

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

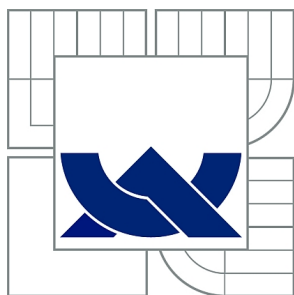
PROPOJENÍ TELEVIZNÍCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

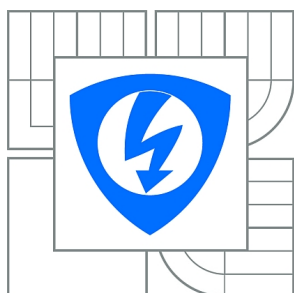
PETER FLIMEL

BRNO 2014



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

PROPOJENÍ TELEVIZNÍCH STUDIÍ

CONNECTING THE TV STUDIOS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETER FLIMEL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MILOSLAV FILKA, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Peter Flimel

ID: 149191

Ročník: 3

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Propojení televizních studií

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte propojení dvou televizních studií, konkrétně Kavčí Hory (Praha) a Kamzík (Bratislava), jako příprava na propojení evropských studií pro přenosy MS ve fotbale v roce 2020. Předpokládejte pronajmutá vlákna od operátorů, navrhněte vhodný systém pro tento přenos, navrhněte vhodné technologie, definujte parametry, který musí takový spoj splňovat, navrhněte měřící metody a postupy, návrhy měřících protokolů aj. Praktická měření proveďte na simulovaném okruhu – Akademický optický polygon v Brně. Náměry zpracujte, vyhodnoťte a porovnejte se standardy a doporučeními pro tyto přenosy.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FILKA, M. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. CENTA, Brno 2009.
- [2] KUCHARSKI, M. WDM – Nová filozofie optických sítí. Telekomunikace 1998, č.10
- [3] GIRARD. A. Guide to WDM Technology. EXFO, Quebec, 2002.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 4.6.2014

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

Konzultanti bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

V tejto bakalárskej práci je vyriešené prepojenie TV štúdií v roku 2020, za účelom sprostredkovania futbalových zápasov medzi štúdiami v Prahe a Bratislave. Práca sa zaoberá problematikou optických spojov a technológií, ktoré sa vyžívajú pri prenose veľkého množstva dát.

KĽÚČOVÉ SLOVÁ

FIFA, MS, LD, PIN, APD, FDM, WDM, WWDM, DWDM, CDWM, STM, EDFA, IEC, DCF, OTDR, PMD, Optický spoj, Futbal, Praha, Bratislava, Útlm, Disperzia.

ABSTRACT

In this bachelor thesis work is done TV link study in 2020, for the purpose of mediation football matches between studies in Prague and Bratislava. This work deals with optical connections and technology matters to reveal in the transmission of large amounts of data.

KEYWORDS

FIFA, MS, LD, PIN, APD, FDM, WDM, WWDM, DWDM, CDWM, STM, EDFA, IEC, DCF, OTDR, PMD, Optical connection, Football, Prague, Bratislava, Attenuation, Dispersion.

FLIMEL, Peter *Propojení televizních studií*: bakalárska práca. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2013/2014. 69 s. Vedúci práce bol prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému „Propojení televizních studií“ vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce, využitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/nebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorskom, o právach súvisejúcich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), vo znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákoníka č. 40/2009 Sb.

Brno

.....

(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Rád by som poďakoval vedúcemu bakalárskej práce pánu prof. Ing. Miloslavovi Filkovi, CSc. za odborné vedenie, konzultácie a zaujímavé návrhy k práci.

Brno

.....

(podpis autora)



Faculty of Electrical Engineering
and Communication
Brno University of Technology
Purkynova 118, CZ-61200 Brno
Czech Republic
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

POĎAKOVANIE

Výzkum popsaný v této bakalářské práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno

.....

(podpis autora)



EVROPSKÁ UNIE
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



OBSAH

1	Cieľ	11
2	Úvod	12
3	Technologické pojednanie návrhu a riešenie	13
3.1	Vymedzenie problémov	13
3.2	Prenájom vlákna	15
3.3	Požiadavky štúdia na prenos MS	16
3.3.1	Formát videa	17
3.3.2	Špecifikácia video kódeku	17
3.3.3	Špecifikácia audio kódeku	18
3.3.4	Výsledná šírka kanálu	18
3.3.5	Výsledná rýchlosť UP/DOWN	19
3.4	Návrh Systému a technológie vhodného na prenos	20
3.4.1	Voľba topológie	21
3.4.2	Voľba spektrálneho okna vlny	22
3.4.3	Voľba optického kabeľu a vlákna	25
3.4.4	Voľba vlákna	27
3.4.5	Voľba svetelného Zdroja a Detektora	29
3.4.6	Voľba Zosilňovača optického signálu	32
3.4.7	Voľba technológie multiplexu	33
3.4.8	Výber DWDM zariadenia	38
3.4.9	Voľba opto-trasy	39
3.4.10	Výpočet dosahu optického spoja	41
4	Parametre ktoré musí spoj splňovať	43
5	Návrh meracích metód a postupov	46
5.1	Meranie útlmu	47
5.2	Meranie disperzie	51
5.2.1	CD - Chromatická Disperzia	52
5.2.2	PMD - Polarization Mode Dispersion	54
6	Návrh meracích protokolov	56
6.1	Protokol na meranie útlmu :	56
6.2	Protokol na meranie disperzie :	56

7	MERANIE	57
7.1	Meranie Útlmu pomocou OTDR	57
7.1.1	Úvod:	57
7.1.2	Postup a schéma zapojenia:	57
7.1.3	Záver merania k OTDR:	58
7.2	Meranie PMD	60
7.2.1	Úvod:	60
7.2.2	Postup a schéma zapojenia:	60
7.2.3	Záver merania k PMD:	63
8	Záver	64
	Literatúra	65
9	Zoznam skratiek	67
A	Prílohy	68

ZOZNAM OBRÁZKOV

3.1	Schéma procesu vysielania.	16
3.2	Zobrazenie jednotlivých formátov videa, zdroj :[6]	17
3.3	Zobrazenie rozloženia up-streamu a down-streamu v Moltiplexe	19
3.4	Z čoho sa bude skladať náš systém zdroj :[1]	20
3.5	Schéma typológie kruhu	21
3.6	Zobrazenie vlnového spektra a výber spektrálneho okna, zdroj :[1]	22
3.7	Zobrazenie, totálneho odrazu v materiáloch s rozdielnym indexom lomu	23
3.8	Zobrazenie vrstiev káblu Option1 , zdroj :[1]	25
3.9	Zobrazenie optických vlákien z rôznym jadrom, zdroj :[11]	28
3.10	Zobrazenie lomu laserového svetla vo vlákne, zdroj : [4]	28
3.11	Štruktúra laseru, zdroj :[9]	30
3.12	Spektrum laseru, zdroj :[1]	31
3.13	Princíp EDFA zosilňovača, zdroj :[1]	32
3.14	Ukážka Priestorového multiplexu, Duplexu, Vlnového multiplexu [1]	34
3.15	Spektrá LED a LASER DIODY, zdroj :[1]	35
3.16	Schéma použitých opto-prvkov	38
3.17	Mapa zobrazujúca dve opto-trasy, zdroj :[10]	40
5.1	Schéma princípu merania útlmu Cut-back, zdroj:[1]	47
5.2	Schéma princípu merania útlmu Insertion-loss, zdroj :[1]	48
5.3	Schéma princípu merania útlmu OTDR, zdroj :[15]	48
5.4	Ideálna, OTDR, zdroj :[15]	49
5.5	Prejav bodových porúch pri meraní pomocou OTDR, zdroj :[1]	50
5.6	Zmena šírky impulzu spôsobená disperziou :[1]	51
5.7	Zmena šírky impulzu spôsobená CD (Chromatickou disperziou) :[17]	52
5.8	Zobrazenie materiálovej a vlnovodovej(závysla od rôznej rýchlosti distribúcie svetla v strede a na krajoch vlnovodu) disperzie ktoré tvo- ria chromatickú disperziu.	53
5.9	Ukážka Disperzie.	54
5.10	Schéma merania PMD interferometrickou metódou, zdroj :[1]	55
5.11	Ukážka ako sa meria PMD, zdroj :[17]	55
5.12	Príklad výstupu z merania interferometrickou metódou , zdroj :[1]	55
7.1	Schéma zapojenia merania pomocou OTDR.	57
7.2	Výstup z merania metódou OTDR.	58
7.3	Meranie PMD na 120km vlákne.	61
7.4	Meranie PMD na 120km vlákne s 5ps emulátorom.	61
A.1	Schéma použitých opto-prvkov	68

A.2	Mapa zobrazujúca dve opto-trasy, zdroj :[10]	69
-----	----------------------------------------------	----

ZOZNAM TABULIEK

3.1	Cenová ponuka na prenájom opto-vlákien.	15
3.2	Cena na rok, jedného opto-vlákna bez Dph	15
3.3	Cena na mesiac prenájomu, jedného opto-vlákna bez Dph	16
3.4	Špecifikácia rozlíšenia.	17
3.5	Špecifikácia audio kódeku	18
3.6	Rozdelenie svetelného spektra	24
3.7	Zobrazenie Vyberú vlákna aj s parametrami	27
3.8	Prvá trasa PRAHA - BRATISLAVA	39
3.9	Druhá trasa BRATISLAVA - PRAHA	39
3.10	Výpočet útlmu na zvaroch (útlm jedného zvaru = 0,03 dB)	41
3.11	Výkonostná Rezerva vzniknutá použitím detektora a vysieláča.	41
3.12	Maximálna možná vzdialenosť s výkonnostnou rezervou.	42
3.13	Výpočet akú vzdialenosť je potrebné prekonať EDFA zosilňovačom.	42
3.14	O koľko dB je potrebné zosilniť signál pozdĺž trasy, vzhľadom na útlm.	42

1 CIEĽ

Úkolem práce je návrh propojení dvou televizních studií, konkrétně Kavčí Hory (Praha) a Kamzík (Bratislava), jako příprava na propojení evropských studií pro přenosy MS ve fotbale v roce 2020. Předpokládáme pronajom vlákna od operátorů, jaký systém je vhodný pro tento přenos, návrh vhodné technologie, definice parametrů, které musí takové spoje splňovat, návrh měřicí metody a postupov, návrhy měřících protokolů aj.

2 ÚVOD

Táto práca sa zaoberá možnosťou ako uskutočniť optické spojenie medzi dvoma mestami, ktoré sú od seba vzdialené približne 329 km. Za účelom prepojenia dvoch televíznych štúdií v Bratislave a Prahe a to tak, aby bola k dispozícii dostatočná kapacita pre tranzmit niekoľko video i audio kanálov. Návrh bude počítat s určitým percentuálnym navýšením potrebnej kapacity, aby boli splnené určité zabezpečovacie požiadavky.

Majstrovstvá sveta vo futbale sa uskutočnia v Prahe a to s využitím všetkých dostupných štadiónov. Z toho vyplýva aj náročnosť na kapacitu prípojov medzi štúdiom v Čechách a tranzmit týchto signálov do ostatných členských krajín zastúpených v dohode „FIFA World Cup“. Jedna z týchto krajín je aj Slovensko, konkrétne štúdio v Bratislave na Kamzíku. Tu bude prebiehať spracovanie video/audio kanálov, ktoré budú už pred-pripravené mini-štúdiom v Prahe pracujúce na výstupe pre Bratislavu. Prepoje medzi štadiónmi a štúdiom nebude súčasťou tejto práce (štúdiá tieto prepoje majú vyriešené), obsahom bude len technológia a spôsob prepojenia medzi štúdiami v Prahe a Bratislave.

Technológia bude zvolená tak aby spĺňavala primeranú kapacitu vzhľadom na cenu, ktorú je v tejto dobe možné dosiahnuť. Bude sa jednať o optické spoje s využitím laserových technológií. Ako zdroj svetelného signálu bude použitý laser, ktorý ma dostatočujúci svetelný výkon a úzky svetelný lúč (čo má za následok väčšiu presnosť a menšiu stratovosť spôsobenú rozptylom). Pasívne prvky optických technológií majú vysokú priepustnosť, preto nebudeme musieť v takom počte voliť opakovače signálu počas celej dĺžky trasy. Optické riešenia majú, v porovnaní s ostatnými technológiami, oveľa lepšie zabezpečenie voči odpočúvaniu, ktoré donedávna nebolo možné.

Keďže v dnešnej dobe je lepšie si optické spoje, vzhľadom na finančnú náročnosť, ktoré nám poslúžia na prenos nosnej vlny prenajať ako zriadiť, preto sme sa rozhodli riešiť optický spoj prenájmom. Oslovili sme všetkých operátorov na trhu, ktorí disponujú s vlastníkymi právami na optické trasy a požiadali sme ich o vytvorenie ponuky pre naše účely. Najlepšie obstál operátor O2, ktorý zabezpečí optické vlákna na uvažovaný prenos. Približné cenové náklady rozoberieme v ďalšej kapitole.

Dnešná situácia na poli prenosových technológií, z hľadiska materiálového i technologického, sa výrazne líši od situácie spred niekoľkých rokov. Technologický pokrok napreduje míľovými krokmi. Preto sa touto pracou pokúsime odhaliť čo nám svet technológie dnes dovoľuje.

3 TECHNOLOGICKÉ POJEDNANIE NÁVRHU A RIEŠENIE

3.1 Vymedzenie problémov

V tejto kapitole rozoberieme základne problémy, ktoré budeme musieť počas návrhu vyriešiť aby sme dospeli k zadanému cieľu.

Budeme sa zaoberať prenájmom vlákna a výberom vhodných kandidátov na poskytnutie prenájmu optických vlákien a to na území Slovenska a Čiech. Potom to bude hľadanie vhodného systému na prenos, ktorý bude pozostávať z rozboru dostupných technických riešení a následného určenia tej najlepšej, ktorý bude zodpovedať všetkým zadaným kritériám.

Nadväzovať na zvolenú systémovú technológiu bude návrh fyzickej technológie, to znamená voľba fyzických rozhraní pre správne fungovanie prenosu.

No a pravdaže, ako ďalší krok bude špecifikovanie parametrov, ktoré budeme musieť dodržať aby sme dosiahli požadovanú kvalitu, presnosť a minimálnu stratovosť dátových rámcov po trase.

Ďalším bodom je návrh meracích metód a postupov s ktorými budeme môcť otestovať navrhnutú technológiu a otestovať záťaž trasy pri prenose.

Návrh meracích protokolov bude v úzkom súlade s predchádzajúcou kapitolou.

Prácu ukončíme meraním útlmu a polarizačnej disperzie na vlákne ktoré bude totožné s vláknom v navrhutej trase.

Ak by sme to mohli dané otázky preniesť do jednotlivých bodov budú to tieto :

- 3.2 Prenájom vlákna
- 3.3 Požiadavky štúdia na prenos MS
- 3.4 Návrh Systému a technológie vhodného na prenos
 - 3.4.1 Voľba topológie
 - 3.4.2 Voľba spektrálneho okna vlny
 - 3.4.3 Voľba optického kabeľu
 - 3.4.4 Voľba vlákna
 - 3.4.5 Voľba svetelného zdroja a detektora
 - 3.4.6 Voľba zosilňovača optického signálu
 - 3.4.7 Voľba technológie multiplexu
 - 3.4.8 Výber DWDM zariadenia
 - 3.4.9 Výpočet dosahu optického spoja
 - 3.4.10 Voľba trasy
- 4 Parametre ktoré musí spoj spĺňať.
- 5 Návrh meracích metód a postupov.
- 6 Návrh meracích protokolov.
- 7.1 Meranie Útlmu pomocou OTDR
- 7.2 Meranie PMD

3.2 Prenájom vlákna

Tak ako sme spomenuli v úvode, tak na prenájom optických vlákien sme vypísali výberové konanie s týmito podmienkami- najlepšia cena a dĺžka obdobia pôsobenia spoločnosti na trhu (to znamená čím dlhšia pôsobnosť tým väčšia pravdepodobnosť, že spoločnosť má v danom odbore skúsenosti). Túto problematiku výberu nebudeme podrobnejšie rozoberať, keďže výsledkom tejto práce má byť technické a nie ekonomické riešenie.

Môžeme teda uzavrieť túto časť s predbežnými cenami na ktorých sme sa dohodli so spoločnosťou, ktorá vyhrala túto súťaž.

A tu je výsledná cenová ponuka.

Tab. 3.1: Cenová ponuka na prenájom opto-vlákien.

Dĺžka v [m]	cena za [m] EUR/m
do 100 m	1,659
200 - 300 m	1,394
500 - 800 m	1,194
nad 1000m	0,995

V tabuľke 3.1 sú vidieť jednotlivé ceny na [m] a to bez Dph a cene platnej na 1 vlákno za rok. Pri našej požiadavke prenájmu optického vlákna (počet vlákien špecifikujeme neskôr, pretože to bude záležať od parametrov ktoré budeme špecifikovať v ďalších kapitolách). Pre dĺžky okolo 329 km bude pre nás platiť cena 0,995 EUR na [m]. Čo vychádza približne

Tab. 3.2: Cena na rok, jedného opto-vlákna bez Dph

Dĺžka v [m]	cena za [m] EUR/m	Celková cena za rok v EUR
329 000	0,995	327 355

V tabuľke 3.2 je výsledná cena za rok. Keďže my nebudeme potrebovať prenájom celý rok vzhľadom na cenu nám spoločnosť O2 vyšla v ústrety a prenajala opto-vlákna na minimálnu dobu 1 mesiac, čo nám znížilo cenu na 1/12 ako vidieť v tabuľke 3.3.

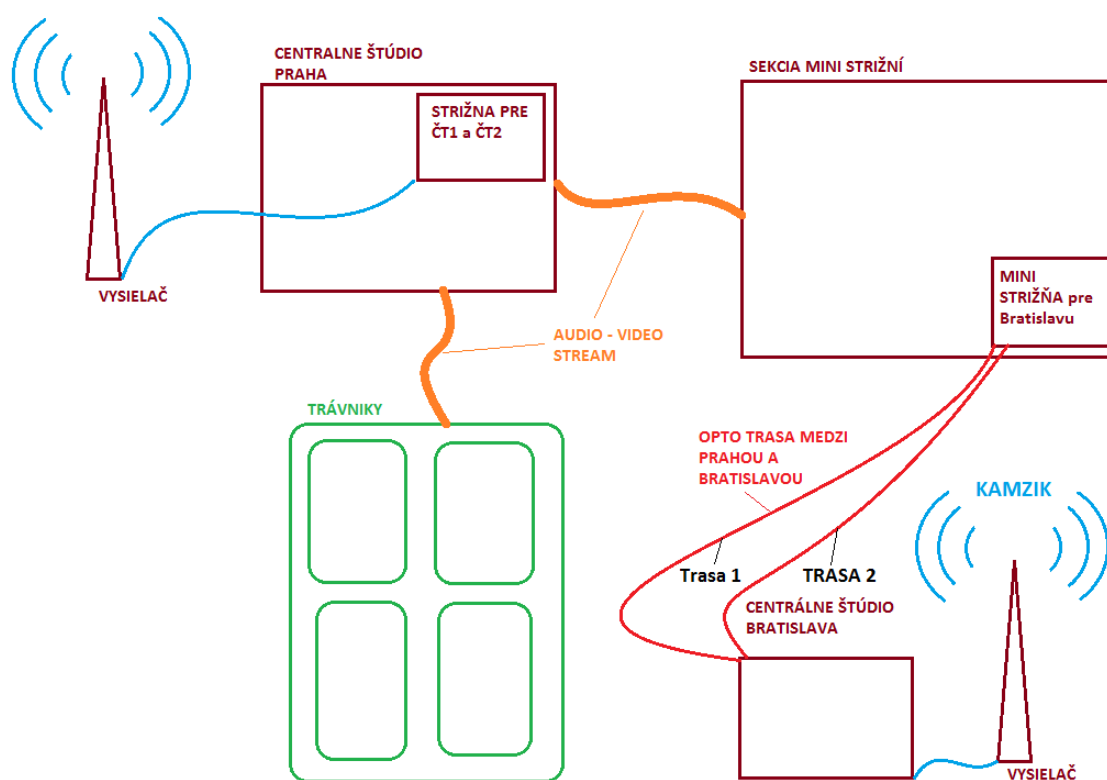
Takže toto by bolo k cene všetko. Výslednú cenu z tejto kapitoly na záver vynásobíme počtom vlákien, ktoré budeme potrebovať na prenos dátových zložiek.

Tab. 3.3: Cena na mesiac prenájmu, jedného opto-vlákna bez Dph

Dĺžka v [m]	cena za [m]	Celková cena za mesiac v EUR
329 000	0,082916	27 279,58

3.3 Požiadavky štúdia na prenos MS

Najprv si musíme povedať ako bude vyzerat komunikácia medzi Bratislavou a Prahou. Všetko je pekne viditeľné na obrázku 3.1. Keďže sa jedná o MS, prenos bude prebiehať LIVE, k tomu budú musieť byť prispôsobené technológie.



Obr. 3.1: Schéma procesu vysielania.

Na obrázku je vidieť že zápasy, ktoré sa budú odohrávať v Prahe budú snímame nešpecifikovaným počtom kamier (LIVE). Tieto dátové toky budú distribuované centrálnym štúdiom cez VIDEO/AUDIO zbernicu priamo k jednotlivým mini-strižňam štátov, ktoré budú mať zastúpenie v Prahe. Budú sa nachádzať v centrále multi-mediálneho výstupu. Inak povedané, každá krajina tu bude mať svoj mini-team strihačov, ktorý bude rozhodovať ktorá kamera sa v tom čase zobrazí divákovi na TV obrazovke v domovskej krajine.

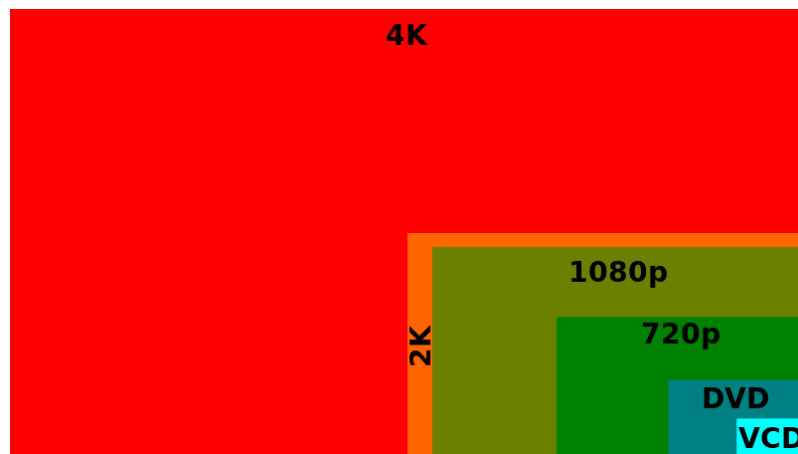
Z tohto modelu vyplýva, že najväčší dátový tok bude spracovávaný priamo v centrále a domov sa bude už posielat komprimovaný signál v kódeku, ktorý špecifikujeme nižšie, čo umožní zníženie nároku na dátový tok medzi Prahou a Bratislavou.

3.3.1 Formát videa

Hlavný dátový tok bude pozostávať z dvoch multimediálnych kanálov a to z Prahy do Bratislavy. Budú to kanály určené pre televíziu STV1 a STV2.

Tab. 3.4: Špecifikácia rozlíšenia.

Format	Resolution	Display aspect ratio	Pixels [suma]
4k ultra	3840 × 2160	1.78:1 (16:9)	8,294,400



Obr. 3.2: Zobrazenie jednotlivých formátov videa, zdroj :[6]

3.3.2 Špecifikácia video kódeku

Video bude kódované formátom H265 High Efficiency Video Coding ZDROJ: [5] a [7] v komprimovanom formáte budú nastavené parametre pre maximálnu kvalitu komprimácie s YCbCr farebným pod vzorkovaním 4:2:2). Použitý kódek bude pracovať z efektívnosťou o 50% lepšou ako súčasne najviac používaný kódek H264. Kódek H265 bude mať maximum bit rate 340 Mbit/s, v akom budú kódované aj naše 2 video kanály. Vysielanie bude fungovať na protokole UDP, kde nebude potrebné potvrdzovanie prijatia paketov, preto nebude vyžadovaný spätný prenos aj keď ho zabezpečíme pre prípadné potreby

3.3.3 Špecifikácia audio kódeku

Pre audio kódek bude použitý kódek : Dolby Digital Plus. Zdroj : [8]

Tab. 3.5: Špecifikácia audio kódeku

Odborný názov	počet kanálov	bit rate
E-AC-3 [5]	od 1 do 7.1	3.0 Mbit/s

3.3.4 Výsledná šírka kanálu

Výsledná šírka kanálu požadovaná štúdiom smerom z Prahy do Bratislavy je daná vzorcom (3.3). Dospeli sme k tomu tak že sme jednoducho spočítali dátový (3.1) tok audia (3.2) a videa. Ako náhle sme mali dátový tok, zostávalo nám vyhradiť počet vln, ktoré budeme používať pre upload a download v multiplexe. Keďže sme vedeli, že na jednu vlnu je možné nemodulovať 156,25 Mb/s, vydělili sme požadovanú hodnotu týmto číslom a dostali sme počet potrebných vln, ktoré by boli určené pre down-stream z pohľadu Bratislavy. Výpočet je realizovaný vzorcom (3.4)

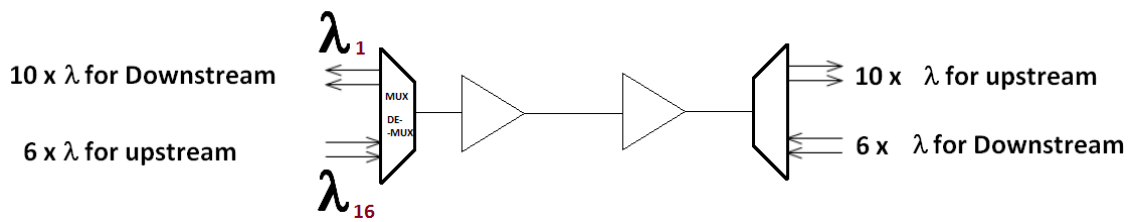
$$V_r = 2 \times 340 \text{ Mb/s} = 680 \text{ Mb/s} \quad (3.1)$$

$$A_r = 2 \text{ Mb/s} = 6 \text{ Mb/s} \quad (3.2)$$

$$M_r = V_r + A_r = 680 \text{ Mb/s} + 6 \text{ Mb/s} = 686 \text{ Mb/s} \quad (3.3)$$

$$N = 689 / 156,25 = 4,409 \quad (3.4)$$

Výsledný počet nám zaokrúhlene vyšiel 5, ale keďže uvažujeme v prípade potreby poslať ešte jeden kanál, ako rezervný, zvyšujem túto hodnotu na 10 vln pre down-stream. Zvyšných 6 vln použijeme na spätný prenos (UPSTREAM z Bratislavy) tak ako je to vidieť na obrázku 3.3.



Obr. 3.3: Zobrazenie rozloženia up-streamu a down-streamu v Multitplexe

3.3.5 Výsledná rýchlosť UP/DOWN

Výsledná rýchlosť je závislá od použitého zariadenia, viac v kapitole [3.4.8]

Nami určené vlny z pohľadu z Bratislavy sú:

- 10 Vln pre DWONSTREAM
- 6 Vln pre UPSTREAM

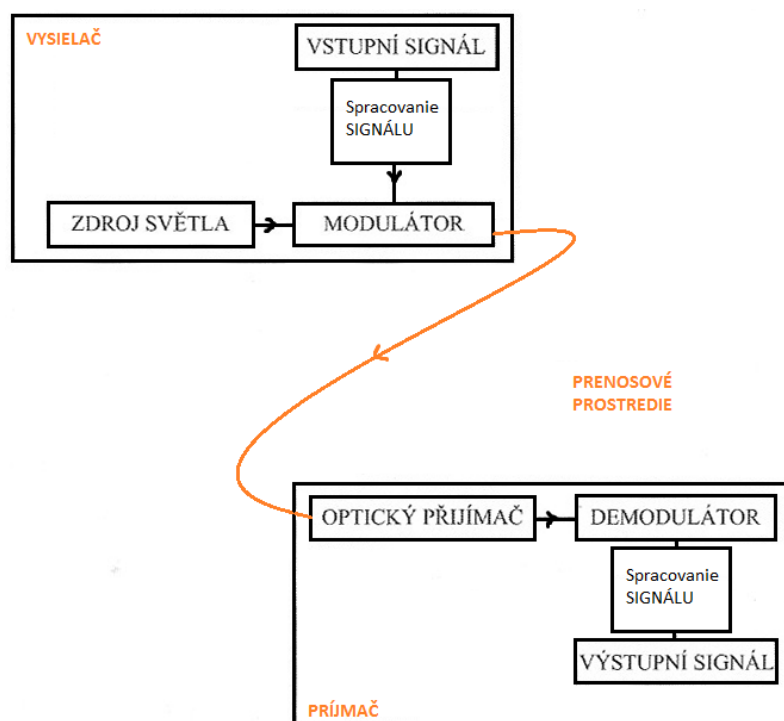
Pre zadefinovanú kapacitu prenosu 156,25 MB/s na vlnu je kapacita daná na úrovni.

- Pre **DWONSTREAM 1562,5 MB/s**
- Pre **UPSTREAM 937,5 MB/s**

3.4 Návrh Systému a technológie vhodného na prenos

V tejto kapitole budeme pojednávať nad voľbou vhodného systému na prenos video signálov, ďalej už len dátový tok. Povieme si niečo o technológiách prenosu. A zvolíme si tu správnu na prenos. Ale ako prvé musíme zadefinovať ako bude vyzeráť náš systém.

Teda systém sa bude skladať z vysielačej a prijímacej strany. Za zdroj svetla v našom prípade volíme laser, keďže výkonnostne zodpovedá požiadavkám na komunikáciu na dlhé trasy. Viac v časti [3.4.5].



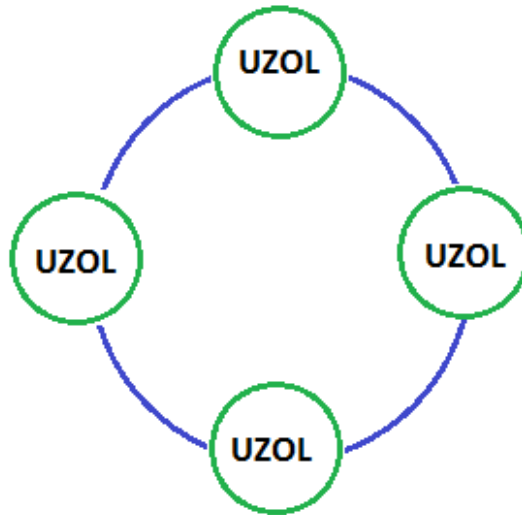
Obr. 3.4: Z čoho sa bude skladať náš systém zdroj :[1]

Na obrázku 3.4 je náčrt z akých modulov sa bude skladať náš prenosový systém.

Modulátor slúži na modelovanie zdroja svetla. **Vstupný signál** pochádzajúci z prostredia elektrického. Hlavnou úlohou vysielačej a prijímacej časti je previesť elektrický signál do optického prostredia a naopak s čo najmenšími stratami, toto kladie na prijímač zvýšený nárok pre voľbu správneho pomeru signál/šum. **Obvody spracovania signálu** radíme sem hlavne obvody pre kódovanie, združovanie, multiplexory.

3.4.1 Voľba topológie

Voľba topológie je veľmi dôležitou súčasťou zostavovania optickej komunikačnej trasy, pretože bude zabezpečovať v prípade poruchy náhradnú alternatívu. Toto všetko je možné pri Kruhovej topológii, z toho vyplýva nevyhnutnosť zostavenia 2 nezávislých trás, tak aby pri poruche jedného vlákna bolo k dispozícii druhé. Najlepšie to vidieť na obrázku 3.5.



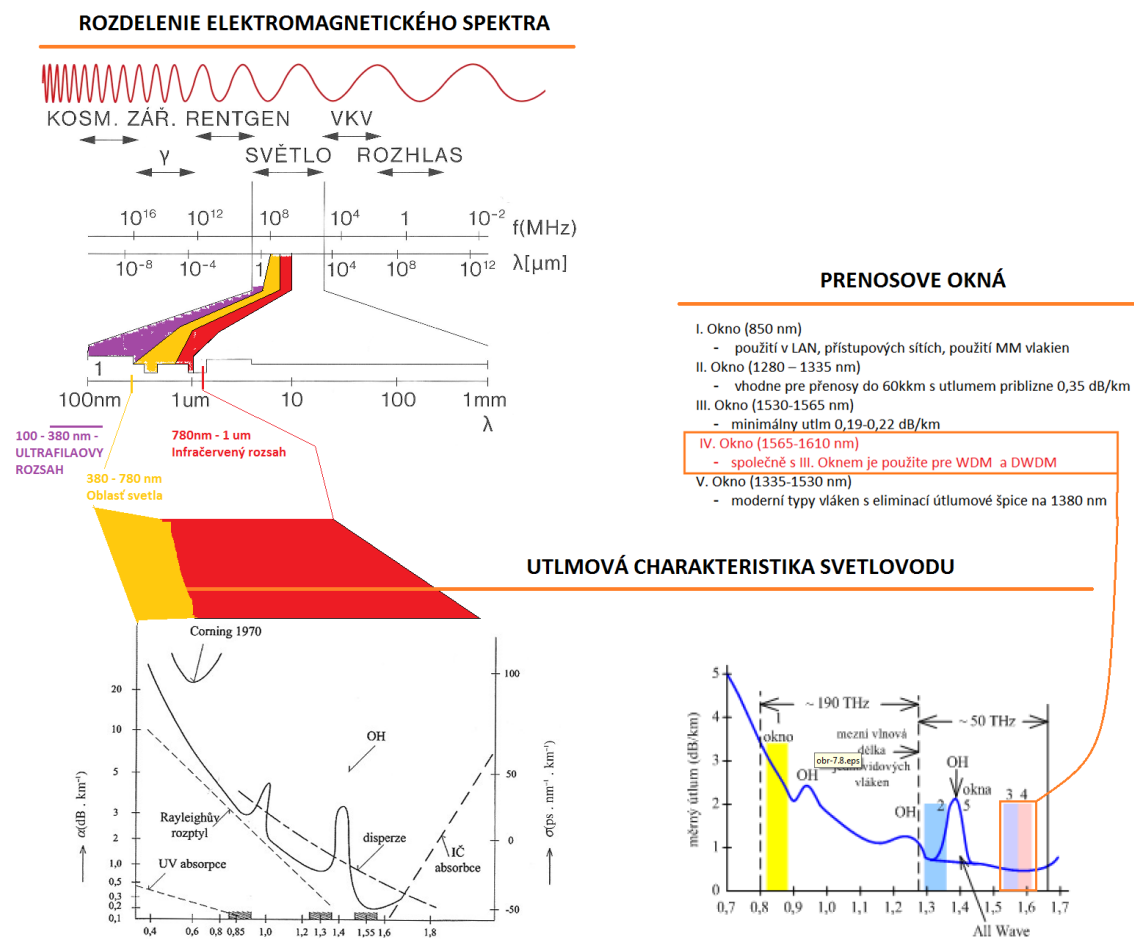
Obr. 3.5: Schéma typológie kruhu

Z tohoto faktu nám vyplýva, že počet opto-vlákien a tras do mesta Praha bude rovné dvom.

Telekomunikačná spoločnosť nám zabezpečila pre zvolenú typológiu bočnú trasu cez mestá, ktoré budú rozobrané v sekcii voľba Trasy [3.4.9].

3.4.2 Voľba spektrálneho okna vlny

Ako prvé by som mal začať základom našej zvolenej prenosovej formy a to svetlom, keďže sme sa rozhodli pre optický prenos, svetlo je jeho základ. Začalo sa to všetko 1880, kedy A.G.BELL urobil prvé pokusy prenosu informácie za pomoci svetla kde nechal fokusovať svetlo na zrkadlo na membráne reproduktora, z ktorej odraz smeroval (v zjednodušenej forme, pokus bol pravdaže komplikovanejší) na tyčinku, ktorej odpor sa menil v závislosti od intenzity svetla (v tomto variante môžeme hovoriť o membráne ako modulátore svetelného lúču a na tyčinku reagujúcu na intenzitu svetla môžeme pozeráť ako prevodník svetelného signálu na elektrický). Takže toto bol základ, od roku 1880 prešlo dostatok času aby sme technológiu prenosu svetelným lúčom posunuli. V dnešnej dobe požívame na-modulovaný svetelný lúč, v rôznej vlnovej dĺžke (to znamená, že máme už dnes k dispozícii veľkú šírku pásma) ako vidieť na grafe 3.6. Je na ňom úplne zreteľné, že voľba vlnovej dĺžky nie je ľubovoľná ale sme omedzení útlmom. Preto voľbu vlnovej dĺžky volíme tak, aby sme mali čo najmenší útlm.



Obr. 3.6: Zobrazenie vlnového spektra a výber spektrálneho okna, zdroj :[1]

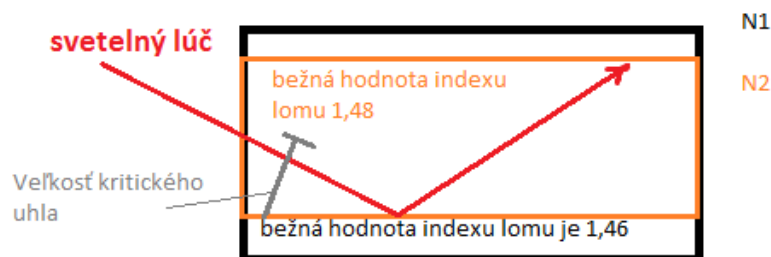
Aby sme mohli hovoriť o útlme musíme najprv vysvetliť prečo svetelný lúč cestuje svetelným vláknom s takou veľkou efektívnosťou aj na veľké vzdialenosti. Ide o princíp úplného odrazu. Tento fyzikálny jav vzniká v prostrediach, ktoré majú rozdielne indexy lomu a to presne definovaným spôsobom. Aby sme tomuto vyjadreniu pochopili, musíme si povedať z čoho je index lomu odvodený. Je to samotná rýchlosť svetla, ktorá je definovaná okolo 300 miliónov metrov za sekundu, čo už samotná predstava tejto rýchlosti nás dostáva do údivu. No a existujú rýchlosti svetla, ktoré nemajú takúto rýchlosť a to preto, lebo sa pohybujú v inom prostredí ako je vzduch napríklad sklo, voda. Preto ak niekto hovorí o rýchlosti svetla ešte to nie je nič jednoznačné, pretože nevieme o aké prostredie sa jedná. No a na to slúži samotný index lomu, ktorý nám zadefinuje túto vzťažnú jednotku vo vyjadrení rýchlosti svetla v danom materiáli (vzťažnú jednotku rozumieme ako rýchlosť vo vákuu). Takže index lomu je definovaný vzťahom (3.5).

$$n_m = \frac{c_m}{c_v} \quad (3.5)$$

c_v - rýchlosť svetla vo vákuu

c_m - rýchlosť svetla v meranom materiáli

Keď sa na tento vzťah pozrieme je nám jasné, že index lomu nebude nižší ako 1. Ak by to tak bolo, rýchlosť svetla by bola v danom materiáli rýchlejšia ako svetlo vo vákuu a to podľa súčasných fyzikálnych vedomostí nie je možné. No a kedy teda dochádza k úplnému odrazu v opto-vláknach? Práve vtedy, keď index lomu plášte je menší ako index lomu jadra (rýchlosť svetla v plášti je väčšia ako rýchlosť svetla v jadre). a zároveň uhol dopadu na rozmedzie dvoch prostredí nesmie prekročiť kritickú hodnotu. Viz. obrázok 3.7.



Obr. 3.7: Zobrazenie, totálneho odrazu v materiáloch s rozdielnym indexom lomu

Prenos svetelného lúča vo vlákne ale nie je závisle len od indexu lomu, je závisle ale aj od útlmu materiálu voľby správnej dĺžky vlny. Keďže dĺžka vlny výrazne vplýva na útlm v danom materiály pozrieme sa na túto problematiku.

Pri optickom prenose je nositeľom informácie svetelná vlna. Samotná optická oblasť je obmedzená z dola (z oblasti nízkych kmitočtov) Mikrovlnným žiarením a z hora zase (oblasti vyšších kmitočtov) Röntgenovým žiarením. Túto optickú oblasť môžeme rozdeliť na 7 časti ako vidieť v 3.6.

Tab. 3.6: Rozdelenie svetelného spektra

Časti	Názov spektra	vlnová dĺžka
3	Ultrafialové	100 nm - do - 380 nm
1	oblasť svetelná	380 nm - do - 780 nm
3	Infračervené	780 nm - do - 1 μm

Ako vidieť na obrázku 3.6 pri optických prenosoch je využívané práve pásmo v infračervenej oblasti (0,5 – 1,6 μm) a to predovšetkým v pásme 1,3 až 1,6 μm kde je výrazne menší útlm v oblasti absorpcii materiálom, Rayleighovým rozptylom a minimálnou hodnotou materiálovej disperzie.

Pre toto rozmedzie vlnovej dĺžky sú vyvinuté výkonné zdroje a detektory žiarenia a to hlavne preto, že práve tu sú najmenšie straty. Nadväzujúc na tieto rozsahy boli vyvinuté i optické káble, ktoré splňujú nízku útlmovosť.

POZNÁMKA : Ak by sme sa chceli pohybovať ešte do vyšších kmitočtov, ako vedieť na obrázku 3.6, tak by sme boli zabrzdení narastajúcim útlmom v infračervenej oblasti spôsobenej hlavne nízkou energiou fotónov a odolnosťou prijímačov voči rušivým signálom.

Ak by sme šli do nižších frekvencií (na grafe do oblasti ultrafialových) tam by sme narazili na problém materiálov, ktoré majú v týchto oblastiach vyššie útlmy.

Z doteraz vysvetlených príčin volíme pracovne okno 3 a 4 podľa grafu 1 pre voľbu použitej vlny nášho dátového prenosu, keďže ako vysvetlíme neskôr v kapitole pri použití vlnového multiplexu budeme využívať vln viac. Môžeme povedať, že sme si zvolili pracovne okno, z ktorého bude použité určité množstvo vln na pokrytie dátovej kapacity nášho projektu.

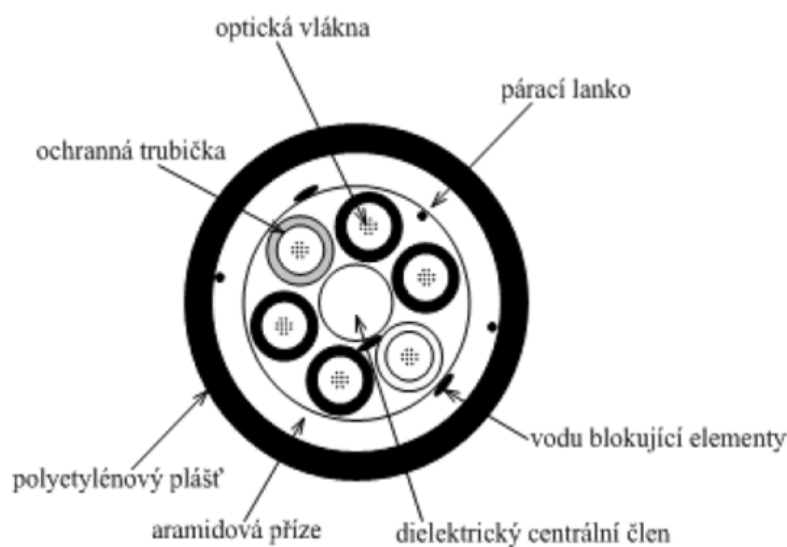
Druh Prenosového okna využijeme z rozsahu 3 a 4 podľa obrázku 3.6.

3.4.3 Voľba optického kábelu a vlákna

Bohužiaľ túto časť prenosovej sústavy si voľiť nemôžeme, keďže sme zvolili trasu formou prenájmu, ale od operátora máme zadefinovaný použitý kábel, ktorý zodpovedá najmodernejším požiadavkám. Keďže krajiny ako Čechy a Slovensko patrili do oblasti, na ktorú bolo uplatňované embargo do roku 1990 na dovoz optiky, nemali tieto krajiny prístup k týmto technológiám. Všetko sa ale zmenilo zrušením embarga, čo nám prinieslo jednu výhodu a to tú, že sa začali budovať siete z najmodernejšou technológiou a neboli sme obmedzení nainštalovanou staršou architektúrou siete.

Z toho vyplýva fakt že väčšina optických sietí v týchto krajinách spĺňajú charakter najmodernejšej siete.

Dodávateľom zadefinovaný kábel je **OPTION1**, tak ako môžeme vidieť na obrázku 3.8



Obr. 3.8: Zobrazenie vrstiev káblu **Option1**, zdroj :[1]

Tento kábel, **OPTION1** (Outside Plant to indoor optical network) je to plne dielektrický univerzálny optický kábel so suchým vnútorným dušou. Táto vlastnosť práve umožňuje chrániť kábel nehorľavým plášťom bez obsahu halogénových prvkov LSZH (Low smoke zero halogen) a umožňuje použitie kábelu vo vnútornej časti budov ale čo je dôležitejšie je ho možné využiť na prechod z vonkajšieho prostredia do vnútorného. Na čo sa často využíva.

Jeho konštrukcia je podobná s káblami určenými pre vonkajšie použitie, pretože spĺňa všetky ťahové a mechanické vlastnosti. Preto je ho možné použiť aj na vonkajšie použitie.

Konštrukcia

Je založená na konštrukcii LOSE TUBE. V tejto konštrukcii sú chránené optická vlákna trubičkou sekundárnej ochrany, čo vlastne znamená v jednoduchosti že vo veľkej trubici sú ďalšie menšie trubičky (sekundárne) a až v tých sú optické vlákna. Tieto trubičky sú ovinuté okolo centrálného dielektrického ťahového prvku. Odolnosť voči prieniku vody je zabezpečená pomocou suchých pások napustených SAP (Super absorbent polymér). Ťahovú odolnosť zabezpečuje ARAMITOVA PRIAZA, ktorá spĺňa ohňovzdornosť vďaka zloženiu (obsahuje LSZH zložky).

Ako sme si povedali jeho použitie je teda vhodné na vonkajšie i vnútorné použitie, to je veľká výhoda hlavne pri ukončovaní kábelu, lebo není nutné riešiť prechod z vonkajšieho kábelu na vnútorný.

Ako Typ kábla pre vlákna využijeme kábel typu : OPTION1

3.4.4 Voľba vlákna

K vláknu by sa patrilo povedať aspoň trochu teórie. V súčasnosti sa využívajú dva druhy vlákien pri optických prenosoch a to **MNOHOVIDOVA** a **JEDNOVIDOVA**.

MNOHOVIDOVA

V tomto mediu sa prenáša viac lúčov naraz (vidov), každý do média vstupuje pod iným uhlom preto cestuje aj po trochu inej dráhe. Vďaka tomuto na výstupe vystupujú lúče s určitým posuvom (vidová disperzie), ale tieto vidy sa nevyhodnocujú samostatne ale ako súčet vidov. Tento jav ma za následok skreslený deformovaný výstup, táto deformácia bude o to horšia o čo bude médium dlhšie. Preto sa toto médium používa na kratšie vzdialenosti (napr. v priestoroch areálu) s rýchlosťou 10 Mbit/s až 10 Gbit/s na vzdialenosti do 600 metrov. Mnoho-vidové vlákna môžu mať zmeny indexu lomu skokovite alebo s gradientom, od toho závisí odraz (skokovitý alebo s pozvoľným ohybom).

Veľkosť jadra môže byť na úrovni 50 až 200 mikrometrov, obrázok 3.9 - A a B.

JEDNOVIDOVA

Vedú len jeden vid (jeden lúč) totálne bez odrazu. Nedochádza k disperzii preto sa využíva na väčšie vzdialenosti a väčšie rýchlosti. Z fyzikálneho hľadiska sú tenšie, drahšie, krehkejšie a náročnejšie na manipuláciu ako viac-vidové vlákna.

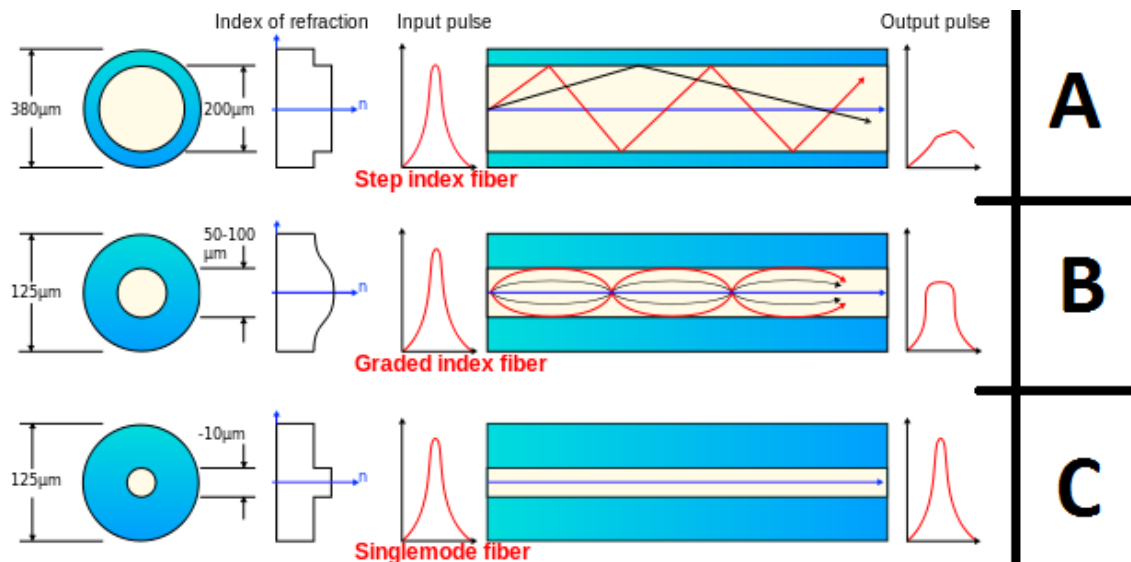
Veľkosť jadra môže byť na úrovni 4 až 10 mikrometrov, obrázok 3.9 - C A, za-
definované vlákno dodávateľom služby je SM 1,55 μm , ktoré je jedno-vidové.

Tab. 3.7: Zobrazenie Vyberú vlákna aj s parametrami

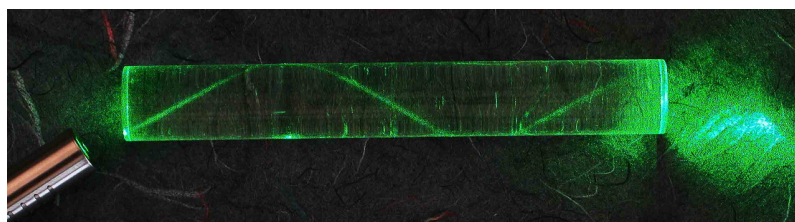
VOLBA VLAKNA		
VLAKNO	UTLM [db / km]	MAX VZDIALENOST BEZ AKTIVNYCH PRVKOV PRI 52 DB ÚTLMU [km]
GI 0,85 μm	3,5	15
GI 1,3 μm 1,2 dB/km	1,2	43
SM 1,31 μm	0,7	74
SM 1,55 μm	0,3	173

Ako TYP vlákna použijeme : **JEDNOVIDOVÉ SM 1,55 μm** .

Ako dodatok k tejto časti som si nemohol odpustiť veľmi pekný obrázok 3.10, znázorňujúci lom svetla vo vlákne.



Obr. 3.9: Zobrazenie optických vlákien z rôznym jadrom, zdroj :[11]



Obr. 3.10: Zobrazenie lomu laserového svetla vo vlákne, zdroj : [4]

3.4.5 Voľba svetelného Zdroja a Detektora

Zdroj svetla:

Ako svetelný zdroj sme vybrali LD (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – inak povedané zosilňovanie svetla stimulovanou emisiou žiarenia).

Ide o zdroj svetelného žiarenia (elektromagnetického), ktorý sa líši od bežného zdroja svetla tým že je vyžarovaný vo forme určitého zväzku, má teda vlastnosť koherentnosť a monochromatickosť. Z toho vyplýva že laser emituje fotóny v koherentnom lúče. Princíp laseru využíva zákony termodynamické a kvantové.

Princíp laseru

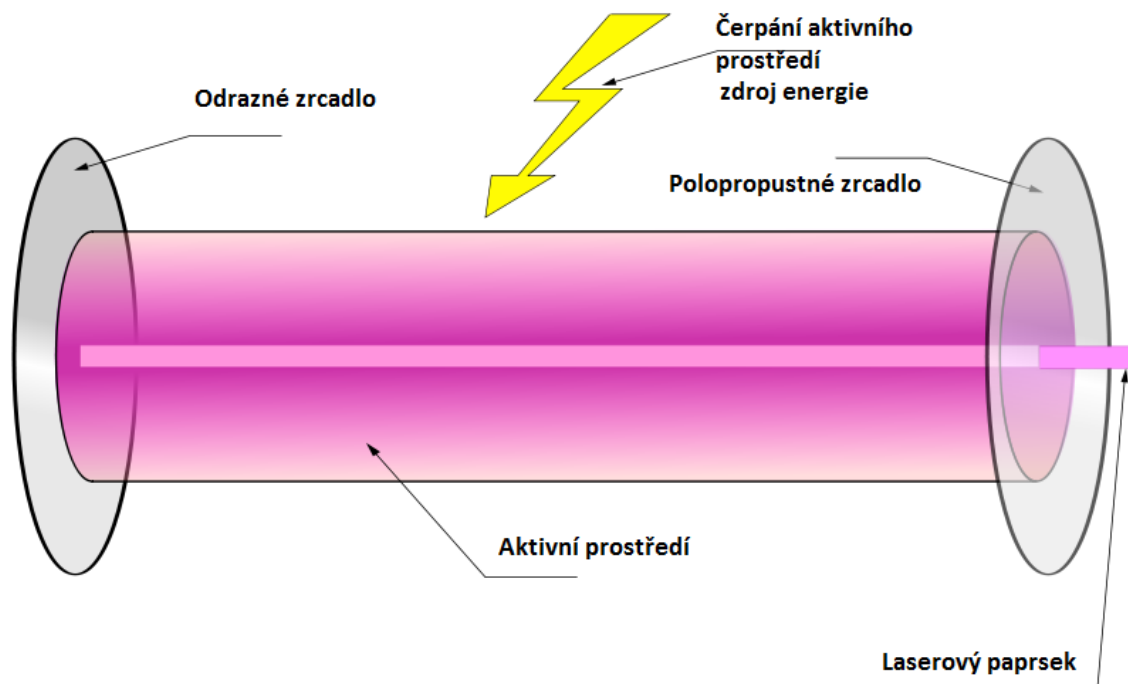
Laser obsahuje:

- Aktívne prostredie
- Rezonátor (Odražové zrkadlá)
- Zdroj energie

Zdrojom energie, napríklad neónový zdroj, je do aktívneho média vpumpovaná energia, ktorá vybudí elektróny aktívneho prostredia do vyššej energetickej hladiny, dôjde k takzvanej excitácii. Takto je vybudená do vyšších vrstiev väčšina elektrónov a hovoríme o inverzii populácie. Pri opätovnom prestupe do nižšej hladiny dochádza k vyžiareniu energie vo forme fotónov a tieto fotóny interagujú s ďalšími elektrónmi, čím spúšťajú stimulovanú emisiu fotónov s rovnakou frekvenciou a fázou. Vďaka rezonátorom dochádza k opätovnému prechodu fotónov aktívnym prostredím, čo zapríčiňuje ďalšiu stimulovanú emisiu a dochádza zároveň k exponencialnemu zosilneniu toku fotónov. Výsledný zväzok opúšťa rezonátor polo priepustným zrkadlom. Ku generovaniu laseru musí byť splnená prahová podmienka minimálneho zisku.

Treba si dať pozor pri výbere vhodného typu LD (ako zdroju svetla), pretože štruktúra súčiastky LD ovplyvňuje závislosť na teplote prípadne spektrálnu závislosť.

Na obrázku 3.12 je vidieť spektrálnu charakteristiku laseru aj v prípade ostrého naladenia rezonátoru na vlnovú dĺžku. Intenzita žiarenia nebude iba v jednej vlnovej dĺžke ale bude intenzita rozdelená v určitom intervale vlnových dĺžok. Zaujímavý fakt je ten, že so vzrastajúcim prúdom bude narastať aj intenzita žiarenia, čo je



Obr. 3.11: Štruktúra laseru, zdroj :[9]

základný princíp modulovania určitých vlnových dĺžok. Ďalším faktom zostáva, že zo zvyšujúcou teplotou dochádza k posuvu spektrálnej charakteristiky.

Generované žiarenie **LD** v súčasnosti pokrýva celé spektrum vlnových dĺžok, ktoré využívame v telekomunikácii. ($0,85 \mu\text{m}$ až $1,55 \mu\text{m}$).

Ako zdroj svetelného signálu vyberáme prvok : **LASEROVA DIODA.**

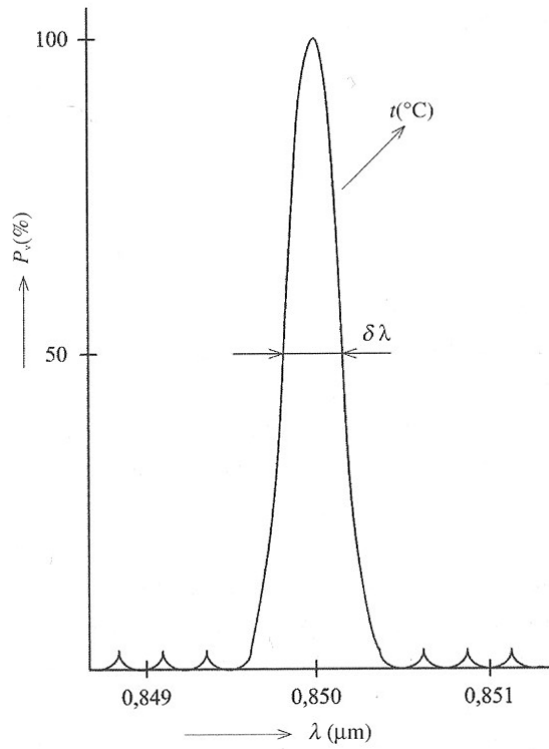
Detektor:

Na detekciu žiarenia sa používajú súčiastky, ktoré všeobecne nazývame detektory. Pre telekomunikačné účely sa zväčša používajú polovodičové detektory, najmä sú to polovodičové diódy a to typu :

- Foto-diódy typu PIN
- Lavínové foto-diódy typu APD (Avalanche - Photodiode)

Musia spĺňať nasledujúce požiadavky:

- Vysoká citlivosť v pásme ($0,85 \mu\text{m}$ až $1,55 \mu\text{m}$).



Obr. 3.12: Spektrum laseru, zdroj :[1]

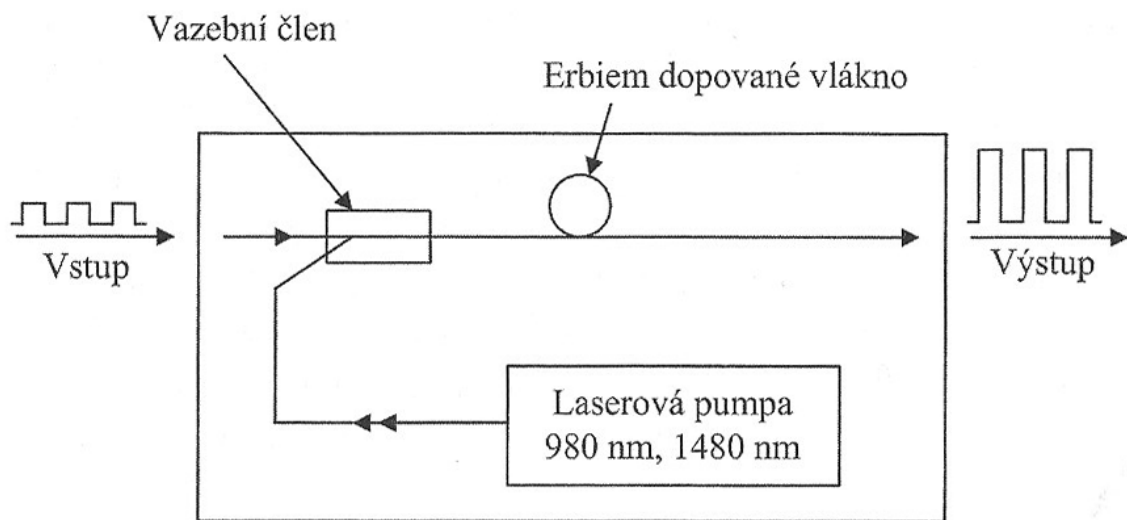
- Zaručiť dostatočnú šírku prenášaného kmitočtového pásma.
- Mať malý vlastný šum.
- Minimálne rozmery a súčasne vhodne pripojiteľné na optické vlákno.
- Necitlivosť na tepelné zmeny.

Ako typ Detektora vyberáme : **DETEKTOR TYPU APD.**

3.4.6 Voľba Zosilňovača optické signálu

Keďže ako variantu prenosu sme si zvolili vlnový multiplex, v tomto type prenosu sa s obľubou využívajú optické zosilňovače, ktoré na rozdiel od opakovačov umožňujú obnovenie svetelného toku vo vlákne bez nutnosti konverzie do elektronickej podoby. Sú to univerzálne časti prenosovej sústavy, pretože dokážu zosilňovať analógový tak aj číslicový signál pri ľubovoľnej prenosovej rýchlosti. Pre náš projekt sme si zvolil zosilňovač typu EDFA, pretože poskytuje dostatočný výkon a bez problémov pracuje v pracovnom okne vlnových dĺžok, ktoré sme si zadefinovali.

Optický vlnový zosilňovač EDFA



Obr. 3.13: Princíp EDFA zosilňovača, zdroj :[1]

Princíp:

Vplyvom nevážného žiarenia z laserovej pumpy do niekoľko metrového Erbiem dopovaného vlákna dochádza k excitácii atómov tohto dopovaného prvku na vyššie energetické hladiny. Tým je ako keby dočasne uschovaná energia, ktorá je uvoľnená pri prítomnosti prenášaného signálu, ktorého energia zapríčiňuje stimuláciu emisii žiarenia pri zhodnej vlnovej dĺžke a fáze.

Inak povedané aká vlna stimuluje emisie tak taká vlna je vyžiarená pomocou emisie ale silnejšia. Tým dochádza v konečnom dôsledku k zosilneniu optického signálu. Toto zosilnenie je možné dosiahnuť až o 50dB.

Ako typ optického zosilňovača vyberáme : **OPTICKÝ VLNOVÝ ZOSILŇOVAČ EDFA**

3.4.7 Voľba technológie multiplexu

Prečo vlastne riešiť túto otázku ?

Z jednoduchého dôvodu a to z dôvodu výrazného navýšenia prenosovej kapacity optického prenosu. Je tu ešte jedna výhoda a to tá, že na prenos kanálu tam aj späť je možné využiť jedno vlákno.

Čo to vlastne multiplex je ?

Zjednodušene povedané je to viac kanálový prenos na jednom vedení. Akým spôsobom dostaneme viac kanálov na jedno vedenie už popisujú metódy multiplexovania.

- **Frekvenčný multiplex FDM** (frequency-division multiplex)

Ide o metódu prenesenia jednotlivých signálov na rôznej frekvenčnej úrovni, inak povedané každý signál mal svoju frekvenciu. Týmto spôsobom vieme vytvoriť tzv. skupiny, ktoré vieme namodulovať na optický signál a preniesť jedným vláknom.

- **Časový multiplex**

V dnešnej dobe často využívaná metóda pri audio/video digitálneho signálu. Táto metóda je založená na pridelení určitého časového rámcu jednému zdroju signálu, keďže sa jedna o časovú zložku vyžaduje táto metóda časovú synchronizáciu čo sa dosahuje rôznymi metódami.

- **Elektronický multiplex**

Princíp, v ktorom elektrický signál nemá len 2 úrovne ale viac úrovní, to znamená že rýchlosť kanálu sa zväčší o n-krát. Viac kanálovosť je riešená na digitálnej úrovni, to znamená cez dátové rámce.

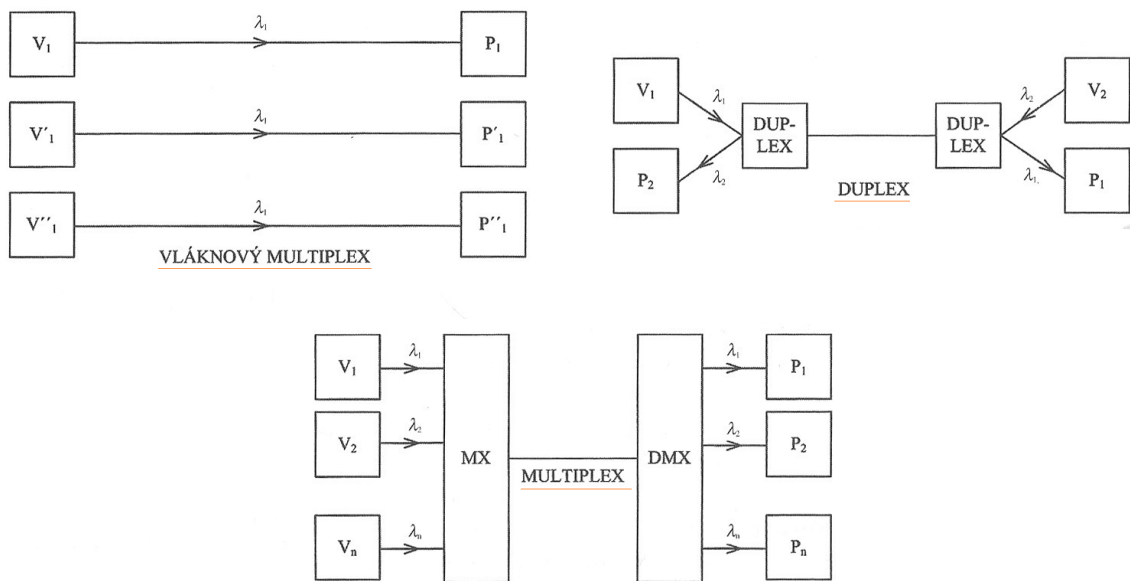
- **Vlnový multiplex**

Táto metóda využíva možnosť vyžarovať svetelné lúče rôznych vlnových dĺžok. Každú vlnu je možné modulovať iným zdrojom signálu a prenášať všetky vlny naraz v jednom vlákne. K prenosu využívame vlny, ktoré majú v danom materiáli najmenší útlm. Toto všetko sa dá robiť hlavne preto, lebo elektromagnetický signál sa v týchto frekvenciách vzájomne neovplyvňuje.

- **Hybridný multiplex**

Je to technika, v ktorej je zlúčená metóda elektronického multiplexu a vlnového multiplexu Umožňuje maximálne využitie prenosového pásma.

Najvýhodnejší multiplex z hľadiska kapacity je vlnový multiplex (hybridný multiplex).



Obr. 3.14: Ukážka Priestorového multiplexu, Duplexu, Vlnového multiplexu [1]

Na obrázku 3.14 je vidieť princíp duplexu, kde jedným vláknom je smerovaný obojstranný prenos, ďalej je ukázaný princíp multiplex-oru.

Pre realizáciu viac kanálového n-spoju je potrebné n-modulátorov zdrojov svetla, takisto aj n-detektorov, tzv jeden WDM multiplexor a demultiplexor, dvojici hovoríme WDM muldex. Vo funkcii multiplexoru je možné použiť jednoduché neselektívne optické vidlice ale vo funkcii de-multiplexoru sa to musí riešiť zložitejšie pomocou optických filtrov.

Optické nosné vlny, ktoré zodpovedajú jednotlivým kanálom sú rozmiestené dá sa povedať rovnomerne. Je možné ich použiť v ktoromkoľvek prenosovom okne viz. obrázok 3.6. Ale najvýhodnejšie je to v 3 a 4 okne.

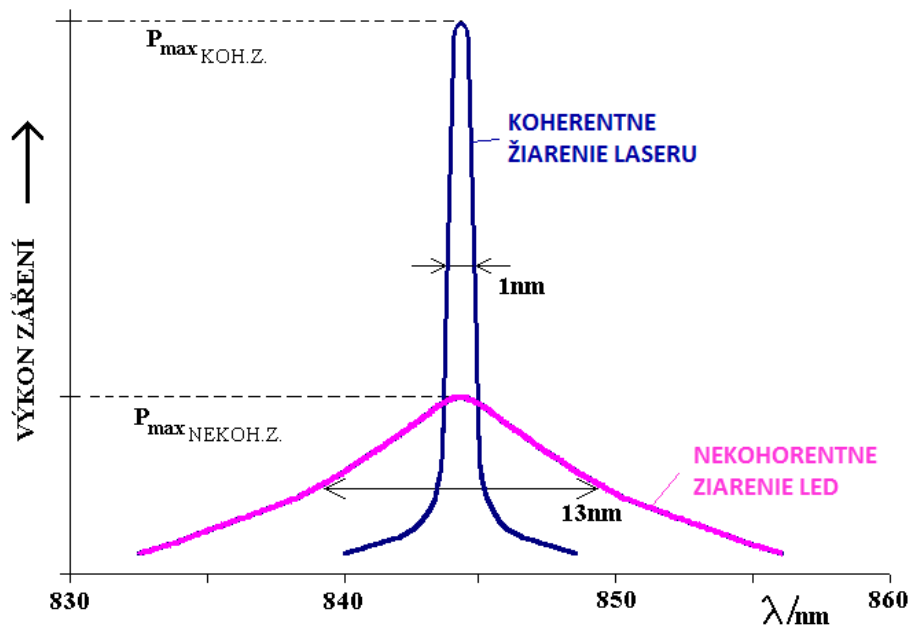
Rozostup kanálov je určený predovšetkým

- Zdrojom svetla (či je použitý ako zdroj svetla dióda alebo laser).
- Vlnovou selektivitou optických filtrov v muldexe.

Pri použití Laserových diód je ich spektrum asi 20 – 1000 krát užšie ako zdroj svetla LED diód, z toho dôvodu je možné do pracovných oblastí umiestniť viac kanálov.

Pri vlnovom multiplexe narážame na problém, kedy sa môžu jednotlivé spektrá navzájom prekrývať, zobrazené spektrum jedného kanálu je na obrázku 3.15. Dochádza k takzvanému pre-sluchu, alebo inak medzi kanálovej interferencii. Táto interferencia môže byť vnútro-kanálová alebo vonkajšo-kanálová.

Optický vlnový zosilňovač EDFA



Obr. 3.15: Spektrá LED a LASER DIODY, zdroj :[1]

Pre dosiahnutie čo najmenšieho odstupu kanálov je nutné sa vysporiadať s touto interferenciou v multiplexore, pretože demultiplexor filtre prepúšťajú všetko svetlo danej vlnovej dĺžky. Rozostup kanálov je daný vzorcom (3.6)

$$\Delta\lambda = \lambda_{j+1} - \lambda_j \quad (3.6)$$

Hodnota rozostupu kanálu je závislá na použitých zdrojoch svetla a konštrukcii optických prvkov multiplexora a de-multiplexora.

Technológia WDM

Technológia, ktorá sa používa pri malom počte kanálov $n \leq 3$. Teda je možné ju realizovať za použitia zdrojov emitujúcich svetlo na niekoľko vlnových dĺžkach, prípadne použitie foto-detektorov, ktoré obsahujú vrstvy ktoré sú citlivé na rôzne vlnové dĺžky. Výhodou tejto technológie je cena.

Technológia WWDM (Wide wavelength division multiplexing)

Inak povedané široký vlnový multiplex a to preto že využíva viac vlnových dĺžok ako predchádzajúca technológia. Je využívaná na

- Viac vidových vlákna v oblasti 850 nm (4 vlnové dĺžky).
- Na viac alebo jedno vidových vlákna v oblasti 1300 a 1310 nm.

Najčastejšie sa používa na prenos 1Gb alebo 10 Gb Ethernetu, jednotlivé vlny majú odstup 25 nm.

Technológia DWDM (Dense Wavelength division multiplex)

Takzvaný hustý vlnový multiplex, tu sa už používajú minimálne odstupy od jednotlivých vln (kanálov). Je možné prenášať niekoľko desiatok kanálov.

Podľa odporúčenia **ITU-T G.694.1** sa počíta s odstupom kanálov v prenosovom pásme od 1,49 μm do 1,62 μm s odstupom kanálov

- 100 GHz, zo začiatkom na 186 THz čo je 0,8 nm
- 50 GHz, (čo je dvojnásobný počet kanálov) čo je 0,4 nm

Odstup signál šum sa so narastajúcou rýchlosťou zvyšuje ako vidieť nižšie

- **STM 16 (2,5 Gbit/s)** - S/N 18 až 20 dB
- **STM 64 (10 Gbit/s)** - S/N 22 dB
- **STM 254 (40 Gbit/s)** - S/N 25 dB

Technológia CDWM (Coarse Wavelength division multiplex)

Inak hrubý vlnový multiplex, je to lacnejšia varianta DWDM. Táto technológia používa väčší odstup kanálov ako je tomu u DWDM tech. Odstup kanálov by pri tejto technológii by mal byť menší než 50nm a pre vlnovú dĺžku 1550nm 8 nm. Ide o technológiu, ktorá mala ušetriť prostriedky na hardware ako je chladienie laserových diód a podobne.

Štandardne sa táto technológia využíva na jedno vidových vláknoch, ktoré sú v dnešnej dobe položené v zemi 9/125 μm kde je možné použiť vlnové dĺžky 1290, 1310, 1330, 1350, 1470, 1490, 1510, 1530, 1550, 1570, 1590, 1610 nm (12 kanálov). Najčastejšie uplatnenie ma CDWM v dvojbodových spojoch či kruhových topológiach do 4 uzlov.

Najčastejšie vo verzii :

- CDWM () - 1Gb Ethernet - možné bez opakovača preniesť až do vzdialenosti 80 km
- CDWM (STM 16) - 2,5 Gb Ethernet - možné preniesť bez opakovača do vzdialenosti 50 km

My si pre naše prepojenie štúdií volíme multiplex DWDM STM 16 (2,5 Gbit/s čo je 156,25 Mb/s na jednu vlnu), s kruhovou topológiou.

3.4.8 Výber DWDM zariadenia

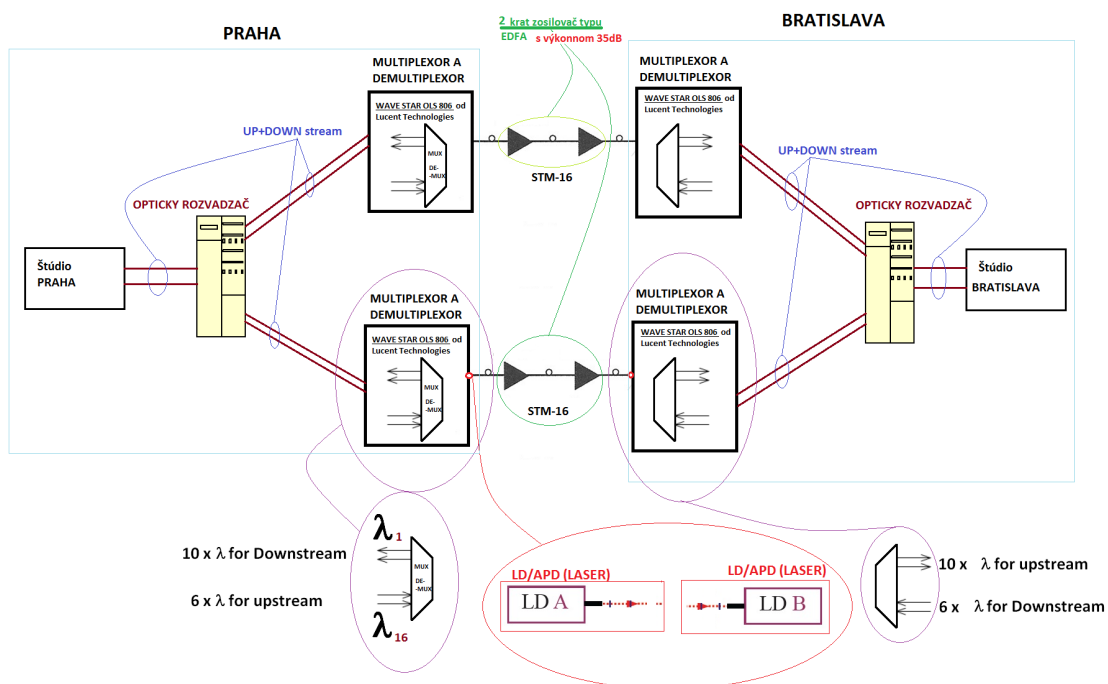
WAVE STAR OLS 806 od Lucent Technologies

- Využíva 16 vlnových dĺžok
- Útlm 33 dB pri predpokladanom vlákne, ktorý zodpovedá vzdialenosti 120 km bez zosilnenia
- Predpokladá sa vlákno typu TRUE WAVE

Rýchlosť na STM 16 (2,5 Gbit/s)

To je rýchlosť jedným smerom, keďže budeme využívať systém duplexu, použijeme nami definovanú rýchlosť pre UPSTREAM a DOWNSTREAM, ktorý je závislý od počtu využívaných vln, ktoré sme definovali v kapitole [3.3.5].

Celú štruktúru (schému) opto-prvkov je možné vidieť na obrázku 3.16



Obr. 3.16: Schéma použitých opto-prvkov

3.4.9 Voľba opto-trasy

Aby sme dosiahli kruhovú topológiu s operátorom sme vy-komunikovali voľbu dvoch trás, každá trasa jedno vlákno. Zhodli sme sa na týchto dvoch trasách (išlo v podstate o najkratšie ale rozdielne trasy). Dve trasy hlavne z dôvodu zabezpečenia výpadku. Obe trasy je možné najst' na priloženej mape viz obrázok 3.17

Tab. 3.8: Prvá trasa PRAHA - BRATISLAVA

Prepojovacie uzly	vzdialenosť medzi nimi
Kavčí hory(Praha) \Rightarrow Humpolec	99,6 km
Humpolec \Rightarrow Brno	111 km
Brno \Rightarrow Kamzík(Bratislava)	130 km

Tab. 3.9: Druhá trasa BRATISLAVA - PRAHA

Prepojovacie uzly	vzdialenosť medzi nimi
Kamzík(Bratislava) \Rightarrow Hustopeče	102 km
Hustopeče \Rightarrow Humpolec	135 km
Humpolec \Rightarrow Kavčí hory(Praha)	100 km



Obr. 3.17: Mapa zobrazujúca dve opto-trasy, zdroj :[10]

3.4.10 Výpočet dosahu optického spoja

Dosah optického spoja sa určuje z celkového útlmu daný sumou útlmových zložiek pozdĺž trasy. Môžeme to zhrnúť tak, že dosah závisí od týchto prvkov

- Útlm vlákna
- Typ optického zdroja
- Typ detektora
- Spojky
- Systémová rezerva
- Teplota

Dosah optického úseku je potom daný tým ako často zopakujeme opakovaný úsek opto-sústavy a počtom regeneračných členov (prípadne zosilňovačov). Viz. tabuľka 3.12.

Výpočet dosahu opto-systemu bez potreby použiť opakovač.

Tab. 3.10: Výpočet útlmu na zvaroch (útlm jedného zvaru = 0,03 dB)

TRASY	Vzdialenosť [km]	Počet zvarov (po 2 km)	Celkom Útlm na zvaroch [dB]
Prvá trasa	340,6	171	5,139
Druhá trasa	337	169	5,055

Tab. 3.11: Výkonostná Rezerva vzniknutá použitím detektora a vysieláča.

Útlmy	Prvá trasa [dbm]	Druhá trasa [dbm]
Max výkon zdroja LD LASER	7	7
Stredný výkon zdroja LD	1	1
CITLIVOSŤ PRIJÍMAČA APD	-55	-55
Strata na zvaroch	-5,139	-5,055
Rezerva systému	3	3
Konektorové straty	1	2
SUMA MOŽNÉHO ÚTLMU	47(+1+55-5-3-1)	47

Keďže potrebný výkon na prekonanie trasy vyšiel okolo 56 dB v oboch trasách, rozhodli sme sa počas trasy zabudovať 2 krát 35 dB zosilňovače EDFA, približne v 1/3 trasy. Ako je vidieť na mape trás viz. obrázok 3.17. V každom uzle sa bude nachádzať EDFA zosilňovač s výkonom 35 dB (5db rezerva).

Tab. 3.12: Maximálna možná vzdialenosť s výkonnostnou rezervou.

TYP VLÁKNA	MAX dosah [km]	MAX dosah [km]
SM 1,55 μm 0,3 dB/km	156,2	156,5

Tab. 3.13: Výpočet akú vzdialenosť je potrebné prekonať EDFA zosilňovačom.

POPIS	1 trasa [km]	2 trasa [km]
Celková vzdialenosť pre danú trasu	340,6	337
Aká je dosiahnutá vzdialenosť bez zosilnenia	156,2	156,5
Akú vzdialenosť je potrebné prekonať EDFA Zosilňovačom	184,4	180,5

Tab. 3.14: O koľko dB je potrebné zosilniť signál pozdĺž trasy, vzhľadom na útlm.

	Prvá trasa [dB]	Druhá trasa [dB]
Pre typ vlákna SM 1,55 μm 0,3 dB/km	55,319	55,155

4 PARAMETRE KTORÉ MUSÍ SPOJ SPLŇOVAŤ

Na komunikačný spoj, ktorý spája 2 alebo viac uzlov sa dá nahliadnúť z rôznych uhlov. Najmä v prípade parametrov, ktoré musí spoj splňať.

Naše optické prepojenie Bratislavy a Prahy je na báze svetelných vln. Z toho budú aj odvodené parametre, ktoré musí tento spoj splňať. Inak povedané, všetky systémy, ktoré budú týmto médium posielat svoje spravy/dátové rámce, budú závislé od parametrov, ktoré toto médium prinesie do komunikačnej trasy.

Mala definícia opto-technológie. Svetelná vlna plní funkciu nositeľa informácie, konkrétne nositeľ informácie je neutrálny fotón, nie záporný elektron ako je to v prípade metalických vedení. Tieto fotóny navzájom neinteragujú (neovplyvňujú sa) a pri prenose nevzniká elektromagnetické pole, ktoré sú väčšinou príčinou parazitných väzieb. Taký optický spoj sa ťažko odpočúva a je odolný aj voči rušivým vplyvom. Zásadná vec je, že nedochádza k ovplyvňovaniu vstupu výstupom = dokonalo jednosmerný spoj. Keďže sa pohybujeme v oblastiach tisícky gigahertz, vlny majú veľkú prenosovú kapacitu.

Tieto dátové rámce budú posielané na (fyzickej vrstve) optické vlákno, (Fyzická vrstva v ISO/OSI a vrstva sieťového rozhrania v TCP/IP modely). Sieť bude typu Ethernet, to znamená že jednotlivé prvky budú mať svoje MAC adresy.

V ďalšom rade sa bude jednať o pevný spoj, to znamená že sa bude vyznačovať prevažne minimálnym oneskorením pred zahájením prenosu a nízkym konštantným spojením počas prenosu, keďže budeme na vlákne sami.

Typické parametre, ktoré bude musieť náš spoj splňať sú

- Definovaná prenosová rýchlosť dát
- Definovaná šírka prenosového pásma
- Definovaný útlm trasy

Ako to bolo vyjadrené v predchádzajúcich kapitolách.

Potom na 3 vrstve, (sieťovej ISO/OSI) bude musieť spoj spĺňať tieto parametre.
Zdroj : [12],

- **Stratovosť** : [v percentách] Vyjadruje koľko percent paketov sa stratilo pri prenose, ideálne je 0, tolerancia je závislá od služby, protokoloch prenosu a kódekoch.
- **Jitter** : [ms] Vyjadrenie kolísania oneskorenia paketov v sieti, inak povedané: vysielača strana vysiela v konštantnom prúde, na prijímacej strane tomu tak nie je. V realite by nemal Jitter presiahnuť 100ms. Takže môžeme povedať že Jitter vyjadruje hodnotu premenlivého opozdenia. Na kompenzáciu sa používa DEJITTER. Poznámka: pri IP telefónii sa Jitter prejavuje podobne ako stratovosť paketov, to znamená výpadky spojenia.
- **Oneskorenie** : [ms] vyjadruje absolútnu dobu oneskorenia, to znamená celková doba od vysielača k prijímaču. Všeobecne možno povedať že doba do 150 ms je prijateľná pre väčšinu aplikácií. 150-400 ms prijateľné ak sú si toho užívatelia vedomí, nad 400 ms je všeobecne považované za neprijateľné. To znamená, že náš spoj bude musieť spĺňať oneskorenie menšie ako 150ms.

Väčšina týchto parametrov bude závisieť od útlmu opt-otrasy, prípadne chyby na nej vyskytujúcej sa.

Čím je spôsobený útlm opt-otrasy ?

Útlm trasy (útlm optického vlákna), je závislý od týchto parametrov.

- Absorpciou prostredia (v našom prípade opto-vlákno)
- Vyžarovaním z vlákna
- Rozptylom na ne-homogenitách

Absorpciou prostredia:

Je pohlcovanie (zoslabovanie) svetelného žiarenia atómami alebo molekulami pri prechode prostredím alebo materiálom. Dochádza k pohlteniu energie fotónu látkou prostredia. Pohltená energia môže byť opäť vyžiarená alebo premenená na kinetickú energiu takzvané teplo. Zaujímavosť v plynom prostredí sú atómy schopné pohltiť žiarenie rovnakých vlnových dĺžok aké sú samy schopne vyžiariť. V opto-vláknoch sa na absorpcii najviac podieľajú ióny kovov Fe, Cu, Cr, ktorých rezonancia spôsobená danými vlnovými dĺžkami je sprevádzaná tepelnými stratami. Najväčším podielom strát absorpciou je spôsobené OH iontami, ktoré je vidieť aj na obrázku 3.6. K tomu vedie záver, že ak chceme mať svetlo-vod s najmenšími stratami, tak musíme zabezpečiť pri výrobe najmenšiu koncentráciu kovov a OH iontov.

Strata vyžarovaním:

Je spôsobená lomom svetla na úrovni dvoch rozhraní s rôznym indexom lomu, kde určitá časť žiarenia je odvedená do okolitého prostredia.

Rozptylom na ne-homogenitách

Je spôsobená ne-homogénnym rozložením molekúl prenosového prostredia, čo zapríčiňuje vytvorenie mikro-ne-homogenity indexu lomu prostredia. Ak sú prítomne takéto ne-homogenity a nečistoty sú malé oproti vlnovej dĺžke žiarenia, tak tieto straty sú rovné 4 mocnине vlnovej dĺžky šíreného žiarenia. Voláme ich **Rayleighové straty, alebo rozptyl**. V praxi takýto rozptyl môžeme vidieť v atmosfére napríklad pri západe slnka, svetlo prechádzajúce atmosférou musí prejsť oveľa väčšiu dĺžku atmosférou k pozorovateľovi, pri tejto ceste sa rozptýli najviac modrej zložky zo svetla čo vyústi do červenej oblohy v smere proti slnku.

Ako za ďalšie straty zvyšujúce útlm môžeme považovať :

- Porušenie dokonalej geometrie
- Trhlinky v materiály jadra
- Porušenie tvarou a rozmerov medzi jadrom a plášťom
- Mikro ohyby, ktoré zvyšujú chyby priamočiarosti

Na základe týchto fyzikálnych zákonov dokážeme merať vlastnosti opto-trasy a ako uvidíme neskoršie, budú práve princípy meraní vychádzať z týchto zákonov.

5 NÁVRH MERACÍCH METÓD A POSTUPOV

V tejto časti kapitoly rozoberieme základné merania opt-otras a to meranie **metódou OTDR**, avšak pri nami zvolenej metóde prenosu po optickej trase pomocou vlnového multiplexu DWDM predstavíme prípadné metódy pre tento typ spojenia, ako je **metóda PMD**.

Rôznorodosť druhov merania na optických vedeniach je daný špecifickými vlastnosťami a chovaním svetla. Meracie optické metódy môžeme rozdeliť napríklad takto.

Meranie na optických vláknach

- Optické merania
- Mechanické merania

Merania prenosových vlastností na optických vláknach

- Meranie útlmu
- Meranie disperzie
- Meranie spätného rozptylu
- Meranie šírky pásma

Celý proces merania je veľmi podstatne závislý od takzvaného budenia vlákna. Musíme dosiahnuť akýsi ustálený stav (ustálené vidové rozloženie), pri ktorom dosiahneme rovnomerné rozloženie energie pozdĺž vlákna (rozloženie energie do jednotlivých vidov), až vtedy si môžeme byť istý nameranými výsledkami.

My sa zameriame prevažne na **meranie útlmu** a **disperzie (CD a PMD)**, ktoré do značnej miery ovplyvňujú prenosové vlastnosti nami navrhnutej opto-trasy.

5.1 Meranie útlmu

Útlm je základný a najdôležitejší parameter optických strát pri prenose opto-vláknami. Útlm je možné určiť podľa základného vzťahu (5.1), ktorý určuje útlm medzi dvoma bodmi.

$$A(\lambda) = 10 \log \frac{P_1}{P_2} [dB] \quad (5.1)$$

λ - Vlnová dĺžka

P_1 a P_2 - Výkonný pri vlnovej dĺžke

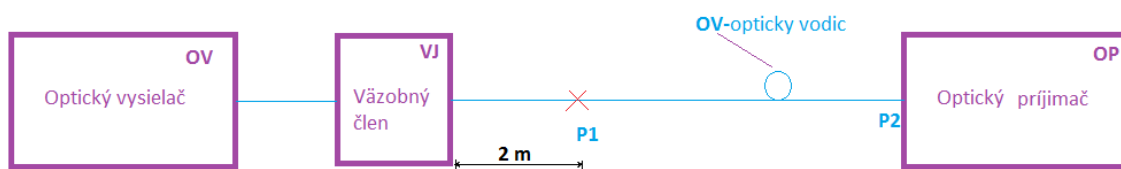
$$\alpha(\lambda) = \frac{A(\lambda)}{l} [dB] \quad (5.2)$$

l - Vzdialenosť medzi dvoma bodmi 1 a 2. [km]

Veľmi dôležitým parametrom je merný utlm vlákna vzťahnutý na určitú dĺžku vedenia (5.2), efektívne ju môžeme určiť iba v prípade ustálených vidov. Pri určovaní útlmu sú doporučené štandardom IEC tri metódy.

- **Metóda dvoch dĺžok (cut-back)**

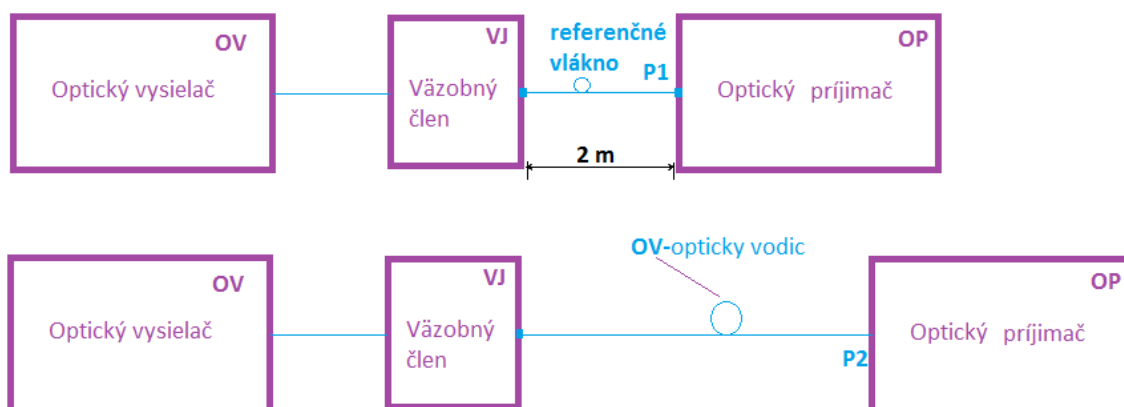
Je to veľmi citlivá metóda, považuje sa za referenčnú aj keď sa jedná o deštrukčnú metódu. Pracuje na princípe: Do vlákna sa zavedie svetelná vlna, po ustálení sa zmeria výkon P_2 . Ako je to na obrázku 5.1. Následne sa odstrihne vlákno 2m od začiatku a následne sa zmeria P_1 . Následne sa podľa vzťahov (5.1),(5.2) vypočíta útlm a merný útlm.



Obr. 5.1: Schéma princípu merania útlmu Cut-back, zdroj:[1]

- **Metóda vloženého útlmu (insertion loss)**

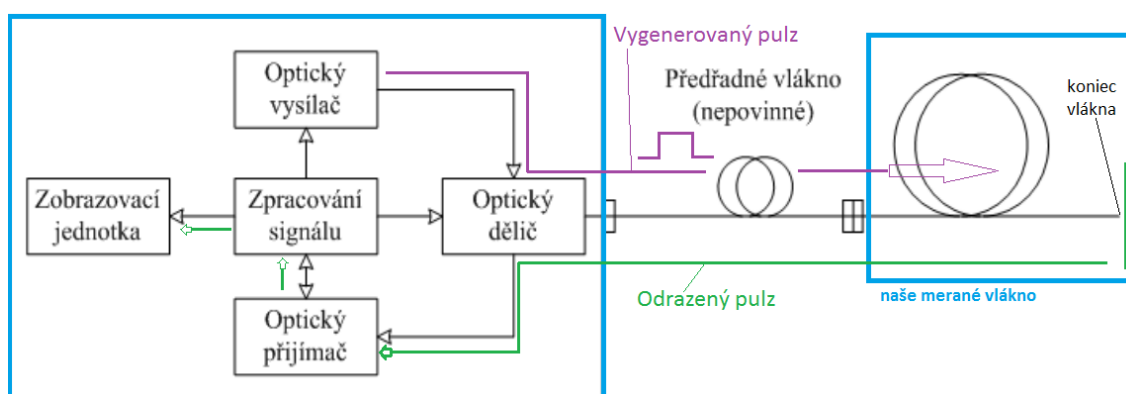
Pracuje na princípe dvojstupňovej metódy. Ako prvé sa zmeria výkon na referenčnom vlákne dĺžky 2m, tým získame výkon P_1 , následne zapojíme miesto referenčného vlákna merané vlákno a nameriame výkon P_2 . A opäť vypočítame podľa vzťahov (5.1),(5.2) útlm a merný útlm. Všetko je vidieť na obrázku 5.2.



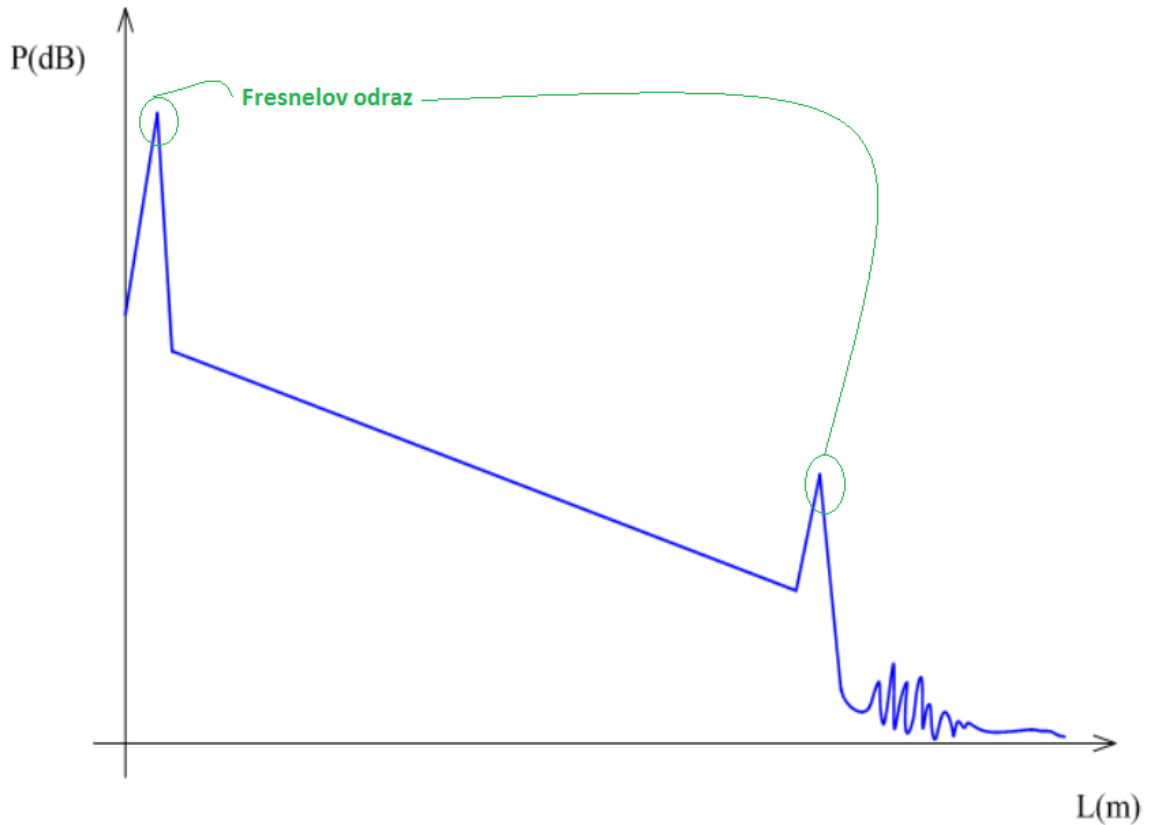
Obr. 5.2: Schéma princípu merania útlmu Insertion-loss, zdroj :[1]

- **Metóda spätného rozptylu OTDR**

Označovaná metóda optickej reflektometrie v časovej oblasti (optical time-domain reflectometry). Táto metóda pracuje na princípe vyhodnocovania spätného rozptýleného výkonu P , pri šírení impulzu vo vlákne, čo nám dáva informácie o kvalite celého vlákna v závislosti k jeho dĺžke. Schéma zapojenia je na obrázku 5.3



Obr. 5.3: Schéma princípu merania útlmu OTDR, zdroj :[15]



Obr. 5.4: Ideálna, OTDR, zdroj :[15]

Pri meraní sa využíva *RAYLEIGHOVY ROZPTYL* a *FRESNELOVE BODOVÉ ODRAZY*, ktoré vznikajú na bodovej poruche alebo koncoch vlákna, sú síce nežiaducim javom pri meraní (odrazí), ale dobre sa z nich určuje dĺžka vlákna prípadne lokalizácie poruchy.

FRESNELOV ODRAZ

môže nastať po dopade lúča na rozhranie materiálov z rôznym indexom lomu. Takáto situácia nastane v každom konektore prípadne spojke.

BODOVÉ PORUCHY

Najbežnejšie bodové poruchy je možné vidieť na obrázku 5.5



Obr. 5.5: Prejav bodových porúch pri meraní pomocou OTDR, zdroj :[1]

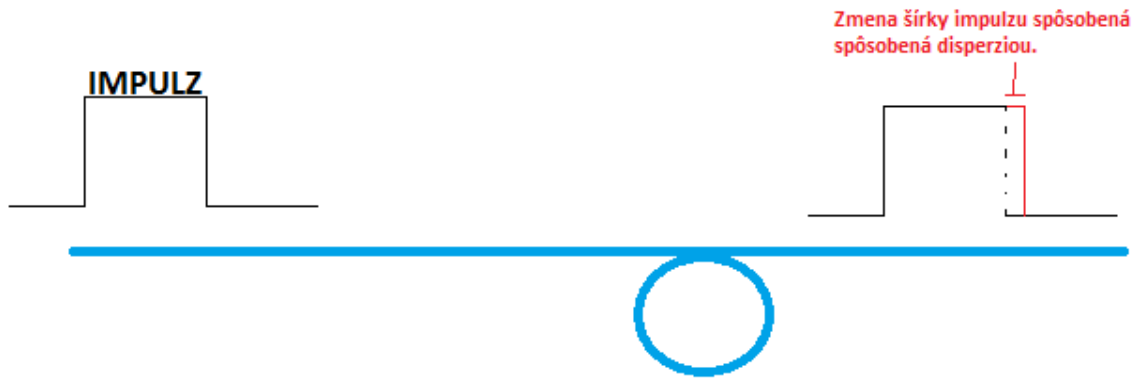
V súčasnej dobe je OTDR metóda merania útlmu, najpoužívanejšia pre jej jednoduchosť a presnosť, preto aj my volíme túto metódu na určenie útlmu našej opto-trasy.

Na meranie útlmu použijeme metódu **OTDR**

5.2 Meranie disperzie

Vlnová disperzia

[1] ako taká je definovaná ako rozdiel šírky v polovičke výšky jedného impulzu na začiatku a na konci optického vlákna. Viz. obrázok 5.6 a 5.7

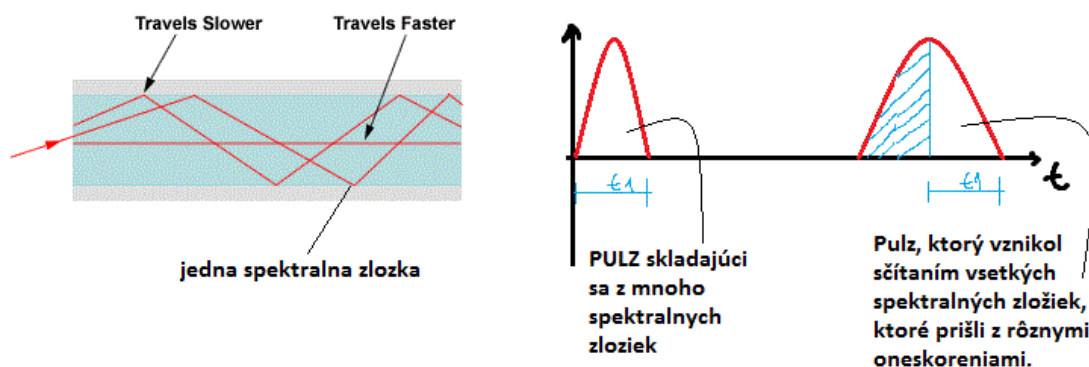


Obr. 5.6: Zmena šírky impulzu spôsobená disperziou :[1]

Materiálová disperzia

Index lomu, ktorý sa mení v závislosti od kmitočtu. Spôsobuje rozdielnu skupinovú a fázovú rýchlosť vlny v materiály vlákna.

5.2.1 CD - Chromatická Disperzia



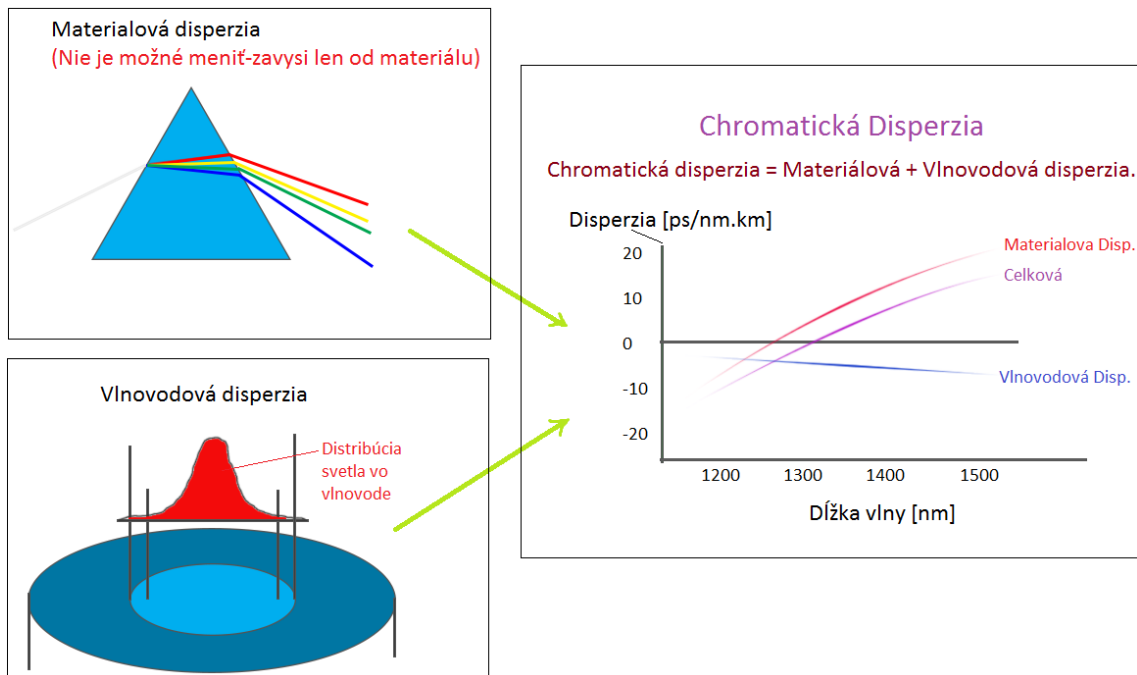
Obr. 5.7: Zmena šírky impulzu spôsobená CD (Chromatickou disperziou) :[17]

Chromatická disperzia je druhá vlastnosť, ktorá vplýva na vlastnosti prenosu po optickom vlákne. Donedávna sa táto vlastnosť ani nemerala ale príchodom DWDM začala byť potrebná. CD je kombinácia **vlnovodovej** disperzie (spôsobená zmenou geometrie vidu) a **materiálovej** (spôsobenou zmenou pozdĺžnej a skupinovej rýchlosti pri zmene kmitočtu). Viz. obrázok 5.8

Materiálová disperzia, zjednodušene sa dá povedať, že impulz, ktorý je vyžiarený do vlákna sa skladá z rôznych spektrálnych zložiek a každá takáto spektrálna zložka (farba) a ma rozdielnu dráhu vo vlákne keďže sa láme v závislosti od materiálu to pod inými uhlami, to môžeme vidieť na obrázku 5.8 ako materiálová disperzia, po spočítaní všetkých zložiek na konci vlákna oneskorené zložky spôsobia rozšírenie impulzu. Ideál by teda bol ak by každá farba (spektrálna zložka dorazila na koniec v rovnakom čase). Treba spomenúť že materiálovú disperzia zavysí od indexu lomu a to mi nevieme ovplyvniť, je to teda závislé od materiálu.

Ďalšou súčasťou Chromatickej disperzie, je **vlnovodová disperzia**, čo je na obrázku 5.8 zobrazené v podobe rôznej distribúcie energie vo vlákne, na okrajoch vlnovodu sa distribuuje menej energie teda šírenie vlny je oproti stredu pomalšie a stredom vlnovodu sa distribuuje viac energie teda rýchlosť šírenia vlny je rýchlejšia oproti okrajom. Teda tieto rozdiely sôsobia vznik disperzie na konci vlákna. Treba pripomenúť že môžeme meniť rozdiel rýchlosti pomocou zmeny **refraktívneho** indexu.

Chromatickú disperziu ako takú môžeme kompenzovať a to buď pri výrobe vlákna alebo pri starších položených vláknoch pomocou **DCF** (Disperzion Com-



Obr. 5.8: Zobrazenie materiálovej a vlnovodovej (závisla od rôznej rýchlosti distribúcie svetla v strede a na krajoch vlnovodu) disperzie ktoré tvoria chromatickú disperziu.

compensation Fiber). Čo je vlákno, ktoré má zápornú chromatickú disperziu a zapája sa na koniec vedenia.

Chromatickú disperziu môžeme merať pomocou týchto metód.

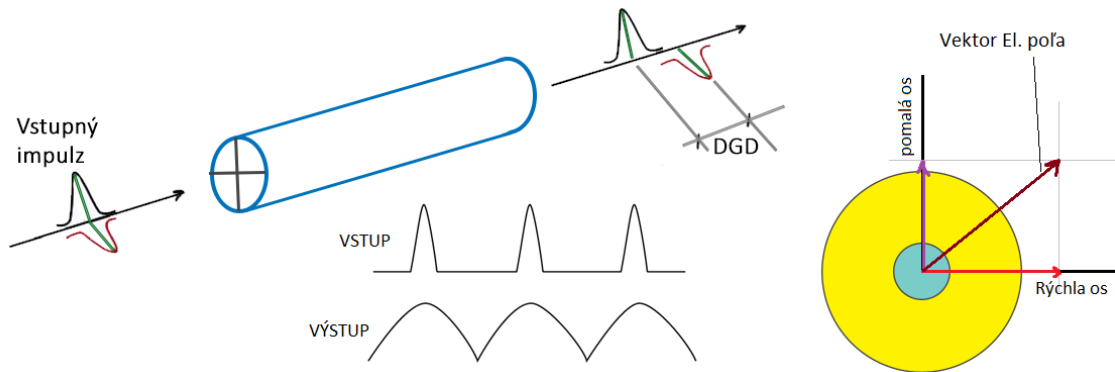
Metóda merania CD pomocou fázového posuvu

Metóda merania CD pomocou opozdených impulzov v časovej oblasti

Na meranie Chromatickej disperzie sa v tejto práci nezameriame, ale bolo potrebné ju spomenúť.

5.2.2 PMD - Polarization Mode Dispersion

Dispersion = Different Traveling Speed = Arrival at different Times (príchod ortogonálnych častí vln v rôznych časoch.)



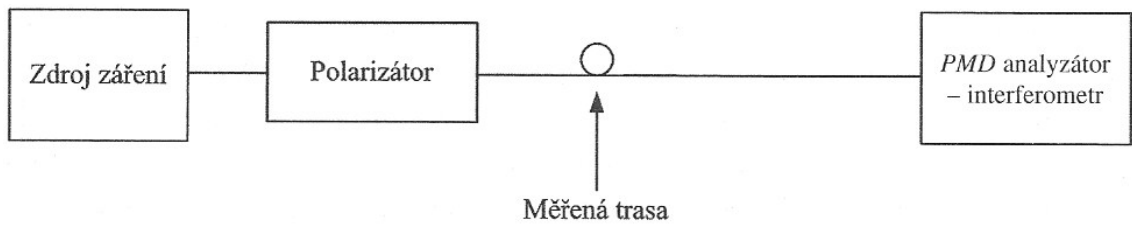
Obr. 5.9: Ukážka Disperzie.

Obrázok 5.9 zobrazuje Disperziu na jednom vide, DGD = Differential Group Delay. Vektor výsledného elektrického mag. poľa je možné rozložiť na rýchlejšiu a pomalšiu zložku výsledného vektora, ktoré majú rôzne rýchlosti o tom ktorá os je rýchlejšia a ktorá pomalšia rozhoduje deformácia vlákna (v reálnom svete nemáme ideálny vlnovod, preto vzniká PM Disperzia)

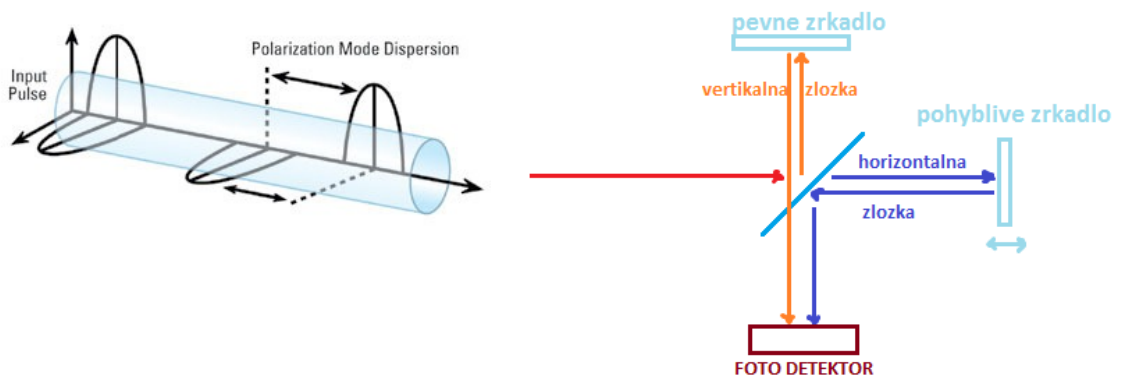
Interferometrická metóda merania

[1] Je založená na princípe skladania (interferencii) nízkokohorentného optického žiarenia. Schéma zapojenia je na obrázku 5.10. Na výstupe je interferometer, ktorý žiarenie rozloží do dvoch vlákien, v jednom je pohyblivé zrkadlo a v druhom je pevné. Pohyblivé zrkadlo spôsobuje fázový posuv (takže fázy medzi oboma vláknami sa zmenia) no a pomocou interferencie (skladania) týchto dvoch signálov sa nám na detektore ukáže oneskorenie vplyvom PMD je to pekne vidieť na obrázku 5.11]. Typický výstup je na obrázku 5.12.

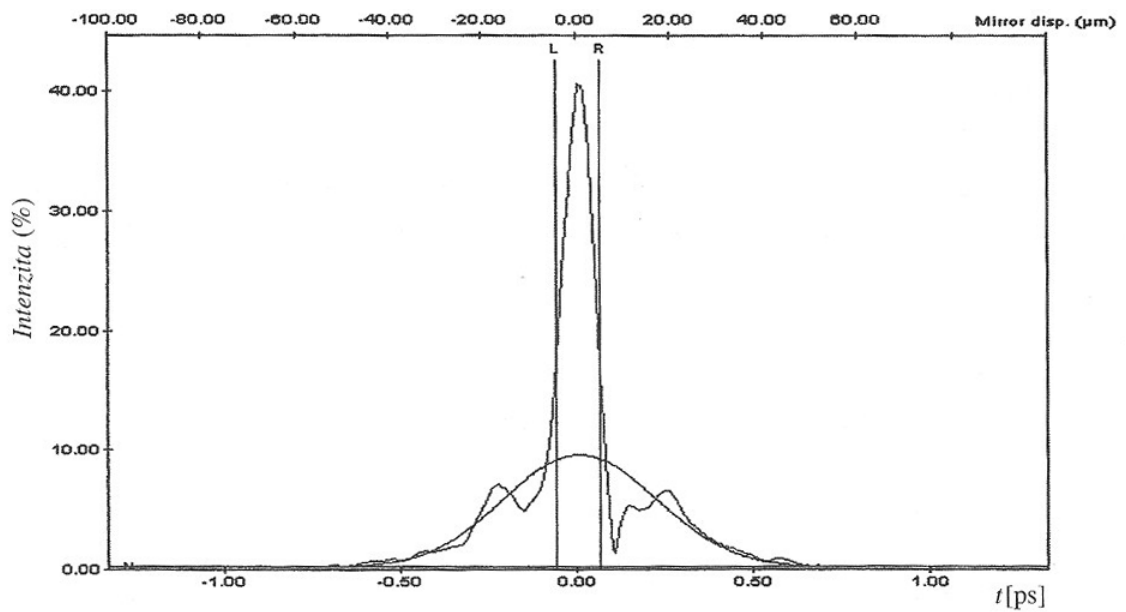
Na meranie Polarizačnej disperzie použijeme Interferometrickú metódu merania Fázoveho posuvu



Obr. 5.10: Schéma merania PMD interferometrickou metódou, zdroj :[1]



Obr. 5.11: Ukážka ako sa meria PMD, zdroj :[17]



Obr. 5.12: Príklad výstupu z merania interferometrickou metódou , zdroj :[1]

6 NÁVRH MERACÍCH PROTOKOLOV

6.1 Protokol na meranie útlmu :

(Metóda spätného rozptylu OTDR)

Protokol musí obsahovať:

- Dĺžku meranej trasy
- Informácie, kde sa nachádzajú oba konce meraného vlákna
- Dátum merania
- Typ kábla, vlákna
- Počet spojok
- Meno merateľa
- Číslo meraného vlákna
- Nameraný útlm z akej spojky sa meralo a ku ktorému bodu A alebo B (kde body A a B sú definované v projekte ako Praha a Bratislava)

6.2 Protokol na meranie disperzie :

(Interferometrická metóda merania PMD)

Protokol musí obsahovať:

- Dĺžku meranej trasy
- Informácie kde sa nachádzajú oba konce meraného vlákna
- Dátum merania
- Typ kábla, vlákna
- Počet spojok
- Meno merateľa
- Číslo meraného vlákna
- Vlnová dĺžka vlny, ktorej meriame oneskorenie vplyvom PMD
- Namerané oneskorenie pre daný typ vlny

7 MERANIE

Nami namerané výsledky vznikli v laboratórnych podmienkach, tak aby kopírovali reálne podmienky naplánovaných trás. Ako prve budeme merať útlm pomocou OTDR metodiky a v druhej časti sa zameriame na meranie polarizačnej disperzie pomocou PMD.

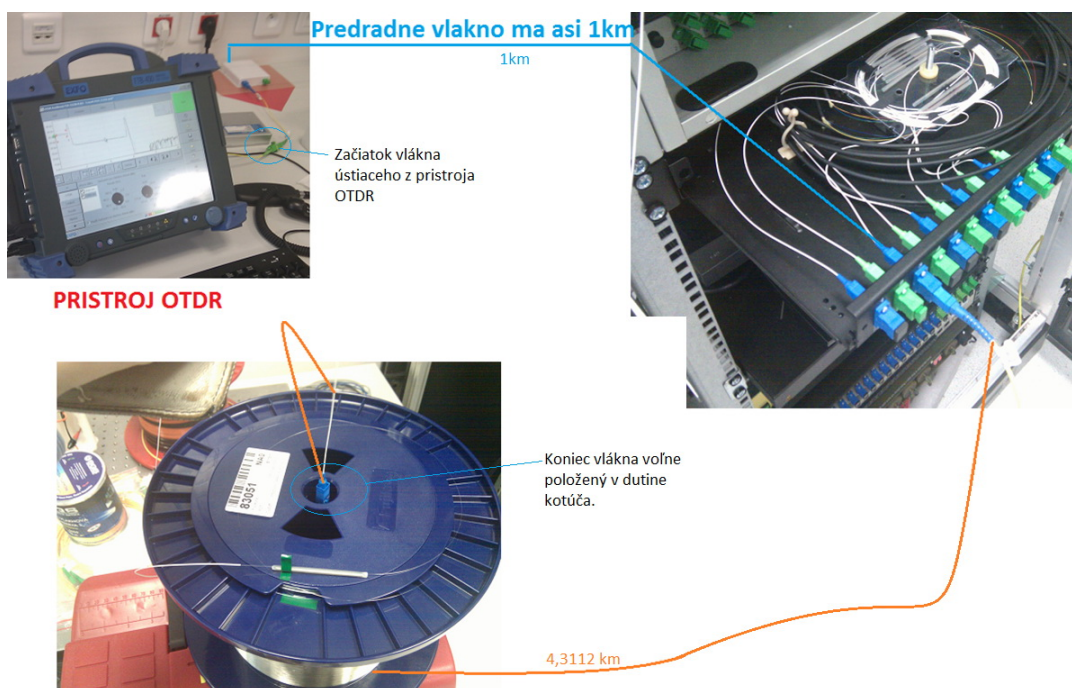
7.1 Meranie Útlmu pomocou OTDR

(Metóda spätného rozptylu OTDR)

7.1.1 Úvod:

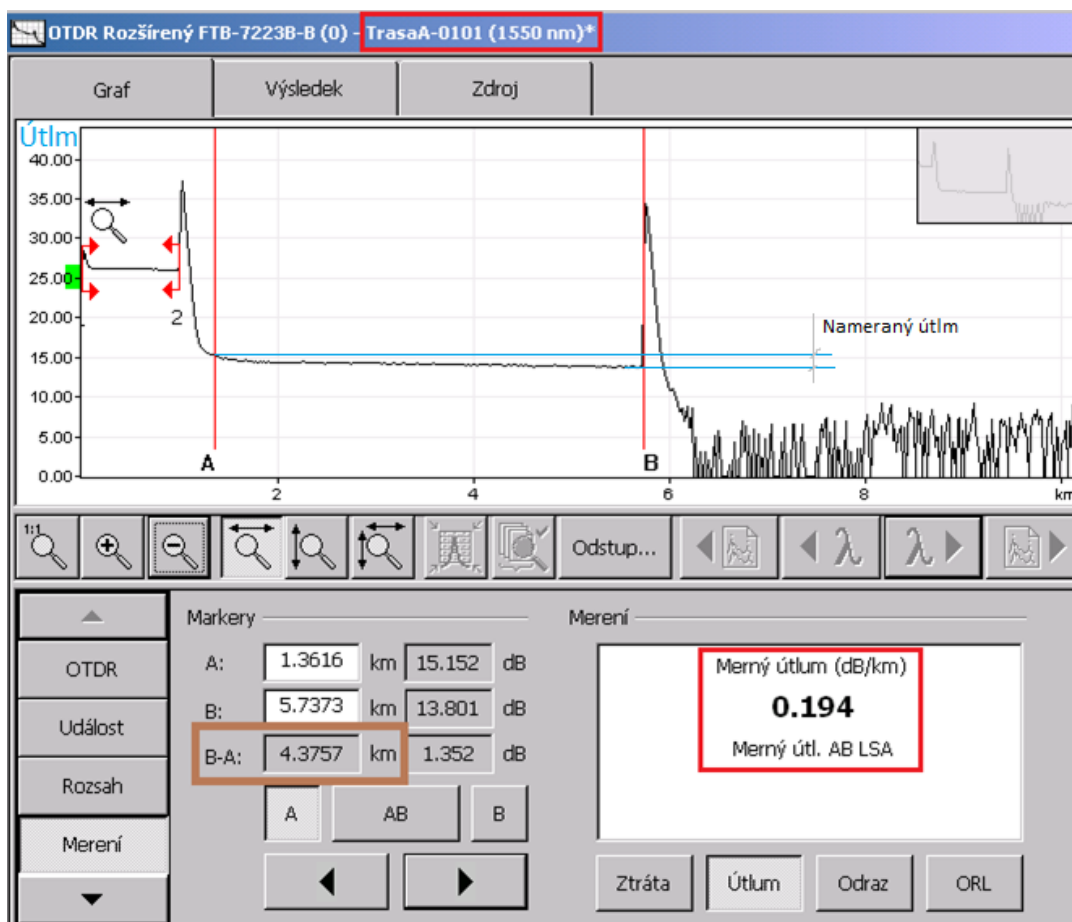
Útlm budeme merať na 4km vlákne, ktoré bude totožné s vláknom na trase. Meranie uskutočníme pre nami vybrané vlnové dĺžky a určíme priemerný útlm na jeden kilometer.

7.1.2 Postup a schéma zapojenia:



Obr. 7.1: Schéma zapojenia merania pomocou OTDR.

Vlákno s konektorom sme pripojili k prístroju viz. obrázok 7.1. Merač sme spustili do prevádzky podľa priloženého návodu. Nastavili sme nami požadovanú vlnovú dĺžku a odčítali hodnoty. Výsledky sú zaznamenané v tabuľke, ktorá má grafický výstup. Ukážku výstupu z merania je možné vidieť na obrázku 7.2. 5.10



Obr. 7.2: Výstup z merania metódou OTDR.

7.1.3 Záver merania k OTDR:

Nami namerané hodnoty zodpovedajú tabuľkovým hodnotám vybraným pri návrhu viz. tab 3.7 a zároveň táto hodnota je nižšia ako sa počítalo pri výpočte v tab. 3.11. Túto hodnotu predsa ale nechávame na hodnote 0,3 db na kilometer, aby sme si zachovali akúsi rezervu, keďže sa jednalo o laboratórne podmienky. Skutočný útlm, ktorý by vyšiel pri laboratórnych podmienkach je pre Trasu 1 rovná 78,3db(vlnová dĺžka=1550nm) 68,97(vlnová dĺžka=1650nm). Pre Trasu 2 rovná 77,5db(vlnová dĺžka=1550nm) 68,24db(vlnová dĺžka=1650nm).

Namerané hodnoty k meraniu OTDR

Projekt:	PROPOJENÍ TELEVIZNÍCH STUDIÍ
Typ vlákna:	JEDNOVIDOVÉ SM 1,55 μm .
Datum merania:	28.1.2014
Metóda merania	Mernie útlmu pomocou OTDR
Dĺžka trasy:	4,3757 km
Počet spojok	2
Meral :	Peter Flimel
Bod A	Testovacie vlakno
Bod B	Testovacie vlakno

Vlnová dĺžka : 1550nm

	meranie [db]			útlm [db] na 1km
	z A	z B	Stred	
Vlakno 1	0,832	1,142	0,987	0,226
Vlakno 2	0,921	1,102	1,0115	0,231
Vlakno 3	0,826	1,215	1,0205	0,233
Priemerný útlm vlákna na 1km =				0,230

Vlnová dĺžka : 1650nm

	meranie [db]			útlm [db] na 1km
	z A	z B	Stred	
Vlakno 1	0,732	0,964	0,848	0,194
Vlákno 2	0,872	0,972	0,922	0,211
Vlákno 3	0,952	0,824	0,888	0,203
Priemerný útlm vlákna na 1km =				0,202

Vypočítaný utlm ktorý by vznikol na vlákne pri navrhnutých trasách

TRASA	Σ dĺžka [km]	Útlm pre $\lambda=1550\text{nm}$	Útlm pre $\lambda=1650\text{nm}$
		[db]	[db]
Trasa 1 PRA-BA	340,6	78,33195	68,96533
Trasa 2 BA-PRA	337	77,50402	68,23640

7.2 Meranie PMD

Meranie fázového posuvu pomocou Interferometrickej metódy merania (PMD)

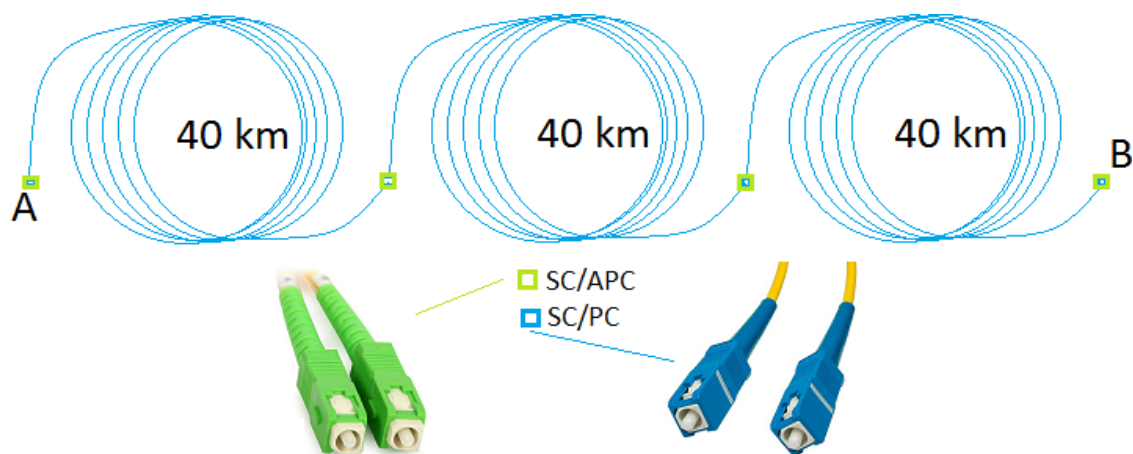
7.2.1 Úvod:

Disperziu sme merali na cievkach s vláknom, ktorý bude použitý na prepojenie Praha a Bratislava. Avšak meranie disperzie bude potrebné merať v daných podmienkach, lebo táto veličina závisí od samotných podmienok v reálnom prevedení. Naša simulácia prepoju pozostáva z 3 krát 40 km cievok. V druhej časti merania sme zapojili do obvodu kompenzáciu polarizačnej disperzie v hodnote 5ps ako ukážka toho ako je možné túto disperziu korigovať.

7.2.2 Postup a schéma zapojenia:

Meranie PMD 40km+40km+40km

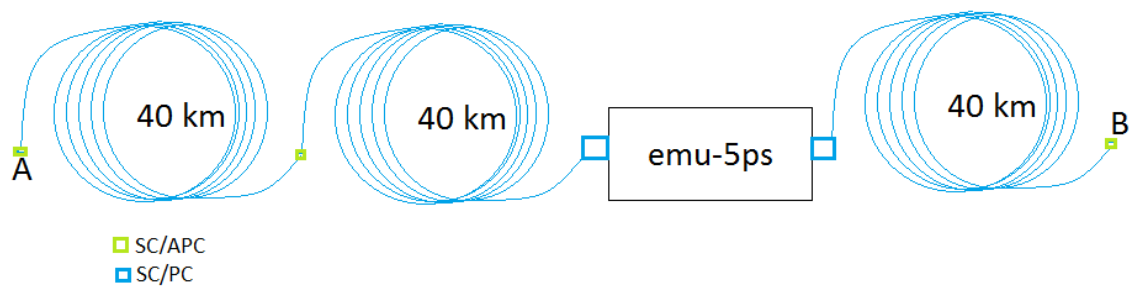
Pri tomto meraní sme zapojili 3 cievky za seba tak, aby sa vytvorila celková trasa 120km (viz. obrázok 7.3) čo bude dostačovať na to, aby sme vedeli ako bude pôsobiť polarizačná disperzia na našu navrhnutú trasu. Konektory SC/APC (konektor typu SC zo [APC = angled physical polish contact] šikmým brúsením) sú konektory v schéme zobrazené zelenou farbou. Tieto konektory boli použité hlavne preto, že sa vyznačujú nízkou úrovňou svetla odrazeného späť do konektoru. Používa sa hlavne pre siete s vlnovým multiplexom. Konektory sú vidieť aj na obrázku. Meranie bolo prevedené trojnásobne a vypočítany priemer. Namerané výsledky sú zobrazené v tabuľke merania „40km+40km+40km“.



Obr. 7.3: Meranie PMD na 120km vlákne.

Meranie PMD 40 + 40 + emu5ps + 40

Pri tomto meraní sme vložili do meranej schémy emulátor „emu-5ps“ viz. obrázok 7.4, aby sme ukázali ako by sme kompenzovali disperziu vzniknutú polarizačnou disperziou. Emulátor 5ps = opto-prvok, ktorý vniesol do trasy záporné oneskorenie voči polarizačnému oneskoreniu v trase, čo vidieť aj v nameraných výsledkoch. Namerané výsledky sú zobrazené v tabuľke merania „40 + 40 + emu5ps + 40“.

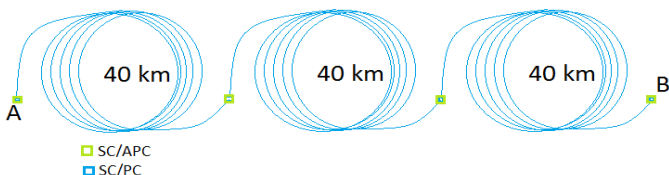


Obr. 7.4: Meranie PMD na 120km vlákne s 5ps emulátorom.

Namerané hodnoty k meraniu PMD

Projekt:	PROPOJENÍ TELEVIZNÍCH STUDIÍ
Typ vlákna:	JEDNOVIDOVÉ SM 1,55 μm.
Datum merania:	28.1.2014
Metóda merania	Meranie polarizačnej disperzie (PMD)
Dĺžka trasy:	120 km
Počet spojok	6 až 8
Meral :	Peter Flimel, Ing. Radim Šifta
Bod A	Testovacie vlakno
Bod B	Testovacie vlakno

Schéma : 40km + 40km + 40km

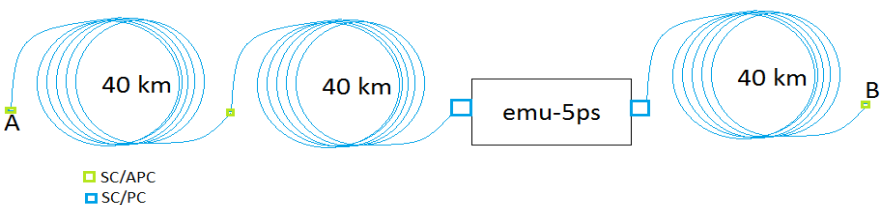


č.merania	Σ dĺžka [km]	PMD [ps]	PMD koeficient 1 radu		
			[ps/km ^{1/2}]	PMD min [ps]	PMD max [ps]
1	120	0,755	0,119	0,654	0,832
2	120	0,672	0,106	0,574	0,746
3	120	0,68	0,108	0,601	0,747
PRIEMERNE PMD:		0,702	0,111		

Predpokladaná PMD pri realnej navrhutej trase PRAHA - BRATISLAVA :

TRASA	Σ dĺžka [km]	PMD na km [ps]	Vypočítana PMD na trase [ps]
Trasa 1 PRA-BA	340,6	0,00585	1,993456111
Trasa 2 BA-PRA	337	0,00585	1,972386111

Schéma : 40km + 40km + emu5ps + 40km



č.merania	Σ dĺžka [km]	PMD [ps]	PMD koeficient 1 radu		
			[ps/km ^{1/2}]	PMD min [ps]	PMD max [ps]
1	120	4,613	0,421	4,466	4,917
2	120	4,604	0,42	4,501	4,742
3	120	4,645	0,424	4,437	4,892
PRIEMERNE PMD:		4,621	0,422		

7.2.3 Záver merania k PMD:

Ako vidieť z prvého merania, 120km trasa nám vniesla do prenosu 0,702 ps disperzie, v ďalšej časti merania sme použili kompenzačný 5ps člen, ktorý nám túto hodnotu stiahol na -4,621 ps (píšem mínus pretože kompenzácia posúva disperziu v protismere disperzie vzniknutej na vlákne.) Z nameraných hodnôt sme vypočítali predpokladanú disperziu, ktorá by vznikla na reálne navrhovanej trase. Hodnota disperzie, ktorá vzišla pre Trasu 1 (Praha - Bratislava) a aj pre Trasu 2 (Bratislava - Praha) je 2ps. To znamená, že by sme do navrhnutého riešenia pripojili emulátor 2ps pre obe trasy.

8 ZÁVER

Po zadaní nárokov štúdia bol vypracovaný návrh a použitie technológií na realizáciu celého projektu. Po vytýčení trás bola zavedená teória k meraniu a urobené návrhy metód merania zostavených trás. Ako hlavné metódy merania sme určili Metódu spätného rozptylu OTDR a interferometrickú metódu merania PMD. Namerané hodnoty som prepočítal k navrhovanej trase tak, aby sa čo najviac približovali k reálnym hodnotám. V niektorých problematikách v teoretickej časti som sa snažil nezachádzať príliš do podrobností, keďže často sa jedná o komplikovanejšiu problematiku.

LITERATÚRA

- [1] FILKA, M. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. CENTA, Brno 2009
- [2] KUCHARSKI, M. *WDM – Nová filozofie optických sítí*. Telekomunikace 1998, č.10
- [3] GIRARD. A. *Guide to WDM Technology.*, EXFO, Quebec, 2002
- [4] High Power Laser Fibre *Dr.(Phys.)Dipl.-Ing.Ralf-Udo Hartmann* [online]. aktualizované : 21.3.2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://drhart.ucoz.com/index/high_power_laser_fibre/0-58>.
- [5] Finální specifikace H.265 <http://www.tvfreak.cz> [online]. aktualizované : 21.3.2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <<http://www.tvfreak.cz/finalni-specifikace-h265-byla-schvalena/5007>>.
- [6] 4K resolution <http://en.wikipedia.org> [online]. aktualizované : 21.3.2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/4K_resolution>.
- [7] High Efficiency Video Coding <http://en.wikipedia.org> [online]. aktualizované : 21.3.2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/High_Efficiency_Video_Coding>.
- [8] Dolby Digital Plus <http://en.wikipedia.org> [online]. aktualizované : 21.3.2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Dolby_Digital_Plus>.
- [9] Laser <http://cs.wikipedia.org> [online]. aktualizované : 21.3.2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>>.
- [10] Mapa maps.google.sk [online]. aktualizované : 21.3.2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <<https://goo.gl/maps/AmUKE>>.
- [11] Absorpcia-svetla wikipedia.org [online]. aktualizované : 21.3.2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Optické_vlákno>.
- [12] Škorpil, V. *Přístupové a transportní sítě Laboratorní cvičení*. VUT Brno 2013
- [13] Novotný, V. *Architektura sítí*. VUT Brno 2013
- [14] Absorpcia-svetla wikipedia.org [online]. aktualizované : 21.3.2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <[http://sk.wikipedia.org/wiki/Absorpcia_\(svetlo\)](http://sk.wikipedia.org/wiki/Absorpcia_(svetlo))>.

- [15] FILKA, M. *Přenosová média - Návody do laboratoří*. VUT Brno 2013
- [16] Laserové diody 1. *elektrorevue* [online]. aktualizované : 21.3.2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <<http://www.elektrorevue.cz/clanky/01034/index.html>>.
- [17] FAQ, Tips and News *Optical Fiber Dispersion Fiber Optic Training and Tutorials* [online]. aktualizované : 21.3.2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <<http://www.fiberoptics4sale.com/wordpress/optical-fiber-dispersion/>>.

9 ZOZNAM SKRATIEK

ITU-T	International Telecommunication Union
FIFA	Medzinárodná futbalová federácia
MS	Majstrovstva sveta
LD	Laser diode, Laserová dióda
PIN	Typ Foto diódy
APD	Avalanche Photodiode
FDM	Frequency-division multiplex
WDM	Wave Division Multiplex, vlnový multiplex
WWDM	Wide wavelength division multiplexing, široký vlnový multiplex
DWDM	Dense Wavelength division multiplex, hustý vlnový multiplex
CDWM	Coarse Wavelength division multiplex,
STM	Synchronous Transfer Module, synchronní přenosový modul
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier, erbiem dopovaný vlákňový (optický) zesilovač
ISO/OSI	Open Systems Interconnection Reference Mode
MAC	Media Access Control, riadenie prístupu k médiu
TCP	Transmission Control Protocol, Protokol riadenia prenosu
IP	Internet protocol, Internetový protokol
IEC	International Electrotechnical Commission
DCF	Disperzion Compensation Fiber
OTDR	Optical time-domain reflectometer, Metóda spätného rozptylu OTDR
PMD	Polarization Mode Dispersion, Interferometrická metóda merania PMD