

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra telekomunikační techniky

**Analýza optických tras metodou OTDR a její zpracování
v Matlabu**

květen 2018

**Bakalant: Ivan Lytvyn
Vedoucí práce: Ing. Pavel Lafata, Ph.D.**

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a používal jsem pouze literaturu v práci uvedenou. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé bakalářské práce nebo její části se souhlasem katedry.

Datum: 25. 5. 2018

.....

podpis bakalanta

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Lytvyn** Jméno: **Ivan** Osobní číslo: **452874**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra telekomunikační techniky**
Studijní program: **Komunikace, multimédia a elektronika**
Studijní obor: **Síťové a informační technologie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Analýza optických tras metodou OTDR a její zpracování v Matlabu

Název bakalářské práce anglicky:

Analysis of Optical Traces using OTDR and its Processing in Matlab

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se s metodou pro analýzu optických tras a vláken OTDR založenou na detekci zpětně odražených pulzů a jejich vyhodnocení. Využijte dostupné vybavení laboratoře ve formě reflektometru JDSU MTS-6000a a proveďte sérii pokusných měření. Zaměřte se zejména na formát pro ukládání výsledků ve formě SOR dle standardu Telcordia SR-4731 a implementujte jej do prostředí Matlabu. Na základě toho vytvořte v programu Matlab automatizovaný nástroj pro načtení a analýzu naměřených výstupů z reflektometru OTDR s automatickou detekcí a analýzou trasy a jednotlivých prvků na ní.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Pearson, E.R.: Mastering The OTDR: Trace Acquisition And Interpretation. 2011, CreateSpace Independent Publishing Platform. ISBN 978-1-46642-929-1.
[2] Telcordia SR-4731: Optical Time Domain Reflectometer (OTDR) Data Format, 2011.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Pavel Lafata, Ph.D., katedra telekomunikační techniky FEL

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

Datum zadání bakalářské práce: **04.01.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **25.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

Ing. Pavel Lafata, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlu Lafátovi, Ph.D. za odborné vedení mé práce, věnování velkého množství svého času, vstřícný přístup a za cenné rady, názory a konzultace, které mi při vypracování bakalářské práce poskytl.

Anotace:

Tato bakalářská práce se zabývá metodou OTDR pro analýzu optických tras a vláken a tvorbou aplikace v prostředí Matlab pro analýzu tras a automatickou detekci jednotlivých prvků na ní. Pokusné měření byly provedeny v laboratoři pomocí reflektometru JDSU MTS-6000a. Kromě toho, v práci jsou popsány optická vlákna a jejich přenosové vlastnosti.

Klíčová slova: Optické vlákno, útlum, vlnová délka, OTDR, konektor, svar

Summary:

This diploma thesis deals with the OTDR method for analysis of optical trace and fibers and creation a application in Matlab environment for analysis of optic trace and automatic detection of individual events on it. Experimental measurements were performed in laboratory with the JDSU MTS-6000a Reflectometer. Additionaly, optical fibers and their transmission properties are described in the paper.

Index Terms: Optical fiber, attenuation, wavelength, OTDR, connector, splice

Obsah

Úvod	8
1 Optické vlákno	9
1.1 Typy optických vláken.....	9
1.1.1 Mnohovidové vlákno	9
1.1.2 Jednovidové vlákno	9
1.1.3 Vlákná s gradientním indexem lomu	10
1.2 Disperze.....	10
1.3 Útlum.....	11
1.3.1 Absorpce	13
1.3.2 Rayleighův rozptyl.....	14
2 Spojení optických vláken	15
2.1 Optické konektory	15
2.1.1 Typy a konfigurace	15
2.2 Trvalé spojení optických vláken	16
2.2.1 Tavné spoje	16
2.2.2 Mechanické spoje.....	16
3 OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER	18
3.1 Aplikace OTDR.....	18
3.2 Jak funguje OTDR.....	18
3.2.1 Rayleighův rozptyl.....	18
3.2.2 Fresnelův odraz.....	19
3.2.3 Úroveň zpětného rozptylu oproti ztrátě přenosu.....	19
3.3 Komponenty OTDR přístroje.....	19
3.3.1 Zdroj světla	20
3.3.2 Spojka a rozbočovač	20
3.3.3 Optický snímač	20
3.3.4 Řídicí jednotka	21
3.4 Specifikace OTDR.....	21
3.4.1 Dynamický rozsah	21
3.4.2 Mrtvá zóna	22
3.4.3 Rozlišení	22
3.4.4 Vlnová délka	23
3.5 Parametry měření.....	24
3.5.1 Rozsah vzdálenosti.....	24

3.5.2	Rozlišení	25
3.5.3	Šířka impulsu	25
3.5.4	Průměrování	26
3.6	Interpretace trasy optického spojení.....	26
3.6.1	Jednotlivé vlákno	27
3.6.2	Začátek vlákna	27
3.6.3	Ukončení nebo přerušení vlákna.....	28
3.6.4	Konektor nebo mechanický spoj.....	28
3.6.5	Svary a ohyby	29
3.6.6	Prasknutí	29
3.6.7	Patchcord.....	30
3.7	Výstupní soubor měření	30
4	Praktická část.....	32
4.1	Provedené měření.....	32
4.2	Aplikace pro detekci a analýzu událostí z OTDR měření.....	33
4.2.1	Souborový panel	34
4.2.2	Grafický panel.....	35
4.2.3	Panel Filtr.....	35
4.2.4	Panel Nastavení.....	37
4.3	Analýza změřené trasy	39
5	Závěr.....	47
6	Literatura	48

Úvod

Hlavním cílem bakalářské práce je vytvořit aplikace pro načtení a analýzu naměřených výstupů z reflektometru OTDR s automatickou detekcí a analýzou trasy a jednotlivých prvků na ní.

Práce se skládá ze dvou částí. V první teoretické části jsou popsány optické vlákno, způsoby jejich spojů a přístroj OTDR. Hlavním úkolem druhé části bylo vytvoření programu pro detekce událostí na trase změřenou pomocí OTDR.

První kapitola teoretické části popisuje typy optických vláken. Základními typy jsou jednovidová a vícevidová vlákna se skokovým indexem lomu. Také se používají mnohovidová vlákna s gradientním indexem lomu. Pro dálkový a rychlý přenos se uplatní jednovidová vlákna. Pro menší vzdálenosti a pomalejší rychlosti se používá vícevidová vlákna. Zároveň kapitola věnována jevu disperze v optických vláknech. Disperze je rozdělaná na vidovou, chromatickou a polarizační vidovou disperzi. Další podkapitola se věnuje útlumu v optických vláknech. Uvádí čtyři hlavní mechanismy ztrát. Detailněji popisuje absorpce a Rayleighův rozptyl. V této kapitole jsou obrázky typického průběhu závislosti útlumu na vlnové délce a také uvedena definice telekomunikačních oken podle ITU-T.

Druhá kapitola seznámí se způsoby spojení optických kabelů. To jsou konektory, mechanické spoje a tavné spoje.

Třetí kapitola uvádí základní informace o přístroji OTDR. Popisuje jeho základní vlastnosti jako dynamický rozsah, mrtvá zóna a rozlišení. Vysvětluje parametry měření OTDR a jejich vliv na výsledky. Nakonec, obsahuje popis událostí, které se objevují na optické trase.

Praktická část je popsána v čtvrté kapitole, která popisuje vytvoření programu v prostředí Matlab. V kapitole je vysvětleno, jak pracuje program a jsou popsány jeho základní vlastnosti. Uveden postup při analýze změřené trasy. Také je provedeno porovnání výsledků aplikací s výsledky přístroje JDSU MTS-6000a, které ukázalo přínosnost a nedostatky vytvořeného programu.

1 Optické vlákno

Optická vlákna jsou prostředkem pro přenášení informací z jednoho místa do druhého ve formě světla. Na rozdíl od metalických přenosových médií, optické vlákno nemá elektrickou povahu. Základní optický systém se skládá z vysílacího zařízení, které přeměňuje elektrický signál na světelný signál, kabel s optickými vlákny, který nese světlo, a přijímač, který přijímá světelný signál a převádí ho zpět do elektrického signálu. Složitost systému optických vláken se může pohybovat od velmi jednoduchých až po extrémně sofistikované a drahé.

Přenos optickými vlákny používá vlnové délky, které jsou v blízké části infračerveného spektra, těsně nad viditelným, a proto nedetekovatelné na oko. Typické vlnové délky optického přenosu jsou 850 nm, 1310 nm a 1550 nm. Jak laser, tak i LED jsou používány k přenosu světla přes optické vlákno. Lasery se obvykle používají pro jednovidové vlákno v rozsahu 1310 nebo 1550 nm. LED diody se používají pro mnohovidová vlákna v rozsahu 850 nebo 1300 nm. [5]

1.1 Typy optických vláken

V komunikačních systémech se používají tři základní typy optických kabelů:

1. Mnohovidový se skokovou změnou indexu lomu
2. Jednovidový se skokovou změnou indexu lomu
3. Mohovidový s gradientní pozvolnou změnou indexu lomu

1.1.1 Mnohovidové vlákno

Ve mnohovidovém vlákně, stejně, jak v jednovidovém jsou paprsky světla vedeny podél jádra pomocí totální reflexe. Relativně velký průměr jádra a numerická apertura charakterizují toto vlákno. Průměr jádra a pláště typického mnohovidového vlákna používaného pro telekomunikace je 50 a 125 μm . Termín "multimod" označuje skutečnost, že je možné přenášet více vidů přes vlákno. Mnohovidové vlákno se používá v aplikacích, které vyžadují velkou šířku pásma na relativně krátkých vzdálenostech, jako je místní síť.

Hlavní přínosy mnohovidového vlákna jsou: lze s ním relativně snadno pracovat; vzhledem k jeho větší velikosti jádra je možné světlo do něho snáze navázat a opět vyvést ven; může být použita jak s lasery, tak s LED jako zdroji; ztráty spojování jsou menší než ztráty v jednovidovém vlákně.

Nevýhoda spočívá v tom, že vzhledem k tomu, že šíří se více vidů trpí vidovou disperzí. Výsledkem je omezení šířky pásma, což znamená nižší datové rychlosti.

1.1.2 Jednovidové vlákno

Jednovidové vlákno umožňuje vést pouze jeden vid uvnitř vlákna. Průměr jádra pro typické jednovidové vlákno je mezi 5 μm a 10 μm s pláštěm 125 μm . Jednovidová vlákna se používají v aplikacích, v nichž je zapotřebí nízké ztráty signálu a vysoké přenosové rychlosti, například v dlouhých rozestupech, kdy je třeba maximalizovat vzdálenost opakovače nebo zesilovače. Vzhledem k tomu, že jednovidové vlákno umožňuje šíření pouze jednoho vidu (nejnižšího řádu), netrpí vidovou

disperzí, jako mnohovidové vlákno, a proto může být použito pro aplikace s vyšší šířkou pásma. Nicméně, i když jednovidové vlákno není ovlivněno vidovou disperzí, při vyšších rychlostech dat chromatická disperze může omezit výkon.

Stručně řečeno, jednovidové vlákno se používá ve vysokorychlostních aplikacích na dlouhé vzdálenosti, jako jsou dálkové páteřní spoje, koncové kabely a vysokorychlostní místní a širokopásmové sítě (LAN a WAN). Hlavní nevýhodou jednovidového vlákna je to, že je s ním poměrně obtížné pracovat, protože má malou velikost jádra. Jednovidová vlákna se typicky používá pouze s laserovými zdroji kvůli vysokým ztrátám spojení souvisícími s LED diodami.

1.1.3 Vlákna s gradientním indexem lomu

Vlákna s gradientním indexem lomu jsou kompromisem mezi velkým průměrem jádra a numerickou aperturou vícevidového vlákna a vyšší šířkou pásma jednovidového vlákna. Při vytváření jádra, jehož index refrakce se parabolicky snižuje od středu jádra ke plášti, světlo procházející středem vlákna vykazuje vyšší index než světlo, které se pohybuje ve vyšších videch. To znamená, že vidy vyšších řádů se pohybují rychleji než vidy nižšího řádu, což jim umožňuje "dohnat" vidy nižšího řádu, čímž se snižuje hodnota vidové disperze, což zvyšuje šířku pásma vlákna. [5]

1.2 Disperze

Disperze je definována jako deformace optického pulsu v časové oblasti při průchodu optickým vláknem. Protože puls světla se šíří vláknem, prvky jako numerická apertura, průměr jádra, profil indexu lomu, vlnová délka a spektrální šířka zdroje způsobují rozšíření impulzu v čase. Toto představuje omezení celkové šířky pásma vlákna.

Celková disperze je funkcí délky vlákna. Čím delší je vlákno, tím více disperze. Celkový efekt disperze na výkon optického systému je patrný jako mezisymbolová interference. Ta se vyskytuje, když rozšíření impulsů disperzí vyvolá, že výstupní impulsy systému se překrývají, což je dělá nedetekovatelnými.

Disperze je obecně rozdělena do tří kategorií:

- Vidová disperze
- Chromatická disperze
- Polarizační vidová disperze

Vidová disperze je definována jako rozšíření impulsů způsobené časovým zpožděním mezi vidy nižšího řádu, šířící se přímo přes vlákno blízké optické ose, a vidy vyšších řádů, šířící se ve strmějších úhlech. Vidová disperze je problematická u vícevidového vlákna, což způsobuje omezení šířky pásma, ale není to problém s vlákny, která nesou pouze jeden vid.

Chromatická disperze vychází ze skutečnosti, že různé vlnové délky světla se šíří při mírně odlišných rychlostech přes vlákno. Všechny zdroje světla, ať už laserové nebo LED, mají konečnou spektrální šířku, což znamená, že vyzařují více než jednu vlnovou délku. Vzhledem k tomu, že index

lomu skleněných vláken je veličina závislá na vlnové délce, různé vlnové délky se šíří různými rychlostmi. Chromatická disperze je typicky vyjádřena v jednotkách $ns/(km \cdot nm)$ nebo $ps/(km \cdot nm)$.

Chromatická disperze se skládá ze dvou částí:

- materiálové
- vlnovodové

Materiálová disperze je způsobena závislostí vlnové délky na indexu lomu skla. Vlnovodová disperze je způsobena fyzickou strukturou vlnovodu. U jednovidového vlákna se skokovou změnou indexu lomu není vlnovodová disperze hlavním faktorem, ale ve vláknech s komplexnějšími indexovými profily může být vlnovodová disperze významnější. Materiálová a vlnovodová disperze mohou mít opačná znaménka v závislosti na přenosové vlnové délce. V případě jednovidového vlákna se tyto dva účinně vzájemně ruší při 1310 nm, což vede k nulovému časovému rozšíření. Díky této vlnové délce je umožněna komunikace s velkou šířkou pásma. Nevýhodou však je, že i když je disperze minimalizována při vlnové délce 1310 nm, útlum není. Skleněná vlákna mají minimální útlum při vlnové délce 1550 nm. [5]

Jednou ze základních vlastností jednovidových optických vláken je polarizační vidová disperze (PMD), což je rozšíření vstupního impulzu v důsledku fázového zpoždění polarizačních vidů.

Jednovidové optické vlákno přenáší jeden základní vid, který je šířen ve dvou navzájem kolmých polarizačních rovinách. V ideálním případě je jádro optického vlákna dokonale kruhové, a proto má stejný index lomu pro oba polarizační vidy. Mechanické a tepelné namáhání zavedené během výroby však vedou k asymetrii formy jádra vlákna. Asymetrie polarizačních vidů má za následek dvojlom – rozdíl mezi rychlostí a fází obou vidů. Externí mechanické namáhání a okolní podmínky mohou také sloužit příčinou vzniku dvojlomu.

Dvojlom vytváří dvě optické osy, které obecně odpovídají rychlé a pomalé ose (odpovídají také modelu PSP (Principal States of Polarization)). Dvojlom způsobuje, že jeden polarizační vid cestuje rychleji než druhý. Tento jev se nazývá DGD (Differential Group Delay) a definován jako skupinové zpoždění mezi pomalými a rychlými vidy. DGD je jednotka, která se používá k popisu PMD. DGD se obvykle měří v pikosekundách.

K PMD jevu musíme přistupovat jako k náhodnému, protože nemůžeme jistě definovat mechanické namáhání podél trasy, když nesymetrie vlákna je poměrně konstantní. Uvedený fakt komplikuje kompenzace PMD. [3]

1.3 Útlum

Útlum optického vlákna měří množství ztraceného světla mezi vstupem a výstupem.

Existují různé mechanismy pro ztráty optických vláken:

- Rayleighův rozptyl
- Absorpce
- Makroskopické a mikroskopické ohyby

- Simulovaný nelineární rozptyl.

Celkový útlum je součtem všech ztrát. [3]

Za zcela obecných podmínek se změnami průměrného optického výkonu šířeného optickým vláknem řídí Beerův zákon:

$$\frac{dP}{dz} = -\alpha P \quad (1.3.1)$$

kde P [dB] je výkon šířící se vláknem, α [dB/km] je měrný útlum. Pokud je P_{in} [dB] vstupní výkon na začátku vlákna délky L [km] pak výstupní výkon P_{out} [dB] je dán:

$$P_{out} = P_{in} \exp(-\alpha L) \quad (1.3.2)$$

Je obvyklé vyjádřit α v jednotkách [dB/km] pomocí vztahu:

$$\alpha = -\frac{10}{L} \log \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (1.3.3)$$

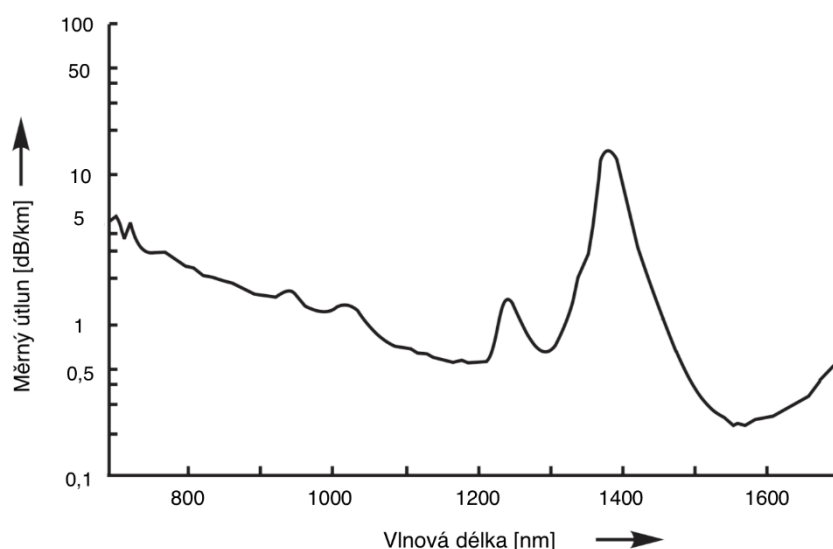
Před tím, jak ukázat závislost útlumu na vlnové délce, uvedeme ITU-T definice telekomunikačních oken.

Název okna	O-okno	E-okno	S-okno	C-okno	L-okno
Vlnový rozsah	1260-1360 nm	1360-1460 nm	1460-1530 nm	1530-1565 nm	1565-1625 nm

Tabulka 1.3.1 Telekomunikační okna podle ITU [1]

Tyto vlnové délky byly vybrány, protože nejlépe odpovídají přenosovým vlastnostem dostupných světelných zdrojů a přenosovým vlastnostem optických vláken, hlavně díky tomu že mají malý měrný útlum v uvedených oknech.

Vláknové ztráty závisí na vlnové délce přenášeného světla. Další obrázek ukazuje spektrální závislost útlumu vláken jako funkce vlnové délky typického optického vlákna z oxidu křemičitého podle standardu ITU G.652A(B).



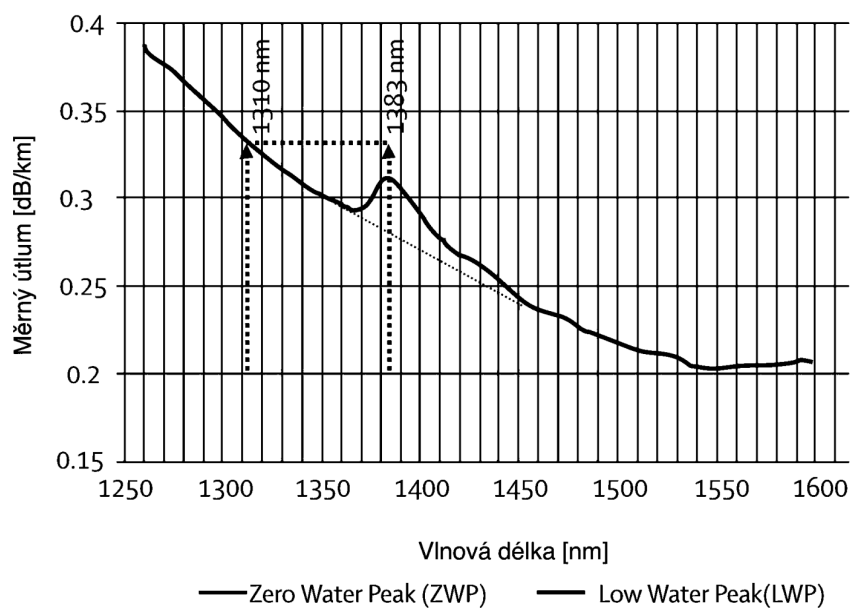
Obrázek 1.3.1 Typická závislost útlumu na vlnové délce pro křemenné vlákno [2]

V nejnovějších normách ITU-T G.652D a IEC 60793-2-50 B1.3 byly definovány nové standardy pro výrobu „suchých“ optických jednovidových vláken. Tyto normy vyžadují, aby útlum, v místech, kde OH-ionty absorbují světlo, při 1383 nm byl stejný nebo nižší než při 1310 nm. Vlnová délka 1310nm typicky vykazuje útlum 0,34 dB/km, pak útlum při 1383nm musí být v rozmezí 0,31 dB/km až 0,34 dB/km.

Tyto vlákna Reduced Water Peak (RWP) mohou být používány v tzv. „Full Spektrum“, protože snížení ztráty ve spektrální oblasti absorpce vody (pásmo E) umožňuje přenos v této dříve nepoužitelné části spektra. „Full Spektrum“ znamená vlnové délky od 1310nm do 1625nm. Toto povoluje používat dříve nedotčenou oblast 1400 nm (pásmo E), kde vlákno G652B je nepoužitelné.

Zatímco všechna vlákna RWP mají nižší ztráty v pásmu E (1360-1460 nm), vlákna RWP mohou být dále rozdělena do dvou typů. [1]

- Vlákna Low Water Peak (LWP) – typicky útlum při 1383 nm je menší než 0,34 dB/km.
- Vlákna Zero Water Peak (ZWP) – typicky útlum při 1383 nm je menší než 0,31 dB/km (0,27 až 0,31 dB/km)



Obrázek 1.3.2 Typický útlum optických vláken podle standardu ITU-T G.652D [1]

Dále popíšeme dva nejdůležitější vybrané námi mechanismy pro ztráty: absorpce materiálu a Rayleighův rozptyl.

1.3.1 Absorpce

Absorpce materiálu lze rozdělit do dvou kategorií. Vnitřní absorpční ztráty odpovídají absorpci materiálu použitého pro výrobu vláken, zatímco vnější absorpce souvisí se ztrátami způsobenými nečistotami v tomto materiálu. Jakýkoliv materiál absorbuje při určitých vlnových délkách. Pro molekuly oxidu křemičitého dochází v oblasti ultrafialového záření k elektronové rezonanci, zatímco

v infračervené oblasti dochází k vibrační rezonanci. Vzhledem k amorfní povaze taveného oxidu křemičitého jsou tyto rezonance ve formě absorpčních pásů.

Externí absorpce je důsledkem přítomnosti nečistot. Přechodové kovové nečistoty jako Fe, Cu, Co, Ni, Mn a Cr absorbují silně v rozsahu vlnových délek 600–1600 nm. Jejich hodnota by měla být snížena na méně než 1 částice na milion, aby se dosáhlo úrovně ztrát nižší než 1 dB/km. Takový křemík s vysokou čistotou lze dosáhnout použitím moderních technik. Hlavním zdrojem vnější absorpce v nejmodernějších křemíkových vláknech je přítomnost vodních par. Vibrační rezonance OH-iontů se vyskytuje přibližně na vlnové délce 2730 nm. Jeho harmonické vibrační rezonance s oxidem křemičitým vytvářejí absorpci při vlnových délkách 1390, 1240, 950 nm. Tyto tři spektrální špičky se vyskytují v blízkosti těchto vlnových délek a jsou způsobeny přítomností zbytkové vodní páry v křemíku. Dokonce i koncentrace 1 částice na milion může způsobit ztrátu kolem 50 dB/km při 1390 nm. [3]

1.3.2 Rayleighův rozptyl

Rayleighův rozptyl je základní mechanismus ztrát, který vzniká lokálním mikroskopickým kolísáním hustoty. Molekuly oxidu křemičitého se náhodně pohybují v roztaveném stavu a zmrazí na místě při výrobě vláken. Kolísání hustoty vede k náhodným výkyvům indexu lomu v měřítku menším, než je optická vlnová délka λ [nm]. Rozptyl světla v takovém prostředí je známý jako Rayleighův rozptyl. Vnitřní ztráta křemenných vláken z Rayleighova rozptylu může být zapsána jako:

$$\alpha_R = \frac{C}{\lambda^4} \quad (1.3.2.1)$$

kde je konstanta C v rozmezí 0,7-0,9 [(dB/km)*nm⁴], v závislosti na složkách jádra vlákna. Tyto hodnoty C odpovídají $\alpha_R = 0,12-0,16$ [dB/km] při $\lambda = 1550$ nm, což naznačuje, že dominantním mechanismem ztráty vlákna na obrázku je Rayleighův rozptyl v blízkosti této vlnové délky.

Účinek Rayleighova rozptylu se postupně snižuje a pro vlnové délky delší než 3000 nm jeho hodnota se rovná méně než 0,01 [dB/km]. Ale v této oblasti vlnových délek útlum způsobení infračervenou absorpcí začíná převládat a celkový útlum rychle stoupá, proto tato část spektra se nepoužívá v telekomunikacích. [3]

2 Spojení optických vláken

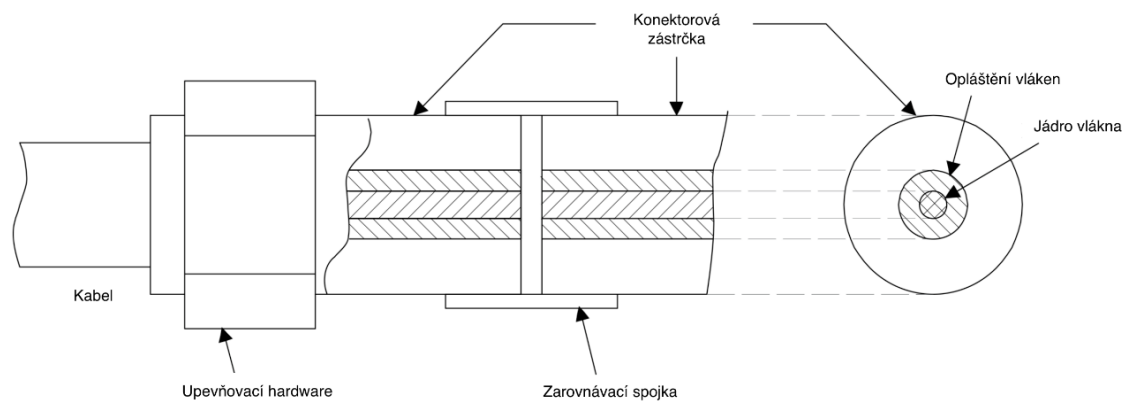
2.1 Optické konektory

Konektory optických vláken poskytují způsob spojování konců dvou optických vláken. Takový spoj není trvalý, ale může být několikrát rozpojení a pak zase spojení. Optické konektory jsou vyžadovány v bodech sítě, ve kterých je nutné mít flexibilitu, pokud jde o konfiguraci sítě a přístup k testování.

Konektory s optickými vlákny jsou použitelné ve všech typech sítí, na vstupních a výstupních portech přenosových systémů a slouží také k připojení zkušebních přístrojů.

Připojení může být typu konektor „zástrčka-adaptér-zástrčka“ nebo „zástrčka-zásuvka“.

Hlavními účinky zavedení konektoru do optické trasy jsou útlum vysílaného signálu a odraz části signálu.



Obrázek 2.1.1 Obecná konstrukce konektoru [4]

2.1.1 Typy a konfigurace

Konektory s optickými vlákny lze klasifikovat na základě:

- druhu vlákna;
- typu kabelu;
- systému vyrovnání vláken;
- povrchové úpravě optického vlákna;
- typu spojovacího mechanismu;
- počtu spojených vláken;
- vnějšího průměru feruli (2,5 mm nebo 1,25 mm);
- rozmístění konektoru „zástrčka-adaptér-zástrčka“ nebo „zástrčka-zásuvka“).

2.2 Trvalé spojení optických vláken

Svary a mechanické spoje jsou kritické body v síti optických vláken, protože silně ovlivňují nejen kvalitu spojení, ale i jejich životnost. Svary musí zajistit vysokou kvalitu a stabilitu výkonu s časem. Vysoká kvalita při spojení je obvykle definována jako nízká ztráta spoje a pevnost v tahu, která se blíží hladině pevnosti v testu vlákna. Spoje musí být stabilní po dobu životnosti systému v předpokládaných podmínkách prostředí.

V současné době lze pro trvalé spojení optických vláken použít dvě technologie, tavné a mechanické, a volba mezi nimi závisí na předpokládaném funkčním výkonu a úvahách o instalaci a údržbě. Tyto spoje jsou určeny k trvalému připojení.

Je třeba pečlivě sledovat vhodný postup spojování, aby se získaly spolehlivé spoje mezi optickými vlákny. Tento postup se vztahuje jak na jednotlivá vlákna, tak na pásy (více vláken najednou).

2.2.1 Tavné spoje

Různé metody existují pro svařování vláken nebo pásů. Svařování elektrickým obloukem je nejpoužívanější metoda k vytvoření spolehlivých jednoduchých nebo hromadných optických spojů na poli. Proces svařování je realizován pomocí speciálně vyvinutých spojovacích strojů.

Pro výrobu tavného spoje jsou z vlákna odstraněny všechny ochranné povlaky, vlákna jsou zalomené a poté umístěna a vyrovnána mezi dvěma elektrodami v stroji pro spojování. Elektrický oblouk ohřívá křemenné sklo, dokud se nedosáhne bodu "tání" nebo změkčení a současně se vlákna spojují podélně tak, že se získá geometricky spojitá spojka. Tento proces vytváří spojitě skleněné vlákno. Zarovnání vláken v těchto strojích může být pasivní nebo aktivní. Na svaru se potom aplikuje vhodné ochranné zařízení, které chrání holé vlákno a umožňuje manipulaci a skladování bez nepříznivého ovlivnění fyzické integrity spoje. Kvalita štěpení a intenzita a trvání oblouku stejně jako rozdíly mezi dvěma vlákny, které mají být spojeny, určují ztrátu spojů. Navíc kvalita odstraňování povlaku, zalomení vláken a ochrana spojů přispívají k dlouhodobé mechanické spolehlivosti v terénu.

2.2.2 Mechanické spoje

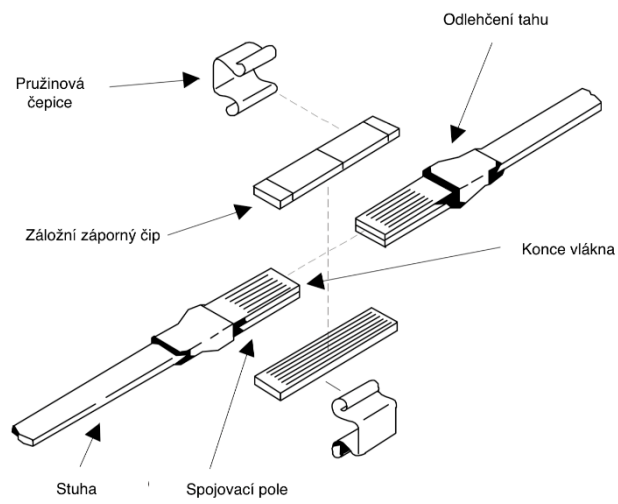
Mechanické spojky mají různé struktury a fyzické provedení a obvykle obsahují následující základní součásti:

- povrch pro zarovnání spojených konců vláken;
- zádržný prostředek pro udržení vlákna v souladu;
- indexový materiál (gel, tuky, lepidlo apod.) umístěný mezi konce vláken.

Mechanické svary mohou být použity pro jednotlivá vlákna nebo pásy.

Pro snížení Fresnelových odrazů může být použit optický shodný materiál mezi konci vláken. Tento materiál musí být zvolen tak, aby odpovídal optickým vlastnostem vlákna. Mezi běžné indexové

materiály patří silikonové gely, lepidlo vytvrzené UV zářením, epoxidové pryskyřice a optické tuky. Index lomu těchto materiálů má teplotní závislost odlišnou od skelných vláken. [4]



Obrázek 2.2.1 Vícevláknový mechanický spoj [4]

3 OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER

“Optical Time Domain Reflectometer“ – zkratka "OTDR" – je elektronický optický přístroj, který se používá k měření optických vláken. Detekuje závady a porušení a určuje změnu úrovně signálu v libovolném místě optického vlákna. OTDR potřebuje pouze přístup k jednomu konci vlákna, aby provedl jeho měření. Body měřených dat jsou od sebe vzdáleny v rozmezí 0,5 až 16 metrů od sebe. Datové body se zobrazují na obrazovce jako čára se sklonem dolů zleva doprava, kde podél vodorovného měřítka je vzdálenost a ve svislé škále je úroveň signálu.

3.1 Aplikace OTDR

OTDR jsou široce používány ve všech fázích života vláknového systému, od konstrukce po údržbu až po lokalizaci chyb. OTDR se používá k:

- měření celkové ztráty
- kontrole a ověřování specifikací na kotouči s optickým vláknem
- měření ztráty tavných a mechanických spojů při instalaci, konstrukci a opravování
- změření odrazivosti nebo útlumu odrazu (Optical Return Loss) konektorů a mechanických spojů pro analogové nebo vysokorychlostní digitální systémy, kde se musí odrazy potlačovat
- vyhledávání přerušení a závady vláken
- lokalizaci událostí na trase – konektorů, svarů, mechanických spojů
- detekci postupné nebo náhlé degradace vláken porovnáním s dříve zdokumentovanými zkouškami vláken

3.2 Jak funguje OTDR

OTDR využívá účinky Rayleighova rozptylu a Fresnelova odrazu pro měření vlastností optického vlákna. Přístroj posílá puls světla do vlákna a měří dobu jeho šíření a intenzitu jeho odrazu od částic uvnitř vlákna a vytváří charakteristickou trasu nebo profil.

Trasa může být analyzována na místě, vytištěna okamžitě pro dokumentaci systému nebo uložena na disk počítače pro pozdější analýzu a srovnání. Vyškolený operátor může přesně lokalizovat konec vlákna, umístění a ztrátu spojů a celkovou ztrátu vlákna.

3.2.1 Rayleighův rozptyl

Rayleighův rozptyl je hlavním ztrátovým faktorem ve vláknech, jak už bylo zmíněno v jedné předchozí kapitole. Když se puls světla přeneseme vláknem, část pulsu naráží do mikroskopických částic ve skle a rozptýlí se ve všech směrech. Toto se nazývá Rayleighovým rozptylem. Část světelného výkonu se rozptýlí zpět v opačném směru impulsu a nazývá se zpětným rozptylem. Vzhledem k tomu, že dopanty v optickém vlákně jsou rovnoměrně rozloženy v celém vlákně v důsledku výrobního procesu, tento rozptylový efekt se vyskytuje po celé jeho délce.

Dlouhé vlnové délky světla vykazují méně rozptylu než kratší vlnové délky. Například světlo při 1550 nm ztrácí 0,2 až 0,3 dB na kilometr délky vlákna v důsledku Rayleighova rozptylu, zatímco světlo u 850 nm ztrácí od rozptylu 4,0 až 6,0 dB na kilometr. Vyšší hustota dopantů ve vláknech také vytvoří větší rozptyl a tím i vyšší míru útlumu na kilometr. OTDR může měřit úroveň zpětného rozptylu velmi přesně a používá ho k detekci malých změn v charakteristikách vlákna v jakémkoli bodě jeho délky. [8]

3.2.2 Fresnelův odraz

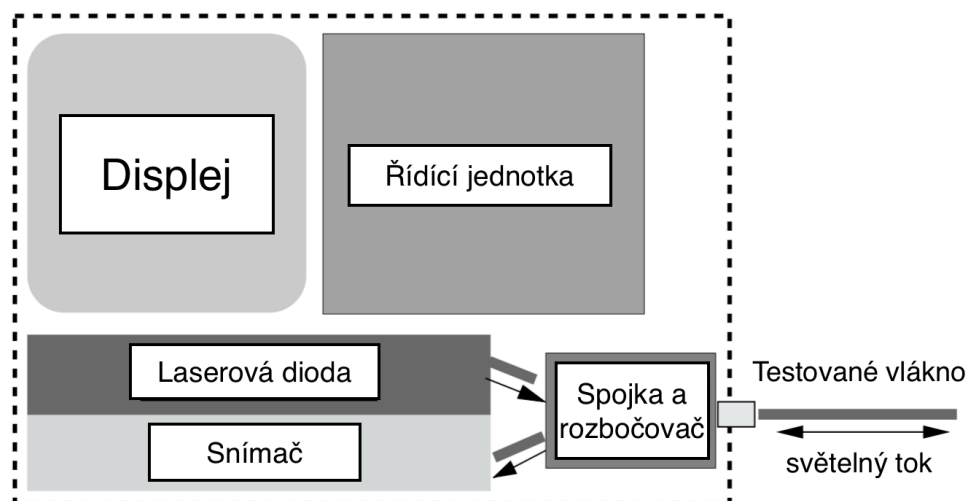
Kdykoli se světlo pohybující se v optickém vláknu setká s změnami indexu lomu (například vzduchem), část světelného výkonu se odráží zpátky k světelnému zdroji, zatímco zbytek pokračuje z materiálu. Tyto náhlé změny hustoty se vyskytují na koncích vláken, při přerušení vláken a někdy i na spojovacích bodech. Množství odrazu závisí na velikosti změny hustoty materiálu (popsané indexem refrakce (IOR) - větší IOR znamená vyšší hustotu) a úhlem, pod kterým světlo narazí na rozhraní mezi těmito dvěma materiály. Tento typ vráceného světla se nazývá Fresnelův odraz. OTDR používá jeho k přesnému určení umístění vláken. [8]

3.2.3 Úroveň zpětného rozptylu oproti ztrátě přenosu

Přestože OTDR měří pouze úroveň zpětného rozptylu, a ne úroveň hladiny přenášeného světla, existuje velmi úzká korelace mezi úrovní zpětného rozptylu a přenášenou úrovní impulzů: zpětný rozptyl je pevným procentem přenášeného světla. Poměr zpětně rozptýleného světla k vysílanému světlu je také známý jako "koeficient zpětného rozptylu". Pokud množství vysílaného světla klesne náhle z bodu A do bodu B (způsobené těsným ohybem, spojením mezi dvěma vlákny nebo vadou), pak se odpovídající zpětný odraz od bodu A do bodu B sníží o stejné množství. Stejně ztrátové faktory, které snižují úroveň přenášeného impulsu, se projeví jako snížená úroveň zpětného odrazu impulsu. [8]

3.3 Komponenty OTDR přístroje

OTDR se skládá z laserového zdroje světla, optického senzoru, spojky a rozbočovače, displeje a řídicí jednotky. [8]



Obrázek 3.3.1 Blok schéma přístroje OTDR [8]

3.3.1 Zdroj světla

Laserová dioda, která je řízena řídicí jednotkou, vysílá impulsy světla. Můžete vybrat dobu trvání impulsu (šířku impulsu) pro různé měřicí podmínky. Světlo prochází spojovacím rozdělovačem a do testovaného vlákna. Některé OTDR mají dva lasery, které umožňují testování vláken ve dvou různých vlnových délkách. Pouze jeden laser se používá současně. Můžete snadno přepínat mezi dvěma stisknutím tlačítka.

3.3.2 Spojka a rozbočovač

Spojka a rozbočovač je jedna komponenta, která má tři porty – vždy jeden pro zdroj, testované vlákno a snímač. Jedná se o zařízení, které umožňuje světlu cestovat pouze v určitých směrech: z laserového zdroje do zkoušeného vlákna a z testovaného vlákna do snímače. Nesmí se světlo posílat přímo ze zdroje do snímače. Tak pulsy ze zdroje vystupují do testovaného vlákna a zpětný odraz i Fresnelovy odrazy jsou směřovány ke snímači.

3.3.3 Optický snímač

Snímač je fotodetektor, který měří úroveň výkonu světla přicházejícího z testovaného vlákna. Převeďte optický výkon na odpovídající elektrickou úroveň – čím vyšší je optický výkon, tím vyšší je elektrická úroveň. Senzory OTDR jsou speciálně navrženy pro měření extrémně nízkých úrovní výkonu zpětně odraženého světla. Část senzoru obsahuje elektrický zesilovač, který dále zvyšuje úroveň elektrického signálu.

Výkon Fresnelova odrazu může být až 40 000krát vyšší než úroveň zpětného rozptylu a může být větší než měřidlo snímače, čímž se snímač přetěžuje a vede k přesycení. Elektrická výstupní úroveň je následně "oříznuta" na maximální výstupní úrovni snímače. Proto, kdy se zkušební impuls setká s koncem vlákna, ať už na mechanickém spojení nebo na konci vlákna, způsobí to, že senzor bude "zaslepen" tak dlouho, dokud se vyskytuje puls. Toto slepé období je známé jako "mrtvá zóna".

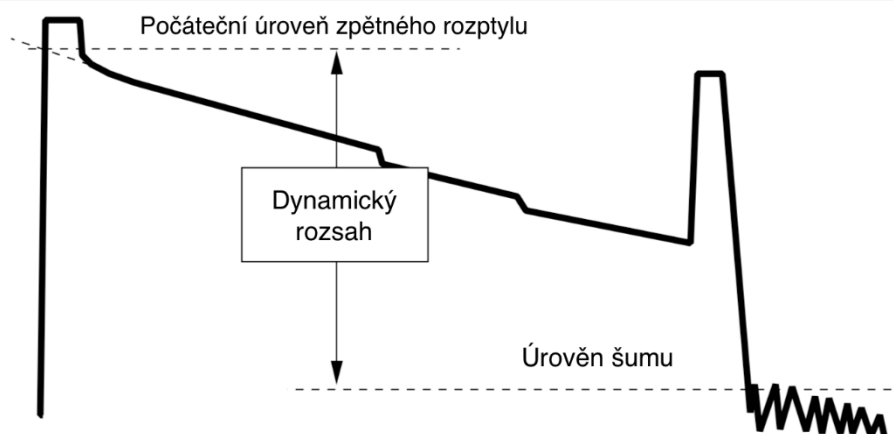
3.3.4 Řídicí jednotka

Řídicí jednotka je mozkiem OTDR. Ona řekne laseru, kdy posílat impulsy; získá úroveň výkonu ze snímače; vypočítá vzdálenost k bodům rozptylů a odrazů ve vlákně; ukládá jednotlivé datové body; a odešle informace do sekce zobrazení. [8]

3.4 Specifikace OTDR

3.4.1 Dynamický rozsah

Dynamický rozsah OTDR určuje, jak dlouhé vlákno může být změřeno. Uvádí se v jednotkách decibelu (dB) – větší hodnoty obecně znamenají schopnost měřit delší vzdálenost. Testovací impuls musí být dostatečně silný, aby se dostal na konec testovaného vlákna a snímač musí být dostatečně dobrý na měření nejslabších signálů zpětného rozptylu, které pocházejí z konce dlouhého vlákna. Kombinace celkového výkonu zdroje světla a citlivosti snímače určuje dynamický rozsah: velmi výkonný zdroj a citlivý senzor poskytnou velký dynamický rozsah, zatímco slabší zdroj a průměrný snímač přinese nízký dynamický rozsah.



Obrázek 3.4.1 Definice dynamického rozsahu [8]

Dynamický rozsah pro OTDR je určen rozdílem mezi úrovní zpětného rozptylu na blízkém konci vlákna a horní úrovní průměrné úrovně šumu na konci vlákna. Dostatečný dynamický rozsah vytvoří jasnou a hladkou indikaci úrovně zpětného rozptylu na vzdáleném konci vlákna. Nedostatečný dynamický rozsah způsobí na druhém konci "zašuměnou" trasu – datové body, které tvoří trasu, nebudou tvořit hladkou linii. Je obtížné rozlišovat detaily v zašuměné trase – změna datového bodu může být více než hodnota ztráty události. [8]

Zvýšení celkového výkonu zdroje lze dosáhnout dvěma způsoby: zvýšení absolutního množství vyzařovaného světla nebo prodloužení trvání impulsu (šířky impulsu). Existují limity pro každý z těchto postupů:

- Laserová dioda má přirozenou maximální výstupní úroveň, kterou nelze překročit. Také vyšší výstupní úroveň znamená kratší životnost součástky.

- Při zvýšení šířky impulzu jsou ovlivněny další výkonnostní charakteristiky, například mrtvá zóna: delší šířky impulzů produkují delší mrtvé zóny.

V některých okamžicích se elektrická hladina vysílaná snímačem ztratí v elektrickém šumu obvodů a řídicí jednotka nerozlišuje mezi šumem a měřením. Elektrické stínění v OTDR je rozhodující pro snížení nepříznivých účinků okolního elektrického šumu v přístroji. Navíc, když snímač pracuje s maximální citlivostí, sníží se jeho přesnost. Chcete-li zvýšit přesnost při nižších úrovních světla, OTDR použije zprůměrování pro kombinování měření z tisíců impulzů. Použití průměrování zlepšit citlivost snímače a může proto zlepšit dynamický rozsah OTDR. [8]

3.4.2 Mrtvá zóna

Mrtvá zóna označuje část optické trase po Fresnelovym odrazu, ve které vysoká úroveň odrazu pokrývá úroveň zpětného rozptylu.

Senzor OTDR je navržen tak, aby měřil nízkou úroveň zpětného odrazu od vlákna a může být "zaslepen", když jej zasáhne příliš velká úroveň Fresnelova odrazu. Toto slepé období trvá minimálně tak dlouho, dokud trvá impuls. Když snímač obdrží od odrazu vysokou úroveň, bude nasycen a nebude schopen měřit nižší úroveň zpětného rozptylu, které mohou následovat bezprostředně po reflexní události. Mrtvá zóna zahrnuje dobu odrazu plus dobu zotavení pro přizpůsobení snímače na maximální citlivost. Vysoce kvalitní senzory se zotavují rychleji než levnější a tím dosahují kratších mrtvých zón. Období slepoty a zotavení k citlivosti zpětného rozptylu je mrtvá zóna.

Vzhledem k tomu, že mrtvá zóna přímo souvisí s šířkou impulzu, může být zmenšena snížením šířky impulsu. Snížení šířky impulsu však snižuje dynamický rozsah. Navrhování těchto parametrů OTDR musí být kompromis mezi těmito dvěma charakteristikami. Stejně tak uživatel OTDR musí zvolit šířku impulsu v závislosti na tom, zda je důležitější vidět události s těsným odstupem nebo vidět dále ve vlákně. Nejlepší konstrukce poskytuje velký dynamický rozsah s krátkou šířkou impulzu.

Mrtvé zóny se vyskytují v trasách, kde se vyskytuje konektor nebo při některých závadách (jako jsou praskliny) ve vlákně. V každém vlákně je vždy alespoň jedna mrtvá zóna: kde je připojena k OTDR. To znamená, že existuje prostor začínající na začátku zkoušeného vlákna, ve kterém není možné provést měření. Tento prostor je přímo spojen s šířkou impulzu zdroje. Typické šířky impulzů v OTDR se pohybují od 3 ns až do 20 000 ns. Ve vzdálenostech to znamená od 0.6 metru až po více než 3 kilometry. Pokud potřebujete změřit část vlákna, která je blízko k blízkému konci, nebo pokud potřebujete měřit dvě spojky, které jsou blízko sebe, budete muset vybrat nejkratší možnou šířku impulzu.

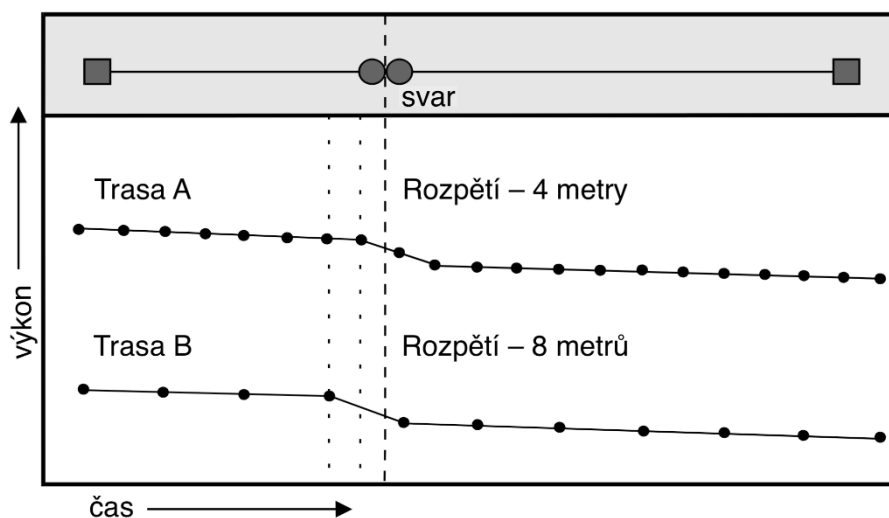
Mrtvá zóna je charakterizována jako minimální vzdálenost, na které lze za odraznou poruchou indikovat další odraznou poruchu (Event dead zone) nebo minimální vzdálenost mezi dvěma odraznými poruchami, kdy lze ještě měřit jejich individuální útlum (Loss dead zone). [8]

3.4.3 Rozlišení

Existují dvě specifikace rozlišení: ztrátová a prostorová.

Ztrátové rozlišení je schopnost snímače rozlišovat mezi úrovněmi výkonu, které přijímá. Většina senzorů OTDR může zobrazovat až 1/100 nebo 1/1000 decibelových rozdílů v úrovni zpětného rozptylu. Když se laserový puls dostane dál do vlákna, odpovídající signál zpětného rozptylu se zpomalí a rozdíl mezi úrovněmi zpětného rozptylu ze dvou sousedních měřicích bodů, nebo ze dvou měření stejného bodu, se zvětší. Takže datové body, které tvoří trasu, vytvářejí relativně více svislé oddělení dále podél vlákna než směrem k OTDR k začátku. Tím vzniká zašumění trasa směrem ke konci a vyžaduje určité průměrování na mnoha měřeních, aby se vyrovnala. Šum na trase může zabránit detekci nebo měření nízko ztrátových spojek a malých ztrát.

Prostorové rozlišení je to, jak blízké jsou jednotlivé datové body, které tvoří trasu, rozloženy v čase (a odpovídající vzdálenosti). Vysoké rozlišení je 0,5 metru a nízké rozlišení je 4 až 16 metrů.



Obrázek 3.4.2 Prostorové rozlišení [9]

Řídící jednotka OTDR odebírá informace ze snímače v pravidelných časových intervalech, aby získala datové body. Pokud čte velmi často odečty ze snímače, pak budou datové body umístěny blízko sebe a OTDR dokáže rozpoznat události ve vláknech, které jsou blízko od sebe.

Prostorové rozlišení je v určitých oblastech sníženo mrtvou zónou. Správné měření útlumu vláken se provádí pouze v bodech na trase, kde klíčovým účinkem útlumu je zpětný rozptyl (nedochází ani k Fresnelovému odrazu ani k ztrátě způsobenou ohybem nebo spojením). Datové body, které byly pořízeny v době, kdy byl snímač v saturaci, nemohou být použity k měření ztrát, protože snímač v té době nedokázal provést přesné měření úrovně přijatého signálu. Proto je prostorové rozlišení kolem odrazu horší, protože jediné využitelné body se vyskytují před a po oblasti mrtvé zóny kolem spoje. [8]

3.4.4 Vlnová délka

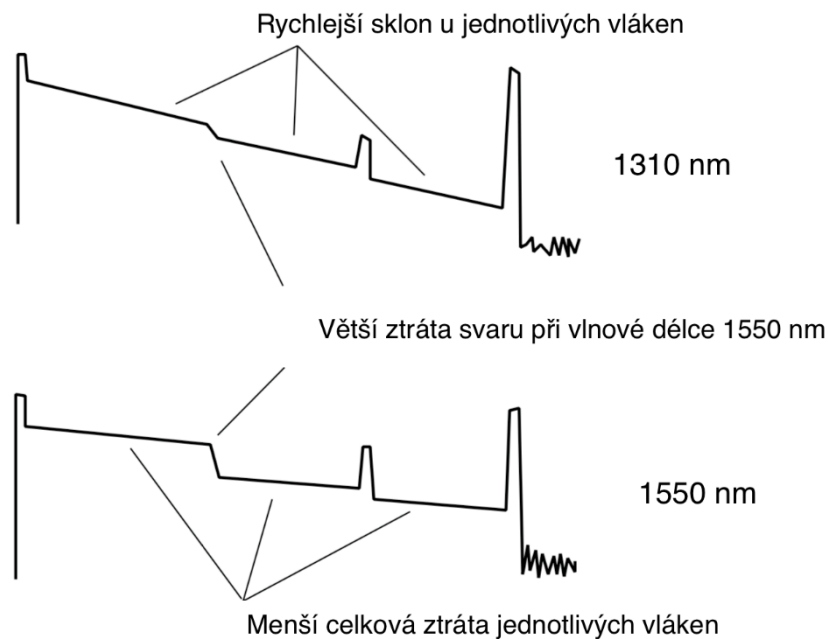
Optické vlákno se běžně testuje pouze ve dvou pásmech vlnových délek: 1310 nm a 1550 nm, zatímco pro telekomunikační účely se využívají všechna okna O, E, S, C a L, viz tabulka v kapitole 1.3.

Měřicí vlnová délka OTDR je vyjádřena jako střední vlnová. Toto znamená, že se vlákem šíří určitý rozsah vlnových délek kolem centrální vlnové délky zdroje. Například laser s centrální vlnovou délkou 1300nm a šířkou čary 20nm bude obsahovat vlnové délky od 1290 nm do 1310 nm. Lasery

s menším rozsahem vlnových délek jsou dražší než ty, které mají větší rozsahy. Centrální vlnové délky jsou také normálně specifikovány v určité toleranci.

Útlum vlákna závisí na vlnové délce. Je důležité testovat vlákno přibližně na stejné vlnové délce, na které bude fungovat. Optické vysílače jsou zpravidla specifikovány v pásmu své vlnové délky.

Ztráta závislá na vlnové délce může být zjištěna při porovnání dvou tras stejného vlákna, které byly změřené při dvou různých vlnových délkách. Delší z obou vlnových délek bude ukazovat menší celkovou ztrátu než kratší vlnová délka, protože vykazuje nižší ztrátu rozptylu. Toto se projevuje jako menší sklon přímky, která ukazuje na jednotlivé vlákno. Nicméně, delší vlnová délka má tendenci k snadnějšímu úniku z vlákna při jeho ohýbání. Porovnáním tras získaných u obou vlnových délek můžete snadno určit, zda je vlákno namáháno v důsledku ohýbání. Následující obrázek ukazuje rozdíl, který můžete vidět ve dvou vlnových délkách. [8]



Obrázek 3.4.3 Vliv vlnové délky na měření [8]

3.5 Parametry měření

3.5.1 Rozsah vzdálenosti

Rozsah vzdálenosti je také známý jako rozsah zobrazení. Omezuje délku vlákna, která se zobrazí na obrazovce. Rozsah vzdálenosti musí být přibližně o 25 % delší než vlákno, které se má testovat. Rozsah vzdálenosti ovlivňuje přesnost testu a čas potřebný k provedení testu.

Vzhledem k tomu, že OTDR musí vyslat jeden zkušební impuls a počkat, aby se celý zpětný rozptyl od impulsu vrátil k detektoru předtím, než se vyšle další impuls, rozsah vzdálenosti určuje rychlost vysílání testovacích impulsů. Toto je známé jako Pulse Repetition Rate (PRR).

3.5.2 Rozlišení

Rozlišení měření, vzdálenost mezi datovými body, lze vybrat v některých konfiguracích OTDR. Vyšší rozlišení (bližší datové body) poskytnou více podrobností o vlákne, ale test bude obvykle trvat déle, než je ten, který se provádí při nižším rozlišení. Nejlepší rozlišení, které nabízí většina OTDR, bude 0,2 metru mezi datovými body. Běžně se používá rozlišení 8 metrů. Vyšší rozlišení může poskytnout přesnější umístění události. [8]

3.5.3 Šířka impulsu

Jedním z klíčových parametrů pro dobré výsledky měření je šířka světelného impulsu emitovaného do vlákna. Určuje rozlišení vzdálenosti, což je velmi důležité pro srozumitelné oddělení událostí.

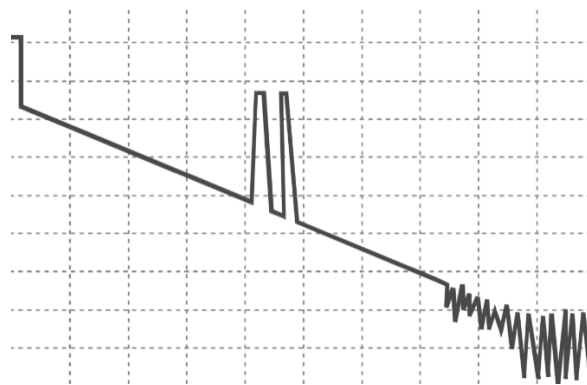
Čím kratší je puls, tím lepší rozlišení vzdálenosti. Krátký puls však znamená, že dynamický rozsah je menší a trasa může být zašuměná.

Pokud chcete měřit dlouhé vzdálenosti, potřebujete vysoký dynamický rozsah, takže puls by měl být dlouhý. Avšak delší impuls znamená nižší rozlišení.

V závislosti na konkrétním účelu měření potřebujete kompromis mezi vysokým rozlišením a vysokým dynamickým rozsahem. Zvolte tak krátkou šířku impulsu, chcete-li měřit ztrátu spojek nebo svarů, které jsou blízko sebe. Jinak vyberte dlouhou šířku impulsu, pokud chcete zjistit události bližší ke konci vlákna.

- Krátká šířka impulsu

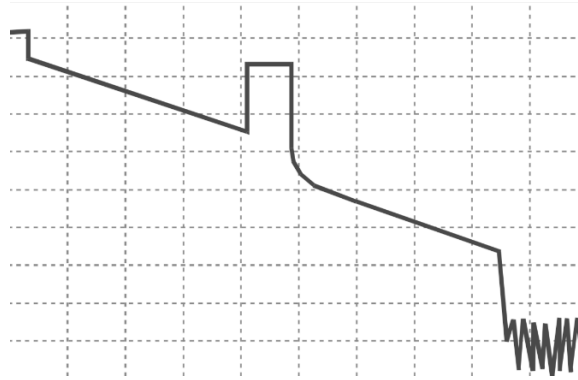
Vysoké rozlišení, ale více šumu. Snižte šířku impulsu, abyste zkrátili mrtvé zóny a výrazně oddělili události. [6]



Obrázek 3.5.1 Měření s krátkou šířkou impulsu [6]

- Dlouhá šířka impulsu

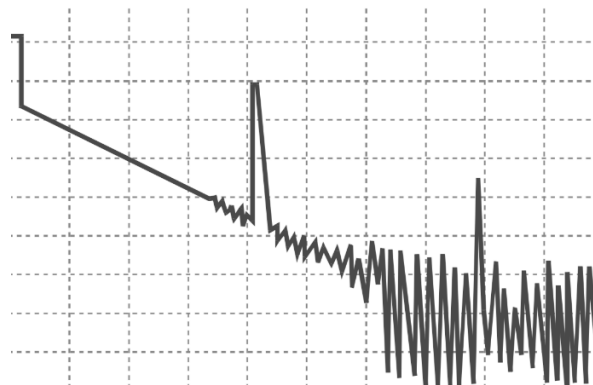
Vysoký dynamický rozsah, ale dlouhé mrtvé zóny. Zvyšte šířku impulsu, abyste snížili šum a zjistili události daleko od začátku vlákna. [6]



Obrázek 3.5.2 Měření s dlouhou šířkou impulsu [6]

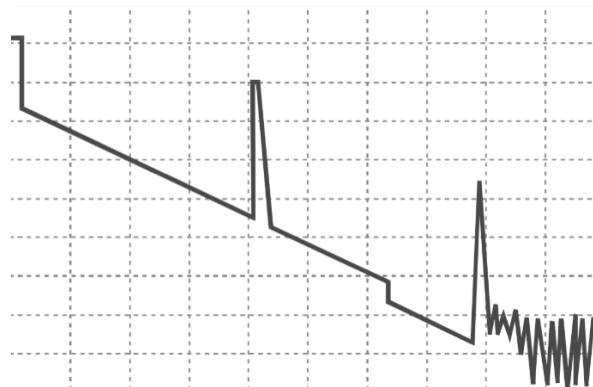
3.5.4 Průměrování

Datové body získané z jediného měřicího pulsu se mohou lišit v jedné úrovni. Pak výsledná trasa je více zašuměná. Aby OTDR získal spolehlivější a hladší trasu, vysílá každou vteřinu tisíce měřicích impulsů. Každý impuls poskytuje sadu datových bodů, které se pak zprůměrují společně s následnými sadami bodů, aby se zlepšil poměr signálu k šumu (SNR) trasy. [8]



Obrázek 3.5.3 Krátká doba průměrování [6]

Delší doba zprůměrování zvyšuje dynamický rozsah a snižuje úroveň šumu.

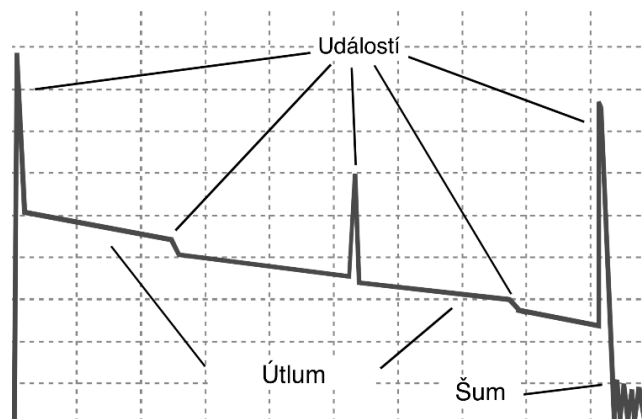


Obrázek 3.5.4 Dlouhá doba průměrování [6]

3.6 Interpretace trasy optického spojení

OTDR zobrazuje výsledek měření graficky na obrazovce. Svislá osa je osa výkonu a vodorovná osa je osa vzdálenosti. Událost na vlákne je vše, co způsobuje ztrátu nebo odrazy jiné, než normální

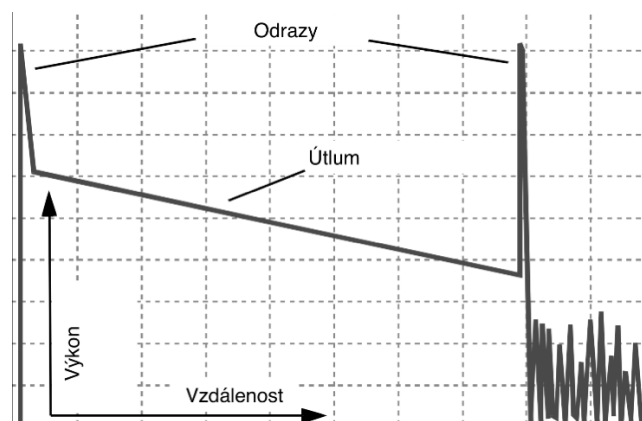
rozptyl samotného materiálu vlákna. To se týká všech druhů připojení, stejně jako poškození, jako jsou ohyby, praskliny nebo zlomy. [6]



Obrázek 3.6.1 Příklad optické trasy z OTDR [6]

3.6.1 Jednotlivé vlákno

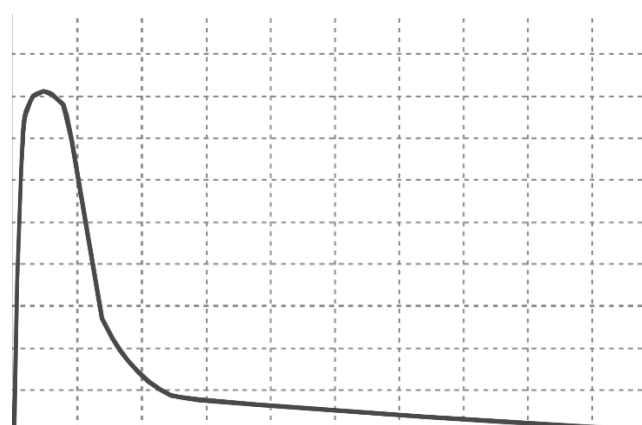
Samotné vlákno poskytuje následující úsek trasy. Vidíte mírně klesající úroveň výkonu (útlum) a Fresnelove odrazy na začátku a konci vlákna.



Obrázek 3.6.2 Jednotlivé vlákno [6]

3.6.2 Začátek vlákna

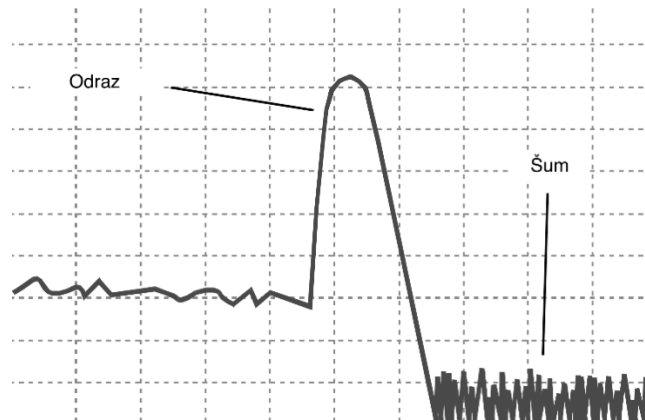
Pokud používáte normální přímý konektor, začátek vlákna vždy vykazuje Fresnelův odraz na začátku vlákna.



Obrázek 3.6.3 Začátek vlákna [6]

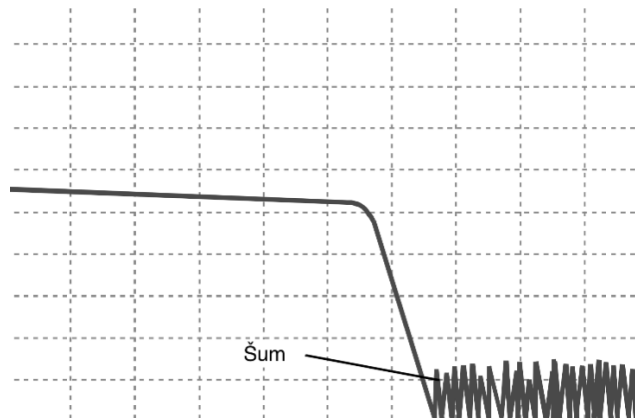
3.6.3 Ukončení nebo přerušení vlákna

Ve většině případů vidíte na konci vlákna Fresnelův odraz předtím, než trasa poklesne na úroveň šumu.



Obrázek 3.6.4 Konec vlákna [6]

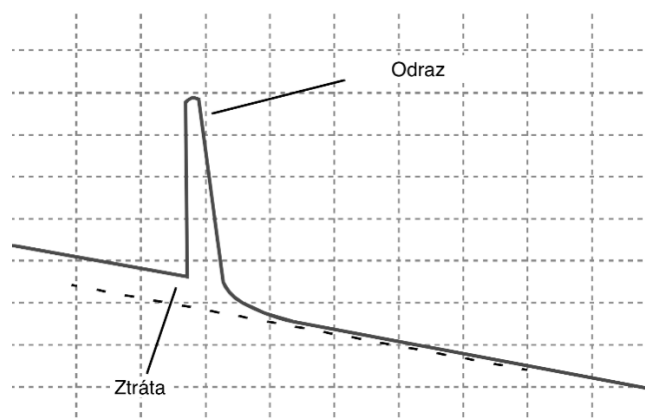
Přerušení jsou nereflexní události. Trasa klesá na úroveň šumu.



Obrázek 3.6.5 Přerušení vlákno [6]

3.6.4 Konektor nebo mechanický spoj

Konektory uvnitř propojení způsobují odraz i ztrátu.

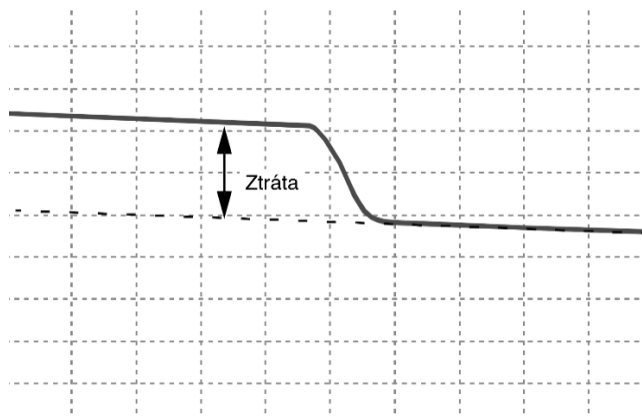


Obrázek 3.6.6 Reflexní událost [6]

Mechanický spoj má podobné chování jako konektor. Obvykle má nižší hodnoty ztrát a odrazu.

3.6.5 Svary a ohyby

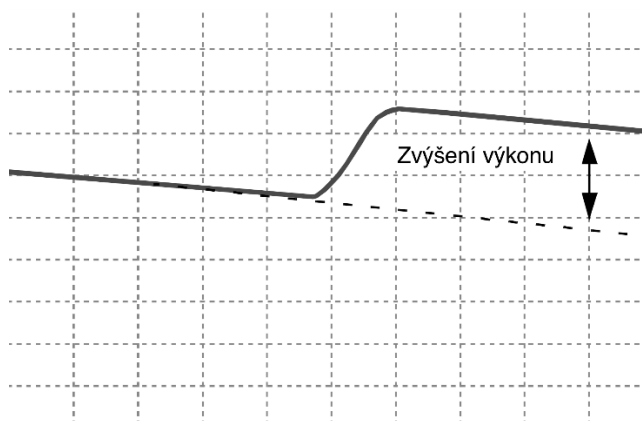
Svar a hyby jsou nereflexní událostí, způsobují pouze ztráty. Moderní svary jsou tak dobré, mohou být téměř neviditelné. Chcete-li rozlišit ohyby od svarů, podívejte se na záznamy o instalaci a údržbě. V případě ohybů je ztráta na neznámém místě. Svary jsou zdokumentované a mají známé rozmístění.



Obrázek 3.6.7 Nereflexní ztrátová událost [6]

Pokud měříte při vyšší vlnové délce, ohyby vykazují vyšší ztráty. Proto je doporučeno provádět měření s více vlnovými délkami, abyste mohli rozlišovat mezi ohyby a svary.

V případě špatného spoje může dojít k určitému odrazu. Některé svary se objevují jako ziskové, jako kdyby se úroveň výkonu zvýšila. Je to způsobeno různými koeficienty zpětného rozptylu vlákna před a po spoji. [6]

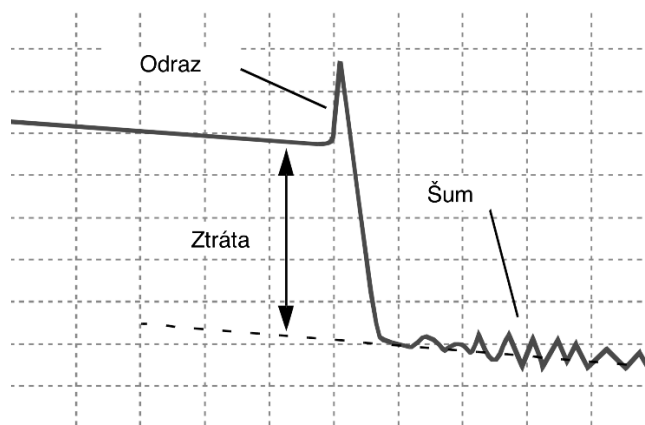


Obrázek 3.6.8 Ziskový svar [6]

Pokud vidíte ziskový svar v měření provedeném jedním směrem, změřte od druhého konce vlákna. V tomto okamžiku uvidíte ztrátu vlákna na tomto místě. Rozdíl mezi ziskem a ztrátou ukazuje skutečnou ztrátu v tomto okamžiku. Proto je doporučeno provádět měření vláken ve dvou směrech.

3.6.6 Prasknutí

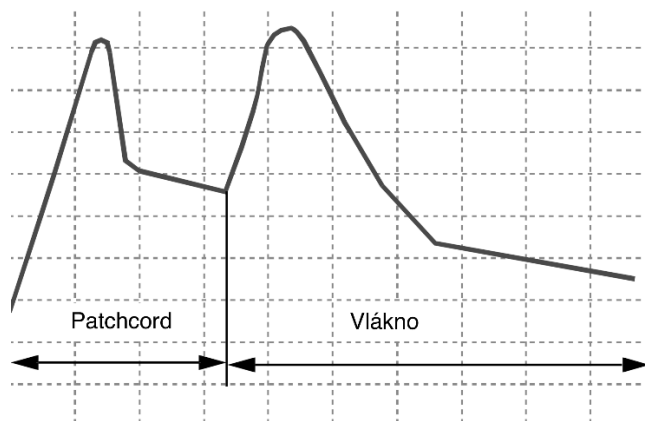
Prasklina označuje částečně poškozené vlákno, které způsobuje odraz a ztrátu. Odrazivost a ztráta se mohou změnit po přemístění kabelu.



Obrázek 3.6.9 Prasknutý kabel [6]

3.6.7 Patchcord

Patchcord se používá k připojení OTDR k testovanému vláknu. Počáteční reflexe nepokrývá začátek vlákna. To umožňuje lepší kontrolu prvního konektoru.



Obrázek 3.6.10 Patchcord [6]

3.7 Výstupní soubor měření

Jednou z výhod OTDR je, že výsledky se ukládají elektronicky, což můžete využít při další analýze trasy. Informace se ukládají do binárního datového formátu „SOR“. Obsah souboru není veřejně dostupný. Existují dva vydání formátu:

- Univerzální formát souboru Bellcore – 1. vydání: GR-196;
- Univerzální formát souboru Telcordia – 2. vydání: SR-4731.

Datový formát druhého vydání nebyl technicky změněn, ale upraven a trochu rozšířen, aby se zvýšila jeho užitečnost.

Struktura „SOR“ souboru byla získána reverzním inženýrstvím existujícího souboru autorem blogu <http://morethanfootnotes.blogspot.com> Hsin-Yu Sidney Li.

Soubory jsou binární, všechny hodnoty jsou zakódovány jako „signed“ nebo „unsigned integers“, „floating-point“ čísla reprezentované jako celá čísla násobené nějakým faktorem, typicky nějakou mocninou 10, aby se stala skutečnou hodnotou. Čísla s pohyblivou čárkou se nepoužívají.

V obou verzích jsou data uspořádána v blocích; některé jsou vyžadovány, některé jsou volitelné:

- Blok obecných parametrů: GenParams
- Blok parametrů dodavatele: SupParams
- Blok pevných parametrů: FxdParams
- Blok klíčových událostí: KeyEvents
- Blok parametrových odkazů: LnkParams
- Blok datových bodů: DataPts
- Blok kontrolního součtu: Cksum

Přítomnost výše uvedených bloku nebo jiných bloku je závislá na dodavateli zařízení a programového zabezpečení. V různých případech se mohou objevovat nové bloky nebo chybět uvedené. [7]

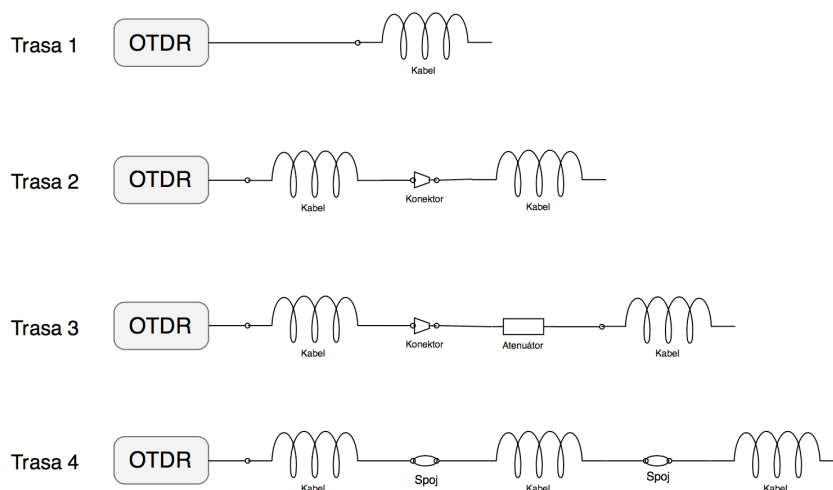
Každý blok má v sobě uloženou určitou informaci o provedeném měření. Po rešerši nalezených materiálů, bylo zjištěno, že informace o datových bodech, které nesou informace pro vykreslení trasy jsou uloženy v Bloku datových bodů.

Pro export datových bodů jsem využil volně dostupný software Freeware SOR-2-X format converters, který je dostupný na <http://gazlan.ru/sor2x/sor2x.html>.

4 Praktická část

4.1 Provedené měření

Pomocí přístroje OTDR JDSU MTS-6000a námi byly naměřené čtyři typy tras.



Obrázek 4.1.1 Typy změřených tras

Tyto trasy byli námi změřené s následujícími parametry, které uvedeny v tabulce:

Číslo trasy	Vlnová délka [nm]	Šířka pulsu [ns]	Rozsah [km]	Rozlišení	Čas průměrování [s]
1	1310	10	10	High Resolution	30
2	1550	10	5	High Resolution	60
2	1550	300	10	High Resolution	30
3	1310	10	5	High Resolution	30
3	1310	30	5	High Resolution	30
3	1310	10	5	High Dynamic	60
3	1310	100	5	High Dynamic	30

Tabulka 4.1.1 Měřicí parametry přístroje OTDR pro trasy 1-3

Délka čtvrté trasy se rovná přibližně 46 km a s intervalem skoro 2 km jsou nainstalovány svary a mechanické spoje různé kvality. Poslední trasa byla změřena s následujícími parametry, které byly nastaveny v přístroji OTDR.

Číslo trasy	Vlnová délka [nm]	Šířka pulsu [μ s]	Rozsah [km]	Rozlišení	Čas průměrování [s]
4	1310	1	80	High Dynamic	30
	1310	10	80	40 m	30
	1550	0,3	80	High Resolution	60
	1550	1	80	High Resolution	60
	1550	3	80	High Resolution	60

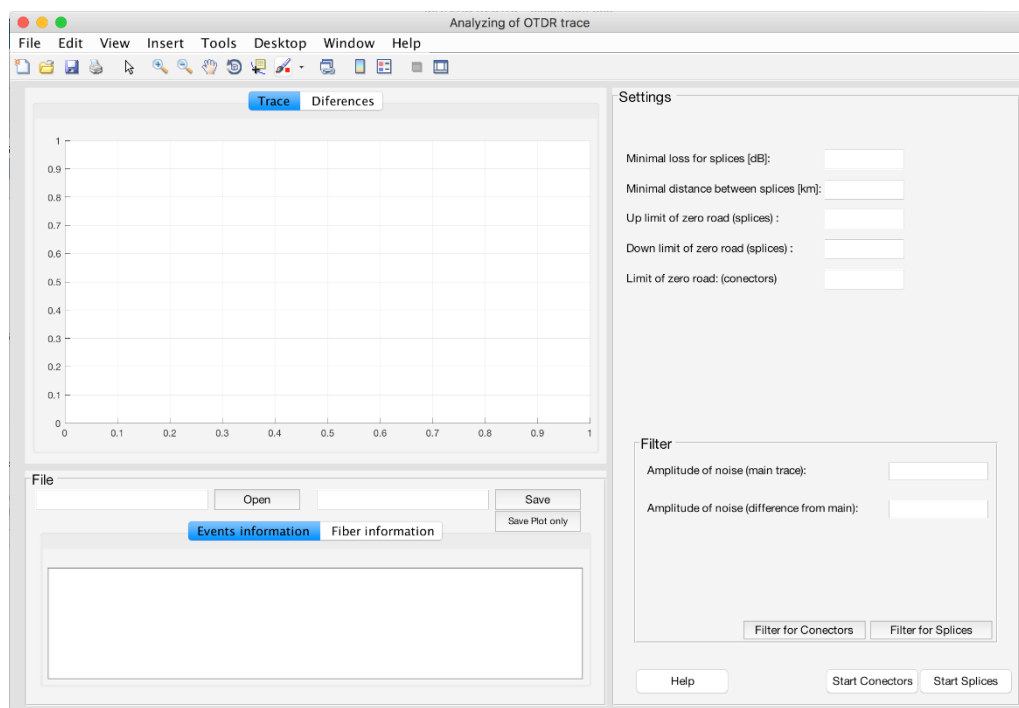
Tabulka 4.1.2 Měřicí parametry Přístroje OTDR pro trasu 4

4.2 Aplikace pro detekci a analýzu událostí z OTDR měření

Aplikace včetně grafického rozhraní byla vytvořena prostřednictvím programu Matlab verze R2017a. Soubor *BakGUI.m* spouští aplikace. Grafické rozhraní podmíněně rozděleno na tři hlavní panely:

- Grafický panel
- Souborový panel
- Panel Nastavení

Každý panel vykonává svou vlastní funkci. Zapotřebí uvést, že další důležitý panel, který se jmenuje Filtr, je součástí panelu Nastavení. Další obrázek ukazuje, jak vypadá grafické rozhraní aplikace.



Obrázek 4.2.1 Úvodní grafické rozhraní aplikace

Postup při používání aplikace se skládá ze třech základních kroků:

1. Nahrát.
2. Odfiltrovat.
3. Detekovat.
4. Uložit.

Těmito principiálními kroky se uživatel řídí během použití programu. A právě ony pomohou pochopit, jak daný program funguje.

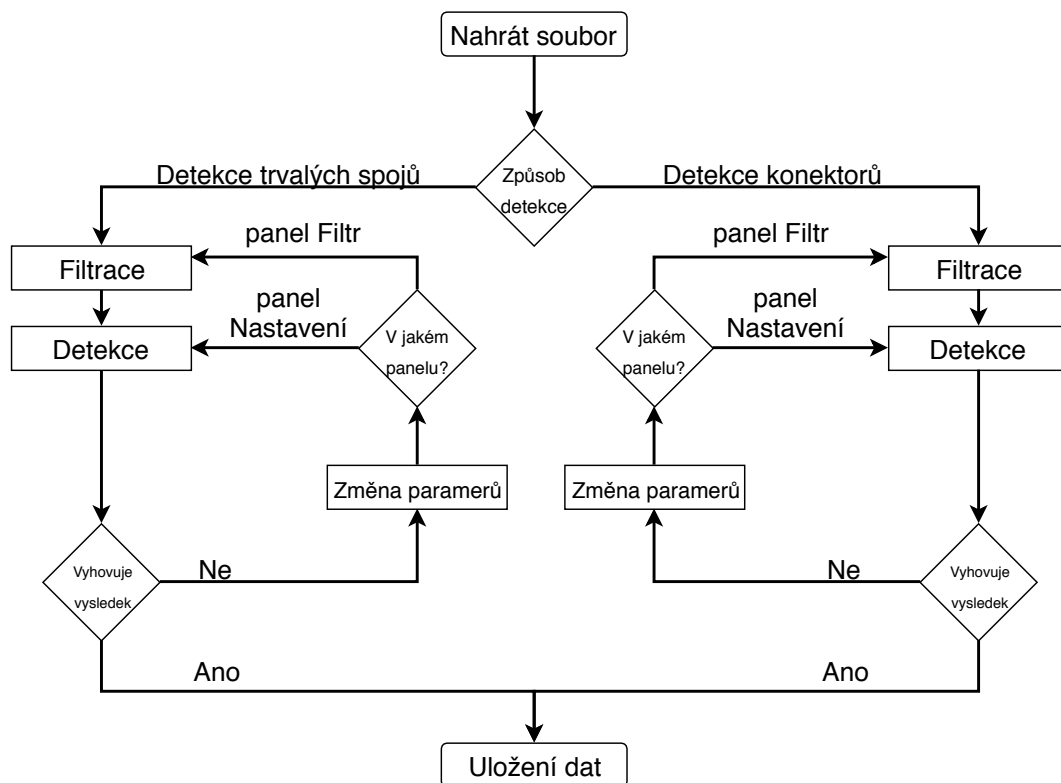
Aplikace nabízí dva pracovní způsoby detekce:

- Detekce konektorů
- Detekce trvalých spojů

Rozdíl mezi nimi je, že způsob Detekce konektorů by se musel používat pro trasy s vyšší hodnotou šumu a události způsobují velké ztráty. Když způsob Detekce trvalých spojů je zaměřen

na trasy s nízkou hodnotou šumu, mají flexibilnější funkcionalitu. Da se použít pro detekce trvalých spojů a zároveň konektorů, ale nezvládne hodně zašuměné trasy.

Program obsahuje řadu editovacích polí, kde uživatel zadává hodnoty parametrů, které ovlivňují kvalitu a přesnost detekce událostí. Musí se poznamenat, že uživatel je nepovinen zadávat hodnoty parametrů do prázdných polí při prvním startu aplikace. Program automaticky vypočte hodnoty, které bude potřebovat pro vykonání svých úkolů. Tyto hodnoty ne vždycky jsou nejvhodnější a jenom pomáhají představit si použitelný rozsah hodnot. Jestli uživatel zadá své vlastní hodnoty a chce je aplikovat, musí pokračovat z kroku, kde je zadal. Například změni-li se hodnota parametru v panelu Filtr, musí se znovu provést filtrace a pak detekce. Změni-li se hodnota parametru v panelu Nastavení, stačí stisknout tlačítko spouštějící detekci. Blok schéma ukázaná na dalším obrázku pomůže porozumět algoritmu činnosti aplikace:



Obrázek 4.2.2 Vývojový diagram

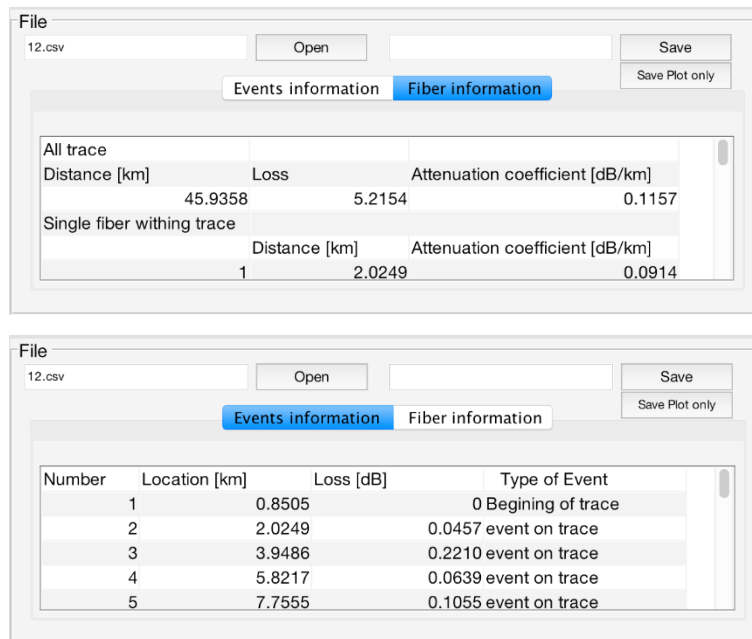
4.2.1 Souborový panel

Nejprve uživatel interaguje s tímto panelem. Hlavní funkce, kterou plní daný panel, je načtení a ukládání dat. Aby program načel potřebná data, musíte stisknout tlačítko Open, které spustí soubor *openFile.m*.

Vstupní soubor musí být datového formátu CSV. Výstupem z OTDR přístroje slouží soubor s datovým formátem SOR. Pro konvertování dat z formátu SOR ve formát CSV byl použit volně dostupný software *Freeware SOR-2-X format converters*. Vstupující data jsou body vzdálenosti

v kilometrech a odpovídající úrovně výkonu v decibelech v těchto bodech. Pro výsledný formát CSV Matlab obsahuje předdefinované nástroje a funkce pro jeho čtení.

Po provedení všech potřebných operací ve dvou přepínacích štítcích se objeví informační tabulky. První *Events information* tabulka obsahuje informace o událostech a zejména údaje o lokaci a ztrátě událostí. Druhá *Fiber information* tabulka zahrnují informace o jednotlivých vláknech podél trasy: jejich délku a měrný útlum.



Obrázek 4.2.3 Souborový panel

Následující možnost, kterou nabízí tento panel je ukládání informace z těchto tabulek do formátu XLSX a grafu naměřených hodnot ze štítku *Trace* v Grafickém panelu formou PNG souboru. Toho uživatel může dosáhnout stisknutím tlačítka *Save*, které zpustí soubor *SaveFile.m*. Jestliže uživatel chce uložit jenom graf, pak stiskne tlačítko *SavePlotonly*, které spustí soubor *SaveFilePlot.m*.

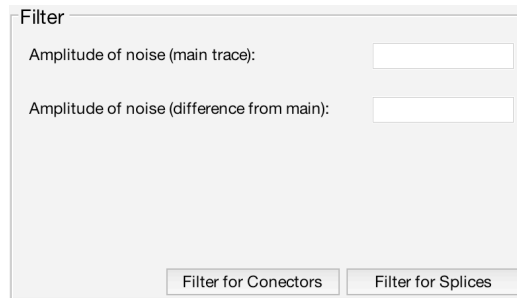
4.2.2 Grafický panel

Tato část aplikace slouží k vykreslení dat, která jsou výsledkem činnosti programu. Panel obsahují dva přepínací štítky – *Trace* a *Diferences*. Štítek *Trace* zobrazuje hlavní graf – měřenou trasu s detekovanými událostmi, kterou se pak dá uložit do PNG souboru. Druhý štítek slouží, jako pomocný nástroj pro zlepšení detekce událostí na trase. Hodnoty na vodorovné ose odpovídají hodnotám vzdálenosti měřené trasy. Na svislé ose jsou rozdíly sousedních hodnot úrovně výkonu měřené trasy.

4.2.3 Panel Filtr

V panelu je nahrán nutný soubor ve formátu CSV a uživatel rozhodne, který způsob detekce chce použít. Stačí stisknout tlačítko *Filter for Connectors* nebo *Filter for Splices*. První tlačítko odpovídá způsobu Detekce konektorů, druhé tlačítko způsobu Detekce trvalých spojů. Tlačítko *Filter for Connectors* spustí soubor pod názvem *filterC.m*, který zavolá soubor *Muj_Filter.m*. Tlačítko *Filter for Splices* spustí *filterS.m* a ten spustí *Muj_filter1.m*. Nezávisle na tom, jestli byl spuštěn *filterC.m* nebo

filterS.m, se vždycky zavolá soubor *Odsekani_trasy.m*. Jeho funkce je odstranit šumu, který zůstává po konci trasy.

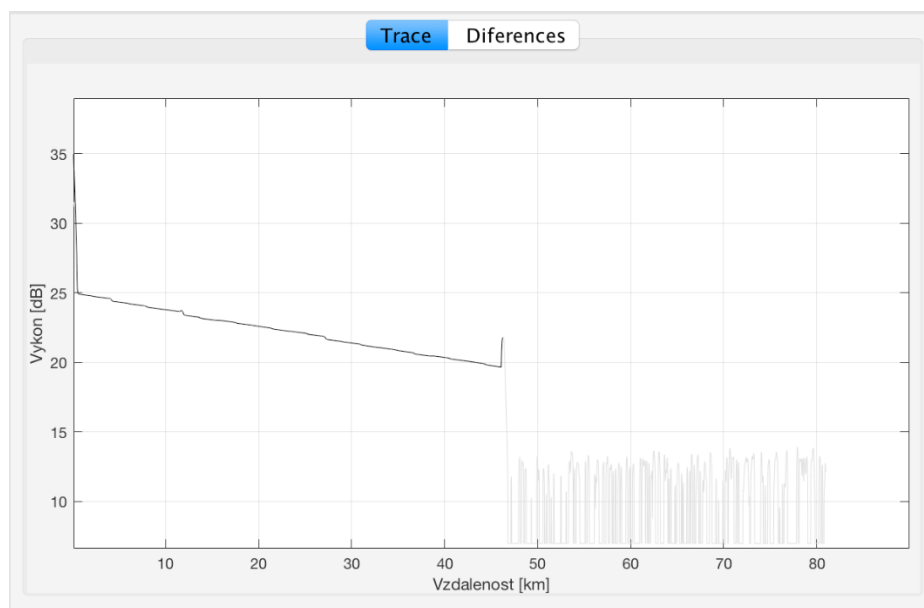


Obrázek 4.2.4 Panel Filtr

V tomto panelu jsou dva editovací pole, kam uživatel může zadávat svoje vlastní hodnoty. Do prvního pole *Amplitude of noise (main Trace)* se zadává hodnota maximální amplitudy šumu hlavní trasy a do druhého *Amplitude of noise (difference from main)* hodnota maximální amplitudy šumu pomocného grafu *Diferences*. Tyto hodnoty jsou klíčové pro proces filtrace. Při použití tlačítka *Filter for Connectors* se filtrování pomocného grafu nepoužívá.

Filtr realizován funkcí *Muj_Filter.m* a *Muj_Filter1.m*. Princip je založen na prokládání polynomem 1. stupně po úsecích. Vstupy funkce jsou datové body grafu a hodnota amplitudy šumu. Funkce *Muj_Filter.m* se liší od funkce *Muj_Filter1.m*. V první funkci úseky, přes které se prokládá polynom, leží za sebou a neprolínají se. Ve druhé funkci každý nový úsek začíná druhým bodem předchozího úseku. Úseky se definují postupně od začátku ke konci trasy. Hodnota amplitudy šumu rozhoduje, jak dlouhý bude každý úsek. Rozhodování funguje tak, že první zkoumaný bod se považuje za vztažný bod. Jestli absolutní hodnota rozdílu vztažného a zkoumaného bodu menší, než amplituda šumu, pak zkoumaný bod patří k úseku. Když podmínka není splněna, vymezený úsek se proloží polynomem 1. stupně a program začne definovat další úsek. Prokládání je realizováno standardními funkcemi *polyfit()* a *polyval()*, které patří knihovně Matlab.

Odfiltrovaná a oříznutá trasa se vykreslí do grafické části, zobrazí se jak původní, tak i aktualizovaná trasa. Uživatel může zkontrolovat, jestli proces proběhnul dobře. V případě, že výsledek nevyhovuje, uživatel může zadat nové hodnoty parametrů a zopakovat proces.

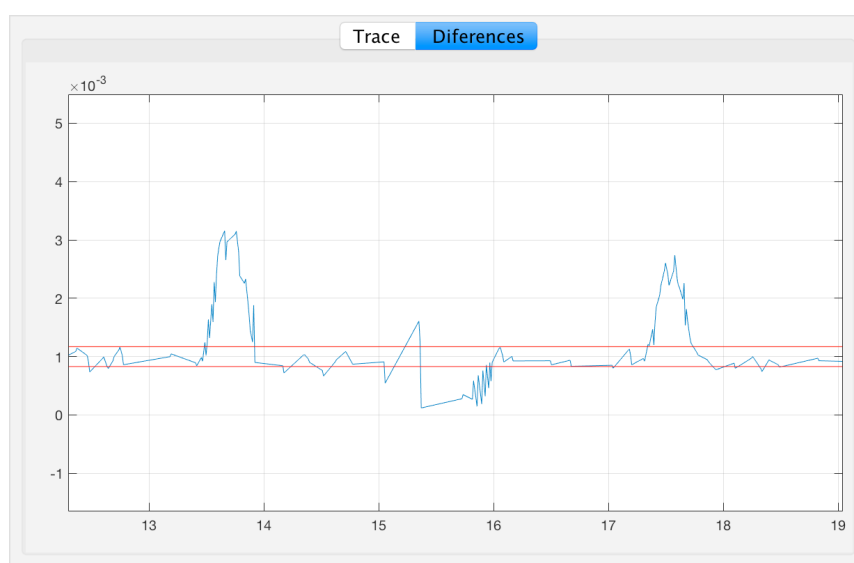


Obrázek 4.2.5 Původní a odfiltrovaná trasa

4.2.4 Panel Nastavení

Největší funkcionalitu má panel Nastavení. Za prvé jeho součástí je důležitý panel Filtr. Za druhé v něm se nachází všechny editovací pole (včetně panelu Filtr), kam uživatel zadává hodnoty parametrů detekce.

V následujícím textu budou popsány editovací pole a tlačítka. Do pole *Min Loss for events* se může zadávat minimální hodnota ztráty události, která se vyskytne podél trasy. Hodnota se musí uvádět v decibelech. Do pole *Min Distance between events* se může zadávat minimální hodnota vzdálenosti mezi událostmi. Hodnota se musí uvádět v kilometrech. Další dvě pole *Up limit of zero road* a *Down limit of zero road* slouží pro pomocný graf *Diferences*. Tyto dvě hodnoty určují pozice dvou červených vodorovných čar na následujícím obrázku:



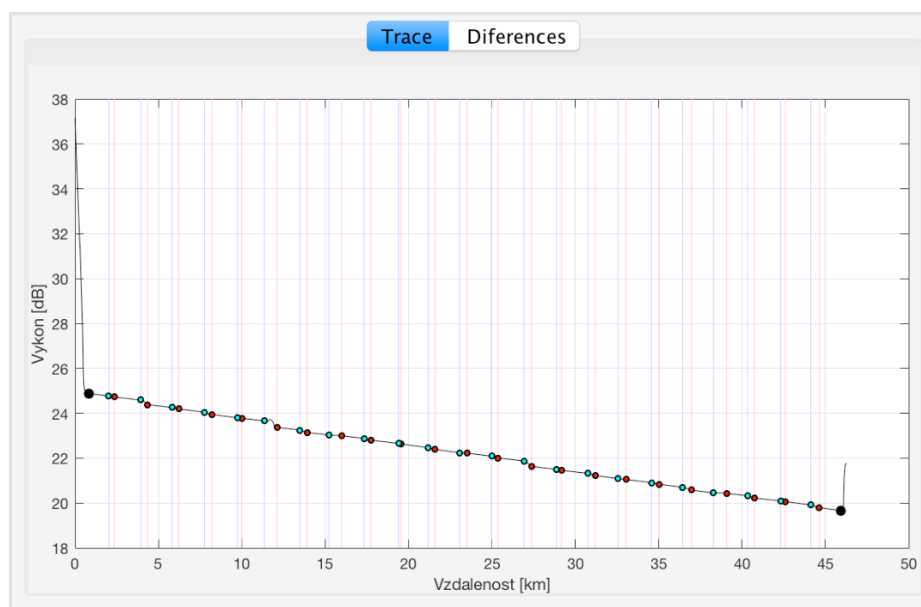
Obrázek 4.2.6 Pomocný graf ve štitku *Diferences*

Modrý graf na tomto obrázku představuje pomocní graf. „Kopce“, které jsou vidět, představují události. Červené čáry jsou rozhodovací úrovně, která naznačují začátek a konec události. Funguje to tak, že všechny hodnoty ležící mezi čarami budou zaměněny na nuly, a všechny ostatní na jedničku. Ve výsledku dostaneme obyčejný obdélníkový signál, kde každý obdélník znamená událost. Na této etapě lze lehce určit začátek vzestupné hrany a konec sestupné hrany obdélníku. Za tím účelem byly použity standardní funkce `diff()` a `findpeak()`. Jako výsledek dostaneme matici se dvěma sloupci zvláště pro začátky a konce. První sloupec obsahuje pozice bodů na vodorovné ose a druhý jeho výkonnou úroveň na svislé ose. Každý řádek odpovídá jinému bodu. *Up limit of zero road* a *Down limit of zero road* pole se používají při Detekci trvalých spojů.

„Kopce“ na obrázku, který je obrácen od dvou ostatních, značí ziskový svar, když jiné dva „kopce“ označují klasické ztrátové události. To znamená, že dolní čára detekuje jenom ziskové události na trase a horní jenom ztrátové. Proto u Detekci konektorů se používá jedno pole *Limit of zero road* a plní stejnou funkci jako pole *Up limit of zero road* pro Detekci trvalých spojů.

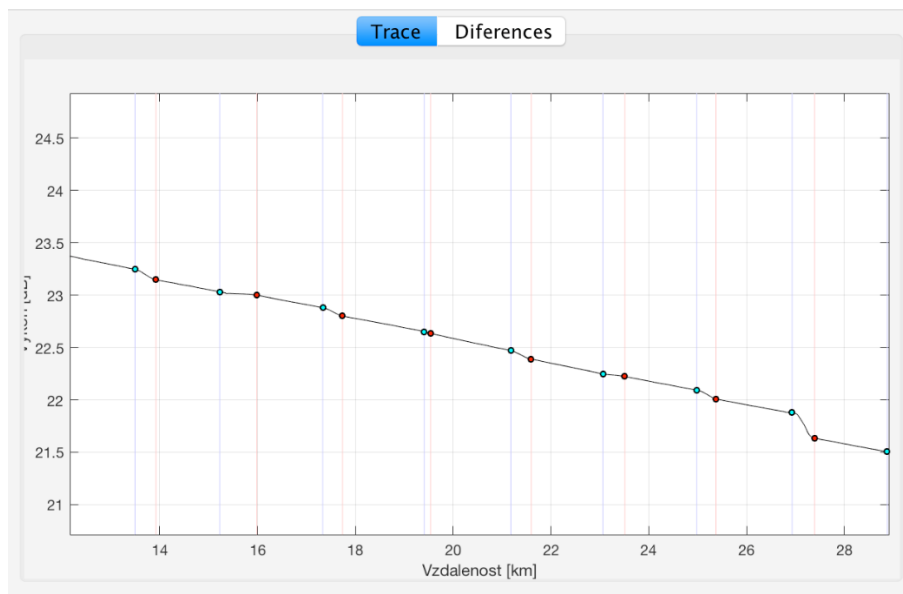
Tlačítka *Start Connectors* a *Start Splices* spustí odpovídající soubory *runCon.m* a *runSpl.m*. Jestli si uživatel na začátku rozhodnul použít Detekce trvalých spojů a použil *Filter for Splices* pak musí navazovat použitím *Start for Splices*. Stejně s tlačítky *Filter for Connectors* a *Start for Connectors*.

Start Connectors a *Start Splices* tlačítka vykonávají funkce detekce události, aplikování parametrů uvedených v této kapitole, vypracování dat pro tabulky v Souborovém panelu a vykreslení grafů ve štítcích *Trace* a *Diferences*. Následující obrázek ukazuje příklad finálního grafu jedné testované trasy:



Obrázek 4.2.7 Finální graf po analýze

Černé značky ukazují začátek a konec měřené trasy. Modrozelené značky vždycky označují začátky událostí a červené značky konce.



Obrázek 4.2.8 Detailnější vzhled na trasu

Ztráta události se spočítá rozdílem hodnot úrovně výkonu její začátku a konce. Umístění události se určí podle značky její začátku.

Při zpracování informace o jednotlivých vláknech se používají výše uvedené značky. Délka vlákna se spočítá jako rozdíl mezi sousedními modrozelenými značkami a od ní se odečte definovaná průměrná délka konstrukci jednoho spoje – 5 cm. Měrný útlum se vypočítá jako dělení celkové ztráty samotného vlákna a jeho délky.

Nutno uvést, že začátek trasy při výpočtech se počítá za nulu kilometrů. Hodnota uvedena v tabulce *Fiber Information* skutečně ukazuje konec mrtvé zóny přístroje OTDR, která je způsobená konektory na začátku pro připojení přístroje ke vláknu.

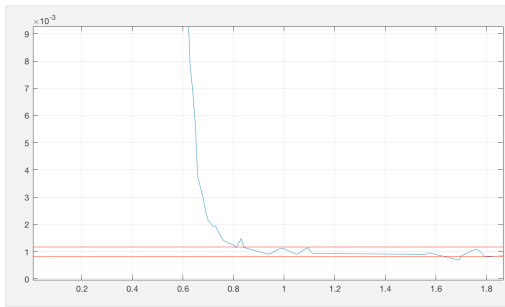
4.3 Analýza změřené trasy

Měřená trasa má délku 46 kilometrů a skoro každé dva kilometry obsahuje spoj. Jsou to mechanické nebo tavné spoje. Některé z nich jsou provedeny kvalitně a některé záměrně špatně. Podle dokumentace laboratoří tato trasa obsahuje 24 událostí, z toho 22 spojů. Pro měření byly použity následující parametry přístroje OTDR:

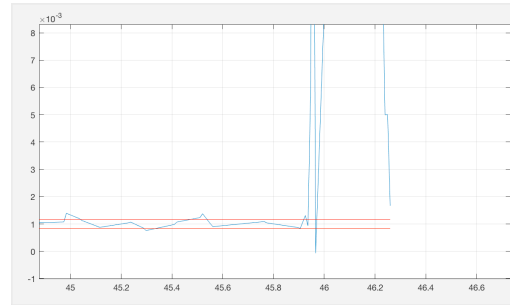
- Vlnová délka – 1550 nm
- Šířka impulsu – 3 μ m
- Rozsah – 80 km
- Rozlišení – High Resolution
- Doba průměrování – 60 s

Aby rozhodnout, zda analýza proběhla úspěšně, využijme grafickou oblast. V grafu *Trace* projdeme trasu od začátku ke konci a poznamenejme podezřelá místa. To jsou špatně detekované události, shluky detekovaných událostí nebo vůbec nedetekované události. Zvláště se podíváme na začátek a konec trasy a určíme, jestli jsou správně detekovány. V době, když byla objevena chyba

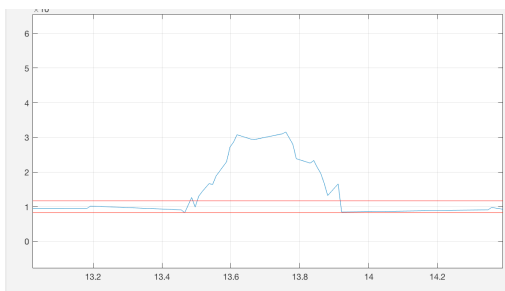
přepneme štítek na graf *Diferences*. Pozice nalezených chyb na obou grafech odpovídají. Následující sada obrázků ukazuje základní vyskytující se elementy na grafu *Diferences*.



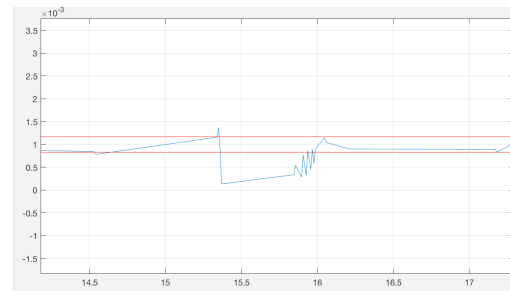
Obrázek 4.3.4 Graf *Diferences*: začátek trasy



Obrázek 4.3.4 Graf *Diferences*: konec trasy

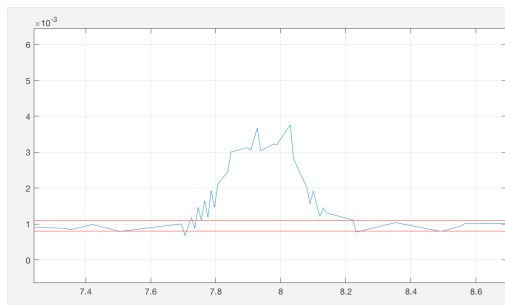


Obrázek 4.3.4 Graf *Diferences*: ztrátová událost

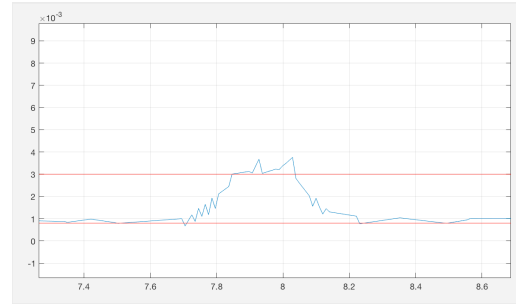


Obrázek 4.3.4 Graf *Diferences*: zisková událost

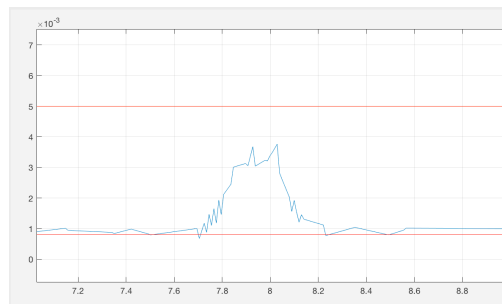
Událost na trase může být detekována dobře, špatně nebo vůbec nedetekována. Dále jsou uvedeny ukázky pro různé hodnoty horní rozhodující úrovní *Up limit of zero road*:



Obrázek 4.3.7 Dobře detekovaná událost,
hodnota *Up limit of zero road* – 0,0011



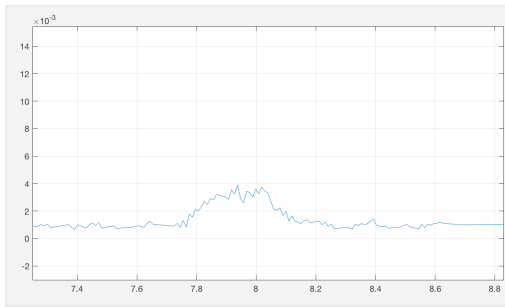
Obrázek 4.3.7 Špatně detekovaná událost,
hodnota *Up limit of zero road* – 0,003



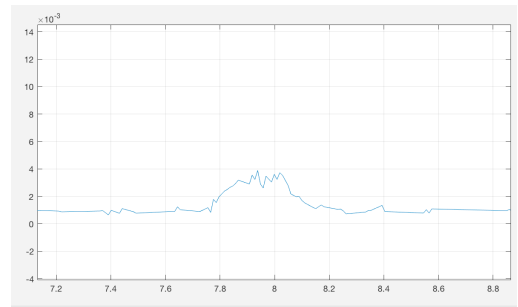
Obrázek 4.3.7 Nedetekovaná událost,
hodnota *Up limit of zero road* – 0,005

Jestli graf *Diferences* je zašuměný, se budeme věnovat parametru *Amplitude of noise (difference from main)*. Silný šum znamená, že můžeme zvětšit hodnotu amplitudy. Naopak, když graf se skládá

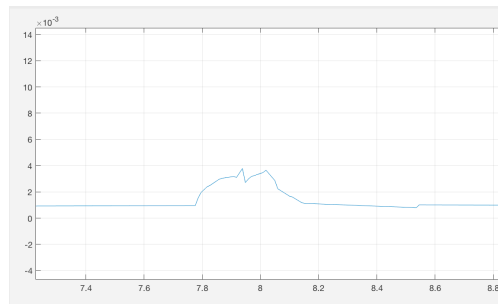
z monotónních a dlouhých přímek, je nejlepší zmenšit amplitudu. Ukázky úseku grafu pro různé parametry *Amplitude of noise (difference from main)*:



Obrázek 4.3.10 Hodnota *Amplitude of noise (difference from main)* – 0,00005

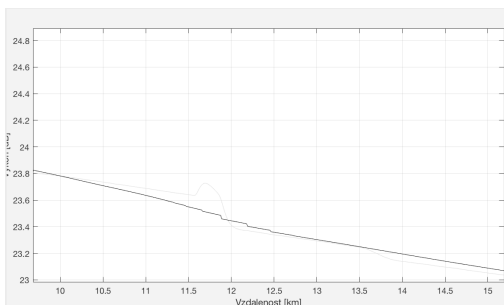


Obrázek 4.3.10 Hodnota *Amplitude of noise (difference from main)* – 0,00021

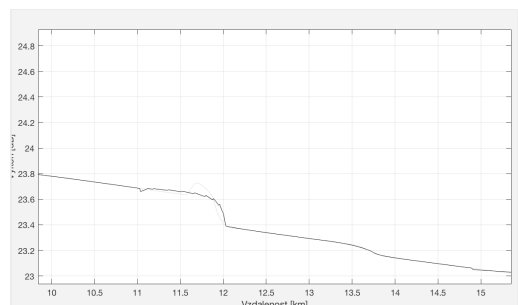


Obrázek 4.3.10 Hodnota *Amplitude of noise (difference from main)* – 0,00042

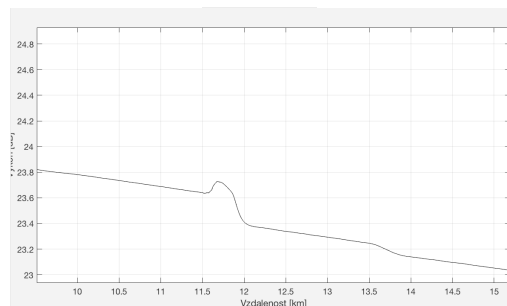
Jestliže graf *Trace* je zašuměný, nastavíme vhodný parametr *Amplitude of noise (main trace)*. Další obrázky ukazují odfiltrovaní úsek trasy pro různé hodnoty tohoto parametru.



Obrázek 4.3.13 Hodnota *Amplitude of noise (main trace)* – 0,5



Obrázek 4.3.13 Hodnota *Amplitude of noise (main trace)* – 0,05



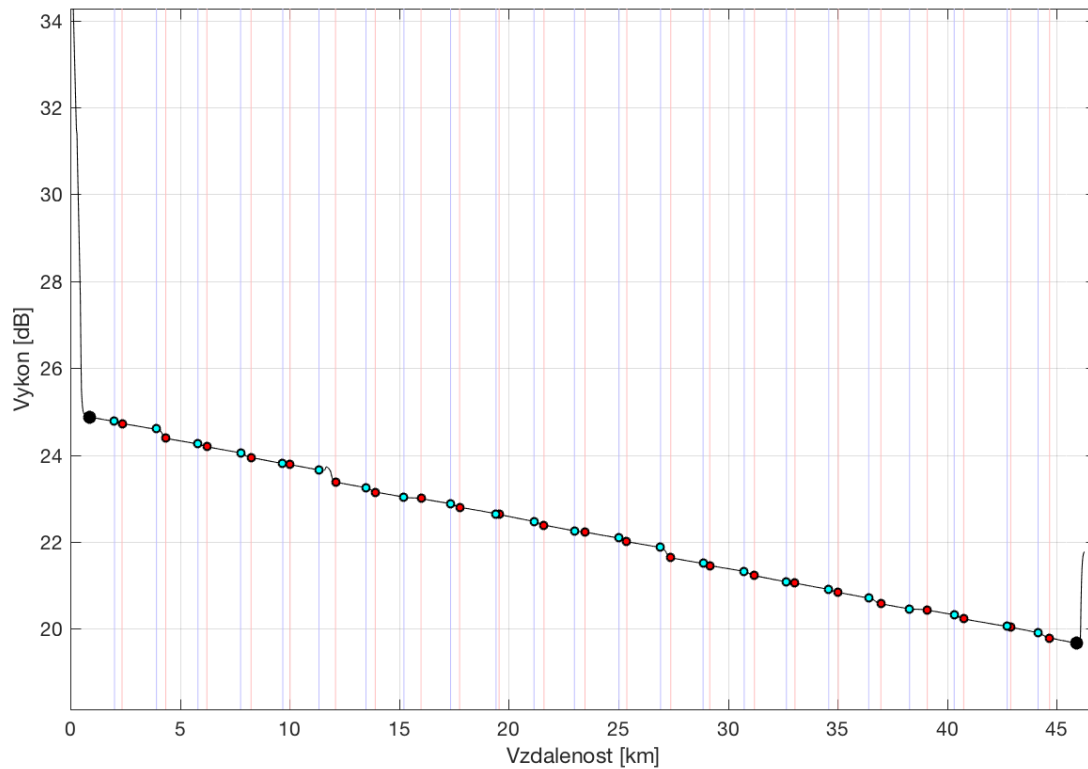
Obrázek 4.3.13 Hodnota *Amplitude of noise (main trace)* – 0,005

Kompletní analýza byla provedena a bylo zjištěno, že aplikace vykazuje nejlepší výsledky s použitím těchto parametrů:

Parametr	Hodnota
Amplitude od noise (main Trace)	0,01
Amplitude od noise (difference from main)	0,00025
Min Loss events	0,015 dB
Min Distance between events	1 km
Up limit of zero road	0,00113
Down limit of zero road	0,000835

Tabulka 4.3.1 Parametry nastavené v aplikaci při analýze

Tak vypadá graf po kompletní analýze.



Obrázek 4.3.14 Finální graf po kompletní analýze

Program detekoval 25 událostí a 24 jednotlivých kabelů.

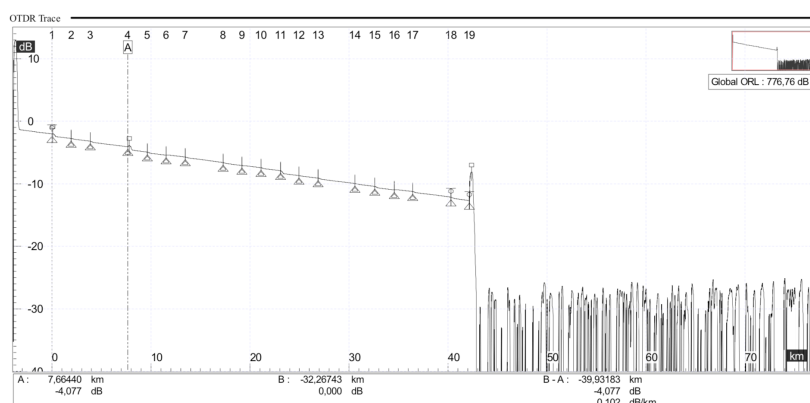
Number	Location [km]	Loss [dB]	Type of Event
1	0,8606	0	Begining of trace
2	2,01482	0,047473005	event on trace
3	3,92838	0,218729531	event on trace
4	5,8217	0,064739108	event on trace
5	7,76565	0,10809209	event on trace
6	9,68934	0,02507571	event on trace
7	11,33967	0,276949595	event on trace
8	13,4861	0,099146976	event on trace
9	15,21743	0,033527895	event on trace
10	17,34362	0,078387155	event on trace
11	19,41918	0,017162845	event on trace
12	21,1505	0,084990347	event on trace
13	22,9932	0,028920298	event on trace
14	25,02827	0,079995213	event on trace
15	26,92159	0,242369966	event on trace
16	28,86553	0,046851417	event on trace
17	30,7386	0,098049741	event on trace
18	32,66229	0,025851137	event on trace
19	34,59611	0,067677747	event on trace
20	36,41856	0,1323294	event on trace
21	38,2815	0,024967056	event on trace
22	40,31657	0,093050154	event on trace
23	42,73637	0,019686064	event on trace
24	44,14371	0,118109397	event on trace
25	45,91553	0	End of trace

Tabulka 4.3.2 Vyexportovaná tabulka událostí z aplikace

All trace		
Distance [km]	Loss	Attenuation coefficient [dB/km]
45,91553	5,211954629	0,115680007
Single fiber withing trace		
	Distance [km]	Attenuation coefficient [dB/km]
1	2,01477	0,091241023
2	1,91351	0,104248971
3	1,89327	0,123060018
4	1,9439	0,091137349
5	1,92364	0,193302033
6	1,65028	0,127005583
7	2,14638	0,07097702
8	1,73128	0,113733298
9	2,12614	0,092271108
10	2,07551	0,11950766
11	1,73127	0,087229547
12	1,84265	0,113996808
13	2,03502	0,18598921
14	1,89327	0,099294539
15	1,94389	0,114480767
16	1,87302	0,093123523
17	1,92364	0,108840558
18	1,93377	0,134526175
19	1,8224	0,067073825
20	1,86289	0,123097542
21	2,03502	0,090495304
22	2,41975	0,100874738

Tabulka 4.3.3 Vyexportovaná tabulka optických vláken z aplikaci

Stejná trasa byla analyzována softwarem od JDSU. Graf je uveden na dalším obrázku.



Obrázek 4.3.15 Výsledný graf z přístroje JDSU MTS-6000a

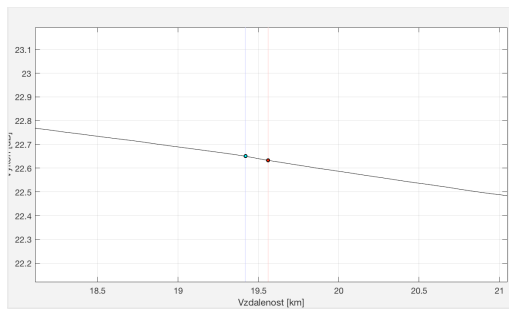
Přístroj detekoval 18 událostí, z nichž dvě odpovídají začátku a konci.

N° Event	Event type	Event distance (km)	Loss (dB)	Relative distance (km)	Lin. Atten (dB/km)	Loss (dB)	Total loss (dB)
1	Launch cable	0	0,351	3,89801	0,208	0,808	
2	Splice	1,93382	0,062	1,93382	0,191	0,369	0,369
3	Splice	3,86764	0,143	1,93382	0,195	0,378	0,809
4	Splice	9,61847	0,128	1,95407	0,206	0,404	2,552
5	Splice	11,54216	-0,069	1,92369	0,192	0,369	3,049
6	Splice	13,44561	0,072	1,90344	0,189	0,359	3,338
7	Splice	17,29299	0,09	3,84739	0,21	0,81	4,22
8	Splice	19,17619	-0,031	1,88319	0,21	0,394	4,704
9	Splice	21,12013	0,113	1,94394	0,19	0,37	5,043
10	Splice	23,08432	0,432	1,96419	0,184	0,362	5,518
11	Splice	24,94727	0,049	1,86295	0,189	0,353	6,303
12	Splice	26,88109	0,128	1,93382	0,184	0,356	6,707
13	Splice	30,60698	0,06	3,72589	0,2	0,744	7,579
14	Splice	32,62179	0,175	2,01482	0,203	0,409	8,048
15	Splice	34,57586	-0,091	1,95407	0,195	0,381	8,603
16	Splice	36,44893	0,112	1,87307	0,187	0,35	8,862
17	Launch cable	40,29632	0,154	3,84739	0,2	0,772	9,745
18	Launch cable	42,15926		1,86295	0,221	0,412	

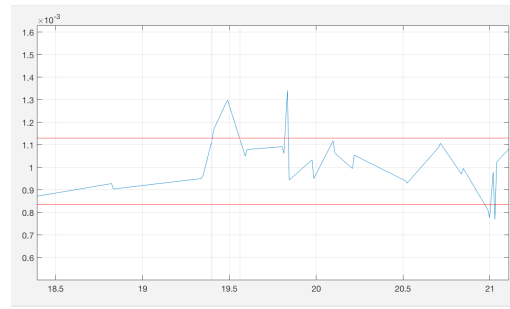
Tabulka 4.3.4 Tabulka událostí z přístroje JDSU MTS-6000a

OTDR reflektometr JDSU MTS-6000a definoval první 4 km a poslední 2 km jako připojovací kabely. Proto spoje ve vzdálenosti 2 a 44 km nebyly detekovány. To také způsobilo posuv celé analýzy přístrojem o 4 km. Bez ohledu na to, program detekoval více událostí, než přístroj. Ve vzdálenosti

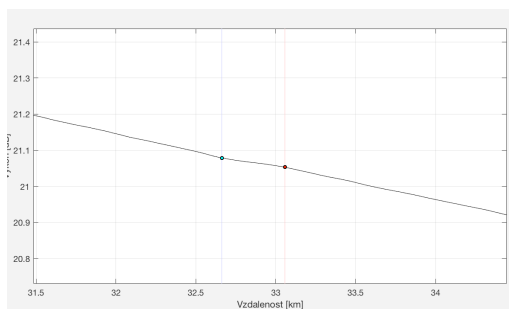
přibližně 19 a 33 km přístroj nedetekoval spoje a spolu s tím nebyly detekovány i kabely předcházející těm spojům. Aplikace zvládla detekování těch spojů. Obrázky dolu ukazují zmíněné události.



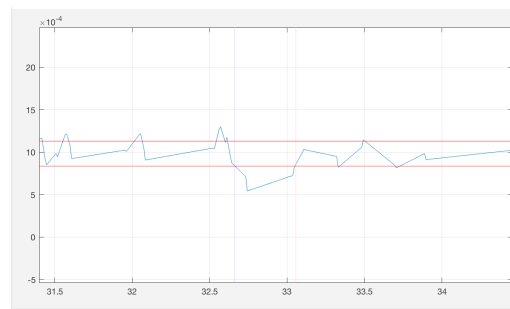
Obrázek 4.3.19 Hlavní graf: nedetekovaný spoj ve vzdálenosti 19 km



Obrázek 4.3.19 Pomocný graf: nedetekovaný spoj ve vzdálenosti 19 km



Obrázek 4.3.19 Hlavní graf: nedetekovaný spoj ve vzdálenosti 33 km



Obrázek 4.3.19 Pomocný graf: nedetekovaný spoj ve vzdálenosti 33 km

Spoj ve vzdálenosti 19 km je ztrátová událost a je skoro neviditelná, protože má nízkou ztrátu. Detekce v tom případě neprošla ideálně ale je výhodou, že vůbec byla proběhla. Spoj ve vzdálenosti 33 km je zisková událost s nízkou změnou úrovně výkonu, a proto je těžce detekovatelná.

Tyto dva příklady náhledně ukazují, že aplikace splňuje svůj hlavní cíl – detekování skoro neviditelných událostí.

Vypočtené délky společně detekovaných optických vláken mají relativně stejné hodnoty. K velkým rozdílům došlo mezi hodnotami měrného útlumu jednotlivých vláken. Hodnoty spočítané přístrojem jsou přibližně dvakrát větší. Po rešerši bylo zjištěno, že aplikace a přístroj mají různé hodnoty úrovně výkonu na svislé ose. Přístroj má počáteční úroveň výkonu kolem 0 dB a program kolem 25 dB. Ke změně hodnot použitých v aplikaci mohlo dojít při konvertování dat z datového formátu SOR do datového formátu CSV. Výpočty přístroje považujeme za správné, protože ony odpovídají vlastnostem měřených vláken.

5 Závěr

Hlavním úkolem této práce bylo vytvořit program pro analýzu tras, které byly měřeny pomocí OTDR přístroje JDSU MTS-6000a a provést porovnání výstupu z přístroje a programu.

V rámci práce povedlo vytvořit aplikace realizovanou v prostředí Matlab. Do programu se načítají soubor datového formátu CSV. Uživatel může vybrat jeden ze způsobů detekce: Detekce konektorů nebo Detekce trvalých spojů. Rozdíl mezi nimi je uveden v kapitole 4.2. Aplikace automaticky detekují události na trase – konektory, mechanické spoje, tavné spoje, začátek a konec vlákna. Uživatel dokáže zlepšit proces detekce nastavením vhodných parametrů. Jako další možnost zlepšit výsledky je použití vestaveného do programu filtru. Aktuální výsledky se vkreslují do grafické oblasti aplikace. Jedná z nich slouží jako pomocný nástroj pro nastavení vhodných parametrů aplikaci. Základní informace o událostech a jednotlivých sekcích se ukládá do tabulek. Jsou to údaje o umístění událostí a jejich ztráty, délky kabelu a jejich měrný utlum. Výsledné tabulky a graf se mohou exportovat do odpovídajících formátů XLSX a PNG. Porovnání výstupu z přístroje OTDR JDSU MTS-6000a a vytvořené aplikaci ukázalo, že aplikace dokáže detekovat události na trase, které nedetekuje uvedený přístroj OTDR.

Výzkum formátu pro ukládání dat ve formě SOR ukázal, že je to binární datový soubor. Jeho obsah není veřejně dostupný, z toho důvodu se nepovedlo jednoduše získat data o měření. V práci byl použit volně dostupný konvertor pro datové formáty SOR a CSV získaný z Internetu. Po porovnání výsledků z přístroje a aplikace bylo zjištěno, že se neshodují vypočtené údaje o měrném útlumu jednotlivých optických kabelů. Odlišnost je přibližně stejná pro všechny odpovídající hodnoty mezi přístrojem a programem. Rešerše daného problému ukázala, že příčinou chyby může být změna dat při konvertování do formátu CSV. V budoucnu se dá zaměřit na vytvoření vlastní konvertory pro datové formáty SOR a CSV. Tím zajistit důvěryhodnost dat o měřené trase a zlepšit přesnost výpočtu důležitých údajů o této trase.

Na základě zjištěné informace a dosažených výsledků aplikace je zřejmé že zadání bakalářské bylo splněno.

Aplikace nese výzkumný charakter ve věci detekci událostí na optické trase. Vytvoření program může být spolehlivým nástrojem pro kontrolu správnosti detekce událostí na optické trase daného přístroje OTDR.

6 Literatura

- [1] BHAUMIK, Sudipta, *Application Notes: Low Water Peak vs Zero Water Peak Optical Fiber* [online]. Sterlite Tech, 2013 [cit. 2018-19-05]. Dostupné z URL: https://www.sterlitetech.com/sterlite-live/application_notes/23/original/Low_Water_Peak_Vs_Zero_water_Peak_Optical_Fibre.pdf?1499152974
- [2] GHATAK, A., THYAGARAJAN, K., *Fundamentals of Fotonics: Module 1.8. Optical Waveguides and Fibers* [online], University of Connecticut, 2000 [cit. 2018-19-05]. Dostupné z URL: <https://spie.org/publications/fundamentals-of-photonics-modules?SSO=1>
- [3] GOVIND, Prasad – AGRAWAL, *Fiber-Optic Communication Systems, Third edition* [online]. Wiley, 2002 [cit. 2018-19-05], ISBN 0-471-22114-7. Dostupné z URL: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779572211086/Fiber-Optic%20Communication%20Systems%20%283rd%20ed,%202002%29.pdf>
- [4] International Telecommunication Union, *Optical fibres, cables and systems* [online]. 2010 [cit. 2018-19-05]. Dostupné z URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-t/opb/hdb/T-HDB-OUT.10-2009-1-PDF-E.pdf
- [5] MASSA, Nick, *Fundamentals of Fotonics: Module 1.8. Fiber Optic Telecommunications* [online], University of Connecticut, 2000 [cit. 2018-19-05]. Dostupné z URL: <https://spie.org/Documents/Publications/00%20STEP%20Module%2008.pdf>
- [6] *Optical Time Domain Reflectometers: Pocket Guide* [online]. Agilent Technologies, 2001 [cit. 2018-19-05]. Dostupné z URL: <http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/E6000-91017.pdf>
- [7] SIDNEY, Li, *The OTDR (Optical Time-Domain Reflectometer) Data Format* [online]. 2015 [cit. 2018-19-05]. Dostupné z URL: <http://morethanfootnotes.blogspot.cz/2015/07/the-otdr-optical-time-domain.html>
- [8] *Understanding OTDRs* [online]. Anritsu, 2011 [cit. 2018-19-05]. Dostupné z URL: <https://rossfibersolutions.com/fiber-optic-pdfs/Anritsu-understanding-otdrs.pdf>
- [9] Anritsu Sales Staff, *Data Sampling Resolution And OTDR Accuracy* [online] 2008 [cit. 2018-02-11]. Dostupné z URL: https://dl.cdn-anritsu.com/en-us/test-measurement/files/Technical-Notes/White-Paper/Data_Resolution_Acc.pdf.