

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

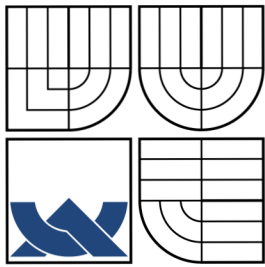
ŠIROKOPÁSMOVÁ FTTX PŘÍPOJKA NA ARCHITEKTUŘE  
WDM - PON

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

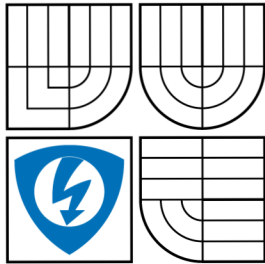
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. PETER BOBKVIČ

BRNO 2010



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

## ŠIROKOPÁSMOVÁ FTTX PŘÍPOJKA NA ARCHITEKTUŘE WDM - PON

WIDE-BAND FTTX NETWORKS TERMINAL IN WDM - PON ARCHITECTURE

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

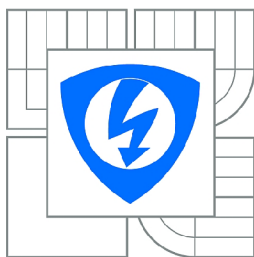
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. PETER BOBKOVIČ

VEDÚCI PRÁCE  
SUPERVISOR

DOC. ING. MILOSLAV FILKA, CSC.

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Telekomunikační a informační technika

**Student:** Bc. Peter Bobkovič

**ID:** 78239

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2009/2010

## NÁZEV TÉMATU:

**Širokopásmová FTTx přípojka na architektuře WDM - PON**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte optickou síť PON - definujte parametry a analyzujte jejich vliv na šířku pásma přípojky FTTH/FTTx. Rozved'te omezující faktory pro širokopásmové připojení FTTH/FTTx a spektrální charakteristiky sítí PON, včetně jejich využití pro nasazení technologií WDM-PON. Navrhněte metody měření a prakticky změřte parametry sítě WDM-PON. Navrhněte možnosti diagnostiky sítě.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FILKA, M. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. CENTA, Brno 2009.
- [2] GIRARD, A. FTTx PON Technology and Testing. EXFO, Quebec, 2005.
- [3] ČUCHRAN, J., RÓKA, R. Optokomunikačné systémy a siete. Skripta. SVŠT, Bratislava 2007.

**Termín zadání:** 29.1.2010

**Termín odevzdání:** 26.5.2010

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Miloslav Filka, CSc.

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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**

Táto diplomová práca je zameraná na problematiku pasívnych optických prístupových sietí. Sú tu rozobrané obmedzujúce faktory pre širokopásmové pripojenia a to najmä útlm optických vlákien a disperzia. Ďalej sú prebrané v praxi najčastejšie používané štandardy pasívnych optických sietí. Je tu objasnená problematika vlnovodízkového multiplexu, ako sú výhody a nevýhody tejto technológie, používané štandardy, rozličné druhy komponentov pre siete WDM, ich vlastnosti, použitie atď. V praktickej časti práce sa nachádza meranie a diagnostika pasívnej optickej siete EPON. Postupne sú tu spracované merania priamou metódou OLTS, meranie Pon Power Metrom a optickým reflektometrom OTDR. Na záver je spracované meranie splittra s deliacim pomerom 1:16.

## **KĽÚČOVÉ SLOVÁ**

vlnovodízkový multiplex, optické vlákno, pasívna optická sieť, vlnová dĺžka, deliaci pomer, optický reflektometer, meranie

## **ABSTRACT**

This masters thesis is focusing on the issue of passive optic access networks. It is dealing with the limiting factors for broadband connections, especially attenuation of fibre optics and dispersion. It is also dealing with most commonly used standards of passive optic networks. It clarifies the issue of wavelength-division multiplexing, its advantages and disadvantages, used standards, various types of components for the WDM-networks, their characteristics, application etc. In the practical part of the work you can find the measuring and diagnostics of the passive optic network EPON. It contains measuring by the direct method OLTS, measuring by the Pon Power Meter and optic reflectometer OTDR. At the end I am dealing with the measuring of splitter in the rate of 1:16.

## **KEYWORDS**

Wavelength Multiplexing, Optical Fiber, Passive Optical Network, Wavelength, Ratio, Optical Time Domain Reflectometer, Measurement

Bobkovič Peter. *Širokopásmová FTTx přípojka na architektuře WDM - PON*. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav telekomunikací, 2010. 77 s., 0 s. příloh. Diplomová práce. Vedúci práce bol doc. Ing. Miloslav Filka, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Širokopásmová FTTx přípojka na architektuře WDM - PON“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

Ďakujem vedúcemu mojej diplomovej práce doc. Ing. Miloslavovi Filkovi, CSc., Ing. Jurajovi Sukopovi, Ing. Petrovi Potrokovi a Ing. Pavlovi Reichertovi za účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej diplomovej práce.

# OBSAH

Úvod	12
<b>1 Obmedzujúce faktory pre širokopásmové pripojenia</b>	<b>13</b>
1.1 Optické modulácie	13
1.2 Vlastnosti optických vlákien	15
1.2.1 Optické vlákna	15
1.2.2 Útlm optických vlákien	15
1.2.3 Disperzia v optických vláknach	16
<b>2 Pasívne optické siete</b>	<b>18</b>
2.1 Optické prístupové siete FTTx	18
2.2 Topológia point - to point	19
2.3 Topológia point - to multipoint	20
2.4 Aktívna optická sieť	22
<b>3 WDM - wavelength division multiplexing</b>	<b>24</b>
3.1 Spôsoby multiplexovania v optokomunikačných prenosových systémoch	24
3.2 Hustota multiplexovania WDM v optokomunikačných prenosových systémoch	26
3.2.1 Rozmiestnenie prenosových kanálov a typy systémov WDM	26
3.3 CWDM vs DWDM	27
3.4 Obmedzujúce faktory WDM	29
3.5 Vplyv vlnovej konverzie na priepustnosť WDM sietí	30
3.5.1 siete bez vlnovej konverzie	30
3.5.2 Siete s plnou vlnovou konverziou	31
3.5.3 Siete s obmedzenou vlnovou konverziou	31
<b>4 Základné prvky systémov a sietí WDM</b>	<b>33</b>
4.1 Základné prvky systémov a sietí WDM	33
4.2 Optické komponenty	34
<b>5 Meranie a diagnostika optickej siete</b>	<b>38</b>
<b>6 Meranie čistoty konektorov</b>	<b>40</b>
<b>7 Meranie priamou metódou - OLTS</b>	<b>42</b>
<b>8 Meranie Pon Power Metrom - PPM</b>	<b>46</b>



9	Meranie optickým reflektometrom - OTDR	49
10	Premeranie splittra 1:16	65
11	Výsledky študentskej práce	71
12	Záver	73
	Literatúra	74
	Zoznam symbolov, veličín a skratiek	76

# ZOZNAM OBRÁZKOV

1.1	Optické spektrum signálov pri prenosovej rýchlosti 80Gbit/s: a) CS-RZ b) RZ . . . . .	14
1.2	Útlm vo vláknových svetlovodoch . . . . .	16
1.3	Rozšírenie impulzov vplyvom materiálovej disperzie . . . . .	17
2.1	Optická prístupová sieť - point-to-point p2p . . . . .	20
2.2	Optická prístupová sieť - point-to-multipoint . . . . .	21
2.3	Aktívna optická sieť . . . . .	23
3.1	CWDM kanály podľa ITU - T G.694.2 . . . . .	27
3.2	Druhy vlnovej konverzie v uzle . . . . .	30
4.1	Základné prvky systému WDM . . . . .	33
6.1	detail konektoru a)pred vyčistením b)po vyčistení . . . . .	41
7.1	schéma zapojenia optickej trasy a meracích prístrojov pri metóde OLTS	43
7.2	Prechod odrazených signálov cez splitter . . . . .	45
8.1	Schéma zapojenia optickej trasy pri metóde PPM . . . . .	46
8.2	Zmerané hodnoty prístrojom PPM . . . . .	47
9.1	Meranie trasy po segmentoch a cez splitter . . . . .	49
9.2	Dynamický rozsah . . . . .	50
9.3	Mŕtva zóna . . . . .	51
9.4	Vplyv dĺžky impulzu na veľkosť mŕtvej zóny . . . . .	51
9.5	Program OTDR Viewer . . . . .	53
9.6	Informácie o meraní . . . . .	53
9.7	Udalosti na trase . . . . .	54
9.8	”Manuálne” meranie častí trasy . . . . .	54
9.9	Schéma zapojenia optickej trasy . . . . .	55
9.10	Zmeraný graf na vlnovej dĺžke 1310nm pri rôznych pulzoch . . . . .	55
9.11	Zmeraný graf na vlnovej dĺžke 1550nm pri rôznych pulzoch . . . . .	57
9.12	Zmeraný graf zo strany OLT na vlnovej dĺžke 1310nm a pulze 275ns .	58
9.13	Graf optickej trasy zobrazený programom Bidir Viewer . . . . .	59
9.14	Schéma zapojenia optickej trasy . . . . .	60
9.15	Zmeraný graf na vlnovej dĺžke 1310nm pri rôznych pulzoch . . . . .	60
9.16	Zmeraný graf na vlnovej dĺžke 1550nm pri rôznych pulzoch . . . . .	62
9.17	Vzrast dynamického rozsahu a mŕtvej zóny zároveň s impulzom . . .	63
9.18	Vnútorne zapojenie prístroja OTDR . . . . .	63
9.19	Zmeraný graf na vlnovej dĺžke 1625nm pri rôznych pulzoch . . . . .	64
10.1	Schéma zapojenia meracích prístrojov, splittra a vlákien . . . . .	66
10.2	Schémy zapojenia pri meraní prístrojmi FOT-930 . . . . .	67
10.3	Graf nameraných hodnôt prístrojom OTDR . . . . .	69

10.4 Meranie ORL a zakončenie konektoru SC/PC a SC/APC . . . . .	70
--	----

# ZOZNAM TABULIEK

2.1	Porovnanie štandardov PON . . . . .	22
3.1	Porovnanie technológií WDM . . . . .	28
7.1	Výsledky merania metódou OLTS . . . . .	43
7.2	Útlm splittra pri jednotlivých deliacich pomeroch [11] . . . . .	44
8.1	Výpočet očakávanej úrovne signálu meranej prístrojom PPM . . . . .	48
9.1	Závislosť mŕtvej zóny a dynamického rozsahu na dĺžke impulzu [14] . . . . .	52
9.2	Tabuľka nameraných hodnôt pri vlnovej dĺžke 1310nm . . . . .	56
9.3	Tabuľka nameraných hodnôt pri vlnovej dĺžke 1550nm . . . . .	57
9.4	Tabuľka nameraných hodnôt pri vlnovej dĺžke 1310nm . . . . .	61
9.5	Tabuľka nameraných hodnôt pri vlnovej dĺžke 1550nm . . . . .	62
9.6	Tabuľka nameraných hodnôt pri vlnovej dĺžke 1625nm . . . . .	64
10.1	Namrané hodnoty útlmu splittra v smere OLT-ONT . . . . .	65
10.2	Namrané hodnoty útlmu splittra v smere ONT-OLT . . . . .	65
10.3	Útlm vlákna s dĺžkou 20km . . . . .	66
10.4	Útlm optickej trasy so splittrom a vláknom 20km . . . . .	67
10.5	Útlm optickej trasy 1 . . . . .	68
10.6	ORL optickej trasy 1 . . . . .	68
10.7	Útlm optickej trasy 2 . . . . .	68
10.8	ORL optickej trasy 2 . . . . .	68
10.9	Namerané hodnoty prístrojom OTDR . . . . .	69

# ÚVOD

V tejto diplomovej práci sa venujem pasívnym optickým prístupovým sieťam a vlnovodízkovému deleniu prenosového pásma. Práca je rozdelená na teoretickú časť a praktickú časť, v ktorej sú spracované výsledky z vykonaných rôznych meraní na optickej prístupovej sieti.

V teoretickej časti práce sú ako prvé rozobraté obmedzujúce faktory pre širokopásmové pripojenie. Z týchto je najviac venované útlmu a disperzii optických vlákien. Ako ďalšie sú uvedené rôzne druhy pasívnych optických prístupových sietí, ich vlastnosti, topológie a podobne. Nasleduje problematika vlnového multiplexu WDM, v ktorej sú uvedené spôsoby multiplexovania, hustota multiplexovania WDM ako aj rozmiestnenie kanálov a typy systémov WDM. Bližšie je zamerané na multiplex CWDM a DWDM. Netreba zabúdať aj na problematiku vlnovodízkovej konverzie. Ako posledné sú v teoretickej časti práce rozpísané základné prvky systémov a sietí WDM

V praktickej časti práce sú uvedené spracované postupne vykonávané merania na pasívnej optickej sieti EPON. Merania sú spracované v slede, ako sú aj v praxi vykonávané pri inštalácii siete FTTH. Ako prvé je rozpísané meranie čistoty konektorov. Táto časť je skôr ukážkou narábania s optickým viedomikroskopom a celkovej potreby dostatočne čistiť konektory. Nasleduje meranie priamou metódou OLTS. Sú tu prehľadne spracované výsledky tohto merania vykonávaného pri inštalácii siete. Ďalej meranie Pon Power Metrom, kedy sú tu výsledky merania vykonávaného pracovníkom pri zriaďovaní služby. Nasleduje spracované meranie optickým reflektometrom, ktoré sa vykonáva pri problémoch a poruchách optických sietí. Nakoniec je tu premeraný školou vlastnený splitter s deliacim pomerom 1:16 viacerými metódami.

# 1 OBMEDZUJÚCE FAKTORY PRE ŠIROKO-PÁSMOVÉ PRIPOJENIA

Sir Isaac Newton (1642 - 1727) a René Descartes (1596 - 1650) ako prvý prezentovali názor, že svetlo je prúd veľmi malých častíc, ktorému dnes hovoríme fotóny. Dnešné znalosti nie sú o veľa dokonalejšie. Vieme, že svetlo v sebe spája dve vlastnosti, korpuskulárny charakter (prúd fotónov) a typické vlastnosti vlnenia. Tieto dve vlastnosti sú formami javov jednej a tej istej fyzikálnej reality. Šírenie svetla je v guľových vlnoplochách, tak ako pri elektromagnetickom žiarení, či šírení vln po vrhnutí kameňa do vody. [1]

## 1.1 Optické modulácie

Modulácia je vo všeobecnosti prispôsobenie prenášaného signálu danému prenosovému kanálu. Naším prenosovým médiom je optické vlákno, ktoré má z hľadiska vlastností vplývajúcich na prenos svetla najlepšie vlastnosti. 1.2

Optické systémy môžeme rozdeliť z hľadiska modulácie na:

- koherentné
- nekoherentné (on/off keying)

Cieľom týchto systémov (koheren./nekoheren.) je zvyšovanie prenosovej kapacity média. Zistilo sa, že maximálna prenosová rýchlosť pri on/off modulácii je približne 10 GB/s. Preto sa začína pristupovať ku koherentným systémom, ktoré využívajú viacstavovú moduláciu (FSK, PSK, ASK ).

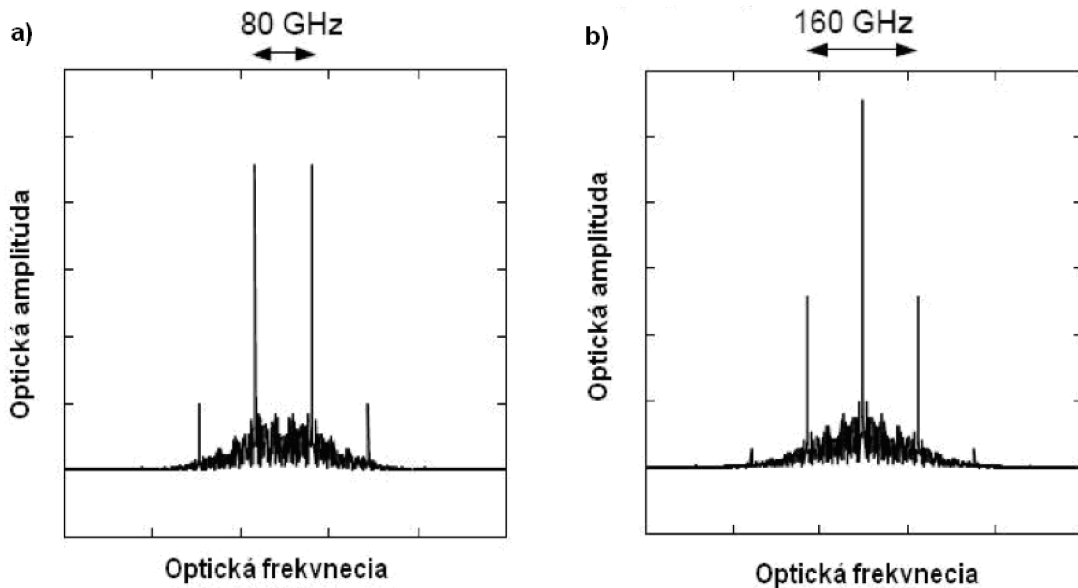
### **Najrozšírenejšie modulácie v optickom médiu:**

#### 1. Modulácie v základnom pásme

Najrozšírenejšími moduláciami v základnom pásme sú modulácie RZ, NRZ a CSRZ. Tieto signály sú realizované unipolárne, nakoľko záporné svetlo je nerealizovateľné.

Použitie RZ formátov, bez ďalšej úpravy nie je vhodné pre optický prenos. Jednotlivé impulzy sú úzke a preto ich spektrum je široké v porovnaní s NRZ formátom. Právě z tohto dôvodu sa využíva CS-RZ, kde nastáva síce návrat k nule, no každý susediaci bit je s inou fázou. To má za efekt odstránenie optického nosného komponentu z optického spektra a redukovanie spektrálnej šírky na polovicu, povoľujúc zhustenie rozmiestnenie kanálov pri WDM. V

obrázku 1.1 môžeme vidieť porovnanie robustnosti RZ signálu s CS-RZ pri prenosovej rýchlosti 80Gbit/s.



Obr. 1.1: Optické spektrum signálov pri prenosovej rýchlosti 80Gbit/s: a) CS-RZ b) RZ

NRZ, RZ či CS-RZ modulácie nie sú ako také (samé o sebe) vhodné na prenos vyšších prenosových rýchlostí ako 40Gb/s a viac. Pri nasadení týchto modulácií dochádza k výrazným vzrastom chybovosti, ktorá je spôsobená hlavne prítomnosťou faktora PMD (Polarization Mode Dispersion) a iných. Tieto nedostatky sa pri použití systémov s hustým vlnovo dĺžkovým multiplexom (DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing) budú značne prejavovať a znehodnocovať prenos. Práve pre tento fakt sa hľadajú nové modulačné metódy, a to modulácie v preloženom pásme.

## 2. Modulácie v preloženom pásme

Sú to techniky, ktoré pracujú s koherentnými systémami. Medzi základné patria ASK, DPSK, DQPSK a DUOBINARY. [2]

## 1.2 Vlastnosti optických vlákien

### 1.2.1 Optické vlákna

Prenosové vlastnosti optických vlákien závisia predovšetkým od druhu konštrukcie vlákien. Podľa toho rozoznávame druhy vlákien z ktorých najznámejšie sú tieto 3:

**Mnohovidové vlákna s konštantným indexom lomu jadra a skokovou zmenou indexu lomu plášťa**, ktoré sa vyznačujú jednoduchou výrobou a manipuláciou a v pomerne jednoduchom konštruovaní. Nevýhoda je vo väčšom útlme, disperzii a malej prenosovej kapacite. Vyznačujú sa väčšími priermi jadra a plášťa.

**Mnohovidové vlákna s premenným indexom lomu v priečnom reze vlákna**, ktoré sa vyznačujú menšou disperziou, menším útlmom, čiastočne zložitejšou výrobou a tým zložitejším konštruovaním a spojovaním vlákien.

**Jednovidové vlákna s konštantným indexom lomu jadra a skokovou zmenou indexu lomu plášťa**, ktoré sa vyznačujú veľmi malou disperziou, veľmi malým útlmom a vysokou prenosovou kapacitou. Nachádzajú uplatnenie predovšetkým pre diaľkové prenosy. V tomto prípade sa vláknom šíri iba jeden vid, a to vo smere osy. Aby sa tohto stavu mohlo dosiahnuť, je potrebné zmenšiť priemer jadra na hodnotu rovnú niekoľko vlnových dĺžok svetla.

### 1.2.2 Útlm optických vlákien

Útlm optických vlákien je predovšetkým spôsobovaný:

**Absorpciou prostredia, v ktorom sa energia šíri.**

Straty absorpciou v ultrafialovej a viditeľnej oblasti sú spôsobené prechodmi atomárnymi a v infračervenej oblasti medzi molekulárnymi úrovňami základného materiálu, prímiesí a nečistôt. Rezonančná frekvencia iontov OH, ktoré tvoria hlavný podiel strát, odpovedá vlnovej dĺžke  $2,8\mu\text{m}$  takže leží mimo pásmo využívané pre prenos na optických frekvenciách, avšak druhá harmonická  $1,38\mu\text{m}$  a tretia harmonická  $0,94\mu\text{m}$  spadajú do oblasti využívaného pásma. Typické rezonančné krivky zapríčinené iontami OH sú zrejmé z obrázku 1.2.

**Vyžarovaním z vlákna.**

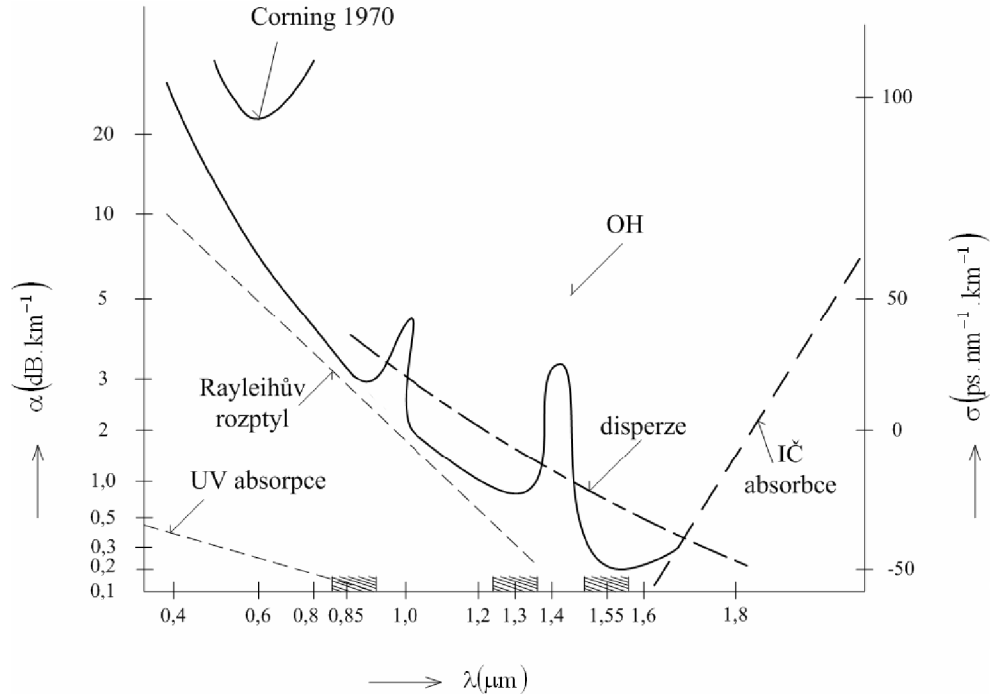
Straty vyžarovaním sú spôsobené lomom šíriacich sa lúčov na rozhraní dvoch dielektrických prostredí s rôznymi vlastnosťami, pričom časť energie preniká z jadra von.

**Rozptylom na nehomogenitách.**

Straty rozptylom sú spôsobené tým, že molekuly v amorfnom materiále náhodne rozložené tvoria mikronehomogenity indexu lomu materiálu. Ak sú nehomogenity a drobné nečistoty rozmerovo malé oproti vlnovej dĺžke, potom rozptylovým stratám na nich hovoríme Rayleighove.



K vymenovaným stratám sa z praktického hľadiska ďalej radia straty spôsobené porušením dokonalej geometrie, porušením tvarov a rozmerov hranice medzi jadrom a plášťom, trhlinky v materiále jadra a mikroohyby.



Obr. 1.2: Útlm vo vláknových svetlovodoch

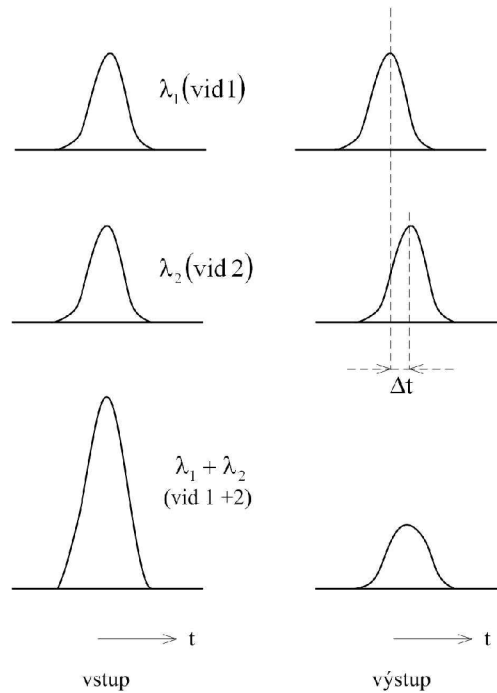
Obrázok 1.2 zňázorňuje vyššie popísané straty. U najnovšie vyvinutých vláknoch sa podarilo eliminovať vplyv iontov OH.

### 1.2.3 Disperzia v optických vláknoch

Disperzia vln v optických vláknoch je hlavnou príčinou skreslenia prenášaného signálu a definuje sa ako rozdiel šírky impulzu v polovici výšky na začiatku a na konci vlákna. Disperzia sa radí k najdôležitejším parametrom optických svetlovodov, určuje šírku prenášaného pásma a tým aj prenosovú rýchlosť.

**Materiálová disperzia** je zapríčinená rozdielnymi rýchlosťami šírenia lúčov s rôznymi vlnovými dĺžkami, čo je spôsobené nelinearitou frekvenčného priebehu indexu lomu. Predpokladajme na vstupe zdroj žiarenia so spektrálnou šírkou  $\lambda$ . Potom vplyvom rôznych rýchlostí šírenia bude v jednotkovej vzdialenosti od počiatku medzi zložkami líšiacimi sa o  $\Delta\lambda$  časový rozostup, daný rozdielom ich skupinovým šírením.

**Vlnovodná disperzia** spôsobuje tiež rozširovanie impulzov. Príčina je, že konštanta šírenia je pre každý vid rôzna a tým sa mení jeho frekvencia, čo má za následok zmenu rýchlosti šírenia.



Obr. 1.3: Rozšírenie impulzov vplyvom materiálovej disperzie

**Vidová disperzia** je hlavným činiteľom, ktorý obmedzuje šírku prenášaného pásma u mnohovidových svetlovodov. Čím vyšší vid, tým dlhšia dráha medzi vstupom a výstupom a tým pomalšia rýchlosť v smere osy. Pre jednovidové vlákno je vidová disperzia takmer nulová s šírkou pásma cca do 200GHz.km.

**Chromatická disperzia** (materiálová+vlnovodná) sa v podstate donedávna nemerala. Potreba jej merania začala s nástupom systémov používajúcich hustého vlnového multiplexu DWDM. Roztiahnutie impulzov môže zasahovať do vedľajších bitových medzier. Na kompenzáciu chromatickej disperzie u starších, už položených vlákien sa využívajú kompenzačné vlákna DCF s vysokou hodnotou zápornej chromatickej disperzie

**Polarizačná vidová disperzia PMD.** S nárastom prenosových rýchlostí v jednovidových vláknoch nad 2,5Gb/s vzrástla potreba merania PMD. Vid prechádzajúci optickým vláknom sa šíri v dvoch na seba kolmých polarizačných rovinách. Pri kruhovej nesymetrii vlákna sa obe polarizácie šíria inou rýchlosťou a tým pádom sa signál skreslý alebo rozšíri impulz. [3]

## 2 PASÍVNE OPTICKÉ SIETE

Technológia optických káblov sa presadila ako dominantná technológia chrpbicových sietí a výkonných medzinárodných a transkontinentálnych prepojení. Väčšie uplatnenie optiky vo výstavbe miestnych sietí sa oneskorilo najmä z ekonomických dôvodov, pretože návratnosť investičných nákladov vyžadovala optimálne využitie výkonnosti tejto technológie. V súčasnosti rastie počet prevádzkovateľov, ktorí modernizujú pôvodnú metalickú štruktúru prístupových sietí vkladáním optických úsekov a budujú nové optické prístupy k rôznym inštitúciám, ale aj do domácností.

### 2.1 Optické prístupové siete FTTx

Označenie pasívna optická sieť nie je až také presné, pretože jedinými jej pasívnymi prvkami sú rozbočovače, ostatné prvky sú aktívne. Rozbočovač len rozdelí optický signál do požadovaného počtu dielčích dopredných smerov (alebo opačne združí prichádzajúce signály od jednotlivých užívateľov), ale nevykonáva žiadne úpravy signálu teda je pasívnym prvkom. Obojsmerný prenos je možné riešiť buď samostatnými vláknami alebo vlnovým rozdelením.

Pasívna optická sieť sa skladá na strane ústredne zo zakončenia optického vedenia (Optical Line Termination - OLT), na ktoré sa pripájajú optické rozbočovače. K nim sa pripájajú obmedzený počet sieťových jednotiek (Optical Network Unit - ONU alebo tiež Optical Network Termination - ONT). Vzdialenosť medzi OLT a ONU môže byť až niekoľko desiatok kilometrov.

Optický prístup je nezávislý na protokoloch vyšších vrstiev, takže bez problémov pojme ako optickú transportnú sieť SDH (Synchronous Digital Hierarchy), tak Fast Ethernet, Gigabit či 10 Gigabit Ethernet.

Technológia siete FTTx reprezentuje veľmi atraktívny návrh pre poskytovanie širokopásmových služieb koncových užívateľov a stáva sa efektívnym riešením optických prístupových sietí. Inštalácia technológie v týchto sieťach vedie vždy k riešeniu závislému od zvolenej architektúry siete v kombinácii s predpokladanou skladbou poskytovaných služieb. Pasívne optické rozdelovače alebo rozbočovače (splitter) umožňujú zdieľať kapacitu siete pre rádovo desiatky užívateľov. ONU môže byť umiestnená v dome alebo mimo domu. K zakončovacej jednotke sa môžu pripájať lokálne alebo domáce siete, napríklad sieť Ethernet.

Optické vlákna prenikajú v telekomunikačnej infraštruktúre stále bližšie ku koncovému užívateľovi širokopásmového pripojenia a služieb. Je to spôsobené predovšetkým poklesom cien optických komunikačných technológií a skutočnou "širokopásmovosťou" optického vlákna ako prenosového média. To znamená, že keď chceme zabezpečiť vysokú prenosovú kapacitu káblvej trasy, bez optického vlákna to nejde.

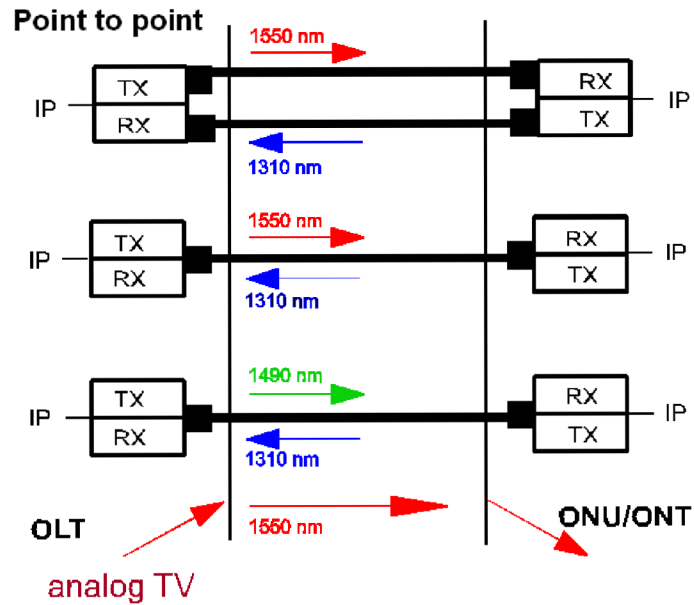
Projekty označujeme podľa toho, kam až sa dá s optikou smerom k účastníkovi prísť:

- FTTC (Fibre- To- The- Curb) - k okraji chodníku,
- FTTCab (Fibre- To- The- Cabinet) - do rozvádzača,
- FTTP (Fibre- To- The- Premises) - do areálu,
- FTTB (Fibre- To- The- Building) - do budovy,
- FTTH (Fibre- To- The- Home) - do domu/bytu,
- FTTO (Fibre- To- The- Office) - do kancelárie
- FTTD (Fibre- To- The- Desk) - na stôl.

Optické prístupové siete sa budujú v troch základných technológiách a to point - to point, point - to multipoint a aktívna optická sieť. [4]

## 2.2 Topológia point - to point

Topológia bod-bod 2.1 je základná a najľahšie realizovateľná. K účastníkovi stačí nainštalovať napríklad cenovo veľmi dostupný mediakonvertor a zaistiť mu tak dostatočne rýchle pripojenie, napr. formou Ethernet 100 Mbit/s. Potom sa môže za pomoci technológie VoIP (Voice over IP) a IPTV (TV over IP) vytvoriť návrh služieb Triple play. Každý účastník ONT/ONU je pripojený dvoma vláknami k ústredni OLT. Pokiaľ by sme chceli počet vlákien medzi účastníkmi a ústredňou znížiť, môže sa využiť optický spektrálny multiplex a vytvoriť obojsmerný komunikačný kanál po jednom vlákne tak, ako uvádza druhý, a tretí príklad na obrázku 2.1.

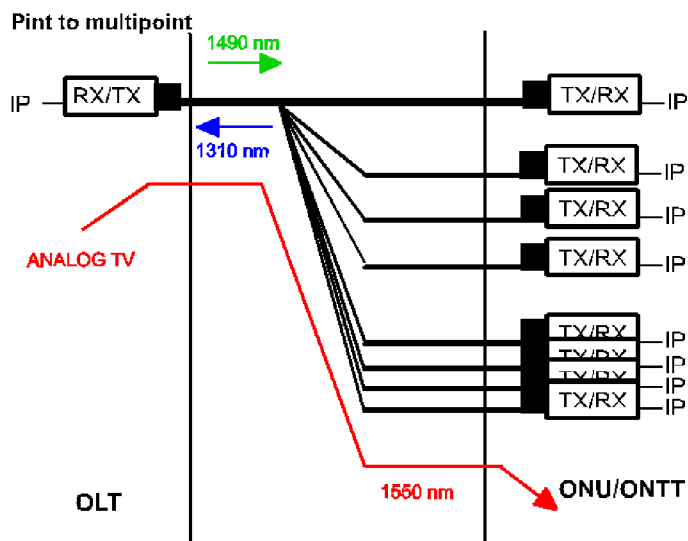


Obr. 2.1: Optická prístupová sieť - point-to-point p2p

Je však vhodné rešpektovať vlnové dĺžky 1310, 1490 a 1550 nm a ich využitie pre stream/downstream podľa doporučení ITU, ako je to zrejmé z obrázkov.

## 2.3 Topológia point - to multipoint

Veľký počet vlákien medzi ústredňou a účastníkmi komplikuje a predražuje optickú infraštruktúru u rozsiahlejšej FTTx siete. V takomto prípade považujeme za vhodnejšiu topológiu point-to multipoint podľa obrázku 2.2. [5]



Obr. 2.2: Optická prístupová sieť - point-to-multipoint

Pasívna optická sieť poskytuje výhodu optického rozbočovania signálu k účastníkovi a optickému zlučovaniu signálom od účastníka v čisto optickej oblasti bez konverzie na elektrický signál. Deliace pomery 1:32 alebo 1:64 potom povoľujú pripojiť 32 alebo 64 účastníkov ONT/ONU na jeden optický port OLT.

Najstarší štandard pasívnych sietí BPON (Broadband PON; špecifikácia ITU-T G.983 z roku 2001) umožňuje prenos dát zdieľanou rýchlosťou 155 alebo 622 Mbit/s a podporuje ATM, nie Ethernet. Jeho pôvodné označenie bolo APON. Pre potreby IPTV s HD rozlíšením nie je ideálnym riešením, pretože pre koncového účastníka ponúka vyhradenú kapacitu sťahovania dát 40Mbit/s a odosielania 9,3Mbit/s (pri deliacom pomere 1:16).

Naproti tomu GPON (Gigabit PON) prijatý ITU v roku 2003 podporuje okrem ATM aj gigabitový Ethernet, momentálna linková rýchlosť môže dosiahnuť až 2,5Gbit/s symetricky a splitter rozdeľuje kapacitu k 32 až 128 užívateľom.

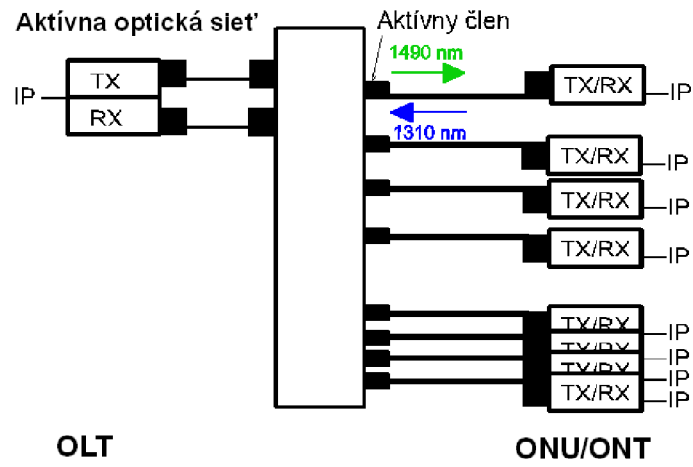
Finálna verzia štandardu EPON (Ethernet PON) bola prijatá ako IEEE 802.3ah len v septembri 2004. EPON má bitovú rýchlosť medzi linkovým zakončením na ústredni (OLT - Optical Line Termination) a pasívnym optickým rozbočovačom 1,25Gbit/s a pre dáta vymedzený 1Gbit/s, preto sa označuje aj ako GEAPON (Gigabit EPON). Mimochodom kapacita 1Gbit/s umožňuje súčasné sledovanie až 200 kanálov IPTV v štandardnom rozlíšení, alebo 66 HDTV kanálov. Popri IPTV tak zostáva dostatočná prenosová kapacita na rýchle pripojenie do internetu aj na telefonovanie. Záleží samozrejme aj na počte účastníkov pripojených na splitter. [6]

<b>Pasívne optické siete</b> (PON=Passive Optical Network)	<b>BPON</b> <i>(Broadband PON)</i>	<b>EPON</b> <i>(Ethernet PON)</i>	<b>GPON</b> <i>(Gigabit PON)</i>
<b>Špecifikácia</b>	ITU-T G.983	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984
<b>Sťahovanie dát (downlink)</b>	155 alebo 622 Mbit/s, neskôr až 1,2 Gbit/s	1,25 Gbit/s	1,2 alebo 2,5 Gbit/s
<b>Odosielanie dát (uplink)</b>	155 alebo 622 Mbit/s	1,25 Gbit/s	155 alebo 622 Mbit/s; 1,2 alebo 2,5 Gbit/s
<b>vlnová dĺžka pre downlink</b>	1480-1500 nm	1500 nm	1480-1500 nm
<b>vlnová dĺžka pre uplink</b>	1260-1360 nm	1310 nm	1260-1360 nm
<b>podpora na druhej vrstve</b>	ATM/Ethernet	Ethernet	Ethernet/ATM
<b>hlasová podpora</b>	okruhy (TDM)/ATM	TDM/paketová sieť	natívne okruhy alebo okruhy/IP/ATM
<b>maximálny počet pripojených užívateľov</b>	32	16	64
<b>dosah</b>	do 20 km	do 20 km	do 60 km

Tab. 2.1: Porovnanie štandardov PON

## 2.4 Aktívna optická sieť

Okrem pasívnych optických sietí existujú tiež aktívne optické siete (Active Optical Network - AON), ktoré prepojujú jednotky ONU prostredníctvom aktívnych sieťových prvkov ako sú napr. opakovače, rozbočovače či multiplexory/demultiplexory (elektricky napojené), ktoré rozdeľujú a v opačnom smere združujú signály medzi jednotlivými časťami optickej siete. Výhodou AON oproti PON (Passive Optical Network) je zaistenie podstatne väčších dosahov, nevýhodou u AON sú vyššie náklady na ich budovanie. [5]



Obr. 2.3: Aktívna optická sieť



## **3 WDM - WAVELENGTH DIVISION MULTIPLEXING**

### **3.1 Spôsohy multiplexovania v optokomunikačných prenosových systémoch**

Signály prenášané v optickom vlákne môžu využívať rôzne techniky spracovania signálov s cieľom efektívnejšieho využitia prenosového média. Ich základom sú viaceré spôsoby združovania informačných signálov na spoločný prenos cez rovnaké prenosové médium - optický vlnovod.

#### **SDM (Space Division Multiplexing) - priestorovo delené multiplexovanie**

Na každý prenášaný signál je priradené samostatné optické vlákno. Táto možnosť sa zdá najjednoduchšia, ale má svoje veľké nevýhody, a to sú veľký počet použitých vlákien a s tým spojené použitie rozdielnej množiny aktívnych alebo pasívnych optických komponentov na každého užívateľa. Týmto nám výrazne stúpajú náklady na realizáciu.

#### **TDM (Time Division Multiplexing) - časovo delené multiplexovanie**

Súčasný prenos rôznych signálov cez rovnaké optické vlákno tak, že niekoľko digitálnych signálov s nižšími prenosovými rýchlosťami je združených do jedného vysokorýchlostného digitálneho signálu s časovými oknami vyhradenými pre každý prítokový prenášaný signál. Hlavné obmedzenia takýchto systémov sú dané vlastnosťami vlastného prenosového média 1.2. Okrem toho, prístup TDM je limitovaný aj prenosovými rýchlosťami, ktoré môžu byť dosiahnuté v elektronických obvodoch. Hoci je časovodelené multiplexovanie v optickej oblasti OTDM (Optical Time Division Multiplexing) možnosťou, ako zvýšiť prenosovú rýchlosť tohto systému, v súčasnosti je omnoho výhodnejšie požiť WDM.

#### **WDM (Wavelength Division Multiplexing) - vlnovodlžkovo delené multiplexovanie**

Súčasný prenos rôznych signálov cez rovnaké optické vlákno na 2 alebo viacerých rozdielnych vlnových dĺžkach. Táto myšlienka je veľmi prostá, je vlastne totožná s konceptom frekvenčného združovania kanálov zo základného pásma do vysokofrekvenčných skupinových signálov použitých u analógových digitálnych systémoch. Prístup WDM umožňuje prenášať signály na malom počte optických vlákien a následne pri potrebe zvýšiť prenosovú rýchlosť pridávať nové vlnovodlžkové kanály do vlákna. Prístup WDM nevyžaduje synchronizáciu digitálnych signálov na spoločnú

časovú základňu, alebo mapovanie rozdielnych združovaných signálov do rámcových formátov. Veľkou výhodou je, že na každej z vlnových dĺžok môžeme prenášať rôzne signály, takže na jednom optickom vlákne môžeme spoločne prenášať ethernet, ATM, SDH atď. s rôznymi prenosovými rýchlosťami. Tento druh efektívneho využitia optického prenosového média minimalizuje potrebu inštalácie nových optických káblov do existujúcich optokomunikačných prenosových systémov, znižuje nasadzovanie nových optických vlákien a poskytuje priestor na budúce rozširovanie optokomunikačných sietí. [7] [8]

### **OFDM (Optical Frequency Division Multiplexing) - optické frekvenčne delené multiplexovanie**

Súčasný prenos rôznych signálov cez jedno optické vlákno na jednej vlnovej dĺžke tak, že sa každému prenášanému signálu priradí vlastná, nezávislá rádiová frekvencia. Rozdielne frekvenčné signály sú elektricky multiplexované do signálu FDM (Frequency Division Multiplexing), ktorý vygeneruje optický signál OFDM modulovaním žiarenia optického zdroja vysielajúceho vysokorýchlostný dátový signál. Prístup OFDM umožňuje na jednej vlnovej dĺžke kombinovať synchronne signály s asynchronnými, pretože všetky signály sú nezávisle časované a doručované s pôvodnými riadiacimi informáciami.

### **Porovnanie typov multiplexovania TDM a WDM**

Výhodami WDM má oproti TDM sú nasledovné vlastnosti. WDM v porovnaní s ekvivalentnými systémami TDM pri nízkych prenosových rýchlostiach oveľa vyššie vzdialenostné limity predovšetkým kvôli chromatickej disperzii. Systémy WDM môžu v prípade potreby zvýšiť prenosovú kapacitu pridaním ďalších vlnových dĺžok narozdiel od inštalácií nových zariadení pri systémoch TDM. Systémy WDM môžu na rôznych vlnových dĺžkach prenášať signály s rôznymi prenosovými rýchlosťami a protokolovými rámcami. Môžu byť nasadené v komplikovanejších sieťach s využitím napr OADM, OXC atď. 4.2

WDM má aj nevýhodné vlastnosti oproti TDM. Systémy WDM nie sú vhodné na rozvinutie v disperzne posunutých vláknach. Vyžadujú špeciálne navrhnuté optické zosilňovače s vyrovnaným ziskovým profilom v špecifickom pásme optického žiarenia. Systémy WDM vyžadujú samostatné zakončovacie zariadenia pre každú vlnovú dĺžku vrátane nákladných vysieláčov a prijímačov, pričom TDM vyžaduje len jedno. Systémy WDM ponúkajú menej možností monitoringu a manažmentu, pretože nemajú informácie o aktuálnom formáte a dátovej rýchlosti na individuálnych kanáloch, tak nemôžu monitorovať ich parametre, ako je napríklad BER.

## 3.2 Hustota multiplexovania WDM v optokomunikačných prenosových systémoch

Počet združovaných kanálov pri WDM závisí od 3 kľúčových faktorov, a to rozmiestnenie prenosových kanálov, celkovej optickej šírky pásma systému a modulačnej šírky pásma individuálnych optických signálov.

### 3.2.1 Rozmiestnenie prenosových kanálov a typy systémov WDM

#### BWDM (Broadband WDM)

Staršie systémy. Z dôvodu technologických obmedzení pracovali systémy BWDM s celkom širokým kanálovým rozmiestnením, pretože 2 používané vlnové dĺžky pracovali v dvoch rozdielnych prenosových okách, v I. a II. (850 a 1300nm) alebo II. a III. (1300 a 1550nm).

#### WWDM (Wide WDM)

Novšie systémy, ktoré využívali viaceré vlnové dĺžky aj v jednom prenosovom okne s optickými kanálmi oddelenými niekoľko nm. V súčasnosti sa používajú v pasívnych optických sieťach PON, ktoré na svoju činnosť môžu použiť 2 alebo 3 vlnové dĺžky. vid' 2.2.

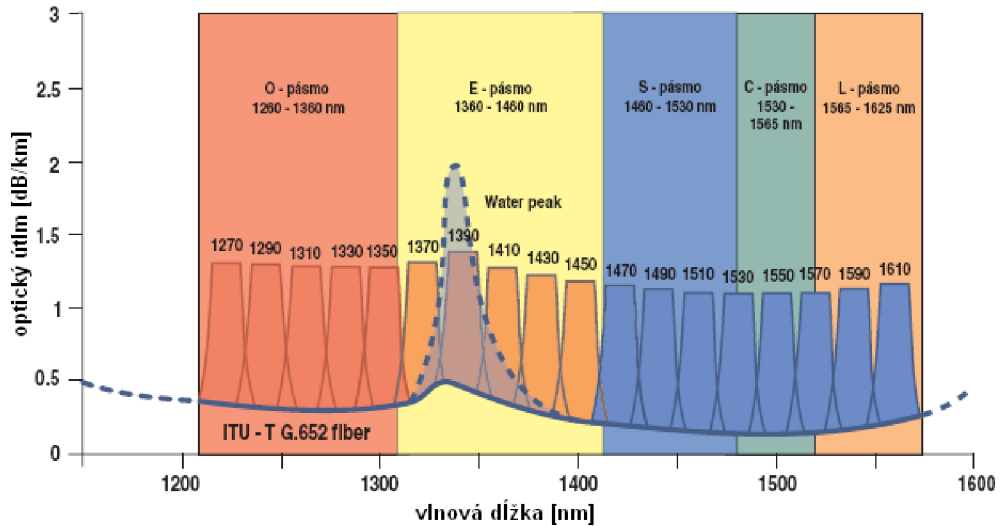
#### DWDM (Dense WDM)

V súčasnosti najpoužívanejšie systémy, majú kanálové rozmiestnenie zvyčajne nie viac ako niekoľko nm v použiteľnom pásme 1530 až 1625nm prenosového okna optického vlákna a preto na stabilizáciu vlnových dĺžok nevyhnutne používajú nákladné chladené lasery. Štandard ITU-T G694.1 odporúča vytvorenie 81 prenosových kanálov v pásme C (1530 až 1565nm) so stredovou frekvenciou 193,7THz (1552,52nm) s konštantným kanálovým rozmiestnením 50GHz (0,39nm). Tento pásmový rozsah vlnových dĺžok môže byť rozšírený do pásma L (1565 Až 1625nm) čo umožní pridať ďalších 111 prenosových kanálov pri danom kanálovom rozmiestnení 50GHz. Bežné kanálové rozmiestnenia komerčných systémov sú 100,600,500,400,200,100 a 50GHz.

#### CWDM (Coarse WDM)

Najnovšie systémy využívajú optické kanály rozšírené v pásme v pásme 1270 až 1610nm s veľkým kanálovým rozmiestnením 20nm a preto môžu používať lacné lasery bez chladenia. Kanálové rozmiestnenie 20nm v III. prenosovom okne určuje centrálnu frekvenciu optických kanálov pri 1790,1490,1510,1530,1550,1570,1590 a

1610nm. v II. prenosovom okne je to 1270,1290,1310,1330,1350nm. V prípade využitia optických vlákien typu ZWPF s možnou prenosovou oblasťou 1400nm je možné vytvoriť optické kanály na 1370,1390,1410,1430 a 1450nm.



Obr. 3.1: CWDM kanály podľa ITU - T G.694.2

### 3.3 CWDM vs DWDM

Systémy CWDM a DWDM používajú rozdielne optické zdroje (lasery) pracujúce pri určených vlnových dĺžkach a rozdielne optické filtre na kombinovanie vlnových dĺžok do jedného optického vlákna pri vysielacom zariadení a na oddelenie jednotlivých vlnových dĺžok do samostatných optických prijímačov v prijímacom zariadení. Avšak technológie používaných optických filtrov môžu byť rovnaké. Taktiež prídanie a vyberanie optických dĺžok v oboch systémoch môže byť vykonané pomocou rovnakej použitej technológie. Hlavný rozdiel medzi týmito systémami je v tom, že kanálové rozmiestnenie pri systéme DWDM môže byť takmer 0,2nm, kým pri systéme CWDM je to pevne stanovených 20nm. Okrem iných možností je možné uvažovať aj o praktickom využití kombinácie technológií CWDM/DWDM, t.j. môže dôjsť k využitiu pásma medzi vlnovými dĺžkami systému CWDM pomocou vlnových dĺžok systému DWDM.

Aplikácia/parameter	CWDM - metropolitný prístup	DWDM - metropolitná, regionálna sieť	DWDM - diaľkové spoje
Kanály na vlákno	4-16	32-80	80-160
Použité spektrum	pásma O,E,S,C,L	pásma C,L	pásma C,L,S
Vzdialenosť medzi kanálmi	20 nm (2500 GHz)	0,8 nm (100 GHz)	0,4 nm (50 GHz)
Kapacita vlnovej dĺžky	1,5 Gbit/s	10 Gbit/s	10-40 Gbit/s
Kapacita vlákna	20-40 Gbit/s	100-1000 Gbit/s	Tbit/s
Typ laseru	nechladený DFB ( <i>Distributed-Feedback Laser</i> )	chladený DFB	chladený DFB
Dosah	do 50-80 km	stovky km	tisíce km
Optický zosilňovač	žiadny	EDFA ( <i>Erbium-Doped Fibre Amplifier</i> )	EDFA, Raman

Tab. 3.1: Porovnanie technológií WDM

Systém CWDM je alternatívou k nákladným a zložitým architektúram optokomunikačných sietí založených na systéme DWDM, pretože poskytuje príležitosť pokračovať v trende vytvorených technológií DWDM smerom k celooptickej sieti. Výhoda systému DWDM, ktorá spočíva v eliminovaní nákladných regenerátorov v diaľkových sieťach, sa neuplatňuje v metropolitných sieťach, kde sa optické zosilňovače buď nevyžadujú, alebo kde lacné blokové moduly s lacnými nechladenými laserovými pumpami ľahko spĺňajú vzdialenostné a výkonnostné požiadavky vo väčšine mestských okruhov.

Systém CWDM sa líši od systému DWDM v tom, že optické kanálové rozmiestnenie medzi vlnovými dĺžkami optických zdrojov, ktorých signály sú multiplexované do jedného optického vlákna, je oveľa širšie. Okrem toho, optické vysieláče CWDM používajú optické multiplexovanie na dosiahnutie ekvivalentných sériových dátových rýchlostí signálov, zatiaľ čo optické vysieláče DWDM vysielajú jeden výsledný dátový tok v optickej podobe elektronicke združený z viacerých sériových dátových tokov na dosiahnutie prenosovej šírky pásma rádovo stoviek Gbit/s na jednej vlnovej dĺžke. Použitím riadenia teploty laserov pri systéme DWDM je možné presné riadenie kanálového rozmiestnenia, ako aj združovanie veľkého množstva samostatných prenosových kanálov. Typický systém CWDM nevyžaduje teplotné riadenie laserov. Z toho vyplýva, že optické vysieláče CWDM môžu využívať priamo modulované lasery bez riadenia teploty a využívať niekoľko lacnejších sériových nízkorýchlostných optických komponentov namiesto drahých vysokorýchlostných zariadení.

### 3.4 Obmedzujúce faktory WDM

Obmedzenie **celkovej optickej šírky pásma** závisí od typu prenosového systému WDM. Pri diaľkových systémoch, ktoré vyžadujú zosilnenie signálov priamo v optickej oblasti, je optická šírka pásma určená operačným pásmom zosilňovača. Pri systémoch bez optických zosilňovačov je optická šírka pásma určená základnými charakteristikami optického vlákna - tlmením a disperziou 1.2.2.

**Modulačná šírka pásma individuálnych optických signálov** určuje konečný limit, ako blízko seba môžu byť umiestnené v príslušnom pásme optické vlnodĺžkové kanály, t.j. aké husté môže byť kanálové rozmiestnenie. Optický laserový zdroj pre systémy WDM môže mať spektrálnu šírku pásma vysielaného optického žiarenia iba zopár GHz, ale pri modulovaní optického žiarenia elektrickým dátovým signálom sa pridávajú k vysielanému optickému žiareniu ďalšie frekvenčné komponenty, čím sa spektrum optického signálu rozprestrie na väčší rozsah. Čím vyššia je rýchlosť dátového signálu, tým širšie je frekvenčné rozšírenie modulovaného optického žiarenia a tým je širšia aj výsledná modulačná šírka pásma individuálneho optického signálu.

**Dosah** optokomunikačných prenosových systémov je v podstate limitovaný dvomi základnými typmi obmedzení - skreslením a šumom. Pri vyšších optických signálových výkonoch, hustejšom kanálovom rozmiestnení a dlhších prenosových vzdialenostiach sa stávajú dominantné obmedzenia dané skreslením, medzi ktoré patria, CMD a PMD 1.2.3, presluchy (zapríčinené prekrývaním sa prenosových kanálov pri rôznych vlnových dĺžkach) a nelineárne optické efekty (vplyv nelinearity v optickom vlákne je priamo úmerný úrovni optického výkonu naviazaného do vlákna. Patrí sem napr. stimulované rozptýlenie svetla, samofázová modulácia, krížová fázová modulácia a štvorvlnné zmiešavanie).

Okrem obmedzení príbuzných skresleniu sú aj obmedzenia dané jednotlivými typmi **šumov**. Patrí sem šum zosilňovača (optické zosilňovače sú analógové zariadenia ktoré v princípe nerozlišujú medzi užitočným signálom a šumom) a šum indukovaný odrazmi (mnohocestná interferencia)

Základnou úlohou pri prenose signálov v diaľkových optokomunikačných prenosových systémoch je vyrovnávanie nežiadúcich efektov spôsobených skresleniami a šumom. Znížením optického výkonu vstupných signálov by sa mohli zmierniť problémy spôsobené skreslením, ale tiež sa zníži hodnota pomeru SNR a teda sa zvýši pravdepodobnosť chybnjej detekcie signálu v optickom prijímači. Zvýšením optického výkonu vstupných signálov sa môžu minimalizovať problémy spôsobené šumom, ale zároveň sa zvýšia problémy spôsobené nelineárnymi vzťahmi. [7] [9]

## 3.5 Vplyv vlnovej konverzie na priepustnosť WDM sietí

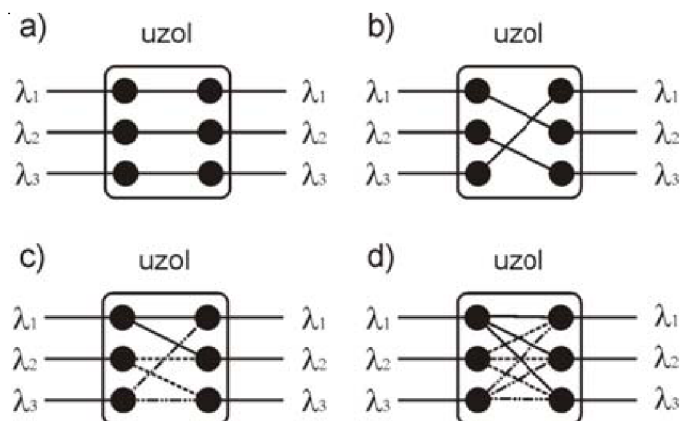
Pod pojmom vlnová konverzia rozumieme zmenu prichádzajúcej vlnovej dĺžky na inú odchádzajúcu vlnovú dĺžku. Vlnová konverzia sa uskutočňuje vo vlnovom konvertore, ktorý je umiestnený v optických cross-connectoroch WDM siete. Vo všeobecnosti ľubovoľná prichádzajúca vlnová dĺžka môže byť prepojená na ktorúkoľvek z vlnových dĺžok  $k$ , pričom počet všetkých vlnových dĺžok na výstupe je  $W$ . V závislosti od toho aká je hodnota  $k$ , môžeme klasifikovať nasledovné prípady vlnovej konverzie:

Žiadna vlnová konverzia ak  $k=1$ , kedy daná prichádzajúca vlnová dĺžka je prepojená na takú istú vlnovú dĺžku na výstupe.

Pevná vlnová konverzia ak  $k=1$ , kde daná prichádzajúca vlnová dĺžka bude konvertovaná na inú vlnovú dĺžku, ktorá je už vopred známa a je vždy tá istá.

Obmedzená vlnová konverzia ak  $1 < k < W$ , kde prichádzajúca vlnová dĺžka môže byť konvertovaná len na obmedzený počet výstupných vlnových dĺžok.

Plná vlnová konverzia ak  $k=W$ , čo je prípad kedy ľubovoľná prichádzajúca vlnová dĺžka môže byť konvertovaná na ľubovoľnú výstupnú.



Obr. 3.2: Druhy vlnovej konverzie v uzle

### 3.5.1 siete bez vlnovej konverzie

V sieťach bez vlnovej konverzie nie je možná vlnová konverzia. Preto optický signál musí prechádzať od zdroja až k cieľu na tej istej vlnovej dĺžke. Pri budovaní spojenia sa najskôr hľadajú vlnové dĺžky, ktoré sú voľné na všetkých úsekoch prenosovej cesty. Pomocou algoritmu pridelovania vlnových dĺžok sa potom z pomedzi možných vlnových dĺžok vyberie vhodná vlnová dĺžka, ktorá je na všetkých úsekoch prenosovej cesty rovnaká. Ak na hociktovej linke prenosovej cesty nie je takáto vlnová dĺžka,

potom prichádzajúca požiadavka musí byť odmietnutá. To znamená, že požiadavka na prenosovú cestu môže byť zamietnutá aj v prípade, že na linkách prenosovej cesty sú voľné vlnové dĺžky, ale nie sú rovnaké. Bez akýchkoľvek dôkazov môžeme intuitívne predpokladať, že siete bez vlnovej konverzie budú dosahovať najväčšiu pravdepodobnosť blokovania. Rozsiahly výskum v tejto oblasti potvrdil daný predpoklad, ale zároveň priniesol aj isté zaujímavé výsledky. Zníženie blokovania v sieti bez vlnovej konverzie sa dá dosiahnuť voľbou vhodnejších algoritmov smerovania a pridelovania.

### 3.5.2 Siete s plnou vlnovou konverziou

Siete s plnou vlnovou konverziou sú protikladom sietí bez vlnovej konverzie. V tomto prípade je možná plná vlnová konverzia v každom uzle. V prípade potreby prenášané dáta môžu využívať na každom úseku prenosovej cesty inú vlnovú dĺžku. Požiadavka na prenosovú cestu môže byť zamietnutá len v prípade ak na hociktorom prenosovom úseku nie je žiadna voľná vlnová dĺžka. V prípade siete bez vlnovej konverzie došlo k zablokovaniu požiadavky ak na všetkých úsekoch prenosovej cesty nebola rovnaká voľná vlnová dĺžka. Siete s plnou vlnovou konverziou sú z pohľadu prevádzky najvýkonnejšie, dosahujú najnižšiu pravdepodobnosť blokovania, čo umožňuje operátorovi šetriť s prenosovými prostriedkami. V tomto prípade využitie vlnovej dĺžky na nejakom úseku prenosovej cesty je oveľa vyššie.

### 3.5.3 Siete s obmedzenou vlnovou konverziou

Siete s obmedzenou vlnovou konverziou neumožňujú vlnovú konverziu v plnom rozsahu, ale len s istými obmedzeniami. Toto obmedzenie môže byť uskutočnené v uzle, kde ľubovoľná prichádzajúca vlnová dĺžka môže byť konvertovaná len na obmedzený súbor odchádzajúcich vlnových dĺžok.

#### Obmedzená vlnová konverzia v uzle so stupňom vlnovej konverzie $d$

**Symetrická** - V tomto prípade ľubovoľná prichádzajúca vlnová dĺžka môže byť konvertovaná na  $d$  susedných odchádzajúcich vlnových dĺžok z vlnového plánu, ako aj na rovnakú vlnovú dĺžku na akej daný optický signál vstupoval do konvertora.

**Nesymetrická** - V prípade, že vstupná vlnová dĺžka môže byť konvertovaná na tú istú vlnovú dĺžku alebo na jednu z  $d$  susedných na ľavo z vlnového plánu potom hovoríme o nesymetrickej obmedzenej vlnovej konverzii na ľavo.

#### Neúplná obmedzená vlnová konverzia

Princípom neúplnej (partial) obmedzenej vlnovej konverzie je výrazné ušetrenie



počtu vlnových konvertorov. Iba vlnové dĺžky, ktoré si vyžadujú vlnovú konverziu prechádzajú cez banku konvertorov. Ostatné vlnové dĺžky prechádzajú spínačom bez vlnovej konverzie. V tomto prípade len obmedzený počet vlnových dĺžok môže využiť vlnový konvertor v tom istom čase. V architektúre spínača sa nachádza súbor vlnových konvertorov, ktoré nazývame banka konvertorov. Táto banka konvertorov je potom zdieľaná viacerým výstupným portom.

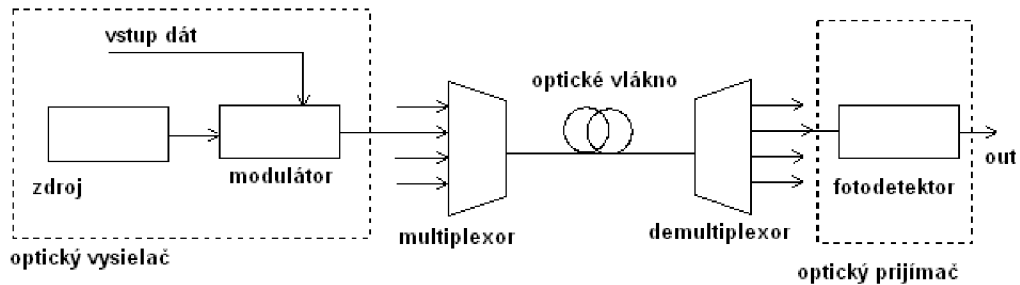
### **Riedka (sparse) vlnová konverzia**

Ak optická sieť obsahuje vlnové konvertory, ale nie sú v každom uzle danej siete, potom takúto sieť nazývame sieť s riedkou obmedzenou vlnovou konverziou. V takejto sieti sa nachádzajú v podstate uzly s dvoma typmi vlnovej konverzie. Prvotnou myšlienkou bola snaha vytvoriť sieť, v ktorej iba niekoľko uzlov obsahuje vlnový konvertor s plnou vlnovou konverziou a ostatné neumožňujú vlnovú konverziu. V takejto sieti musíme na prenos pozdĺž fyzickej prenosovej cesty použiť rovnakú vlnovú dĺžku medzi dvoma uzlami, ktoré umožňujú vlnovú konverziu. Úsek prenosovej cesty, na ktorom musíme použiť rovnakú vlnovú dĺžku pre všetky linky tohto úseku nazývame segment. Ďalšími možnosťami je kombinácia plná -obmedzená a obmedzená -žiadna vlnová konverzia. [10]

# 4 ZÁKLADNÉ PRVKY SYSTÉMOV A SIETÍ WDM

## 4.1 Základné prvky systémov a sietí WDM

Základná štruktúra systému WDM (obr. 4.1) je zložená z nasledujúcich základných optických prvkov:



Obr. 4.1: Základné prvky systému WDM

### Základné linkové prvky WDM

Optický vysielateľ generuje optické signály pri viacerých vlnových dĺžkach. Vo všeobecnosti sa využíva vysielateľ samostatne na každú vlnovú dĺžku, môže byť však použitý aj jeden širokopásmový vysielateľ. Po vygenerovaní v zdroji optického žiarenia je následne každý optický signál samostatne modulovaný.

Optické vlákno môže byť najviac limitujúcim komponentom z hľadiska kapacity systémov WDM, špeciálne v prípade, ak sa dosah optokomunikačného prenosového systému použitím optických zosilňovačov výrazne zvýši. Je to dané tmením, disperziou a nelineárnymi efektami optického vlákna.

Optický multiplexor prijíma z hľadiska prenosového pásma niekoľko priestorovo rozdielných vlnových dĺžok vstupných optických signálov a formuje jeden spoločný tok optického žiarenia, ktorý pozostáva zo všetkých týchto vlnových dĺžok.

Optický demultiplexor prijíma tok optického žiarenia s viacerými vlnovými dĺžkami a rozdeľuje ich do priestorovo samostatných vlnovodĺžkových komponentov, t.j. každá vlnová dĺžka sa objaví na rozdielnom výstupe a získajú sa tak nezávislé výstupné optické signály

Optický zosilňovač kompenzuje straty optických signálov v optickom vlákne a optických komponentoch. Mierami výkonnosti zosilňovačov sú operačná šírka pásma, výkonový zisk a jeho spektrálne vyrovnanie, výstupný výkon a šumový obraz.

Optický prijímač má citlivosť závislú od dátovej rýchlosti individuálnych prenosových kanálov a malú závislosť od celkovej optickej šírky pásma prenosového

systemu. Bitová chybovosť na konci prijímača je konečným testom systémovej výkonnosti.

### **Základné sieťové prvky WDM**

Optický add/drop multiplexor OADM (Optical Add/Drop Multiplexer) vyčlení 1 alebo viac vlnových dĺžok z optického signálu a zvyčajne vloží na ich miesto 1 alebo viac vlnových dĺžok.

Optický prepínač OXC (Optical Cross-Connect) oddeľuje alebo presmeruje individuálne vlnové dĺžky, zvyčajne medzi viaceré možné výstupy. Optický alebo vlnovodľukový smerovač má podobnú funkciu.

Optický vlnovodľukový konvertor OWC (Optical Wavelength Converter) dokáže zmeniť pracovnú vlnovú dĺžku optického signálu na inú, čím umožní efektívnejšie využívanie sieťových prostriedkov.

## **4.2 Optické komponenty**

### **Vysielač**

Svetelný zdroj musí byť kompaktný, monochromatický (s jednou vlnovou dĺžkou), stabilný s dlhou dobou životnosti (roky). Pod stabilitou sa rozumie konštantná výkonová úroveň a konštantná vlnová dĺžka generovaného toku optického žiarenia. V praxi neexistujú monochromatické zdroje, len zdroje generujúce tok optického žiarenia s veľmi úzkym pásmom vlnových dĺžok s Gaussovským rozdelením. Svetelné zdroje sú klasifikované ako koherentné (fotóny sú vo fáze - lasery) a nekoherentné (fotóny sú náhodné a nesfázované - diódy LED (Light-Emitting Diode)). Najčastejšie využívané svetelné zdroje v exkomunikačných systémoch sú lasery.

### **Optický vlnovodľukový filter**

Filtre sú často využívané v optokomunikačných prenosových systémoch na vzájomné rozdelenie rôznych vlnových dĺžok jedného optického toku. Funkciou optických spektrálnych filtrov je rozpoznať úzke pásmo vyžadovanej optickej frekvencie v širokospektrálnom optickom toku a buď ho prepustiť alebo ho odmietnuť.

### **Optický vlnovodľukový multiplexor**

Najjednoduchší je vytvorený z vlnovodľukovo nezávislého stromu optických väzobných prvkov. Z dôvodu ich výkonových strát a neschopnosti potlačiť mimopásmový šum sú však preferované vlnovodľukovo závislé multiplexory, ktorých charakteristiky sa stávajú kritické pri zvýšení spektrálnej účinnosti optokomunikačných prenosových systémov.

### **optický demultiplexor**

Rozdeľuje optické signály prechádzajúce optickým vláknom na jednotlivé vlnové dĺžky hlavne z dôvodu necitlivosti štandardných optických detektorov na špecifickú vlnovú dĺžku. Funkciou optického demultiplexora je prijímať tok optického žiarenia s viacerými vlnovými dĺžkami a rozdeľovať ich do samostatných vlnodĺžkových komponentov, t.j. každá vlnová dĺžka sa objaví na rozdielnom výstupe.

### **Izolátor**

Je recipročný prvok, ktorého úlohou je umožniť prenos optického žiarenia v jednom smere, ale zároveň blokovať prenos optického žiarenia v inom, opačnom smere. Väčšinou je využívaný pred optickými zosilňovačmi a lasermi.

### **Cirkulátor**

Je pasívny prvok, ktorý vedie optický signálový tok z portu na port iba v jednom smere a tým zabraňuje šíreniu sa toku optického žiarenia nežiadúcim smerom. Princíp operácie cirkulátorov je v podstate podobný ako pri izolátoroch, avšak narozdiel od nich majú viaceré porty, zvyčajne tri alebo štyri. Cirkulátor je užitočný pri konštruovaní optických add/drop komponentov.

### **Optický prijímač**

Optický prijímač je kritický element v reťazci optokomunikačných prenosových systémov. Prijímací optický komponent je vyžadovaný v každom bode optickej siete, v ktorom je potrebná opticko-elektrická konverzia. Optické prijímače konvertujú prijatý optický signál do použiteľného elektrického signálu. Medzi ich komponenty patria fotodetektor, rôzne druhy elektronických zosilňovačov a rozhodovacie okruhy. Optický detektor (fotodetektor) je menič, ktorý mení jeden zo svojich parametrov podľa množstva fotónov dopadajúceho na ne a líši sa predovšetkým časom odpovede na dopad fotónu. V optokomunikačných prenosových systémoch je veľmi kritickým parametrom optického prijímača jeho rýchla odpoveď na dopad fotónov optického žiarenia pri veľmi vysokých bitových rýchlostiach a teda najvhodnejšie sú také fotodetektory, ktoré konvertujú fotonické impulzy priamo na elektrické signály. Takými fotodetektormi sú polovodičové fotodiódy PIN a lavínové fotodiódy APD (Avalanche Photo Dióde).

### **Optický utlmovač**

Je optický komponent, ktorého hlavnou funkciou je vyrovnáť optický výkon signálov vo vybraných prenosových kanáloch optického systému WDM pri vstupe alebo výstupe optických zosilňovačov tak, aby výkonový rozdiel medzi všetkými optickými signálmi bol minimálny a dynamický rozsah optického prijímača bol akceptovaný.

## **Optický vyrovnávač**

Je optický komponent, ktorý vyrovnáva optické výkony signálov vo všetkých prenosových kanáloch, monitoruje ich výkonové úrovne v pásme vlnových dĺžok a selektívne vykonáva prispôsobenie výkonovej úrovne každého optického signálu vyrovnaním jeho optického výkonu v rámci vopred špecifikovaného výkonového rozsahu z hľadiska požiadaviek optického vlákna a/alebo optického prijímača.

## **Regenerátor**

Regenerácia je viackroková technika elektronického zosilnenia úrovne optických signálov, pri ktorej je optický signál WDM konvertovaný na elektrický signál, v tejto forme je signál časovaný, tvarovaný a zosilnený (3R) a nakoniec je konvertovaný späť do optickej formy. Takéto regenerátory sú monochromatické prístroje vyžadujúce samostatnú množinu komponentov pre každú vlnovú dĺžku alebo prenosový kanál, preto je takýto elektronický zosilňovací systém zložitý a nákladný na údržbu.

## **Optický zosilňovač**

V optokomunikačných prenosových systémoch musí mať optický výkon signálu prijímaného v optickom prijímači určitú merateľnú úroveň takú, aby bol optický signál spoľahlivo detekovaný pri určitej predpokladanej nízkej bitovej chybovosti. Tlmenie optických signálov určuje limit pre maximálnu dĺžku optického vlákna bez zosilnenia optického výkonu signálu pri zachovaní možnosti dostatočnej detekcie v optickom prijímači.

Optický zosilňovač je širokopásmový zosilňovací prístroj, ktorý nevyžaduje konverziu optických signálov na elektrické. Optické zosilňovače sú umiestnené pri spojovacích bodoch pre zvýšenie úrovni utlmených optických signálov. Z hľadiska aplikácií rozdeľujeme optické zosilňovače na pozosilňovač, linkový zosilňovač a predzosilňovač. Optické zosilňovače ponúkajú niekoľko výhod oproti regenerátorom - nie sú závislé na bitovej rýchlosti alebo formáte signálu, majú ďaleko väčšie ziskové šírky pásma a môžu súčasne zosilňovať niekoľko optických signálov WDM.

Polovodičové optické zosilňovače SOA (Semiconductor Optical Amplifier) vytvárajú ziskové prostredie cez populačnú inverziu elektrickým pumpovaním polovodičového materiálu. Hoci majú veľkú operačnú šírku pásma, zosilňovače SOA sú citlivé na polarizáciu a vyžadujú vlákna zachovávajúce polarizáciu. Okrem toho, poskytujú nízky pomer SNR a generujú významný kanálový presluch.

Erbium dopované vláknové zosilňovače EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) sú najslubnejšia a všeobecne využívaná technológia optických zosilňovačov v systémoch WDM, ktoré pracujú na princípe stimulovanej emisie. Erbiové ióny v dopovanom optickom vlákne sú vybudené na vyššie energetické úrovne optickým pumpovaním média. Optické zosilňovače EDFA majú schopnosť súčasne zosilňovať viaceré vlnové

dĺžky, čím poskytujú významné výkonnostné a cenové výhody oproti elektronickej regenerácii.

Ramanove zosilňovače RA (Raman Amplifier) využívajú na zosilnenie optických signálov stimulovaný Ramanov rozptyl SRS (Stimulated Raman Scattering). Slabé vstupné optické signály využívajú nelineárny efekt SRS vláknového prostredia pre stimulovanie atómov vo vyšších energetických stavoch a následné vyžiarenie fotónov pri vysokých vlnových dĺžkach priamoúmerným s optickým signálmi WDM.

## **OADM**

Funkciou prvkov OADM (Optical Add/Drop Multiplexer) je vkladať alebo vyberať prenosové kanály (vlnové dĺžky) do alebo z hlavného toku optického žiarenia. V systémoch WDM teda multiplexory OADM umožňujú selektívne odstrániť určitú vlnovú dĺžku z optického signálu ( dátový obsah ktorej je presmerovaný na iné optické vlákno - drop strana), prepustiť zostávajúce vlnové dĺžky cez uzol OADM bez zmeny a pridať rovnakú vlnovú dĺžku do pôvodného optického signálu (s dátovým obsahom z prídavného optického vlákna - add strana) v rovnakom smere.

## **OXC**

Funkciou prvkov OXC (Optical Cross-Connect) je hlavne prepájať ľubovoľné vstupné prenosové kanály (vlnové dĺžky) s ľubovoľnými výstupnými prenosovými kanálmi (vlnovými dĺžkami). Prepínače OXC sú založené buď na vzdialenom riadení alebo sú riadené podľa vopred určenej spojovacej tabuľky. Vlnovodĺžkové prepínanie alebo smerovanie sú významné funkcie pre vyvíjajúcu sa celooptickú prenosovú sieť. Dlhodobým cieľom je presunúť niektoré úlohy signálového spracovania z elektronickej do optickej oblasti a združovať optické signály podľa vlnových dĺžok.

## **OWC**

Optické (vlnovodĺžkové) konvertory OWC sú zariadenia, ktoré konvertujú dáta z jednej prichádzajúcej vlnovej dĺžky na inú odchádzajúcu vlnovú dĺžku. Funkcia vlnovodĺžkovej konverzie je kritická funkcia v systémoch WDM, pretože umožňuje premiestňovať rôzne prenosové kanály z hľadiska prenosového spektra, zvyšovať flexibilitu siete a účinnosť prenosovej šírky pásma optického vlákna. [7]

## 5 MERANIE A DIAGNOSTIKA OPTICKEJ SIETE

Ako praktickú časť práce som si dal za cieľ zostrojiť navrhnutú optickú sieť, premerať a diagnostikovať jej vlastnosti. Z tohto dôvodu som niekoľko krát navštívil pobočku firmy PROFiber Networking s.r.o. so sídlom v Trnave. Táto spoločnosť pracuje v odbore optických komunikácií. Sú výhradným predajcom meracích prístrojov značky EXFO, na ktorých boli aj vykonané merania uvedené neskôr. Firma vykonáva taktiež opravy, kalibrácie týchto prístrojov, organizuje prednášky a školenia na rôzne témy týkajúce sa optickej komunikácie, meraní prístrojmi atď.

Pôvodný zámer bol namerať optickú sieť WDM kde každý z účastníkov má pridelenú svoju vlnovú dĺžku a druh pripojenia sa potom javí ako point to point aj keď fyzicky je trasa typu point to multipoint. Hneď na začiatku žiaľ vysvitlo, že merania na tomto type siete WDM nebudú realizovateľné, pretože siete tohto typu sa na Slovensku neinštalujú, takže ani firma PROFiber sa im v skutočnosti nevenuje. Na túto tému vedú len prednášky a školenia. Zamestnanci tvrdia, že je len otázkou času kedy sa začnú tieto siete presadzovať aj u nás, ale tento čas vraj bude ešte dlhý, pretože ľuďom ide hlavne o cenu produktu a na parametre sa hľadí až na druhom mieste. A samozrejme cena za túto technológiu nie je vôbec nízka. V blízkej dobe si vraj tento typ pripojenia začnú vyžadovať spoločnosti, ako napríklad banky a podobne.

Merania som vykonal na pasívnej optickej sieti EPON, kde je technológia WDM zastúpená tým, že vo vlákne sa nachádzajú len 2 vlnové dĺžky, a to na upload a download, pričom splitter rozdeľuje optický výkon zo zariadenia OLT jednotlivým užívateľom rovnomerne a nie podľa vlnových dĺžok.

Pri meraní a diagnostike siete som chcel samozrejme čo najviac vychádzať z praxe, preto mi bolo hneď na začiatku oboznámené, aké merania firmy vykonávajú a podľa toho sme zvolili aj my postup meraní. Najväčšími prevádzkovateľmi sietí FTTH na Slovensku sú firmy Orange Slovensko, a.s. a Slovak Telekom, a.s., z ktorých postupov sme vychádzali. Na pokládku a montáž optických káblov si najímajú externé firmy, od ktorých požadujú premeranie vlákien priamou metódou. Tieto merania vykonávajú pracovníci montážnych firiem. Ďalšie meranie vykonáva pracovník pri zriaďovaní služby, a je to meranie prístrojom PPM. Toto meranie pri zriaďovaní služby vykonávajú vraj len vyššie spomenuté firmy, menší prevádzkovatelia používajú len identifikátor živého vlákna. Nakoniec sa na danej optickej trase vykonáva meranie s prístrojom OTDR, ale to len v tom prípade, ak sa vyskytnú komplikácie s optickou trasou, niečo nie je v poriadku a podobne.

Merania neboli vykonané na jeden krát, pretože firma PROFiber poskytuje aj služby zapožičiavania meracích prístrojov firmám, ktorým sa kúpa nového z finančných dôvodov neoplatí. Taktiež pracovníci chodia na výjazdy kedy si so sebou berú

materiál, takže nie všetky patchcordy, konektory a podobne, neboli v deň merania k dispozícii, preto boli niektoré merania vykonané na rozličných trasách.

Celkovo sme vykonali 3 druhy v praxi vykonávaného merania pri inštalácii FTTH, a to priamou metódou, meranie s PPM (na meranie sme mali k dispozícii modelovú optickú sieť EPON so zariadeniami firmy Alloptic) a meranie optickým reflektometrom. K meraniu sme využili meracie prístroje z nasledovného zoznamu meracích prístrojov.

Zoznam prístrojov:

- Priama metóda - 2x EXFO MaxTester FOT-930
- PON Power Meter - EXFO PPM-350B-EG
- Optický reflektometer - EXFO FTB-200 + FTB-7200D, EXFO AXS-100
- Čistota konektorov - EXFO FIP-400
- OLT - Alloptic edge200
- ONT - Alloptic home4000
- množstvo optických vlákien rôznych dĺžok s rôznymi konektormi
- splitter 1:4, 1:8



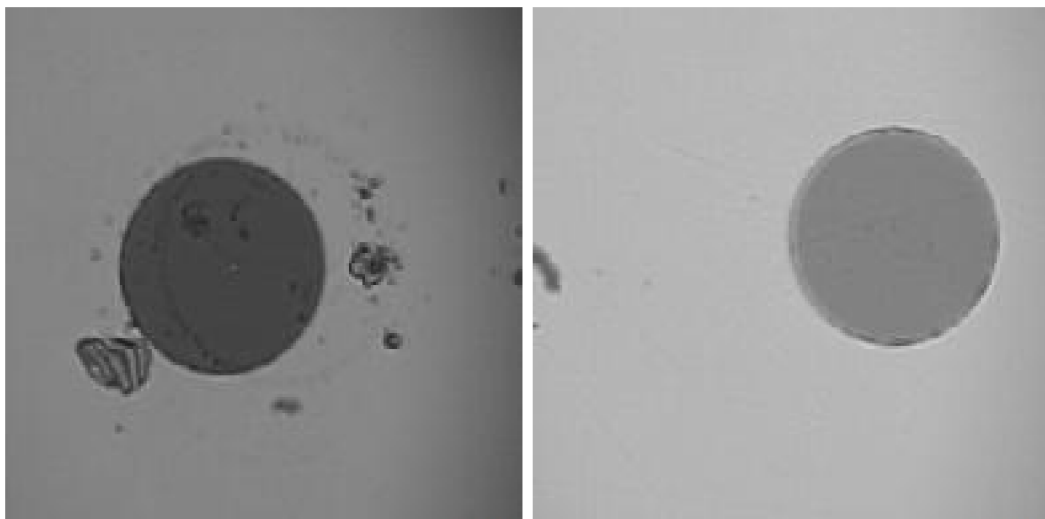
## 6 MERANIE ČISTOTY KONEKTOROV

Pracovníci firmy PROFiber neustále upozorňovali na potrebu zisťovania čistoty konektorov, pretože útlm konektoru špinavého môže byť omnoho vyšší ako konektoru čistého (toto sme žiaľ nemerali). Keďže na optickej trase ich je niekoľko, môže to mať za následok zvýšenie celkového útlmu optickej trasy aj o niekoľko dB. Upozorňovali na to hlavne z toho dôvodu, že firmy pracujúce s optikou na to mnohokrát vôbec nedbajú a konektory vôbec nečistia. Prístroje ktoré zapožičiavajú sa im vo väčšine prípadov vracajú značne znečistené, dokonca sa vyskytli prípady, kedy im firmy reklamovali prístroj merajúci nepresné údaje, pričom bol úplne v poriadku, len jeho konektory boli úplne špinavé.

Musím ale podotknúť, že aj my sme pri meraní neboli často krát úplne dôslední a pred meraním sme konektory nekontrolovali a len letmo "utrelí", pričom pri pohľade videomikroskopom som zistil, že niekedy letmé utrenie konektora ho niekedy nevyčistí ale sa len špina rozotrie. Toto bolo spôsobené tým, že pracovníci firmy na mňa často nemali čas, pričom chceli meranie čo najviac urýchliť, preto aj niektoré z nasledovných meraní neboli robené precízne čo malo za následok zníženie kvality merania.

Na meranie čistoty konektorov sme používali merací prístroj videomikroskop FIP-400. Je to merací prístroj s jednoduchým intuitívnym ovládaním, ale pracovať s ním bolo treba veľmi jemne, pretože malým pohybom ruky sa stratil pozorovaný cieľ a opätovné nájdenie opäť zabralo istý čas. Tento merací prístroj ponúkal zobrazenie výsledkov na vlastnom displeji, pričom odnímateľná hlava osadená konektorom USB sa dala pripojiť k počítaču, kde po nainštalovaní malej utility mohol počítač samotný prístroj nahradiť. Taktiež sa dala pripojiť aj k iným prístrojom od firmy EXFO ktoré disponovali konektorom USB. Všetky možnosti zobrazenia sme vyskúšali. Na pripojenie k inému prístroju sme použili merací prístroj OTDR AXS-100.

Pre porovnanie uvádzam obrázky rovnakého konektoru pred vyčistením obr.6.1a) a po vyčistení obr.6.1b).



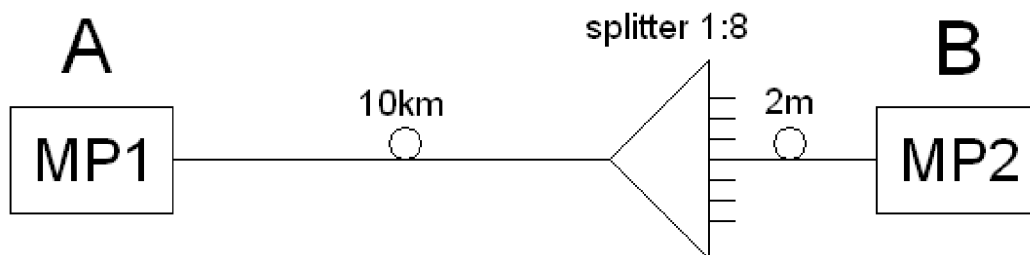
Obr. 6.1: detail konektoru a) před vyčistením b) po vyčistení

## 7 MERANIE PRIAMOU METÓDOU - OLTS

Ako prvé z meraní sme vykonali meranie priamou metódou. Toto meranie vykonáva montážna firma po ukončení prác s optickým vláknom na zistenie funkčnosti optickej trasy. Na priamu metódu sú potrebné vždy dva meracie prístroje, pretože jeden má funkciu vysielača a druhý prijímača. Na toto meranie je možné použiť viacero druhov meracích prístrojov, napríklad zdroj optického žiarenia a meradlo výkonu spôsobom, aký je použitý v časti práce 10 (meria sa útlm iba v jednom smere), alebo dvojicou meracích prístrojov špeciálne určených na meranie priamou metódou. Tento spôsob sme použili v tomto meraní. Veľkou výhodou tejto metódy je, že meria rovno aj útlm odrazu ORL a vzdialenosť, pričom všetky merania vykonáva v oboch smeroch.

Na meranie sme použili dvojicu meracích prístrojov FOT 932. Tieto meracie prístroje mali možnosť po zobrazení výsledkov na vlastnom displeji taktiež možnosť výstupu výsledkov vo forme dokumentu vo formáte pdf alebo html. Pre túto možnosť boli osadené konektorom usb. Využili sme možnosť výstupu dokumentu html. Boli tu v tabuľkách prehľadne zobrazené výsledky nášho merania a taktiež aj popisné informácie ako napríklad dátum a čas merania (26. 3. 2010 10:50:23), meno pracovníka vykonávajúceho meranie, miesto vykonania merania a podobne (tieto informácie ale museli byť predom nastavené).

Pred začiatkom merania sme museli vykonať referenciu meracích prístrojov. Je možné vykonať referenciu aj samotného meracieho prístroja takzvanou metódou na loopback, kedy jedným krátkym vláknom spojíme vysielač a prijímač toho istého prístroja. My sme ale použili vzájomnú referenciu oboch prístrojov ktorá je presnejšia, kedy sme spojili vysielače s prijímačmi daných prístrojov s dvoma 2-metrovými vláknami. Prístroje si potom zmerali útlmy vlastných konektorov a nastavili skutočnú nulu, takže merali len útlm a ORL meranej trasy. Meracie prístroje sme zapojili podľa schémy zobrazenej na obrázku 7.1. Prvý merací prístroj je umiestnený v "central office" (strana A). Druhý merací prístroj sme chceli umiestniť k zákazníkovi, žiaľ osadenie prístrojov konektormi a vlákna s rôznymi konektormi ktoré sme mali k dispozícii nám nedovolili za splitter pripojiť ešte vlákno dĺžky aspoň 500m, preto sme druhý merací prístroj pripojili hneď za splitter jedným 2-metrovým vláknom (strana B).



Obr. 7.1: schéma zapojenia optickej trasy a meracích prístrojov pri metóde OLTS

Samotné meranie bolo rýchle, stačilo navoliť želané vlnové dĺžky (prístroje ponúkali meranie na vlnových dĺžkach 1310nm, 1490nm a 1550nm, zvolili sme meranie na všetkých troch ponúkaných dĺžkach), stlačiť tlačidlo štartu testu a o pár sekúnd (cca 15s) boli výsledky k dispozícii. Výsledky merania sú zobrazené v tabuľke 7.1.

Vlnová dĺžka [nm]	Útlm A->B [dB]	Referencia A->B [dB]	Útlm B->A [dB]	Referencia B->A [dB]	Priemerný útlm [dB]	ORL A [dB]	ORL B [dB]
1310	14,02	0,73	14,00	0,88	14,01	31,27	51,23
1490	12,47	0,72	12,55	0,89	12,51	31,36	51,80
1550	12,40	0,44	12,31	0,97	12,35	31,61	52,51
Vzdialenosť: 10,042km							

Tab. 7.1: Výsledky merania metódou OLTS

Či výsledky merania splňujú naše približné teoretické predstavy si môžeme overiť teoretickým výpočtom útlmu trasy tak, že zrátame dokopy čiastkové útlmy jednotlivých častí trasy. Ako prvé je zapojené vlákno s dĺžkou 10km. Pri útlme tohto vlákna 0,33dB/km by sme mali dostať približný útlm 3,3dB. Ako ďalší je na trase zapojený splitter s deliacim pomerom 1:8. Útlm tohto splitteru môžeme vyčítať z tabuľky 7.2 v ktorej sú uvedené útlmy signálov pri jednotlivých deliacich pomeroch.

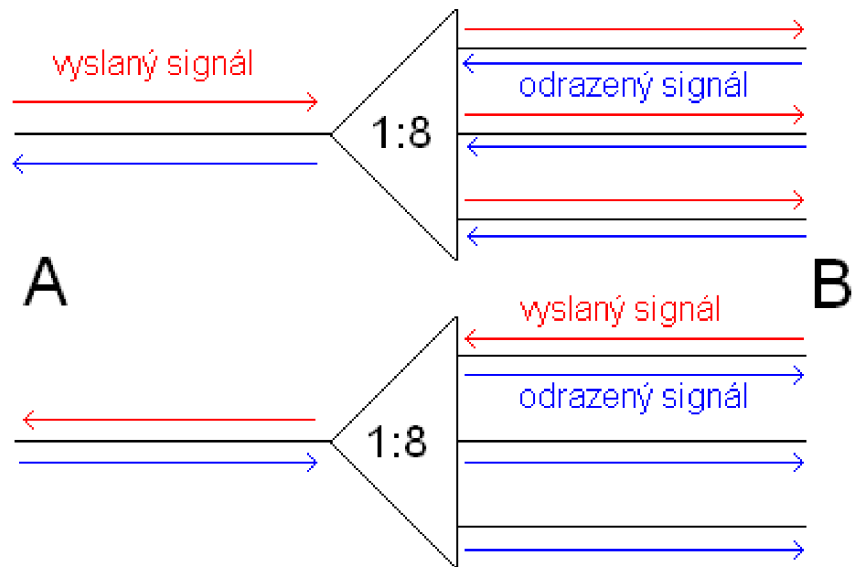
Útlm odbočovania signálu		
deliaci pomer	ideálny útlm [dB]	reálny útlm [dB]
1:2	3	4
1:4	6	7
1:8	9	10
1:16	12	14
1:32	15	17
1:64	18	20
1:128	21	23
1:256	24	26

Tab. 7.2: Útlm splittra pri jednotlivých deliacich pomeroch [11]

Nami použitý splitter s deliacim pomerom 1:8 utlmí signál o 10dB. Ako posledné by sme mali prirátavať útlmy konektorov, ktorých teoretický útlm je zhruba 0,2dB, pričom v trase ich máme zapojené 4. Takže celkový hrubý odhad útlmu našej trasy by mal byť  $3,3+10+0,8=14,1$ dB. Pri porovnaní reálnych výsledkov zistených meraním priamou metódou vidíme, že výsledky sa príliš neodlišujú, preto môžeme meranie považovať za presné.

Tieto meracie prístroje nám zároveň s útlmom optickej trasy merajú aj útlm odrazu signálu - ORL. Jedná sa vlastne o energiu odrazenú späť k zdroju žiarenia od rôznych nesymetrií na trase, konektorov atď. Na meranie tejto veličiny sa začína klásť čoraz väčší dôraz, najmä pri technológii WDM, pretože ak je hodnota odrazeného signálu príliš vysoká, odrazený signál môže spôsobiť nestabilitu laseru, čo môže mať za následok vznik bitových chýb, zníženie odstupu signálu od šumu atď. Nestabilita laseru je spôsobená optickou rezonanciou v laserovej dutine. Z tohto dôvodu je potrebné na trase používať konektory APC, ktoré majú ferulu zakončenú pod uhlom (8stupňov), takže dosahujú omnoho lepšie výsledky ORL, namiesto konektorov PC ktoré majú ferulu rovnú, takže odrážajú značnú časť energie do vlákna. O tejto problematike je viac popísané v časti 10. Zo vzorca na výpočet ORL,  $ORL=10*\log(P_i/P_r)$ [dB], kde  $P_i$  je energia vyžiarená laserom do vlákna a  $P_r$  je energia odrazená naspäť do laseru, môžeme vydedukovať, že väčšie hodnoty ORL sú lepšie.

Ako môžeme vidieť z tabuľky 7.1, ORL zo strany A je cca 31dB a zo strany B cca 51dB, takže ORL zo strany B dosahuje omnoho lepšie výsledky. Tento rapidný rozdiel v hodnotách ORL je spôsobený splittrom, kedy sa na jednej strane odrazená energia vracia priamo k zdroju, a na druhej strane sa odrazená energia signálu delí medzi všetky vývody splittra. Túto situáciu lepšie znázorňuje obrázok 7.2.



Obr. 7.2: Prechod odrazených signálov cez splitter

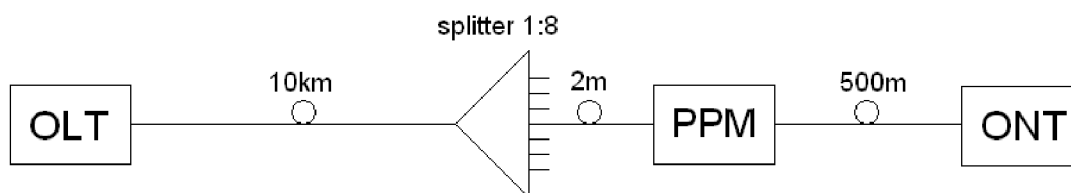
Ako už bolo spomenuté, zmerané výsledky sú pravdepodobne presné. Útlm trasy na vlákne s vlnovou dĺžkou 1310nm je cca 14dB a na vlnových dĺžkach 1390nm a 1550nm je cca 12,5dB. Toto je spôsobené vlastnosťou optického vlákna a jeho útlmovými charakteristikami ako je uvedené na obrázku 1.2, kde vlákno vykazuje väčšie útlmy pre vlnovú dĺžku 1310nm. Týmto meraním sme ešte zistili vzdialenosť medzi meranými prístrojmi, teda celkovú dĺžku optickej trasy. Táto vzdialenosť je 10,042km.

Meraním priamou metódou si môžeme overiť funkčnosť optickej trasy. Ak by sa ale vyskytol problém na trase a meracie prístroje by detekovali napríklad neočakávane vysoké hodnoty útlmu (napríklad z dôvodu nedostatočne "pricviknutého" alebo špinavého konektoru v strede trasy), týmto meraním by sme zistili že na trase sa vyskytol problém, ale nevedeli by sme kde sa nachádza a čo ho spôsobilo. Na takúto situáciu je tu meranie optickým reflektorom, ktoré je popísané v časti práce 9.

## 8 MERANIE PON POWER METROM - PPM

Ako ďalšie z meraní sme vykonali meranie s Pon Power Metrom (PPM). Toto meranie sa vykonáva pri zriaďovaní služby. Pracovník pri inštalácii ONT zariadenia zapojí medzi ONT a optickú trasu, na konci ktorej je aktivované OLT zariadenie prístroj PPM, ktorý zmeria optický výkon oboch zariadení v mieste zapojenia prístroja PPM. Merací prístroj je zapojený v priechodnom zapojení, tvári sa akoby na trase vôbec nebol a neruší komunikáciu medzi OLT a ONT, iba meria ich optické výkony. Pracovník z nameraných údajov, ktoré by mali byť v predpokladanom rozmedzí usúdi, či je trasa funkčná a zapojí zariadenie ONT priamo na trasu.

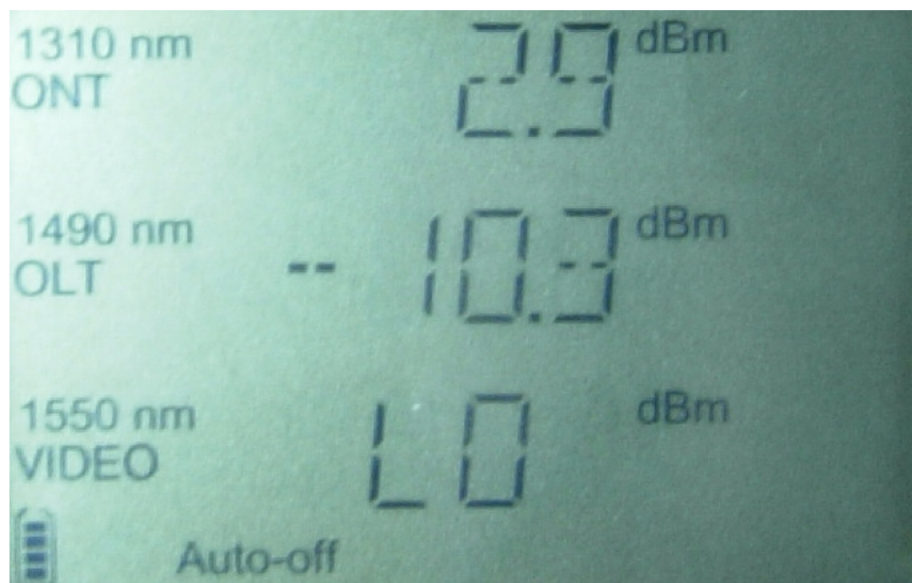
K tomuto meraniu sme mali k dispozícii modelovú optickú sieť so zariadeniami Alloptic edge200 ako OLT, a Alloptic home4000 ako ONT. Alloptic edge200 ponúkal dva 1Gb/s ethernet PON konektory, s možnosťou na každý z nich pripojiť 32 ONU zariadení, teda celkom 64 užívateľov. Na toto meranie sme použili už spomínané zariadenia OLT a ONT, splitter 1:8, vlákna s rozličnými dĺžkami a konektormi a merací prístroj Pon Power Meter EXFO PPM-350E-BG, ktoré sme zapojili podľa schémy uvedenej na obrázku 8.1.



Obr. 8.1: Schéma zapojenia optickej trasy pri metóde PPM

Toto zapojenie síce neodráža nami pôvodne zamýšľanú topológiu, pretože medzi splittrom a prístrojom PPM sa nachádza vlákno dĺžky 2 metre a medzi prístrojom PPM a ONT vlákno dĺžky 500 metrov, ale k tomuto meraniu nám toto zapojenie postačovalo. Pôvodný úmysel bol samozrejme zapojiť prístroj PPM tesne pred ONT, ale osadenie prístrojov konektormi a vlákna s rôznymi dĺžkami a konektormi nám dovoľovali len toto zapojenie. Každopádne vlákno 500 metrov dlhé, s útlmom cca 0,165dB nám nespôsobuje až také veľké skreslenie merania.

Merací prístroj EXFO PPM-350E-BG, umožňoval meranie na vlnových dĺžkach 1490nm pre downstream, 1310nm pre upstream, a 1550nm pre RF video. Nami použité zariadenia tieto vlnové dĺžky spĺňali. Po zapojení všetkých prístrojov bola komunikácia medzi OLT a ONT indikovaná rozsvietením zelených LED na daných zariadeniach, takže bolo zjavné že zariadenia pracujú aj s pripojeným prístrojom PPM medzi nimi, ako bolo spomenuté skôr. Výsledok merania zobrazený na displeji prístroja PPM je ukázaný na obrázku 8.2.



Obr. 8.2: Zmerané hodnoty prístrojom PPM

Z nameraných hodnôt je vidieť, že v mieste pripojenia prístroja PPM sú optické výkony vysielané zo zariadenia ONT s vlnovou dĺžkou 1310nm 2,9dBm a zo zariadenia OLT s vlnovou dĺžkou 1490nm -10,3dBm. Signál s vlnovou dĺžkou 1550nm sa vo vlákne nenachádza. Z datasheetu zariadenia ONT [13] sa môžeme dočítať, že potrebná úroveň signálu na správnu funkčnosť spojenia je rozsah 0dBm až -24dBm. Z nameraného údaje -10,3dBm by pracovník firmy usúdil že spojenie je vyhovujúce.

Približný údaj, akú úroveň signálu by sme mohli očakávať v mieste zapojenia meracieho prístroja si môžeme vypočítať aj teoreticky. Z datasheetu zariadenia OLT [12] môžeme vyčítať informáciu, že dané zariadenie vysielala signál s vlnovou dĺžkou 1490nm a úrovňou signálu 3dBm. Od tejto úrovne musíme postupne odčítať všetky útlmy na trase ktoré nám postupne zoslabujú prenášaný signál. Ako prvé je za zariadením zapojené vlákno s dĺžkou 10km. Pri útlme tohto vlákna 0,33dB/km musíme od vysielanej úrovne signálu odrátať 3,3dB. Ako ďalší je na trase zapojený splitter s deliacim pomerom 1:8. Útlm tohto splittra môžeme vyčítať z tabuľky 7.2 v ktorej sú uvedené útlmy signálov pri jednotlivých deliacich pomeroch. Nami použitý splitter s deliacim pomerom 1:8 utlmí signál o 10dB. Nakoniec ešte musíme odčítať útlm konektorov. Pred meracím prístrojom sú 4 konektory s teoretickým útlmom cca 0,2dB, čo je celkovo 0,8dB. Po odčítaní všetkých útlmov by sme mali dostať zhruba nami nameranú úroveň signálu.



Výkon vysielaný zariadením OLT [dBm]	-	Útlm vlákna [dB]	-	Útlm splittra [dB]	-	Útlm konektorov [dB]	=	Očakávaná úroveň signálu [dBm]
3	-	3,3	-	10	-	0,8	=	-11,1

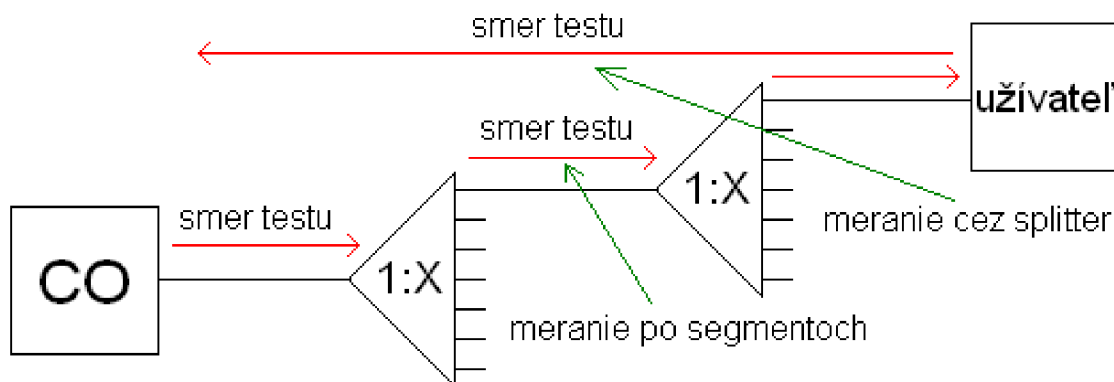
Tab. 8.1: Výpočet očakávanej úrovne signálu meranej prístrojom PPM

Ako je vidno, približným teoretickým výpočtom sme sa od reálne nameranej hodnoty vychýlili o 0,8dB. Ako bolo spomenuté na začiatku, meranie nebolo úplne presné, pretože 500 metrov dlhé vlákno malo byť zapojené ešte pred meracím prístrojom. Pri teoretickom výpočte boli použité teoretické hodnoty útlmov jednotlivých prvkov, ich presné hodnoty uvidíme pri presnejšom meraní s prístrojom OTDR. Týmto meraním sme overili funkčnosť trasy. Ak by sa v neznámom mieste trasy vyskytol problém a detekovali by sme veľmi nízku alebo žiadnu úroveň signálu, týmto meraním by sme takisto nezistili príčinu nefunkčnosti trasy.

## 9 MERANIE OPTICKÝM REFLEKTOMETROM - OTDR

Ako ďalšie z meraní sme vykonali meranie optickým reflektometrom - OTDR. Toto meranie je najvýhodnejšie z pohľadu diagnostiky siete, pretože dokáže detekovať väčšinu udalostí na trase a určí ich presnú polohu. Týmto meraním dokážeme odhadnúť aké prvky sú na trase použité, dĺžky vlákien, pozície jednotlivých konektorov a podobne. Na meranie využíva optickú vlastnosť ORL, kedy sa vyslaná energia signálu odráža od nehomogenít na trase a vracia sa späť do meracieho prístroja. Optický laser vyšle impulz do siete (je snaha o čo najužší impulz s čo najväčšou energiou), pričom detektor sleduje silu odrazenej energie a zároveň počíta čas návratu odrazu k detektoru, čím zistí aj vzdialenosť konkrétnej udalosti na trase (napríklad výskyt konektora). Takže v prípade nefunkčnosti optickej trasy týmto meraním môžeme jednoducho zistiť v ktorom mieste trasy sa asi stala chyba.

Meranie metódou OTDR sa môže uskutočňovať dvoma spôsobmi, a to meranie celej trasy cez splitter (zo strany užívateľa), alebo meraním trasy po jednotlivých segmentoch (zo strany CO), ako znázorňuje obrázok 9.1.

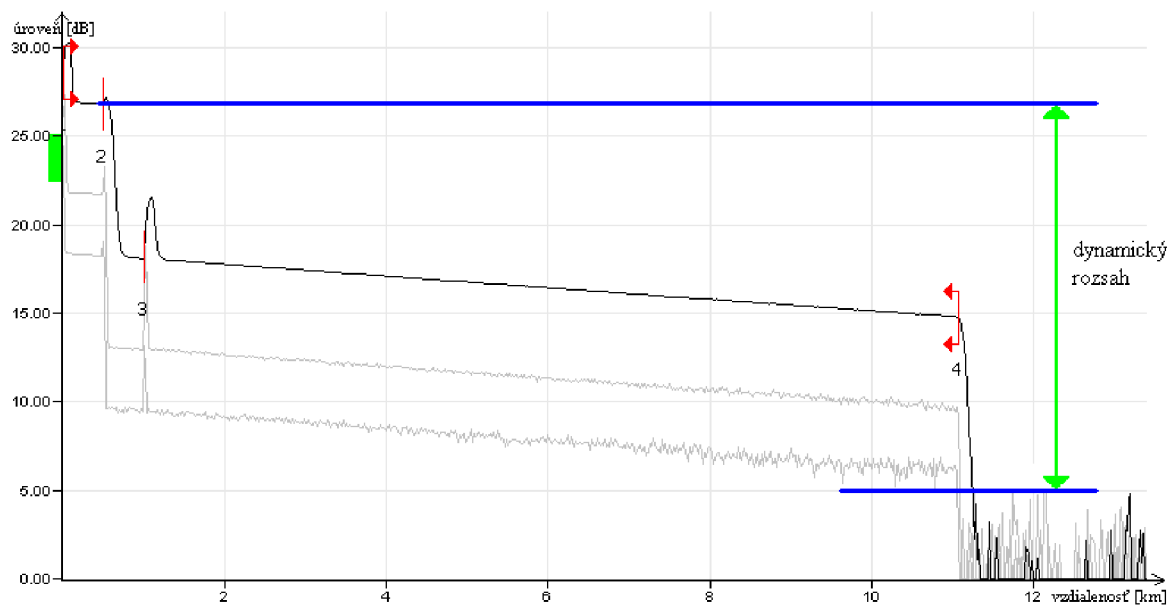


Obr. 9.1: Meranie trasy po segmentoch a cez splitter

Meranie celej trasy zo strany CO nie je možné z dôvodu výskytu splittra na trase a jeho vlastnosťou rozdeľovať signál. Túto situáciu prehľadne znázorňuje obrázok 7.2. V prípade merania celej trasy zo strany užívateľa sa k meraciemu prístroju vracia späť signál len z častí ktoré chceme analyzovať. V prípade merania zo strany CO sa vyslaný signál rozdelí do všetkých častí siete, odkiaľ sa odráža späť a tým pádom meriame odrazený signál od všetkých častí naraz, takže za objektívne nameraný údaj môžeme považovať len hodnoty namerané po splitter. V praxi sa vykonáva meranie väčšinou len celej trasy cez splitter. Tento druh merania sme vykonávali aj my. Samozrejme sme skúsili namerať trasu aj zo strany opačnej. Výsledky tohto merania sú zobrazené v práci neskôr, na obrázku 9.12.

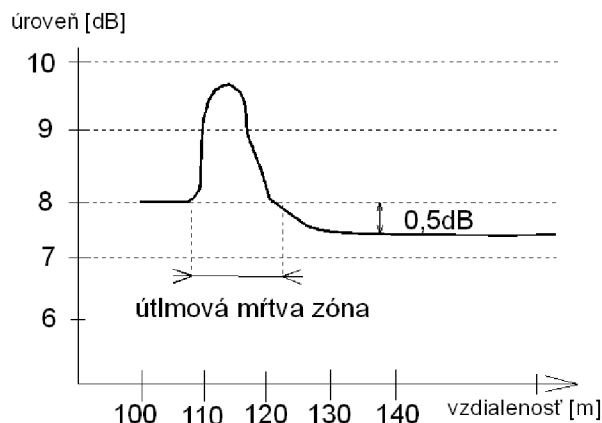
Ako už bolo spomenuté, je snaha vyslať do vlákna impulz čo najužší, s čo najväčšou energiou. Tieto dve veci sa samozrejme vylučujú. Buď vyšleme impulz s veľkou energiou a široký, alebo úzky, ktorého energia je zasa nízka. Pri meraní je veľmi dôležité nastaviť vhodnú šírku impulzu, pretože sa od nej odvíja veľkosť mŕtvej zóny, čo je negatívna vlastnosť metódy OTDR. Pri nastavenom širokom impulze s veľkou energiou síce máme dostatočne veľký dynamický rozsah, ale príliš veľkú mŕtvu zónu, na druhej strane pri úzkom impulze s malou energiou máme dostatočne krátku mŕtvu zónu, ale zasa aj malý dynamický rozsah. Pojmy dynamický rozsah a mŕtva zóna je ale vhodnejšie vysvetliť na obrázkoch.

Dynamický rozsah je rozdiel medzi nadviazanou úrovňou signálu a úrovňou šumu, kedy už nie je možné detekovať udalosti na trase. S klesajúcim dynamickým rozsahom nám klesá aj možná dĺžka meranej trasy. Dynamický rozsah je znázornený na obrázku 9.2. Vidíme, že pri najspodnejšom námere by sme už nemuseli zbadieť napríklad konektor ak by trasa ešte pokračovala. Týmto nám použiteľný rozsah ešte klesá.



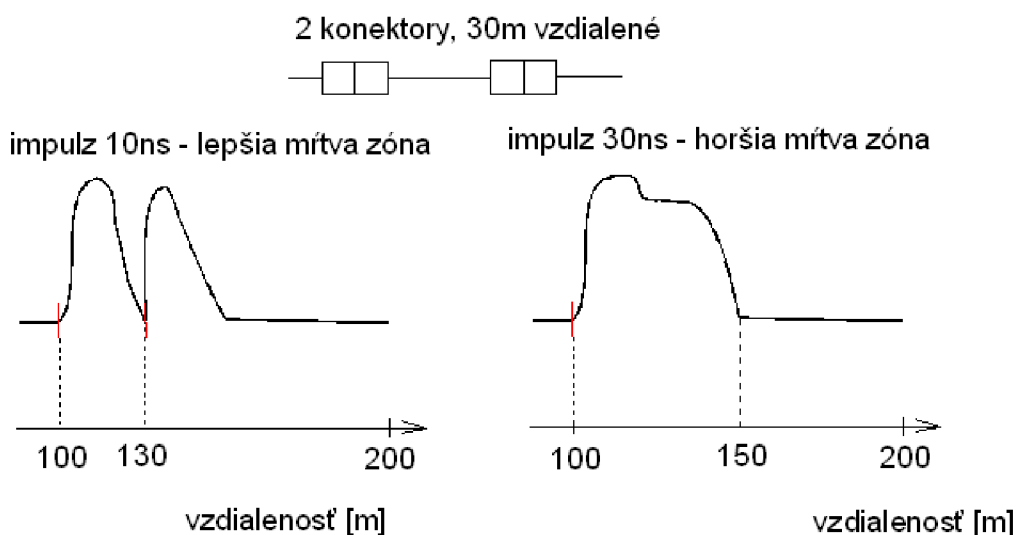
Obr. 9.2: Dynamický rozsah

Mŕtva zóna vzniká pri dopade odrazeného svetla na detektor. Spätné odrazené svetlo spôsobí saturáciu detektoru, takzvané čiastočné oslepenie, kedy detektor nie je schopný detekovať ďalšie nehomogenity na trase, takže by týmto mohol prehliadnúť nejaké prvky trasy. Mŕtva zóna je zobrazená na obrázku 9.3.



Obr. 9.3: Mŕtva zóna

Prečo je nutné voliť vhodnú šírku pulzu vzhľadom na veľkosť mŕtvej zóny je zobrazené na obrázku 9.4.



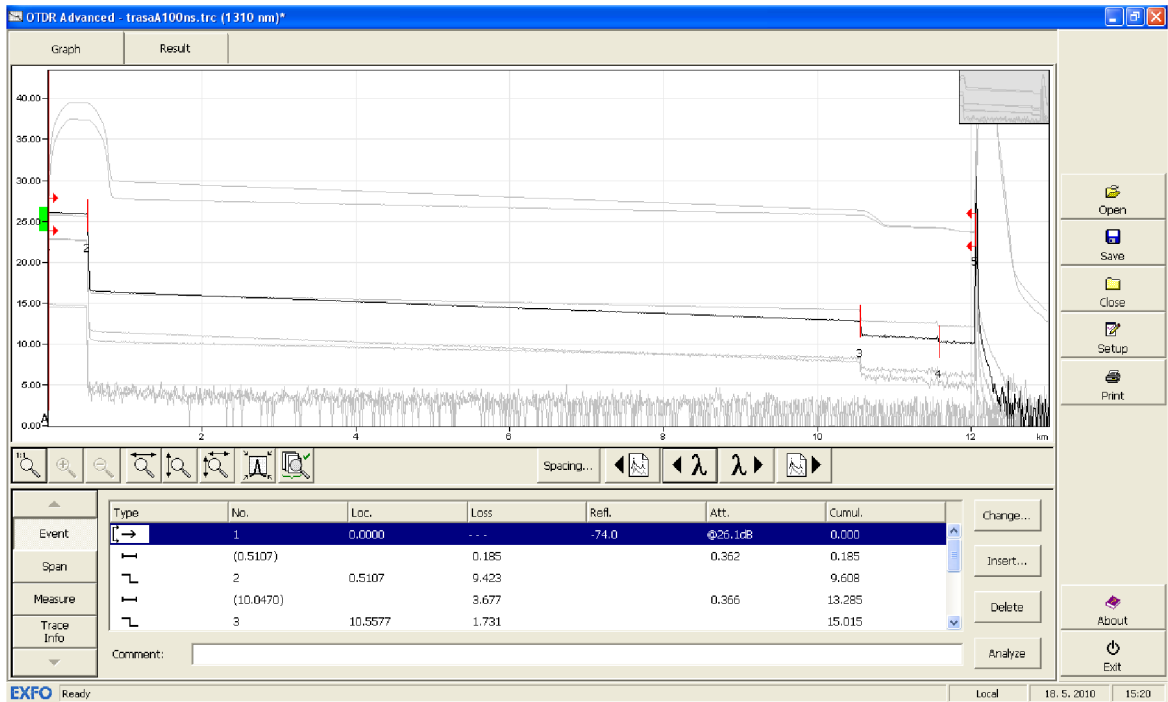
Obr. 9.4: Vplyv dĺžky impulzu na veľkosť mŕtvej zóny

Mŕtva zóna vzniká aj v mieste pripojenia meracieho prístroja na trasu, preto sa v praxi používa pripojenie predradného vlákna pred meranú trasu. Robí sa to preto, aby mŕtva zóna nezasahovala do meranej trasy a neznemožnila tým detekciu meraných prvkov na trase. Odporúčanú dĺžku predradného vlákna môžeme vyčítať z tabuľky 9.1, kde je uvedená aj dĺžka mŕtvej zóny a dynamický rozsah vzhľadom na šírku pulzu pri prístroji OTDR 42dB, 1310nm.

dĺžka meracieho impulzu [ns]	dĺžka mŕtvej zóny v mieste pripojenia prístroja [m]	dynamický rozsah [dB]	doporučená dĺžka predradného vlákna [m]
10	30	9,7	100
30	50	12,1	200
100	70	21,0	
275	100	24,1	500
1000	200	27,3	
2500	400	30,0	1000
10000	1200	40,0	2000
20000	2300	49,9	3000

Tab. 9.1: Závislosť mŕtvej zóny a dynamického rozsahu na dĺžke impulzu [14]

Meranie metódou OTDR sme vykonali v dvoch termínoch, s dvoma meracími prístrojmi, kedy boli v trasách zapojené splittre 1:8 a 1:4. Jednotlivé merané optické trasy sú na obrázkoch 9.9 a 9.14. Ako prvý merací prístroj bola použitá kombinácia zariadení kompaktnej meracej platformy EXFO FTB-200 a modulu EXFO FTB-7200D. Tento merací prístroj mohol merať optickú trasu s vlnovými dĺžkami 1310 a 1550nm. Ako druhý merací prístroj sme použili kompaktný reflektometer mini-OTDR EXFO AXS-100. Tento mal možnosť merať optickú trasu aj na vlnovej dĺžke 1625nm, ale nedosahoval rovnaké parametre dynamického rozsahu a mŕtvej zóny ako vyššie spomenutá kombinácia meracích zariadení. Oba prístroje mali podobné ovládanie, so snahou o čo najjednoduchšie užívateľské rozhranie, kedy v najlepšom prípade stačilo navoliť požadované vlnové dĺžky, šírku impulzu a dĺžku merania, stlačiť tlačidlo štartu testu a výsledok bol do niekoľko sekúnd (napríklad 30s) zobrazený na displeji. Dĺžka testu bol čas, za ktorú v niekoľkosekundových intervaloch merací prístroj opakoval test a výsledný nameraný graf priemerovoval, čím bol priebeh presnejší a vyhladenejší. Po meraní sú ihneď zobrazené výsledky merania na vlastnom displeji, takže meranie vykonávajúci pracovník môže ihneď usúdiť spôsobilosť trasy, prípadne lokalizovať poruchu. Pre nás je ale najväčšou výhodou možnosť merané výsledky vyexportovať do počítača a následne analyzovať. Na toto boli meracie prístroje osadené konektorom USB. Namerané výsledky sa ukladali vo formáte \*.trc, takže následne mohli byť otvorené programom OTDR Viewer, ktorý je zdarma stiahnuteľný zo stránok profiberu, ale len pre registrované firmy. Pohľad, ako celkový program vyzerá je na obrázku 9.5.



Obr. 9.5: Program OTDR Viewer

Tento program nám umožňoval namerané hodnoty prehľadne spracovať. Okrem celkového grafu nameranej trasy ponúkal rovno aj výsledky merania. V časti informácií o trase boli zobrazené informácie ako dátum a čas merania, zvolená vlnová dĺžka, rozsah meranej trasy, šírka zvoleného pulzu, doba merania, celkové a priemerné hodnoty útlmu trasy a podobne.

Information	Value
Date:	29. 3. 2010
Time:	10:41:01
	GMT+1:00
Wavelength:	1310 nm (SM-9 $\mu$ m)
Range:	13.0000 km
Pulse:	100 ns
Acquisition time:	15 s
Span length:	12.0501 km
Span loss:	15.962 dB
Avg. loss:	1.325 dB/km
Avg. splice loss:	3.836 dB
Max. splice loss:	9.423 dB
Span ORL:	40.55 dB

Obr. 9.6: Informácie o meraní

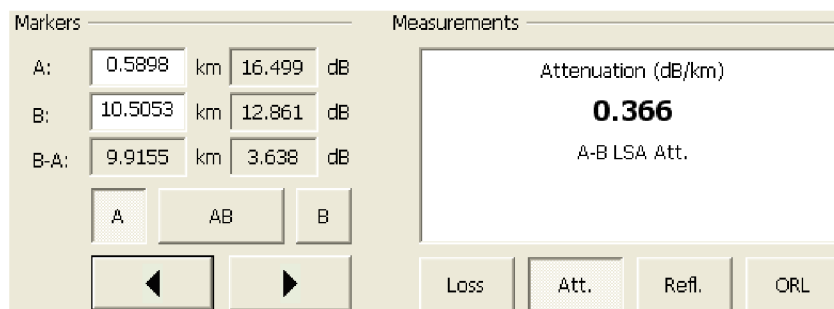
Program nám takisto automaticky zobrazil výsledky merania po jednotlivých udalostiach. Každý rázovitý útlm (konektor alebo splitter) na trase bol vyznačený príslušným číslom pre lepšiu orientáciu. V zobrazených informáciách sme potom mali

prehľadne vypísané informácie o dĺžkach vlákien, konkrétnych pozíciách jednotlivých udalostí, stratách, útlmoch atď.

Type	No.	Loc.	Loss	Refl.	Att.	Cumul.
↔	1	0.0000	---	-74.0	@26.1dB	0.000
┌	(0.5107)		0.185		0.362	0.185
└	2	0.5107	9.423			9.608
┌	(10.0470)		3.677		0.366	13.285
└	3	10.5577	1.731			15.015
┌	(1.0290)		0.441		0.429	15.456
└	4	11.5867	0.354			15.810
┌	(0.4634)		0.152		0.328	15.962
↔	5	12.0501	---	-13.8		15.962

Obr. 9.7: Udalosti na trase

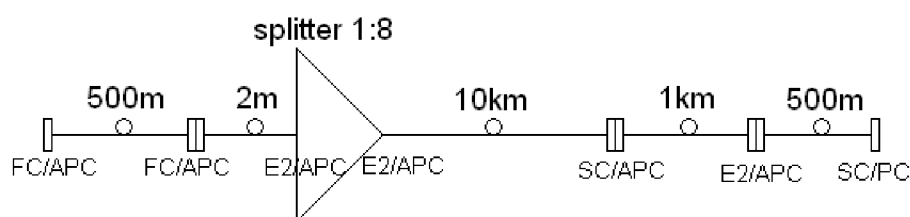
Ďalej sme mali možnosť zobrazíť si výsledky konkrétnej časti trasy, ako stratu, útlm, odrazivosť a ORL. Nastavenie konkrétnej želannej časti trasy sa robilo pomocou značiek ktoré danú časť vymedzovali. Na obrázku 9.8 je nastavené zobrazenie výsledkov útlmu 10km vlákna na vlnovej dĺžke 1310nm.



Obr. 9.8: "Manuálne" meranie častí trasy

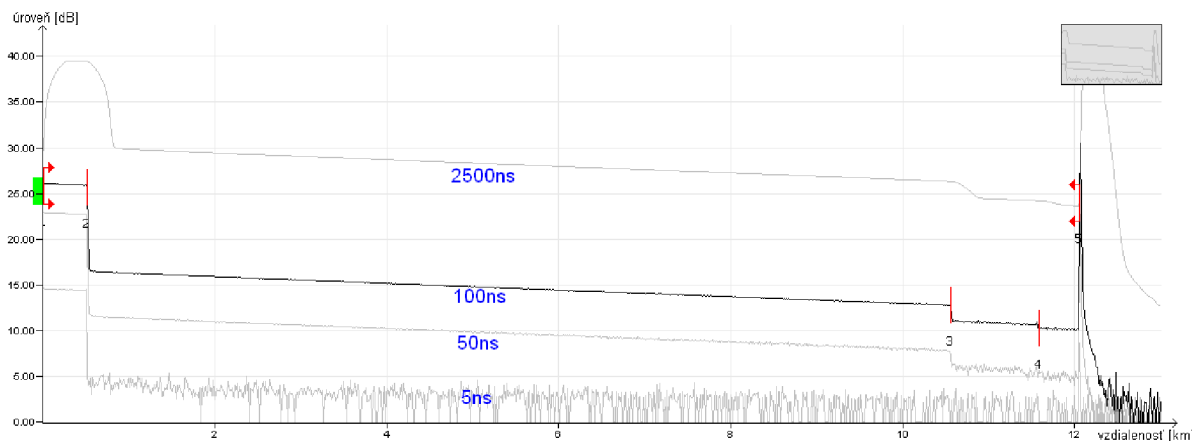
Ako prvú sme merali optickú trasu, ktorá je zobrazená na obrázku 9.9. V trase je zapojený splitter 1:8 a niekoľko vlákien osadených rôznymi konektormi. Splitter bol osadený zo strany ONT jedným konektorom E2000/APC, zvyšných 7 konektorov bolo odstrihnutých klasickými nožničkami. Zo strany OLT sa nachádzal tak isto konektor E2000/APC. Samotný splitter je veľkostne malý, preto ho provizórne uložili do škatule od CDčiek. Tento zvláštne osadený splitter používali zamestnanci firmy Profiber na školenia pri zaúčaní na meranie prístrojmi firmy EXFO. Na tento účel plne postačoval. Chceli sme zapojiť vlákna na splitter tak, aby situácia odpovedala situácii v praxi. Vo firme sa nachádzali vlákna rôznych dĺžok osadených rôznymi konektormi, ktoré nám dovoľovali len zapojenie ktoré je na obrázku 9.9. Meranie sa uskutočnilo zo strany od užívateľa, ktorý je pripojený na splitter jedným 500

metrovým vláknom. Z dôvodu osadenia konektorov sme žiaľ medzi dané vlákno a splitter museli použiť ešte jedno dvojmetrové. Toto dvojmetrové vlákno ale nie je našimi prístrojmi merateľné, pretože mŕtva zóna našich prístrojov aj pri najužšom pulze presahuje túto vzdialenosť, takže na trase nie je zaznamenané, a trochu nám skresľuje výsledky útlmu splitteru o útlm tohto vlákna a použitý konektor navyše. Za splittrom je smerom k ústredni použité 10km dlhé vlákno. Za toto vlákno sme zapojili ešte jedno 1km dlhé, a ďalšie 500m dlhé vlákno z dôvodu rozšírenia nameraných údajov. Pred celú trasu by bolo pri meraní vhodné zapojiť ešte predradné vlákno na zamedzenie vplyvu mŕtvej zóny v mieste pripojenia optickej trasy, vhodné vlákno sme ale nemali. Objektívne meranie sa dalo vykonať aj bez tohto vlákna.



Obr. 9.9: Schéma zapojenia optickej trasy

Nameraná trasa na vlnovej dĺžke 1310nm:



Obr. 9.10: Zmeraná graf na vlnovej dĺžke 1310nm pri rôznych pulzoch

V grafe môžeme vidieť jednotlivé udalosti na trase. Sú vyznačené červenou čiarou a príslušným číslom, ktorému odpovedajú namerané hodnoty v obrázku 9.7. Body 1 a 5 sú začiatkom a koncom trasy. Bod 2 je splitter so spomínaným 2m dlhým vláknom, ktorý sa nám javí ako samotný splitter. Body 3 a 4 sú konektory na trase spájajúce vlákna zapojené na konci trasy. Ako je možné vidieť, voľba šírky pulzu je naozaj dôležitá. Pri pulze širokom 5ns sme namerali len 500m dlhé vlákno. Splitter už zaznamenaný nebol, pretože program si s týmto nastavením vysvetľuje situáciu



ako koniec vlákna. Pulz veľkosti 50ns nám vykazuje lepšie výsledky, lenže posledné vlákna už považuje ako jedno samostatné bez konektoru uprostred. Pulz o veľkosti 100ns vykazuje najlepšie výsledky, zaznamenal všetky udalosti na trase ktoré sa na nej skutočne vyskytujú. Ako posledný sme skúsili pulz veľkosti 2500ns. Pri tomto pulze je veľkosť mŕtvej zóny až taká, že presahuje náš splitter, takže ho na trase celkom prehliadol a vlákno považuje za jeden kus až po koniec 10km dlhého vlákna. Na konci trasy je vždy zaznamenaný veľký skok. Je to spôsobené ukončením vlákna konektorom SC/PC, a rozhraním konektor - vzduch. Všetky namerané údaje sú prehľadne zaznamenané v tabuľke 9.2.

Veľkosť impulzu [nm]	Dĺžka prvého vlákna [m]	Útlm prvého vlákna [dB]	Útlm splittra [dB]	Dĺžka vlákna "10km" [km]	Útlm vlákna "10km" [dB]	Útlm konektoru SC/APC [dB]
5	499,8	0,178	?	?	?	?
50	504,3	0,184	11,163	10,0521	3,719	1,685
100	510,7	0,185	9,423	10,047	3,677	1,731
2500	?	?	?	?	?	1,758

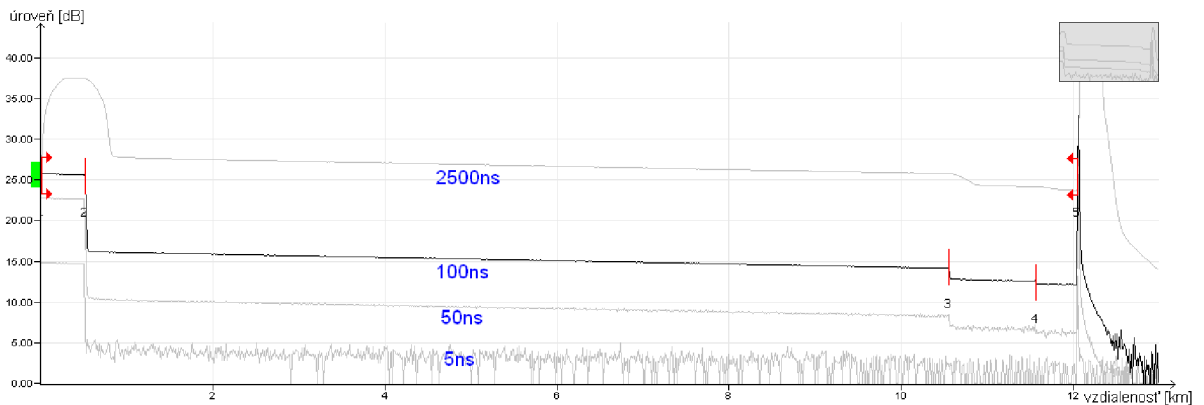
Dĺžka vlákna "1km" [km]	Útlm vlákna "1km" [dB]	Útlm konektoru E2000/APC [dB]	Dĺžka vlákna "500m" [m]	Útlm vlákna "500m" [dB]	Celková dĺžka trasy [km]	Celkový útlm trasy [dB]
?	?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	12,0501	18,04
1,029	0,441	0,354	463,4	0,152	12,0501	15,962
1,023	0,344	0,4	446,8	0,162	12,0488	16,409

Tab. 9.2: Tabuľka nameraných hodnôt pri vlnovej dĺžke 1310nm

Množstvo otáznikov, ktoré obsahuje tabuľka 9.2 je spôsobených nevhodným zvolením šírky pulzu. Za objektívne môžeme považovať len výsledky pri pulze 100nm, kedy nám merací prístroj zmeral všetky udalosti na trase. Celkový útlm trasy si opäť môžeme zhruba overiť sčítaním čiastočných odhadov útlmov. 12km vlákna s útlmom 0,33dB/km, splitter s útlmom cca 10dB a 5 konektorov s útlmom cca 0,2dB nám dokopy dá orientačný útlm trasy 14,96dB. Týchto 15dB ale nesedí s nami nameraným celkovým útlmom. Ako si môžeme všimnúť aj v grafe 9.10 a v tabuľke 9.2, útlm konektoru SC/APC je asi 1,7dB, čo je na konektor príliš veľa. Tento konektor bol pravdepodobne značne znečistený. Žiaľ z dôvodu zaneprázdnenosti zamestnancov firmy Profiber sme nemali dostatok času na zistenie znečistenia tohto konektoru. Útlm tohto konektoru len potvrdzuje nutnosť zodpovedne čistiť všetky konektory na trase.

Na obrázku 9.11 je zobrazený graf nameraných hodnôt na vlnovej dĺžke 1550nm pri rôznych pulzoch. Je veľmi podobný grafu nameranom na dĺžke 1310nm. Za

zmienku možno stojí zníženie sklonu útlmovej charakteristiky na vlákne dlhom 10km, čo je dôsledkom nižšej hodnoty útlmu na kilometer pri tejto vlnovej dĺžke oproti dĺžke 1310nm, ako je vidieť aj z charakteristiky na obázku 1.2. Prejaví sa to znížením celkového útlmu tohto vlákna.



Obr. 9.11: Zmeraná graf na vlnovej dĺžke 1550nm pri rôznych pulzoch

Tabuľka nameraných hodnôt pre vlnovú dĺžku 1550nm:

Veľkosť impulzu [nm]	Dĺžka prvého vlákna [m]	Útlm prvého vlákna [dB]	Útlm splittra [dB]	Dĺžka vlákna "10km" [km]	Útlm vlákna "10km" [dB]	Útlm konektoru SC/APC [dB]
5	505,3	0,111	?	?	?	?
50	503,4	0,12	9,973	10,053	2,219	1,485
100	509,2	0,11	9,466	10,048	2,024	1,352
2500	?	?	?	?	?	1,353

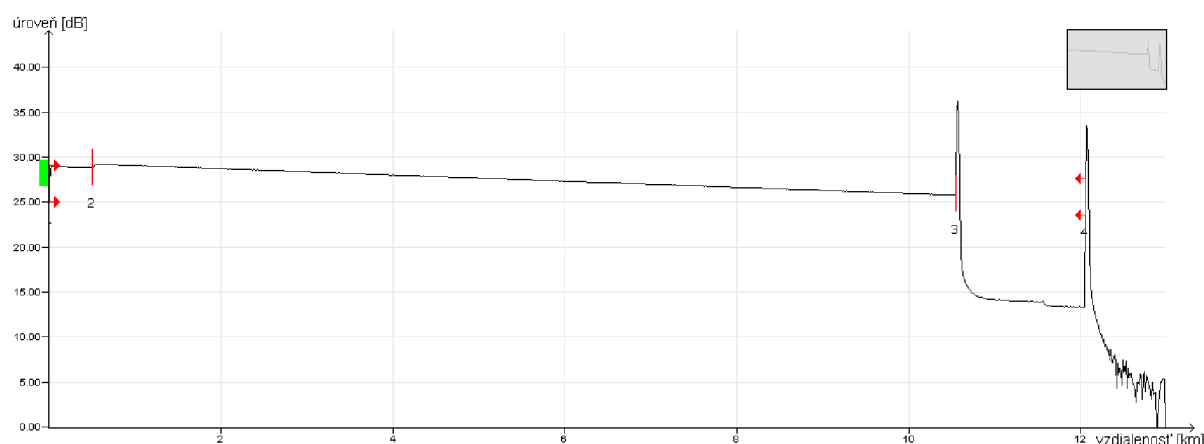
Dĺžka vlákna "1km" [km]	Útlm vlákna "1km" [dB]	Útlm konektoru E2000/APC [dB]	Dĺžka vlákna "500m" [m]	Útlm vlákna "500m" [dB]	Celková dĺžka trasy [km]	Celkový útlm trasy [dB]
?	?	?	?	?	?	?
?	?	?	?	?	12,0456	14,787
1,004	0,242	0,346	483,6	0,111	12,0449	13,652
1,036	0,247	0,344	482,6	0,124	12,0462	14,685

Tab. 9.3: Tabuľka nameraných hodnôt pri vlnovej dĺžke 1550nm

Výsledky tohto merania sú veľmi podobné s meraním na dĺžke 1310nm. Opäť ako jediné objektívne môžeme brať do úvahy len meranie na pulze 100ns. Zasa sa samozrejme objavil problém s veľkým útlmom konektoru SC/APC. Taktiež si môžeme všimnúť nameraný útlm splittra 1:8, ktorý by mal mať podľa tabuľky 7.2 ideálny útlm 9dB a reálny 10dB. My sme namerali pri 100ns v oboch meraniach útlm

cca 9,5dB. Škoda len, že sme nenamerali túto trasu na viacerých šírkach impulzov, pretože použitý merací prístroj nám ich ponúkal. K dispozícii bola široká škála impulzov ako 275ns, 500ns, 1000ns atď., na ktorých by bola trasa nameraná taktiež s veľmi dobrými výsledkami. Žiaľ kvôli časovej tiesni sme toto už nevykonali.

Optickú trasu sme namerali taktiež zo strany OLT. Toto meranie nie je vhodné, pretože namerané výsledky môžu byť klamlivé. Do úvahy môžeme brať len údaje namerané po splitter. Namerané údaje za ním sú už mixom všetkých vetiev splittra. Ako už bolo spomínané, nami použitý splitter 1:8 mal vyvedenú iba jednu okonektorovanú vetvu, všetky ostatné boli odstrihnuté. Nameraný graf je vidno na obrázku 9.12.

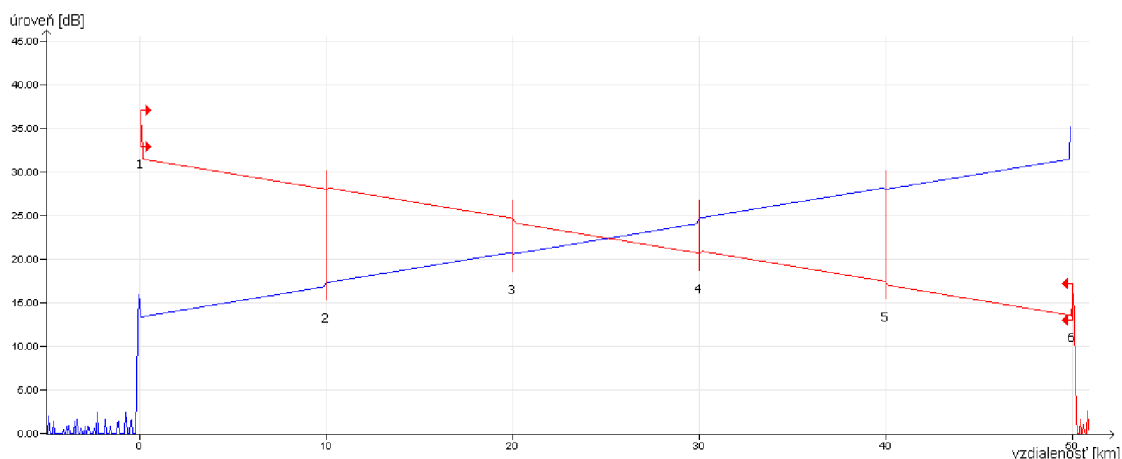


Obr. 9.12: Zmeraný graf zo strany OLT na vlnovej dĺžke 1310nm a pulze 275ns

Ako je vidno, trasa je tentoraz zapojená do radu 500m dlhé vlákno, 10km dlhé vlákno, splitter, a 2 vlákna dĺžky 1 a 0,5km. Konektor medzi poslednými dvoma vláknami je viditeľný práve z dôvodu zapojenej jedinej vetvy splittra. Obrovský impulz na grafe v mieste splittra (bod č.3) je spôsobený nožnicami odstrihnutými vývodmi splittra, ktoré späť k zdroju odrážajú veľké množstvo energie. Zmerané výsledky nebudem ani uvádzať do tabuľky, pretože toto meranie bolo len demonštratívne a v praxi sa takmer nevykonáva.

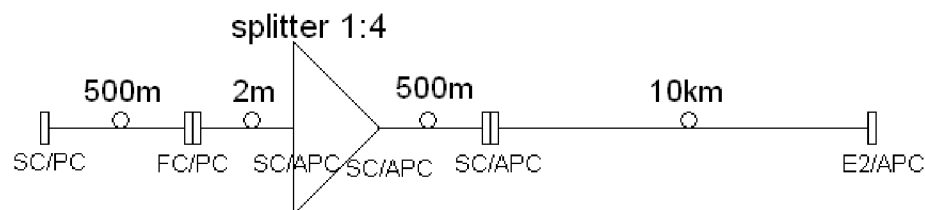
Veľmi zaujímavý úkaz je na obrázku 9.12 v bode č.2, kde sa nachádzal konektor. Graf aj namerané hodnoty nám vykazujú záporný útlm tohto konektoru, konkrétne -0,13dB. Samozrejme konektor reálne nemôže vykazovať zisk. Toto je veľkou chybou metódy OTDR. Táto metóda meria silu odrazeného svetla naspäť ku zdroju. Problém nastáva vtedy, ak máme v trase zapojené dve vlákna s rôznou odrazivosťou, napríklad dve vlákna od rôznych výrobcov. Na detektor dopadá svetlo z jedného vlákna s určitou silou, pričom z druhého dopadne na detektor svetlo s ešte väčšou energiou a merací prístroj zaznamená zisk tohto konektoru. Týmto môže nastať chyba pri meraní až do veľkosti 0,4dB. V našom prípade daný konektor s útlmom

-0,13dB môže mať reálne útlm 0,27dB. Samozrejme táto chyba sa môže odzrkadliť aj v opačnom smere, to znamená namerať útlm väčší ako je reálny. Ak by sme namerali tento konkrétny konektor z druhej strany, mal by útlm väčší ako reálny. K odstráneniu problému týchto nepresne nameraných konektorov sa používa metóda namerania trasy z dvoch strán, kedy sa výsledky priemerujú. Pri námeroch z meracieho prístroja OTDR nám k tomu slúži program Bidir Viewer, ktorou môžeme načítať námery vykonané z oboch strán a program automaticky spriemeruje všetky hodnoty a vypočíta reálne výsledky. My sme žiaľ žiadnu totožnú trasu z dvoch strán nameranú nemali, Preto nám nezostáva nič iné, než konektorom s kladným útlmom veriť a k záporným pripočítať už zmienenú hodnotu 0,4dB. Graf s nameranou trasou z programu Bidir Viewer je vidno na obrázku 9.13. Trasu sme ale nemerali, je súčasťou inštalačného balíčka týchto programov.



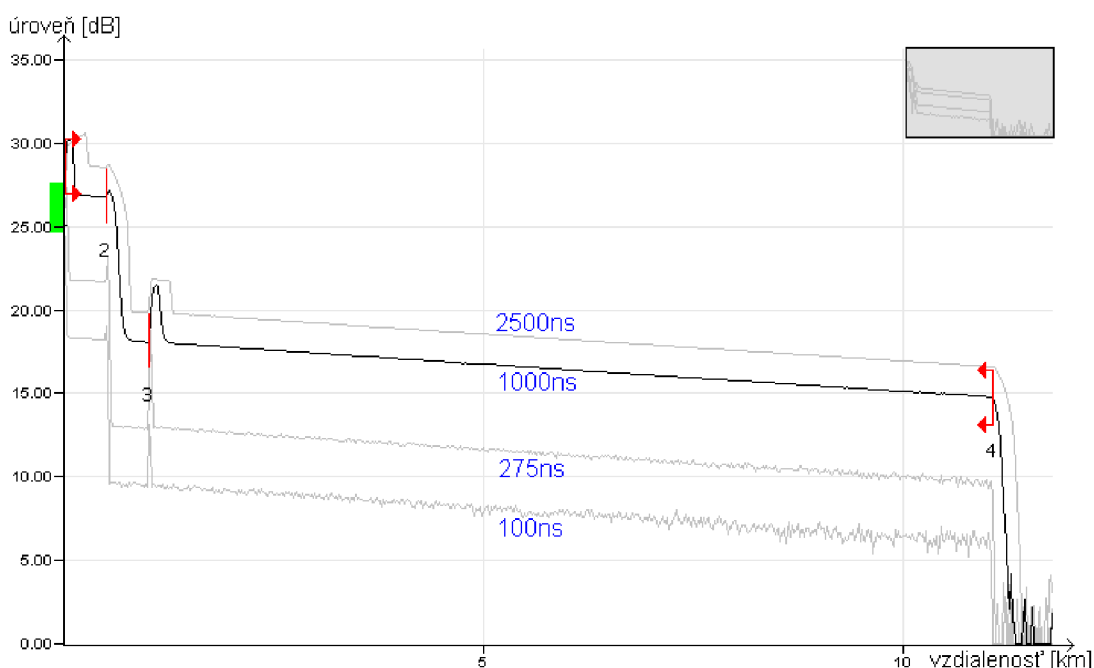
Obr. 9.13: Graf optickej trasy zobrazený programom Bidir Viewer

Ako ďalšiu v poradí sme premerali optickú trasu so zapojeným splittrom 1:4. Tento splitter už bol pekne osadený vo vlastnom puzdre so všetkými konektormi. Premeriavaná trasa je zobrazená na obrázku 9.14. Toto meranie sa uskutočnilo v iný termín oproti doteraz opisovanému, s meracím prístrojom EXFO AXS-100, ktorý vlastnila iná firma a vo firme Profiber bol len na pravidelnej kalibrácii, takže sme mohli využiť jeho služby. Toto meranie bolo vykonané veľmi naráchlo, s priam expresným čisteným konektorov, čo mohlo spôsobiť nepresnosti pri meraní.



Obr. 9.14: Schéma zapojenia optickej trasy

Táto trasa bola premeriavaná tak isto zo strany ONT. Opäť nastal problém ako aj pri predchádzajúcej trase, že sme museli pred splitter pripojiť ešte 2m dlhé vlákno ktoré nie je merateľné, tým pádom nám skresľovalo výsledok útlmu samotného splitttra. Za splittrom je zapojené jedno vlákno dĺžky 500m, a druhé dĺžky 10km. Merania sme uskutočnili s impulzmi 100ns, 275ns, 1000ns a 2500ns. Doba merania bola volená konštantne 30s. Na obrázku 9.15 sú zobrazené grafy s nameranými hodnotami pre vlnovú dĺžku 1310nm.



Obr. 9.15: Zmeraná graf na vlnovej dĺžke 1310nm pri rôznych pulzoch

Na konci trasy je zapojený konektor E2000/APC, preto nám koniec trasy nevykazuje vysoký spätný impulz oproti naposledy meranej trase. Od tohto konektoru sa nám späť do trasy dostáva minimum energie. Na konektore SC/APC nám nastal problém s nameraním záporného útlmu. Keďže sme meranie v opačnom smere nevykonali, do tabuľky 9.4 s nameranými hodnotami som rovno uviedol tento útlm s prirátanou hodnotou 0,4dB, takže tento údaj nemusí byť úplne presný.

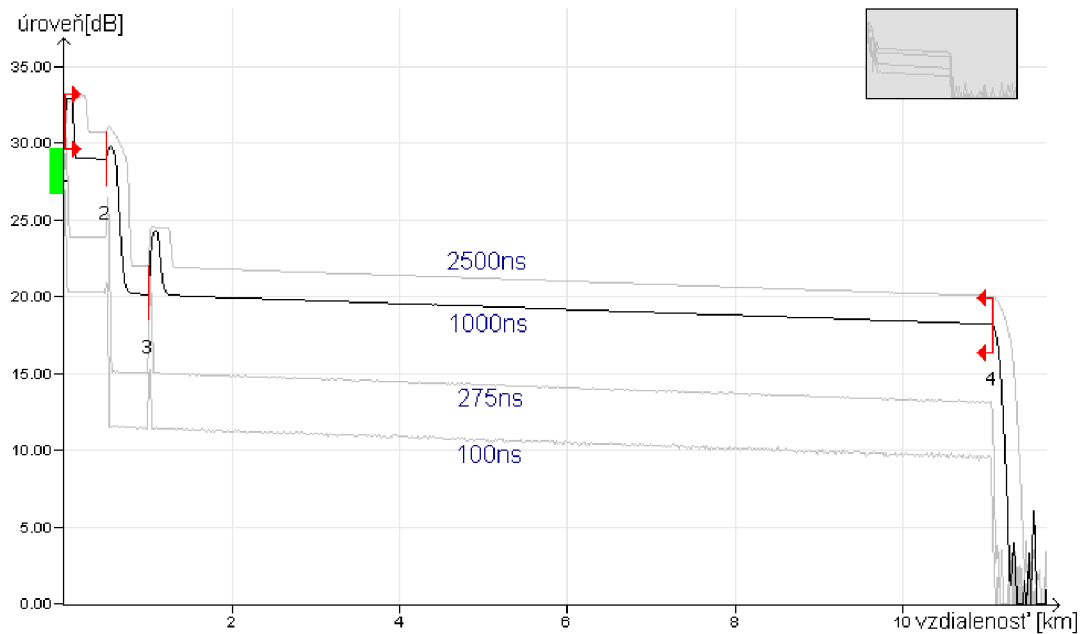
Veľkosť impulzu [nm]	Dĺžka prvého vlákna [m]	Útlm prvého vlákna [dB]	Útlm splittra [dB]	Dĺžka vlákna "500m" [m]	Útlm vlákna "500m" [dB]
100	499,2	0,163	8,58	504,3	0,177
275	499,2	0,151	8,604	504,3	0,166
1000	503	0,157	8,488	503	0,217
2500	503	0,164	8,566	500,4	0,158

Útlm konektoru SC/APC [dB]	Dĺžka vlákna "10km" [km]	Útlm vlákna "10km" [dB]	Celková dĺžka trasy [km]	Celkový útlm trasy [dB]
0,35	10,0585	3,496	11,062	12,366
0,346	10,0585	3,318	11,062	12,158
0,349	10,0598	3,299	11,0658	12,11
0,367	10,0828	3,295	11,0862	12,149

Tab. 9.4: Tabuľka nameraných hodnôt pri vlnovej dĺžke 1310nm

Pri meraní týmto meracím prístrojom nám vychádzali útlmy veľmi podobne zmerané, pričom prístroj zaznamenal všetky udalosti na trase, preto môžeme výsledky merania považovať za dobre namerané. Napríklad pri vlákne s dĺžkou 10km máme zmeraný útlm na všetkých pulzoch cca 0,33dB/km. Útlm splittra s pomerom 1:4 vyčítaný z tabuľky 7.2 by mal byť reálne 7dB. Tu niekde nastala chyba, pretože my sme namerali vo všetkých prípadoch útlm cca 8,5dB. Opäť by bolo najvhodnejšie zvaliť túto príčinu na znečistený konektor, žiaľ ani v tomto prípade sme následnú kontrolu čistoty konektorov nerobili. Pri spočítaní celkového odhadu útlmu trasy, t.j. 7dB splitter, 11km vlákna s útlmom cca 0,33dB/km a 5 konektorov s približnou hodnotou útlmu 0,2dB dostaneme výsledný útlm celej trasy, asi 11,63dB. Ako vidíme, výsledný útlm je o niečo väčší. Je to spôsobené väčším útlmom splittra a taktiež pravdepodobne nie úplne presným výsledkom merania konektorov.

Na obrázku 9.16 sú grafy nameraných hodnôt pri meraní danej trasy na vlnovej dĺžke 1550nm pri rozličných impulzoch.



Obr. 9.16: Zmeraná graf na vlnovej dĺžke 1550nm pri rôznych pulzoch

Veľkosť impulzu [nm]	Dĺžka prvého vlákna [m]	Útlm prvého vlákna [dB]	Útlm splittra [dB]	Dĺžka vlákna "500m" [m]	Útlm vlákna "500m" [dB]
100	500,2	0,098	8,716	504,1	0,102
275	500,2	0,093	8,7	504,1	0,125
1000	502,8	0,087	8,652	502,8	0,155
2500	500,2	0,087	8,597	502,8	0,134

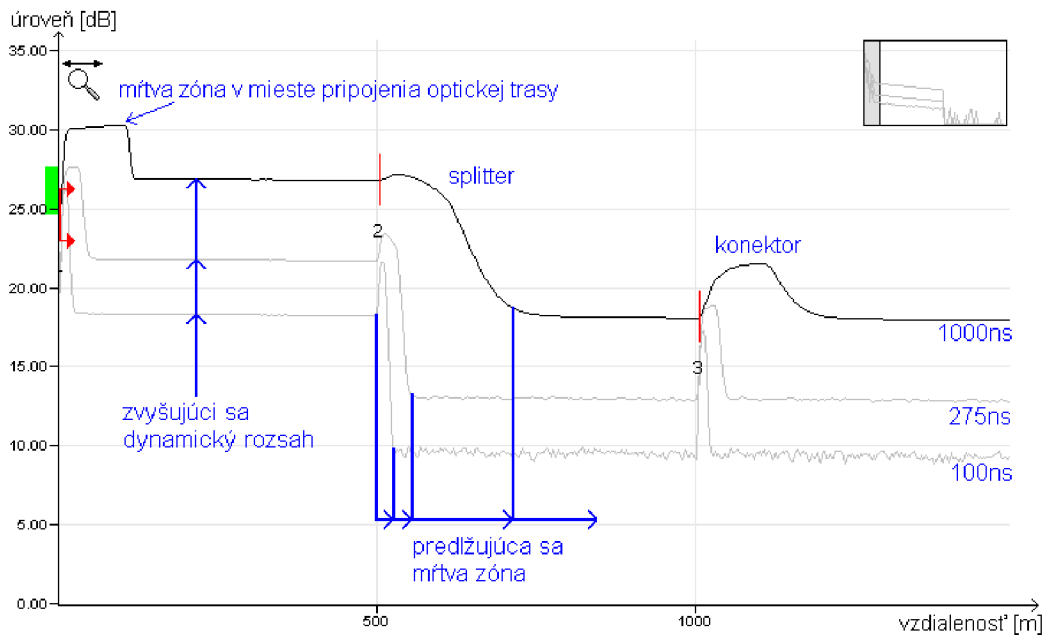
Útlm konektoru SC/APC [dB]	Dĺžka vlákna "10km" [km]	Útlm vlákna "10km" [dB]	Celková dĺžka trasy [km]	Celkový útlm trasy [dB]
0,389	10,0479	1,9	11,0521	10,828
0,388	10,0542	1,928	11,0585	10,833
0,366	10,0606	1,922	11,0662	10,783
0,358	10,0887	1,926	11,0687	10,703

Tab. 9.5: Tabuľka nameraných hodnôt pri vlnovej dĺžke 1550nm

Výsledky pri meraní na vlnovej dĺžke 1550nm sa príliš od tých na vlnovej dĺžke 1310nm neodlišujú. Aj tu je badateľný pokles útlmov vlákien oproti útlmom na vlnovej dĺžke 1310nm.

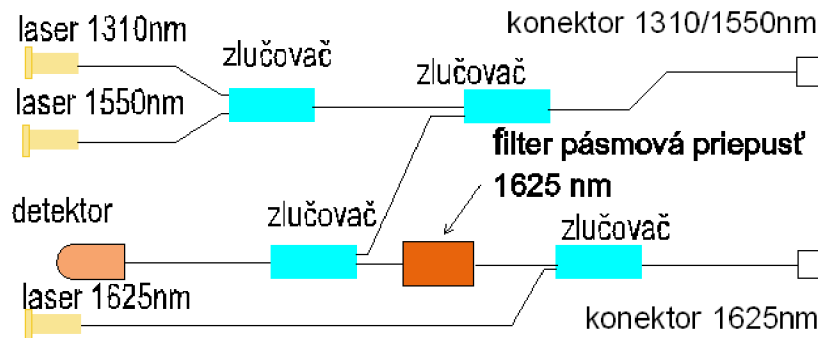
Ako bolo spomínané, je dôležité voľiť vhodnú veľkosť impulzu z dôvodu správneho pomeru mŕtvej zóny a dynamického rozsahu. To, že so zvyšujúcou sa veľkosťou

zvoleného pulzu rastie dynamický rozsah, ale aj veľkosť mŕtvej zóny, je veľmi dobre vidieť po priblížení si počiatku nami nameraného grafu, na obrázku 9.17.



Obr. 9.17: Vzrast dynamického rozsahu a mŕtvej zóny zároveň s impulzom

Keby bolo možné merať len neživé optické trasy, bolo by meranie metódou OTDR dosť nepraktické. Preto tento merací prístroj umožňuje merať aj živé optické trasy, ktoré sú v plnej prevádzke, a to na vlnovej dĺžke 1625nm.

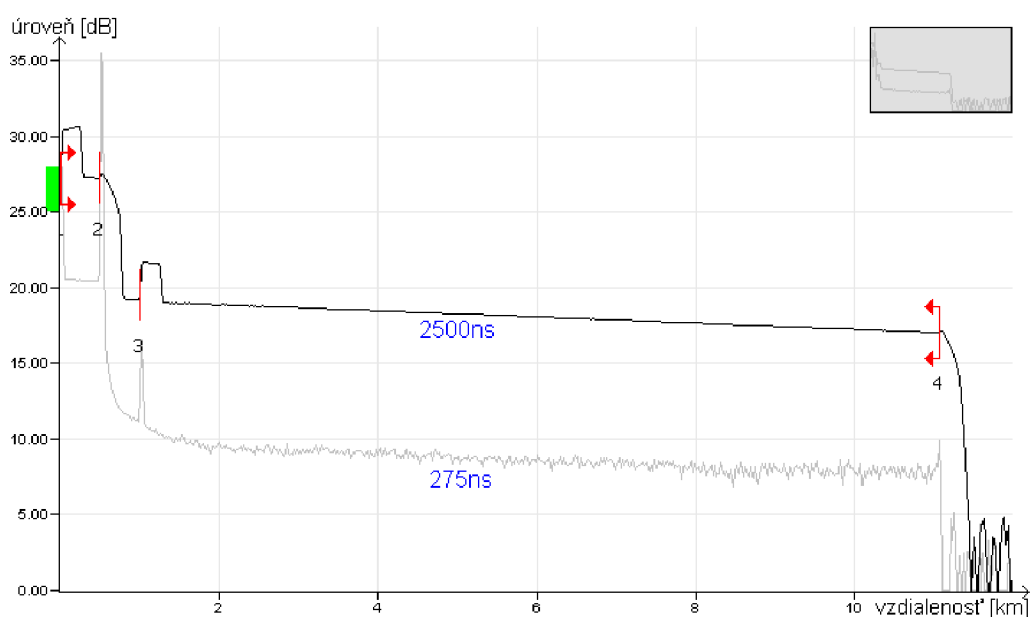


Obr. 9.18: Vnútročné zapojenie prístroja OTDR

Na obrázku 9.18 je vnútročné zapojenie prístroja OTDR umožňujúce meranie na vlnovej dĺžke 1625nm. Nami použitý merací prístroj toto meranie umožňoval. Toto meranie sme chceli vyskúšať s pripojeným zariadením OLT, ktoré vysiela na vlnovej dĺžke 1490nm, ale osadenie vlákien konektormi nám to nedovolilo. Preto aj toto meranie bolo vykonané na neživej sieti. Prístroj umožňoval na tejto vlnovej



dĺžke vykonať meranie s impulzmi 275ns 2500ns. Výsledky merania sú zobrazené v obrázku 9.19 a tabuľke 9.6.



Obr. 9.19: Zmeraná graf na vlnovej dĺžke 1625nm pri rôznych pulzoch

Veľkosť impulzu [nm]	Dĺžka prvého vlákna [m]	Útlm prvého vlákna [dB]	Útlm splittra [dB]	Dĺžka vlákna "500m" [m]	Útlm vlákna "500m" [dB]
275	500,1	0,101	8,292	503,9	0,235
2500	502,6	0,101	7,907	500,1	0,115

Útlm konektoru SC/APC [dB]	Dĺžka vlákna "10km" [km]	Útlm vlákna "10km" [dB]	Celková dĺžka trasy [km]	Celkový útlm trasy [dB]
0,324	10,077	2,24	11,081	11,034
0,22	10,0553	2,044	11,058	10,286

Tab. 9.6: Tabuľka nameraných hodnôt pri vlnovej dĺžke 1625nm

## 10 PREMERANIE SPLITTRA 1:16

Toto meranie sa už neuskutočnilo v trnavskej pobočke firmy Profiber. Za účelom tohto merania prišiel zamestnanec pražskej pobočky tejto firmy do areálu fakulty aj s potrebným meracím vybavením. Splitter 1:16 vlastní škola, ako aj vlákna viacerých dĺžok osadené rôznymi konektormi. Externé boli meracie prístroje a vlákno dĺžky 20km.

Na začiatku sme prekontrolovali merané konektory tohto splittra rovnakým meracím prístrojom (EXFO FIP-400), ako bol použitý v časti práce 6. Všetky konektory sme sa snažili čo najlepšie vyčistiť.

Ako prvé bolo uskutočnené premeranie tohto splittra priamou metódou (OLTS). Na toto meranie boli použité dva prístroje a to zdroj optického žiarenia EXFO FLS-300, ktorý ponúkal žiarenie v 3 vlnových dĺžkach a to 1310nm, 1490nm a 1550nm, a meradlo výkonu EXFO FPM-600. Postup merania bol jednoduchý. Ako prvé sme si spravili referenciu meracích prístrojov, po prepojení spomínaných dvoch zariadení jedným 2m dlhým vláknom sme nastavili nulu na meradle výkonu pre všetky tri merané vlnové dĺžky. Následne sme zapojili splitter 1:16 medzi tieto dva prístroje použitím dvoch 2m dlhých vlákien. Na tomto splittry sme si vybrali tri merané konektory, konkrétne OUT16, OUT10 a OUT4, a na nich sme potom vykonali meranie útlmu tohto splittra z oboch strán, ako aj zo strany OLT-ONT tak aj zo strany ONT-OLT. Výsledky tohto merania sú v tabuľkách 10.1 a 10.2.

Vlnová dĺžka [nm]	útlm splittra na konektore OUT16 [dB]	útlm splittra na konektore OUT10 [dB]	útlm splittra na konektore OUT4 [dB]
1310	12,89	13,3	14,12
1490	13,04	13,63	14,39
1550	13,12	13,2	14,45

Tab. 10.1: Namrané hodnoty útlmu splittra v smere OLT-ONT

Vlnová dĺžka [nm]	útlm splittra na konektore OUT16 [dB]	útlm splittra na konektore OUT10 [dB]	útlm splittra na konektore OUT4 [dB]
1310	13,03	13,23	14,15
1490	13,23	13,64	14,25
1550	13,29	13,14	14,33

Tab. 10.2: Namrané hodnoty útlmu splittra v smere ONT-OLT

V tabuľke 7.2 je uvedené, že útlm splittra pri deliacom pomere 1:16 je ideálne 12dB, reálne 14dB. Nami namerané hodnoty daného splittra sú zhruba odpovedajúce, iba na konektore OUT4 je hodnota útlmu vyššia zhruba o 1dB oproti predchádzajúcim dvom konektorom. Následne sme premeriavali aj čistotu tohto konektoru, žiadnu vadu sme ale neobjavili.

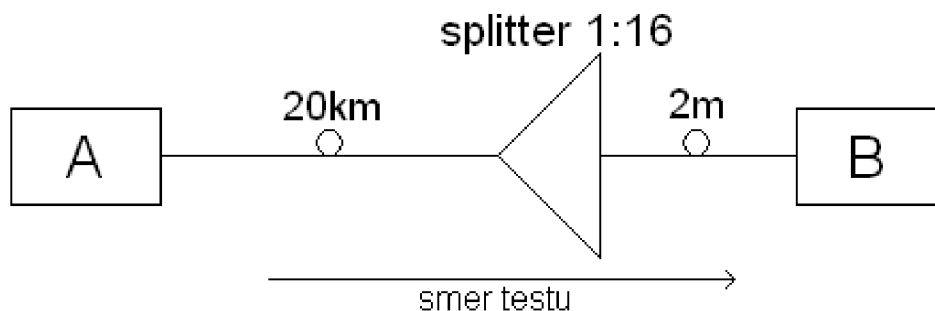
Ako ďalšie sme chceli touto istou metódou zmerať čiastkové útlmy optických vlákien použitých v trasách pri ďalších meraniach. Preto sme namerali útlm vlákna dĺžky 20km, a dĺžky 5m. Vlákno dĺžky 5 metrov sme nakoniec v trasách vôbec nepoužili kvôli nevyhovujúcemu osadeniu konektormi, preto ani výsledky tohto merania nebudem uvádzať. V tabuľke 10.3 sú uvedené výsledky merania vlákna s dĺžkou 20km.

Vlnová dĺžka [nm]	Útlm vlákna [dB]
1310	9,12
1490	5,98
1550	5,35

Tab. 10.3: Útlm vlákna s dĺžkou 20km

Na vlnovej dĺžke 1310nm sme namerali útlm takmer o 4dB väčší oproti ostatným vlnovým dĺžkam. Z tohto môžeme usúdiť, že vlákno má na tejto vlnovej dĺžke skoro o 0,2dB/km väčší útlm ako na vlnových dĺžkach 1490nm a 1550nm.

Ako ďalšie sme vykonali meranie touto istou metódou OLTS (s použitím zdroja optického žiarenia a meradla výkonu) optickej trasy zobrazenej na obrázku 10.1. Opäť sme chceli použiť druhé vlákno väčšej dĺžky, konektory nám ale dovoľovali pripojiť len 2m dlhé vlákno. S použitím týchto prístrojov sa dá trasa zmerať len v jednom smere, vykonali sme meranie v smere zo strany OLT, ako je na obrázku.



Obr. 10.1: Schéma zapojenia meracích prístrojov, splittra a vlákien

Prístroj A je zdroj optického žiarenia, prístroj B je meradlo výkonu. Po zrátaní čiastkových útlmov splittra a vlákna dĺžky 20km by sme mali dostať výsledky tohto

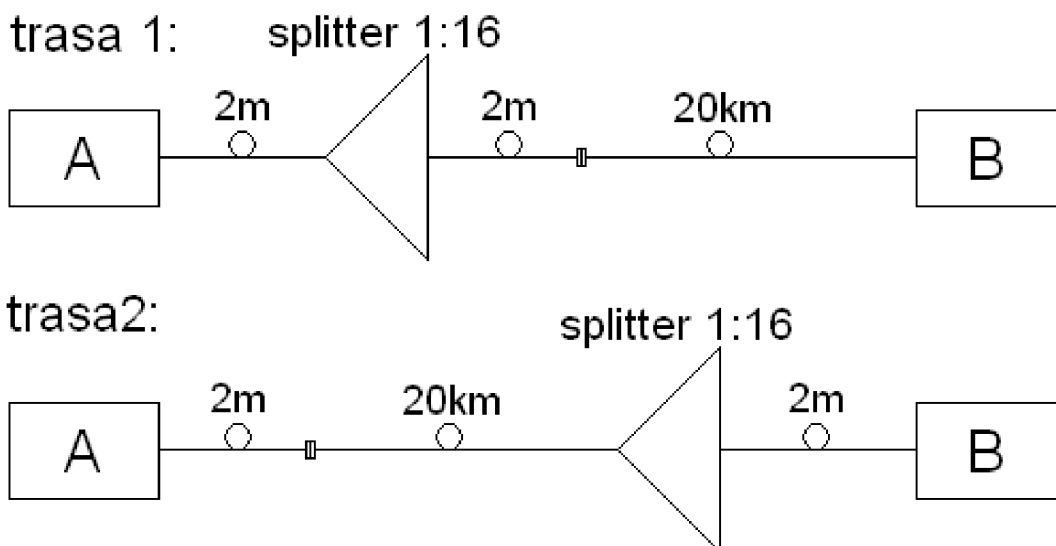
merania zhruba 22dB na vlnovej dĺžke 1310nm a 19dB pre ostatné 2 vlnové dĺžky. Výsledky tohto merania sú v tabuľke 10.4.

Vlnová dĺžka [nm]	útlm na konektore OUT16 [dB]	útlm na konektore OUT10 [dB]	útlm na konektore OUT4 [dB]
1310	22,2	22,22	22,42
1490	19,22	19,58	19,65
1550	19,1	18,9	19,61

Tab. 10.4: Útlm optickej trasy so splittrom a vláknom 20km

Predpokladané výsledky merania sa zhruba zhodujú s nameranými. Meranie z opačnej strany (zo strany ONT) sme nevykonali. Týmto sme meranie touto metódou ukončili. Všetky ďalšie merania boli vykonávané na konektore OUT10.

Ako ďalšie meranie sme vykonali meranie priamou metódou (OLTS), tentoraz ale s použitím dvojice špeciálnych meracích prístrojov EXFO FOT-930, určených na meranie priamou metódou. Výhodou týchto meracích prístrojov je, že merajú zároveň s útlmom aj ORL a meranie vykonávajú zároveň v oboch smeroch. Pri jednom meraní sme tým hneď obdržali výsledky merania útlmu aj ORL a to hneď z oboch strán. Týmto meracími prístrojmi sme zmerali 2 trasy zobrazené na obrázku 10.2. Na prepojenie týchto meracích prístrojov s trasou so zapojením splitter a 20km vlákna sme opäť museli využiť aj zapojenia vlákien dĺžky 2m, tentoraz dvoch.



Obr. 10.2: Schémy zapojenia pri meraní prístrojmi FOT-930

Tentoraz sú ako A a B zapojené rovnaké meracie prístroje FOT-930. Ako prvé sme vykonali vzájomnú referenciu týchto meracích prístrojov. Po rýchlom meraní

sme obržali výsledky, ktoré sú zobrazené v nasledujúcich tabuľkách.

Vlnová dĺžka [nm]	útlm v smere A->B [dB]	útlm v smere B->A [dB]	priemer [dB]
1310	21,24	21,27	21,25
1490	18,09	18,23	18,16
1550	19,39	19,51	19,45

Tab. 10.5: Útlm optickej trasy 1

Vlnová dĺžka [nm]	ORL A->B [dB]	ORL B->A [dB]
1310	53,22	30,14
1490	53,85	31,88
1550	54,77	34,33

Tab. 10.6: ORL optickej trasy 1

Vlnová dĺžka [nm]	útlm v smere A->B [dB]	útlm v smere B->A [dB]	priemer [dB]
1310	21,41	21,37	21,39
1490	17,95	18,16	18,05
1550	18,83	18,99	18,91

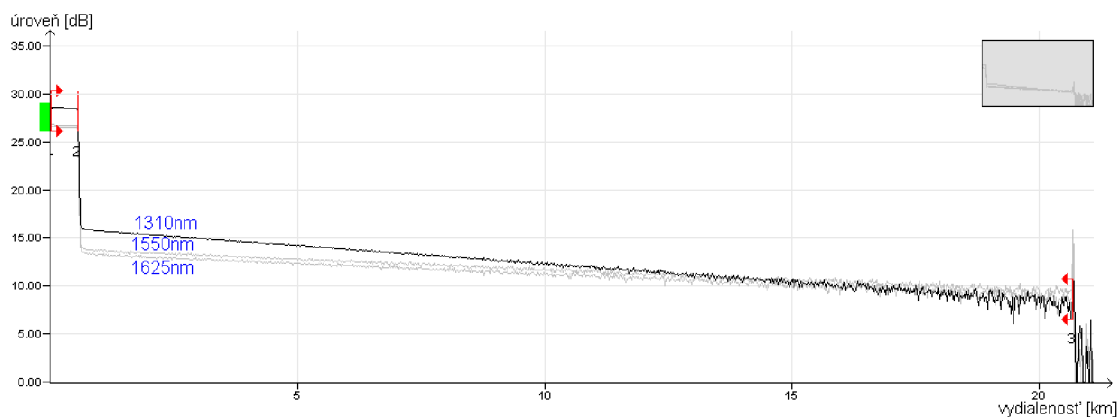
Tab. 10.7: Útlm optickej trasy 2

Vlnová dĺžka [nm]	ORL A->B [dB]	ORL B->A [dB]
1310	50,43	31,08
1490	51,85	31,65
1550	52,58	32,68

Tab. 10.8: ORL optickej trasy 2

Výsledky merania útlmov zhruba odpovedajú výsledkom nameraných hodnôt predchádzajúcou metódou. Rápidne rozdiely výsledkov ORL z dvoch smerov sú spôsobené, ako už bolo spomínané, vlastnosťou splittra, ako je aj naznačené na obrázku 7.2.

Ako ďalšie meranie sme vykonali premeranie trasy metódou OTDR. Zapojené boli merací prístroj OTDR EXFO AXS-100, 500m dlhé vlákno, 2m dlhé vlákno, splitter 1:16 a 20km dlhé vlákno. Vykonali sme jedno meranie so šírkou impulzu 100ns, s tromi vlnovými dĺžkami 1310,1550 a 1625nm. Meranie bolo robené dosť naráchlo, zvolený čas merania bol len 5s, preto je graf meranie "hrboľatý".



Obr. 10.3: Graf nameraných hodnôt prístrojom OTDR

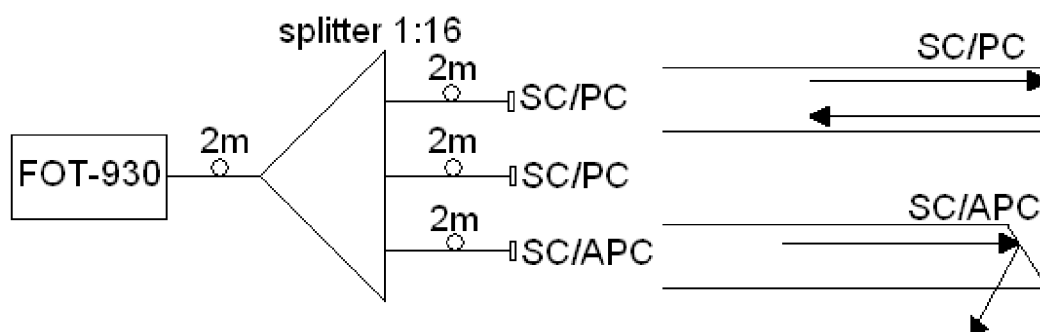
vlnová dĺžka [nm]	dĺžka vlákna "500m" [m]	útlm vlákna "500m" [dB]	útlm splittra 1:16 [dB]
1310	551,5	0,196	12,526
1550	552,5	0,104	12,695
1625	553,7	0,113	13,335
dĺžka vlákna "20km" [km]	útlm vlákna "20km" [dB]	celková dĺžka trasy [km]	celkový útlm trasy [dB]
20,1273	7,74	20,6788	20,462
20,1276	4,425	20,6902	17,224
20,1208	4,554	20,6774	18,002

Tab. 10.9: Namerané hodnoty prístrojom OTDR

Ako je vidno, vlákno dĺžky 500m meria v skutočnosti 550m. Tak isto nám vyšli útlmy vlákien na vlnovej dĺžke 1310nm vyššie ako na ostatných dvoch vlnových dĺžkach.

Na trasách PON sietí by mali byť používané konektory APC. Tieto konektory nám neznižujú hodnotu ORL tak ako konektory PC. Je to zapríčinené ich zakončením pod uhlom, takže neodrážajú svetlo naspäť k zdroju ako je to u konektorov PC, ktoré majú zakončenie rovné. Toto môžeme vidieť na obrázku 10.4. Na overenie

tohto faktu sme použili merací prístroj FOT-930 ktorý bol pripojený na splitter 1:16 zo strany OLT, a zo strany ONT sme potom pripájali vlákna s rôznymi konektormi.



Obr. 10.4: Meranie ORL a zakončenie konektoru SC/PC a SC/APC

Celý splitter bol osadený konektormi SC/APC. Na neho sme potom pripájali 2m dlhé vlákna. Mali sme k dispozícii 3 vlákna, ktoré mali druhú stranu osadenú konektormi 2x SC/PC a 1xSC/APC. Najprv sme zmerali ORL samotnému splitteru, vyšla nám nemerateľná hodnota, dá sa povedať nekonečno, teda splitter žiadne svetlo naspäť neodrážal. Po pripojení prvého vlákna osadeného konektorom SC/PC nám hodnota ORL klesla len na 12,24dB. Po pripojení druhého vlákna osadeného konektorom SC/PC nám táto hodnota klesla už na 7,34dB. Po pripojení vlákna osadeného konektorom SC/APC, nám hodnota klesla na 7,32dB, čiže tento konektor nám skutočne naspäť do siete odráža len minimum energie.

Záleží aj na rozhraní, teda či je konektor pripojený k inému, teda rozhranie sklo/sklo. My sme urobili pokus s vodou. Najprv sme pripojili len konektor SC/PC, teda s rozhraním sklo/vzduch, a hodnota ORL nám klesla na 12,16dB. Potom sme tento konektor ponorili do vody a hodnota ORL nám stúpila opäť na nemerateľnú hodnotu.

## 11 VÝSLEDKY ŠTUDENTSKEJ PRÁCE

Táto práca sa dá považovať za rozdelenú na dve časti. V prvej časti je teoreticky spracovaná problematika obmedzujúcich faktorov pre širokopásmové pripojenia, rôzne druhy pasívnych optických sietí, rôzne druhy multiplexovania s dôrazom na vlnový multiplex a základné prvky systémov a sietí WDM.

V druhej časti práce sú spracované výsledky meraní, ktoré sme vykonali spolu s pracovníkmi firmy Profiber v pobočke ich firmy v Trnave. Žiaľ na moje sklamanie sa táto firma vôbec nevenuje prístupovým optickým sieťam s technológiou WDM, pretože tieto siete u nás ešte nie sú nasadzované. Preto boli všetky merania vykonané na pasívnej optickej sieti zostrojenej z optických vlákien s rôznymi dĺžkami a osadených rôznymi konektormi, jedným z dvoch splittrov vlastniacich firmou a modelovou optickou sieťou EPON. Táto rôznorodosť optických vlákien sa mnohokrát zapísala na nie príliš realisticky vyzerajúcej celkovej sieti, kedy nám niektoré prvky mohli aj mierne skresľovať výsledky meraní prvkov. Vykonali sme celkovo 3 základné druhy merania ktoré sa vykonávajú v praxi pri inštalácii sietí FTTH. Postupne sú uvedené spracované všetky merania. Škoda len, že nám nevyšiel zámer zmerať vlastnosti dátového toku cez nami zostavenú optickú sieť, ako prenosovú rýchlosť, stratosť, oneskorenie či kolísanie oneskorenia. Na toto meranie sme chceli cez zariadenie OLT vyslať stream paketov (vyslať film na všesmerovú adresu) a za zariadením ONT merať už spomenuté parametre. Tu sa nám ale nepodarilo nastavenie zariadení OLT a ONT, takže sme nedokázali vykonať ping na notebook vysielajúci daný film. Nakoniec som sa ešte zúčastnil merania vykonávaného na našej fakulte, kedy sme premerali splitter s pomerom 1:16.

**Meranie čistoty konektorov** - Táto časť práce má za úlohu hlavne poukázať na nutnosť merania optických konektorov, keďže špinavý konektor môže zdvihnúť útlm konektora aj o niekoľko dB. Sú tu vyfotografované obrázky čistého a špinavého konektora a popísaná práca s videomikroskopom EXFO-FIP 400.

**Meranie priamou metódou** - V tejto časti práce je popísané meranie metódou, ktorú vykonávajú pracovníci montážnych firiem po nainštalovaní optickej trasy. Tu sa prejavilo osadenie vlákien konektormi, kedy sme boli schopný zostrojiť len trasu ktorá neodpovedá reálne používanej sieti. Meranie to ale veľmi neovplyvnilo. Výsledky merania sú prehľadne zostavené v tabuľke, vyšli zhruba podľa očakávaní a meraná trasa by bola uznaná ako funkčná.

**Meranie Pon Power Metrom** - Toto meranie vykonáva pracovník pri zriaďovaní firmy. V tejto časti práce je uvedený postup merania, zobrazená meraná trasa ako aj tabuľka s nameranými výsledkami. Zasa sme nemohli pripojiť prístroj do nami plánovaného miesta, ale meranie to tak isto príliš neovplyvnilo. Namerané hodnoty zhruba odpovedali teoretickým predpokladom, takže meranie môžeme posúdiť za



presné.

**Meranie optickým reflektometrom** - Toto meranie sa vykonáva až po zistení problému na trase, kedy prvé dve spomínané metódy nedokážu odhaliť presnú pozíciu udalosti zodpovedajú za nevyhovujúci stav optickej siete. Týmto meraním sme namerali optické trasy pri viacerých nastavených pulzoch meracieho prístroja, aby bolo vidno ako ovplyvňuje toto nastavenie celkové meranie. Využili sme taktiež merania na všetkých ponúknutých vlnových dĺžkach. Sú tu zobrazené výsledky v tabuľkách, takže je jednoduché porovnať si ako sa líšia výsledky meraní pri jednotlivých nastaveniach meracieho prístroja. Nami zmerané výsledky meraní touto metódou zhruba odpovedali očakávaným hodnotám. Zmerané hodnoty ale mohli byť mierne skreslené či už zapojeným vláknom dĺžky 2m, alebo nepresnosťou tohto merania pri konektoroch.

**Premeranie splittra 1:16** - Tohto merania som bol zúčastnený v škole, kde sme postupne premerali splitter s deliacim pomerom 1:16. Pri meraní sme postupne použili dva druhy merania priamou metódou, ale taktiež sme vykonali aj meranie metódou OTDR. Taktiež sme overili vlastnosti konektorov SC/PC a SC/APC. Výsledky merania sú opäť zobrazené v tabuľkách. Výsledky meraní takisto zhruba odpovedali našim predstavám, takže ich môžeme považovať za presné.

## 12 ZÁVER

Na začiatku práce sú uvedené obmedzujúce faktory pre širokopásmové pripojenia. Z tejto oblasti je kladený dôraz hlavne na útlm a disperziu optických vlákien. Ako ďalšia je prebraná problematika pasívnych optických prístupových sietí, ako je topológia, vlastnosti a podobne. Následne sú tu rozpísané rôzne druhy multiplexovania. Najväčší dôraz je brané hlavne na vlnovdlžkové multiplexovanie, kde je rozobraná hustota tohto multiplexu v optokomunikačných prenosových systémoch. Sú tu porovnané delenie kanálov pri systémoch CWDM a DWDM. Ako posledná časť z teoretických informácií sú uvedené vlastnosti a funkcie základných prvkov systémov a sietí WDM.

Vo vypracovaní praktickej časti sú postupne uvedené postupy a výsledky meraní. Merania sú uvedené postupne ako sú vykonávané v praxi a nie v postupe v akom boli merané. Ako prvé je spracované meranie čistoty konektorov. Toto meranie je len pripomenutím nutnosti merať túto čistotu. Ako ďalšie je uvedené meranie priamou metódou ktorá sa vykonáva po inštalácii siete. Následne je spracované meranie Pon Power Metrom, ktoré je vykonávané pri zriaďovaní služby. Ďalej sú výsledky merania optických trás meraním metódou OTDR ktorá je vykonávaná pri problémoch optických sietí. Nakoniec je premeraný splitter s deliacim pomerom 1:16.

## LITERATÚRA

- [1] mjr. Ing. Igor ČERNÁK, PhD., pplk. Ing. Michal JENČO, PhD. *TELEKOMUNIKAČNÉ SIETE IV*. [online]. 2000, [cit. 20.5. 2010]. Dostupné z URL: <<http://brco.neonus.sk/download/skola/informatika/telekomsiete.pdf>>.
- [2] Kamil Bartovič, *Modulačné techniky v optickom prenosovom médiu I* [online]. 2009, [cit. 20.5. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.posterus.sk/?p=131>>.
- [3] doc. Ing. Miloslav Filka, CSc. *Optické sítě - přednášky*. [s.l.], 2009. 54 s. FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ, VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ.
- [4] telecom.gov.sk, *Prístupy cez optické vlákna* [online]. 2007, [cit. 20.5. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.telecom.gov.sk/pk/052734/priloha3.doc>>.
- [5] Ing. Ján Šebo, *Optické siete FTTx, miestne samosprávy* [online]. 2007, [cit. 20.5. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.teltemp.sk/svk/2007FTTH.pdf>>.
- [6] PROCHÁDZKA, Juraj. *Technológie pod lupou* [online]. 2007, [cit. 20.5. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.zive.sk/Autori/Optika-do-domu-Technologie-pod-lupou/Od-BPON-k-WDM-PON-HDTV-motivaciou/sc-44-sr-1-a-273935-ch-182513/default.aspx>>.
- [7] Ján Čuchran, Rastislav Róka, *Optokomunikačné systémy a siete*. [s.l.], 2007. 201 s. FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY, SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE.
- [8] J. Sýkora , *Princip WDM* [online]. 2004, [cit. 20.5. 2010]. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072805>>.
- [9] Rita Pužmanová , *WDM v optických metro a prístupových sítích* [online]. 2003, [cit. 20.5. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.lupa.cz/clanky/wdm-v-optickych-metro-a-pristupovych-sitich/>>.
- [10] Miroslav Bahleda, Karol Blunár, Ivana Brídová , *Vplyv vlnovej konverzie na priepustnosť WDM sietí* [online]. 2003, [cit. 20.5. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.bahleda.sk/dokumenty/pub/telecom2005.pdf>>.
- [11] KOTAS, Rostislav. *Hybrid Fiber Coax* [online]. 2008, [cit. 20.5. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.profiber.cz/eshop/files/16-Broucek-Kotas-HFC-stavte-FTTB-budte-FTTH-ready.pdf>>.

- [12] alloptic.com, *datasheet Alloptic edge200* [online]. 2007, [cit. 20.5. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.alloptic.com/products/datasheets/edge200.pdf>>.
- [13] alloptic.com, *datasheet Alloptic home4000* [online]. 2007, [cit. 20.5. 2010]. Dostupné z URL: <<http://alloptic.com/products/datasheets/home4000.pdf>>.
- [14] SUKOP, Juraj. *PON problém?* [online]. 2008, [cit. 20.5. 2010]. Dostupné z URL: <<http://www.profiber.cz/eshop/files/14-Kosour-Sukop-PON-problem-mereni-OTDR-pres-splittery.pdf>>.

## ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

- $\lambda$  vlnová dĺžka – Wavelength
- APC Angle Polished Connector
- CMD Chromatická disperzia – Chromatic Mode Dispersion
- CO centrálna ústredňa – Central Office
- CWDM vlnovodĺžkový multiplex s riedkym delením – Coarse Wavelength Division Multiplex
- DWDM vlnovodĺžkový multiplex s hustým delením – Dense Wavelength Division Multiplex
- EPON Ethernet Passive Optical Network
- FTTH optika do domu – Fiber To The Home
- GPON Gigabit Passive Optical Network
- OFDM optické frekvenčne delené multiplexovanie – Optical Frequency Division Multiplexing
- OLTS Optical Loss Test Sets
- OLT zakončenie optického vlákna na strane ústredne – Optical Line Termination
- ONT zakončenie optického vlákna na strane účastníka – Optical Network Termination
- ORL útlm odrazu – Optical Return Loss
- OTDR Optical Time-Domain Reflectometer
- PC Polished Connector
- PMD polarizačná vidová disperzia – Polarization Mode Dispersion
- PON pasívna optická sieť – Passive Optical Network
- PPM PON Power Meter
- SDH synchronná digitálna hierarchia – Synchronous Digital Hierarchy
- SDM priestorovo delené multiplexovanie – Space Division Multiplexing

TDM časovo delené multiplexovanie – Time Division Multiplexing

WDM vlnovodĺžkový multiplex – Wavelength Division Multiplex