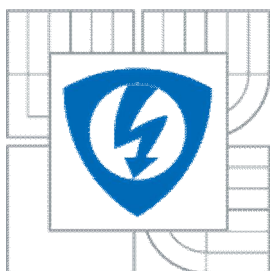


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

MĚŘENÍ SPEKTRÁLNÍ CHARAKTERISTIKY JEDNOVLÁKNOVÉHO OPTICKÉHO PŘENOSU

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

RADEK BALON

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MILOSLAV FILKA, CSc.

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Radek Balon
Ročník: 3

ID: 119348
Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Měření spektrální charakteristiky jednovláknového optického přenosu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Úkolem projektu je analyzovat používané techniky obousměrné komunikace na jednovláknových optických spojích a navrhnout měření přenosových parametrů a monitorování provozu na těchto typech optických spojů.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

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

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 2.6.2011

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

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

Anotace

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo ukázat problematiku optických sítí a jejich měření při provozu na síti. Celá práce byla rozdělena do několika částí. První část se zabývala optickými kabely. Vlastnostmi optických vláken, druhy rozdělení vláken, způsoby šíření světelného paprsku uvnitř vlákna a také klíčovými parametry a jejich nežádoucími vlivy na přenášený signál.

Druhá část této práce byla zaměřena na metody, kterými se měří tyto nežádoucí parametry, jako jsou optický útlum a disperzní vlivy.

Další část byla zaměřena na přenosové technologie, které se využívají pro přenos dat na provozní síti. Vysvětlili jsme si rozdíly mezi technologiemi a popsali si monitorovací systémy, které slouží k měření parametrů na provozní síti.

Závěrečná část se zaměřovala na vlastní měření. Proměřil jsem si parametry provozní sítě CESNET a zjistil jsem, jak ovlivní parametry připojení optické sondy (TAP) do obvodu. Měření jsem provedl na ÚVT MU.

Klíčová slova

Optická vlákna, měřicí metody, optický útlum, disperzní vlivy, aktivní optické sítě, monitoring

Abstract

The main object of the bachelor's thesis was show familiarize with optical networks and measuring when the fibres were connected to operating network. The whole thesis was separated into several parts. The first part deals with optic fiber and properties, kinds of optic fibers, methods of propagation light inside fiber and important parameters, which has undesirable effects, such as optic loss and dispersive influences.

Next part was concentrated on transfer technologies, which were used for data transmission in operating networks. We talked about differences between technologies and describe the monitoring system, which were used for measuring parameters in operating network.

The last part was focused on own measuring. I was measured the parameters in operating network CESNET and I was try to find how much the parameters was changed when I was join the optic probe (TAP) to the electrical circuit . Measuring was implemented on optical network ÚVT MU.

Keywords

Optical fibers, measurement methods, optical loss, dispersion, active optical network, monitoring

Bibliografie

BALON, R. *Měření spektrální charakteristiky jednovláknového optického přenosu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 51 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma: „Měření spektrální charakteristiky jednovláknového optického přenosu“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této 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 vyplívajících z ustanovení §152 trestního zákona č.140/1961 Sb.

V Brně dne

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce prof. Ing. MILOSLAVU FILKOVÍ, CSc. za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

Dále děkuji Mgr. KARLOVI SLAVÍČKOVÍ, Ph.D. z ÚVT MU za pomoc při realizacích měření na Brněnské akademické počítačové síti.

V Brně dne

.....
podpis autora

ÚVOD.....	12
1 OPTICKÁ VLÁKNA	13
1.1 DRUHY OPTICKÝCH VLÁKEN	15
1.1.1 Jednovidová vlákna – Single Mode (SM).....	15
1.1.2 Mnohovidová vlákna – Multi Mode (MM)	16
1.1.3 Plastová vlákna – Plastic Optical Fiber (POF)	17
1.1.4 Vlákna pro speciální účely	17
2 VLASTNOSTI OPTICKÝCH VLÁKEN.....	18
2.1 ZTRÁTY V OPTICKÝCH VLÁKNECH.....	18
2.1.1 Ztráty v ohybech	18
2.1.2 Rozptylové ztráty	18
2.1.3 Absorpční ztráty.....	19
2.1.4 Ztráty v konektorech a svárech.....	19
2.2 DISPERZE	19
2.2.1 Chromatická disperze (CD)	19
2.2.2 Vidová disperze	20
2.2.3 Polarizační vidová disperze (PMD).....	20
3 METODY MĚŘENÍ ÚTLUMU.....	20
3.1 PŘÍMÁ METODA	21
3.1.1 Metoda 1a.....	22
3.1.2 Metoda 1b.....	22
3.1.3 Metoda 1c.....	23
3.2 PŘÍMÁ METODA – PŘÍSTROJ OLTS	23
3.3 METODA OTDR.....	24
3.3.1 Vlnová délka	24
3.3.2 Mrtvé zóny	25
3.3.3 Dynamický rozsah	25
4 METODY MĚŘENÍ CHROMATICKÉ DISPERZE	26
4.1 Metoda fázového posuvu a diferencionálního fázového posuvu	26
4.2 Metoda interferometrická.....	27

4.3 Metoda zpoždění impulsů v časové oblasti	27
5 METODY MĚŘENÍ POLARIZAČNÍ VÍDOVÉ DISPERZE	28
5.1 METODA TINTY	29
5.2 METODA GINTY	30
5.3 METODA P-OTDR	31
6 MĚŘENÍ AKTIVNÍCH OPTICKÝCH PRVKŮ	31
6.1 WDM TECHNOLOGIE	31
6.2 WWDM TECHNOLOGIE	32
6.3 DWDM TECHNOLOGIE	32
6.4 CWDM TECHNOLOGIE	32
6.5 ANALYZÁTOR OPTICKÉHO SPEKTRA (OSA)	33
6.5.1 Měření signálů DWDM a CWDM technologie	34
6.5.2 Měření EDFA zesilovačů	34
6.5.2.1 Výstupní zesilovač (Booster)	35
6.5.2.2 Průběžný zesilovač (In-line)	35
6.5.2.3 Koncový zesilovač	36
6.5.3 Měření pasivních komponent	36
6.5.4 Monitorování časové stability a drift DWDM signálu	36
7 PRAKTICKÁ ČÁST MĚŘENÍ	36
7.1 EXFO FTB-400 S MODULEM 5240B	37
7.2 TAP PRO JEDNOVLÁKNOVÉ PŘENOSY	37
7.3 MĚŘENÍ PARAMETRŮ SIGNÁLU ZE SÍTĚ CESNET	38
7.3.1 MĚŘENÍ AKTIVNÍCH PARAMETRŮ SÍTĚ CESNET	38
7.3.2 MĚŘENÍ PARAMETRŮ OPTICKÉ SONDY (TAP) – varianta 1	40
7.3.3 MĚŘENÍ PARAMETRŮ OPTICKÉ SONDY (TAP) – varianta 2	41
7.3.4 MĚŘENÍ PARAMETRŮ OPTICKÉ SONDY (TAP) – varianta 3	42
7.3.5 MĚŘENÍ PARAMETRŮ OPTICKÉ SONDY (TAP) – varianta 4	43
7.3.4 ZMĚNA VÝKONU PŘI PŘIPOJENÍ OPTICKÉ SONDY (TAP)	44
ZÁVĚR	45
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	47
SEZNAM OBRÁZKŮ	49

SEZNAM TABULEK.....	50
SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN A ZKRATEK.....	51

ÚVOD

Optická vlákna jsou v dnešní době velice populární a oblíbená, protože mají velmi malý útlum a mohou dosahovat velkých přenosových rychlostí. Heinrich Lamm byl jeden z prvních průkopníků, kteří se zabývali datovým přenosem na optickém kabelu. Cílem této bakalářské práce bylo prozkoumat a popsat důležité parametry optických kabelů a také vytvořit ucelený přehled metod, které se využívají v dnešní době.

V první části jsem popsal samotné optické vlákna, ukázal dělení optických kabelů. Popsal jsem nežádoucí vlastnosti optických vláken, jako jsou optický útlum a disperze, které nejvíce ovlivňují signál, který je veden na optické trase. Ovlivňováním přenášeného signálu se zhoršuje i kvalita informace.

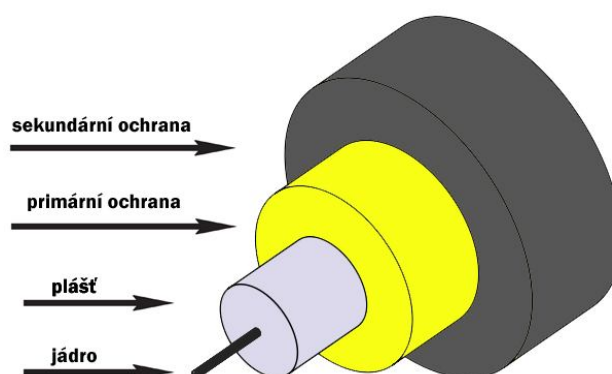
V druhé části jsem se zabýval měřením parametrů za provozu (Na živé trase). Zde jsem popsal nejmodernější technologie, které jsou v optických sítích v současné době využívány (WDM, DWDM...). Dále jsem se zabýval přístroji, které se využívají pro měření optických sítí za provozu. Popsal jsem v současnosti nejznámější analyzátor optického spektra, tzv. OSA. Popsal jsem, které důležité parametry je OSA schopen měřit a také jsem ukázal zařízení, která se nachází na optické trase a která ovlivňují výsledky měření.

Poslední částí pro tuto bakalářskou práci bylo samotné měření parametrů na optické síti. Zabýval jsem se měřením důležitých parametrů na optické síti. Ukázal jsem výsledky měření pomocí spektrálního analyzátoru EXPO FTB-400 s modulem 5240B, pomocí kterého jsem měřil na provozní síti CESNET, která je v současné době nejrozšířenější a jedna z nejznámějších optických sítí v České republice. Proměřil jsem si DWDM signál sítě CESNET a zjistil jeho parametry. Poté jsem připojil do obvodu optickou sondu (TAP) a zjistil jsem, jak se změnily parametry signálu DWDM při průchodu touto sondou. Praktické měření jsem prováděl na Masarykově Univerzitě v Brně. (ÚVT MU)

1 OPTICKÁ VLÁKNA

Optické vlákno je skleněné nebo plastové vlákno, které slouží k přenosu světelného paprsku, resp. přenáší elektromagnetické vlny, ve směru své podélné osy. Optické vlákno je vyrobeno z čistého křemičitého skla a nahrazuje současné kovové vodiče, protože optická vlákna mohou přenášet signál na větší vzdálenost s menší ztrátou a vyšší přenosovou rychlostí. Zároveň jsou vlákna odolná vůči elektromagnetickému rušení. Pro přenos dat po optickém vlákne se využívá principu totálního odrazu na rozhraní dvou různých prostředí s jiným indexem lomu. Světlo přenášené vláknem se pohybuje v rozmezí 700 – 1700 nm. Vlnové délky se nachází v určitých pásmech, které se nazývají telekomunikační okna.[2]

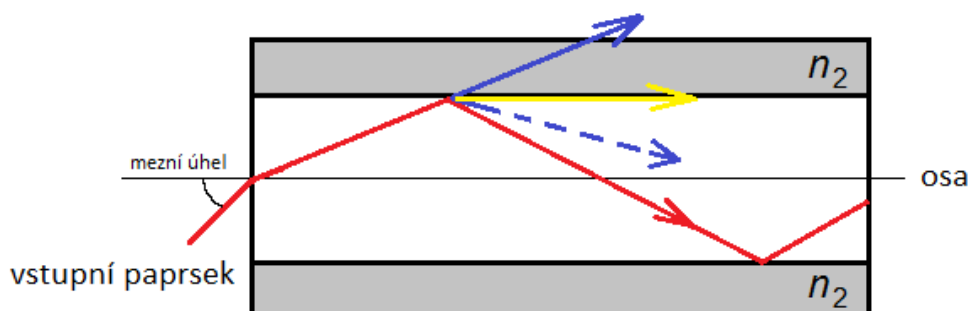
Optické vlákno se skládá ze tří základních částí. První část se nazývá jádro (core). Druhá část se nazývá plášť (cladding). Třetí část je utvořena primární ochranou (buffer), která je doplněna sekundární ochranou. Struktura optických vláken je zobrazena na obrázku. (Obr.1.) [1]



Obr.1: Struktura optického vlákna

Průměr jádra u jednovidových vláken je 9 μm . U mnohovidových vláken se definuje průměr 50/62,5 μm . Plášť je široký 125 μm a primární ochrana dosahuje velikosti 250 μm . [1]

Princip šíření světla optickými kabely je založen na teorii Snellova zákona o odrazu lomu. Na obrázku (Obr.2.) jsou vyobrazeny typické situace odrazu uvnitř optického kabelu.[2]



Obr.2: Odrazy světelného paprsku

Na obrázku jsou znázorněny situace, které mohou nastat uvnitř vlákna. Při pohledu na červený paprsek můžeme vidět úplný vnitřní odraz ($n_2 > n_1$). Modrý paprsek nám znázorňuje částečný odraz do jádra a zároveň částečný odraz z vlákna. Žlutý paprsek vyjadřuje odraz v případě, že byl poslán do vlákna pod tzv. kritickým úhlem.

Totální odraz

Je definován tak, že vstupní paprsek vstupující do vlnovodu dopadá na rozhraní dvou různých prostředí, které mají různé vlastnosti, pod určitým mezním úhlem (φ). Pokud světlo dopadá na rozhraní pod úhlem, který je větší než mezní úhel, bude světlo kompletně odraženo. Pokud však bude úhel menší než mezní úhel, mohlo by dojít k tomu, že by se část paprsku nenavázala do paprsku a došlo by ke ztrátě přenášených dat.[4]

Index lomu (n)

Charakterizuje optické prostředí zkoumaného optického vlákna. Vyjadřuje změnu rychlosti šíření světla při přechodu mezi různými prostředími. Světlo se nejrychleji pohybuje ve vakuu a jeho rychlost je přibližně 300 milionů metrů za sekundu. Index lomu se liší v závislosti na frekvenci a tudíž není pro všechny vlnové délky stejný. Index lomu se vypočítá tak, že vydělíme rychlost světla ve vakuu rychlostí světla v daném (aktuálním) prostředí. Čím je větší index lomu, tím se bude světlo pomaleji pohybovat v daném prostředí [4]

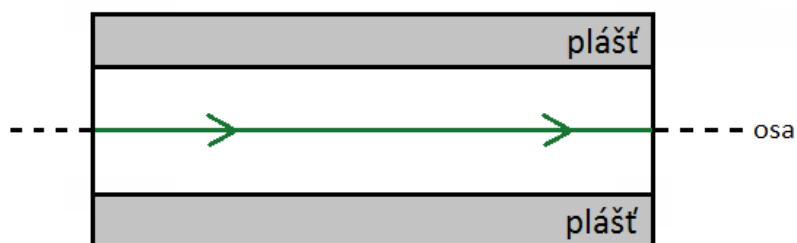
1.1 DRUHY OPTICKÝCH VLÁKEN

V dnešní době se používá několik druhů optických vláken. Nejprve můžeme optické kabely dělit dle materiálu, ze kterého jsou zhotoveny. Kabely, jejichž jádro je vyrobené z křemičitého skla a nebo vlákno jehož jádro je vytvořeno z plastu. Dále optická vlákna dělíme na jednovidová vlákna, mnohovidová vlákna a vlákna pro speciální účely. Jednovidová vlákna vedou pouze jeden paprsek jádrem, na rozdíl od mnohovidových vláken, která vysílají zároveň větší množství paprsků. [2]

1.1.1 Jednovidová vlákna – Single Mode (SM)

Jedná se v současnosti o nejrozšířenější typ optických kabelů. Průměr optického vlákna je velice malý a jeho velikost je 9 μm , proto pro je potřeba využít laserového zdroje záření. Díky takovému malému průměru se jádrem vede pouze jeden paprsek (vid), což je charakteristická vlastnost jednovidových vláken. Mezi obrovské výhody jednovidových vláken patří to, že jsou imunní proti vidové disperzi, ale projevuje se disperze chromatická a polarizační vidová disperze. [3]

Dále mají malý nižší útlum než mnohovidová vlákna a používají se tedy pro přenos na větší vzdálenosti. Jednovidové vlákno je dražší než mnohovidové vlákno a proto výstavba optické trasy je také dražší, ale výhodou je dosah v řádu několika desítek kilometrů bez použití zesilovače. Na obrázku (Obr.3.) můžeme vidět, jak se paprsek pohybuje uvnitř jádra optického kabelu. [2]



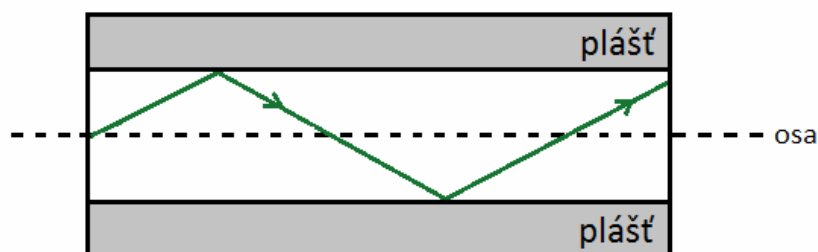
Obr.3: Šíření optického paprsku u jednovidových vláken

1.1.2 Mnohovidová vlákna – Multi Mode (MM)

Narozdíl od jednovidových vláken mají mnohovidová vlákna větší průměr pláště. Dle evropského standardu je průměr vlákna 50 μm a dle amerického 62,5 μm . Díky takovému průměru jádra není potřeba za každou cenu použít laserového zdroje záření, ale stačí Luminescenční dioda (LED), která bude sloužit pro buzení optické trasy. Proto jsou MM vlákna levnější než SM. Díky velkému průměru jádra není přenášen jádrem pouze jeden paprsek (vid), ale stovky nebo tisíce paprsků zároveň. Většinou se MM vlákna používají v budovách jako vnitřní síť. [3]

Díky tomu, že je v jednom okamžiku vysláno více paprsků, musí být splněna podmínka totálního odrazu, jinak by se část paprsku vstřebávala do pláště a došlo by tak ke ztrátě dat.

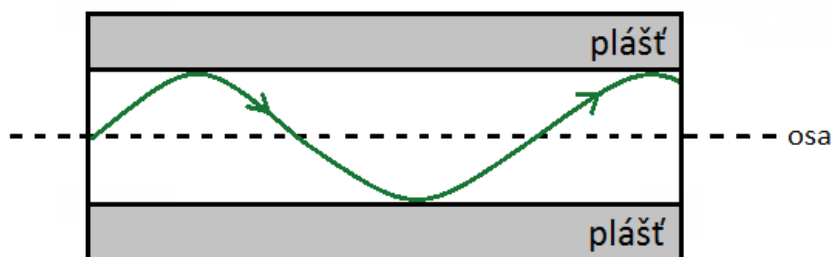
Mnohovidová vlákna se dále dělí podle změny indexu lomu na vlákna se skokovou změnou indexu a plynulou změnou indexu. U vláken se skokovou změnou indexu (Step Index) je charakteristickou vlastností větší útlum a proto se používají na menší vzdálenosti. Projevuje se zde vidová disperze. Na obrázku (Obr.4.) můžeme vidět způsob průchodu paprsku uvnitř jádra. [2]



Obr.4: Šíření optického paprsku se skokovou změnou indexu

Vlákna s plynulou změnou indexu (Graded-index) se od vláken se skokovou změnou mírně liší šířením vidů uvnitř vlákna. Index lomu se zde zvyšuje s rostoucí vzdáleností od středu vlákna. Je vytvořeno z několika tisíc tenkých vrstev, které se liší indexem lomu. Uprostřed jádra bude větší index lomu než na kraji jádra. Díky této vlastnosti bude mít paprsek tvar sinusoidy, jak můžeme vidět na obrázku (Obr.5.). Díky sinusovému průběhu je zajištěno,

že paprsky dojdou do cíle ve zhruba ve stejný okamžik. Vlákná s plynulou změnou indexu eliminují vidovou disperzi.[2]



Obr.5: Šíření optického paprsku s plynulou změnou indexu

1.1.3 Plastová vlákna – Plastic Optical Fiber (POF)

V dnešní době se plastová vlákna používají v automobilovém průmyslu. Mají velký průměr jádra (1 cm) nejsou pro telekomunikaci příliš vhodné, protože mají velký útlum oproti skleněným vláknům. Díky velkému průměru jádra se plastová vlákna dobře konektují a svařují, proto práce s nimi je jednodušší a výrobní náklady jsou nižší než u skleněných vláken. [3]

1.1.4 Vlákná pro speciální účely

Tato speciální vlákna mají obvykle jiný tvar jádra. Mohou mít neválečkové jádro a nebo můžou mít obkládací vrstvu, obvykle s elipsovým nebo obdélníkovým příčným řezem. Výhodou těchto vláken je, že mohou být přizpůsobeny (upraveny) přímo na míru, ale musíme počítat s vyššími výrobními náklady. [2]

2 VLASTNOSTI OPTICKÝCH VLÁKEN

Tyto vlastnosti jsou velmi důležité pro samotný způsob práce s optickými vlákny. Jsou to charakteristické vlastnosti, se kterými se musí počítat a nesmí se zanedbat při návrhu optických tras. Mezi důležité vlastnosti optických vláken patří ztráty, resp. útlum na vedení, a nebo projevy disperze, a to jak chromatické, vidové či polarizační vidové.

2.1 ZTRÁTY V OPTICKÝCH VLÁKNECH

Útlum optických vláken vede ke ztrátě dat nebo k omezenému přenosu na optické trati. Existuje několik vlivů, které ovlivňují vlastnosti přenášených dat. Jedná se například o ztráty v ohybech, ztráty v konektorech a svárech, rozptylové ztráty, absorpční ztráty a nebo disperzní ztráty.

2.1.1 Ztráty v ohybech

Tyto ztráty jsou způsobeny příliš velkým ohybem vlákna a tudíž zde nedochází k totálnímu odrazu, ale část paprsku se vyzáří do pláště, kde zanikne. V praxi to funguje tak, že čím je na trati více ohybů, tím větší útlum na trati nastane. Ohyby se vyskytují ve dvou formách, a to mikroohyby a makroohyby. Mikroohyby jsou drobné nedokonalosti na povrchu vlákna a obvykle vzniknou již při samotné výrobě vlákna. Oproti tomu makroohyby vznikají lidskou chybou a to v místech, kdy je vlákno příliš zahnuté a dochází k vyzáření části paprsku do okolí. [5]

2.1.2 Rozptylové ztráty

Tyto ztráty jsou dané výrobcem a vznikají díky nečistotám nebo nehomogenitami vlákna. Rozptylové ztráty můžeme rozdělit do tří základních skupin. Jedná se o Rayleighovo rozptýlení, Mieův rozptyl a rozptyl na nečistotách. Rayleighovo rozptýlení je nejčastěji se vyskytující rozptylová ztráta, která je dominující v oknech optické komunikace. Mieův rozptyl vzniká na nehomogenitách, které jsou srovnatelné s vlnovou délkou. Rozptyl na nečistotách je velice podobný Mieůvu rozptylu, ale dosahuje větší nehomogenity než vlnová délka. [5]

2.1.3 Absorpční ztráty

Tyto ztráty přeměňují světelnou energii na energii tepelnou. Oteplení u optických vláken pro telekomunikační měření jsou malé a proto se velmi špatně měří. Absorpce se dá rozdělit do dvou skupin a to vlastní absorpce a příměsová absorpce.

Vlastní absorpce – zde je možno zařadit absorpce v infračervené oblasti, ultrafialové oblasti a nebo absorpce vlastním materiálem optického vlákna.

Příměsová absorpce – největší příměsovou absorpci mají na svědomí vodní ionty (OH). Ionty ve skle vytváří mikrotrhliny a proto je skleněný materiál náchylný k praskání. [5]

2.1.4 Ztráty v konektorech a svárech

Jak víme z teorie, tak čím více svárů a konektorů na optické trase použijeme, tím bude větší i útlum. Pokud při samotné výrobě spoju se vyskytne nepřesnost, tím rapidně vzroste i útlum na optické trase, proto je důležité při výrobě a spojování kabelů dbát na přesnou a kvalitní práci.

2.2 DISPERZE

Disperze je jeden z důležitých vlivů, které přispívají ke zkreslení přenášeného signálu. Dochází ke zpoždování impulsů a také k samotné změně jejich tvaru. Disperze je jev, který vzniká různým lomem světla a také různou rychlostí světla v daném prostředí. Existuje několik typů disperze v optických vláknech a to Chromatická disperze, Vidová disperze a Polarizační vidová disperze. [5]

2.2.1 Chromatická disperze (CD)

Je typická pro jednovidová vlákna, protože u mnohovidových vláken se příliš neprojevuje, resp. dosahuje malých hodnot. Chromatická disperze se dělí na tři základní části a to materiálová, vlnovodná a profilová disperze. Materiálová disperze se projevuje změnou skupinové a fázové rychlosti jednotlivých vidů. Vzniká při změně indexu lomu v závislosti na vlnové délce. Vlnovodná disperze vzniká změnou tvaru vidu. Poslední disperze je disperze profilová, která ale dosahuje velmi malých hodnot a tak se v praxi neudává.

2.2.2 Vidová disperze

Projevuje se především u mnohovidových vláken. Každý paprsek vyzářený zdrojem optického záření dorazí do přijímače v rozdílném časovém intervalu než druhé paprsky, protože každý paprsek má jinou délku dráhy. Přijímač detekuje paprsky, tak jak za sebou přišly, tzn. sečtením všech paprsků dojde k tomu, že výstupní signál bude oproti signálu vstupnímu rozšířený. Tomuto jevu se říká Vidová disperze a dá se ovlivnit, resp. snížit, více způsoby. Můžeme buď snížit počet vidů ve vlákně na co nejmenší počet (ideálně pouze jeden vid) a nebo můžeme vyrovnat skupinové rychlosti všech vidů obsažených ve vlákně. Použijeme například gradientní vlákna. Jak z definice vyplývá, vidová disperze se projevuje pouze u mnohovidových vláken (MM). U jednovidových vláken (SM) je vidová disperze potlačena a proto ji zanedbáváme. [5]

2.2.3 Polarizační vidová disperze (PMD)

Tato vlastnost se ve dřívějších dobách vůbec neměřila, protože nebylo třeba. Tehdy přenosové rychlosti v optických vláknech nedosahovaly takových velkých hodnot jako v dnešní době. Muselo se s Polarizační vidovou disperzí začít počítat, protože začala mít nežádoucí vliv na přenosu. PMD je parametr, který závisí na rychlosti přenášených vidů ve vlákně. Vidy se přenáší ve dvou osách, které jsou na sebe kolmé a přitom mají konstantní rychlost. Problém v tomto vedení je takový, že když dojde nějakou chybou (vlastnosti optického vlákna, kvalita výrobku nebo samotná montáž trasy) k narušení symetrie, může dojít k tomu, že jeden paprsek se začne šířit v optickém tunelu jinou rychlostí než druhý paprsek. To má za následek, že výstupní signál bude zkreslený. PMD je časově proměnná veličina a proto je velice těžké ji kompenzovat. Obvykle se to řeší tak, že část úseku, kde se PMD vyskytuje, se odstraní a nahradí se novým.

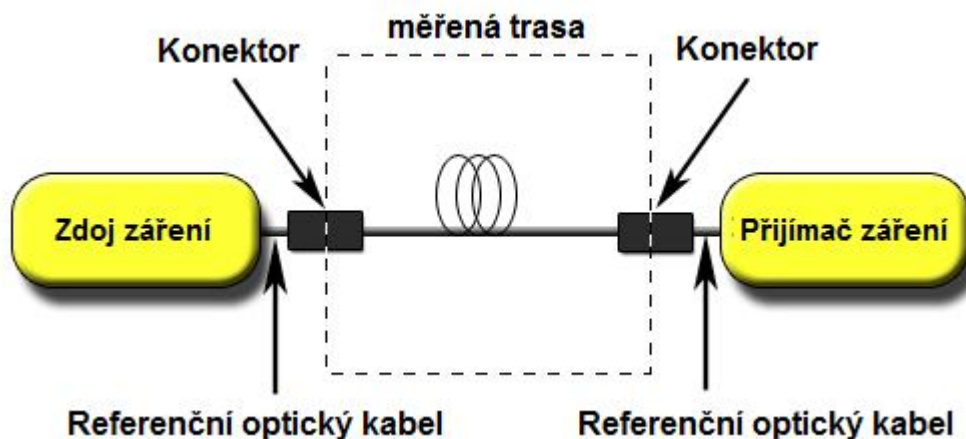
3 METODY MĚŘENÍ ÚTLUMU

Měření útlumu optické trasy je docela složitý mechanismus, protože sebemenší nečistota či porucha má nežádoucí vliv na výsledné parametry a měření tak může nepřesné. Před samotným měřením by se měly očistit

veškeré konektory a spojky, které budou na měřené trase. V této kapitole se budeme zabývat měřícími metodami, jako je přímá metoda, metoda OLTS a OTDR. To jsou nejznámější metody pro měření útlumu.

3.1 PŘÍMÁ METODA

Tato metoda nám slouží nejen k měření celkového útlumu na optické trase, ale také k detekci makroohybů, či mikroohybů na optické trase. U přímé metody se využívá dvou přístrojů. První z přístrojů vysílač a druhý jako přijímač. Tato metoda se používá pro tzv. pasivní měření (kabel není připojen na živou trasu) a měří se při různých vlnových délkách (1310 /1383/1490/1550 nm). Na obrázku (Obr.6.) můžeme vidět schéma soustavy pro měření přímou metodou.



Obr.6: Schéma měřící soustavy pro měření přímou metodou

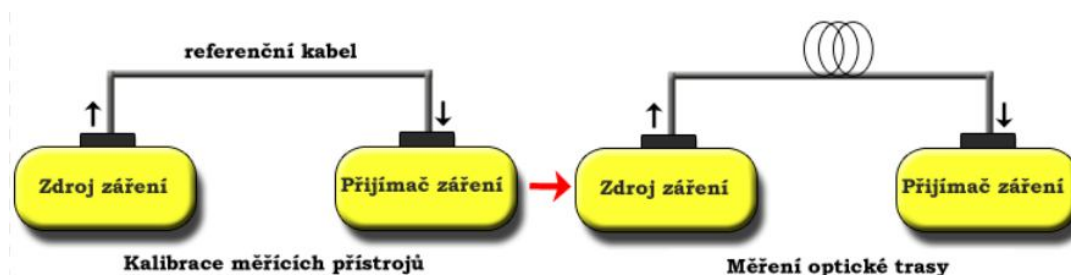
Princip této měřící metody je následovný: Nejprve si pomocí referenčních optických kabelů zkalibrujeme oba přístroje, tzn. nastavíme oběma referenční hodnotu, a následně připojíme mezi konektory měřící trasu. Změříme celkový útlum trasy jak v jednom směru, tak i ve směru opačném. U delších kabelů může být toto měření nepohodlné, protože je potřeba při změně směru měření zaměnit přístroje. Tato metoda je však rychlejší a přístroje jsou cenově dostupnější, než u metody OTDR. Při měření je velice důležité zvolit vhodný zdroj záření (Pro SM Laser zdroj, Pro MM LED zdroj), aby výsledné měření bylo co nejpresnější. Dále je důležité zvolit kvalitní a vhodný měřící přístroj, aby výstupní měřící výkon byl co nejpresnější a s co nejmenší odchylkou. Měřící přístroje jsou přesnější v horní polovině dynamického rozsahu a dosahují

odchylek v řádu desetin dB (např 0,1 dB). V dolní polovině měřicího rozsahu odchylka je několikanásobně vyšší a dosahuje hodnot až několika dB (např. 5 dB). [6],[7]

Přímá metoda má několik modifikací měření, resp. tři druhy metod označované také jako 1a, 1b a 1c. Tyto metody pracují na stejném mechanismu, jen se liší počtem připojených referenčních kabelů.

3.1.1 Metoda 1a

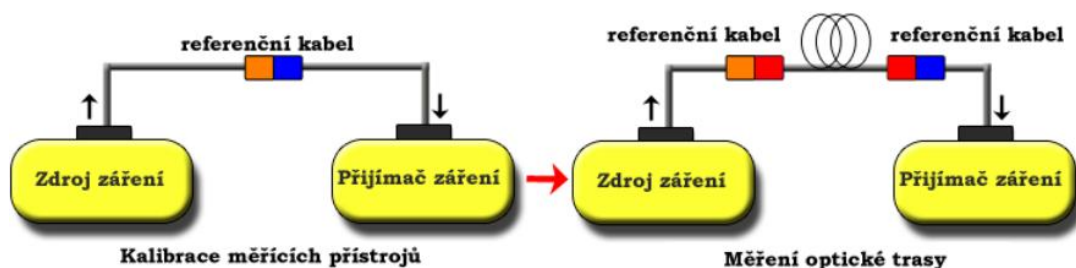
Tato metoda je nejvhodnější pro nově vybudované trasy. Využívá se zde pouze jednoho referenčního kabelu, který po zkalibrování obou přístrojů, se odpojí a na jeho místo se připojí optická trasa. Na obrázku (Obr.7). můžeme vidět blokové schéma metody 1a. [8]



Obr.7: Schéma měřicí soustavy metody 1a

3.1.2 Metoda 1b

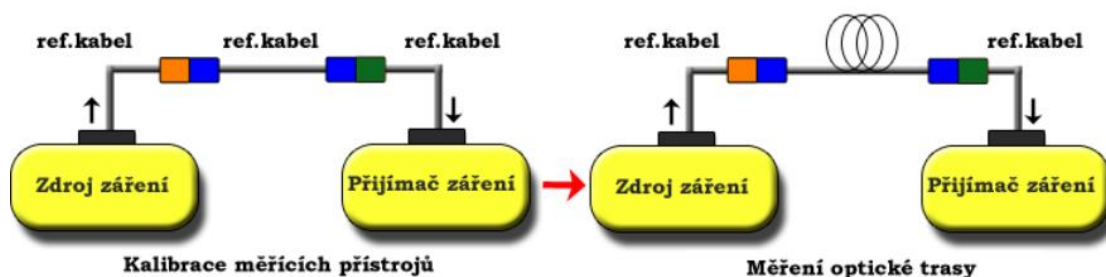
Tato metoda se oproti metodě 1a liší v použití dvou referenčních kabelů místo jednoho. Princip měření spočívá v tom, že nejprve se opět zkalibrují oba dva přístroje a mezi dva referenční kabely se připojí měřená trasa. Tato metoda ale má své nevýhody a proto se v praxi nedoporučuje. Chyba je v tom, že když přístroje kalibrujeme, jsou připojeny pouze jedním konektorem, ale jakmile konektory rozpojíme a vložíme mezi ně optickou trasu, tak se nám najednou objeví konektory dva a vznikne nám chyba měření. Můžeme tak vidět názorně na obrázku (Obr.8.) [8]



Obr.8: Schéma měřicí soustavy metody 1b

3.1.3 Metoda 1c

Tato metoda je lepší náhradou varianty 1b, protože jsou zde použity tři referenční kabely, je tak odstraněna chyba při kalibraci jako tomu bylo u metody 1b. Nejprve jsou připojeny všechny tři referenční kabely pomocí dvou konektorů a následně je prostřední referenční kabel vynechán a je místo něj připojena měřící trasa. Tato metoda se používá pro kompletní měření na trase. Na obrázku (Obr.9.) můžeme vidět zapojení metody 1c. [8]



Obr.9: Schéma měřicí soustavy metody 1c

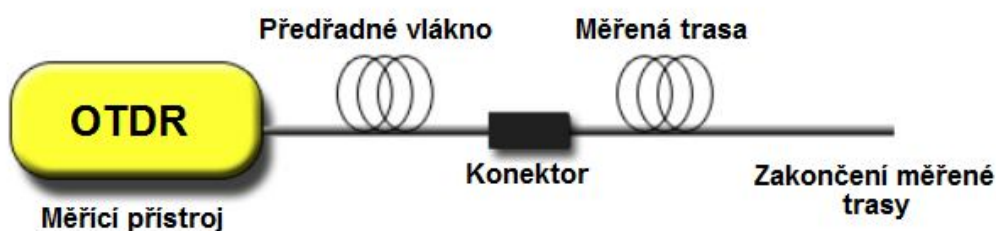
3.2 PŘÍMÁ METODA – PŘÍSTROJ OLTS

Tato metoda je odvozena z anglického slova Optical Loss Test Set (OLTS). Tento způsob měření se oproti předchozím metodám liší jen v tom, že místo přístroje, které jsou zde použity, umí signál, jak vysílat, tak i přijímat (realizace pomocí Wattmetru), což má za následek, že není třeba přepojovat přístroje pro měření v opačném směru. Kalibrace se provádí tak, že pošleme z jednoho přístroje určitou hodnotu výkonu na druhý přístroj. [9]

3.3 METODA OTDR

Tato metoda je odvozena z anglického slova Optical Time Domain Reflectometer (OTDR). Rozdíl této metody oproti metodě přímé je v tom, že je zde použitý jen jeden přístroj. Měří se zde optický výkon, který je poslán z přístroje a pomocí Reyleihova rozptylu se rozptylí při průchodu vláknem. Jakmile dojde na konec trasy, využívá se tzv. Fresnelova odrazu, který vznikne na spojích a paprsek se vrací zpět do vysílače, kde je porovnaný s výkonem, který byl přístrojem vyslán.

Metodou OTDR se dá měřit více parametrů vláken. Můžeme měřit například útlum vlákna po celé jeho délce a nebo třeba útlum vzniknutý na určitých částech, konektorech či svárech. Dále můžeme změřit homogenitu vedení, délku vedení a nebo dokonce i určit přesné místo, kde vznikla porucha. Tohle u předchozích měření nebylo možné. Na obrázku (Obr.10.) můžeme vidět schéma měřící soustavy pro měření metodou OTDR. [6]



Obr.10: Schéma měřící soustavy pro metodu OTDR

OTDR zařízení je v podstatě optický reflektometr, který umí jak vysílat, tak i přijímat optické záření. Při měření tímto měřícím přístrojem existuje několik důležitých parametrů. Prvním z těchto parametrů je vlnová délka.

3.3.1 Vlnová délka

Přístroje OTDR jsou konstruovány tak, aby mohly měřit všechny vlnové délky. Pro jednovidová vlákna (SM) se používají vlnové délky 1310/ 1490 /1550 nm. Pro mnohovidová vlákna se používají vlnové délky 850/ 1300 nm. V našem případě budeme měřit na živých trasách (v provozu) a zde se používají vlnové délky 1625 / 1650 nm. Když budeme měřit, musíme dát před měřicí přístroj filtr, pomocí kterého vybereme námi zvolenou vlnovou délku. Kdyby se na vstup

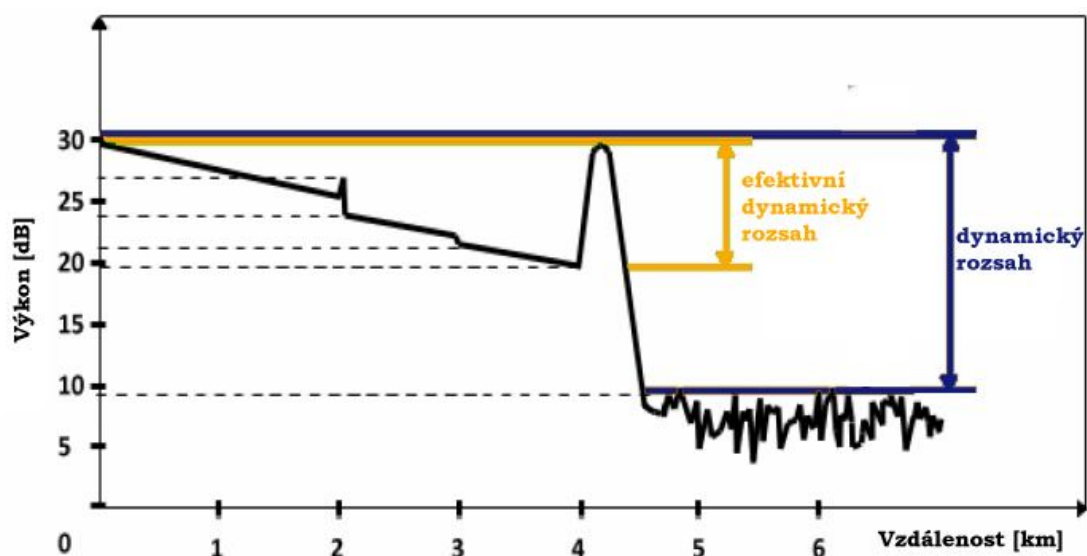
detektoru dostala provozní vlnová délka, která bude mít velký vstupní výkon, mohlo by dojít k poškození či zničení přístroje. [6],[7]

3.3.2 Mrtvé zóny

Tento název je odvozen z anglického názvu Attenuation Dead Zone. Mrtvá zóna je závislá na šířce měřícího impulsu. Vznik mrtvé zóny pozorujeme u nehomogenit, které jsou na trase. Největší mrtvou zónu můžeme pozorovat na vstupu, resp. na místě připojení OTDR přístroje. Mrtvou zónu na místě připojení OTDR do měřené trasy kompenzujeme pomocí předřadného vlákna. [6]

3.3.3 Dynamický rozsah

Udává nám rozdíl mezi úrovní signálu a úrovní šumu. Měří se v decibelech (dB). Důležitý je i efektivní dynamický rozsah, který je definován jako rozsah, kdy je schopen přístroj měřit nehomogenitu. Vypočítá se jako dynamický rozsah -8dB . Na obrázku (Obr.11.) můžeme vidět rozdíl mezi rozsahy. [6],[7]



Obr.11: Dynamický a efektivní dynamický rozsah

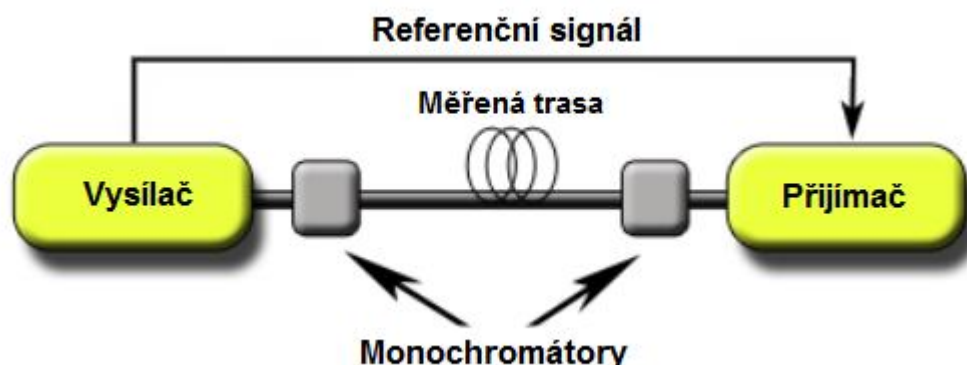
4 METODY MĚŘENÍ CHROMATICKÉ DISPERZE

V této kapitole budou popsány metody, které se používají pro měření chromatické disperze. Existuje několik metod jako jsou: Metoda fázového a diferenciálního fázového posuvu, metoda interferometrická a metoda zpoždění impulsů v časové oblasti. Tyto metody budou popsány.

Metody pro měření chromatické disperze jsou relativně přesné. Opět jejich přesnost záleží na použitých přístrojích a jejich vlastnostech.

4.1 Metoda fázového posuvu a diferenciálního fázového posuvu

Tato metoda se využívá pro měření chromatické disperze (CD) v optických vláknech. Na obrázku (Obr.12.) můžeme vidět zapojení měřící soustavy pro metodu fázového posuvu.



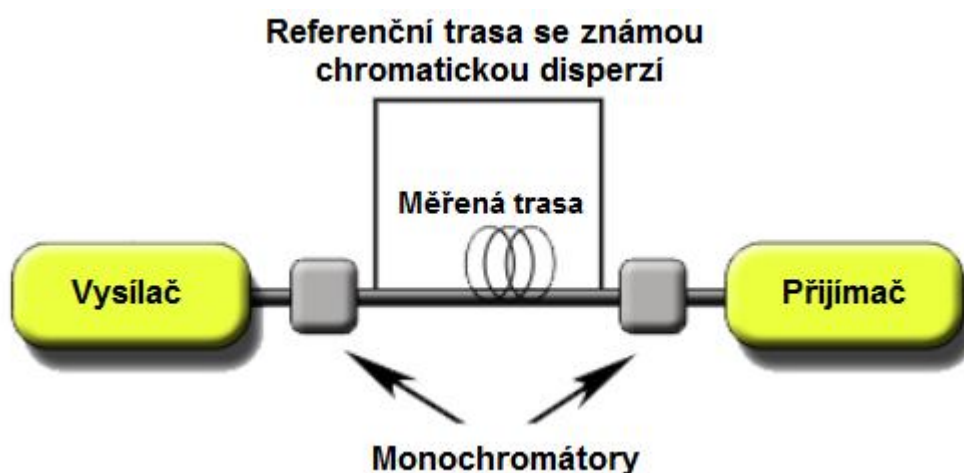
Obr.12: Měřící soustava pro měření metodou fázového posuvu

Princip této metody je založen na měření fázového posuvu dvou signálů, resp. porovnává se o kolik jsou od sebe fázově posunuty dva signály. Princip je takový, že vysílač vyšle modulovaný signál přes monochromátor o několika vlnových délek do přijímače, který tyto signály zpracuje. Ke zpracování využívá vektorvoltmetr, který měří fázi přicházejícího signálu. Jakmile tyto údaje zpracuje je důležité, aby tyto údaje porovnal s jiným signálem. Proto je mezi vysílačem a přijímačem připojen referenční kabel (nemusí to být speciální kabel, stačí jiné vlákno, pokud měříme MM), pomocí kterého porovná oba dva signály a změří rozdílnou fázi signálů.

Metoda diferenčního fázového posuvu funguje na stejném principu jako předešlá metoda, akorát není potřeba referenčního kabelu, ale pro měření se využívá dvou vláken uvnitř kabelu, proto se tato metoda využívá pro měření tras mnohovlákenných vláken. Jeden vodič funguje jako komunikační kanál, pomocí kterého jsou posílány informace do vysílače (nastavení modulovaného signálu a vlnové délky) a druhé vlákno slouží jako měřená trasa. Tento způsob se využívá pro měření v praxi v terénu. [10]

4.2 Metoda interferometrická

Princip této metody je takový, že na přijímači dochází k interferenci, tzn. že signál z měřené trasy a referenční trasy se začne fázově posunovat s měnící se vlnovou délkou, která je měněna pomocí monochromátorů. Referenční kabel obsahuje již zmíněnou chromatickou disperzi (krátké vlákno či vzduchová mezera pomocí optické soustavy). Pro samotné měření se využívá interferometru (Michelsonův nebo Zehnderův). Na obrázku (Obr.13.) můžeme vidět zapojení měřicí soustavy pro měření interferometrickou metodou. Použití je pouze pro krátké trasy (cca 10m). [10]

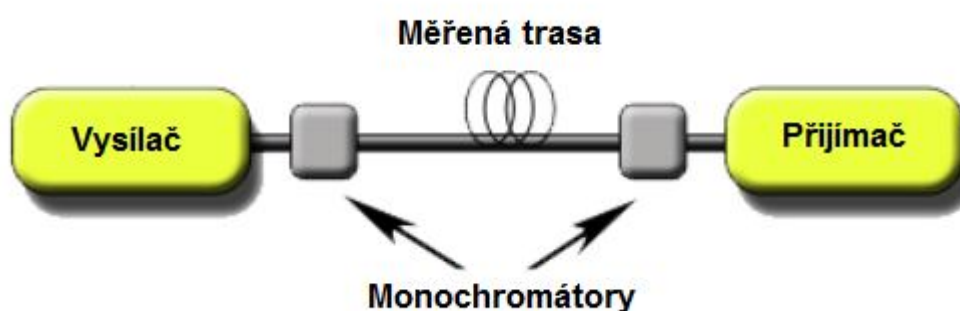


Obr.13: Měřicí soustava pro měření interferometrickou metodou

4.3 Metoda zpoždění impulsů v časové oblasti

Jedná se o další metodu pro měření chromatické disperze (CD). Tato metoda funguje na takovém principu, že vysílač vysílá do optické trasy signály

(o různých vlnových délkách) ve stejných rozestupech, které jsou naprosto přesné. Při průchodu optickou trasou se signál zpožďuje a tím se mění rozestupy mezi signály a toto zpoždění nám udává chromatickou disperzi. Problém, který u této metody může nastat je takový, že zpoždění signálu bude větší než je rozestup mezi signály, a tak může dojít k výměně pořadí vstupních impulsů a tím k nepřesnému měření. Čím jsou větší mezery mezi signály, tím větší chromatickou disperzi můžeme naměřit. Na obrázku (Obr.14) můžeme vidět zapojení měřící soustavy pro měření metodou zpoždění impulsů v časové oblasti. [10]



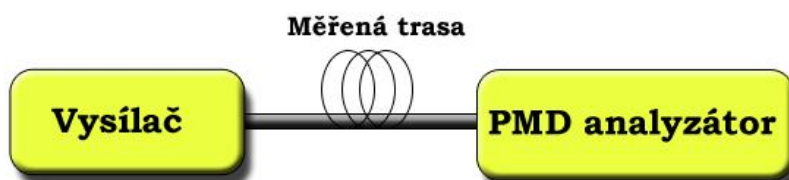
Obr.14: Měřící soustava pro měření zpoždění impulsů v časové oblasti

5 METODY MĚŘENÍ POLARIZAČNÍ VIDOVÉ DISPERZE

Polarizační vidová disperze, také označována zkratkou PMD, je parametr na optické trase relativně nový, protože v dřívějších dobách, kdy přenosové rychlosti na optických vláknech nebyly tak velké, se polarizační vidová disperze vůbec neprojevovala. S nástupem vysokorychlostních přenosových vlastností (Gbit/s) se ale PMD začala projevovat a tak se vyvinuly metody pro její měření a to metoda TINTY (interferometrická metoda) a metoda GINTY (modernější). Polarizační vidová disperze se měří pomocí P-OTDR přístroje, který si také popíšeme v této kapitole. [11]

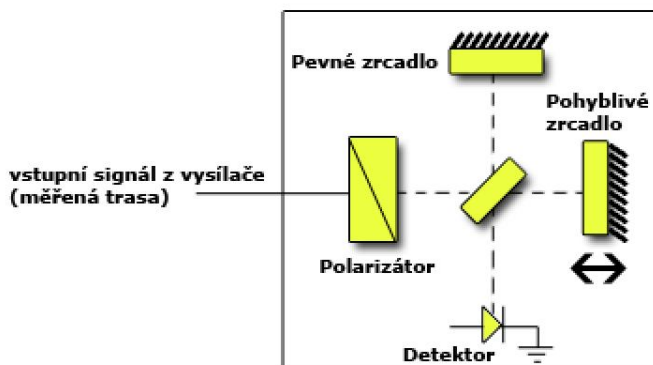
5.1 METODA TINTY

Tento název je odvozen z anglického názvu Traditional analysis INTY (TINTY). Tato metoda se převážně využívala v dřívějších dobách pro měření v terénech. Její výhodou je rychlost měření (řádově pár sekund) bez potřeby referenčního kabelu. Na obrázku (Obr.15.) můžeme vidět blokové schéma pro měření metodou TINTY.



Obr.15: Blokové schéma pro měření metodou TINTY

Principem tohoto měření je využití zdroje záření (LED, laser), který vyzařuje zdroj světla do optické trasy a poté se dostane do PMD analyzátoru. Světlo vyzářené pomocí polarizátoru se dostane do optické trasy, která je ovlivňována polarizační vidovou disperzí. PMD účinky se zpracovávají pomocí PMD analyzátoru, který je tvořen polarizátorem, detektorem a dvěma zrcadly. Příchozí paprsek z optické trasy se dostává do polarizátoru a následně do interferometru, kde se rozděluje do dvou ramen. První z ramen je tvořeno pevným zrcadlem na konci, druhé je tvořeno zrcadlem pohyblivým na konci. Zde se světelný paprsek odrazí a detekuje se v detektoru, kde pomocí zpoždění, které vznikne pomocí PMD, vznikne tzv. interferogram. Pohyblivé zrcadlo je zde pro zvětšení, nebo zmenšení zpoždění mezi signály. Na obrázku (Obr.16.) můžeme vidět vnitřní uspořádání PMD analyzátoru pro lepší přehlednost jeho funkce.

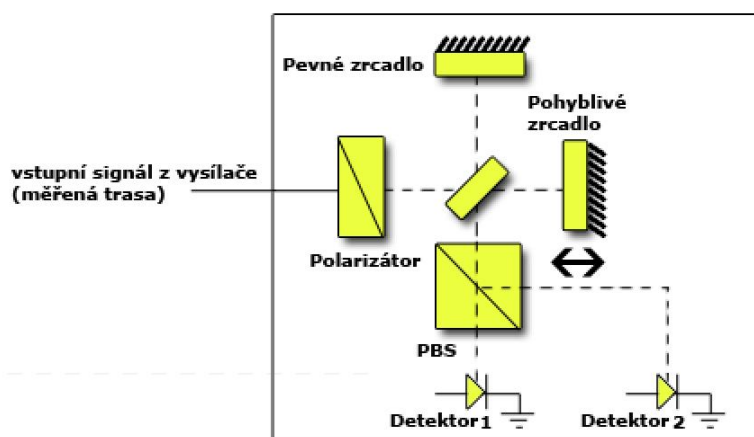


Obr.16: Vnitřní zapojení PMD analyzátoru

Interferogram je složen ze dvou složek. První složkou je znázorněna vzájemná autokorelační funkce dvou signálů, které jsou na sebe vzájemně kolmé, odražených od zrcadel. Projevuje se zde PMD a jsou tak časově posunuty. Druhá složka je tvořena autokorelační funkcí měřeného signálu.

5.2 METODA GINTY

Tento název je odvozen z anglického názvu General analysis INTY. (GINTY). Tato měřící metoda je stejného charakteru jako metoda TINTY s tím rozdílem, že má rozvítené vnitřní zapojení PMD analyzátoru. Kromě známých prvků, jako jsou polarizátor, pevné a pohyblivé zrcadlo a detektor je PMD analyzátor rozvinutý o polarizační dělič (PBS) a druhý detektor. Princip měření je velice obdobný. Signál je opět pomocí interferometru rozdělen do dvou ramen, které jsou zakončeny zrcadly. U metody TINTY se odražený signál dostával přímo na detektor, kde byl vyhodnocen interferometrem. U metody GINTY však odražený signál přichází na polarizační dělič, který nám opět rozděluje signál do dvou ramen, které jsou na sebe kolmé. Tato ramena však nejsou zakončena zrcadly, ale přímo detektory. Vzniknou nám dva interferogramy, které můžeme sčítat a získat tak autokorelační funkci a nebo odčítat a dostaneme tak vzájemnou korelační funkci. Na obrázku (Obr.17.) můžeme vidět vnitřní zapojení PMD analyzátoru. [11]



Obr.17: Vnitřní zapojení PMD analyzátoru metody GINTY

Výhodou této metody oproti TINTY je to, že výsledná PMD se dá určit přímo ze vzájemné korelační funkce. [11]

5.3 METODA P-OTDR

Tato metoda je založena na stejném principu jako metoda OTDR. Opět se zde využívá zpětného Rayleighova rozptylu s tím rozdílem, že do optické trasy jsou vysílány sledy polarizovaných impulsů a výsledná hodnota PMD se vyhodnocuje graficky. Tato metoda se začala používat až v době velkých přenosových rychlostí na optické trase.

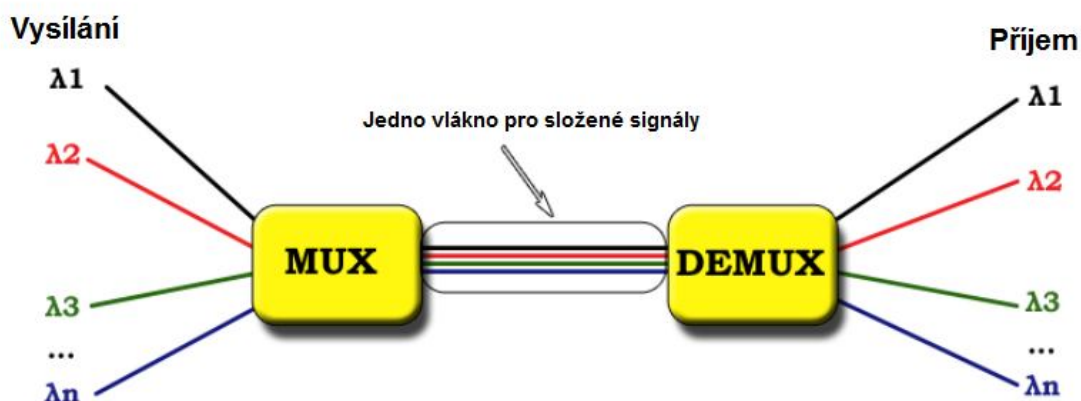
6 MĚŘENÍ AKTIVNÍCH OPTICKÝCH PRVKŮ

Tato kapitola je zaměřena na prozkoumání měřících metod na optických tratích za provozu. Jak víme v poslední době se přenosové rychlosti stále více a více zvyšují díky technologickému pokroku. V této kapitole budou popsány přenosové technologie WDM, WWDM a DWDM, které jsou v současné době nejznámější. Dále bude popsán měřící analyzátor optického přenosu (OSA), který se používá v moderních optických systémech pro monitorování za provozu.

6.1 WDM TECHNOLOGIE

Tato technologie se využívá tehdy, chceme-li zvýšit přenosovou kapacitu optického vlákna a nebo pokud chceme sdílet přenos více nezávislých aplikací skrze jedno optické vlákno. K tomuto jevu využijeme princip vlnového multiplexeru WDM (Wavelength Division Multiplexing). V praxi to funguje tak, že po optické trase je vysláno paralelně několik signálů o různých vlnových délkách. Každá z těchto vlnových délek poskytuje šířku poskytovanou celým optickým vláknem. Takto můžeme pomocí multiplexeru přenášet v jednom optickém vlákně několik jednotlivých optických kanálů. Pro sloučení a následovné rozložení vlnových délek optické couplery a splittery.

Technologie WDM používá pro přenos pouze dvě vlnové délky v jednom vlákně obvykle v obousměrném provozu. Na obrázku (Obr.18.) můžeme vidět způsob sloučení dat pro technologie WDM. [12]



Obr.18: Způsob sloučení signálů technologie WDM

6.2 WWDM TECHNOLOGIE

Tento název pochází z anglického výrazu Wide Wavelength Division Multiplexing (WWDM). Tato technologie se oproti předchozí technologii liší v použití čtyř vlnových délek v oblasti 850nm (MM vlákna) a nebo v oblasti 1300nm (SM vlákna nebo MM vlákna). Jednotlivé použité vlnové délky jsou od sebe vzdáleny 25nm. [12]

6.3 DWDM TECHNOLOGIE

Tento název pochází z anglického výrazu Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM). Tato technologie využívá desítky vlnových délek (např. 32 a nebo 64), které jsou přenášeny paralelně v jednom optickém vlákne. Díky tomuto počtu přenášených vlnových délek se pohybuje přenosová rychlost až 10 GB/s u sítě CESNET. Aby tento přenos mohl být zachován, musí se využít laserově chlazené zdroje, zesilovače a optoelektronické detektory, které budou velmi citlivé. Tato technologie se nejčastěji využívá v páteřních sítích. [12]

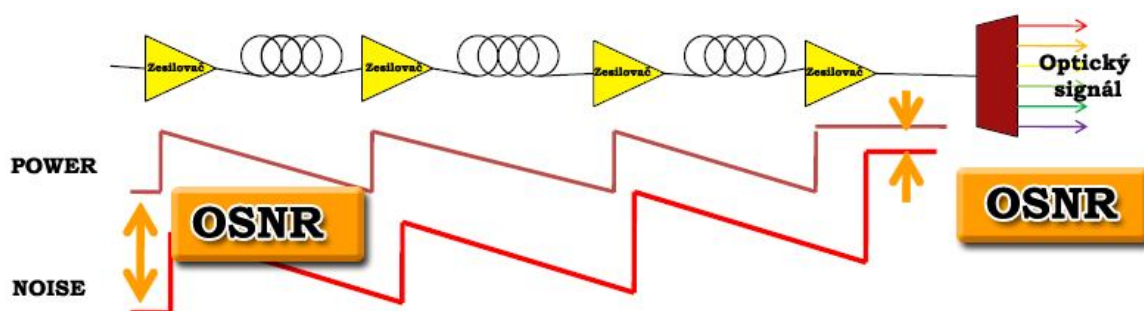
6.4 CWDM TECHNOLOGIE

Tento název pochází z anglického názvu Coarse Wavelength Division Multiplexing (CWDM). Tato technologie opět umožňuje jak slučování, tak i rozdělování optického signálu pracujícího na různých vlnových délkách. Optická vlákna se přenáší paralelně po optické trase. CWDM umožňuje přenášet až 18 nezávislých optických vláken s různou vlnovou délkou. Výhodou

této technologie je to, že každý přenášený optický signál (o různé vlnové délce) může nést odlišnou informaci s různou modulační rychlostí a také s odlišným formátem dat. Např. 100Mbit/s nebo 1000Mbit/s Ethernet, SDH kanál (155Mbit/s – 2,5 Gbit/s), digitální videosignál nebo technologie Fibre Channel. (1Gbit/s, 2Gbit/s, nebo 4Gbit/s). [14]

6.5 ANALYZÁTOR OPTICKÉHO SPEKTRA (OSA)

Tento analyzátor se používá pro měření nejdůležitějších parametrů DWDM systému. Přístroj se používá při instalaci sítě, uvedení sítě do provozu, modernizaci, k údržbě a řešení problémů. Může být také použit pro trvalé monitorování provozu na optické síti. Tento přístroj je nejvhodnějším nástrojem pro měření OSNR (Optical Signal-To-Noise Ratio) parametru. OSNR je prvek, který nám udává, jak moc je signál znehodnocený při průchodu optickou sítí. Je definován jako poměr výkonu k poměru šumu na pozadí. OSNR se při průchodu kaskádou zesilovačů zhoršuje. Přes 90% poruch chybovosti přenosu lze odhalit na právě zhoršeném OSNR. Na obrázku (Obr.19.) můžeme vidět změnu OSNR při průchodu optickou trasou přes zesilovače.



Obr.19: Způsob změny OSNR při průchodu přes zesilovače

Další výhodou OSA je, že dokáže měřit slabé signály (např. optický šum). Navíc se jedná o menší přístroj, který je přenosný. [13] Optický analyzátor využívá těchto měřících režimů:

- Měření signálů DWDM a CWDM technologie
- Měření EDFA zesilovačů
- Měření DFB laserů
- Měření FP laserů

- Měření pasivních komponent (multiplexory, filtry, atd.)
- Monitoruje časové stability a drift DWDM signálu

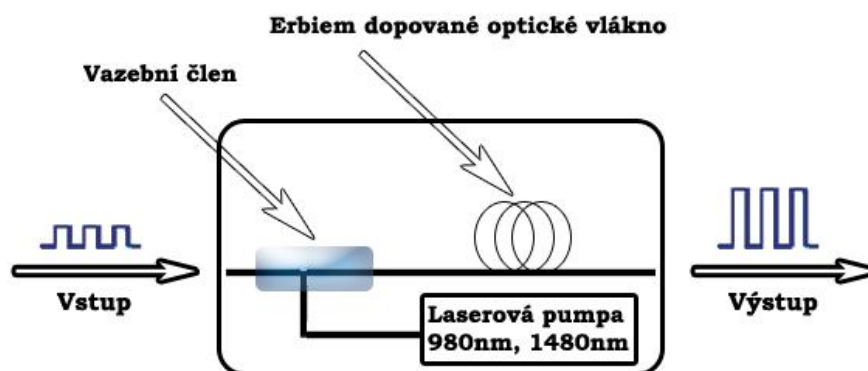
6.5.1 Měření signálů DWDM a CWDM technologie

U tohoto měření pomocí analyzátoru optického spektra (OSA) měříme vlnové délky jednotlivých technologií, resp. měří se vlastnosti jednotlivých optických vláken (vlnová délka). Protože každá technologie je definovaná jiným počtem přeposílaných paralelních vláken, měří OSA všechny vlnové délky všech procházejících optických vláken.

6.5.2 Měření EDFA zesilovačů

Funkce optického zesilovače je taková, že zesiluje optický signál, což nám pomáhá k tomu, abychom mohli přenášet optický signál na mnohem větší vzdálenost. Kdybychom optický zesilovač nepoužili, mohla by nastat situace, že vysílaný signál by klesl na úroveň, kterou by nemohl detektor dekodovat. Nejčastěji se používají právě zesilovače EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier). Na optické trase se většinou optické zesilovače instalují ve 3 variantách a to předzesilovač, průběžný zesilovač a koncový zesilovač.

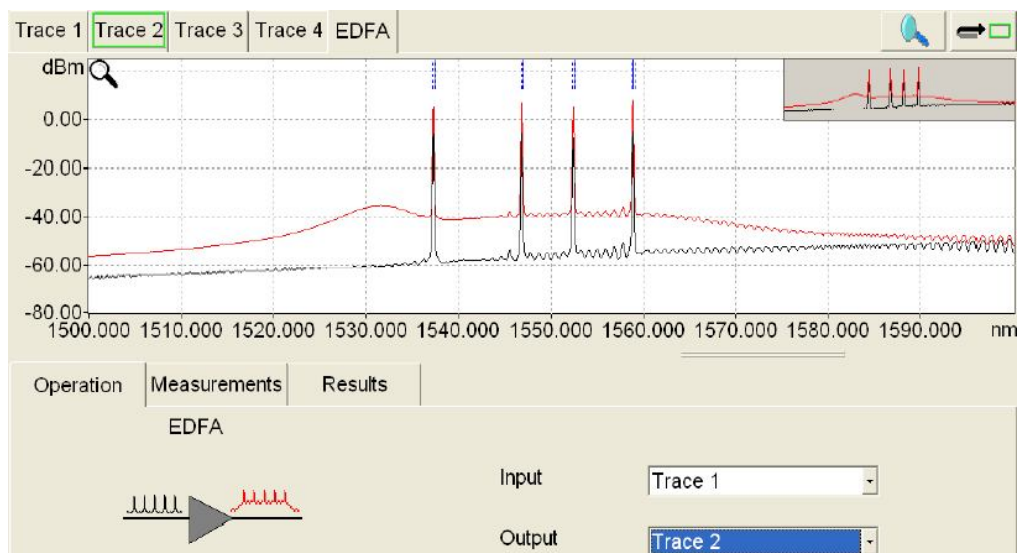
EDFA zesilovač je tvořen laserovým zdrojem záření (tzv. laserovou pumpou) a speciálním optickým vláknem, které je dopované prvky vzácných zemin (E_r/Y_t). Na obrázku (Obr.20.) můžeme vidět strukturu EDFA zesilovače.



Obr.20: Vnitřní struktura EDFA zesilovače

Funkce EDFA zesilovače je taková, že vlivem záření z laserové pumpy (o vlnové délce 980nm nebo 1480nm) do speciálního vlákna, které je dlouhé několik metrů, dochází k vybuzení (excitaci) atomů dopovaného prvku na vyšší

úrovni (energetické hladiny). V této chvíli je energie získaná ze záření laserové pumpy uložena dočasně uložena ve vlákně. K uvolnění energie dochází vlivem přenášeného signálu. Tímto způsobem dochází k zesílení optického signálu až o 50 dB (jeden kanál, C-pásmo). Lze dosáhnout velkého rozsahu zesilovaného pásma a tak současně zesilovat signál v C i L pásmu. [14] Na obrázku (Obr.21.) můžeme vidět, jak vypadá průběh měření EDFA na OSA.



Obr.21: Zobrazení měření EDFA na OSA

Z principu EDFA vyplívají 3 druhy aplikace zesilovačů v optických sítích:

6.5.2.1 Výstupní zesilovač (Booster)

Tento zesilovač se umísťuje přímo za optický vysílač a slouží k zesílení jeho signálu na maximální úroveň, kterou je možno do vlákna navázat. Jeho důležitou vlastností je to, aby byl schopen pojmout poměrně velký signál na vstupu (z optického vysílače). [14]

6.5.2.2 Průběžný zesilovač (In-line)

Tento zesilovač se umísťuje do trasy optického vlákna. Jeho funkce je taková, že zesiluje malý vstupní signál na co nejvíce možnou hodnotu výstupního signálu. [14]

6.5.2.3 Koncový zesilovač

Tento zesilovač slouží k zesílení velice nízkých úrovní signálu na takovou úroveň, aby byl přijímač, který se nachází na konci trasy, schopen správně dekodovat data z optické trasy. U tohoto zesilovače je kladen požadavek na jeho minimální vnitřní šum. [14]

6.5.3 Měření pasivních komponent

OSA slouží pro měření například multiplexerů a nebo optických filtrů, které se nachází na optické trase. Optické multiplexery jsou zařízení, které nám slouží pro slučování a nebo následnému rozpojení optického signálu. Existuje několik druhů optických multiplexerů, o kterých jsme se bavili dříve. Jedná se o WDM, DWDM, WWDM a CWDM technologie multiplexerů.

Dále se OSA zabývá měřením optických filtrů. Jak z teorie víme, filtr je optický prvek, který se vkládá do cesty optickému světlu, aby změnil jeho vlastnosti. Směr jeho šíření výrazně neovlivní.

6.5.4 Monitorování časové stability a drift DWDM signálu

Analyzátor optického spektra je možné použít i pro monitorování sítě za provozu. Můžeme tak kontrolovat síť a její parametry měnící se v reálném čase. [13]

7 PRAKTICKÁ ČÁST MĚŘENÍ

Tato část se původně měla zabývat aktivním měřením OSNR parametrů za provozu, ale bohužel se nám nepodařilo sehnat analyzátor optického spektra pro měření OSNR parametru a tak jsme museli zvolit alternativní měření. V tomto měření jsem proměřil některé důležité parametry sítě CESNET a k tomu jsem využil spektrální analyzátor EXFO FTB-400 s modulem 5240B. Pomocí tohoto analyzátoru jsem proměřil DWDM signál z pracovního monitorovacího výstupu sítě CESNET. Dále jsem měl k dispozici optickou sondu (TAP pro jednovláknové přenosy) a zjišťoval jsem, jestli a jak ovlivňuje TAP přenášený optický paprsek a jestli je tento přípravek vhodný pro jednovláknové přenosy.

7.1 EXFO FTB-400 S MODULEM 5240B

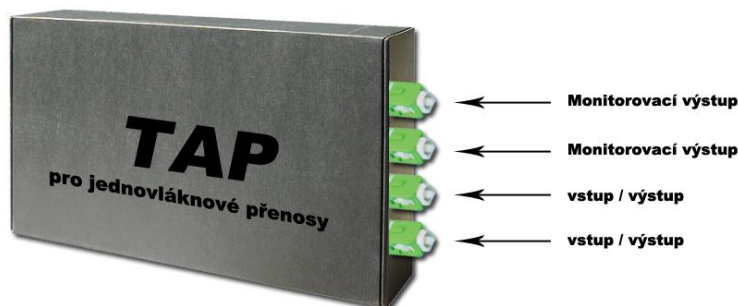
Jedná se o přenosný optický spektrální analyzátor. Má velký spektrální rozsah 1250 nm až 1650 nm. Dokáže analyzovat systémy s až 512 kanály v režimu testované DWDM. Dokáže zobrazit stopy ID informace, včetně všech parametrů v aktivním měření. Navíc má vysoký dynamický rozsah (z anglického slova High Dynamic Range) s měřitelnými příkony v rozsahu od +18 dBm pro každý kanál až – 75dBm. Analyzátor tak přináší 93 dB dynamického rozsahu vysoké přesnosti. Výstižně charakterizuje komponenty a systémy s úzkou kanálovou roztečí. Na obrázku (Obr.22.) můžeme vidět zobrazený optický analyzátor FTB-5240B. [16]



Obr.22: Přenosný optická spektrální analyzátor FTB-5240B

7.2 TAP PRO JEDNOVLÁKNOVÉ PŘENOSY

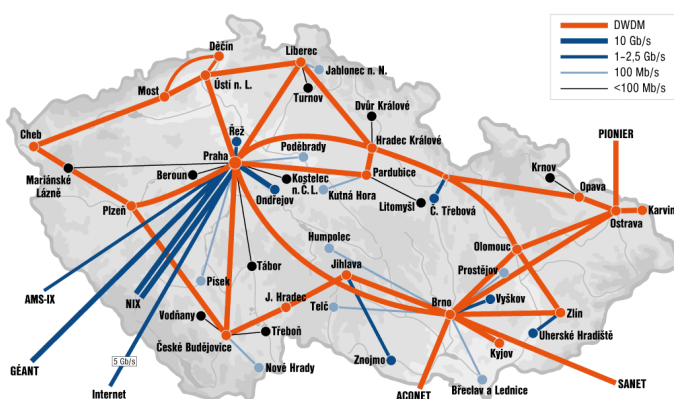
Jedná se o obousměrný optický monitorovací modul, který slouží pro jednovídné účely. Přípravek je tvořen dvěma cirkulátory sloužící pro odbočení části signálu na monitorovací výstup. Každý výstup slouží pro monitorování jednoho směru přenosu signálu. Je plně pasivní a bezpečný. Na obrázku (Obr.23.) můžeme vidět, jak takový TAP může vypadat.



Obr.23: TAP pro jednovláknové účely

7.3 MĚŘENÍ PARAMETRŮ SIGNÁLU ZE SÍTĚ CESNET

CESNET je národní vysokorychlostní počítačová síť určená pro vědu, výzkum, vývoj a vzdělávání. Její páteř propojuje největší univerzitní města České republiky okruhy s vysokými přenosovými rychlostmi. Uživatelé sítě jsou především vysoké školy, Akademie věd České republiky, ale i některé střední školy, nemocnice či knihovny. Současná generace této sítě se nazývá CESNET2 a nabízí na páteřních trasách přenosové rychlosti v řádu desítek gigabitů za sekundu. Na obrázku (Obr.24.) můžeme vidět současnou strukturu počítačové sítě CESNET2 a přenosové rychlosti na různých trasách. [17]



Obr.24: Základní konektivita CESNET2 v ČR

7.3.1 MĚŘENÍ AKTIVNÍCH PARAMETRŮ SÍTĚ CESNET

V první části jsem propojil provozní monitorovací výstup DWDM ze sítě přímo na měřicí přístroj a zjistil jsem počet přenášených kanálů, jejich vlnové délky a přenášené výkony, jak lze vidět v tabulce. (Tab.1.) Schéma zapojení můžeme vidět na obrázku. (Obr.25.)

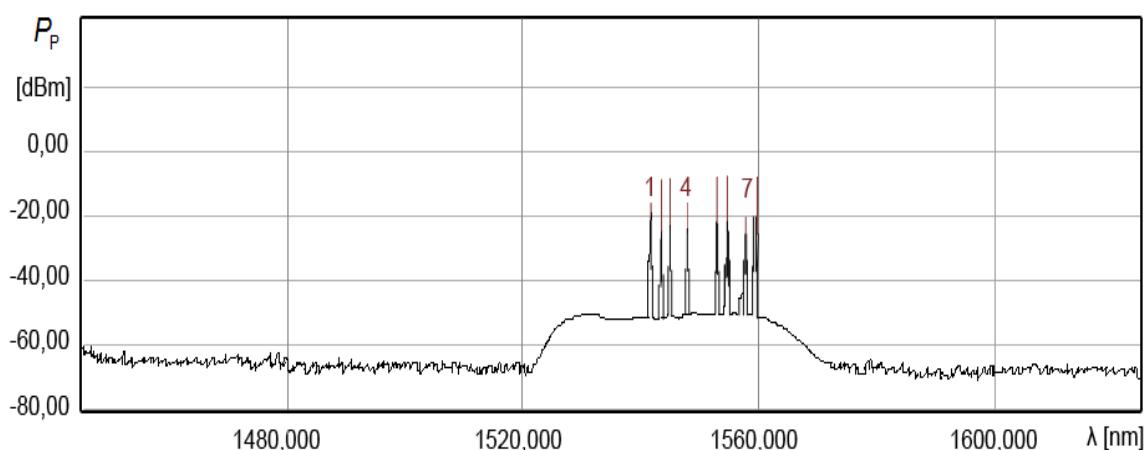


Obr.25: Blokové schéma měření DWDM signálu ze sítě CESNET

Tab. 1: Naměřené hodnoty DWDM signálu

Změřené hodnoty			
Kanál [–]	P_p [dBm]	Vlnová délka [nm]	SNR avg. [dB]
1	– 21,14	1544,518	26,86
2	– 21,73	1546,920	16,38
3	– 21,32	1548,502	26,85
4	– 20,51	1551,737	27,24
5	– 21,41	1556,580	26,78
6	– 21,40	1558,152	27,09
7	– 21,43	1559,232	26,80
8	– 21,41	1560,196	26,98

Z tabulky (Tab.1) vidíme, že pomocí optického analyzátoru jsem zjistil, že na provozním monitorovacím výstupu DWDM se posílalo zároveň 8 kanálů o rozdílné vlnové délce, s průměrným vysílaným výkonem – 21,26 dBm. V grafu (Graf.1.) lze vidět jednotlivé špičky kanálů. Měření jsem si ukládal pomocí USB 2.0 přímo na FLASH disk ve dvou formátech a to ve formátu *.osw (projekt), tak ve formátu *.txt (textový soubor s hodnotami). V grafu (Obr.26.) můžeme vidět grafické zobrazení jednotlivých kanálů DWDM signálů a jejich odpovídající výkony.



Obr.26: Grafické zobrazení jednotlivých kanálů DWDM signálu

7.3.2 MĚŘENÍ PARAMETRŮ OPTICKÉ SONDY (TAP) – varianta 1

V další části jsem zjišťoval, jak ovlivní signál optická sonda (TAP) při připojení do cesty mezi DWDM signál a měřicí přístroj. Protože různé varianty propojení těchto vstupů/výstupů budou procházet vždy jinou částí přípravku, proměřil jsem si všechny možné kombinace, abych věděl, jak a jestli je přípravek schopen propouštět signál v jednom i druhém směru a jak ovlivňuje signál DWDM. Nejdříve jsem zjišťoval jaký vliv má na signál, když propojím jeden vstup s jedním výstupem. V obrázku (Obr.27.) můžeme vidět blokové schéma propojení jednotlivých prvků.



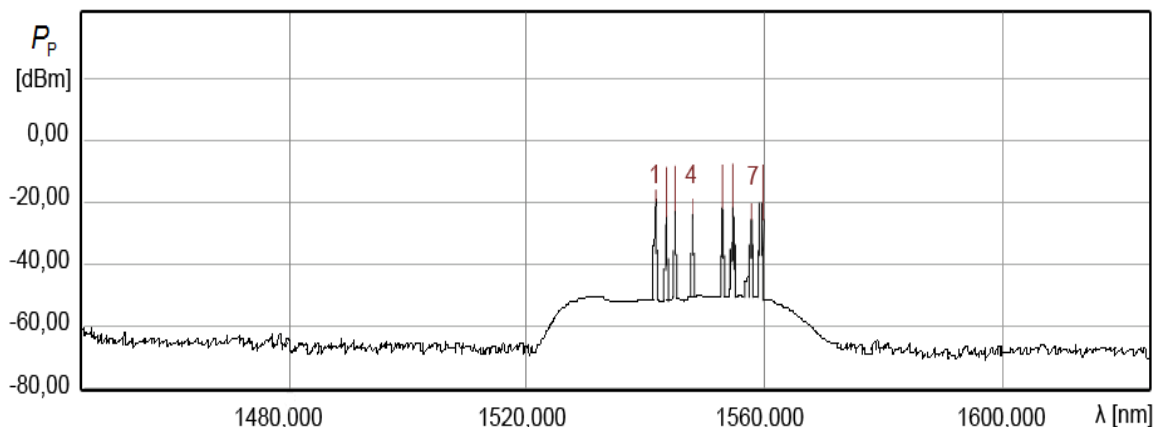
Obr.27: Blokové schéma měření s připojeným TAP přípravkem – varianta 1

Po připojení přípravku TAP se nám snížily hodnoty výkonu P_p o téměř 2 dBm. Vlnové délky zůstaly zachované, z čehož lze usoudit, že přípravek není závislý na vlnové délce.

Tab. 2: Naměřené hodnoty zapojení vstup1 – výstup

Změřené hodnoty			
Kanál [–]	P_p [dBm]	Vlnová délka [nm]	SNR avg. [dB]
1	– 23,49	1544,517	26,95
2	– 24,09	1546,919	26,46
3	– 23,90	1548,501	26,61
4	– 23,08	1551,740	27,10
5	– 23,82	1556,580	26,71
6	– 23,94	1558,152	26,93
7	– 23,97	1559,232	26,80
8	–23,99	1560,196	26,98

Z tabulky (Tab.2) můžeme vidět, že průměrný vysílaný výkon se snížil o 2,4 dBm a jeho průměrná hodnota je $-23,72$ dBm. V grafu (Obr.28.) můžeme vidět grafické zobrazení jednotlivých kanálů DWDM signálů a jejich odpovídající výkony.



Obr.28: Grafické zobrazení jednotlivých kanálů DWDM signálu – varianta 1

7.3.3 MĚŘENÍ PARAMETRŮ OPTICKÉ SONDY (TAP) – varianta 2

V dalším kroku jsem nechal vstupní konektor zapojený a připojil jsem monitorovací výstup. K dispozici jsme měli dva monitorovací konektory, z nichž každý fungoval pouze v jednom směru. Pokud byl jeden monitorovací aktivní, druhý byl neaktivní a nešlo na něm naměřit žádnou hodnotu. Změnu v blokovém zapojení můžeme vidět na obrázku (Obr.29.). Na optickém analyzátoru jsem naměřil průměrný výkon $-23,58$ dBm a oproti předchozímu zapojení se liší pouze o 0,14 dBm. Tato odchylka odpovídá teoretickým předpokladům, protože se signál odečítá pouze z jiného výstupu.



Obr.29: Blokové schéma měření s připojeným TAP přípravkem – varianta 2

Tab. 3: Naměřené hodnoty zapojení vstup1 – monitorovací výstup1

Změřené hodnoty			
Kanál [–]	P_p [dBm]	Vlnová délka [nm]	SNR avg. [dB]
1	– 23,55	1544,519	26,83
2	– 23,95	1546,921	26,46
3	– 23,81	1548,502	26,74
4	– 22,84	1551,742	27,29
5	– 23,68	1556,582	26,95
6	– 23,66	1558,152	27,03
7	– 23,69	1559,229	26,74
8	– 23,71	1560,194	26,89

7.3.4 MĚŘENÍ PARAMETRŮ OPTICKÉ SONDY (TAP) – varianta 3

V tomto kroku jsem provedl stejné měření jako v předchozích krocích, ale paprsek do přípravku jsem pustil v druhém směru než v předchozích krocích. Pokud se hodnoty téměř nezměnily, svědčí to o tom, že je jedno v jakém směru pustíme paprsek do přípravku. Blokové schéma je zobrazené na obrázku (Obr.30.) V tabulce (Tab.4.) máme přehledně zapsané změřené hodnoty.

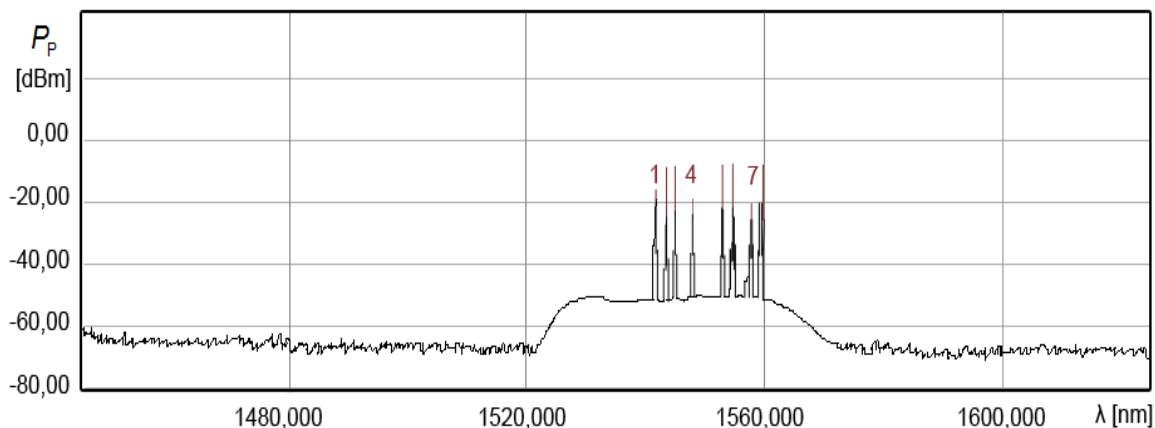


Obr.30: Blokové schéma měření s připojeným TAP přípravkem – varianta 3

Tab. 4: Naměřené hodnoty zapojení vstup1 – výstup2 v opačném směru

Změřené hodnoty			
Kanál [–]	P_p [dBm]	Vlnová délka [nm]	SNR avg. [dB]
1	– 23,26	1544,519	26,81
2	– 23,64	1546,921	26,53
3	– 23,84	1548,502	26,51
4	– 22,47	1551,736	27,36
5	– 23,65	1556,582	26,81
6	– 23,27	1558,151	27,27
7	– 23,42	1559,209	26,84
8	– 23,49	1560,174	26,86

V tabulce si můžeme všimnout, že hodnoty se příliš nezměnily. Je to dáno tím, že pouze odečítáme hodnotu z jiného výstupu. V grafu (Obr.31.) opět vidíme průběh, který je velice podobný.



Obr.31: Grafické zobrazení jednotlivých kanálů DWDM signálu – varianta 3

7.3.5 MĚŘENÍ PARAMETRŮ OPTICKÉ SONDY (TAP) – varianta 4

V posledním kroku jsem připojil druhý vstupní konektor na druhý monitorovací výstup, protože původní monitorovací výstup je neaktivní. Blokové schéma je zobrazené na obrázku (Obr.32.) V tabulce (Tab.5.) máme zapsané změřené hodnoty.

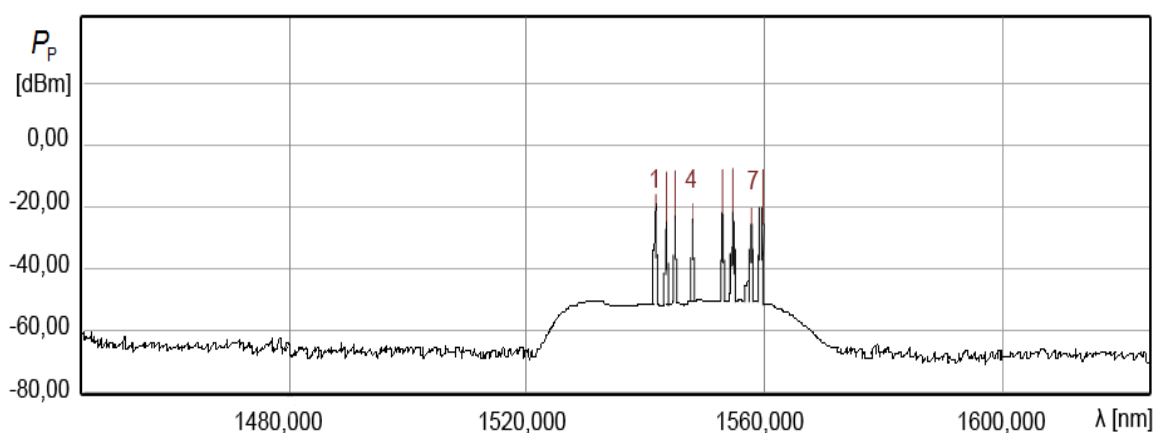


Obr.32: Blokové schéma měření s připojeným TAP přípravkem – varianta 4

Tab. 5: Naměřené hodnoty zapojení vstup2 – monitorovací výstup2

Změřené hodnoty			
Kanál [–]	P_p [dBm]	Vlnová délka [nm]	SNR avg. [dB]
1	– 23,35	1544,519	26,81
2	– 23,62	1546,921	26,59
3	– 23,66	1548,503	26,63
4	– 22,45	1551,739	27,37
5	– 23,66	1556,582	26,83
6	– 23,22	1558,152	27,32
7	– 23,31	1559,215	27,13
8	– 23,29	1560,171	27,21

Průměrný výkon jsem pomocí analyzátoru naměřil – 23,34 dBm. Všechny hodnoty výkonu ve všech směrech se téměř nezměnily a z toho můžeme usoudit, že pro jednojádřová vlákna (SM) je jedno v jakém směru signál do TAP přípravku pouštíme. V grafu (Obr.33.) je opět vidět zobrazení všech 8 kanálů a jejich odpovídající hodnoty výkonů a jejich vlnové délky.



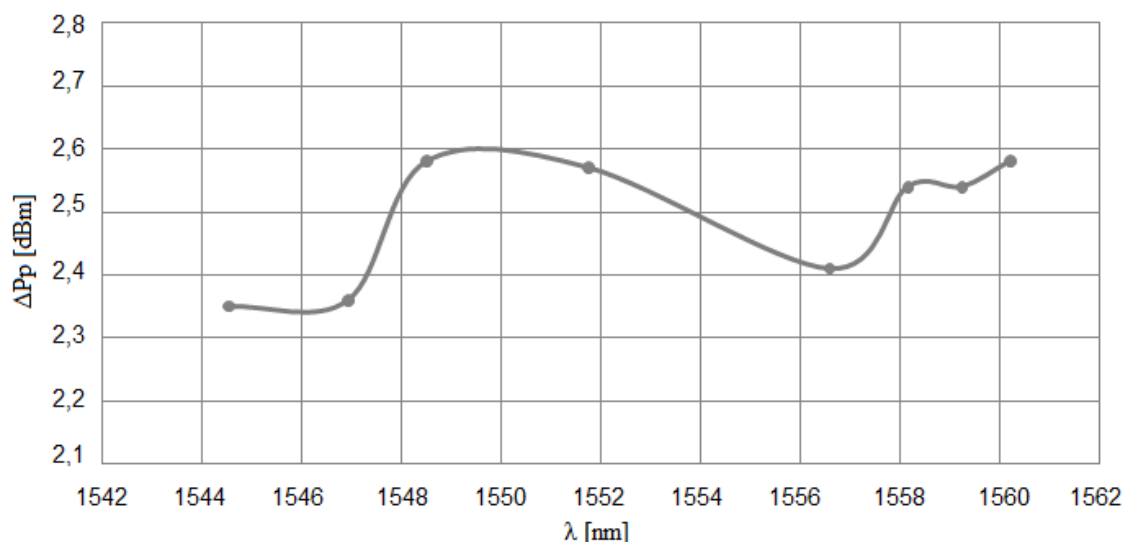
Obr.33: Grafické zobrazení jednotlivých kanálů DWDM signálu – varianta 4

7.3.4 ZMĚNA VÝKONU PŘI PŘIPOJENÍ OPTICKÉ SONDY (TAP)

Na závěr jsem zjišťoval, jak se změnila velikost výkonu při připojení optické sondy (TAP) do obvodu. Nejprve jsem si spočítal rozdíl výkonů mezi výkonem, který byl přiveden z DWDM signálu a výkonem, který jsem změřil po připojení optické sondy. Rozdíl těchto dvou výkonů jsem si zapsal do tabulky a k tomu odpovídající vlnové délky. Tyto hodnoty jsou zapsány v tabulce (Tab.6.) a také jsem vytvořil grafický průběh, který lze vidět v grafu (Obr.34.).

Tab. 6: Vypočítané hodnoty rozdílů výkonů a jejich vlnové délky

ΔP_p [dBm]	2,35	2,36	2,58	2,57
λ [nm]	1544,518	1546,920	1548,502	1551,737
ΔP_p [dBm]	2,41	2,54	2,54	2,58
λ [nm]	1556,580	1558,152	1559,232	1560,196



Obr.34: Změna výkonu při připojení optické sondy

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo popsat důležité parametry na optické síti a jejich nežádoucí vliv na kvalitu a přesnost měření. Nejprve jsem popsal parametry a princip vedení světla v optickém vlákně. Popsal jsem druhy optických vláken a seznámil jsem se s nejznámějšími měřicími metodami pro měření, jak útlumu, tak i disperze, která ve vlákně vzniká. V další části práce jsem se zaměřil na optické sítě v provozu. Popsal jsem si prvky, které ovlivňují měření a seznámil jsem se s technologiemi používaných na optických vedeních a jejich přenosovými rychlostmi, kterých jsou schopny dosáhnout.

Uvedl jsem metody pro měření a monitorování optické sítě za provozu a také jsem popsal analyzátor optického spektra (OSA), který je jeden z nejvíce používaných monitorovacích zařízení a dokáže měřit OSNR přímo za provozu. Pomocí tohoto analyzátoru jsem chtěl měřit, jak se signál DWDM mění na optické síti CESNET2, ale bohužel se nám nepodařilo tento přístroj získat a tak jsme museli zvolit alternativní měření. K tomuto měření jsem použil spektrální analyzátor EXFO FTB-400 s modulem 5240B, pomocí kterého jsem nejprve

zjistil vlastnosti DWDM signálu. Připojil jsem si analyzátor na pracovní monitorovací výstup DWDM signálu ze sítě CESNET2 a zjistil jsem, že se zároveň přenášelo 8 kanálů, které měli průměrný vysílací výkon $-21,26\text{dBm}$.

Následovně jsem měl k dispozici optickou sondu, resp. TAP pro jedno-vidová vlákna, který byl opatřen dvěma vstupy/výstupy a dvěma monitorovacími výstupy. Úkolem bylo zjistit, jak se signál změní při průchodu tímto přípravkem a jestli je vhodný pro jednovláknové signály. Tento přípravek měl více typů připojení, proto jsem musel měření provádět pro každou možnou situaci. Zjistil jsem, že při připojení přípravku do sítě se snížil průměrný vysílací výkon na $-23,72\text{dBm}$. Takové to měření jsem provedl pro všechny možné zapojení a hodnota průměrného výkonu zůstávala téměř stejná. Bylo jedno, ve kterém směru jsem paprsek pouštěl do přípravku a tak jsem mohl usoudit, že tento přípravek je vhodný pro jednovidová vlákna.

Na závěr jsem graficky znázornil, jak se měnil průměrný výkon pro jednotlivé varianty připojení. K tomu jsem potřeboval vypočítat si rozdíl výkonu před připojením a po připojení signálu pro každou ze 4 variant a k tomu odpovídající vlnové délky. V grafu (Obr.35.) lze vidět, že rozdíl výkonů ΔP_p se pohyboval v rozmezí od $2,35 - 2,6\text{dBm}$. Z toho jsem usoudil, že je jedno v jakém směru a na který vstupní/výstupní konektor přípravku TAP pracovní paprsek DWDM signálu přivedeme, protože změna je relativně malá. Všechny výsledky měření optických parametrů TAPu pro jednovidová vlákna jsem přehledně zapsal do příslušných tabulek a grafů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MALLAT, J. *HPS v IT : Zábava a informace pro IT*. In Optické vlákno a kabely [online]. 2003 [cit. 2010-11-02].. Dostupné z WWW: <<http://hps.mallat.cz/view.php?cislocclanku=2003090203>>
- [2] DOLEČEK, J. *Wikipedie : Otevřená encyklopedie*. In Optické vlákno [online]. 2002 [cit. 2010-11-04].. Dostupné z WWW: http://cs.wikipedia.org/wiki/Optick%C3%A9_vl%C3%A1kno>
- [3] FILKA, M. *Přenosová média: skripta laboratoře*, Brno: VUT v Brně, 2003, 70 s.
- [4] FILKA, M. *Optické sítě: skripta*, Brno: VUT v Brně, 2007, 210 s.
- [5] MARŠÁLEK, L. *Optická vlákna: skripta*, Ostrava: FEI KEST, 2006, In [online], [cit. 2010-11-10]. Dostupné z WWW: <<http://www.goro.czweb.org/download/interest/vlakna.pdf>>
- [6] TELECOM: *Výstavba přístupových sítí: skripta*. Praha, 2002, 102 s.
- [7] BROUČEK, J.; KOSOUR, P.; REICHERT, P. *Optický reflektometr nebo přímá metoda*, In [online], 2009 [cit. 2010-11-15]. Dostupné z WWW: <http://www.profiber.cz/eshop/files/Opticky_reflektometr_nebo_prima_metoda_Klasicke_mereni_trochu_netradicne.pdf>
- [8] Firemní dokumentace EXFO, *How to choose an optical loss test set*, In [online]. 2004, [cit. 2010-11-18]. Dostupné z WWW: <<http://documents.exfo.com/appnotes/anote021-ang.pdf>>
- [9] HÁJEK, M.; HOLOMEČEK, P. *Chromatická disperze jednovíkových vláken a jejich měření*, In [online], 2009 [cit. 2010-11-21]. Dostupné z WWW: <<http://mikrokom.eu/skoleni/pdf/chrom-disperze.pdf>>

- [10] HÁJEK, M.; HOLOMEČEK, P. Měření PMD optických tras ve sborníku In *Optické komunikace*, Praha, 2004. s. 53 – 60, ISBN 80-7100-991-1.
- [11] FILKA, M., *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*: skripta, Brno: CENTA, 2009, 112 s.
- [12] BROUČEK, J.; GÖLLNER, J.; SUKOP, J. [online]. 2009 [cit. 2010-12-14]. Optické spektrální analyzátory. Dostupné z WWW: <http://www.profiber.cz/eshop/files/D2_Broucek_Gollner_Sukop-OSA-opticke_spektralni_analyzatory.pdf>.
- [13] *Technologie CWDM v optických sítích* [online]. Praha : RLC, 2009 [cit. 2010-12-07]. Dostupné z WWW: <http://www.rlc.cz/files/global/technologie_cwdm.pdf>
- [14] *Wikipedie : Otevřená encyklopedie* [online]. 2010 [cit. 2010-12-09]. In Laserová dioda. Dostupné z WWW: < http://cs.wikipedia.org/wiki/Laserov%C3%A1_dioda#DFB_lasery >
- [15] *1310nm FP Laser Diode SM Modul* [online]. [s.l.] : Appointech, 2009 [cit. 2010-12-09]. Dostupné z WWW: <[http://www.appointech.com/MODULE/FP_LD/1310nm%20FP%20LD%20SM%20Module%20\(Jan%2009\).pdf](http://www.appointech.com/MODULE/FP_LD/1310nm%20FP%20LD%20SM%20Module%20(Jan%2009).pdf)>
- [16] *Optical Spectrum Analyzer FTB-5240B*. In [online]. Kanada : EXFO-Electro optical Engineering, 2003 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <http://www.testbuyer.com/pdf/specs.cfm?pdf_id=570F5BDA>.
- [17] *Síť CESNET2 : síť pro výzkum* [online]. 2011 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.cesnet.cz/provoz>>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1: Struktura optického vlákna	13
Obr.2: Odrazy světelného paprsku.....	14
Obr.3: Šíření optického paprsku u jednovlákenných vláken.....	15
Obr.4: Šíření optického paprsku se skokovou změnou indexu.....	16
Obr.5: Šíření optického paprsku s plynulou změnou indexu	17
Obr.6: Schéma měřicí soustavy pro měření přímou metodou.....	21
Obr.7: Schéma měřicí soustavy metody 1a	22
Obr.8: Schéma měřicí soustavy metody 1b	23
Obr.9: Schéma měřicí soustavy metody 1c	23
Obr.10: Schéma měřicí soustavy pro metodu OTDR.....	24
Obr.11: Dynamický a efektivní dynamický rozsah.....	25
Obr.12: Měřicí soustava pro měření metodou fázového posuvu.....	26
Obr.13: Měřicí soustava pro měření interferometrickou metodou	27
Obr.14: Měřicí soustava pro měření zpoždění impulsů v časové oblasti	28
Obr.15: Blokové schéma pro měření metodou TINTY	29
Obr.16: Vnitřní zapojení PMD analyzátoru	29
Obr.17: Vnitřní zapojení PMD analyzátoru metody GINTY	30
Obr.18: Způsob sloučení signálů technologie WDM	32
Obr.19: Způsob změny OSNR při průchodu přes zesilovače.....	33
Obr.20: Vnitřní struktura EDFA zesilovače.....	34
Obr.21: Zobrazení měření EDFA na OSA.....	35
Obr.22: Přenosný optický spektrální analyzátor FTB-5240B	37
Obr.23: TAP pro jednovlákenné účely.....	37
Obr.24: Základní konektivita CESNET2 v ČR	38
Obr.25: Blokové schéma měření DWDM signálu ze sítě CESNET	38
Obr.26: Grafické zobrazení jednotlivých kanálů DWDM signálu	39
Obr.27: Blokové schéma měření s připojeným TAP přípravkem – varianta 1 ..	40
Obr.28: Grafické zobrazení jednotlivých kanálů DWDM signálu – varianta 1 ..	41
Obr.29: Blokové schéma měření s připojeným TAP přípravkem – varianta 2 ..	41
Obr.30: Blokové schéma měření s připojeným TAP přípravkem – varianta 3 ..	42
Obr.31: Grafické zobrazení jednotlivých kanálů DWDM signálu – varianta 3 ..	43
Obr.32: Blokové schéma měření s připojeným TAP přípravkem – varianta 4 ..	43
Obr.33: Grafické zobrazení jednotlivých kanálů DWDM signálu – varianta 4 ..	44
Obr.34: Změna výkonu při připojení optické sondy	45

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Naměřené hodnoty DWDM signálu.....	39
Tab. 2: Naměřené hodnoty zapojení vstup1 – výstup	40
Tab. 3: Naměřené hodnoty zapojení vstup1 – monitorovací výstup1	42
Tab. 4: Naměřené hodnoty zapojení vstup1 – výstup2 v opačném směru	42
Tab. 5: Naměřené hodnoty zapojení vstup2 – monitorovací výstup2.....	44
Tab. 6: Vypočítané hodnoty rozdílů výkonů a jejich vlnové délky.....	45

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN A ZKRATEK

Seznam veličin a symbolů

Φ		mezní úhel
λ		vlnová délka
c		rychlost světla ve vakuu
n		index lomu
n_1		index lomu jádra
n_2		index lomu pláště

Seznam zkratek

CD	C hromatic D ispersion
CWDM	C oarse W avelength D ivision M ultiplexing
DFB	D istributed F eed B ack
DWDM	D ense W avelength D ivision M ultiplexing
EDFA	E rbium D oped F iber A mplifier
HDR	H igh D ynamic R ange
FP	F abry P erot
GINTY	G eneral Analysis I NTY
LAN	L ocal A rena N etwork
LED	L ight E mitting D iode
MM	M ulti M ode
OLTS	O ptical L oss T est S et
OSA	O ptical S pectrum A nalyze
OSNR	O ptical S ignal-To- N oise R atio
OTDR	O ptical T ime D omain R eflectometer
PBS	P olarized B eam S plitter
PMD	P olarisation M ode D ispersion
POF	P lastic O ptical F iber
P-OTDR	P olarisation O ptical T ime D omain R eflectometer

SDH	S ynchronous D igital H ierarchy
SM	S ingle M ode
TINTY	T raditional Analysis I NTY
WDM	W avelength D ivision M ultiplexing
WWDM	W ide W avelength D ivision M ultiplexing