VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

SPOLEHLIVOST, BEZPEČNOST A PŘENOSOVÉ PARAMETRY OPTICKÝCH KABELŮ

RELIABILITY, SECURITY AND TRANSFER PARAMETERS OF OPTICAL CABLES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE ZDENĚK KUČERA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE prof. Ing. MILOSLAV FILKA, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2012

VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student:	Zdeněk Kučera	***ID:***	125160
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2011/2012

NÁZEV TÉMATU:

Spolehlivost, bezpečnost a přenosové parametry optických kabelů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Úkolem projektu je analyzovat metody ochrany úložných optických kabelů před vnějšími vlivy. Navrhnout metody zjišťování a detekci poruch. Možnosti a přesnost zaměření poruchy. Definovat spolehlivost optických kabelů z pohledu poruchových stavů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FILKA, M. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. CENTA, Brno 2009.
[2] FILKA, M. Přenosová média. Skripta laboratoře. VUT FEKT, Brno 2003.
[3] KUCHARSKI, M., DUBSKÝ, P. Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras. Mikrokom, Praha 2001.

Termín zadání:	6.2.2012	***Termín odevzdání:***	31.5.2012

Vedoucí práce: prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.
Konzultanti bakalářské práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Komunikace pomocí optických kabelů je zatím posledním vývojovým stupněm přenosových médií, používaných v současnosti pro přenos dat. Přes počáteční problémy se díky jejich nesporným výhodám použití tohoto média v poslední době velmi rozšířilo. Optické kabely jsou ideálním spojením spolehlivosti a bezpečnosti přenosu dat. Jejich stále zlepšující se přenosové parametry přispívají k dosahování vysokých rychlostí v rámci přenosů informací na velké vzdálenosti. V teoretické části této práce jsou vyjmenovány druhy optických kabelů, jejich nejdůležitější parametry a nejpoužívanější metody měření optických kabelů. V praktické části bylo provedeno porovnání a vyhodnocení naměřených hodnot útlumu a délky reálných optických tras několika druhy měřících přístrojů.

Klíčová slova

Spolehlivost optických sítí, územní rozhodnutí, numerická apertura, dynamický rozsah, PMD, OTDR

Abstract

Communication via fiber optic cable is the latest advancement of the transmission media currently used for data transmission. Despite initial problems, using of this medium in recent years has greatly expanded due to their indisputable advantages. Optical cable is a great combination of reliability and security of data transfer. Its constantly improving transmission parameters contribute to the high speeds in the long-distance transmission of data. In the theoretical part of this work some kinds of optical cables are mentioned, also the most important parameters and the most widely used methods of measurement of these cables. The comparison and evaluation of the measured values of attenuation and the real length of optical paths was done by several types of measuring instruments in the practical part.

Keywords

Reliability of optical network, territorial determinativ, numeric aperture, dynamic range, PMD, OTDR

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Spolehlivost, bezpečnost a přenosové parametry optických kabelů“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne 31. 5. 2012 ……

Podpis autora

Bibliografie

KUČERA, Z. *Spolehlivost, bezpečnost a přenosové parametry optických kabelů.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 50 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Miloslav Filka, CSc..

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce prof. Ing. Filkovi za velmi užitečnou pomoc a cenné rady při zpracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat ing. Pavlu Kosurovi ze společnosti Profiber za umožnění zapůjčení měřících přístrojů a poskytnutí informačních materiálů. Taká bych chtěl poděkovat pracovníkům společnosti Slezskomoravské telekomunikace Opava, ing. Jiřímu Kunertovi a Martinu Kubáčovi za zapůjčení měřících přístrojů, pomoc v rámci měření a poskytnutí užitečných studijních materiálů. V neposlední řadě svojí rodině, za trpělivost a podporu během celého bakalářského studia.

OBSAH

Seznam obrázků a grafů ... 1
Úvod ... 3
1 Optické kabely ... 4
1.1 Druhy ... 4
1.1.1 MM ... 4
1.1.2 Gradientní vlákna ... 4
1.1.3 SM ... 4
1.1.4 Polarizační, chromatická a vidová disperze ... 5
1.2 Konstrukce kabelů ... 5
1.3 Přenosové parametry ... 6
2 Spolehlivost optických kabelů a tras ... 9
3 Příprava výstavby optických tras ... 10
3.1 Stavební zákon ... 10
3.2 Telekomunikační zákon ... 10
3.3 Územní rozhodnutí, územní souhlas ... 10
3.4 Věcná břemena ... 11
4 Realizace výstavby optických tras ... 12
4.1 Zemní práce ... 12
4.1.1 Výkopové práce ... 13
4.1.2 Pokládka ... 13
4.2 Optické práce ... 14
4.2.1 Zafukování ... 14
4.2.2 Spojování optických vláken ... 15
5 Měření ... 18
5.1 Měření útlumu ... 18
5.1.1 Metoda dvou délek ... 21
5.1.2 Metoda vložených ztrát ... 21
5.1.3 Metoda zpětného rozptylu - OTDR ... 22
5.2 Měření délky vlákna ... 23
5.3 Reflektometr - popis ... 23
6 Dokumentace optických kabelů ... 27
6.1 Dokumentace optického kabelu ... 27
6.2 Geodetické zaměření ... 27
6.3 Vyjádření o existenci sítí ... 28
7 Detekce chyb ... 29
7.1 Zdroje chyb ... 29
7.2 Dohledové systémy ... 29
7.3 Způsoby lokalizace poruch ... 30
7.4 Způsoby oprav poruch ... 31
8 Praktické měření ... 32
8.1 Popis měření ... 32
8.2 Použité měřicí přístroje ... 32
8.2.1 FOT 930 ... 33
8.2.1.1 Měření délky optické trasy přístrojem FOT-930 ... 33
8.2.2 iOLM ... 34
8.3 Výsledky ... 34
8.4 Vyhodnocení měření ... 41
Závěr ... 48

Použitá literatura 49
Seznam zkratek 50

SEZNAM OBRÁZKŮ A GRAFŮ

obr. 1.1 - Řez úložným a samonosným optickým kabelem 6
obr. 1.2 - MM vlákno se skokovou změnou indexu lomu 7
obr. 1.3 - MM vlákno s proměnným indexem lomu 8
obr. 1.4 - SM vlákno se skokovou změnou indexu lomu 8
obr. 4.1 - HDPE trubky 12
obr. 4.2 - Popis HDPE trubky 12
tab. 1 - Minimální hodnoty krytí podzemního vedení 13
obr. 4.3 - Příklad vzorových řezů pro výkopy kabelových rýh 13
obr. 4.4 - Přístroje pro zafukování optických kabelů 14
obr. 4.5 - Y člen pro HDPE a spojka Plasson 15
obr. 4.6 - OKOS + plastová komora 15
obr. 4.7 - Svářečka optických vláken a optická kazeta 16
obr. 4.8 - Hrncová spojka bez pláště 16
obr. 4.9 - Nástěnná spojka 16
obr. 4.10 - Rack 17
obr. 4.11 - Optický rozvaděč páteřní 17
obr. 4.12 - Pigtail s konektorem E2000/APC 17
obr. 4.13 - Nejpoužívanější konektory 17
obr. 5.1 - Měřící protokol z reflektometru s více vlnovými délkami 19
obr. 5.2 - Útlumová charakteristika optického vlákna 20
obr. 5.3 - Tři varianty nastavení reference měřící soupravy 21
obr. 5.4 - Blokové schéma impulsního reflektometru 24
obr. 5.5 - Měřící protokol z OTDR (EXFO FTB 100) s vyznačením rozsahů 25
obr. 5.6 - Měřicí přístroj přímé metody 26
obr. 5.7 - Měřicí přístroj OTDR 26
obr. 6.1 - Příklad geodetického zaměření trasy 27
obr. 7.1 - Princip zakruhování 30
tab. 2 - Nastavení indexu lomu pro všechny OTDR 32
obr. 8.1 – Přístroj FOT-930 33
obr. 8.2 - Princip měření délky vlákna přístrojem FOT-930 33
obr. 8.3 – Výstup měření z modulu iOLM trasa Sokolnice – Kovoterm 34
tab. 3 - Hodnoty náměrů trasy 1 pro λ= 1310 nm 35
tab. 4 - Hodnoty náměrů trasy 1 pro λ= 1550 nm 35
tab. 5 - Hodnoty náměrů trasy 2 pro λ= 1310 nm 35
tab. 6 - Hodnoty náměrů trasy 2 pro λ= 1550 nm 36
tab. 7 - Hodnoty náměrů trasy 3 pro λ= 1310 nm 36
tab. 8 - Hodnoty náměrů trasy 3 pro λ= 1550 nm 36
tab. 9 - Hodnoty náměrů trasy 4 pro λ= 1310 nm 37
tab. 10 - Hodnoty náměrů trasy 4 pro λ= 1550 nm 37
tab. 11 - Hodnoty náměrů trasy 5 pro λ= 1310 nm 37
tab. 12 - Hodnoty náměrů trasy 5 pro λ= 1550 nm 38
tab. 13 - Hodnoty náměrů trasy 6 pro λ= 1310 nm 38
tab. 14 - Hodnoty náměrů trasy 6 pro λ= 1550 nm 38
tab. 15 - Hodnoty náměrů trasy 7 pro λ= 1310 nm 39
tab. 16 - Hodnoty náměrů trasy 7 pro λ= 1550 nm 39
tab. 17 - Hodnoty náměrů trasy 8 pro λ= 1310 nm 39
tab. 18 - Hodnoty náměrů trasy 8 pro λ= 1550 nm 40
tab. 19 - Hodnoty náměrů trasy 9 pro λ= 1310 nm 40

tab. 20 - Hodnoty náměrů trasy 9 pro λ= 1550 nm..... 40
graf 1 - Hodnoty délkových rozdílů jednotlivých reflektometrů pro λ= 1310 nm..... 41
graf 2 - Hodnoty délkových rozdílů jednotlivých reflektometrů pro λ= 1550 nm..... 41
graf 3 - Hodnoty útlumových rozdílů jednotlivých reflektometrů pro λ= 1310 nm..... 42
graf 4 - Hodnoty útlumových rozdílů jednotlivých reflektometrů pro λ= 1550 nm..... 42
graf 5 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem FTB-1..... 43
graf 6 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem iOLM..... 43
graf 7 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem FTB200 (A)..... 44
graf 8 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem FTB400 44
graf 9 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem HP 8174 45
graf 10 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem FTB 100 Mini..... 45
graf 11 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem FTB 200 46
graf 12 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem FTB 500 (A)..... 46
graf 13 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem FTB 500 (B)..... 47

ÚVOD

V posledních desetiletím zažívají komunikace nebývalý rozmach. Objevilo se a zavedlo do praxe mnoho technických řešení a vylepšení, o kterých by před 30 – 40 lety inženýři zabývající se komunikacemi jenom marně snili. Avšak požadavky současných zákazníků se příliš neliší od minulosti. Je to rychlost, spolehlivost a bezpečnost komunikace. Ale podobnost je jenom zdánlivá. Z počátku stačilo, když měl stálé telefonní spojení v obci starosta, pošta a hájovna. Kabely se většinou věšely po sloupech, ale například při nepříznivých klimatických podmínkách nebyla o výpadky nouze. Později se začaly používat lepší typy kabelů, nejdříve s papírovou, později s gelovou izolací, které se již pokládaly do země a byly odolné proti pronikání vlhkosti nebo proti mrazům. Toto řešení se osvědčilo, spolehlivost se zvýšila a také přenosové parametry již umožňovaly realizovat první pokusy s posíláním dat po telefonních drátech.

Nastal jiný problém s ohledem na spolehlivost, i ostatní vlastníci infrastruktury (elektřina, plyn, voda atd.) začali svoje sítě pokládat do země a při výkopových pracích nezřídka kdy byly poškozeny i telekomunikační kabely, což v důsledku vedlo ke snížení spolehlivosti a zákazníkům ani provozovateli těchto spojení to příliš nevyhovovalo. Bylo tedy nutné ustanovit pravidla pro pokládku všech inženýrských sítí do země a tak začali vznikat první normy, první projekty, které se těmito normami řídili. Vyvstal ovšem také požadavek na dokumentování polohy těchto sítí, aby bylo možné tyto podklady předávat ostatním provozovatelům sítí a tak aby se zvýšila spolehlivost spojení. Z počátku se provádělo ruční kótování a i dokumentace se zakreslovala ručně.

Vývoj ale dále pokračoval, konstrukce i parametry kabelů se stále zlepšovaly, zavedly se koaxiální kabely a následně krocené metalické kabely (UTP), které již sloužily přímo pro přenos dat, protože přenos dat na dlouhé vzdálenosti pomocí metalických kabelů nebo dokonce rádiovým prostředím se stal fenoménem posledních desetiletí.

Po opadnutí prvotního nadšení z dálkového přenosu dat pomocí metalických kabelů se brzy přišlo na to, že po stávajících typech vedení dále zvyšovat přenosové rychlosti nebude možné.

Tento problém byl vyřešen s nasazením optické kabeláže. Zpočátku se jednalo spíše o akademickou záležitost, kdy ještě technologie neumožňovaly dosáhnout přenosových parametrů, které by umožňovaly nasazení optických kabelů pro komerční využití. Postupem času se technologie výroby zlepšila natolik, že komunikace pomocí optických kabelů začali překonávat metalickou kabeláž a už jenom vyšší pořizovací náklady bránily většímu rozšíření této technologie. V průběhu času se také rozvinuly technologie dokumentace. Dokumentovat se začalo v elektronické formě a tak se dokumentace jednodušeji sdílela a předávala jiným subjektům, což opět přispělo ke zvýšení spolehlivosti komunikace. Stále více zákazníků požadovalo větší a větší přenosové kapacity a rychlosti a jejich požadavky bylo možno splnit pouze s použitím optické kabeláže. Tak se používání optiky začalo postupně rozšiřovat, cena začala klesat a dnešní stav je takový, že v podstatě každý bite dat, který koncovému uživateli přijde do počítače nebo mobilu, alespoň část cesty urazil po optickém kabelu. Navíc komunikace po optické kabeláži je nejen spolehlivá, ale i vysoce bezpečná, což konkrétně v dnešní době je vlastnost, která je stále více ceněna.

Tato práce se obsáhleji v teoretické části věnuje metodám měření přenosových parametrů optických kabelů – útlumu a délky a přístrojům, kterými je toto měření prováděno. V praktické části potom vzájemně porovnává výsledky naměřených hodnot útlumu a délky reálných optických tras jednotlivými měřicími přístroji.

1 OPTICKÉ KABELY

Optické kabely se používají pro výstavbu přístupových sítí (tzv. produktovodů). Nejčastěji pro její páteřní části ukládané do země či závěsné vedení nebo položené do koletorů či kabelovodů, pro spojení budov v rámci areálu nebo delších instalací v rámci jedné budovy. Základním materiálem pro výrobu optických vláken je oxid křemičitý - SiO_2 a jeho četné příměsi. Přenos dat je realizován po optických vláknech z křemičitého skla nebo homogenní skloviny, po kterých se přenášejí data pomocí světelných pulsů – tzv. vidů, vydávaných led diodami nebo lasery [1].

1.1 DRUHY

Dle typu se vlákna rozdělují na mnohovidová (MM-Multimode), gradientní (graded-index) nebo jednovidová (SM-Single mode).

1.1.1 MM

Mnohovidová vlákna jsou používána převážně pro komunikaci na kratší vzdálenosti do 600 m. Podle rozměru jsou označována jako 50/126, 62,5/125, kde první číslo udává velikost jádra v µm a druhé číslo udává průměr pláště. Díky vysoké kapacitě a spolehlivosti jsou mnohovidová vlákna využívána hlavně jako páteřní rozvody v budovách. Větší velikost jádra zjednodušuje spojování vláken a umožňuje používat levnější elektroniku - zdrojem světla můžou být např. LED nebo lasery, které pracují na vlnové délce 850 nm.

Rychlost přenosu po mnohovidových vláknech se pohybuje v rozmezí 10Mbit/s až 10Gbit/s, což pro použití ve většině sítí LAN, ve kterých jsou nejčastěji využívány, plně dostačuje. Typické přenosové limity pro 100 Mbit/s až do vzdálenosti 2 km (100BASE-FX), 1 Gbit/s do 500–600 m (1000BASE-SX) a 10 Gbit/s do 300 m (10GBASE-SR) [9]. Nevýhodou těchto vláken je vzhledem k většímu průměru vláken tzv. vidová disperze [1] - rozptyl, který omezuje šířku přenášeného pásma.

1.1.2 Gradientní vlákna

U gradientních optických vláken se index lomu zvětšuje se vzdáleností od jádra. Paprsek opisuje sinusovou křivku, což má za následek snížení vidové disperze. Vlákno je tvořeno z tisíce tenkých vrstev, které se liší indexem lomu. Čím je paprsek dál od osy jádra, tím je index lomu větší.

1.1.3 SM

Jednovidové optické vlákno se používá pro přenos dat na větší vzdálenosti (mezi městy, státy, kontinenty). Obecně našla tato optická vlákna uplatnění pro vysokorychlostní přenosy v Internetu a také v technologiích DWDM. SM vlákna vykazují nejlepší parametry optické přenosové cesty. Mají nejmenší průměr jádra (do 10 µm) a označují se 9/125, kde čísla udávají průměry jádra a pláště stejně jako u MM vláken. Malé jádro má za následek velký úhel odrazu ve vlákně, což vede k menšímu prodloužení dráhy paprsku.
Proto se u tohoto typu vláken nevyskytuje tzv. vidová disperze – různé vidy mají různé rychlosti šíření signálu vláken.

Single mode optické vlákna jsou provozována na vlnových délkách v rozsahu 1310 nm až 1625 nm a vyžadují výrazně dražší zdroje světla (lasery).

Jako buzení se používají laserové diody. Z tohoto důvodu jsou i kvalitativní požadavky na jejich výrobu vyšší než je tomu např. u MM vláken a proto je i cena vláken a všech ostatních komponent potřebných pro jejich spojování a ukončování v rozvaděčích vyšší ve srovnání s MM vlákny. Vyšší cena je ale vyvážena výrazně lepšími přenosovými parametry.

1.1.4 Polarizační, chromatická a vidová disperze

S nárůstem přenosových rychlostí v jednotlivých optických vláknech se zvýšila nutnost měření tzv. PMD (Polarization Mode Dispersion - polarizační vidová disperze). Při přenosu signálu vláknem se může vyskytnout dvojí polarita vidu a ta vyvolává mezisymbolovou interferenci. Její velikost vyjadřuje koeficient PMD dle vztahu pro velké vzdálenosti (1) [1]

$$PMD = \frac{\Delta\tau}{\sqrt{l}} \ (\mathrm{ps.km^{-1}}) \tag{1}$$

kde $\Delta\tau$ vyjadřuje zpoždění signálu a l délku trasy.

Tento jev, se velmi těžce odstraňuje a proto se hlavně u dálkových optických tras (nad 50km), které se používají pro DWMD provoz, se PMD měří a trasy se sestavují v závislosti na tomto měření s co možná nejmenší hodnotou PMD viz. [1].

Dále zde také dochází k chromatické vidové disperzi, která je tvořena disperzí materiálovou a vlnovou, a je způsobena nelineární kmitočtovou závislostí skupinové rychlosti šíření vidu ve světlovodu – tzn. když se jednotlivé spektrální složky vidu šíří rozdílnou rychlostí. Chromatická disperze se donedávna téměř neměřila [3], ale se vzrůstající potřebou přenosových kapacit a nástupem systémů s hustým multiplexem DWDM se nutnost měření zvýšila. Velikost chromatické disperze udává tzv. koeficient chromatické disperze, vztah (2)

$$D(\lambda) = \frac{dt_g(\lambda)}{d(\lambda)} \tag{2}$$

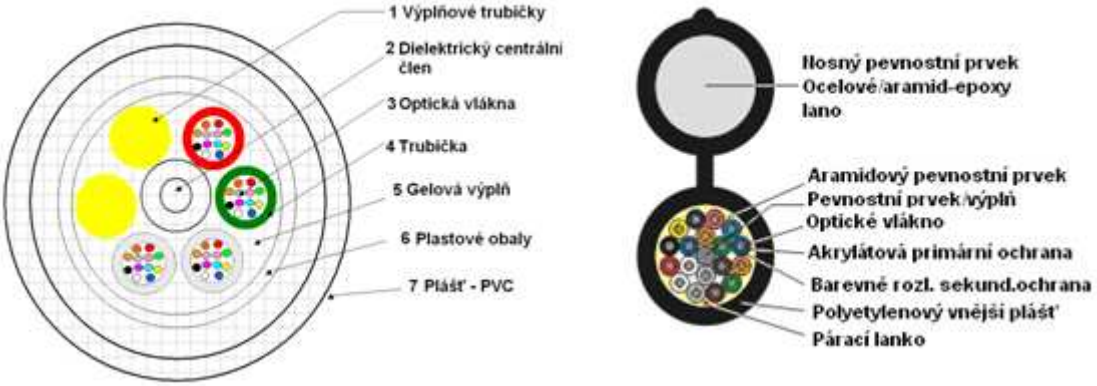
Posledním druhem disperze, která vzniká při přenosu vidů (avšak pouze mnohovidovými optickými kabely) je vidová disperze. Ta je hlavním činitelem, který omezuje šířku přenášeného pásma [2]. Dochází zde k rozdílné rychlosti šíření vidů (především vyšších) světlovodem. U jednovidových přenosových systému se vidová disperze neuvažuje, přenosové vlastnosti tohoto systému jsou dány materiálovou disperzí.

1.2 KONSTRUKCE KABELŮ

Optické kabely se v závislosti na tom, jestli se jedná o kabely samonosné, úložné nebo závlačné a také na počtu vláken, vyrábějí tak, že jsou jednotlivá vlákna skládána do párů, čtyřek a trubiček. Ty jsou uloženy ve venkovních PVC pláštích různých typů, druhů a průměrů, pro samonosný kabel je součástí PVC obalu ještě kovové lanko za které se kabel přichytává na jednotlivé sloupy. Pro vnitřní instalace se používají navíc kabely s např. plamen nešířící úpravou pláště nebo s ochranou proti hlodavcům. Každé vlákno má svoji barvu a je uloženo v trubičce, která obsahuje buď 1,2,4,8,12,24 nebo 48 vláken.

Každá trubička má také svoji barvu a výrobce ke každému kabelu dodává tzv. data sheet, ve kterém jsou uvedeny počty a barvy jednotlivých vláken a trubiček.

Kabelový vzor, neboli „*dral*“, podle kterého jsou počítána jednotlivá vlákna a trubičky, si potom každý operátor určuje svůj vlastní. Díky tomu je při spojování (svařování) vláken jasné, která vlákna jsou i v rozdílných typech kabelů první a jak se počítají další. Příklad konstrukce úložného a samonosného optického kabelu Pirelli viz obr. 1.1

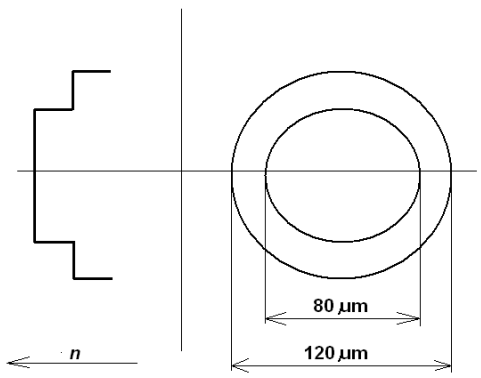


obr. 1.1 - Řez úložným a samonosným optickým kabelem

1.3 PŘENOSOVÉ PARAMETRY

Přenosové vlastnosti a také geometrické parametry vláken jsou specifikovány v doporučeních ITU-T. Konkrétně gradientní vlákna v doporučení G.651, pro jednovidová vlákna na vlnové délce 1310 nm v doporučení G.652, pro jednovidová vlákna na vlnové délce 1550 nm doporučení G.653 [1].

MM vlákna se skokovou změnou indexu lomu (SI) se vyznačují jednoduchou výrobou a manipulací, poměrně jednoduchým konstruováním, ale nevýhodou je větší útlum i disperze a malá přenosová kapacita. Platí, že technické parametry závisí na použitých materiálech a způsobu výroby, buď tavnou metodou (multikomponentní glass-glass) nebo depoziční technikou (silica-silica). Nejdůležitější geometrické rozměry jsou průměr vlákna (0 – 400 μm) a průměr pláště (25 – 500 μm). Měrný útlum [1] u tohoto typu vláken se pohybuje v rozmezí 2,6 – 50 dB/km při vlnové délce $\lambda = 850$ nm. Velký rozdíl v mezních hodnotách je způsoben hlavně použitou metodou výroby, kdy u vláken vyrobených tavnou technologií je to 40 dB/km, ale u vláken vyrobených depoziční technologií je to pouze 5 dB/km. Při vlnové délce 1300 nm je možné dosáhnout u těchto vláken měrného útlumu až 0,4 db/km. Příklad tohoto typu vlákna je na obr. 1.2. [1].



obr. 1.2 - MM vlákno se skokovou změnou indexu lomu

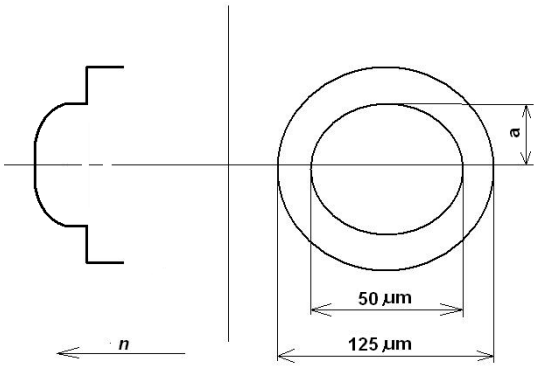
Mnohovidová gradientní vlákna z plynulou změnou indexu lomu (GI) se vyznačují menší disperzí, menším útlumem a částečně složitější výrobou. Z tohoto důvodu také složitějším konstruováním a spojování vláken. Platí, že mohou být vyrobena jak tavnou, tak i depoziční technologií. Většinou se používají kvalitnější skleněné materiály než u klasických MM vláken a proto jsou jejich přenosové charakteristiky lepší z důvodu menších ztrát a menší vidové disperze (viz. kapitola1.1.4). Mají většinou menší průměr jádra (30 – 100 µm), ale geometrické rozměry pláště jsou srovnatelné s MM vlákny, 100 – 150 µm, ovšem mají lepší odolnost proti ohybu. Významným parametrem, jehož hodnoty jsou uváděny ve všech specifikacích optických kabelů je Numerická apertura. Definuje maximální úhel vzhledem k ose vlákna, pod níž mohou paprsky do vlákna vstoupit a šířit se v něm. Tato závislost se vyjadřuje vztahem (3) [1]

$$NA = \sin\Theta_{max} = \sqrt{\left(n_1^2 - n_2^2\right)} \qquad (3)$$

Ustálilo se používání čtyř typů GI vláken :

- 50/125µm s měrným útlumem α <4 dB/km při vlnové délce $\lambda = 850$ nm a 2 dB/km pro $\lambda = 1300$ nm. BxL(součinitel šířky pásma a délky) : > 1000 MHz. km pro $\lambda = 850$ nm a >2000 MHz. km pro $\lambda = 1300$ nm. Numerická apertura NA = 0,18-0,22.
- 62,5/125µm se srovnatelným měrným útlumem jako předchozí typ, doporučeno hlavně v USA. NA = 0,26-0,29.
- 80/125µm s NA= 0,26-0,3. Mohou se používat pro vlnové délky jak $\lambda = 850$ nm tak i pro $\lambda = 1300$ nm. Dříve byl tento typ využíván pro LAN sítě, v současné době se moc nepoužívá.
- 100/125µm s NA = 0,29**,** navrženo pro lepší účinnost navázání světla z LED při $\lambda = 850$ nm, ale mohou se používat i při $\lambda = 1300$ nm. Měrný útlum těchto vláken je 2-10 dB/km při $\lambda = 850$nm, 0,4 dB/km pro $\lambda = 1300$ nm a 0,25 dB/km pro $\lambda = 1500$ nm.

V současné době se i přes relativně nízkou cenu již moc nepoužívá, protože gradientní vlákna byla nahrazena SM vlákny s lepšími přenosovými parametry. Příklad tohoto typu vlákna je na obr. 1.3. [1]

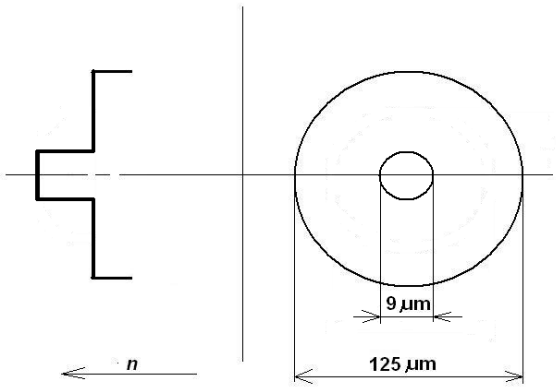


obr. 1.3 - MM vlákno s proměnným indexem lomu

Jednovidová SM vlákna se mohou vyrábět jako vlákna se skokovou změnou indexu lomu nebo jako gradientní za účelem posunutí bodu minimální chromatické disperze. V současnosti jsou ale nejrozšířenější vlákna se skokovou změnou indexu lomu. Vlákna se vyznačují velmi malou disperzí, velmi malým útlumem a vysokou přenosovou kapacitou.
V případech, kdy se index lomu mění skokem, je používáno označení světlovody vrstvené. Podstata přenosu je založena na principu totálního odrazu na rozhraní jádro – plášť.

NA dosahuje pro tento typ vláken hodnot 0,08 – 0,1. Měrný útlum má hodnoty 0,35 dB/km pro vlnovou délku $\lambda = 1310$ nm a 0,25 db/km pro vlnovou délku $\lambda = 1550$ nm, při šířce pásma 10 GHz [1].

Tento typ vláken se používá pro dlouhé trasy a velké přenosové rychlosti a postupně vzhledem ke klesající ceně vytlačuje MM vlákna. Kabely s těmito vlákny jsou velmi často již používány i pro vnitřní instalace v rámci areálů a budov. Příklad tohoto typu vlákna je na obr. 1.4. [1]



obr. 1.4 - SM vlákno se skokovou změnou indexu lomu

2 SPOLEHLIVOST OPTICKÝCH KABELŮ A TRAS

Spolehlivost optických kabelů je jednou z hlavních předností této technologie, protože přenosové parametry prakticky neovlivňují žádné jiné sítě, je možné je tedy pokládat do zemních, závěsných tras a kolektorů v podstatě bez omezení a to samé platí i u vnitřních instalací v objektech. V zásadě jediným omezením je křehkost kabelů a nutnost dodržovat určité poloměry ohybů. Tak, aby byly zaručeny deklarované přenosové parametry kabelů. Na spolehlivosti optických tras (respektive na nespolehlivosti) se v mnohem větší míře než optické kabely samotné podílejí prostředí a způsob instalace těchto kabelů. Přesněji řečeno, jakým způsobem jsou kabely kladeny do výkopů, věšeny na stožáry nebo ukládány do kabelovodů. Za spolehlivostí optických kabelů se schovává velké množství činností, které nejsou vůbec patrné, ale v důsledku jejich zanedbání mohou mít fatální následky a že pokud se někde v tomto poměrně dlouhém řetězci činností, které musí následovat ve stanoveném pořadí a stanoveným způsobem, některý krok zanedbá nebo opomene, může tím být spolehlivost velmi výrazně ohrožena. Následující kapitola se zabývá činnostmi veskrze netechnickými, které jsou ale neméně důležité pro spolehlivou činnost optické přenosové cesty a pro vnímání spolehlivosti přenosu dat po optických kabelech. Tyto činnosti v důsledku zapříčiní to, že se na měřicím přístroji objeví kvalitní výsledky měření optických vláken.

3 PŘÍPRAVA VÝSTAVBY OPTICKÝCH TRAS

Výstavba optických tras probíhá dle standardních postupů, jako tomu je u výstavby ostatních inženýrských sítí. Protože se ale jedná o telekomunikační vedení, je nutné splnit ještě další specifika z toho vyplývající, o kterých se podrobněji zmiňují následující odstavce. Správně zpracovaná projektová dokumentace je totiž základní podmínkou pro kvalitní výstavbu optických tras a tím pádem také zajištění spolehlivosti služeb po nich provozovaných. Základními normami používanými při výstavbě telekomunikačních sítí jsou stavební a telekomunikační zákon a všechny ostatní normy a vyhlášky s ním související.

3.1 STAVEBNÍ ZÁKON

Jedná se o zákon č.183/2006 o územním plánování a stavebním řádu [7], ve kterém se v §1 – Předmět úpravy, odstavec (1)-(3) doslova uvádí, že „ *upravuje podmínky pro výstavbu, rozvoj území a pro přípravu veřejné infrastruktury, ve věcech stavebního řádu zejména povolování staveb a jejich změn, terénních úprav a zařízení, užívání a odstraňování staveb, dohled a zvláštní pravomoci stavebních úřadů, povinnosti a odpovědnost osob při přípravě a provádění staveb*“. Tento zákon dále „*upravuje podmínky pro projektovou činnost a provádění staveb, obecné požadavky na výstavbu, účely vyvlastnění, vstupy na pozemky a do staveb, ochranu veřejných zájmů „*.

Zákon dále stanovuje práva a povinnosti všech účastníků stavební činnosti, požadavky na provedení projektové dokumentace, vlastní realizaci staveb a způsob vyhotovení dokumentace skutečného provedení stavby.

3.2 TELEKOMUNIKAČNÍ ZÁKON

Zákon č.127/2005 o elektronických komunikacích [6] a [8] v odst. 1 „ *upravuje na základě práva Evropského společenství podmínky podnikání a výkon státní zprávy, včetně regulace trhu, v oblasti elektronických komunikací „*. Dále určuje kdo vůbec, za jakých podmínek a jakým způsobem může elektronické služby poskytovat, určuje ceny služeb, pravidla pro přidělování licencí, určuje práva a povinnosti jednotlivých poskytovatelů a koncových zákazníků, dále upravuje postupy pro provádění telekomunikačních staveb, vztahy s majiteli pozemků přes které telekomunikační vedení vedou a všech ostatních činností spojených s výstavbou a provozováním telekomunikační sítě.

3.3 ÚZEMNÍ ROZHODNUTÍ, ÚZEMNÍ SOUHLAS

Jednou z nejdůležitějších součástí stavebního zákona [7] z hlediska záměru provedení stavby je tzv. územní rozhodnutí. V §92 toto zákona se uvádí, že „ *územním rozhodnutím stavební úřad schvaluje navržený záměr a stanoví podmínky pro využití a ochranu území, podmínky pro další přípravu a realizaci záměru, zejména pro projektovou přípravu stavby, rozhodne zde o námitkách účastníků řízení, v odůvodnění vyhodnotí připomínky veřejnosti a stanoví dobu platnosti rozhodnutí* “. Platnost územního rozhodnutí je obvykle 2 roky. Územní rozhodnutí je tedy základním předpokladem pro vybudování jakékoliv telekomunikační stavby. Jedná se o soubor mnoha činností, kdy je nutné v součinnosti s místně příslušným stavebním úřadem obeslat všechny účastníky územního řízení. Všichni majitelé dotčených nemovitostí, všichni majitelé inženýrských sítí a všechny orgány státní zprávy a samosprávy jsou žádáni o vyjádření k příslušné stavbě.

Následně je nutné veškeré jejich případné připomínky zapracovat do projektové dokumentace a tuto následně předložit ke schválení stavebnímu úřadu. V případě souhlasu vydá územní rozhodnutí, které pokud se nikdo během 30 dnů od vystavení územního rozhodnutí neodvolá, nabude právní moci a lze příslušnou telekomunikační stavbu podle tohoto rozhodnutí provést. V některých případech je nutnost vyřízení tohoto rozhodnutí (či její zjednodušené formy – územního souhlasu viz zákon 183/2006 §96 odst. 1-8), hlavní překážkou provedení stavby, protože časová náročnost se pohybuje v rozmezí 8-10 měsíců. (dle konkrétní polohy stavby a jednotlivých požadavků účastníků územního řízení) a tak dlouho dobu nejsou někteří odběratelé ochotni čekat.

3.4 VĚCNÁ BŘEMENA

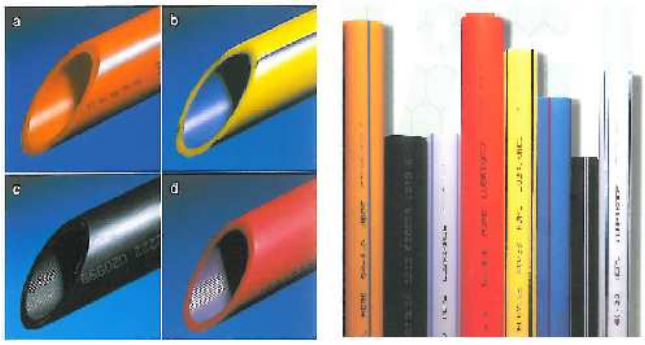
Další velmi důležitou součástí projektové činnosti před vlastní realizací stavby je uzavření smlouvy o smlouvě budoucí o uzavření věcného břemene (Vbř) se všemi majiteli dotčených nemovitostí. Věcné břemeno je věcné právo, které omezuje vlastníka nemovité věci ve prospěch jiného tak, že vlastník je povinen něco trpět, něco konat nebo něčeho se zdržet. Práva odpovídající věcným břemenům řadíme mezi věcná práva k věci cizí (spolu např. se zástavním právem a zadržovacím právem). Hovoří o tom zákon [6] §104 v odst. 3, ve kterém se uvádí, že *„ uzavře podnikatel zajišťující veřejnou komunikační síť s vlastníkem dotčené nemovitosti písemnou smlouvu o smlouvě budoucí o zřízení věcného břemene k části dotčené nemovitosti za jednorázovou náhradu a po ukončení výstavby a zaměření polohy vedení smlouvu o zřízení věcného břemene ke skutečně dotčené části nemovitosti „*, nebo jinou písemnou smlouvu. Ač se to na první pohled nezdá, tento akt výrazně ovlivňuje spolehlivost optických tras, především těch podzemních, protože nejvíce poškození sítí vzniká v důsledku toho, že stavebník ani nevěděl, že v místě jeho zamýšlené stavební činnosti nějaké optické kabely vedou. Pokud ale jsou obě smlouvy řádně uzavřeny a věcné břemeno je řádně vloženo do katastru nemovitostí, je vyznačeno přímo v listu vlastnickém u daného pozemku a i vlastník pozemku má za povinnost respektovat určité ochranné pásmo kolem vedení, nesmí zde mimo jiné instalovat trvalé stavby, vysazovat vzrostlé křoviny a stromy, které by mohli svým rostoucím kořenovým systémem vedení poškodit a dále také musí majitel umožnit vstup na pozemek za účelem servisu a případné opravy vedení pracovníkům telekomunikační společnosti, se kterou smlouvy o věcném břemeni uzavřel. Navíc je pro další projektovou činnost již dané, že na tomto konkrétním pozemku optické kabely vedou a tím se výrazně snižuje riziko poškození. Tato povinnost však platí až od roku 2006, do této doby nebylo zákonem nařízeno uzavření Vbř a tak se v praxi většinou stane, že pozemek koupí nový majitel a je zaděláno na problém.

4 REALIZACE VÝSTAVBY OPTICKÝCH TRAS

Pokud je vydáno územní rozhodnutí a nabude právní moci, může se začít kopat, případně třeba stavět stožáry či sloupy anebo zatahovat do kolektorů nebo kabelovodů. Pro všechny tyto následné činnosti existují jednak zákonem stanovené postupy, ale také další podzákonné normy. Tyto například určují v případě ukládání kabelů šířky a hloubky výkopů v jednotlivých typech povrchů (tráva, chodník, silnice …) a také třeba v jaké vzdálenosti se smí pokládat jednotlivé typy vedení do jednoho výkopu, jestli je nutné některé vedení ukládat do chrániček či je nějakým způsobem ještě dodatečně odstiňovat proti nežádoucímu ovlivňování jinými typy vedení (nejčastěji VN kabely) atd. Činnosti při výstavbě optických tras lze rozdělit na dva hlavní druhy, na zemní práce a na optické práce.

4.1 ZEMNÍ PRÁCE

Optický kabel není do zemních tras nebo kabelovodů ukládán samostatně, ale je vždy uložen do tzv. HDPE trubky, v případě kolektorů či zvláštního přání zákazníka do LSPE nehořlavé trubky. Tyto trubky mají většinou vnější průměr 32 až 50mm, kabel chrání proti mechanickému poškození a vlivům prostředí. Zároveň svými mechanickými vlastnostmi zajišťují, aby poloměry ohybů kabelů nepřekročili hodnoty, které by mohli nepříznivě ovlivnit přenosové parametry kabelu, protože pokud se při ohýbání ve výkopu zlomí HDPE, to stejné se stane i s kabelem. Mohou mít různou barvu, podle požadavku konkrétního operátora. Existuje nepsaná dohoda, že jednotlivý operátoři používají stále stejné barvy HDPE trubek a tedy je možno v místě, kde se setkávají nebo kříží trasy více operátorů, jednoduše rozpoznat, která trubka patří konkrétnímu operátoru. Navíc jsou trubky již z výroby opatřeny popisem v několika důležitými údaji na povrchu trubky viz obr. 4.1 a obr. 4.2, aby byla identifikace podle barvy ještě podpořena dalšími údaji.



obr. 4.1 - HDPE trubky

obr. 4.2 - Popis HDPE trubky

4.1.1 Výkopové práce

Výkopové práce zahrnují všechny přípravné činnosti pro instalaci optických kabelů. Jsou to tedy výkopy kabelových rýh, ať už strojové nebo ruční, výkopy pro výstavbu stožárů a sloupů nebo výstavbu kabelovodů případně jiných konstrukcí na které je optický kabel ukládán nebo věšen. Výkopy kabelových rýh se řídí normou ČSN 730005, ve které jsou uvedeny jednak nejmenší dovolené vzdálenosti při souběhu a křížení různých typů sítí s telekomunikačními kabely [4] a také minimální dovolené krytí podzemních sítí v jednotlivých površích [5], tak aby nedošlo vlivem pohybu osob a strojů k poškození kabelů viz tab. 1.

tab. 1 - Minimální hodnoty krytí podzemního vedení

Optický kabel / Povrch	chodník	komunikace	volný terén
Přístupová síť (místní)	0,4 m	0,9 m	0,6 m
Transportní síť (dálková)	0,5 m	1,2 m	1,3 m

Touto normou se řídí už projektant, při zákresu trasy plánované trasy výkopu do terénu a podle jejich hodnot se také kontroluje, zda jsou výkopy provedeny v pořádku. Pro uložení trasy pod komunikaci se vždy ukládají HDPE trubky do silnostěnné nebo vrapované chráničky, z důvodu zabránění mechanickému poškození kabelů v místě, kde se předpokládá zvýšené zatížení trasy automobilovou dopravou. Po provedení výkopů je možno provést pokládku.

4.1.2 Pokládka

Pokládka HDPE trubek se provádí buď do tzv. pískového lože, kdy se na dno kabelu nasype jemný říční písek o určité tloušťce vrstvy a až do něj se uloží HDPE, nebo pokud je zemina vhodná, tak se pískové lože neprovádí a pokládají se rovnou HDPE trubky. Každý výkop má projektantem určenou skladbu vrstev a vzorové řezy výkopů jsou součástí projektů. viz obr. 4.3

.

obr. 4.3 - Příklad vzorových řezů pro výkopy kabelových rýh

Po provedení pokládky HDPE trubek se výkop zasype dle vzorového řezu a provede se hutnění po vrstvách, tak, aby se výkop po několika málo měsících nepropadnul. U většiny staveb jsou již dnes požadovány zkoušky hutnění, kde je autorizovanou laboratoří změřeno, že hutnění výkopu je dostatečné. Hutnící protokol je součástí předávacích dokladů ke stavbě podzemní optické trasy.

V rámci pokládky kabelů do kolektorů se kabely ukládají na tzv. kabelové lávky, ke kterým jsou většinou přichyceny PVC páskami, tak aby se zamezilo jejich pohybu či spadnutí. Na závěsných samonosných trasách jsou kabely věšeny nejčastěji pomocí montážních plošin na jednotlivé sloupy, dle interních směrnic pro výstavbu sloupových tratí jednotlivých provozovatelů těchto vedení.

4.2 OPTICKÉ PRÁCE

Po dokončení všech přípravných zemních prací se pokračuje pracemi spojenými s instalací optických kabelů, jejich zafukování do HDPE trubek, spojování a ukončování na optické rozvaděče, případně jejich montáž na stožáry a sloupy nebo zafukování tras v kolektorech dle jednotlivých projektů.

4.2.1 Zafukování

Podstatou této metody je využití vlastností velkého průtoku vzduchu vnitřkem HDPE trubky nebo mikrotrubičky, kabel je tímto proudem vzduchu nadnášen a je tak eliminováno jeho tření po vnitřních stěnách trubky nebo mikrotrubičky.

Do HDPE trubek lze zafouknout buď samotný optický kabel, ale také mikrotrubičky, do kterých se až následně zafukují optické kabely. Mikrotrubiček se využívá především při výstavbě FTTx sítí, kde je možno díky této technologii využít plně kapacitu HDPE a využít možnosti odbočování pouze jednotlivých mikrotrubiček a nikoliv celých HDPE trubek. Zafukování optických kabelů nebo mikrotrubiček je metoda, díky které se dají zatáhnout optické kabely do trubek HDPE nebo mikrotrubiček na dlouhou vzdálenost a to bez mechanického namáhání kabelu v tahu. Na obr. 4.4 vlevo je zařízení Cablejet pro zafukování optických kabelů do HDPE a vpravo zařízení Superjet Hydraulic pro zafukování kabelů do mikrotrubiček. Výhodou této metody je značná úspora času montážních techniků, protože se kabel může zafouknut v celé délce HDPE trubky nebo mikrotrubičky. Podle stavu HDPE a členitosti trasy je možné zafouknout najednou úsek o délce až 3 km.

obr. 4.4 - Přístroje pro zafukování optických kabelů

Pomocí těchto zařízení lze i přifukovat nové kabely do HDPE trubek a mikrotrubiček, ve kterých je již nějaký optický kabel instalován. Odbočení se provádí u

HDPE osazením plastové komory nebo podzemního boxu, ve kterém se provede přímo spojka na kabelu a několik trubiček či vláken se provaří na odbočný kabel anebo se provede pouze propojení HDPE v komoře na Y člen viz obr. 4.5 a navedení nového kabelu do odbočné části trasy. Spojování HDPE se provádí ve výkopech nebo i v ostatních instalacích pomocí spojek Plasson viz obr. 4.5, které jednak zajistí tlaku těsnost trubek a také dodržení neměného průměru trubky ve spojovaném místě.

obr. 4.5 - Y člen pro HDPE a spojka Plasson

4.2.2 Spojování optických vláken

Spojování optických vláken se provádí tzv. svařováním. Spojování optických kabelů nelze provádět na libovolném místě zemní kabelové trasy jako je tomu např. u metalických kabelů, ale v přesně již v projektu stanovených místech, ve kterých je potřeba provést odbočení z hlavní trasy, nebo v místě, kde je potřeba provést provaření kabelů z důvodu napojení navazující kabelové délky. Kabelové délky se vyrábějí o maximálních délkách 6 až 8 km, ve výjimečných případech do 10 km. Optická kabelová spojka nemůže být v zemní trase uložena samostatně do výkopu, ale ukládá se do plastových boxů OKOS nebo plastových podzemních nebo povrchových komor viz obr. 4.6. U ostatních typů instalací se spojky umisťují na zdi kolektorů nebo kabelovodů, případně na sloupy závěsné trasy.

obr. 4.6 - OKOS + plastová komora

K samotnému svařování se používá elektrický oblouk, který je generován ve svářečce optických vláken viz obr. 4.7 vpravo. Vlákna se nejdříve zbaví veškeré izolace, následně se odmastí a zbaví všech nečistot pomocí etylalkoholu. Dále se zalomí v tzv. zalamovačce, proto aby byl lom maximálně kolmý k ose kabelu. Vloží se do svářečky s určitým přesahem. Svářečka umožňuje zvětšení svařovaných vláken. Tak, aby bylo možné je pro svařování optimálně do svařovacích čelistí uložit. Důležité je nezapomenout přes jedno svařované vlákno převléct ochranu svárů, což je malá plastová trubička, do které se hotový svár zataví. Svářečka sama vyhodnotí, zda jsou vlákna na svařování

správně připravena a pokud ano, tak se provede svár, který si svářečka z hlediska útlumu okamžitě vyhodnotí. Nezřídka se stává, že je měrný útlum sváru moc vysoký a je nutné vlákno znovu zlomit a celou proceduru opakovat. Proto se vlákna zbavují izolace na delším úseku, většinou 2-3 metry. To je zejména z důvodu opětovného převařování třeba na nově zatažený kabel do spojky někdy v budoucnu. Sváry se zapečenou ochranou se ukládají do tzv. kazet viz obr. 4.7.

obr. 4.7 - Svářečka optických vláken a optická kazeta

Optické spojky jsou vyráběny v mnoha tvarech a druzích. V úložných trasách a pro instalace do kolektorů se nejčastěji používají tzv. hrncové UCNCP spojky s kazetami uloženými uprostřed viz obr. 4.8. Jsou to univerzální spojky vyrobené ze zesíleného plastu, který je odolný vůči mechanickému, chemickému i klimatickému poškození. Výhodou tohoto typu spojek je i snadná montáž a demontáž bez nutnosti použití speciálních nástrojů, snadná manipulace s kabely a vlákny ve spojce. Vývodky kabelů ze spojky jsou také opatřeny teplem smrštitelnými koncovkami, což zabrání pronikání vody do spojky podél kabelů. Pro vnitřní instalace v rámci FTTx sítí jsou tyto spojky doplněny ještě o různé typy a druhy nástěnných optických spojek, které se podobající elektrorozvaděčům viz obr. 4.9.

obr. 4.8 - Hrncová spojka bez pláště

obr. 4.9 - Nástěnná spojka

Poslední částí optické trasy jsou optické rozvaděče. Zde opět existuje mnoho různých výrobců a proto také mnoho druhů a typů. U páteřních kabelů se používají optické rozvaděče, které se osazují do tzv. racků viz obr. 4.8, což jsou většinou velké plechové rozvaděče, které jsou nainstalovány již přímo v různých ústřednách, server- roomech a data sálech a z nichž jsou již osazeny jednotlivé rozvaděče viz obr. 4.9 a aktivní prvky a zařízení, která už s přenesenými signály po optických kabelech dále pracují. Pro domovní instalace v rámci FTTx sítí se používají menší nástěnné rozvaděče, které se umísťují do stoupaček, na chodby nebo do jednotlivých bytových jednotek. Do těchto rozvaděčů jsou

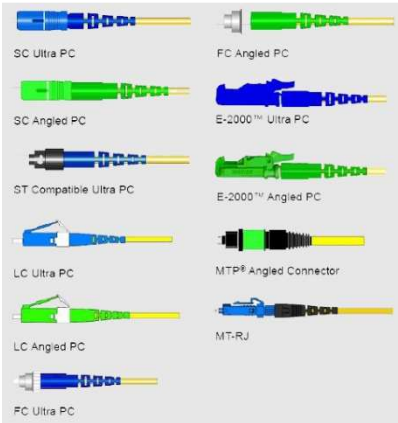
přivedeny optické kabely, jsou zbaveny izolace a na každé vlákno, které má být na rozvaděči ukončeno, je navařen tzv. pigtail. Pigtail je v podstatě krátký optický kabel o délce 3m na jehož jednom konci je již osazen optický konektor určitého druhu a druhý konec má volný viz obr. 4.10.

obr. 4.8 - Rack

obr. 4.9 - Optický rozvaděč páteřní

Na tento volný konec se opět pomocí optické svářečky vláken navaří konec odizolovaného vlákna z přivedeného kabelu, čímž se dosáhne nakonektorování vlákna, které se následně zacvakne nebo přišroubuje na konektor na rozvaděči a po montážní stránce je akce hotová. Každý typ konektoru se vyznačuje určitým vzhledem, barvou a od ostatních druhů mírně odlišnými elektrickými vlastnostmi viz obr. 4.11. Nejsou vzájemně zaměnitelné, konektor jednoho typu se nedá zasunout do konektoru na rozvaděči jiného druhu. A pokud se to i podaří, tak už se pravděpodobně nepovede ho vytáhnout, nehledě k tomu, že hodnota útlumu na takovémto spoji nebude odpovídat předpokládaným parametrům. Volba typu konektorů je vždy na jednotlivých provozovatelích sítě, rozhoduje především cena a měrný útlum na konektoru, v současné době je asi nejpoužívanější typ konektoru E2000/APC pro svůj nízký útlum na konektoru (do 0,2 dB).

obr. 4.10 - Pigtail s konektorem E2000/APC



obr. 4.11 - Nejpoužívanější konektory

5 MĚŘENÍ

Nedílnou součástí výstavby a provozování optických sítí je jejich měření. V rámci měření parametrů optických kabelů resp. optických vláken, je možné měřit různé parametry, dle požadavku objednatele (zákazníka) či vlastníka optické infrastruktury. Pro přenosová měření na optických vláknech lze měření rozdělit na: měření útlumu, disperze, polarizační módové disperze, zpětného rozptylu a měření šířky pásma [1]. Každé měření je specifickým měřením určité vlastnosti světla procházejícího vláknem a ke každé je potřeba většinou i jiný měřicí přístroj. Pro účely praktického měření v rámci této bakalářské práce bylo provedeno měření útlumu a délky SM optických vláken, proto se o těchto metodách v následujícím textu zmíním rozsáhleji.

5.1 MĚŘENÍ ÚTLUMU

Útlum představuje základní a nejdůležitější parametr každého optického vlákna. Jeho hodnota vypovídá o kvalitě vlákna jako takového i o kvalitě optické trasy jako celku a jeho jednotlivých částí (svárů, konektorových spojů atd.).
Útlum a měrný útlum vlákna se vypočte dle vztahů (4) a (5) [1].

$$A(\lambda) = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \quad \text{(dB)} \tag{4}$$

Kde P_1 a P_2 jsou výkony (W) při vlnové délce λ.
V praxi se často používá i koeficient útlumu (měrný útlum), což je útlum vztažený na jednotku délky *l* dle vztahu [1]

$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{l} \quad (\text{dB.km}^{-1}) \tag{5}$$

Příčiny útlumu optických vláken lze rozdělit na dvě základní skupiny. Jsou to útlumové ztráty vyplývající z vlastností materiálů, ze kterých jsou vlákna vyrobena. Tyto tzv. **materiálové ztráty** jsou způsobeny absorpcí záření na optickém vlákně a jeho rozptylem na nehomogenitách materiálu nebo poruchami geometrické struktury vlákna. Ztráty absorbcí v ultrafialové a viditelné oblasti jsou způsobeny přechody mezi atomárními a v infračervené oblasti mezi molekulárními úrovněmi základního materiálu, příměsí a nečistot. Nejvíce se projevuje vliv iontů kovů Fe, Cu, Cr, jejichž rezonance se projevuje tepelnými ztrátami. Rezonanční kmitočet OH iontů, které se největší měrou podílejí na ztrátách, odpovídá vlnové délce 2,8 μm, takže leží mimo pásmo používané pro přenos na optických kmitočtech. Druhá harmonická 1,38 μm a třetí harmonická 0,94 μm spadají do oblasti využívaných pásem [1]. Především pro vlnovou délku 1,38 μm (přesněji 1383 nm se ustálil název „water peak“), se zvýšený útlum projevoval velmi výrazně, jak je patrné z průběhu charakteristiky kabelu bez eliminace OH iontů na obr. 5.2. Bránil tak využívání pásma kolem této hodnoty pro přenos informací po optických vláknech. Avšak s vyspělejšími technologickými postupy při výrobě optických vláken se stále menším zastoupením nežádoucích příměsí byl tento problém odstraněn, zvýšení útlumu se podařilo eliminovat a na vláknech s eliminací OH iontů se toto pásmo pro provoz již běžně používá viz obr. 5.2.

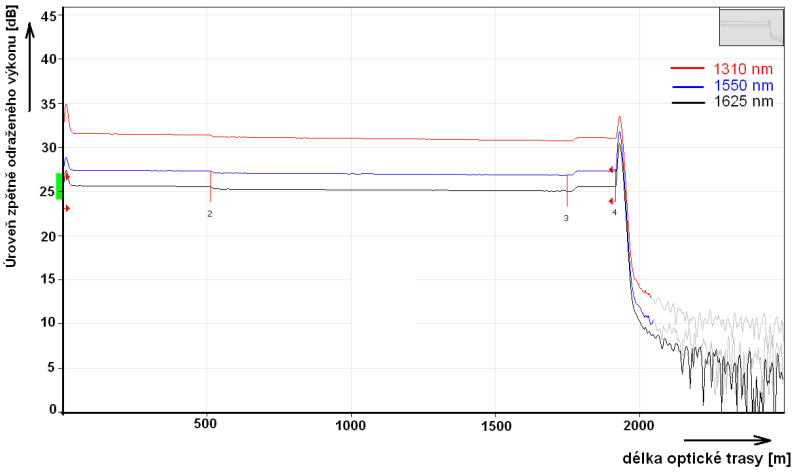
Pro telekomunikační vlákna, která mají mít malý celkový útlum, musí být absorbční ztráty menší než 1dB/km. Dosažení této hodnoty klade velmi přísné požadavky na technologii výroby vláken, především na čistotu vstupních surovin.

Další skupinou materiálových ztrát tvoří ztráty rozptylové. V optických vláknech se uplatňuje především Rayleighův rozptyl, což je rozptyl na nehomegenitách (materiálových vadách) rozměrově menších než je vlnová délka optického záření. Tento rozptyl je základní fyzikální jev, který se vyskytuje v každém optickém prostředí a nelze jej žádným způsobem odstranit. Ztráty způsobené Rayleighovým rozptylem představují teoretickou minimální mez útlumu, jsou nepřímo úměrné čtvrté mocnině vlnové délky záření a lze je vyjádřit vzorcem [1]

$$\propto_R = \frac{C_1}{\lambda^4} \quad (-) \qquad (6)$$

kde C_1 je koeficient Rayleighova rozptylu, jehož hodnota závisí na složení materiálu skla. Pro čisté křemenné sklo má hodnotu $C_1 = 0{,}802 \times 10$ dB m^3 . [1]

Druhou skupinu představují tzv. **radiační ztráty**, které jsou způsobeny poruchami vlnovodné struktury vláken [3]. Žádné skutečné optické vlákno nepředstavuje ideální válcovou a podélně homogenní vlnovodnou strukturu. Již při každé jednotlivé části výroby optického vlákna vznikají nepatrné podélné fluktuace vlnovodné struktury. Dále jsou to vnější faktory například změna teploty nebo mechanické namáhání mohou vést ke vzniku mikroohybů. Mikroohyby vedou k poruše podmínek šíření základního vidu v jednovidovém vlákně. Projevuje se to částečnou ztrátou energie vedených vidů a zvýšením útlumu. K radiačním ztrátám může docházet i z důvodu tzv. makroohybů. Tyto mohou vzniknout především při montáži optické trasy, při ukládání rezerv vláken do spojek nebo tažení kabelů v rozích místností atd. Radiační ztráty způsobené mikro a makro ohyby se snaží výrobci eliminovat vhodnou konstrukcí optických kabelů, ale i přes vhodnou konstrukci je nutné důsledně dodržovat doporučení výrobců ohledně montáže optických kabelů. Radiační ztráty takto způsobené totiž přímo úměrně závisí na vlnové délce záření. S rostoucí vlnovou délkou rostou i radiační ztráty. Příčinou této závislosti je spektrální závislost průměru vidového pole. Průměr vidového pole se s rostoucí vlnovou délkou zvětšuje. Pole základního vidu tak pro vyšší vlnové délky zasahuje podstatně dále do oblasti pláště a může být proto snadněji vyvázáno vlivem makro a mikroohybů z vlákna ven. Při měření se tak nejrůznější nehomogenity trasy (mikroohmy, makroohyby, spojky, konektory atd.) projeví na každé vlnové délce jiným útlumem [3].



obr. 5.1 - Měřící protokol z reflektometru s více vlnovými délkami

Proto se také provádí měření optických kabelů na více vlnových délkách. Nejčastěji na 1310nm a 1550nm, ale v poslední době také na vlnové délce 1625nm, právě z důvodu největší citlivosti na případné ohyby a jiné nehomogenity v trase. Novější typy reflektometrů již umožňují měření i na této vlnové délce viz obr. 5.1.

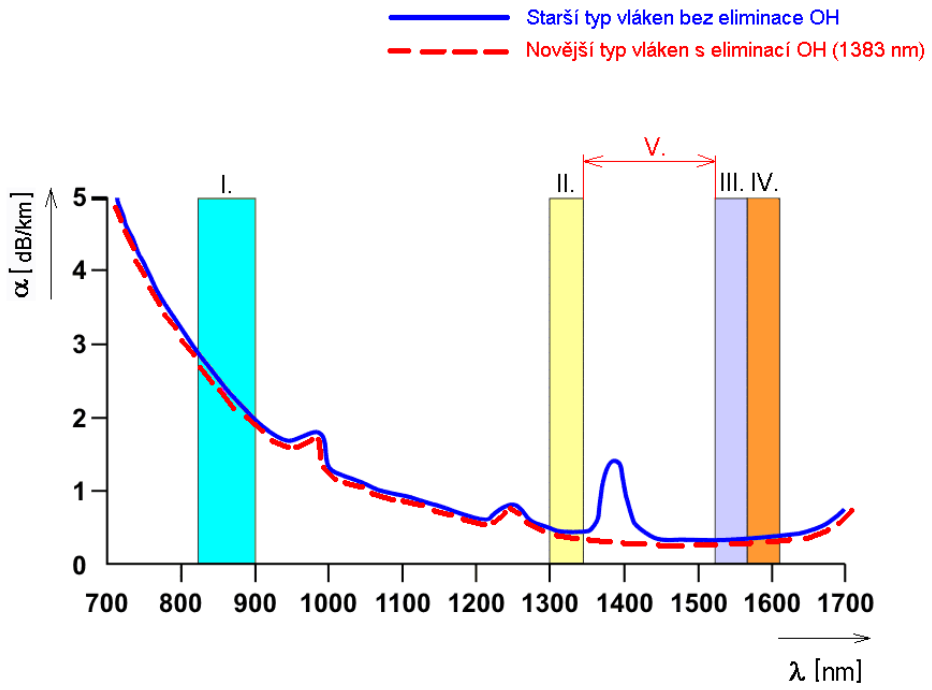
V současné době se již pro všechny instalace používají kabely, které mají potlačen vliv OH iontů a pro útlumovou charakteristiku těchto vláken je definováno 5 vlnových oken viz obr. 5.2, na kterých je možné realizovat optickou komunikaci.

Okno I. (850 nm) se používá převážně pro MM optiku, protože hodnoty útlumu pro přenos na větší vzdálenosti jsou příliš vysoké.

Okno II (1280 – 1335 nm) bylo první okno využívané pro přenos přes SM vlákno, kdy při hodnotě útlumu 0,35 dB/km lze již velmi dobře realizovat komunikaci na větší vzdálenosti.

Okno III (1530 – 1565 nm) a okno IV (1565 – 1625 nm) – hodnota útlumu v této části charakteristiky dosahuje minima, typicky hodnot 0,2 – 0,25 dB/km, proto jsou tyto okna využívány pro dálkové přenosy a WDM technologie v rámci páteřních a globálních optických sítích, protože sloučením okem III a IV lze téměř zdvojnásobit přenosovou kapacitu.

Okno V (1335 – 1530 nm) – se stalo dostupným právě až s nástupem dokonalejších optických kabelů s potlačeným vlivem OH iontů kolem water peaku a lze toto okno použít stejně jako okna III a IV k dálkovým přenosům [3].



obr. 5.2 - Útlumová charakteristika optického vlákna

Samotné měření se provádí ve většině případů oboustranně, tzn. z obou resp. ze všech konců a nakonec se náměry vzájemně průměrují a vyhodnocuje se, zda má měřená trasa či úsek stanovené parametry - především útlum spojů, tedy svárů ve spojkách nebo konektorů na rozvaděčích. Norma ČSN EN 188000 doporučuje tři standardní metody měření. Je to metoda dvou délek - **cut-back** (viz kapitola 5.1.1) , metoda vložných ztrát - **insertion loss** (viz kapitola 5.1.2) a metoda měření zpětného rozptylu - **backscattering method** (viz kapitola 5.1.3). První dvě metody využívají ke stanovení útlumu zdroj záření

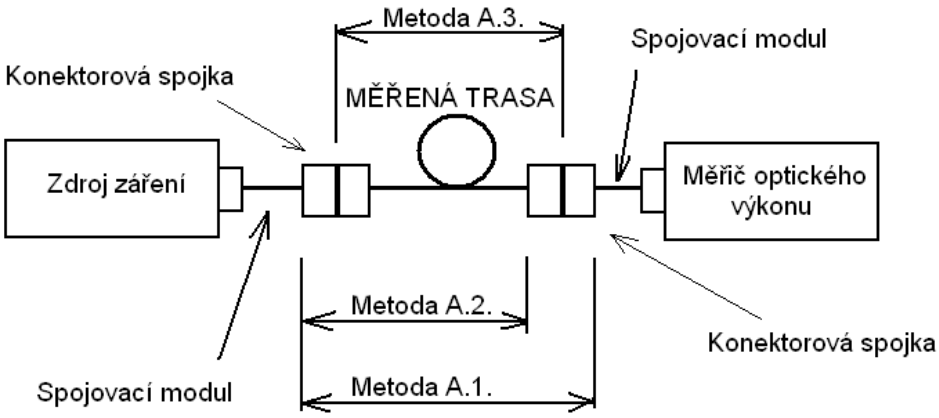
a měřič optického výkonu a jsou označovány jako transmisní (přímé) metody. Třetí metoda je založena na měření zpětného rozptylu optickým reflektometrem a je proto označována jako metoda optické reflektometrie v časové oblasti (Optical Time Domain Reflectometry), odtud zkratka OTDR [1].

5.1.1 Metoda dvou délek

Tato metoda je pro svoji přesnost používána jako metoda referenční a to i přes to, že se jedná o metodu destrukční. Po navázání optického výkonu ze stabilizovaného zdroje se zapojenou vnitřní nebo vnější vysílací jednotkou do měřeného vlákna o délce l se na konci vlákna změří výkon P_2. Při nezměněných podmínkách vazby se zlomí vlákno přibližně 2m od počátku v místě l a změří se výkon P_1 [3]. Útlum se následně vypočítá ze vztahů (4) a (5). Vzhledem k jejímu destruktivnímu charakteru je převážně vhodná pro laboratorní měření.

5.1.2 Metoda vložených ztrát

Metoda vložených ztát je metoda provozní a je vhodná pro vlákna osazená konektory. Je to metoda nedestruktivní, což je ale vykoupeno, v porovnání s metodou dvou délek, menší přesností. Jedná se o metodu dvojstupňovou. Nejprve je potřeba nastavit referenci měřící soupravy. Podle způsobu reference rozlišujeme tři varianty metody vložených ztrát. Je to metoda A.1 s jedním měřícím spojovacím modulem, metoda A.2 se dvěma měřícími spojovacími moduly nebo metoda A.3 se třemi měřícími spojovacími moduly viz obr. 5.3.[3]. Pro omezení rozdílů ve vazebních ztrátách, které jsou hlavní příčinou nepřesností měření je nutné použít referenční vlákno, které se svými parametry co možná nejvíce blíží parametrům vlákna měřené trasy. Ve variantě s jedním spojovacím modulem obsahuje výsledek měření nejen útlum kabelu, ale i vložený útlum obou optických konektorů. Pokud použijeme referenci se dvěma spojovacími moduly je ve výsledku měření zahrnut útlum kabelu a vložený útlum jednoho optického konektoru. Při zvolení třetí varianty se třemi spojovacími moduly je výsledek měření shodný s útlumem kabelu bez konektorů [3].



obr. 5.3 - Tři varianty nastavení reference měřící soupravy

Po provedení reference následuje druhý krok, v závislosti na použité metodě, odpojení příslušných spojovacích modulů a připojení k měřené trase. Při této činnosti nesmí dojít k přerušení optické vazby na zdroji záření nebo poškození spojovacího

modulu. Pokud by k tomuto došlo, je potřeba provést referenci znovu, aby byly zajištěny správné výsledky měření.

Přímým propojením zdroje záření a měřiče výkonu pomocí referenčního vlákna dostaneme hodnotu P_1.V druhém kroku se místo referenčního vlákna zapojí měřená trasa a na jeho výstupu se odečte hodnota P_2. Útlum nebo koeficient útlumu se vypočítá opět ze vztahů (4) a (5). V praxi se také provádí měření tzv. čtyřstupňové, kdy je na každé straně umístěn jak zdroj, tak i přijímač (měřič výkonu). Z takto získaných hodnot lze vypočítat provozní útlum vlákna dle vztahu (7) [1]

$$A = \sqrt{\frac{(P_{12} * P_{21})}{(P_{11}) * P_{22}}} \quad (-) \qquad (7)$$

Dle mých praktických zkušeností se tato metoda společně s metodou zpětného rozptylu používá nejčastěji pro závěrečné měření, jak pro nově sestavené optické trasy, tak také pro měření stávajících tras. V rámci vypravování praktické části mojí bakalářské práce jsem právě měření metodou vložených ztrát pomocí přístroje FOT 930 (zapůjčené z firmy ProFiber Praha), zvolil jako referenční, jednak pro měření útlumu jednotlivých optických tras, ale také pro měření délky trasy, protože tento přístroj je atypicky vybaven i modulem, který měření délky optické trasy umožňuje. Bližší popis funkcí přístroje je uveden v praktické části této práce, v kapitole 8.2.1.

5.1.3 Metoda zpětného rozptylu - OTDR

Tato metoda pro měření útlumu vlákna je efektivním prostředkem pro diagnostiku optických vláken, poskytuje detailní obraz o útlumu a případných změnách geometrických a fyzikálních parametrů vlákna včetně lokalizace závad a je založena na zcela odlišném principu [1].

U obou předešlých případů byl měřen optický výkon pro průchodu vláknem. U této metody se vyhodnocuje časová závislost zpětného rozptýleného optického výkonu P při šíření impulsu ve vlákně, což poskytuje informaci o kvalitě celého vlákna v závislosti na jeho délce.

Zpětně rozptýlené světlo detekované u jeho vstupu pochází jednak z Fresnelových odrazů [1] od nespojitosti indexu lomu, dále z Rayleighova [1] rozptylu na mikroskopických fluktuacích indexu lomu skla. Množství zpětně rozptýleného světla je přímo úměrné procházejícímu optickému výkonu. Změna intenzity zpětně rozptýleného světla umožňuje měření útlumu vlákna.
Útlum homogenního úseku vlákna lze vypočítat dle vztahu (8) [1].

$$A(\lambda) = 5 \log \frac{P_1}{P_2} \quad (\mathrm{dB}) \qquad (8)$$

útlum spojky stanovíme ze vztahu (9) [1].

$$A_s = P_1 - P_2 - a_2 \quad (\mathrm{dB}) \qquad (9)$$

kde a_2 je útlum továrních protokolů na konkrétní délku a přenosovou vlnovou délku

a měrný útlum dosazením do vztahu (9) do vztahu (7).

Z časového zpoždění odrazu od zadního konce vlákna vůči odrazu od vstupního konce vlákna lze určit délku. Analýzou zpětně rozptýleného světla můžeme získat obraz o

homogenitě vlákna. K velkým přednostem metody patří její nedestruktivní charakter a možnost měření z jednoho konce vlákna [1]. Avšak pro dosažení co možná největší přesnosti měření je nejvhodnější provést měření z obou stran a následně obě měření zprůměrovat.

5.2 MĚŘENÍ DÉLKY VLÁKNA

Přesnost měření vzdálenosti, případně lokalizace poruchy závisí na přesnosti časové základny, neurčitosti indexu lomu, počtu vzorkovacích bodů a výrobní toleranci délky optického vlákna v přístroji. U běžných přístrojů je tato přesnost řádově ± (1 m + 0,0025% x měřená vzdálenost), tj. při měření trasy o délce 10 km je to ± 1,25 m. Při měření délky vlákna je obvykle zdrojem největších chyb nepřesnost při určení indexu lomu vlákna pro danou vlnou délku. Při měření vzdálenosti na optickém kabelu je nutné přihlédnout k tomu, že změřená hodnota je délka vlákna, která je obvykle delší než délka samotného kabelu. Tento poměr délky vlákna k délce kabelu výrobci uvádějí v tzv. Helix (kabelový) faktor. Typicky tato hodnota do hodnot do 5%. Tedy, že skutečná délka vlákna je maximálně o 5% větší, než je celková délka kabelu. Kabelový faktor lze vypočítat dle vztahu (10) [3]

$$K_F = \frac{L_{kabel}}{L_{vlákno}} \quad (-) \tag{10}$$

V rámci měření délky kabelu jsou možné tři postupy, podle toho, které údaje od výrobce kabelu dostaneme.
Výrobce udává index lomu vlákna i kabelový faktor. V tomto případě délku kabelu vypočítáme z vztahu (11)

$$L_{kabel} = L_{vlákno} * K_F \quad (\mathrm{m}) \tag{11}$$

Nebo výrobce udává index lomu vlákna i kabelový faktor, ale do přístroje nelze zadat kabelový faktor. V tomto případě lze zadat do přístroje upravený (zvětšený) index lomu podle vztahu (11) [3]

$$N = \frac{n_{vlákna}}{\mathrm{K}_F} \quad (-) \tag{12}$$

Případně může nastat poslední případ, kdy výrobce udává délku kabelu i jeho „více délku“, např. 1,75%. Pro tento případ se kabelový index vypočte ze vztahu (13) [3]

$$K_F = 1\text{-}0{,}0175 \quad (-) \tag{13}$$

a délku kabelu lze vypočíst dle vztahu (10) nebo (11)

5.3 REFLEKTOMETR - POPIS

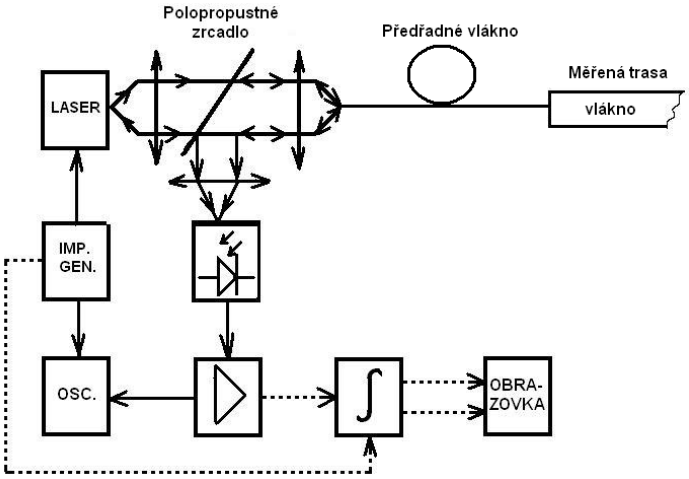
Reflektometr se skládá ze zdroje optických impulsů, optického systému pro rozdělení světelného svazku a z optického přijímače s vyhodnocením časového rozdílu odeslaného a přijatého impulsu viz obr. 5.4.

Zdrojem optických impulsů je polovodičový laser o výkonu 5-15 mW. Optický systém s čočkami a s polopropustným zrcadlem slouží k navázání optického výkonu do

vlákna a přivedení odraženého světla zpět k detektoru, takže poměr je 1:1, 50% optického výkonu je při průchodu optickým děličem pro měření ztraceno [1].

Další důležitou součástí měřícího systému je předřadné vlákno. Předřadné vlákno používáme především ze dvou důvodů. Můžeme se vyhnout vlivu počátečního odrazu na vstupním konektoru měřicího přístroje, protože začátek měřeného vlákna je posunutý o délku předřadného vlákna. Délka předřadného vlákna je obvykle 500 m nebo 1000 m. Druhým důvodem použití předřadného vlákna je to, že toto vlákno zabraňuje poškození vstupního konektoru OTDR, především při připojování holých vláken přes adaptéry [3].

Před započetím měření je nutné nastavit některé parametry, jako například měřenou vlnovou délku, šířku impulsu, délkový rozsah měření, doba průměrování a skupinový index lomu vlákna. Některé hodnoty mohou být již v přístroji přednastaveny a v režimu „auto“ si přístroj například sám určí vhodný délkový rozsah měření atd. Pokud jsem mněl možnost měřit v rámci této práce s 9 ks reflektometrů, bylo to tak, že se stoupající kvalitou přístroje bylo možno samostatně uživatelem nastavit větší množství parametrů, naopak tomu bylo u nejstarších přístrojů, kde bylo možno nastavit pouze několik základních parametrů.



obr. 5.4 - Blokové schéma impulsního reflektometru

Optický reflektometr je podstatně složitější než měřič výkonu a proto také mnohem dražší, ale s vykreslením podrobného grafu celého průběhu trasy na obrazovku nám poskytuje v porovnání s přímou metodou mnohem více informací. Nejenom informace o útlumu vlákna, ale i o jeho kvalitě a případných poruchách po celé jeho délce viz obr. 5.5. Zde každé číslo na útlumové křivce představuje určitou událost v průběhu kabelu - například svár na vláknu, konektor a přechod trasy přes propojovací vodič (patchcord), případně ohyb nebo zvýšený útlum na vláknu. Ke každé události je také v příloze protokolu zaznamenána hodnota útlumu v tomto místě, což je v praxi často využíváno pro lokalizaci závad nebo tzv. čištění trasy. Při sestavování (propatchovávání) optických tras na již dříve nainstalovaných kabelech lze pozorovat, že zejména přechod optické trasy přes konektory na rozvaděčích pomocí propojovacích vodičů, se stává velmi často místem zdroje zvýšeného útlumu z důvodu mechanických nečistot (prachu) uvnitř konektorů na rozvaděčích. Vhodnou technikou čistění za použití speciální sady na čištění optických vláken se dá takto „špinavý“ konektor očistit a tímto způsobem snížit celkový útlum trasy až o několik dB. Stále častěji zákazníci požadují jako doklad o správně a kvalitně provedené montáži ukončení optického vlákna na rozvaděči i zvětšený snímek vlákna pomocí mikroskopu, ze kterého je patrné, zda nebylo vlákno znečištěno při montáži.

Jak je z obrázku 5.5 patrné, na začátku trasy se v grafu objevuje tzv. Fresnelův odraz, ke kterému dochází při navázání optických impulsů do měřeného vlákna na vstupním čele vlákna. Výkon takto odraženého záření převyšuje výkon záření rozptýleného až o tři řády a může přehltit fotodetektor se zesilovačem a převést je do nelineárního režimu [3]. I přesto, že existuje několik metod, jak tento odraz co nejvíce minimalizovat, nepodaří se Fresnelův odraz nikdy zcela odstranit. Správné měření útlumu je proto možné, až po odeznění tohoto odrazu, tedy až od určité vzdálenosti od začátku vlákna. Tato vzdálenost se označuje jako mrtvá zóna. Fresnelův odraz se ale neobjevuje pouze na vstupním konektoru, ale také na každé odrazné ploše v rámci celé trasy, např. na konektorech v trase. Rozlišujeme dva druhy mrtvých zón – útlumovou a identifikační.

Útlumová mrtvá zóna je definována jako minimální vzdálenost za odraznou plochou, kde již lze měřit útlum. Rozhodovacím kritériem je pokles Fresnelovského odrazu na křivce zpětného rozptylu na hodnotu 0,5 dB. Tedy, útlumová mrtvá zóna definuje minimální vzdálenost konektorů, aby bylo možné je identifikovat a samostatně vyhodnotit. Velikost této zóny se u běžně používaných reflektometrů pohybuje v jednotkách až desítkách metrů.

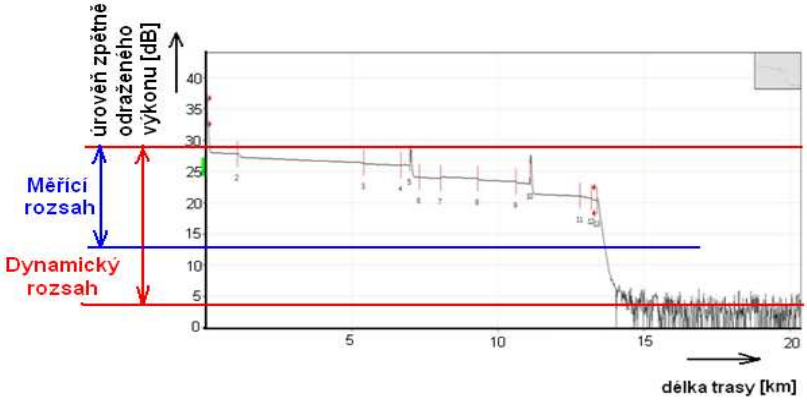
Pokud se na křivce zpětného rozptylu nachází více odrazových ploch je nutno definovat **identifikační mrtvou zónu**, která udává nejmenší vzdálenost konektorů, aby bylo možné je rozlišit tj. vzdálenost od začátku odrazu k bodu, kde signál poklesne o 1,5 dB od maxima odrazu [3]. Velikost mrtvé zóny závisí i na šířce impulsu použitého k měření.

Z hlediska výběru měřicího přístroje jako takového je dalším důležitým parametrem každého reflektometru dynamický, respektive měřící (využitelný) rozsah.

Dynamický rozsah udává maximální možnou velikost měřeného útlumu trasy nebo vlákna. Je definován v decibelech (dB) jako rozdíl mezi vstupní úrovní zpětného signálu a úrovní šumu.

Úroveň šumu se určuje jako 98% z hladiny maximálního šumu nebo jako úroveň vyznačenou střední kvadratickou hodnotou šumu. Rozdíl mezi těmito dvěma hodnotami šumu je 1,8 dB a o tuto hodnotu se také mohou lišit údaje o hodnotě dynamického rozsahu konkrétních přístrojů, v závislosti na zvolené metodě její určení [3].

Měřící rozsah udává maximální rozsah, ve kterém lze přesně změřit útlum svaru o definované hodnotě 0,5 dB a je obecně o několik dB nižší než udávaný dynamický rozsah stejného přístroje viz obr. 5.5. Dynamické rozsahy běžně používaných přístrojů pro středně dlouhé trasy je kolem 27 dB, měřící rozsah je o 4-9 dB menší viz obr. 5.5. Pro dlouhé trasy, nad 100 km se používají přístroje s dynamickým rozsahem až 43 dB, měřící rozsah těchto přístrojů je menší až o 10 dB [3]. Obvykle je nastaven odstup signál-šum na hodnotu větší než 8 dB, tak aby se šum nepřenesl do zobrazovaného průběhu měřeného vlákna.



obr. 5.5 - Měřící protokol z OTDR (EXFO FTB 100) s vyznačením rozsahů

Reflektometry jsou konstrukčně řešeny tak, že přístroj samotný má dvě základní části – platformu a měřící modul, případně několik modulů. Výměnou modulu je tak možné významně kvalitativně změnit parametry měřicího přístroje, i když vizuálně zůstane přístroj nezměněn.

Pro závěrečná a předávací měření optických tras je nutné provádět měření optickým reflektometrem i měření přímou - transmisní metodou. Po instalaci trasy nelze použít destrukční metodu dvou délek, proto se téměř výhradně používá přímá metoda vložných ztrát. Protokoly získané optickým reflektometrem slouží jako doklad o homogenitě trasy, zatímco výsledky zjištěné přímou metodou udávají celkový útlum trasy.

U jednovidových optických vláken se používají obě měření (OTDR i transmisní metoda), vždy se měří oběma směry na vlnových délkách 1310 nm a 1550 nm, případně dle požadavku zákazníka i na 1625 nm. Měření na více vlnových délkách je nutné pro správné vyhodnocení kvality svárů a montáže, vlnová délka 1625nm je například výrazně citlivější na ohyby vlákna než délka 1310 nm.

U mnohovidových optických vláken se většinou používá pouze transmisní metoda na vlnových délkách 850 nm a 1310 nm, vždy obousměrně. Použití OTDR se zde doporučuje pouze pro zjištění kontinuity trasy.

Kvalitně provedené měření optické trasy odhalí nekvalitní montáž, ohyby optického vlákna, útlumy na optických svárech a spojkách.

obr. 5.6 - Měřicí přístroj přímé metody

obr. 5.7 - Měřicí přístroj OTDR

6 DOKUMENTACE OPTICKÝCH KABELŮ

Posledním článkem dlouhého řetězce týkajícího se procesu výstavby optických tras je po provedení všech prací správné zadokumentování polohy a stavu optických kabelů. Nutnost vypracování dokumentace skutečného provedení stavby (DSP) je uvedena ve stavebním zákonu č.137/2006, §125 a §161 stejného zákonu, kde je přímo uvedena povinnost vlastníků technické infrastruktury vést evidenci o poloze svých sítí [7].

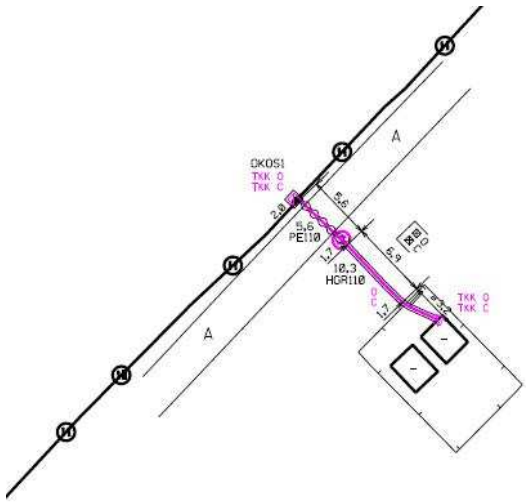
Konkrétní forma zde není stanovena, ale dle mých zkušeností má většinou dvě části. Je to dokumentace optického kabelu a geodetické zaměření trasy.

6.1 DOKUMENTACE OPTICKÉHO KABELU

V této části dokumentace jsou uloženy všechny nejdůležitější dokumenty, které jsou vyhotovovány během výstavby samotné. Především je to stavební deník ve smyslu §157 stavebního zákona [7] a následných prováděcích právních předpisů, který je základním dokumentem všech staveb, dále také souhlasy vlastníků nemovitostí, kterých se dotýká realizace stavby, ale také výkresová dokumentace ohledně vnitřních tras v objektech, kolektorech nebo kabelovodech, fotodokumentace z průběhu výstavby, schéma kabelů a vláken nebo prohlášení o shodách použitích materiálů (kabely, rozvaděče).

6.2 GEODETICKÉ ZAMĚŘENÍ

Zatímco předešlou část dokumentace může v podstatě provést kdokoliv, geodetický záměr trasy musí provést pouze osoba k tomu oprávněná tj. autorizovaný geodet, který provede pomocí digitálního satelitního zařízení zaměření polohy trasy v terénu a tuto trasu zakreslí do mapových podkladů dotčeného území. Vyhotoví technickou zprávu a seznam souřadnic, podle kterých, je možné případně potřeby polohu trasy vytýčit například při následné stavební činnosti probíhající v okolí již položené trasy, případně lze tyto podklady použít při projektové přípravě jiných projektů. Na obr. 6.1 je ukázka výkresu geodetického zaměření trasy optického kabelu.



obr. 6.1 - Příklad geodetického zaměření trasy

6.3 VYJÁDŘENÍ O EXISTENCI SÍTÍ

Z již zmiňovaného §44 stavebního zákona [7] dále vyplývá pro všechny vlastníky technické infrastruktury povinnost poskytnout na požádání do 30 dnů údaje o poloze těchto svých sítí, podmínkách napojení, ochrany a další údaje nezbytné pro projektovou činnost a provedení stavby. U většiny operátorů tuto agendu obstarává zvláštní oddělení, které se písemnou formou vyjadřuje i k různým, většinou stavebním záměrům z hlediska existence stávajících sítí konkrétního vlastníka infrastruktury. Tyto tzv. vyjádření o existenci sítí jsou nedílnou součástí všech projektových dokumentací pro územní rozhodnutí a stavební povolení, připomínky v nich jsou zapracovávány do technických řešení jednotlivých staveb a bez souhlasného vyjádření všech vlastníků sítí není možné tato povolení získat a každý projektant či stavebník o toto vyjádření musí písemně požádat. Ve vyjádření se vždy uvádí, zda dojde ke střetu se stávajícími sítěmi. Pokud ano, znamená to, že se v zájmovém území stavby nacházejí stávající telekomunikační sítě a zda bude nutné například síť uložit do chráničky nebo dokonce vedení v určitém úseku přeložit. Dále se zde uvádí seznam nutných kroků k tomu, aby bylo možné případně síť přeložit, co všechno je k tomu potřeba a podmínky pro zpracování projektu na přeložku a vlastní realizaci přeložení sítě. Toto se může v některých případech stát zdrojem případného ohrožení stávající sítě, protože pro stavebníka je to více náklad, se kterým se v rozpočtu většinou moc nepočítá a tak se snaží provést přeložku co nejlevněji, bez dostatečné součinnosti s pracovníky příslušného vlastníka sítě nebo zcela bez předchozí konzultace. Nezřídka se také stává, že opomenutí zapracování požadavků do projektu vede při realizaci k poškození či přerušení v našem případě optických kabelů nebo se síť přeloží bez vědomí vlastníka sítě, nová poloha se nezaznamená a po nějakém čase dojde třeba k poškození sítě na místě, o kterém je ve vyjádření uvedeno, že tam nic nevede.

7 DETEKCE CHYB

V této kapitole budou popsány způsoby detekce a odstranění chybových a havarijních stavů optických kabelů., jejich hlavní příčiny, detekce poruch, metody lokalizace a odstraňování těchto závad.

7.1 ZDROJE CHYB

Jak již bylo uvedeno v předešlých kapitolách, hlavním zdrojem poruch na optických kabelech nejsou kabely samotné, ale poruchy aktivních prvků a technologií na nich připojených anebo také porušení zásad při přípravě a realizaci samotné výstavby optických tras a ochrany sítí z nich vyplývajících, což v důsledku vede k poškození samotných optických kabelů. Procentuálně jsou pro rozsáhlejší sítě častější poruchy aktivních prvků – switchů, routerů, SDH prvků atd. Tento typ poruch ale většinou postihne pouze několik zákazníků a většinou je oprava poměrně nenáročná a provede se výměnou nějaké vadné části síťového prvku případně výměnou celého zařízení. Mnohem závažnější jsou poruchy, které jsou způsobeny tzv. cizích zásahem do sítě, tedy poškození části sítě, většinou optických kabelů, cizím subjektem, většinou stavební činností, neodborným zásahem při instalaci nějaké nové technologie či méně často působením klimatických změn nebo například hlodavců. U tohoto typu poruch, který většinou nastává na zemní části sítě, se převážně jedná o postižení většího množství zákazníků, protože velmi často bývá kabel přerušen v celém profilu a i odstranění poruchy zabere mnohem více času a nákladů. Nejčastěji se jedná o porušení kabelu stavební činností, kde se trasa před započetím prací nevytýčí, nedbá se pokynů uvedených ve vyjádření o existenci sítí nebo se jedná o opomenutí projektanta již při přípravě projektu.

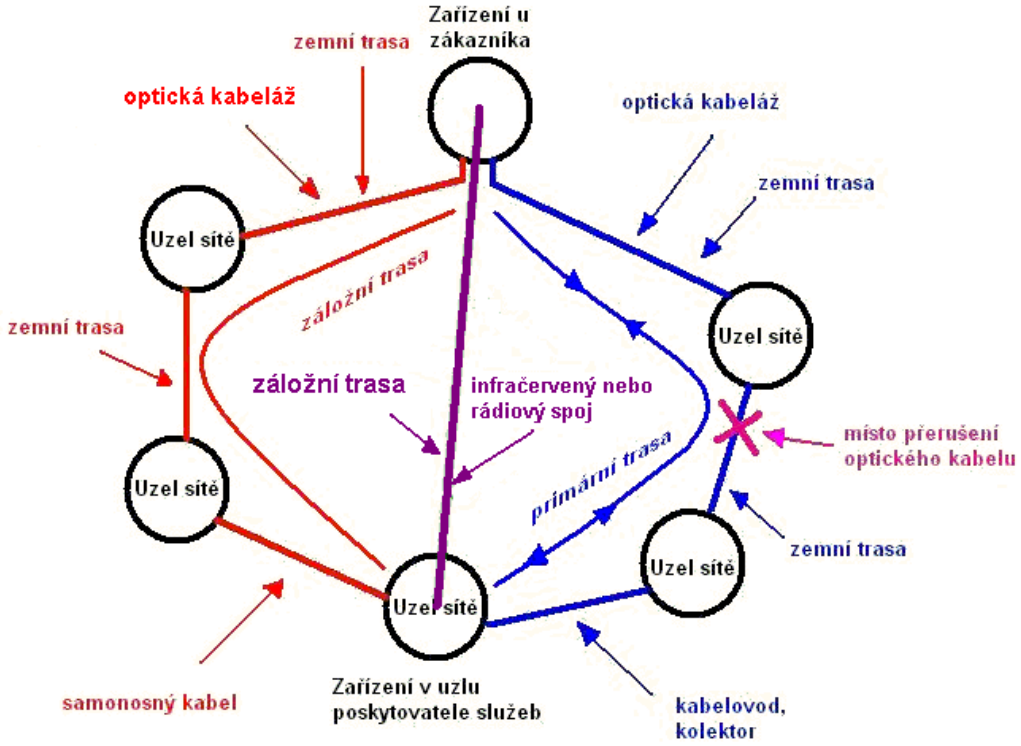
7.2 DOHLEDOVÉ SYSTÉMY

Operátoři provozující svoje služby po optice se snaží různými opatřeními snížit poruchovost provozu těchto sítí na co možná nejnižší možnou míru. To je jedním z hlavních faktorů, které koncový uživatel služby vnímá. Poskytovatelé musejí vynakládat nemalé finanční prostředky na to, aby dosáhnuli co nejvíce bezporuchového provozu. Proto se do sítě nakupují stále kvalitnější komponenty - například optické kabely, které mají již zvýšenou ochranu proti hlodavcům, nebo lepší parametry z hlediska odolávání povětrnostním vlivům, požárům, odolnější vůči ohybům a tahovému namáhání atd. Také se nakupují aktivní prvky, které je možné vzdáleně dohledovat z tzv. dohledových center, tedy z nějakého centra, kde operátor může v reálném čase sledovat a kontrolovat určité důležité parametry zařízení, které jsou umístěny u zákazníků, případně v jednotlivých uzlech sítě, ačkoli jsou ve skutečnosti fyzicky vzdáleny mnohdy i stovky kilometrů. Takže v případě poruchy těchto zařízení je možno například vzdálenou rekonfigurací či restartováním opět zařízení zprovoznit nebo neprodleně vyslat na místo technika, který zařízení opraví a tím minimalizuje dopad na provoz zákazníka.

Další metodou je již v úvodu zmiňované tzv. zakruhování viz obr. 7.1. Principem kruhování je technické řešení, kdy se zákazník umístní (zapojí) na logický kruh, většinou se nejedná o kruhy z hlediska skutečné polohy jednotlivých uzlů. Dosáhne se toho tím, že se k zákazníkovi dovedou dvě pokud možno i polohopisně nezávislé trasy, nemusí se jednat pouze o kabely, ale muže být použito třeba i trasy vedoucí vzduchem.

Optická trasa může být postavena z kabelů vedoucí v různém prostředí. Proto se může na trase projevit celé spektrum různých již výše uvedených příčin poruch. Za

bezporuchového stavu vede provoz po primární trase, ale pokud na ní dojde k poruše, tak dle typu zařízení, musí např. operátor dohledového centra vzdáleně, případně technik přímo na místě, překonfigurovat směr trasy na záložní případně alternativní záložní trasu, u novějších typů je již tato záložní trasa pro případ poruchy nastavena při prvotní instalaci a k přepnutí dojde automaticky v řádech maximálně sekund a provoz běží dále beztoho, aniž by zákazník zaznamenal jakýkoli výpadek. Proto je tento způsob zapojení zařízení zákazníky čím dále častěji vyžadován a operátoři tento způsob častěji nabízejí a zdůrazňují jeho nesporné výhody z hlediska bezporuchovosti provozu.



obr. 7.1 - Princip zakruhování

Pro každý typ zapojení (topologie) lze vypočítat i tzv. střední dobu mezi dvěma poruchami. Pro kruhovou topologii platí vztah (14), kde λ je hustota poruch (zahrnuje vysílač, konektor, vlákno, konektor, přijímač) a proměnná n je počet stanic. Vztah předpokládá, že v inkriminovaném rozmezí je poruchovost charakterizována poruchovostí s exponenciálním rozložením, tedy s konstantní hustotou poruch [1].

$$T_s = (n\lambda)^{-1} \tag{14}$$

7.3 ZPŮSOBY LOKALIZACE PORUCH

Prvotním informací o tom, že nastala nějaká porucha provozu, je buď telefonát zákazníka, že mu něco nefunguje nebo zaznamenání závady zařízení technikem

dohledového centra Operátor dohledového centra se nejprve sám pokusí odhalit příčinu výpadku provozu. Pokud je prvek zakruhován převede provoz na jinou, funkční část kruhu, případně zkontroluje, zda záložní trasa po automatickém přesměrování správně běží a až následně zjišťuje vzdálenou diagnostikou, co se na zařízení stalo. Pokud zjistí závadu na zařízení, vyšle tzv. last mile technika, který drží za účelem neprodlené opravy nepřetržitou pohotovost, na opravu přímo na místo již s konkrétním zadáním opravy. Mnohem častěji se něco konkrétnějšího o příčině poruchy nepodaří zjistit a potom je potřeba použít dokumentaci pro bližší určení typu zařízení, přívodního média, polohy přívodní trasy, původních parametrů trasy, typu kabelu, počtu vláken atd. Pokud je zjištěno, že zařízení běží na optice, vezme si sebou technik i měřicí přístroj OTDR pro případ, že by byla porucha na trase optického kabelu vedoucího do zařízení. Pokud měřením zjistí, že ano, odečte z měřícího protokolu délku kabelu a jelikož lze z geodetického zaměření trasy kabelu velmi přesně naměřit požadovanou délku od místa měření, dle náměru vyrazí na předpokládané místo poruchy. Pokud probíhá na místě nějaká činnost, které by mohla podzemní nebo nadzemní vedení ohrozit či poškodit kontaktuje vedoucího prací s tím, že pravděpodobně optický kabel poškodili, příslušné práce se zastaví až do dokončení opravy kabelu. Pokud ale na předpokládaném místě nenajde nic podezřelého, provede se ještě kontrolní měření metodou zpětného rozptylu viz kapitola 5.1.3 pomocí OTDR z druhé strany trasy. Jestliže po porovnání s geodetickým zaměřením si místa přibližně odpovídají a v okolí trasy není žádné poškození patrné, musí se provést výkop za účelem odkrytí stávající trasy a pokud je to nutné, tak se v místě přeruší nějaké stávající vlákno, provaří se na něj pigtail s konektorem a znovu se provede měření pro upřesnění místa poruchy. Podle mojí zkušenosti již většinou toto měření místo poruchy natolik upřesní, že není potřeba dalšího měření a místo se najde.

7.4 ZPŮSOBY OPRAV PORUCH

Následně, pokud je patrné cizí zavinění je přivolána hlídka Policie ČR, která provede zápis o poškození optického kabelu a provede se oprava kabelu. Ve většině případů se postupuje tak, že se vymění celá kabelová délka mezi nejbližšími spojkami, případně se alespoň zafoukne nový kabel z místa nejbližší spojky do místa přerušení a okonektorování vlákna pro účely zpřesnění měření. Pokud k poruše došlo důsledkem stavební činnosti a stávající trasa nadále v zamýšlené výstavbě zavazí, řeší se překládka trasy. Postupovat se musí co možná nejrychleji, protože pokud běží pouze jedna strana kruhu je teoretická možnost, že by došlo k poruše i na záložní trase a tím by došlo k výpadku všech v kabelu provozovaných služeb. Z tohoto důvodu se oprava provádí neprodleně ve dne v noci za jakéhokoli počasí, až do odstranění poruchy a ve spolupráci s dohledovým centrem po zkontrolování opětovného naběhnutí všech služeb.

8 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ

V této části jsou uvedeny výsledky měření a jejich zpracování. Měření bylo provedeno ve dnech 12. – 16. 3. 2012 na reálných optických trasách společnosti GTS Czech s. r. o. Měřilo se ze dvou větších optických uzlů – Sokolnice (rozvodna fa E-On), Gity (Mariánské nám. 1, Brno), celkem 9 tras. Jako referenční přístroj pro měření a porovnání naměřených hodnot jsem zvolil přístroj FOT-930 (zapůjčený od firmy Profiber), který je měřicím přístrojem využívající metodu vložených ztrát, ale navíc má v sobě i modul umožňující měřit délku měřeného vlákna. Pro měření srovnávacích náměrů bylo použito celkem 9 ks reflektometrů resp. měřících modulů, převážně značky Exfo, ale měřil jsem i přístrojem HP, které používají firmy pro běžná měření v praxi v rámci výstavby a údržby optických sítí. Účelem měření nebylo vyhodnocení toho, zda měřená trasa splňuje kvalitativní požadavky pro velikost hodnoty útlumu, ale provést porovnání měření této trasy několika přístroji a vyhodnotit, zda a o kolik se naměřené hodnoty útlumu a délky tras liší.

8.1 POPIS MĚŘENÍ

Měření byla prováděna na SM vláknech typu G. 652 (9 µm). Bylo měřeno přímou metodou vložených ztrát (FOT-930) viz kapitola 5.1.2 a metodou zpětného rozptylu (OTDR) viz kapitola 5.1.3. Byla měřena délka optické trasy a útlum vlákna. Protože je u měření přímou metodou nutné měřit trasu z obou konců proti sobě a jedná se tudíž o metodu, při které je nutné, aby měření prováděli dva lidé, na tomto měření se mnou spolupracoval pracovník firmy Slezskomoravské telekomunikace Opava, p. Martin Kubáč, kterému tímto ještě dodatečně děkuji.

Abych zajistil co možná nejvíce srovnatelné podmínky pro měření všemi přístroji, byly indexy lomu na všech přístrojích OTDR nastaveny na stejnou hodnotu viz tab. 2

tab. 2 - Nastavení indexu lomu pro všechny OTDR

Vlnová délka λ [nm]	Index lomu [-]
1310	1,466
1550	1,467
1625	1,468

Každá jednotlivá trasa byla měřena dvakrát za sebou, aby byla alespoň částečně vyloučena možnost špatného navázání výkonu při špatně zastrčeném konektoru do měřené trasy. Z jednotlivých kabelů byla vybrána vždy dvě vlákna, na kterých bylo měření provedeno a hodnoty uváděné v tabulkách níže jsem také průměrem těchto dvou naměřených hodnot. Takto získané hodnoty měření jsou zapsány do tabulek č. 3 – 20.

8.2 POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

Pro konkrétní měření jsem si od firmy Profiber Praha s.r.o., zapůjčil měřicí přístroj FOT-930 a FTB-1 (se softwarovým modulem iOLM). Jejich bližší parametry jsou popsány v kapitole 8.2.1 a 8.2.2. Jsou to přístroje, se kterými jsem se v běžné praxi zatím nesetkal a které teprve budou jednotlivými firmami do praxe uváděny. Dále byly použity tyto přístroje:

- Exfo - FTB 500
- Exfo - FTB - 1

- Exfo - FTB 400
- Exfo - FTB 200
- Exfo - FTB 200
- Exfo - FTB 100 Mini
- HP 8174.

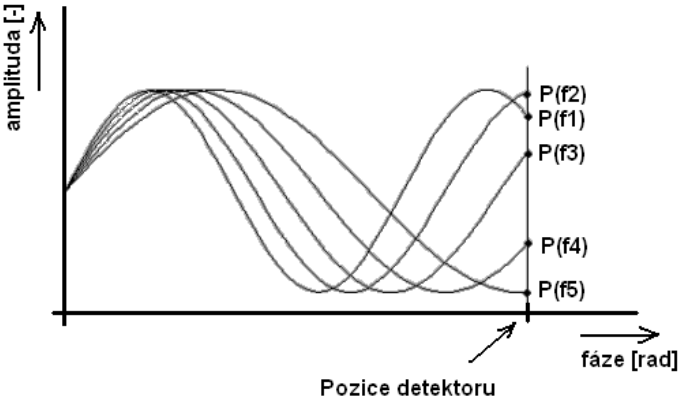
8.2.1 FOT 930

Jedná se o oboustrannou měřící soupravu sestávající ze dvou přístrojů. V každém přístroji je osazen zdroj záření i detektor výkonu. Přístroj obsahuje navíc speciální porty pro obousměrné měření tzv. FasTest porty. Skrze tyto porty probíhá počáteční nastavení reference i následné měření trasy a veškerá další komunikace mezi přístroji. Měření se provádí pouze stiskem jednoho tlačítka na všech vlnových délkách včetně měření délky. Principem automatického režimu FasTest je to, že každá vlnová délka je modulována v okamžiku měření jinou frekvencí a v dalším okamžiku se modulační frekvence změní a opět se provede měření. Měření se tímto způsobem opakuje 5x v každém směru, takže každá vlnová délka je postupně modulována všemi 5 frekvencemi [10].

obr. 8.1 - Přístroj FOT-930

8.2.1.1 Měření délky optické trasy přístrojem FOT-930

Princip měření délky vlákna tímto přístrojem je naznačen na obr. 8.2. Každá vlnová délka je modulována 5 nesoudělnými frekvencemi. Na konci měřené trasy proto vznikne jedinečná kombinace fází (počtu period) jednotlivých frekvencí. Z počtu period je následně spočítána délka vlákna. Délka vlákna je měřena pro každou vlnovou délku. Jedná se tedy o odlišnou metodu získání hodnoty délky vlákna, než je tomu u reflektometrů, proto byla tato metoda zvolena jako referenční [10].

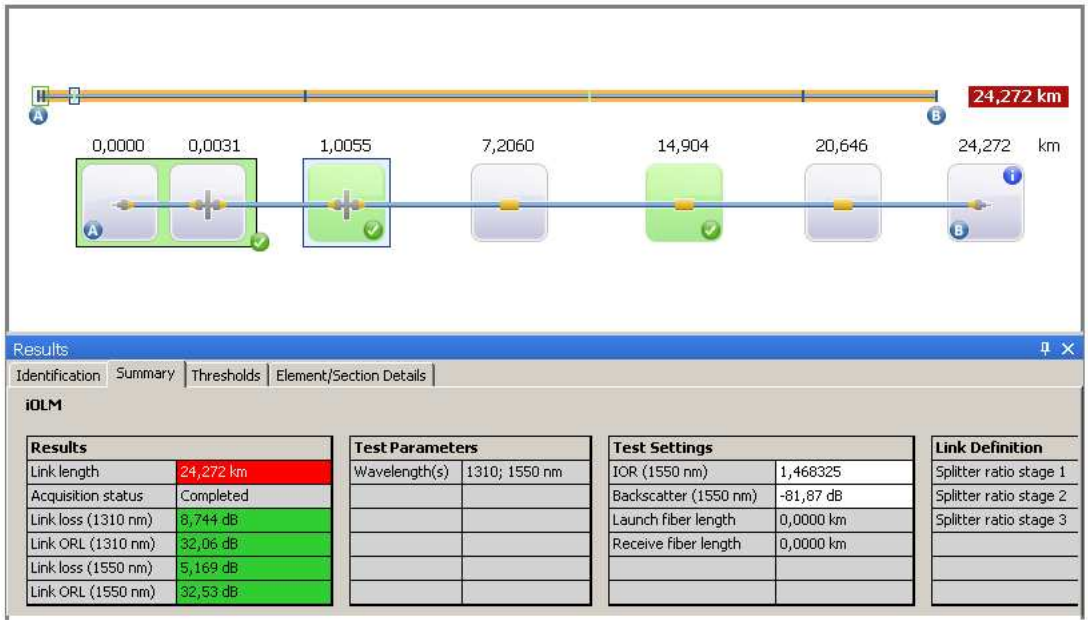


obr. 8.2 - Princip měření délky vlákna přístrojem FOT-930

8.2.2 iOLM

Součástí softwarové výbavy měřicího přístroje FTB 730 – iOLM byl i modul iOLM. Tento modul byl osazen na platformě FTB-1, která měla i modul pro klasické OTDR, takže přístroj umožňuje trasu měřit dvěma trochu odlišnými způsoby. Princip klasického měření reflektometrem je popsán v kapitole 5.1.3 a 5.2.

Principem měření pomocí modulu iOLM je to, že trasa je měřena všemi pulzy současně, a vždy ten nejlepší výsledek pro část trasy je vybrán a tímto způsoben je poskládána celá trasa. Kratší úseky od začátku měření jsou měřeny kratšími pulzy, i když se nepodaří doměřit až do konce, ale dosáhneme se lepších hodnot mrtvých zón. Úseky vzdálenější od počátku jsou měřeny delšími pulzy a následně jsou do výsledného obrazu celé trasy použity pouze ty nejlepší hodnoty měření pro kratší i vzdálenější úseky a výstup všech měření je následně zakreslen pouze do jediného schématu, ve kterém jsou graficky vyjádřeny všechny změření útlumové události, a je zde také uveden návod, jakým způsobem by bylo možné konkrétní útlumovou událost odstranit nebo alespoň snížit hodnotu útlumu v tomto místě. Nespornou výhodou je také fakt, že se měření provádí stiskem jednoho tlačítka, není potřeba, aby obsluha v podstatě nic nastavovala a i přes to, že vstupní hodnoty jsou přednastaveny, je výsledek z důvodu modifikace klasické metody zpětného rozptylu velmi přesný. Navíc je možné provádět měření i na provozovaných vláknech [11]



obr. 8.3 - Výstup měření z modulu iOLM trasa Sokolnice – Kovoterm

8.3 VÝSLEDKY

Celkem bylo měřeno 9 optických tras a na měření se podílelo 10 přístrojů, respektive 10 ks modulů, protože měřicí přístroj FTB-1 obsahoval 2 moduly (OTDR + iOLM) a měřicí přístroj Exfo FTB 500 byl osazen taktéž dvěma moduly. Pro výsledky každé trasy jsou vyhotoveny dvě tabulky pro vlnové délky 1310 nm a 1550 nm. Čísla v modrých polích udávají referenční hodnoty, čísla ve žlutých polích udávají hodnoty náměrů, kde se nepodařilo doměřit do konce trasy.

tab. 3 - Hodnoty náměrů trasy 1 pro λ= 1310 nm

Trasa 1	λ= 1310 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Sokolnice - Olomouc	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	98,754	33,24	0,000	0,00
FTB-1	99,825	34,43	0,000	0,00
i-OLM	98,776	34,25	-0,022	-1,01
FTB 200 (A)	98,919	34,70	-0,165	-1,46
FTB 400	99,100	32,64	-0,346	0,60
HP 8174	0,000	0,00	0,000	0,00
FTB 100 - Mini	78,677	34,97	0,000	0,00
FTB 200	99,354	35,41	-0,600	-2,17
FTB 500 (A)	97,652	32,34	0,000	0,00
FTB 500 (B)	neměřeno			

tab. 4 - Hodnoty náměrů trasy 1 pro λ= 1550 nm

Trasa 1	λ= 1550 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Sokolnice - Olomouc	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	98,754	19,35	0,000	0,00
FTB-1	98,960	19,78	-0,206	-0,43
i-OLM	98,774	20,08	-0,020	-0,73
FTB 200 (A)	99,061	19,47	-0,307	-0,11
FTB 400	98,991	19,53	-0,237	-0,18
HP 8174	99,059	19,43	-0,305	-0,08
FTB 100 - Mini	98,525	20,13	0,229	-0,77
FTB 200	98,905	20,07	-0,151	-0,72
FTB 500 (A)	98,903	20,29	-0,149	-0,94
FTB 500 (B)	98,852	20,37	-0,098	-1,02

tab. 5 - Hodnoty náměrů trasy 2 pro λ= 1310 nm

Trasa 2	λ= 1310 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Sokolnice - Vyškov	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	46,446	16,65	0,000	0,00
FTB-1	46,431	16,57	0,015	0,07
i-OLM	46,398	16,85	0,048	-0,20
FTB 200 (A)	46,463	16,50	-0,017	0,15
FTB 400	46,504	15,64	-0,058	1,01
HP 8174	46,480	16,31	-0,034	0,34
FTB 100 - Mini	46,711	16,75	-0,265	-0,11
FTB 200	46,730	17,03	-0,284	-0,39
FTB 500 (A)	46,482	15,92	-0,036	0,73
FTB 500 (B)	neměřeno			

tab. 6 - Hodnoty náměrů trasy 2 pro λ= 1550 nm

Trasa 2	λ= 1550 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Sokolnice - Vyškov	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	46,473	9,70	0,000	0,00
FTB-1	46,448	9,64	0,025	0,07
i-OLM	46,398	9,82	0,075	-0,12
FTB 200 (A)	46,457	9,23	0,016	0,47
FTB 400	46,492	9,60	-0,019	0,11
HP 8174	46,471	9,12	0,002	0,59
FTB 100 - Mini	46,447	9,82	0,026	-0,12
FTB 200	46,442	9,62	0,031	0,08
FTB 500 (A)	46,480	9,87	-0,007	-0,16
FTB 500 (B)	46,447	9,92	0,026	-0,22

tab. 7 - Hodnoty náměrů trasy 3 pro λ= 1310 nm

Trasa 3	λ= 1310 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Sokolnice - Meta	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	19,208	6,40	0,000	0,00
FTB-1	19,230	7,05	-0,022	-0,65
i-OLM	19,206	7,27	0,002	-0,87
FTB 200 (A)	19,231	6,75	-0,023	-0,35
FTB 400	19,275	6,73	-0,067	-0,33
HP 8174	19,223	7,03	-0,015	-0,63
FTB 100 - Mini	19,008	7,33	0,200	-0,93
FTB 200	19,233	7,20	-0,025	-0,80
FTB 500 (A)	19,230	6,74	-0,022	-0,34
FTB 500 (B)	neměřeno			

tab. 8 - Hodnoty náměrů trasy 3 pro λ= 1550 nm

Trasa 3	λ= 1550 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Sokolnice - Meta	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	19,208	3,84	0,000	0,00
FTB-1	19,224	4,07	-0,016	-0,23
i-OLM	19,206	4,24	0,002	-0,40
FTB 200 (A)	19,225	3,77	-0,017	0,07
FTB 400	19,271	4,14	-0,063	-0,30
HP 8174	19,216	4,31	-0,063	-0,47
FTB 100 - Mini	19,152	4,37	0,056	-0,53
FTB 200	19,224	4,29	-0,016	-0,45
FTB 500 (A)	19,231	4,27	-0,023	-0,43
FTB 500 (B)	19,224	4,28	-0,016	-0,44

tab. 9 - Hodnoty náměrů trasy 4 pro λ= 1310 nm

Trasa 4	λ= 1310 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Sokolnice - Kovoterm	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	23,270	8,09	0,000	0,00
FTB-1	23,295	8,59	-0,025	-0,50
i-OLM	23,267	8,74	0,003	-0,65
FTB 200 (A)	23,296	8,36	-0,026	-0,27
FTB 400	23,339	8,27	-0,069	-0,18
HP 8174	23,307	8,46	-0,037	-0,37
FTB 100 - Mini	23,278	8,75	-0,008	-0,66
FTB 200	23,298	9,02	-0,028	-0,93
FTB 500 (A)	23,304	8,22	-0,034	-0,13
FTB 500 (B)	neměřeno			

tab. 10 - Hodnoty náměrů trasy 4 pro λ= 1550 nm

Trasa 4	λ= 1550 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Sokolnice - Kovoterm	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	23,270	4,87	0,000	0,00
FTB-1	23,287	5,02	-0,017	-0,15
i-OLM	23,267	5,17	0,003	-0,30
FTB 200 (A)	23,289	4,70	-0,019	0,17
FTB 400	23,336	5,16	-0,066	-0,29
HP 8174	23,281	5,21	-0,011	-0,34
FTB 100 - Mini	23,195	5,33	0,075	-0,46
FTB 200	23,289	5,41	-0,019	-0,54
FTB 500 (A)	23,288	5,20	-0,018	-0,33
FTB 500 (B)	23,288	5,23	-0,018	-0,36

tab. 11 - Hodnoty náměrů trasy 5 pro λ= 1310 nm

Trasa 5	λ= 1310 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Gity - PVT	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	14,394	6,02	0,000	0,00
FTB-1	14,411	6,59	-0,017	-0,57
i-OLM	14,394	6,76	0,000	-0,74
FTB 200 (A)	14,411	6,45	-0,017	-0,43
FTB 400	14,457	6,44	-0,063	-0,42
HP 8174	14,406	6,70	-0,012	-0,68
FTB 100 - Mini	14,408	6,76	-0,014	-0,74
FTB 200	14,411	6,96	-0,017	-0,94

tab. 12 - Hodnoty náměrů trasy 5 pro λ= 1550 nm

Trasa 5	λ= 1550 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Gity - PVT	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	14,394	3,84	0,000	0,00
FTB-1	14,407	4,09	-0,013	-0,25
i-OLM	14,394	4,23	0,000	-0,39
FTB 200 (A)	14,407	3,86	-0,013	-0,02
FTB 400	14,454	4,26	-0,060	-0,42
HP 8174	14,403	4,27	-0,009	-0,43
FTB 100 - Mini	14,403	4,52	-0,009	-0,68
FTB 200	14,407	4,25	-0,013	-0,41

tab. 13 - Hodnoty náměrů trasy 6 pro λ= 1310 nm

Trasa 6	λ= 1310 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Gity - Žlutý kopec	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	10,911	4,09	0,000	0,00
FTB-1	10,914	4,33	-0,003	-0,24
i-OLM	10,911	4,45	0,000	-0,36
FTB 200 (A)	10,927	4,27	-0,016	-0,18
FTB 400	10,975	4,26	-0,064	-0,17
HP 8174	10,954	4,61	-0,043	-0,52
FTB 100 - Mini	10,924	4,75	-0,013	-0,66
FTB 200	10,929	4,68	-0,018	-0,59

tab. 14 - Hodnoty náměrů trasy 6 pro λ= 1550 nm

Trasa 6	λ= 1550 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Gity - Žlutý kopec	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	10,911	2,40	0,000	0,00
FTB-1	10,921	2,57	-0,010	-0,17
i-OLM	10,911	2,71	0,000	-0,31
FTB 200 (A)	10,922	2,41	-0,011	-0,01
FTB 400	10,969	2,73	-0,058	-0,33
HP 8174	10,917	2,88	-0,006	-0,48
FTB 100 - Mini	10,916	2,91	-0,005	-0,51
FTB 200	10,920	2,72	-0,009	-0,32

tab. 15 - Hodnoty náměrů trasy 7 pro λ= 1310 nm

Trasa 7	λ= 1310 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Gity - TR Komárov	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	1,531	0,60	0,000	0,00
FTB-1	1,533	1,21	-0,002	-0,61
i-OLM	1,529	1,34	0,002	-0,74
FTB 200 (A)	1,537	0,89	-0,006	-0,29
FTB 400	1,581	1,28	-0,050	-0,68
HP 8174	1,530	1,30	0,001	-0,70
FTB 100 - Mini	1,532	1,38	-0,001	-0,78
FTB 200	1,538	1,22	-0,008	-0,62

tab. 16 - Hodnoty náměrů trasy 7 pro λ= 1550 nm

Trasa 7	λ= 1550 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Gity - TR Komárov	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	1,531	0,38	0,000	0,00
FTB-1	1,532	0,82	-0,001	-0,44
i-OLM	1,531	0,93	0,000	-0,55
FTB 200 (A)	1,532	0,54	-0,001	-0,16
FTB 400	1,577	0,95	-0,046	-0,57
HP 8174	1,528	1,04	0,003	-0,66
FTB 100 - Mini	1,527	0,99	0,004	-0,61
FTB 200	1,532	0,79	-0,002	-0,41

tab. 17 - Hodnoty náměrů trasy 8 pro λ= 1310 nm

Trasa 8	λ= 1310 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Gity - Plynárenská	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	5,182	1,99	0,000	0,00
FTB-1	5,189	2,61	-0,007	-0,62
i-OLM	5,183	2,79	0,000	-0,80
FTB 200 (A)	5,193	2,40	-0,011	-0,41
FTB 400	5,241	2,57	-0,059	-0,58
HP 8174	5,183	2,78	-0,001	-0,79
FTB 100 - Mini	5,186	2,97	-0,003	-0,98
FTB 200	5,178	2,70	0,004	-0,71

tab. 18 - Hodnoty náměrů trasy 8 pro λ= 1550 nm

Trasa 8	λ= 1550 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Gity - Plynárenská	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	5,182	1,26	0,000	0,00
FTB-1	5,188	1,70	-0,005	-0,44
i-OLM	5,183	1,80	0,000	-0,54
FTB 200 (A)	5,187	1,43	-0,005	-0,17
FTB 400	5,232	1,77	-0,050	-0,51
HP 8174	5,183	1,97	-0,001	-0,71
FTB 100 - Mini	5,183	0,84	0,000	0,42
FTB 200	5,187	1,68	-0,005	-0,42

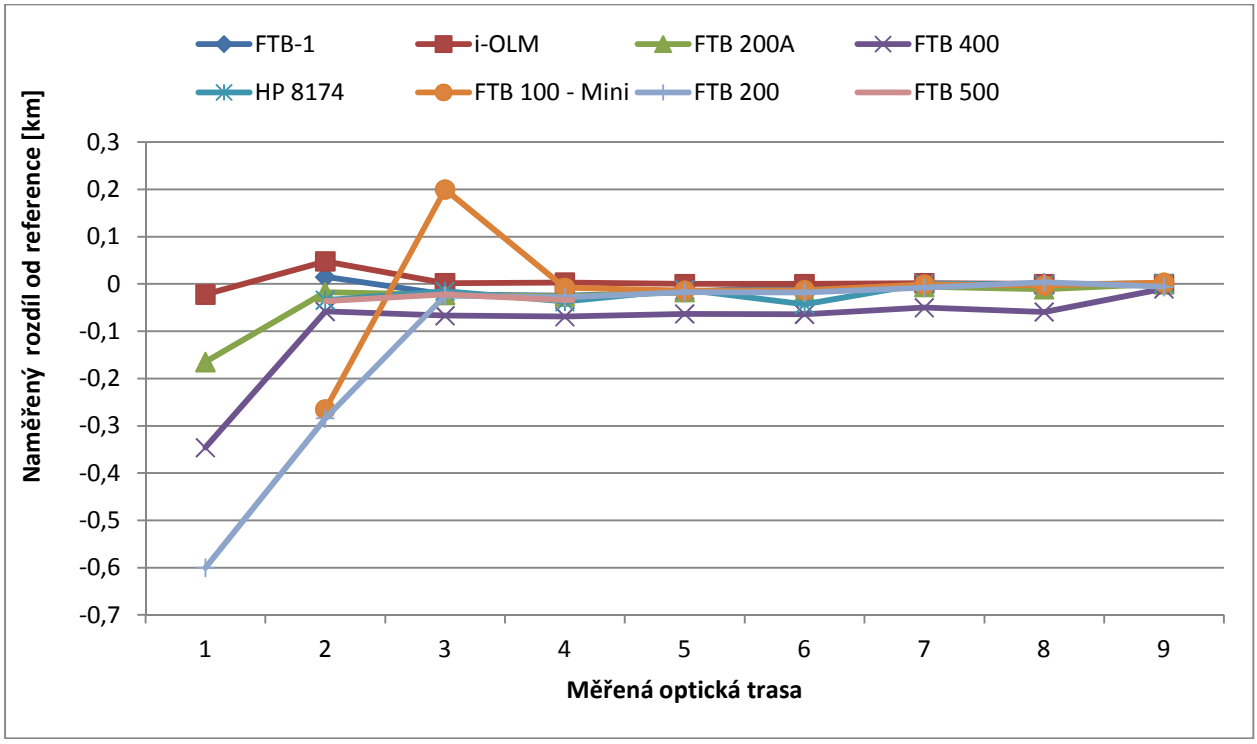
tab. 19 - Hodnoty náměrů trasy 9 pro λ= 1310 nm

Trasa 9	λ= 1310 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Gity - dohled Gity	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	0,124	0,16	0,000	0,00
FTB-1	0,124	0,65	0,001	-0,49
i-OLM	0,124	0,82	0,000	-0,66
FTB 200 (A)	0,124	0,44	0,000	-0,28
FTB 400	0,134	0,71	-0,010	-0,55
HP 8174	0,122	0,82	0,002	-0,66
FTB 100 - Mini	0,121	0,91	0,003	-0,75
FTB 200	0,130	0,29	-0,006	-0,13

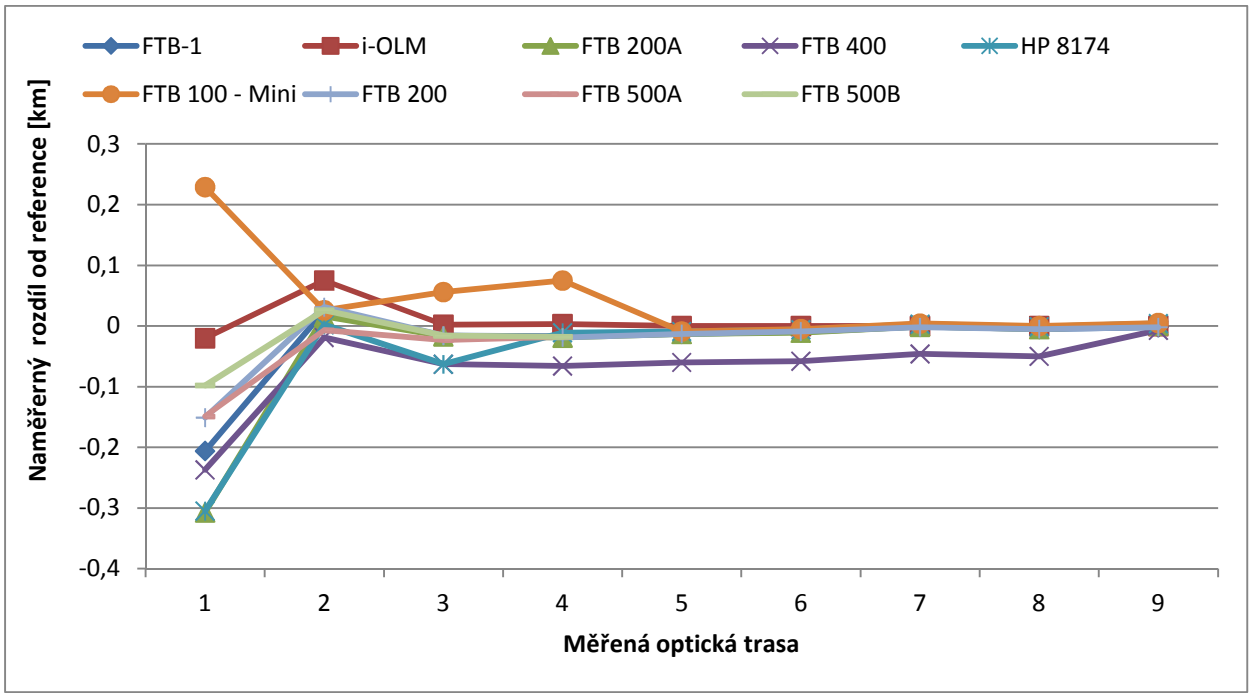
tab. 20 - Hodnoty náměrů trasy 9 pro λ= 1550 nm

Trasa 9	λ= 1550 nm		rozdíl - délka [km]	rozdíl - útlum [dB]
Gity - dohled Gity	Délka [km]	Útlum [dB]		
přímá FOT-930	0,124	0,17	0,000	0,00
FTB-1	0,126	0,48	-0,002	-0,31
i-OLM	0,124	0,61	0,000	-0,44
FTB 200 (A)	0,123	0,33	0,001	-0,16
FTB 400	0,131	0,59	-0,007	-0,42
HP 8174	0,120	0,74	0,004	-0,57
FTB 100 - Mini	0,119	0,75	0,005	-0,58
FTB 200	0,126	0,48	-0,002	-0,31

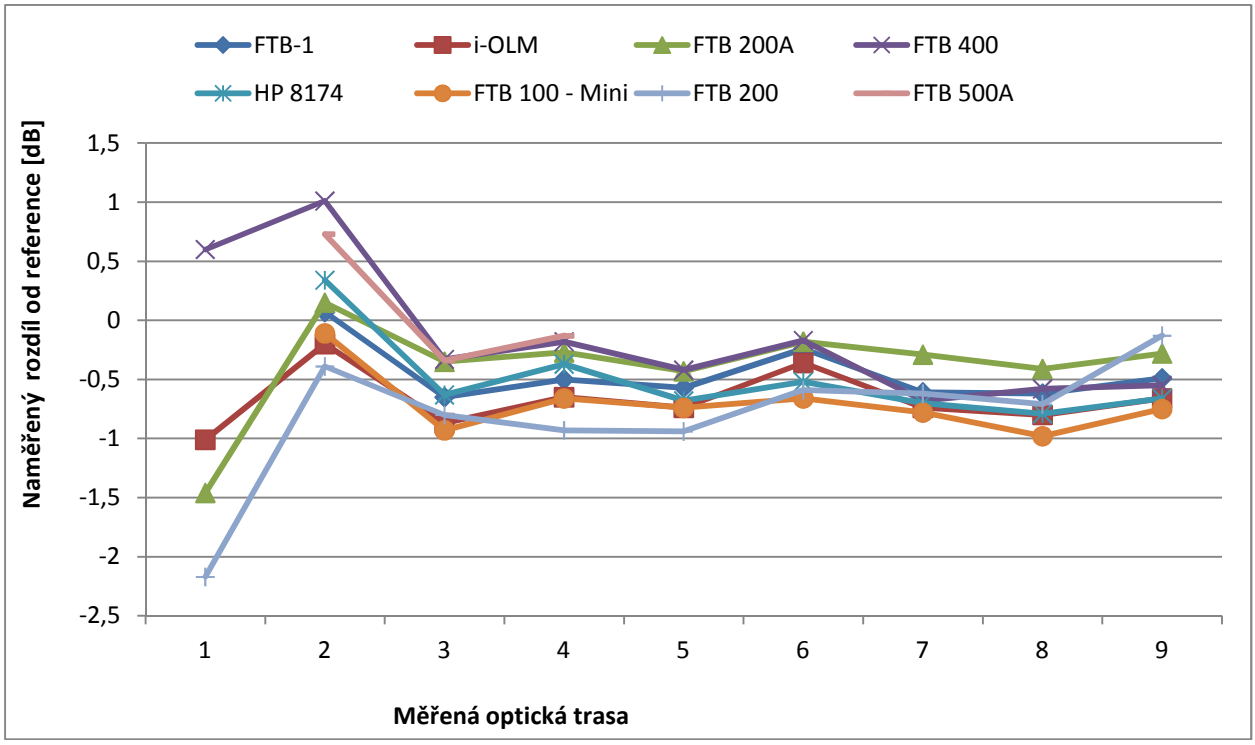
8.4 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ



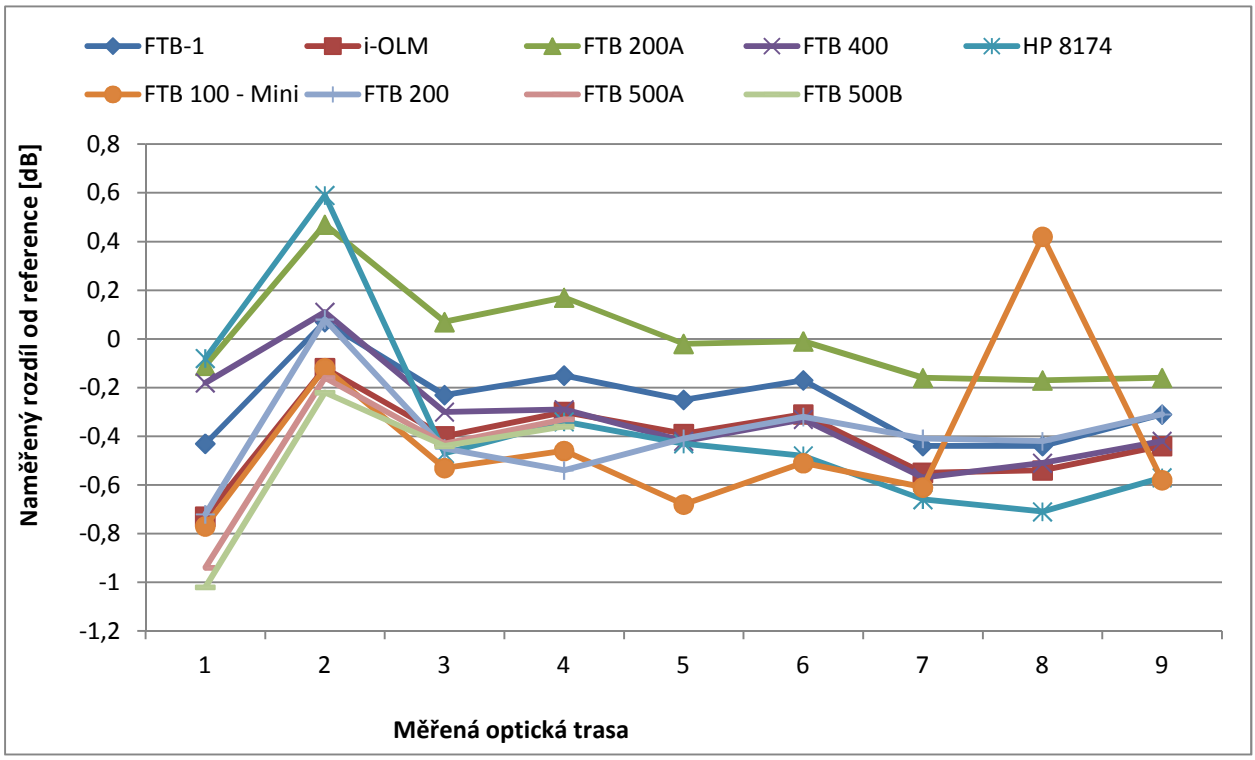
graf 1 - Hodnoty délkových rozdílů jednotlivých reflektometrů pro λ= 1310 nm



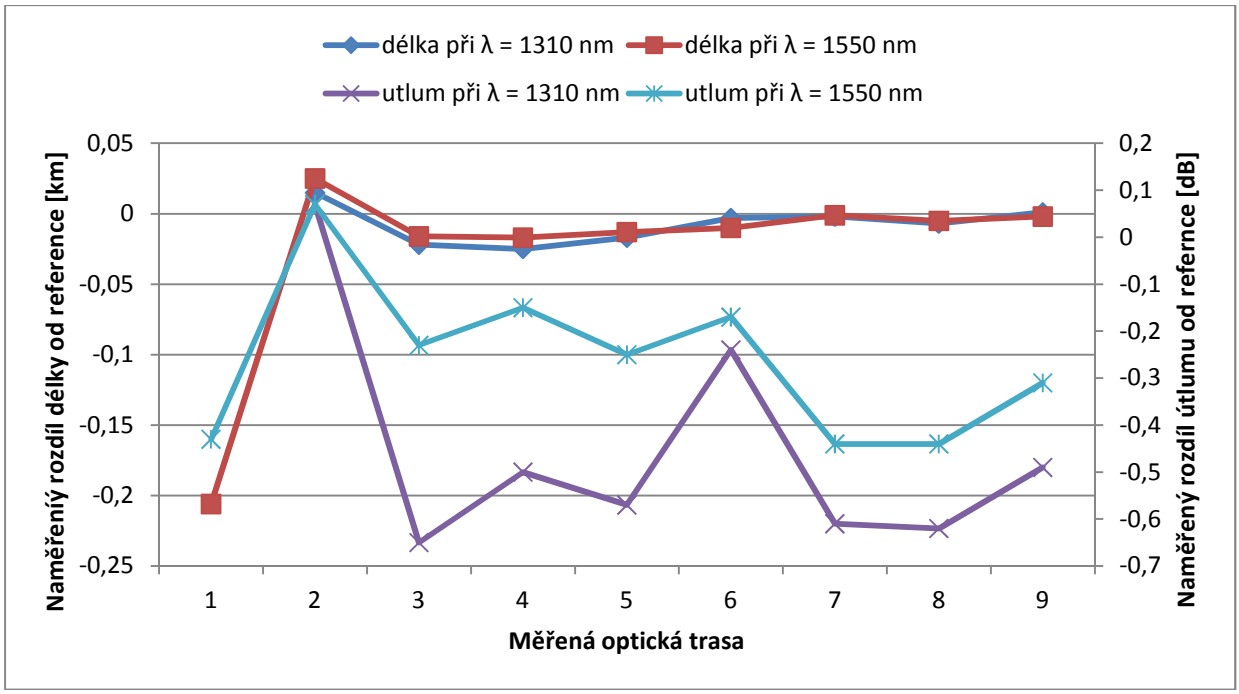
graf 2 - Hodnoty délkových rozdílů jednotlivých reflektometrů pro λ= 1550 nm



graf 3 - Hodnoty útlumových rozdílů jednotlivých reflektometrů pro λ= 1310 nm

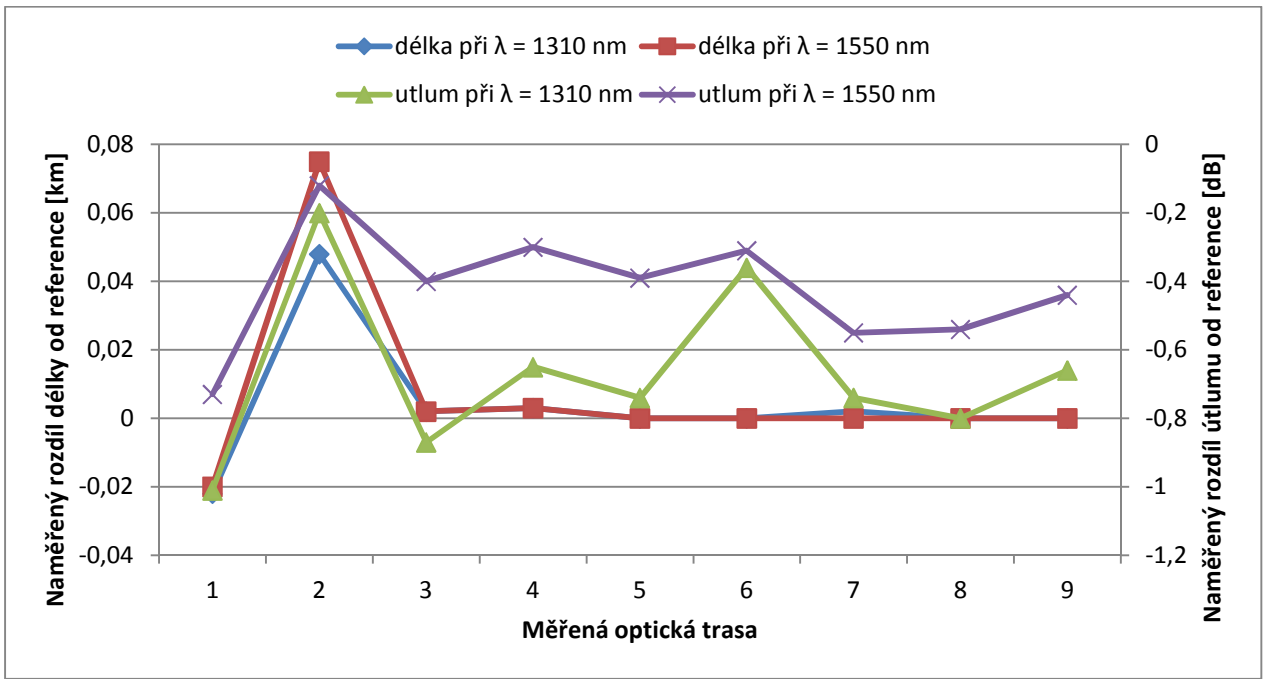


graf 4 - Hodnoty útlumových rozdílů jednotlivých reflektometrů pro λ= 1550 nm



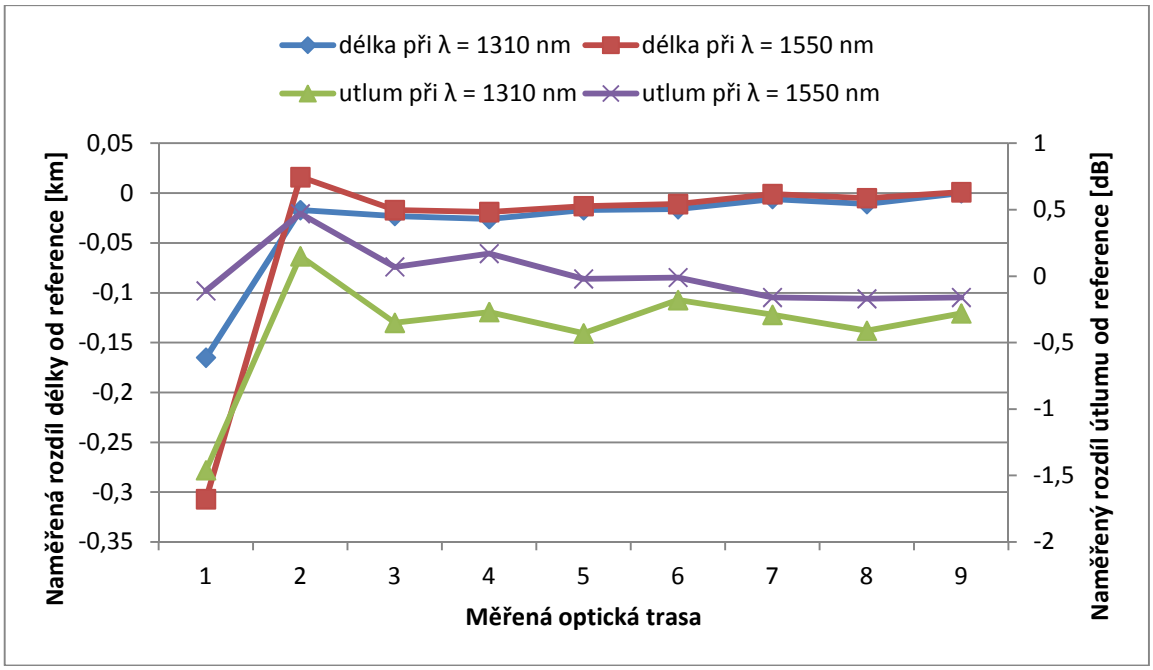
graf 5 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem FTB-1

Přístroj FTB-1 nedoměřil na vlnové délce 1310 nm trasu č. 1 (cca 100km), ale při měření všech ostatních tras dosáhl velmi malých rozdílů v porovnání s referenčními hodnotami viz graf 5, je tedy vhodný pro měření na páteřní i přístupové síti s výjimkou velmi dlouhých tras (kolem 100km a více).



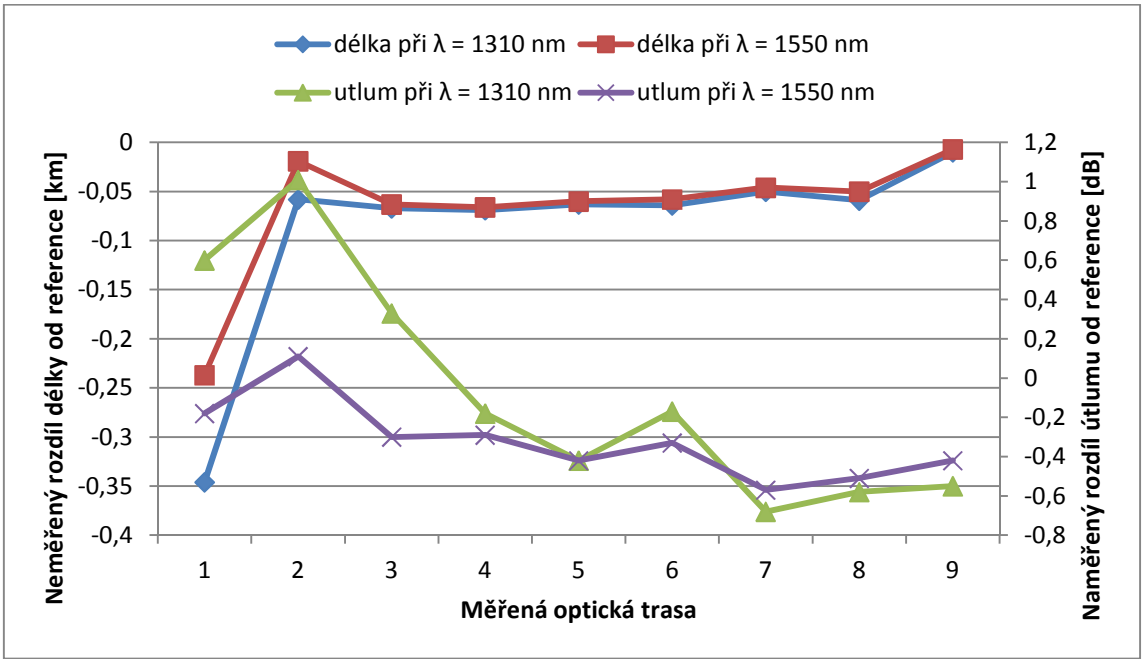
graf 6 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem iOLM

Modul iOLM dosáhnul nejlepších hodnot měření ze všech použitých reflektometrů, doměřil i trasu 1 s velmi malým rozdílem v délce (pouze 22m). Je tedy vhodný pro měření v páteřní i přístupové síti bez omezení a dle mého názoru je velmi vhodný pro lokalizaci poruch.



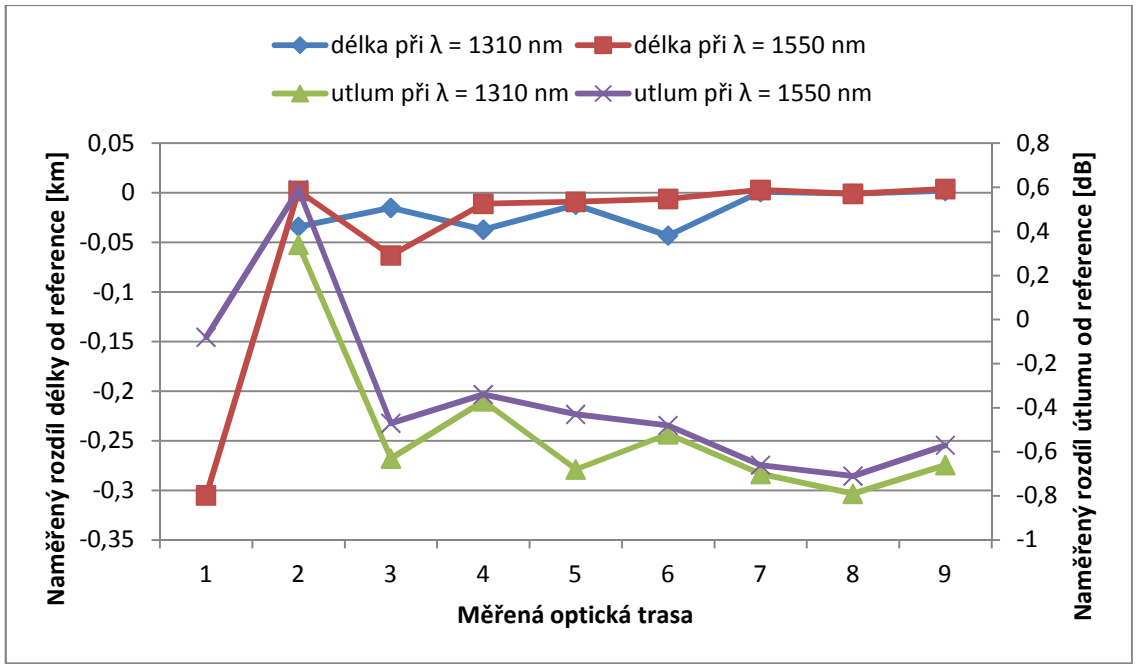
graf 7 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem FTB200 (A)

Přístroj s tímto modulem sice doměřil až do konce trasu 1, ale rozdíl od reference byl na obou vlnových délkách stovky metrů, viz graf 7. U ostatních tras všech měřil velmi přesně vzhledem k referenci. Je vhodný pro měření všech páteřních i přístupových sítí, doměří i velmi dlouhou trasu, ale primárně k měření dlouhých tras určen není.



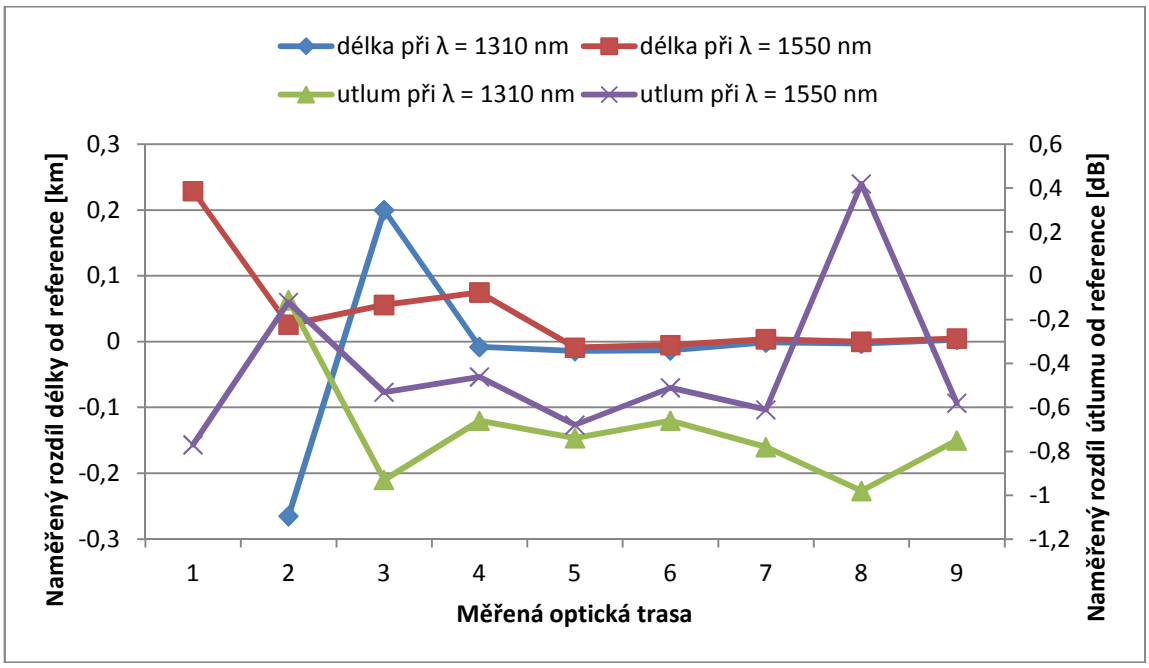
graf 8 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem FTB400

FTB400 trasu č. 1 sice doměřil, ale jako v případě předchozího přístroje (FTB 200(A)) byl rozdíl od reference stovky metrů, viz graf 8. Ostatní trasy ovšem změřil bez větších rozdílů v porovnání s referencí. Podle mého názoru je vhodný pro všechny druhy běžných měření v páteřních i přístupových sítích s výjimkou velmi dlouhých tras (nad 100 km).



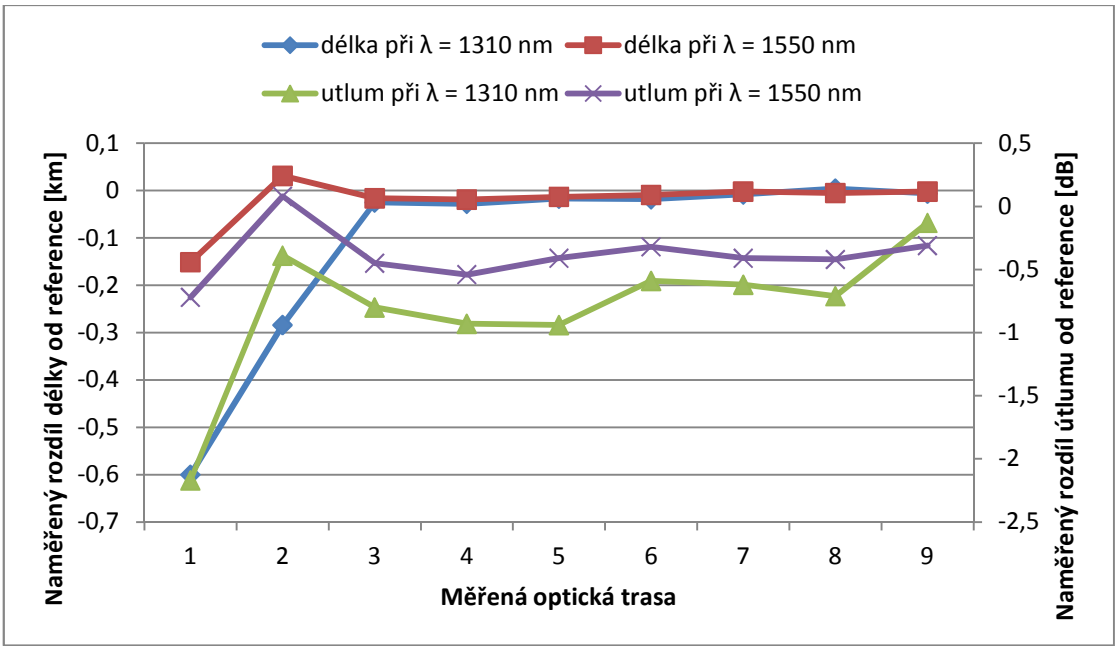
graf 9 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem HP 8174

Tento přístroj s rokem výroby 1997 jsem vzhledem k jeho stáří a počtu odměřených tras typoval na špatné výsledky a velké rozdíly naměřených hodnot od reference, ale kromě nejdelší trasy č. 1, změřil ostatní trasy s hodnotami velmi se blížícím hodnotám referenčním, viz graf 9. S tímto přístrojem je i přes jeho stáří možné měřit všechny běžné trasy, kromě velmi dlouhých.



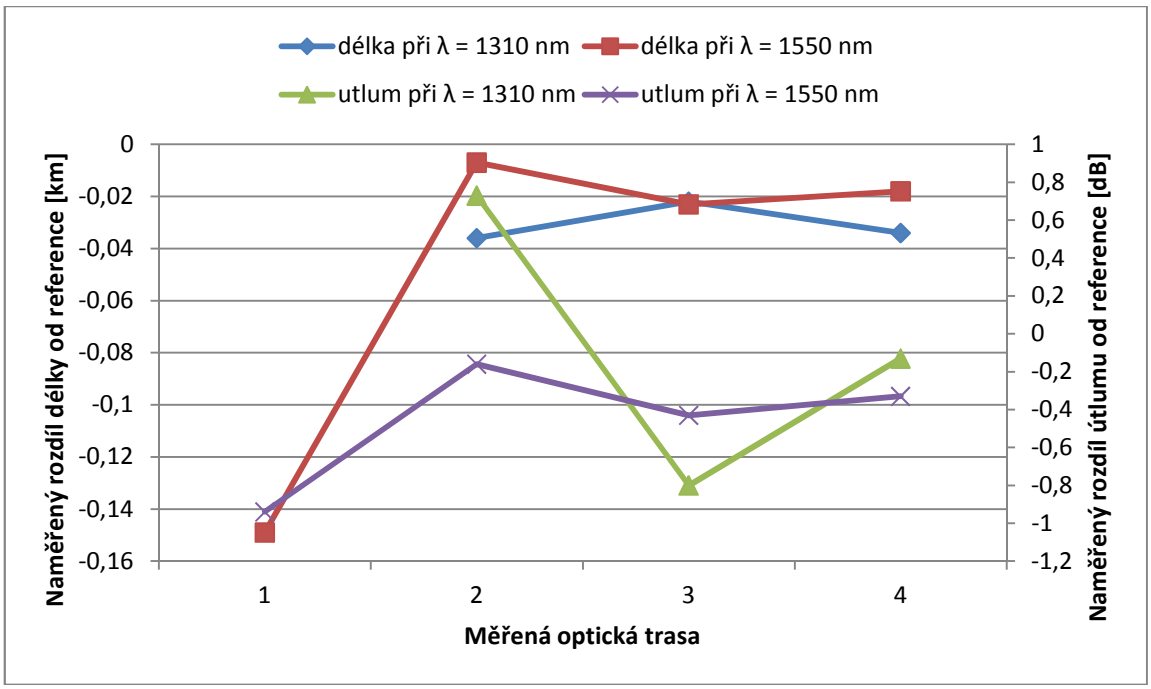
graf 10 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem FTB 100 Mini

Měřením tímto přístrojem bylo dosaženo nejhorších výsledků, byly naměřeny největší rozdíly od reference, viz graf 10. Přesto i zde u kratších tras byly náměry srovnatelné se všemi ostatními přístroji. Přístroj je vhodný pro měření na přístupových sítích.



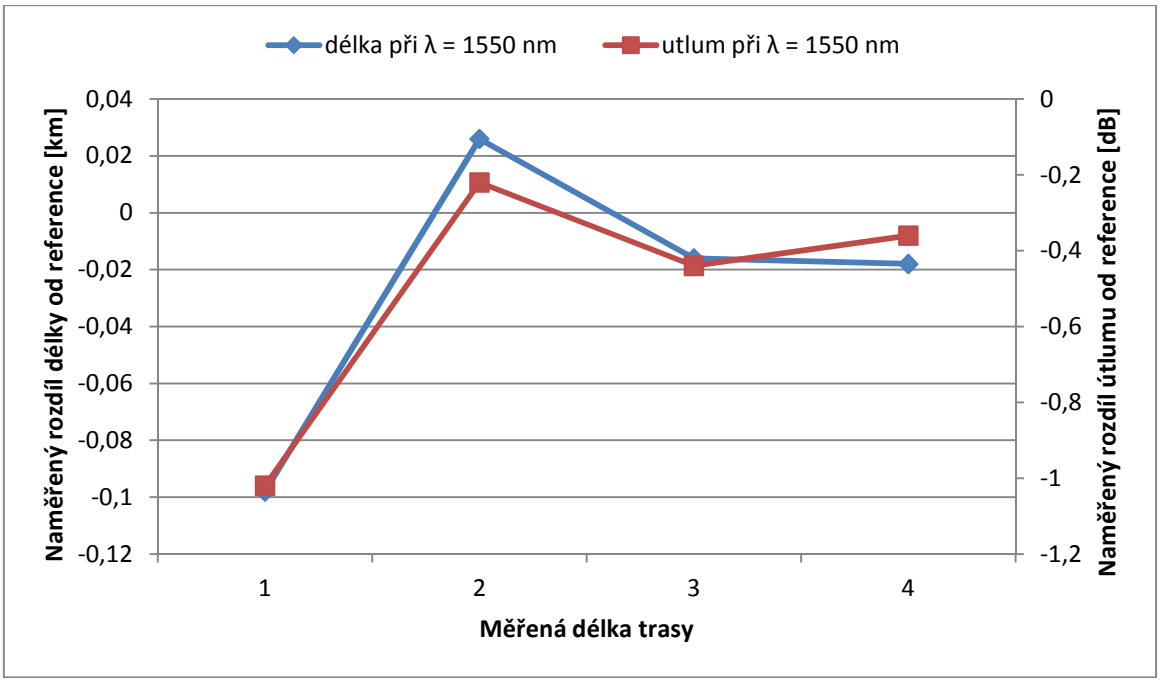
graf 11 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem FTB 200

Přístrojem se podařilo doměřit nejdelší trasu č. 1, ale jak tomu bylo u některých předchozích přístrojů, rozdíly délky od referenčních, dosahovaly stovek metrů na obou vlnových délkách viz graf 11. Hodnoty náměrů ostatních tras byly ale velmi přesné, v porovnání s referenčními. Přístroj je vhodný pro měření jak páteřních, tak i přístupových optických sít, pouze s výjimkou velmi dlouhých tras.



graf 12 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem FTB 500 (A)

Tímto modulem (dynamický rozsah 39 dB) byly změřeny pouze 4 trasy (zápůjčka od firmy E-on), nejdelší trasu se nepodařilo doměřit na vlnové délce 1310 nm,ostatní náměry se blížili referenčním hodnotám, takže pro běžná měření v rámci výstavby a údržby páteřních a přístupových optických sítí by mněl modul vyhovovat.



graf 13 - Rozdíly délky a útlumu naměřených hodnot přístrojem FTB 500 (B)

S tímto modulem jsem měl možnost měřit také pouze 4 trasy, což byla velká škoda, protože při svém dynamickém rozsahu 50 dB, by určitě bylo možno měřit i mnohem delší trasy než byla trasa č. 1. Navíc měřil pouze na vlnových délkách 1550 nm a 1625 nm, protože se primárně využívá právě pro měření velmi dlouhých tras (nad 100 km). Velmi pravděpodobně by dobře odměřil i krátké trasy, ale to by bylo vzhledem k vysokým finančním nákladům na pořízení tohoto modulu zbytečné mrhání finančními prostředky. Je určen pro měření na páteřních optických trasách.

ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem se snažil vyjmenovat faktory, které přispívají k bezpečnosti a spolehlivosti optických sítí, sestávajících z optických kabelů. Vyjmenoval jsem hlavní druhy optických kabelů a jejich nejdůležitější přenosové parametry.
Obsáhleji jsem se v teoretické části věnoval měření útlumu optických vláken, měřícím metodám, přímé i reflektometrické a přístrojům, kterými se měření provádí.

V praktické části jsem provedl měření 9 reálných optických tras (páteřních i přístupových) na vlnových délkách 1310 nm a 1550 nm. Sledoval jsem odchylky naměřených hodnot reflektometry od hodnot naměřených metodou přímou, přístrojem FOT-930, kterou jsem si zvolil jako referenční, jak pro měření útlumu optických vláken, tak i pro měření jejich délky.

Výsledky mně poměrně překvapili, žádný z přístrojů neměřil vyloženě špatně, v porovnání s referenčními hodnotami naměřených útlumů i délek. Jak jsem předpokládal největší rozdíly jsem naměřil na nejdelších trasách (100km a 50km), ale všechny ostatní trasy byly všemi přístroji změřeny vzhledem k referenčním hodnotám velmi přesně Celkové výsledky měření všech přístrojů na všech trasách jsou znázorněny na graf 1, graf 2, graf 3 a graf 4.

Obecně lze konstatovat, že vzhledem k naměřeným hodnotám by bylo možné použít jakýkoliv z výše použitých přístrojů, s výjimkou měření dlouhých tras (100 km). K měření tras o těchto délkách je již zapotřebí většího dynamického a tím i většího měřícího rozsahu daného modulu. Pokud by přístroje byly používány k lokalizaci poruchy je nutné použít postup, který jsem uvedl v kapitole 7.3, tedy pokusit se, po prvotním měření z některého z konců trasy, co možná nejvíce zkrátit měřený úsek k poruše, tak aby bylo možno použít co nejkratší měřící pulz a dosáhnout tak, co nejlepšího rozlišení všech útlumových událostí na trase.

Pokud by bylo nutné změřit trasu neznámé délky, je vhodnější měřit co největší vlnou délkou, jakou přístroj umožňuje, aby se případně mohla změřit co nejdelší trasa. Následně se může nastavení přístroje upravit pro dosažení lepšího rozlišení. Při odečítání z obrazovky přístroje je nutné pamatovat na délku předřadného vlákna a také se sestředit na to, zde měření proběhlo až do konce trasy.

Současný trend ve vývoji měřících přístrojů je co možná největší ulehčení měření z hlediska nastavení parametrů měřících přístrojů Je snaha udělat přístroje natolik sofistikované, aby je mohl ovládat a provádět s nimi správná a kvalitní měření i člověk, kterého není nutné nákladně a zdlouhavě proškolovat. Přístroje vyrobené firmou Exfo, které jsem mněl možnost použít, tento trend jednoznačně podporují, o čemž jsem se mohl přesvědčit. Pro měření přístrojem FOT-930 stačilo pro referenci i samotné měření zmáčknout pouze tlačítko FasTest. V rámci měření platformou FTB-1, softwarovým modulem iOLM, stačilo pouze zmáčknout tlačítko Start.

Lze tedy konstatovat, že přístroje, které jsem mněl k dispozici, jsou schopny i po letech provozu a mnoha provedených měřeních, provádět kvalitní a relativně velmi přesná měření optických tras.

POUŽITÁ LITERATURA

[1] FILKA, M.: *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. CENTA, Brno 2009.

[2] FILKA, M.:*Přenosová média*. Skripta laboratoře. VUT FEKT, Brno 2003.

[3] KUCHARSKI, M., DUBSKÝ, P.: *Měření přenosových parametrů optických vláken kabelů a tras*. Mikrokom, Praha 2001.

[4] *ČSN 73 6005:* Prostorové uspořádání sítí technického vybavení – Příloha A: Nejmenší dovolené vzdálenosti při souběhu podzemních vedení a při křížení, (1994).

[5] *ČSN 73 6005:* Prostorové uspořádání sítí technického vybavení – Příloha B: Nejmenší dovolené krytí podzemních vedení, (1994).

[6] *Zákon č. 127/2005 Sb* o elektronických komunikacích, *Sbírka zákonů* 2005, částka 43, str. 1330 (2005)

[7] *Zákon č. 183/2006 Sb* o územním plánování a stavebním řádu, *Sbírka zákonů* 2006, částka 63, str. 2226 (2006)

[8] *Zákon č. 290/2010 Sb* o elektronických komunikacích a o změně některých souvisejících zákonů, *Sbírka zákonů* 2010, částka 95, str. 3682 (2010)

[9] NOVOTNY, V. : *Architektura sítí*, FEKT, Brno, ČR, 2002

[10] KOSOUR, P.:*Měření optických kabelových tras – přímá metoda*, Praha 2012. Výuková prezentace v rámci školení společnosti Profiber - Měření a vyhodnocení optických kabelových tras

[11] KOSOUR, P.:*Intelligent optical link maper – co vidí a umí OTDR*, Praha 2012 Výuková prezentace v rámci školení společnosti Profiber - Měření a vyhodnocení optických kabelových tras

SEZNAM ZKRATEK

MM	Multi mode
SM	Single mode
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
PMD	Polarisation mode dispersion
LAN	Local area network
NA	Numerická apertura
FTTx sites	Fiber to the x...,B-Building,H-Home
ITU-T	International Telecommunication Union
LM	Last mile
iOLM	Intelligent Optical Link Maper
LED	Light - Emitting Diode