nebo DCKAYPY 7 XV 1,3 + 19 DM 0,9) se skládá z těchto údajů:

Písmenové značky

První písmeno označuje druh kabelu:

- T - sdělovací kabel místní (TK),
- D - sdělovací kabel dálkový (DK),
- S - sdělovací kabel vnitřní (SK),
- R - rozhlasový kabel (RK),
- N - návěstní kabel (NK).

Druhé písmeno udává materiál jader:

- C - měď,
- A - hliník,
- J - slitina hliníku (VUK 33E)

Třetí písmeno udává materiál izolace jader:

- Y - polyvinylchlorid,
- E - polyetylén,
- G - guma,
- B - balónková polyetylenová izolace.

Je-li však použita vzduchopapírová izolace, je toto písmeno vynecháno.

Následné písmeno K je společnou charakteristikou pro všechny kabely (K = kabel). Za tímto písmenem se udává materiál pláště:

- O - olovo,
- Q - legované olovo,
- A - hliník,
- Y - polyvinylchlorid,
- E - polyetylén.

Případná další písmena označují způsob ochrany pláště:

- V - vlákninový obal včetně asfaltového polevu,
- Y - pasivní protikoroziční ochrana z PVC,
- B - protikoroziční pásková ochrana z PVC,
- P - pancíř z ocelových pásků,
- D - pancíř z ocelových drátů,
- R - zesílený pancíř z kabelových ocelových drátů včetně polštáře (říční provedení),
- Z - pancíř z hliníkových drátů.

Počet, typ prvků a průměr jader

První číslo udává počet prvků, druhé číslo udává průměr jader. Mezi těmito čísly je písmenné označení způsobu provedení prvku:

- P - pár,
- XN - čtyřka nízkofrekvenční,
- XV - čtyřka vysokofrekvenční,
- DM - čtyřka Dieselhorst-Martin.

Příloha č. 5: Nové značení sdělovacích kabelů [16]

Konstrukční prvek	Telekomunikační kabely podle TP PRAKAB	Telekomunikační kabely podle normy DIN VDE
Typ		
Telekomunikační kabel	-	-
Kabel pro vnější použití	T	A-
Kabel pro vnější použití s ochranou proti rušení	-	AJ-
Installation cable – Instalační kabel	S	J-
Instalační kabel pro průmyslovou elektroniku	-	JE-
Kabel do rozvaděčů	-	S-
Speciální konstrukce	-	-
Jádro		
Cu	C	bez kódu
Pocínované jádro	-	-
Izolace		
Papír	-	P
PVC	Y	Y
PE	E	2Y
XLPE	X	-
Napěňný PE	-	02Y
Napěňný PE s vrstvou z plného PE	EP	02YS
Bezhalogenová polymerní směs, nesetitěná	H	H
Konstrukce duše		
Neplněný kabel	K	-
Kabel plněný vodoblokující hmotou	KP	F
Stínění		
Statické stínění, laminová Al-páska	F	(St)
Cu stínění	-	C, K
Jednotlivé Cu stínění	-	-
Plášť, vnitřní obal		
Pb	-	M
Al-páska	F	-
Al laminovaný vrstvený plášť, podélně položený	FL	(L)2Y
PVC	Y	Y
PE	E	-
Bezhalogenová polymerní směs, nesetitěná	H	H
Pancíř		
Ocelové páska	-	b
Ocelové ploché dráty	-	-
Ocelové kulaté dráty	D	-
Ocelová páska (protispirála)	-	-
Opletení z ocelových drátů	-	Q
Al kulaté dráty	Z	-
Vnější obal		
PVC	Y	Y
PE	E	2Y
Nosný prvek		
Nosný prvek, závěsný prvek	S	T
Stájecí prvky		
Páry	-	P
Páry, jednotlivě stíněné kovovou páskou	-	PiMF
Čtyřky	-	St
Čtyřky v kabelech na dlouhé vzdálenosti	-	St I
Čtyřky v kabelech místních	-	St III
Polohově stáčený	-	Lg
Skupinově stáčený	-	Bd
Funkční schopnost izolace/kabelového systému		
Bezhalogenový, bez funkční schopnosti izolace/kabelového systému	-R	FRH
Bezhalogenový, s funkční schopností izolace ...minuty	-V ...	FE ...
S funkční schopností kabelového systému ...minuty	P.-R	E ...

Kompletní typové značení se skládá z (složení a struktura se liší podle jednotlivých norem):

- Označení typu

- Označení konstrukce kabelu

- Počet prvků x počet žil na prvek x jmenovitý průměr jádra

- Označení stájecích prvků a typu stáčení

- Označení dodatečných informací

Příklad: JE–Y(St)Y 24 x 2 x 0,8 Bd, TCEPKPFLE 50 x 4 x 0,8

Příloha č. 6: Značení optických kabelů [20]

Čísla a rozmístění pozic v označení kabelů									
1	2	3	4	5	6	7	8,9	10	11
J/A	D	Q	(ZN)	2Y	H	T	4x4 G62,5/125	-R	/ZE/o/-/
1. Rozlišovací	J A J/A								
2.* typ sekundární ochrany	V D W								
3. výplňová hmota	F Q								
4. konstrukce	(ZN) (ZN)B 2YB (SR) (L)								
5. další ochranný obal	2Y H								
6. vnější plášť	2Y H								
7. samonosné provedení	T T8								
8.* rozměr	n _t n _v								
9. typ optického vlákna a průměr jádra / průměr funkční ochrany	E... / ... E9/125 G... / ... G62,5/ 125 G50/125 S... / ... K... / / ...								
10.** požární odolnost	-R -V								
11. dodatkové označení	/ZE/ /AR/ /o/ /-/								




Příloha č. 7: Protokol o zkoušce kontinuity a měření izolačního odporu sdělovacího kabelu

Zkouška kontinuity a měření izolačního odporu

Kabelová trasa: Nemanice - Č.Budějovice Datum: 15.6.2013
 Měřeno z: Nemanice Měřil: Vokálek, Krbec
 Měřicí přístroje: Megger BM80/2 $R_{i\min}$: 2053 M Ω
 Délka kabelu: 4 870 m $R_{i(t)\min}$: 1781 M Ω
 Konstrukce kabelu: DCKAYBPV 4XV1,3 + 8DM1,3 + 18DM 0,9

Čtyřka číslo	Kontinuita				Izolační odpor [M Ω]				Pupinace [mH]	Typ prvku	Poznámka
	a	b	c	d	a	b	c	d			
1	a	b	c	d	1800	1600	1800	1900	-	XV 1,3	
2	a	b	c	d	1700	1700	1900	1900	-	XV 1,3	
3	a	b	c	d	1700	1800	1700	2000	-	XV 1,3	
4	a	b	c	d	1900	1800	1900	1900	-	XV 1,3	
5	a	b	c	d	2300	2500	1900	2100	-	DM 1,3	
6	a	b	c	d	2300	2700	2500	2400	88/36	DM 1,3	
7	a	b	c	d	2300	2000	2100	2700	88/36	DM 1,3	
8	a	b	c	d	2300	2300	2400	2400	88/36	DM 1,3	
9	a	b	c	d	2100	2100	2300	2300	88/36	DM 1,3	
10	a	c	b	d	2200	2300	2200	2300	88/36	DM 1,3	bc přehoz
11	a	b	c	d	2300	2300	2300	2400	-	DM 1,3	
12	a	b	c	d	2100	2000	1900	1900	88/36	DM 1,3	
13	x	b	c	d	1300	1300	1400	1500	88/36	DM 0,9	a přerušeno
14	a	b	c	d	1500	1400	1500	1500	88/36	DM 0,9	
15	a	b	c	d	1500	1500	1600	1500	88/36	DM 0,9	
16	a	b	c	d	1300	1400	1400	1400	88/36	DM 0,9	
17	a	b	c	d	1700	1700	1600	1400	88/36	DM 0,9	
18	a	b	c	d	1700	1700	1700	1700	88/36	DM 0,9	
19	a	b	c	d	1400	1400	1300	1300	88/36	DM 0,9	
20	a	b	c	d	1300	1600	1300	1400	88/36	DM 0,9	
21	a	b	c	d	1600	2000	2100	2050	88/36	DM 0,9	
22	a	b	c	d	0,1	2100	2300	2500	88/36	DM 0,9	
23	a	b	c	d	1450	0,1	1900	2000	88/36	DM 0,9	
24	a	b	c	d	2300	2300	2300	2300	88/36	DM 0,9	
25	a	b	c	d	2300	2300	2300	2300	88/36	DM 0,9	
26	a	b	c	d	1650	1500	1600	1550	88/36	DM 0,9	
27	a	b	c	d	1800	1700	2300	2300	88/36	DM 0,9	
28	a	b	c	d	2300	2300	2300	1700	88/36	DM 0,9	
29	a	b	c	d	1650	1900	2100	1900	88/36	DM 0,9	
30	a	b	c	d	1800	1700	1,2	1,2	88/36	DM 0,9	c-d 0,9 M Ω

Příloha č. 9: Protokol z napěťové zkoušky silového vn kabelu

	Oddělení Diagnostika kabelů PLZEŇ			
	ČEZ Distribuční služby, s.r.o. Riegrovo náměstí 1493/3, Hradec Králové 50002			Zkušebna E23 Člen asociace zkušeben vn
Diagnostika kabelových vedení vn				
Číslo protokolu	Datum	Čas		
424/13	18.11.2013	11 ⁰⁵		
Vlastník	Lokalita	Číslo vedení	Délka kabelu	Průřez kabelu
SZDC	české Budějovice		20 m	240 mm ²
Místo měření (začátek kabelu)	Ukončení kabelu	Typ kabelu		Jmenovité napětí U _N (kV)
TR EDV 1	TS 131	PE		25
Provozní stav diagnostikovaného zařízení		Nový		
Základní údaje k měření:				
Požité přístroje: PHG 40/SSGISA32				
Výsledky měření				
Metoda	Výsledek (L1,L2,L3)			
	Zkušební napětí	Naměřené hodnoty	Hodnocení	Kategorie
Napěťová zkouška - pláštová	5 kV - DC	0,01 mA	VYHOVĚL	1
Napěťová zkouška 0,1 Hz	38 kV	0,347 mA	VYHOVĚL	1
Hodnocení :				
Kabelové vedení diagnostickým zkouškám dle ČDS_ME_0029r00		Jméno	MARTIN BAUMRUK	
VYHOVĚLO - NEVYHOVĚLO - VYHOVĚLO S OMEZENÍM		Podpis		



Příloha č. 10: Protokol o měření odporu smyček a nerovnováhy ohmických odporů sdělovacího kabelu

Měření odporu smyček a nerovnováhy ohmických odporů

Kabelová trasa: Nemanice - Č.Budějovice

Datum: 15.6.2013

Měřeno z: Nemanice

Měřil: Vokálek, Krbec

Měřicí přístroje: Můstek M1T 450.1

Délka kabelu: 4 870 m

Konstrukce kabelu: DCKAYBPV 4XV1,3 + 8DM1,3 + 18DM 0,9

Čtyřka č.	Střední teplota °C	Odpor smyček					Nerovnováha			Průměr jádra mm	Pupinace mH	Poznámka
		1 Pár I. a+b Ω	2 a+c Ω	3 b+c Ω	4 b+d Ω	5 Pár II. c+d Ω	2-3 a-b Ω	3-4 c-d Ω	I-II 4 Ω			
1	13	115,0	115,0	115,1	115,0	115,1	-0,1	0,1	-0,100	1,3	-	
2	13	115,2	115,3	115,5	115,4	115,5	-0,2	0,1	-0,300	1,3	-	
3	13	114,9	114,9	114,9	114,9	115,0	0,0	0,0	-0,100	1,3	-	
4	13	114,9	114,9	115,0	114,9	115,0	-0,1	0,1	-0,100	1,3	-	
5	13	115,0	115,0	114,9	115,0	114,9	0,1	-0,1	0,100	1,3	-	
6	13	153,1	153,0	153,0	152,9	152,8	0,0	0,1	0,300	1,3	88/36	
7	13	153,3	153,3	153,3	153,3	153,3	0,0	0,0	0,000	1,3	88/36	
8	13	153,3	153,4	153,4	153,4	153,5	0,0	0,0	-0,200	1,3	88/36	
9	13	153,2	153,2	153,1	153,1	153,0	0,1	0,0	0,200	1,3	88/36	
10	13	153,0	153,0	153,0	153,0	153,0	0,0	0,0	0,000	1,3	88/36	
11	13	115,2	115,3	115,2	115,2	115,2	0,1	0,0	0,000	1,3	-	
12	13	153,3	153,3	153,4	153,3	153,4	-0,1	0,1	-0,100	1,3	88/36	
13	13	-	-	298,4	298,4	298,3	-	0,0	-	0,9	88/36	a přerušeno
14	13	297,8	297,7	297,6	297,6	297,6	0,1	0,0	0,200	0,9	88/36	
15	13	298,2	298,2	298,4	298,3	298,4	-0,2	0,1	-0,200	0,9	88/36	
16	13	298,4	298,6	298,5	298,5	298,5	0,1	0,0	-0,100	0,9	88/36	
17	13	298,2	298,5	298,6	298,5	298,6	-0,1	0,1	-0,400	0,9	88/36	
18	13	298,6	298,6	298,6	298,5	298,3	0,0	0,1	0,300	0,9	88/36	
19	13	298,6	298,6	298,6	298,6	298,6	0,0	0,0	0,000	0,9	88/36	
20	13	298,6	298,6	298,5	298,5	298,5	0,1	0,0	0,100	0,9	88/36	
21	13	298,2	298,1	298,1	298,1	298,1	0,0	0,0	0,100	0,9	88/36	
22	13	298,5	298,5	298,4	298,4	298,3	0,1	0,0	0,200	0,9	88/36	
23	13	298,6	298,5	298,6	298,6	298,5	-0,1	0,0	0,100	0,9	88/36	
24	13	298,6	298,6	298,6	298,6	298,6	0,0	0,0	0,000	0,9	88/36	
25	13	298,3	298,5	298,6	298,5	298,6	-0,1	0,1	-0,300	0,9	88/36	
26	13	298,5	298,5	298,5	298,5	298,4	0,0	0,0	0,100	0,9	88/36	
27	13	298,3	298,1	298,0	298,0	298,0	0,1	0,0	0,300	0,9	88/36	
28	13	298,3	298,3	298,3	298,3	298,2	0,0	0,0	0,100	0,9	88/36	
29	13	297,7	297,7	297,6	297,7	297,7	0,1	-0,1	0,000	0,9	88/36	
30	13	298,5	298,5	298,4	298,4	298,3	0,1	0,0	0,200	0,9	88/36	