



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

PARAMETRY SÍTÍ FTTX - KVALITA SLUŽEB

PARAMETERS OF FTTX NETWORKS - QUALITY OF SERVICES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ALEŠ WINKLER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR MÜNSTER

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Aleš Winkler

ID: 98450

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Parametry sítí FTTx - kvalita služeb

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V rámci diplomové práce bude nutné se seznámit se sítěmi FTTx, jejich parametry a technologiemi výstavby. Dále se seznámit s kvalitou služeb optických sítí, parametry ovlivňujících kvalitu nabízených služeb. V praktické části pak bude provedeno měření a zjištění kvality nabízených služeb v dané reálné síti FTTx. Výsledkem bude návrh vylepšení stávající sítě pro přenos Triple Play služeb.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FILKA, M. Optické sítě. TKO 07-081. Brno: VUT, 2007. s. (210 s.)

[2] KUCHARSKI, M., DUBSKÝ, P.: Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras, MIKROKOM, Praha 1998

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 26.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Petr Münster

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Anotace

Hlavním cílem této diplomové práce je provést návrh na zlepšení optické přístupové sítě pro přenos služeb Triple play. Chtěl bych tady čtenáři objasnit metodu návrhu optické sítě. Jsou zde popsány druhy přístupových sítí s parametry, na které se musíme ohlížet při jejich výstavbě. Moderní druhy výstavby optické sítě jsou zde uvedeny také. V teoretické části jsou také rozebrány používané architektury sítí. Představil jsem zde známé standardy, které jsem zde srovnal kvůli vysoké důležitosti jejich výběru. Důvodem výstavby optické sítě jsou služby označované Triple play. Tyto služby společně s jejich problémy a parametry jsou zde diskutovány také. Na závěr teoretické části jsem vypsals měřicí metody pro zjištění negativních vlastností zkreslující průchozí signálu.

Pro samotnou praktickou část mi byla přidělena lokalita, která sice využívala optický signál jako zdroj informací, ale nevhodným zapojením nevyužívala kapacit, kterých jsou optické sítě schopny poskytovat, a tudíž nebyla schopna dodávat služby Triple play v požadované kvalitě. Bylo proto nutné nejprve danou síť analyzovat. Situaci značně zkomplikoval fakt, že v konečné fázi mi byl odmítnut přístup. U dané sítě ovšem byla známa struktura sítě a osazení jednotlivými prvky, kterou jsem si zdokumentoval. Z dané analýzy byly již patrné nevyhovující parametry pro přenos Triple play. Proto jsem provedl návrhy pro vylepšení stávající sítě. U prvního návrhu zůstal původní druh přístupové sítě FTTB s osazením nových, výkonnějších prvků. U druhého návrhu jsem vytvořil síť FTTH, u které byla možnost využít stávající položení optických kabelů s úpravami a osazením nových prvků. Bylo také zapotřebí vytvořit síť v jednotlivých bytových jednotkách. Výsledné návrhy tu jsou zhodnoceny, srovnány a cenově kalkulovány. Kvůli odmítnutí přístupu k optické síti v konečné fázi jsem neprovedl měření, a proto jsem vytvořil simulaci pro variantu FTTH pro zjištění několika parametrů negativně ovlivňující přenos.

Klíčová slova

Útlum, optický rozbočovač, optická přístupová síť, optické vlákno, kvalita služeb, vlnová délka

Abstract

The main subject of this diploma thesis is to make a proposal to improve the optical access network for the transmission of Triple play services. I would here to the reader clarify method of proposal of optical network. There are described the kinds of optical access networks with parameters, for which we must look by their construction. There are described the modern methods of construction optical network too. In the theoretical part are discussed used architecture of networks too. I met here known standards, which I compared for big importance by their choice. A reason of construction of optical network are services known like Triple play. These services together with their problems and parameters are here discussed too. At the end of theoretical part I listed here measuring method for getting negative attribute distorting the led signal.

In practical part the locality witch use the optical signal as the source of information is ordered. These network use unfit connections and has less possibilities than usual and this is the reason, why is the network not able to supply Triple play in requested quality. At first the analysis of ordered network was needed. Situation was complicated by the fact, that it has been prohibited entrance to me. The structure of network and network parts was known and documented by me. I made the proposals to improve this network in practical part. By the first proposal remained original kind of access network FTTB, but used new parts with higher performance. By the second proposal I made the network FTTH, by which it was possible to use the last haul optical cables with treatment and using new elements. It was needed to create solution by flat units. The resulting proposals are here evaluated, compared and cost evaluated. For rejection of access to optical network I did not make measuring, so I made simulation for variant FTTH for getting some parameters negative acting transmission.

Keywords

Attenuation, optical splitter, optical access network design, optical fiber, Quality of Services, wavelength

WINKLER, A. *Parametry sítí FTTx - kvalita služeb*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 74 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Münster.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma „Parametry sítě FTTx – kvalita služeb“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji Ústavu telekomunikací na VUT v Brně za možnosti studia a především vedoucímu diplomové práce Ing. Petru Münsterovi za velmi ochotnou pomoc při zpracování diplomové práce.

Děkuji rodině a mým blízkým za veškerou podporu během mých studií.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

OBSAH

1. Úvod.....	12
2. Optická vlákna.....	13
2.1. Jednovidová optická vlákna	13
2.2. Mnohovidová optická vlákna	14
2.3. Útlum optických vláken	14
2.4. Disperze v optických vláknech	17
2.4.1. Vidová disperze	17
2.4.2. Chromatická disperze	17
2.4.3. PMD.....	18
3. OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ FTTX	19
3.1. FTTO	19
3.2. FTTP.....	19
3.2.1. FTTH	19
3.2.2. FTTB.....	20
3.3. FTTC	21
3.4. FTTN	21
4. TECHNOLOGIE VÝSTAVBY SÍTÍ.....	22
4.1. Mikrotrubičkování.....	22
4.1.1. HDPE trubka.....	22
4.2. Mikrokabelážní systémy	23
4.2.1. MCS – Road.....	23
4.2.2. MCS – Drain.....	23
5. ARCHITEKTURA SÍTÍ.....	24
5.1. Bod – bod – PTP, P2P.....	24
5.2. Mnohabodové - PMP	25
5.3. AON	25
5.4. PON	26
5.5. Standardy PON.....	28
5.5.1. APON.....	29
5.5.2. PON	29
5.5.3. EPON	29

5.5.4.GPON.....	30
5.5.5.10GEPON.....	30
5.5.6.XG-PON.....	30
5.5.7.WDM - PON.....	31
5.6. Přenosové parametry PON.....	32
6. PRVKY OPTICKÉ SÍTĚ	34
6.1. Optické sváry.....	34
6.2. Mechanická spojka.....	34
6.3. Optické konektory.....	35
6.4. Optický opakovač.....	35
6.5. Optický zesilovač.....	36
6.6. Media konvertory.....	36
6.7. Optický rozbočovač.....	36
6.8. Optický přepínač – Switch.....	37
6.9. Most – Bridge.....	37
6.10. Optický směrovač - Router.....	37
6.11. Brána - Getaway.....	38
7. SLUŽBY SÍTĚ TRIPLE PLAY	39
7.1. VoIP.....	39
7.2. Televizní služby.....	39
7.2.1. VoD.....	40
7.2.2. PPV.....	40
7.2.3. EPG.....	40
7.2.4. VCR.....	41
7.3. Broadband internet.....	41
7.4. Kvalita služeb.....	42
7.4.1. Zpoždění.....	42
7.4.2. Kolísání zpoždění.....	42
7.4.3. Změna pořadí paketů.....	42
7.4.4. Ztrátovost paketů.....	43
7.4.5. Bitová chybovost.....	43
8. MĚŘÍCÍ METODY.....	44

8.1. Metoda OTDR.....	44
8.2. Transmisní metoda	45
8.3. Metoda fázového posuvu a diferenciálního fázového posuvu	45
8.4. Měření interferometrickou metodou	45
8.5. Metoda zpoždění impulsů v časové oblasti.....	45
9. ANALÝZA SÍTĚ	46
9.1. Centrální stanice	46
9.2. Použitá kabeláž.....	47
9.3. Připojení účastníků.....	48
10. NÁVRHY SÍTÍ PRO PŘENOS TRIPLE PLAY	50
10.1. Vyhotovení návrhu při zanechání struktury FTTB	50
10.1.1. Centrální stanice	50
10.1.2. Připojení účastníků	51
10.1.3. Útlumová bilance FTTB	52
10.1.4. Výčet potřebných prvků s cenovou kalkulací.....	53
10.2. Návrh FTTH	53
10.2.1. Centrální stanice	55
10.2.2. Připojení účastníků	55
10.2.3. Útlumová bilance FTTH.....	56
10.2.4. Seznam potřebných prvků	58
10.3. Hodnocení a srovnání navrhovaných řešení	59
11. SIMULACE SÍTĚ V PROGRAMU OPTSIM.....	60
11.1. Zapojení sítě FTTH.....	60
11.2. Výsledky a hodnocení simulace.....	62
12. ZÁVĚR.....	65
13. SEZNAM LITERATURY	69

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obr. 2.1: Struktura jednovidového optického vlákna.....	13
Obr. 2.2: Struktura mnohovidového optického vlákna.....	14
Obr. 2.3: Útlumová charakteristika optického vlákna.....	16
Obr. 3.1: Zobrazení zapojení typu FTTH	20
Obr. 3.2: Zobrazení zapojení typu FTTB.....	20
Obr. 4.1: Průřez HDPE trubky	22
Obr. 5.1: Rozdělení druhů optického zprostředkování.....	24
Obr. 5.2: Ukázka zapojení P2P.....	25
Obr. 5.3: Kruhová topologie sítě	26
Obr. 5.4: Stromová topologie sítě	27
Obr. 5.5: Princip WDM.....	31
Tab. 5.1: Srovnání standardů PON.....	33
Obr. 6.1: Univerzální mechanická spojka	34
Obr. 6.2: Ukázka spojení optických vláken optickými konektory FC.....	35
Tab. 6.1: Hodnoty vložného útlumu typických rozbočovačů.....	36
Obr. 7.1: Zobrazení možných přístupů ke službám Triple play	41
Obr. 7.2: Příklad poškození obrazu změnou pořadí doručených paketů.....	43
Obr. 7.3: Příklad poškození obrazu ztrátovostí paketů	43
Tab. 7.1: Doporučené parametry přenosu služeb Triple play ve vysoké kvalitě	43
Obr. 8.1: Zobrazení průběhu při měření metodou OTDR	44
Obr. 9.1: Připojené panelové objekty	46
Obr. 9.2: Schéma zapojení mikrotrubičkového systému	47
Obr. 9.3: Zobrazení připojení optickými vlákny panelových objektů N, O a P	48
Obr. 9.4: Využití vláken u přístupové sítě FTTB.....	49
Obr. 10.1: Útlumová trasa FTTB pro panelový objekt P	52
Tab. 10.1: Kalkulace útlumu přenosové trasy pro zapojení FTTB.....	52
Tab. 10.2: Seznam potřebných prvků pro FTTB	53
Obr. 10.2: Využitá vlákna v přístupové síti FTTH.....	54
Obr. 10.3: Kabelové rozvody v panelových objektech	56
Obr. 10.3: Útlumová trasa FTTH pro připojení nejvzdálenějšího uživatele	57
Tab. 10.3: Útlum přenosové trasy pro FTTH	57
Tab. 10.4: Seznam tříd pro GPON.....	58

Tab. 10.5: Seznam potřebných prvků pro FTTH	58
Obr. 11.1: Připojení jednoho uživatele v prostředí OptSim	60
Obr. 11.2: Vstupní spektra modulovaných signálů	62
Obr. 11.3: Vstupní spektra signálu po provedení vlnového multiplexu	62
Obr. 11.4: Výstupní spektra jednotlivých signálů	63
Obr. 11.5: Diagram oka.....	63
Obr. 11.6: Výstup BER analyzátoru	64
Obr. 11.7: Průběh útlumu	64

1. ÚVOD

Schopnost a potřeba komunikace s okolím patří k nejběžnější každodenní činnosti člověka. Proto je nutné, vzhledem k postupně se zvyšujícím nárokům na kapacitu komunikačního kanálu, tomuto oboru věnovat dostatečnou podporu. Dnes nejběžněji užívaná metalická vedení již téměř vyčerpala své možnosti zvyšování přenosové kapacity, a proto se vývoj telekomunikačních společností obrátil na využití optického signálu jako dodavatele signálu. V této formě se používá optický paprsek jako zdroj záření a optické vlákno plní úlohu přenosového média. Tento krok byl zdá se zdařilý vzhledem k jeho obrovskému potenciálu a dosahování výrazně vyšších hodnot přenosové kapacity.

Touto diplomovou prací bych Vás chtěl v teoretické části seznámit s možnostmi jednotlivých optických přístupových sítí FTTx. V této části bych chtěl nejprve rozebrat vůbec základní věci k šíření signálu jednotlivými vlákny, jejich negativní vlastnosti ovlivňující přenos v podobě disperze, druhy přístupových sítí, jejich moderní možnosti výstavby či používané prvky pro upravení signálu do potřebné podoby.

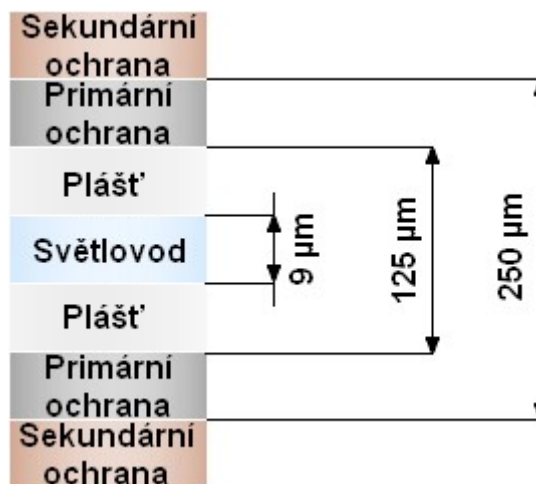
V praktické části bude provedena nejprve analýza stávající sítě, kterou bude potřeba dostupnými prostředky osadit novými prvky tak, aby byla schopna ve vysoké kvalitě distribuovat služby Triple play, což jsou v současné době služby fungující jako hlavní lákadlo telekomunikačních společností pro výstavbu optických přístupových sítí FTTx. Při těchto návrzích se budu snažit v co nejvyšší míře ohlížet na cenu a kvalitu poskytovaných služeb, jelikož nízká kvalita signálu by měla za důsledek ztrátu zákazníků. Pro jeden z návrhů bude vytvořena simulace v OptSim. V tomto simulačním prostředí bude jedno z navrhovaných řešení vylepšení sítě zapojeno a budou zde diskutovány změřené parametry.

2. OPTICKÁ VLÁKNA

Standardizovaných optických vláken je několik druhů. Zvolení vyhovujícího optického vlákna závisí na stanovených podmínkách, které má v dané situaci splňovat. Za tyto nejzákladnější podmínky lze považovat přenosovou rychlost, útlum, kapacitu a od těchto faktorů se také odvíjející cenu. V dnešní době se díky zvyšujícím se nárokům na kvalitu, kapacitu a možnosti využití technologie WDM, využívají nejrozšířeněji jednojádrová vlákna.

2.1. Jednojádrová optická vlákna

Jednojádrová optická vlákna s konstantním indexem lomu a skokovou změnou indexu lomu pláště jsou optické světlovody s malým průměrem jádra, který je schopen přenést jen jeden paprsek světla ve směru osy. Tento druh vlákna se používá pro přenosy s velkou šířkou pásma na velké vzdálenosti díky jeho nízké hodnotě polarizační vidové disperze, $0,3 \text{ ns.km}^{-1}$, a velmi malého útlumu, $0,2 \text{ dB.km}^{-1}$, pro vlnovou délku 1550 nm. Průřez standardizovaného jednojádrového optického vlákna je zobrazen na Obr. 2.1. [1]



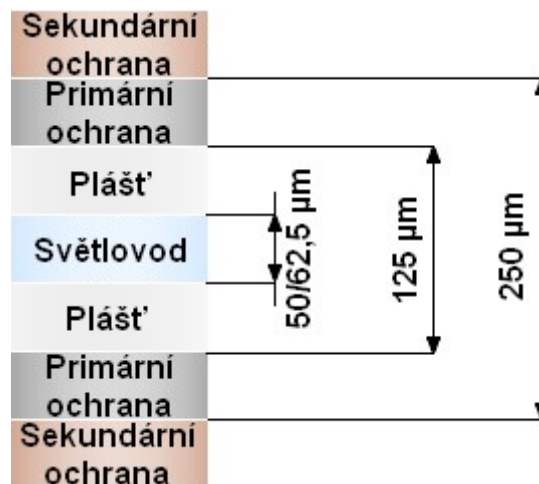
Obr. 2.1: Struktura jednojádrového optického vlákna [1]

2.2. Mnohovidová optická vlákna

Mnohovidová optická vlákna umožňují přenos více vidů v jednom světlovodu. Využívají se pro spoje na kratší vzdálenosti v lokálních nebo telekomunikačních sítích. Mnohovidových vláken jsou dva druhy:

- Mnohovidová optická vlákna se skokovou změnou indexu lomu – výroba, manipulace a konstrukce těchto vláken je poměrně jednoduchá, dosahují ovšem vysokého útlumu 5-20 dB/ km a vysoké polarizační vidové disperze 50 ns/ km. [1]
- Mnohovidová optická vlákna s proměnnou změnou indexu lomu – jejich přenosové parametry jsou lepší nežli u předchozího druhu mnohovidových vláken, kdy útlum dosahuje hodnot 2,5 – 5 dB/ km a polarizační vidová disperze 1 ns/ km pro vlnovou délku 850 nm. Jejich konstrukce, výroba a spojování je náročnější. [1]

Průřez standardizovaného mnohovidového optického vlákna s jeho rozměry je pro názornost zakreslen na Obr. 2.2.



Obr. 2.2: Struktura mnohovidového optického vlákna [1]

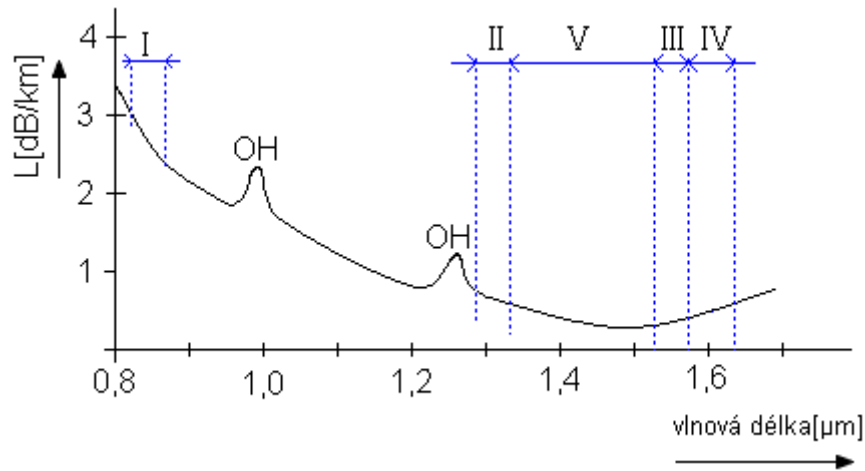
2.3. Útlum optických vláken

U křemíkových optických vláken je hodnota útlumu velice nízká pro vybrané vlnové délky. Pohybuje se řádově v desetinách decibel na kilometr, zatímco u

plastových vláken je tato hodnota mnohem vyšší. Útlum optických vláken největší měrou způsobují:

- vyzařování z vlákna - vyzařování z vlákna vzniká odrazem od vnějšího prostředí světlovodu, kde část energie proniká z jádra.
 - rozptyly na nehomogenitách - mezi nejrozšířenější útlum optického vlákna způsobený rozptylem patří Rayleighův rozptyl vznikající působením malých mikronehomogenit nebo drobných nečistot na vlnovou délku.
 - optické spoje - při budování optické sítě je vždy zapotřebí na několika místech vytvořit optický spoj v podobě sváru, konektoru nebo spojky. Jelikož se jedná o pasivní prvky, dochází u nich ke ztrátám na optickém výkonu. Je tedy nutné jich vytvořit co nejméně a při vytváření těchto pasivních prvků dodržovat veškeré zásady, aby bylo dosaženo nejmenších ztrát a byly dodrženy limitní parametry sítě. Při tvorbě sítě je nutné těchto spojů vytvořit co nejméně i s ohledem na možný výskyt poruch na nich.
 - vlastní a nevlastní absorpce prostředí, v němž se energie záření šíří - nevlastní absorpce je hodnota útlumu odvozená z množství nečistot v optickém vlákne. S rostoucí čistotou vlákna přirozeně klesá útlum. Nevlastní absorpci nejčastěji způsobují negativní vlivy iontů železa, mědi, chromu a také iontů vody OH. Vlastní absorpci určuje použitý materiál vlákna a rovněž zvolená vlnová délka.
- [2]

Pro přenos po optickém vlákne bylo vybráno několik vlnových délek tzv. přenosových oken. Tento výběr byl vytvořen na základě jejich závislosti na útlumu (viz obr. 2.3).



Obr 2.3: Útlumová charakteristika optického vlákna[2]

Přenosová okna byla vždy vybrána především v úseku s nižším útlumem (viz Obr. 2.3):

- I. okno (850 nm) - hodnoty měrného útlumu se dají označit za poměrně vysoké avšak díky nízkým nákladům na výrobu zdrojů se v tomto okně používaná vlnová délka 850 nm, patřící do mnohovidového šíření, používá pro přístupové sítě. [2]
- II. okno (1280 - 1335 nm) - nejnižší vlnová délka používající se pro jednovidový přenos na vlákne o rozměrech 9/125 μm. Průměrná hodnota měrného útlumu je 0,35 dB/km. Používá se pro přenosy na střední vzdálenosti. [2]
- III. okno (1530 - 1565 nm) - Jedná se o okno dosahující nejnižší hodnoty měrného útlumu 0,19 dB/km. Díky této vlastnosti se používá pro přenosy na velké vzdálenosti. [2]
- IV. okno (1565 - 1610 nm) - hodnoty měrného útlumu tohoto okna jsou nepatrně vyšší, nežli u III. okna. Společně s ním se používá díky pokroku technologie WDM a optických zesilovačů pro zvýšení kapacity přenosu na dálkových přenosech. [2]

- V. okno (1335 – 1530 nm) - Díky příměsím OH iontů vody se vlákna s tímto oknem začala používat až v 90. letech, kdy bylo možno tyto příměsi eliminovat. [2]

2.4. Disperze v optických vláknech

Disperze v optických vláknech je jedna z vlastností negativně ovlivňující přenášený signál. Způsobuje jeho zkreslení. Odvozuje se z rozdílu šířky signálu v polovině výšky na vstupu a výstupu vlákna. [2]

2.4.1. Vidová disperze

Týká se pouze vláken, v nichž se šíří více vidů. Každý z těchto vidů se šíří různou rychlostí, díky čemuž jsou jednotlivé vidy doručeny s rozdílným zpožděním a výsledný impuls přichází s časovým posunem. Tento problém se řeší použitím vhodných vlnových délek či zmenšením počtu přenášených vidů. V současné době se ovšem používají převážně jednovidová vlákna, kde se tento jev díky přenosu po jednom vidu nevyskytuje. [2]

2.4.2. Chromatická disperze

Chromatická disperze CD (Chromatic Dispersion) se oproti vidové disperzi vyskytuje i u vláken jednovidových. Chromatická disperze se začala měřit až po nástupu technologie DWDM, díky níž se vláknem šíří signál různých vlnových délek a ty při průchodu vláknem dosahují různých zpoždění, čímž dochází na výsledném impulsu ke zkreslení.

Chromatická disperze se skládá ze dvou složek:

- Materiálová disperze – bývá způsobena závislostí indexu lomu materiálu, použitého pro výrobu vláken, na vlnové délce.
- Vlnová disperze – způsobena geometrickými vlastnostmi, které rovněž ovlivňují šířící se signál. [2]

2.4.3. PMD

Polarizační vidová disperze PMD (Polarization Mode Dispersion) vzniká mikroohyby nebo jakýmikoliv nesymetriemi optického vlákna, které způsobí rozdílnou rychlost šíření signálu v obou polarizačních rovinách a tím deformaci signálu na výstupu vlákna. PMD vzniká především nevhodnou pokládkou, špatnou montáží či výrobou optického kabelu. [2]

3. OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ FTTX

Komunikace se řadí mezi základní potřebu člověka. S rozvojem digitalizace postupně rostly i nároky uživatelů na velikosti přenosových kapacit touto formou. Začalo se tedy uvažovat o využití optického signálu pro přenos dat. Pojem FTTX značí přístupové síťové, které k přenosu signálu využívají optický signál a postupem času nahrazující metalická vedení. Optický signál ovšem bývá ke koncovému uživateli přiveden podle možností několika způsoby, kde záleží na vzdálenosti koncového bodu optické sítě od uživatele. Podle této vzdálenosti má síť FTTX rozlišení v posledním písmenku názvu. Výhoda připojení uživatelů ke vzdálenějším bodům sítě FTTX spočívá v možnosti využití stávajícího metalického vedení. Tím se ušetří finanční náklady na vybudování optické sítě avšak za cenu nižších přenosových rychlostí nežli u přístupové síťové s blízkým koncovým bodem optické sítě od uživatele, kde je cena i přenosová rychlost vyšší. [3]

3.1. FTTO

FTTO (Fiber-To-The-Office) optická vlákna jsou zavedena až přímo do kanceláří k uživatelskému PC. U této varianty se jedná o zákazníky s požadavky na maximální přenosové kapacity[3]

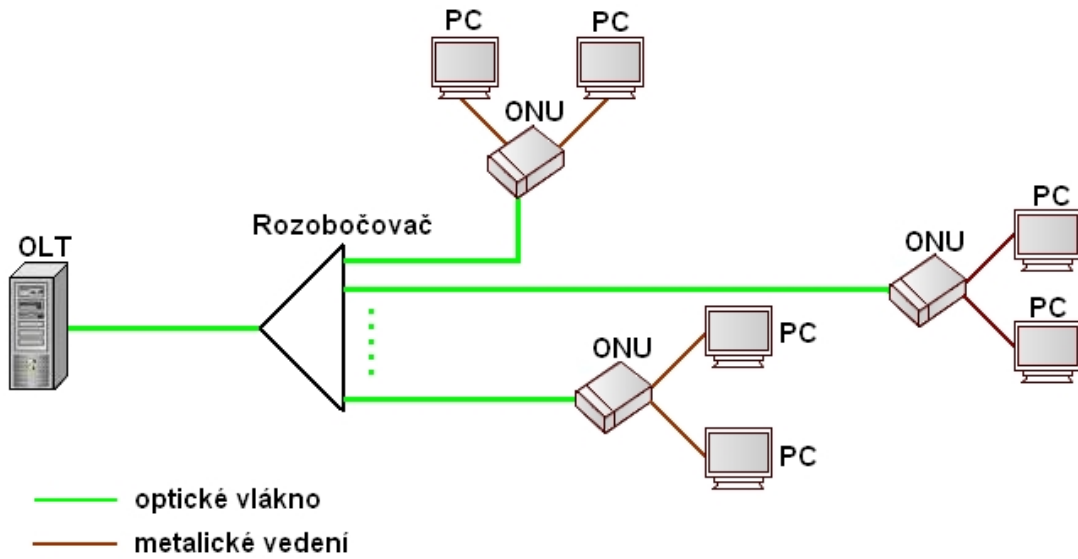
3.2. FTTP

FTTP (Fiber-To-The-Premises) označuje takovou strukturu sítě, u které je optický signál přiveden přímo ke koncovému uživateli. Do této kategorie struktury se řadí FTTH a FTTB. Pokud je vlákno ukončeno v bytové ústředně, jedná se o FTTB. Naopak pokud je signál přiveden ke každému uživateli přímo do vnitřní části jeho bytové jednotky, jedná se o variantu FTTH. [3]

3.2.1. FTTH

U FTTH (Fiber-To-The-Home) se optické vlákno přivádí nejprve do rozvodné skříně, kde obvykle bývá umístěn rozbočovač. Z něj jsou rovněž pomocí optických vláken připojeny optické síťové jednotky ONU umístěné v obytné jednotce uživatele.

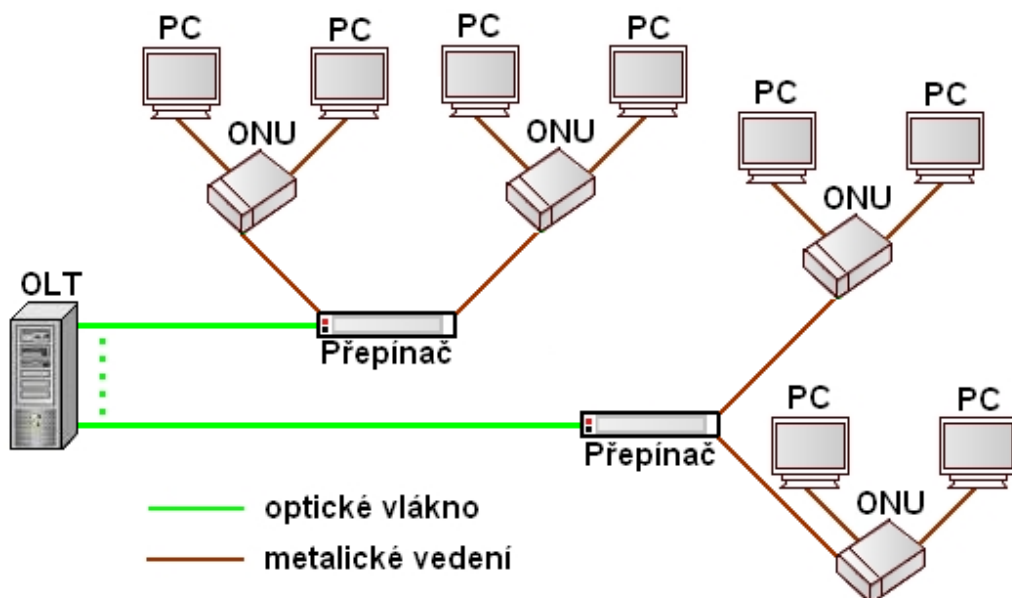
Uživatelovy spotřebiče jsou pak připojeny metalickým vedením, bezdrátově či jinými způsoby (viz Obr. 3.1). [3]



Obr. 3.1: Zobrazení zapojení typu FTTH[3]

3.2.2. FTTB

FTTB (Fiber-To-The-Building) je takový druh optického připojení, kde je optické vlákno přivedeno do rozvodné skříně budovy, obsahující například přepínač. Z této rozvodné skříně umístěné v obytné budově, nikoliv samotném bytě, je signál přiveden pomocí metalického vedení, bezdrátově či jinou formou k uživateli (viz Obr. 3.2). [3]



Obr. 3.2: Zobrazení zapojení typu FTTB[3]

3.3. FTTC

FTTC (Fiber-To-The-Cabinet), rovněž též označován Fiber-To-The-Curb má optické vedení zakončeno v rozvodně, která je od uživatele vzdálen méně než 300 metrů. Odsud je pak signál přiveden k zákazníkovi většinou metalickým vedením v podobě koaxiálního kabelu či kroucené dvojlinky. Rozdíl mezi použitím značení Curb a Cabinet je v poloze ukončení optického vlákna. Varianta Cabinet se ukončuje v rozvaděči v terénu a varianta Curb na okraji chodníku u skupiny potenciálních uživatelů. [3]

3.4. FTTN

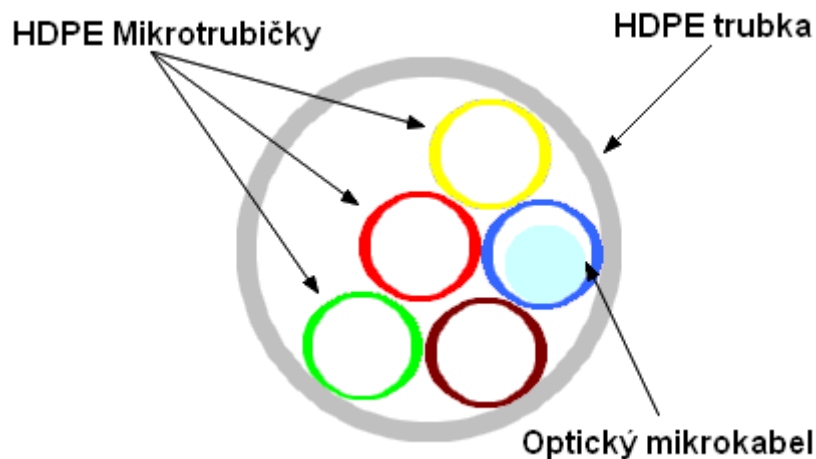
FTTN (Fiber-To-The-Node) je obdobná struktura jako FTTC, jen vzdálenost uživatele od ústředny dosahuje až několika kilometrů, díky čemuž je schopna dále připojit mnoho potenciálních uživatelů. Přirozeně ovšem nedosahuje takových rychlostí jako FTTC. Spojení od ústředny k uživateli bývá realizováno metalickým vedením v podobě kroucené dvojlinky či koaxiálního kabelu. [3]

4. TECHNOLOGIE VÝSTAVBY SÍTÍ

Jeden z nejdůležitějších faktorů pro pomalý rozvoj optické sítě mezi běžné uživatele je pořizovací cena, kterou nemalou měrou ovlivňují náklady na výstavbu optické sítě.

4.1. Mikrotrubičkování

Mikrotrubičkování představuje jednu z moderních technologií používanou v telekomunikacích. Podstatně nám zvýší přenosovou kapacitu stávajících optických tras a zredukuje náklady při výstavbě nových sítí. Standardně je optický kabel zafouknut případně zatažen do ochranné HDPE trubek o průměru 40/33 mm nebo 50/40,8 mm. V dnešní době to již začíná být problém pro nedostatečnou kapacitu kabelovodů a prostoru potřebném pro výstavbu přístupových sítí. Při použití mikrotrubičkování se do HDPE trubky pomocí speciálního zařízení zafouknou svazky trubiček, do kterých se následně zafukují další mikrokabely o vnějším průměru 7 mm, což je vyobrazeno na Obr. 4.1. V jedné ochranné HDPE trubce je možné připojit až deset na sobě nezávislých tras. [4]



Obr. 4.1: Průřez HDPE trubky[4]

4.1.1. HDPE trubka

Uplatňují se jako součást telekomunikačních sítí. Optický kabel je do trubek zafukován nebo zatažen. Samotné HDPE(High Density Polyethylen) trubky jsou podle potřeby spojeny rozebíratelnými mechanickými spojkami nebo jsou svařeny. [4]

4.2. Mikrokabeláží systémy

Při přechodu z metalického vedení na optické vlákno se za jeden z největších problémů považuje samozřejmě cena. Poměrně značnou finanční částku lze ušetřit použitím takzvaných mikrokabeláží systémů MCS (Micro Cabling System), které odlehčují jak problém finanční, tak i problémy týkající se pozastavení dopravy v dané lokalitě nebo také nebezpečí poškození stávajících podzemních sítí.

Samotné MCS nevyžaduje téměř žádné výkopové práce a umožní tak rychlou a cenově nižší instalaci kabelů v prostoru chodníků, vozovek nebo odpadních vod. Existují dva koncepty, MCS - Road a MCS - Drain, odlišeny umístěním kabelážího systému. Mezi výhody MCS patří: [2] [5]

- větší rychlost instalace
- minimalizace dopravního omezení
- omezení znečišťování životního prostředí

4.2.1. MCS – Road

MCS – Road je technologie ukládání mikrokabelů do vozovek a chodníků. Samotný kabel byl pro tento účel vyvinut, tvoří jej měděná trubička o vnějším průměru 5 mm vyplněnou pružnou plnicí hmotou, která je přizpůsobena klimatickým podmínkám, obsahující 12, 24, 36, 48, 60 nebo 144 optických vláken. Využívá se zde především jednovláknová optická vlákna dle doporučení ITU-T G.652. Trubičku izoluje plášť s tloušťkou stěny 1 mm. Celý kabel má tedy průměr 7 mm.

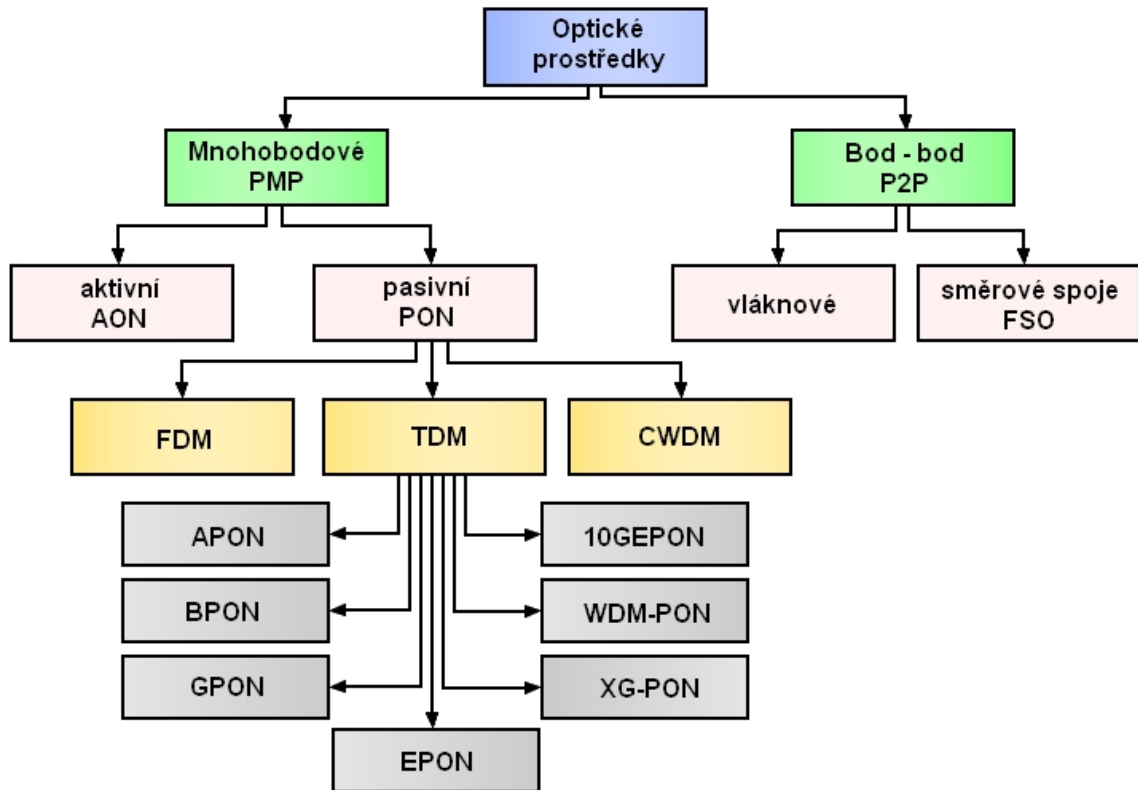
Mikrokabel je odolný vůči vnějším vlivům, robustní a dá se lehce tvarovat, aniž by se zlomil. Má malý průměr a dobré tepelné vlastnosti. Díky malému průměru jej můžeme umístit do nových kabelových tras v hloubce 60 až 120 mm. Hodí se jak do městského prostředí, tak i pro páteřní kabeláže velkých objektů. [2] [5]

4.2.2. MCS – Drain

MCS – Drain jsou kabely pro použití do potrubí odpadních vod, skládající se z hliníkové trubičky o vnějším průměru 6 mm a obsahující rovněž svazek 12, 24, 36, 48, 60 nebo 144 optických vláken. Tento kabel bývá opacéřován ocelovými dráty, aby byl tak chráněn před tahovou zátěží nebo před poškozením hlodavci. [2] [5]

5. ARCHITEKTURA SÍTÍ

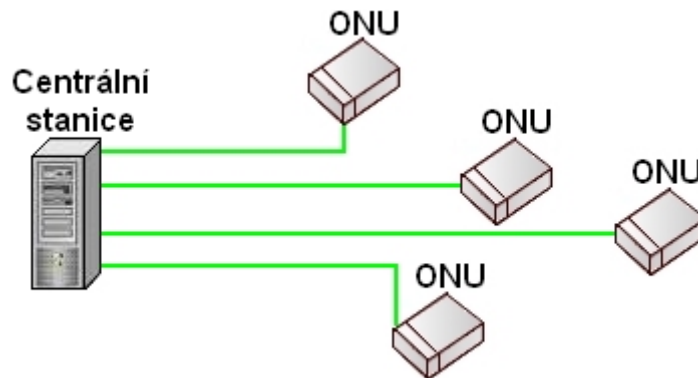
Optické distribuční sítě ODN se realizují dvěma základními architekturami, Bod-bod a mnohobodová architektura. Volba architektury při výstavbě optické přístupové sítě se rozhoduje podle prostředků a informací, které máme dispozici. Mezi nejzákladnější kritéria při rozhodování patří požadované parametry sítě a cena.



Obr. 5.1: Rozdělení druhů optického zprostředkování [6]

5.1. Bod – bod – PTP, P2P

U optické distribuční sítě PTP (Point to point) se z pohledu zapojení jedná o nejjednodušší variantu. Příklad takového zapojení je vyobrazen na Obr. 5.2. Pro poskytnutí signálu je určeno každému klientovi jeho vlákno. V centrální stanici má každý klient i vlastní zdroj signálu. Ve většině případů se používá u takového druhu sítě jednovláknová optická vlákna na vlnových délkách 1490 nm pro sestupný směr a 1310 nm pro vzestupný směr. Pro distribuci TV signálu se používá vlnová délka 1550 nm. Díky těmto použitým technologiím má klient k dispozici velkou šířku pásma ovšem za cenu vyšších pořizovacích nákladů v podobě většího množství vlákna a potřeby individuálního zdroje pro každého klienta. [2] [6]



Obr. 5.2: Ukázka zapojení P2P [6]

5.2. Mnohabodové - PMP

Mnohabodová síť PMP (Point to Multipoint) používá pro distribuci signálu jedno optické vlákno, jehož přenosová kapacita bývá rozdělena mezi více klientů pomocí optických rozbočovačů. V těchto prvcích dochází ke zvýšení optického útlumu a kvůli správnému detekování přijatého signálu je počet rozbočovačů limitován. Dosah takovýchto sítí se pohybuje mezi 20-30 km vzhledem k možné použitelnosti pouze pasivních prvků. Používají se zde výhradně jednovidová optická vlákna vlnových délek stejných jako v případě PTP. Čili pro sestupný směr je použita vlnová délka 1490 nm a pro vzestupný směr 1310 nm. Pro distribuci televizního signálu se používá vlnová délka 1550 nm. Příklad takového zapojení PMP je vyobrazen na Obr. 5.4. [2] [6]

5.3. AON

Aktivní přístupová síť AON má s výjimkou několika rozdílů podobnou strukturu jako pasivní přístupová síť PON. Tento druh přístupové sítě je velice blízký topologii PTP. Prvky této sítě ovšem nejsou na rozdíl od PTP pasivní, nýbrž aktivní. Díky tomu je možno vysílaný signál vybranými prvky zesílit. Od této vlastnosti se odvíjí skutečnost, že síť AON lze použít pro klienty, jež jsou vzdáleni od centrální stanice až 80 km v závislosti na jejich počtu. Nevýhoda aktivních oproti zmíněným pasivním spočívá v nutnosti zajištění jejich napájení, čímž vzrůstají náklady na jejich provoz a údržbu. [2] [7]

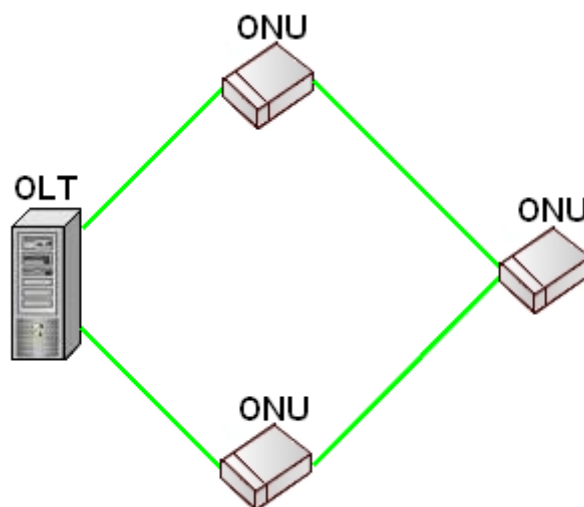
5.4. PON

PON (Passive Optical Network) je složena ze zdroje optického signálu OLT, přenosové trasy a účastnické jednotky ONU. Tento druh zapojení se jmenuje pasivní vzhledem ke skutečnosti, že na optické trase se nacházejí pouze pasivní prvky sítě. Mezi nezákladnější pasivní prvek optické trasy u PON řadíme optický rozbočovač, který slouží k rozdělení přenosové kapacity jednotlivým uživatelům. Dosah takovéto sítě, čili vzdálenost mezi OLT a ONU, při splnění správného přenosu bývá 10-20 km pro 32 uživatelů. Jedná se tedy o zapojení, v němž je kapacita jednoho zdroje záření rozdělena mezi více uživatelů.

Základní topologie pasivních optických sítí:

- Kruhová topologie
- Stromová topologie

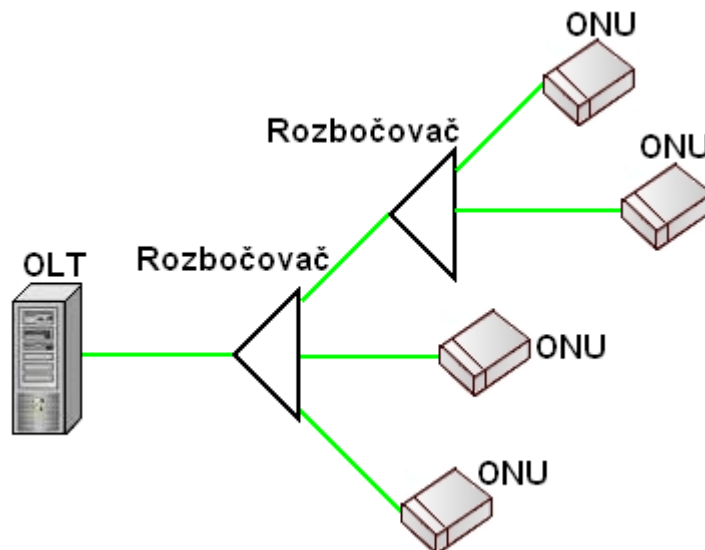
Kruhová topologie - označuje zapojení, kde jeden uzel je připojen k ostatním uzlům tak, že spolu vytváří kruh. Výhody tohoto zapojení spočívají v jednoduchosti přenosu dat, jelikož se data posílají jedním směrem. Připojení dalšího prvku lze velice snadno bez omezení šířky pásma. Správným připojením dalšího prvku nedojde ke vzniku kolize. Zapojením touto topologií má nevýhodu v přenosu dat přes velké množství uživatelů. Z toho vyplývá, že porucha prvku jednoho uživatele nebo přidání dalšího má za následek vypnutí celé sítě. Bylo by zde tedy vhodné použít dostatečné zálohování přenosové trasy. Nalezení poruchy se rovněž těžko určuje, obzvláště v případě vzniku více chyb najednou. [7]



Obr. 5.3: Kruhová topologie sítě [6]

Stromová topologie – Název této topologie je odvozen od jejího zevnějšku, jenž obrazně připomíná rozvětvení stromu. Na vrcholku této topologie se nachází zdroj signálu, který dodává signál jednotlivým uživatelům rozdělený pomocí rozbočovačů, jak je vyobrazeno na Obr. 5.4. Při selhání jednotlivých prvků nedochází k nefunkčnosti celé sítě, ale pouze její části. Přidání nového uživatele je v případě volného výstupu bezproblémové z hlediska funkčnosti ostatních uživatelů sítě. U této topologie je nalezení chybného prvku poměrně jednoduché.

Tato topologie by se dala označit i jako sběrnicevého typu, vzhledem ke skutečnosti, že se v ní nachází jedno přenosové médium sdílené více uživateli, jelikož rozbočovače působí jen jako pasivní prvky pro sdílení vstupního signálu jednotlivým uživatelům. [7]



Obr. 5.4: Stromová topologie sítě [6]

Každá z této topologie má své výhody i nevýhody a lze je různě kombinovat. Vždy se vychází z jednotlivé situace podle prostředků a možností přístupu. Při návrhu hraje důležitou roli vzdálenost mezi OLT a nejvzdálenější ONU. Metoda návrhu optické distribuční sítě ODN vychází z útlumu právě mezi OLT a ONU. Musí se zde brát ohled na útlum všech pasivních prvků nacházejících se na této přenosové cestě. Mezi tyto pasivní prvky se řadí rozbočovače, spoje optického vlákna v podobě optických konektorů, spojek a svárů a útlum samotného optického vlákna.

Mezi základní prvky pasivní optické sítě patří:

- ODN (Optická distribuční síť) – distribuční síť obecně zajišťuje distribuci služeb uživatelům. V optickém provedení se tedy jedná prvky sítě, nacházející se mezi OLT a ONU, čili optický rozbočovač, optické spoje a další. [8]
- OAN (Optická přístupová síť) – v jedné centrální stanici se může nacházet i více OLT. V případě, že je k jednomu OLT připojeno více distribučních sítí, nazýváme takovou síť přístupovou. [8]
- OLT (Optické linkové zakončení) – jedná se o prvek, který se nachází na hranici mezi páteřní a distribuční sítí. Provádí konverzi protokolů z připojení k páteřní síti na připojení k distribuční síti. Vzhledem k distribuční síti dohlíží a spravuje uživatelské optické síťové jednotky a optická síťová zakončení. [8]
- ONT (Optická síťové zakončení) – optické zařízení nacházející se v prostorách uživatele. Toto zařízení zajišťuje konverzi protokolů mezi optickou přístupovou sítí a jejím zakončením. [8]
- ONU (Optická síťová jednotka) – koncové zařízení nacházející se v prostorách uživatele. Jeho funkce je stejná jako v případě optického síťového zakončení. Rozdíl spočívá v možnosti připojení samotného uživatele, jelikož v případě ONU je možnost připojení navazující metalické nebo bezdrátové sítě, čímž můžeme přenosovou kapacitu rozdělit pro více uživatelů. [8]

5.5. Standardy PON

Na základě přenosových protokolů bylo kvůli jednotnosti šíření signálu v pasivních sítích PON vytvořeno několik standardů. Vydáváním těchto standardů se zabývá organizace ITU-T pro standardy GPON a IEEE pro standardy EPON.

5.5.1. APON

ATM PON s doporučením ITU-T G.983.1 standardizovalo přenos na základě ATM buněk. Tento druh pasivní optické sítě má dvě základní varianty. První, symetrická varianta režimu přenosu dat, dosahuje v obou směrech rychlosti 155,52 Mbit/s. Druhá varianta, asymetrická, dosahuje v sestupném směru rychlosti 622,08 Mbit/s a ve vzestupném směru 155,52 Mbit/s. [2] [8]

5.5.2. BPON

Broadband (širokopásmová) PON je optická síť založena na stejném způsobu přenosu jako APON. U BPON se jedná pouze o symetrickou variantu režimu přenosu dat. V obou směrech dosahuje rychlosti 622,08 Mbit/s. K přenosu se používá vlákno G.652. U tohoto druhu optické sítě je možno již využít technologie vlnového dělení. [2] [8]

5.5.3. EPON

Ethernet PON patří do skupiny pasivních optických sítí pracujících podle doporučení IEEE 802.3ah. Tento druh sítí se vyskytuje především v asijských oblastech. Jeho distribuční část, tedy část sítě mezi OLT a ONU, obsahuje pasivní prvky jako optické rozbočovače, optické spoje. Tato síť má nejčastěji stromovou topologii. Používají se zde jednovidová optická vlákna s možností využití vlnového dělení. V této síti se pracuje v symetrickém režimu přenosu dat s přenosovou rychlostí 1244,16 Mbit/s. Existují dva typy: [2] [8]

- 1000BASE - PX10 – dosah této sítě je 10 km, maximální možný poměr rozbočení je 1:16
- 1000BASE – PX20 – dosah této sítě je 20 km, maximální možný poměr rozbočení je 1:32

5.5.4. GPON

Gigabit PON pracuje dle doporučení standardu ITU – T G.984.1. Nejrozšířenější varianta v oblasti Evropy. Pro přenos využívá ATM buněk a GPON rámců. K šíření signálu využívá služeb jako Ethernet. Používané vlnové délky jsou shodné jako u varianty EPON. EPON není kompatibilní s GPON. Podle dosahovaných přenosových rychlostí rozlišujeme dva typy: [2] [8]

- Symetrický režim přenosu dat – v obou směrech lze dosáhnout rychlostí buď 1244,16 Mbit/s nebo 2488,32 Mbit/s.
- Asymetrický režim přenosu dat – v sestupném směru lze dosáhnout rychlostí 1244,16 Mbit/s nebo 2488,32 Mbit/s, ve vzestupném směru pak 155,52 Mbit/s, 622,08 Mbit/s, 1244,16 Mbit/s.

5.5.5. 10GEPON

10 Gigabit Ethernet PON podle doporučení IEEE 802.3av je v současné době ve vývoji standardu pro 10 Gbit/s. Tento duh sítě je kompatibilní s předchozí variantou EPON. Je rovněž kompatibilní s do budoucna uvažovanou technologií WDM-PON tudíž se jeví jako velice perspektivní kvůli nižším nákladům při přechodu na tuto variantu. Podle dosahovaných přenosových rychlostí rozlišujeme dva typy: [9]

- Symetrický režim přenosu dat – v obou směrech lze dosáhnout rychlosti 10 Gbit/s.
- Asymetrický režim přenosu dat -. v sestupném směru lze dosáhnout rychlosti 10 Gbit/s a ve vzestupném 1 Gbit/s.

5.5.6. XG-PON

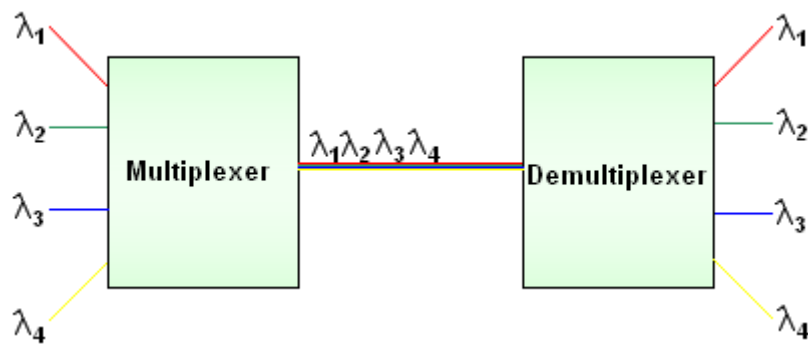
Jedná se standard vyvinut organizací ITU-T poskytující asymetrickou přenosovou rychlost 10 Gbit/s v sestupném směru a 2,5 Gbit/s ve vzestupném směru.

Tento standard je kompatibilní se sítěmi standardu GPON. Využívá vlnových délek 1575-1580 nm pro sestupný směr a 1260-1280 nm pro vzestupný směr díky čemuž byla provedena úprava standardu GPON pro vlnovou délku pro sestupný směr, která nově činí 1290-1330 nm čímž dojde k úplnému oddělení signálu při použití technologie WDM. Pro tento standard byl zvýšen rozbočovací poměr na 1:256. Hodnota maximálního dosahu sítě zůstala na 20 km. [18]

5.5.7. WDM - PON

Dosavadní optické sítě využívaly technologii TDMA (Time Division Multiple Access). Možnosti zdokonalení této technologie byly téměř vyčerpány, a proto bylo nutné začít využívat novou technologii. U sítě WDM – PON se uvažuje využití technologie WDM (Wavelength Division Multiplex), vlnového multiplexu.

Jedná se tedy o pasivní optickou síť využívající technologii WDM, což je technologie zvyšující kapacitu vlákna spojením několika optických kanálů do jednoho vlákna na principu frekvenčního oddělení. Vlnové dělení je schopno sdružovat optické signály o různých vlnových délkách a tak umožňuje přenášet signál paralelně po jednom optickém vlákne, z čehož vyplývá, že každá vlnová délka poskytuje dostatečnou šířku pásma v jednom optickém vlákne. [10]



Obr. 5.5: Princip WDM [10]

Díky standardizaci ITU–T G.694.2 došlo k jednotnému určení vlnových délek pro realizaci vlnového dělení a došlo též na variantu hrubého CWDM (Coarse WDM) a hustého vlnového dělení DWDM (Dense WDM).

Na vlákne DWDM je použito mnohem více vlnových délek, na které je navázán signál, a které jsou sdruženy do jednoho vlákna při přenosu. Vlákno s užitím této technologie se označuje hustý vlnový multiplex. Odstup mez vlnovými délkami je cca 0,4 nm. U CWDM je odstup vlnových délek na rozdíl od DWDM mnohem vyšší, cca 20 nm. Z toho také pramení jeho nižší spotřebovaná energie a cena. Používá se pro menší vzdálenosti nežli DWDM. [10]

5.6. Přenosové parametry PON

Mezi přenosové parametry optické sítě patří:

- Fyzický dosah sítě – definuje maximální vzdálenost v optické distribuční síti, se kterou může pasivní optická síť v běžných podmínkách pracovat. Zohledňuje se zde především fyzikální omezení optických zdrojů
- Logický dosah sítě – definuje vzdálenost mezi optickou jednotkou ONU/ONT a OLT bez ohledu na fyzikální vlastnosti součástek. Jde o teoretickou hodnotu s ohledem jen na vlastnosti vyšších vrstev
- Rozdílová vzdálenost koncových uživatelů – tento parametr udává vzdálenost mezi nejbližší a nejvzdálenější jednotkou ONU/ONT připojené k jediné OLT. Udává se z důvodu stanovení maximálního rozdílu dob šíření signálu k jednotlivým uzlům.
- Střední doba šíření optického signálu – udává průměrné zpoždění v obou směrech přenosu
- Dělicí poměr rozbočovače – vyjadřuje maximální počet uživatelských linek, které je v síti možné vytvořit. Rozbočení má za následek útlum v závislosti na poměru rozbočení zároveň se snížením přenosové kapacity v závislosti na počtu připojených uživatelů. [8]

Tab. 5.1: Srovnání standardů PON [18]

	EPON	10GEPON	GPON	XG-PON
Standard	IEEE 802.3ah	IEEE 802.3av	ITU-T G.984(2004)	ITU-T G.984(2010)
Dělicí poměr	1:16/32	1:16/32	1:32/64/128	1:256
Logický dosah	10/20 km	10/20/30 km	20 km	20 km (40 km)
kódování	8/10b	64/66B	NRZ	NRZ
Protokol	Ethernet	Ethernet	GEM	XGEM
Rychlost ve vzestupném směru	1Gbit/s	10 Gbit/s nebo 1Gbit/s	1,25 Gbit/s	2,5 Gbit/s
Rychlost v sestupném směru	1Gbit/s	10Gbit/s	2,5 Gbit/s	10 Gbit/s
Vlnová délka ve vzestupném směru	1260-1360 nm	1260-1280 nm nebo 1260- 1360 nm	1260-1360 nm 1290-1330 nm	1260 – 1280 nm
Vlnová délka v sestupném směru	1480-1500 nm	1575 -1580 nm	1480-1500 nm	1575-1580 nm

6. PRVKY OPTICKÉ SÍTĚ

Základní prvky fungující optické sítě jsou zdroj záření, většinou označován jako OLT, přijímač optického záření například ONU. Mezi těmito dvěma prvky je nutné vytvořit přenosovou cestu pomocí optického vlákna. Na této přenosové cestě je připojeno množství prvků, aktivních či pasivních, které nám podle potřeby spravují signál do námi požadovaného tvaru.

6.1. Optické sváry

Jedná se o nerozebíratelné spojení, které se používá především díky jeho nízkému útlumu. Pro vytvoření samotného sváru jsou ovšem zapotřebí speciální pomůcky jako optická svářečka, lámačka a jiné. Sváry dosahují nejnižších hodnot ze spojovacích optických prvků. Jeho se pohybuje kolem 0,05 dB. [1]

6.2. Mechanická spojka

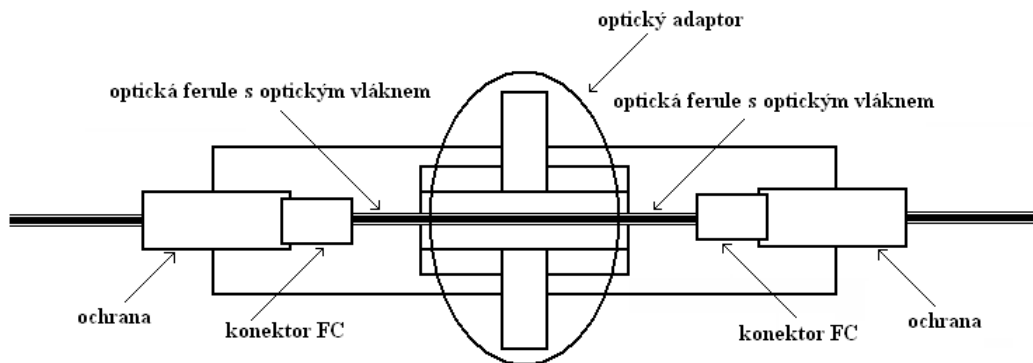
V tomto případě se jedná o jednoduché rozebíratelné spojení vláken. Není až tak hojně používáno a to díky vysokým ztrátám či vysokému úniku paprsků z vlákna. Díky její jednoduchosti a snadné manipulovatelnosti se pracuje na jejím zdokonalení, tudíž je možnost, že v budoucnu předčí svými vlastnostmi konektory. Standardní hodnota útlumu pro optickou spojku je 0,2 dB. [1]



Obr. 6.1: Univerzální mechanická spojka

6.3. Optické konektory

Jedná se o rozebíratelné spojení, které má jednoduché zobrazení (viz Obr. 6.2), s velkým útlumem, zpětnými odrazy a velkým vychýlení os. Používá se zejména u krátkodobých spojení anebo také u dlouhodobě rozebíratelných spojení na optických trasách. Hodnoty útlumu jsou rozdílné podle použitého konektoru. Většinou dosahují hodnot 0,3 dB [1]



Obr. 6.2: Ukázka spojení optických vláken optickými konektory FC[1]

6.4. Optický opakovač

Aktivní zařízení, obsahující jeden nebo více zesilovačů, jejichž vstupní signály jsou optické. Většinou je opakovač postaven na bázi převodu optického signálu na elektrický a dále zpět na optický. Výstupní optický signál oproti vstupnímu signálu může mít i jinou vlnovou délku, ale má stejnou rychlost a charakteristiku. Rozlišujeme 3 druhy opakovačů: [11]

- 1R Repeater – plní funkci pouze zesilovače, kde průchozí optický signál je pouze zesílen
- 2R Repeater – zesiluje průchozí optický signál a obnovuje tvar přijímaných impulsů
- 3R Repeater – opakovač s funkcí zesílení, obnoví tvar a časování průchozího signálu

6.5. Optický zesilovač

Zesilovače pouze zesilují signály a nemění protokoly ani fyzický druh přenosového média. Pokud se mění druh přenosového média, jedná se o převodník. Protokol tedy zůstává stejný. U optického zesilovače není nutný pro zesílení převod do elektrické podoby. Mezi základní používané zesilovače patří zesilovač EDFA a Ramanovský zesilovač. Ramanovský zesilovač se umísťuje na konec optického vlákna, nedosahuje ovšem takových hodnot jako EDFA zesilovač. EDFA zesilovač se podle druhu umísťuje za zdroj optického záření kvůli zesílení vstupního signálu na maximální možnou úroveň signálu (Booster), kdekoli na optickém vlákne pro zesílení malého vstupního signálu na maximální možnou hodnotu výstupního signálu (In-line), na konci optického vedení kvůli správné detekci optického detektoru (předzesilovač) a před rozdělením signálu do více vláken (CATV). [2] [11]

6.6. Media konvertory

Mezi základní a nejjednodušší aktivní prvky patří media konvertory, které slouží ke konverzi přenášeného signálu z elektrické podoby na optickou a naopak. Některé konvertory umožňují i monitorování stavu. Týká se to aktivity na lince či rychlosti přenosu. [12]

6.7. Optický rozbočovač

Tento prvek pracuje na fyzické vrstvě. Jedná se o ústřední prvek pasivní optické sítě. Slouží pro rozdělení přenosové kapacity jednotlivým koncovým uživatelům. Tento prvek nevyžaduje napájení, čímž se nám šetří náklady po vybudování optické sítě, ale dosahuje vysokých hodnot útlumu (viz Tab. 6.1). Pro jednotlivé standardy je vždy uveden maximální rozbočovací poměr, který lze v síti použít. [11]

Tab. 6.1: Hodnoty vloženého útlumu typických rozbočovačů[8]

Rozbočovací poměr	1:2	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64	1:128
Útlum[dB]	3,9	7,4	10,8	14,1	17,3	18,5	21,7

6.8. Optický přepínač – Switch

Optické switche jsou aktivní síťové prvky propojující jednotlivé segmenty sítě či síťových zařízení nebo jen částí sítě. Ethernet switche nahradily dříve používané rozbočovače, které signál jednoduše kopírovaly do všech ostatních portů. Switche pracují na linkové vrstvě modelu OSI. Vedle vyššího výkonu jsou i přínosem pro bezpečnost a zatížitelnost sítě, jelikož přenosové médium již není sdíleno a data se vysílají pouze do portu, k němuž je připojen jejich adresát. [12]

6.9. Most – Bridge

Používají se pro propojení kabelových segmentů jedné sítě a k zamezení jejich přetěžování. Spojují i segmenty s různou fyzickou vrstvou. Mosty používají adresové informace z linkové vrstvy a přepojují rámce podle fyzických adres zadaných v tabulce, ke kterým jsou přiřazeny porty. V případě univerzální či neznámé adresy jsou data odeslána do všech portů. Jednotlivé přiřazování adres se praktikuje dynamicky. Mosty tudíž provádějí filtraci paketů pro jednotlivé části sítě, čímž zmenší zatížení zbytku sítě. Mosty nejsou příliš nákladné na pořízení ani údržbu, ale při přenosu nevyhledávají nejjednodušší cestu, a proto se používají spíše pro menší sítě. [11]

6.10. Optický směrovač - Router

Optický router pracuje na síťové vrstvě OSI a umožňuje propojit jednotlivé, na sobě nezávislé, sítě a tím zmenší jejich zatížení a navíc umožní oddělení po stránce přístupových práv. Můžeme pomocí něj zabudovat firewall a lze se přes něj připojit k Internetu. Pracuje na principu odbourání paketů z hlavičky linkové a fyzické vrstvy a nahrazuje je novými. Musí mít dostatečně velkou vyrovnávací paměť kvůli přechodům mezi sítěmi o rozdílné rychlosti, zejména u sítí s přechodem z rychlejší do pomalejší sítě. Router směruje provoz podle síťových adres a propouští jen adresy nacházející se v druhé části sítě. Pakety s neznámými adresami zasílají na sběrný port k implicitním sítím nebo je zahazuje. Rozdělujeme dva druhy routerů:[11]

- High End Routers – komplexní zařízení podporující řadu protokolů např. TCP/IP paralelně, využívá RIP, OSPF a další protokoly pro řízení přenosu.
- Low End Routers – neboli také Access Router je určen k funkcím jako High End Routers. Mají méně LAN/WAN konektorů a nepodporuje některé vyšší funkce. Díky tomu je jeho cena nižší.

6.11. Brána - Getaway

Brána je zařízení fyzicky popisující navzájem nekompatibilní sítě nebo zařízení. Pracuje na vyšších vrstvách modelu OSI, čili na vrstvě relační, prezentační a aplikační. Obvykle jsou řešeny softwarově jako vyhrazený server ve funkci getaway. [11]

7. SLUŽBY SÍTĚ TRIPLE PLAY

Telekomunikační operátoři na celém světě postupně zavádějí nový typ služeb označovaných jako Triple Play. Je to souhrnný název pro audio (VoIP), video (VoD, IPTV, CATV) a datové služby (broadband internet) distribuované uživateli po jednom fyzickém rozhraní. Tento balíček služeb se řadí mezi základní důvod pořizování si vysokorychlostních optických sítí. Všechny tyto služby jsou tedy k dostání pomocí optického vlákna prostřednictvím internetového protokolu. Samozřejmě je možnost přístupu k těmto službám prostřednictvím metalického vedení pomocí ADSL2+ či VDSL, ale jako perspektivnější se z hlediska investic jeví varianta s použitím optického vlákna.

7.1. VoIP

Voice over Internet Protokol je technologie, umožňující přenos digitalizovaného hlasu prostřednictvím počítačové sítě nebo jiného media používající protokol IP na síťové vrstvě a UDP na transportní vrstvě. Používá se pro datová spojení typu telefonování přes internet, přičemž k jeho srozumitelnému a spolehlivému spojení je k zapotřebí zajištění kvality služeb.

U přenosu dat pomocí nespolehlivého diagramového spojení se přenášené vzorky kódují tak, aby velikost přenášených dat byla snížena na co nejnižší hodnotu. Technologie je tedy šířena na transportní vrstvě protokolem UDP, který nezaručí správnost doručených paketů a tudíž ani negarantuje potřebnou kvalitu služeb. Proto je zde nutné dodržet několik limitních hodnot. Mezi tyto parametry se řadí přenosová kapacita, zpoždění, kolísání a bitová chybovost. Pro dodržení správného přenosu by měla přenosová rychlost dosahovat jednotek Mbit/s s maximálním zpožděním 10 ms dovolující hodnotu jitteru ± 5 ms. Pro správný přenos je doporučeno nepřesáhnout hodnotu bitové chybovosti 10^{-8} . [13] [15]

7.2. Televizní služby

Internet Protokol Television je technologie umožňující přenos televizního vysílání prostřednictvím internetového protokolu IP. Pomocí něj je možné přenášet digitální vysílání a další data širokopásmovým připojením pomocí ATM nebo

ethernetových rámců na vlnové délce 1490 nm, v čemž spočívá rozdíl oproti kabelovému vysílání CATV, kde je televizní signál šířen v digitální podobě na samostatné vlnové délce 1550 nm. Pro datový přenos se u CATV používá samostatně vlnová délka 1490 nm, která je k televiznímu signálu přidána pomocí technologie WDM a jsou tak vedeny společně po jednom optickém vlákne. Během příjmu signálu jsou tyto dvě vlnové délky pak odděleny v demultiplexeru. Signál se zde rozdělí zpět na jednotlivý signál vlnové délky 1490 nm poskytující datové a hlasové služby a signál vlnové délky 1550 nm poskytující televizní signál. Pro využívání televizních služeb ve vysoké kvalitě je zapotřebí mít k dispozici připojením s rychlostí několik desítek Mbit/s s maximálním zpožděním 90 ms dovolující hodnotu jitteru ± 5 ms. Pro podmínku splnění správného přenosu je rovněž doporučeno nepřesáhnout hodnotu bitové chybovosti 10^{-8} . [2] [14] [15]

7.2.1. VoD

Video on Demand je jednou ze základních služeb poskytovaných pomocí IPTV. Jedná se o službu či systém umožňující na základě žádosti (Demand) stahovat a přehrávat video nahrávky a to v čase, kdy o to má zájem zákazník a tedy nikoliv v původním vysílacím čase distributora. [14]

7.2.2. PPV

Placené pořady Pay-per-view stanoví placené pořady, které si zákazník může objednat a ty jsou mu pak opakovaně vysílány. Bývají distribuovány současně s televizními a rozhlasovými stanicemi v jednotném datovém toku. Daný pořad si zákazník prohlédne nebo nahraje na pevný disk a shlédne později v jemu vyhovujícím čase. [14]

7.2.3. EPG

Electronic Programming Guide je interaktivní alternativou televizního programu známého z tištěných médií, internetu nebo teletextu. Tato služba umožňuje různé druhy vyhledávání. Bývá používána i u jiných forem digitálního vysílání. [14]

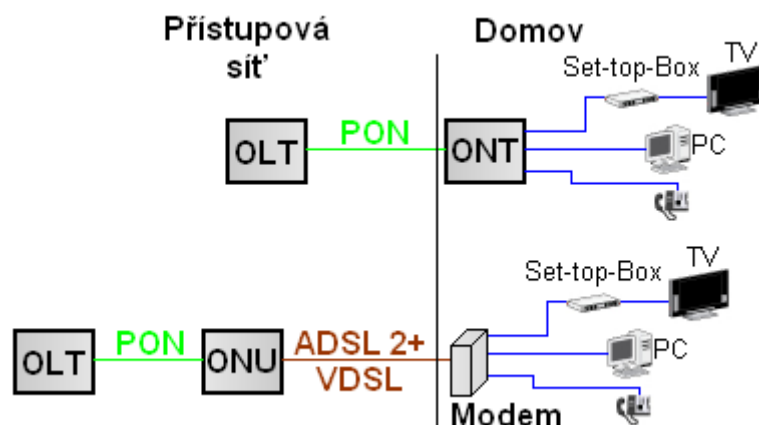
7.2.4. VCR

Video ze záznamu Video Cassette Recorder je služba, která umožní zákazníkovi vybraný pořad si nahrát a podle jeho zájmu si jej pak přehrát v libovolném čase. Tuto službu lze přirozeně realizovat poskytovatelem IPTV pouze u zákazníka, jenž má k dispozici set-top-box s možností záznamu. [14]

7.3. Broadband internet

Mezi skupinu Triple play pak také patří vysokorychlostní internet, který díky využívání standardu ATM může dosahovat až rychlostí 155, 02 Mbit/s, 622, 08Mbit/s a 2,5 Gbit/s v provedení připojení pomocí optického vlákna. V současné době se ovšem již objevují připojení se symetrickou přenosovou rychlostí 10 Gbit/s. Dá se předpokládat, že toto číslo nebude také konečné vzhledem k probíhajícímu vývoji standardu WDM-PON.

Tato služba využívá ke svému přenosu dat protokol TCP, tedy spolehlivou formu doručování segmentů se zárukou doručení dat ve správním pořadí. O vysokorychlostním přenosu dat se dá hovořit v případě, dosahuje-li přenosová rychlost řádově jednotky Mbit/s. Díky používání TCP protokolu a jeho potvrzování správnosti doručených dat zde vzniká větší zpoždění, a proto nároky pro dodržení QoS jsou podstatně nižší než u televizních či hlasových služeb. Dovolená hranice je 500 ms. [13] [14]



Obr. 7.1: Zobrazení možných přístupů ke službám Triple play[14]

7.4. Kvalita služeb

Kvalita služeb QoS (Quality of Service) je soubor opatření hodnotící kvalitu poskytované služby. Všechny služby Triple play je možno distribuovat IP protokolem, avšak na vyšší vrstvě modelu OSI, transportní, dochází k rozdílným způsobům šíření dat. Zatímco vysokorychlostní internet využívá protokolu TCP (Transmission Control Protocol), což je protokol, který zajistí spolehlivé a správné doručení dat, multimediální služby IPTV a VoIP používají protokol UDP (User Datagram Protocol). Zde se jedná o protokol s velice nízkým zpožděním způsobeným nečekáním na opětovné poslání nekorektně doručených dat, avšak za cenu nespolehlivosti doručení dat, a tedy určité ztrátovosti paketů (Packet loss). Mezi další parametry takto negativně ovlivňující multimediální přenos se řadí kolísání zpoždění (Jitter), propustnost (Throughput), bitová chybovost (BER) a také samozřejmě dodržení dostatečné přenosové kapacity. Musíme se tudíž ihned při výstavbě na tento fakt ohlížet a zajistit dostatečnou kvalitu poskytovaných služeb. [13]

7.4.1. Zpoždění

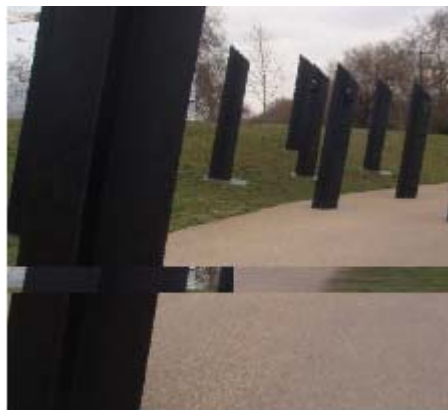
Definuje se jako doba, která uplyne mezi odesláním zprávy ze zdrojového uzlu a dobou přijetí v cílovém uzlu. Do tohoto zpoždění se započítává zpoždění během přenosové trasy a na procházejících síťových zařízeních. [14]

7.4.2. Kolísání zpoždění

Kolísání zpoždění neboli takzvaný Jitter představuje proměnlivost v doručování paketů do cílového uzlu způsobené zpožděním přenosu. Ve vyrovnávací paměti set-top boxu tedy dojde buď k přetečení, nebo podtečení. Tento jev je nutné sledovat zejména u hlasových a televizních služeb v případě Triple play. [14]

7.4.3. Změna pořadí paketů

Tvoří se v důsledku zpoždění paketů a individuální trasy každého paketu zvláště. [14]



Obr. 7.2: Příklad poškození obrazu změnou pořadí doručených paketů

7.4.4. Ztrátovost paketů

Je průměrný počet ztracených paketů vyjádřený v procentech vzhledem k celkovému počtu přenesených paketů. [14]



Obr. 7.3: Příklad poškození obrazu ztrátovostí paketů

7.4.5. Bitová chybovost

Bitová chybovost (BER) bývá obvykle definována jako poměr chybně přenesených bitů vyjádřený vzhledem k počtu všech doručených bitů za určitou dobu měření. [14]

Tab. 7.1: Doporučené parametry přenosu služeb Triple play ve vysoké kvalitě[15]

	Rychlost	Max. zpoždění	Max. Jitter	Max. BER
Datový přenos	2 Mb/s	500 ms	-	10^{-6}
VoIP	1,5 Mb/s	10 ms	$\pm 5\text{ms}$	10^{-8}
HDTV	19,68 Mb/s	90 ms	$\pm 5\text{ms}$	10^{-8}

8. MĚŘÍCÍ METODY

Jelikož jednotlivé prvky sítě ovlivňuje velké množství vnějších vlivů, naskýtá se zde pravděpodobnost jejich poruchy. Danou nehomogenitu lze lokalizovat velice přesně několika metodami v různé míře.

8.1. Metoda OTDR

Metoda OTDR (Optical Time Domain Reflectometry) slouží k měření a analýze optické trasy a jejich jednotlivých prvků. Tato metoda funguje na principu zpětného rozptylu optického výkonu vysílaného impulsu zpět k vysílači a dochází k vyhodnocení jeho časové závislosti. Výsledkem je křivka v logaritmickém měřítku vyobrazena na displeji OTDR (viz Obr. 8.1), kde se vložný útlum počítá přímo z rozdílu výkonu na vstupu a na výstupu měřené součástky. Útlum odrazu je dán integrací plochy pod křivkou zpětného rozptylu odpovídající odrazu měřené součástky. Toto je nejčastěji používaná metoda v praxi pro měření přenosových parametrů optických součástek. Je to především díky možnosti přesné lokalizace hledané závady či hledaného prvku. Při kontrolním měření metodou OTDR je vždy potřeba dostatečně dlouhé předřadné vlákno v závislosti na délce impulsu.

V současné době je metoda OTDR jednou z nejvyužívanějších metod k zjištění útlumu dané trasy a to především díky jejímu zobrazení celého průběhu. Vyskytuje se tu ovšem možnost chyby a to v případě detekce dvou nehomogenit následujících v těsné blízkosti za sebou v tzv. mrtvé zóně, kde světlo odražené zpět způsobí saturaci na detektoru a jeho odraz částečné znemožnění zobrazení druhé nehomogenity. [1]



Obr. 8.1: Zobrazení průběhu při měření metodou OTDR

8.2. Transmisní metoda

Transmisní metoda je založena na přímém měření ztrát optického výkonu signálu při průchodu měřenou součástkou za použití zdroje optického záření a měřiče optického výkonu na koncích vlákna. Měření se provádí mimo provoz a preferuje se proměřovat na všech používaných vlnových délkách 1310 nm, 1490 nm a 1550 nm. Požadované měření se provádí v obou směrech, jelikož i samotný přenos probíhá v obou směrech, čili po proměření trasy v jednom směru se musí měření provést i v opačném směru. Touto metodou nelze zjistit žádné informace o průběhu útlumu na měřené trase. [1]

8.3. Metoda fázového posuvu a diferenciálního fázového posuvu

Slouží pro měření chromatické disperze optických vláken. K měření se používá modulovaný signál šířící se na různých vlnových délkách. Na výstupu je detekován a měřicím přístrojem je zjištěna jeho fáze. Tato fáze se pak porovná s fází vstupního signálu, z čehož pak vyplyne změna fáze signálu, z čehož pak odvodíme zpoždění. [16]

8.4. Měření interferometrickou metodou

Tato metoda se používá pro měření chromatické disperze. Využívá Mach-Zehnderova interferometru. Pro měření se používají dvě cesty. Jedna se použije jako referenční se známou chromatickou disperzí a druhá tvoří trasu Mach-Zehnderova interferometru. Na výstupu jsou porovnávány příchozí signály jednotlivých tras. Jestliže změním délku referenční cesty, změní se fázový rozdíl signálů z obou tras. Jako referenční vlákno stačí použít krátké vlákno např. patchcord. [16]

8.5. Metoda zpoždění impulsů v časové oblasti

Generátor impulsů moduluje záření širokospektrálního zdroje. Jako monochromátor mu slouží kaskáda Braggových mřížek. Ta odráží impulsy vybraných vlnových délek zpět do měřené trasy s časovými rozestupy. Tím přichází do vlákna sled impulsů s časovými rozestupy. Při průchodu trasou se tyto rozestupy zvětší. Porovnáním rozestupu na vstupu a výstupu získáme chromatickou disperzi. [16]

9. ANALÝZA SÍTĚ

Pro návrh byla vybrána stávající optická síť postavená pro jednu sídlištní oblast v obci Slavičín, nacházející se jihovýchodně od Zlína nedaleko hranic se Slovenskou republikou. Ve vybrané lokalitě je připojeno 16 panelových objektů, které jsou pro budoucí potřeby kvůli přehlednosti a snadnější orientaci označeny písmeny A až P (viz Obr. 9.1).



Obr. 9.1: Připojené panelové objekty

9.1. Centrální stanice

Centrální stanice se nachází ve vzdálenosti 4 km od panelového objektu P. Je osazena přepínačem Switch EdgeCore ES3528M. Tento přepínač má k dispozici 28 portů. Pro potřebu zapojení sítě bylo využito 24 portů. Tyto porty byly osazeny SFP transceivery 100BASE-LX. Tento druh transceiveru je schopen poskytovat přenosovou kapacitu 100 Mbit/s využívající pro přenos dvě jednovláknová optická vlákna. Jedno

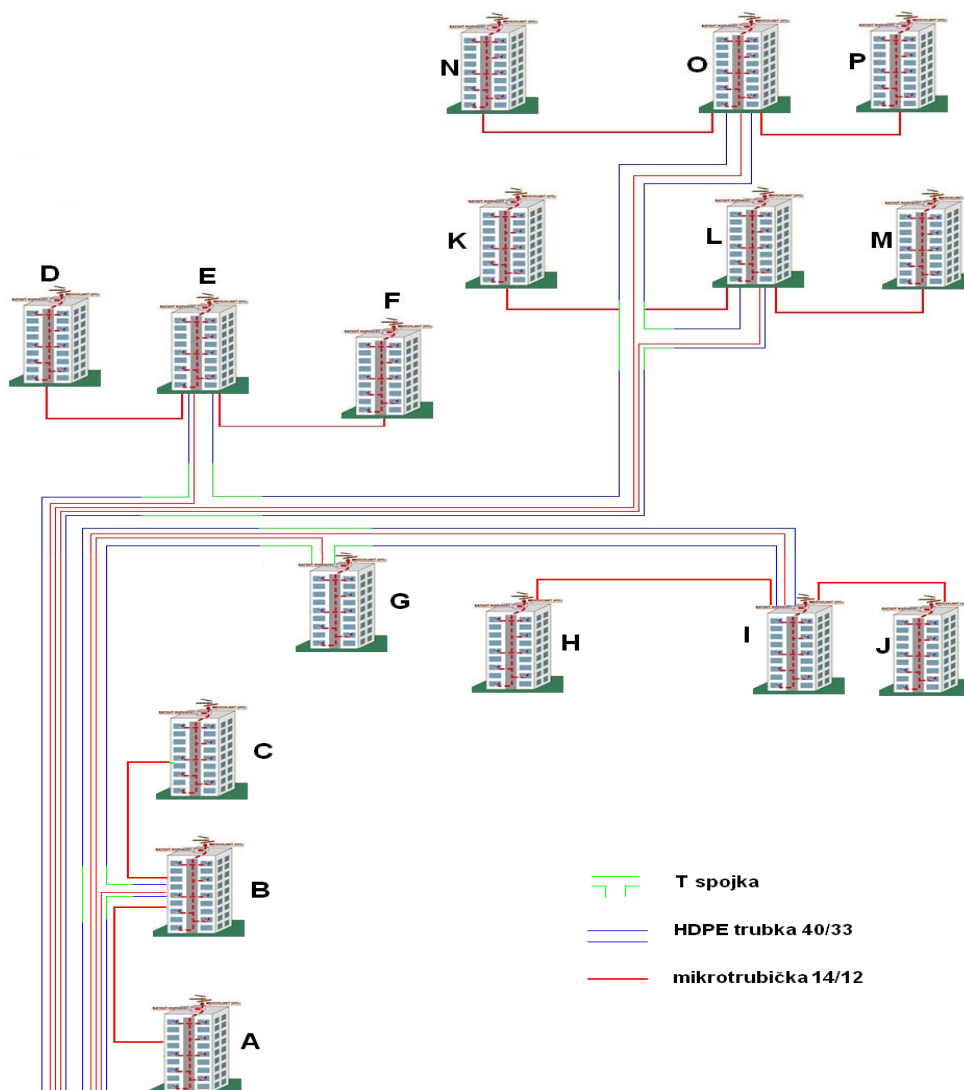
vlákno je využito pro přenos ve vzestupném směru a druhé pro přenos v sestupném směru.

9.2. Použitá kabeláž

Pro přenos optického signálu byly využity optické kabely Samsung SJAD SM 9/125 obsahující 12 vláken. Jedná se o jednovidový optický kabel určený k zafouknutí nebo zatažení do mikrotrubiček (Příloha č.2) pro venkovní uložení. [17]

Důležité parametry kabelu:

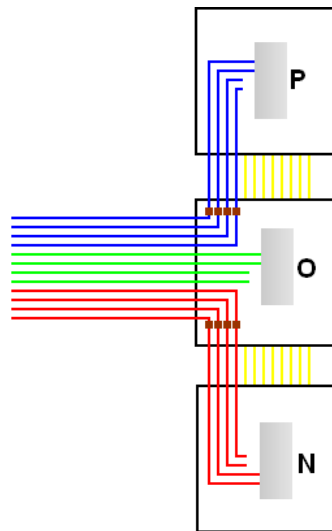
- Počet vláken – 12
- Maximální útlum - 0,38 dB/km
- Plášť- robustný snadno stahovatelný



Obr. 9.2: Schéma zapojení mikrotrubičkového systému

9.3. Připojení účastníků

Ke každému panelovému objektu bylo přivedeno 12 optických vláken. Jejich využitelnost je rozdílná vzhledem k připojení jednotlivých objektů. Jejich propojení optickými vlákny je zakresleno v Příloze č.3. Pro větší přehlednost jsem zakreslil blíže připojení objektů N, O a P (viz Obr. 9.3). Optický kabel obsahující 12 vláken je zde přiveden nejprve k panelovému objektu O. Zde jsou 4 zeleně označená vlákna použita pro přenos signálu do přepínače nacházejícím se v panelovém objektu O. Červeně nebo modře označená optická vlákna jsou zde pouze vyvedena a napojena optickým svárem zpět do mikrotrubičkového systém a pokračují k přepínači nacházejícím se v cílovém objektu N nebo P. Žlutě označená vlákna jsou nevyužita. Ostatní objekty, pokud vynechám objekt G, který je připojen individuálně, jsou připojeny takto ve skupinkách stejným způsobem.

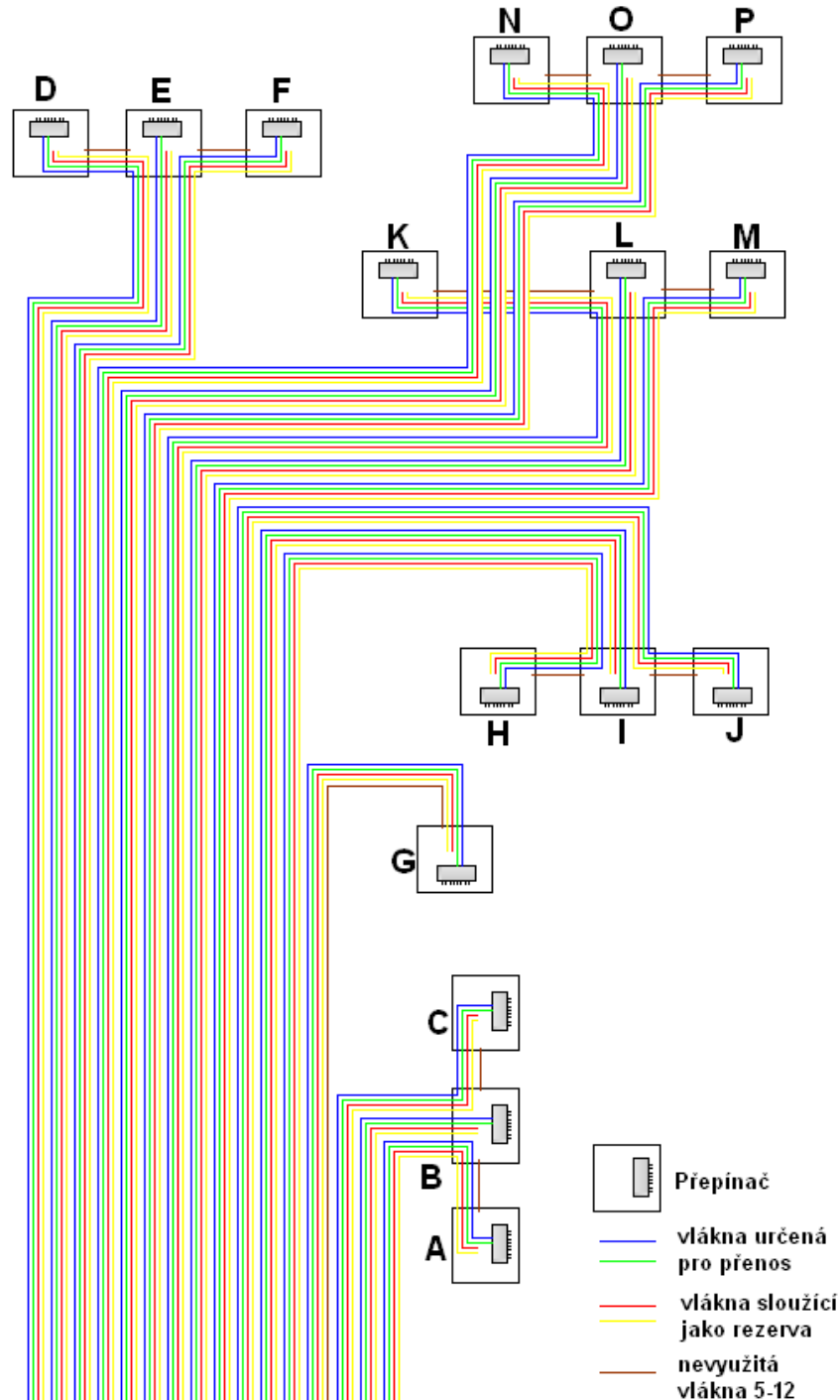


Obr. 9.3: Zobrazení připojení optickými vlákny panelových objektů N, O a P

Do každého objektu bylo tedy přivedeno dvanáct vláken, přičemž pro realizaci jednotlivého optického přenosu jsou využita dvě vlákna zapojená v centrální stanici do přepínače duplexním konektorem LC. Tato dvě vlákna určena pro přenos signálu byla přivedena do jednotlivých přepínačů nacházejících se v datové skříně ve sklepní části cílových panelových objektů. Použitý přepínač se jmenuje Switch EdgeCore ES3538M. Do tohoto přepínače je signál přiveden přes GigaBit Combo port osazený SFP transceiverem 100BASE-LX s LC duplexním konektorem na výstupu. K jednotlivým přepínačům jsou přivedena navíc další 2 vlákna, která jsou osazena duplexním konektorem LC a slouží jako rezerva v případě poruchy vláken určených pro

přenos. Z jednotlivých přepínačů je signál ke koncovým uživatelům přiveden pomocí UTP kabelu CAT 5e.

Takto modifikovaná síť poskytuje 24 uživatelům celkovou přenosovou rychlost 100 Mbit/s. Při připojení všech uživatelů vychází přibližná hodnota 4 Mbit/s na každého. Z této dosažitelné rychlosti je nám zřejmé, že stávající síť není schopna zajistit přenos všech služeb Triple play ve vysoké kvalitě a bude tedy potřeba síť dostatečným způsobem upravit, abychom udrželi spokojenost zákazníků.



Obr. 9.4: Využití vláken u přístupové síti FTTB

10. NÁVRHY SÍTÍ PRO PŘENOS TRIPLE PLAY

Stávající optická síť je tedy již nevyhovující a s její rychlostí, která činí při připojení všech uživatelů 4Mbit/s je možnost využívat moderních služeb Triple play prakticky nemožné nebo ve velice špatné kvalitě. Z tohoto důvodu vznikl požadavek na vylepšení sítě, aby byla možnost využít plné kapacity optického vedení, a tudíž využívat zmíněné služby v plné kvalitě. Jelikož se dají očekávat postupem času zvýšené nároky na přenosovou kapacitu, bude nezbytné vzhledem k investicím postavit síť s dostatečnou rezervou v přenosové kapacitě.

Realizoval jsem tedy dva návrhy pro vylepšení stávající sítě. Jeden ve formě FTTB a druhý FTTH. Oba tyto návrhy by měly splňovat parametry nezbytné pro přenos služeb Triple play v plné kvalitě. Samozřejmě jsem se při těchto návrzích snažil nejvyšší měrou ohlížet na cenovou dostupnost.

10.1. Vyhotovení návrhu při zanechání struktury FTTB

Nejprve jsem tedy vyhotovil návrh s ponecháním zapojení sítě FTTB. Struktura sítě tedy zůstane stejná, avšak budou použity novější prvky poskytující vyšší přenosové kapacity.

Přístupová síť tedy zůstane v aktivním zapojení. Pro vysílání bude použit transceiver 1000BASE-LX poskytující symetrickou rychlost 1 Gbit/s pro 24 uživatelů. Na každého tedy vychází přibližná hodnota 40 Mbit/s. Pro zpřístupnění služeb Triple play bude nutné optickou síť zakončit v přepínači, z kterého se pomocí metalické sítě připojí v prostorách uživatele výchozí brána.

10.1.1. Centrální stanice

Centrální stanici jsem se rozhodl v tomto navrhovaném zapojení osadit přepínačem od firmy Allied Telesis. Tento přepínač se nazývá SwitchBlade x908. Jedná se o přepínač, který je schopen pracovat s rychlostí 640 Gbit/s. K tomuto přepínači lze zakoupit i modul AT-PWR05 sloužící jako záložní zdroj. S ním rovněž také náhradní ventilátor AT-FAN03.

Pro naše potřeby je nutné vybraný přepínač osadit dvěma moduly AT-XEM-12S. Tyto moduly obsahují každý možnost osazení dvanácti 100/1000 BASE-X SFP

porty. Pro naše účely byl vybrán transceiver AT-SPBD10-14, čili modul 1000 BASE-LX. Zapotřebí jich bude šestnáct. Každý z těchto jednotlivých transceiverů je osazen na výstupu duplexním konektorem LC pro navázání signálu do přístupové sítí.

10.1.2. Připojení účastníků

Pro samotný přenos se používají dvě vlákna. Jedno vlákno je použito pro přenos signálu v sestupném směru, druhé pro přenos signálu ve vzestupném směru. Tento provoz, kdy pro komunikaci v jednom směru na vybrané vlnové délce používáme jedno vlákno a pro komunikaci v opačném směru využíváme druhé vlákno rozdílné vlnové délky, se nazývá poloviční duplex. Zvolený transceiver používá vlnové délky:

- 1490 nm pro sestupný směr
- 1310 nm pro vzestupný směr

Ke každému panelovému objektu jsou navíc přivedena další dvě vlákna. Tato vlákna jsou na koncích osazena konektorem LC a budou sloužit jako rezerva v případě poruchy vláken určených pro přenos. Zapojení jednotlivých vláken je zobrazeno na Obr. 9.4. Samotné zapojení optických vláken je shodné s původním zapojením. Původně osazené konektory nebude potřeba rovněž měnit.

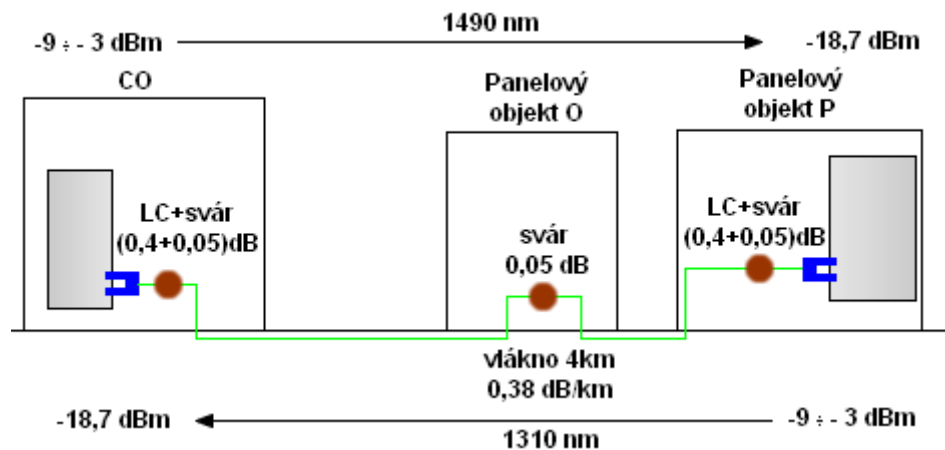
Bude ovšem nutné změnit osazení prvků v panelových domech. V každém z nich se ve sklepním zařízení nachází datová skříň. Do této datové skříně bude nutno vložit přepínač AT-x900-48FE. Tento přepínač má k dispozici 4 SFP porty a 48 portů RJ-45. Jeden z SFP portů bude pro příjem signálu osazen transceiverem AT-SPBD10-13. K vybranému přepínači AT-x900-48FE se používá záložní zdroj AT-PWR05 a náhradní ventilátor AT-FAN03.

Jelikož se jedná o přístupovou síť FTTB, pro zbytek přenosové cesty bude použito metalické vedení. K tomuto účelu poslouží původní kabel UTP CAT 5e. Jako výchozí bránu jsem se rozhodl použít AT-iMG634A-R2. Tato výchozí brána používá pro šíření signálu linku ADSL 2+. ADSL 2+ a je schopna zprostředkovat požadované služby Triple play. Obsahuje 2 porty RJ-11 a 4 porty RJ-45. Digitální televize nebo analogová televize s připojením přes Set-top-Box bude připojena přes konektor RJ-45. Pro připojení VoIP telefonu slouží konektor RJ-11. Pro připojení PC stanic bude sloužit konektor RJ-45.

10.1.3. Útlumová bilance FTTB

Pro výpočet útlumu optické trasy jsem si zvolil připojení panelového objektu P vzhledem k tomu, že se nachází nejdále od centrální stanice. Pro výpočet budou uvažovány vždy nejnižší možné útlumové hodnoty použitých prvků.

Kvůli lepší názornosti jsem si nejprve celou trasu připojení panelového objektu zakreslil (viz Obr. 10.1). Pro výpočet budou uvažovány nejnižší možné dosažitelné hodnoty.



Obr. 10.1: Útlumová trasa FTTB pro panelový objekt P

V centrální stanici je použit optický transceiver, který je připojen do sítě pigtailem. Tento pigtail je osazen z jedné strany duplexním konektorem LC, u něhož uvažuji hodnotu útlumu 0,4 dB. Na druhé straně je do sítě navařen optickým svárem o útlumu 0,05 dB. V panelovém objektu P je připojení přepínače pomocí pigtailu shodné. Na přenosové trase se nachází navíc optický svár při spojení vláken v panelovém objektu O (viz Obr. 9.3).

Pro přenosovou trasu byl využit optický kabel Samsung SJAD jehož maximální hodnotu útlumu dosahuje hodnoty 0,38 dB/km. Přenosová trasa je dlouhá 4 km. Vypočtený útlum přenosové trasy jsem zapsal do Tab. 10.1.

Tab. 10.1: Kalkulace útlumu přenosové trasy pro zapojení FTTB

	množství	Měrný útlum[dB]	Celkový útlum[dB]
Svár	3 ks	0,05	0,15
Konektor	2 ks	0,4	0,8
Optické vlákno	4 km	0,38 /km	1,52
Celkový útlum přenosové trasy			2,47

Nejnižší vysílací výkon použitého optického transceiveru je – 9 dBm. Po odečtení hodnoty útlumu přenosové trasy 2,47 dB se dostáváme na hodnotu – 11,47 dBm. Toto je hodnota, kterou by měl transceiver použitý v cílovém přepínači detekovat, jelikož jeho limitní hodnota pro schopnost detekce příchozího signálu činí – 18,7 dBm.

10.1.4. Výčet potřebných prvků s cenovou kalkulací

K vypracovanému projektu jsem vyhotovil konečný seznam potřebných prvků pro realizaci sítě s dostupnou cenou. Ocenění potřebných prvků jsem získal v několika měnách z: itbankeurope.com, dealtime.com, shopping.com, costcentral.com. Ceny byly zpracovány a přepočítány ke dni 17.5.2011 podle kurzů České Národní Banky.

Tab. 10.2: Seznam potřebných prvků pro FTTB

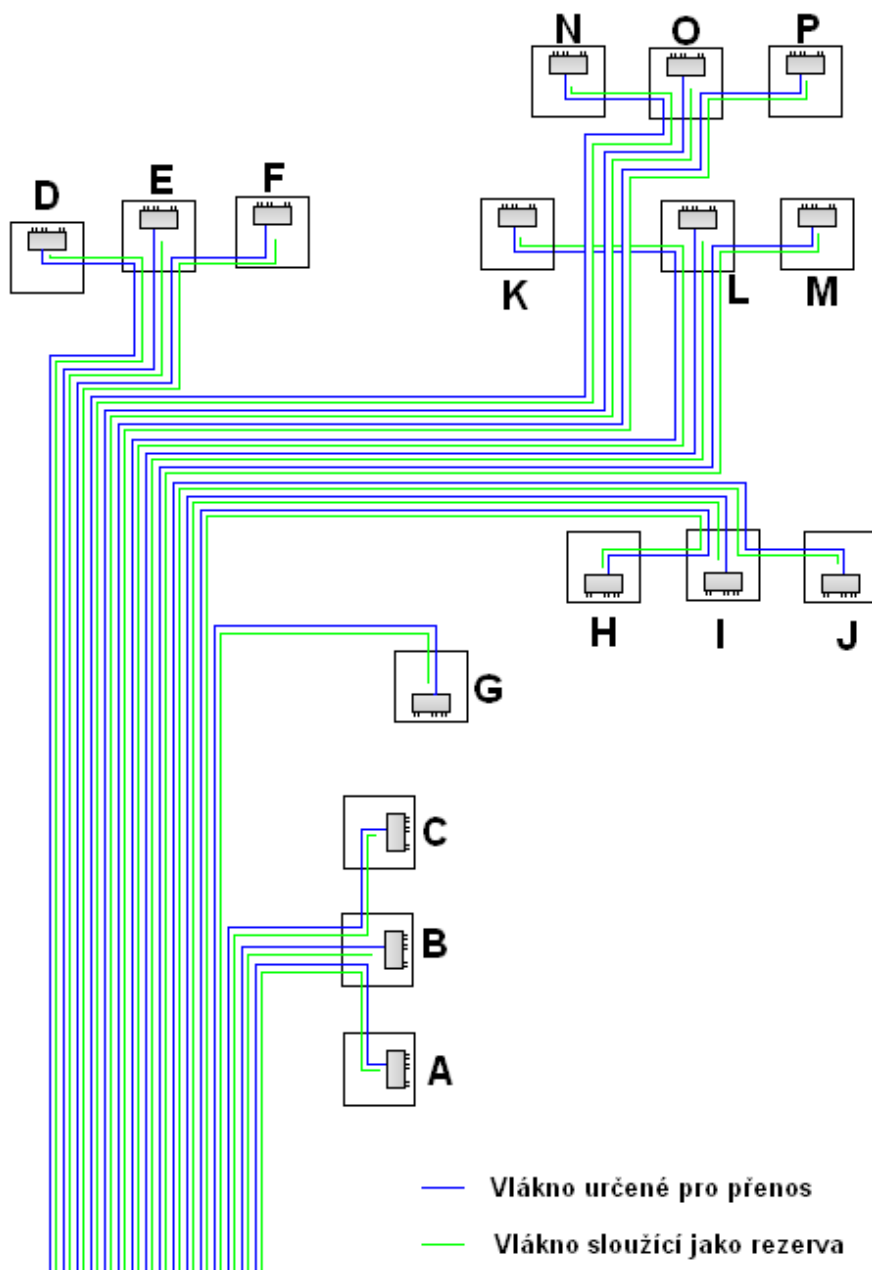
Počet jednotek	Jednotka	Cena za jednotku [Kč]	Vlastnosti	Cena[Kč]
Centrální stanice				
1	SwitchBx908	99532	Optický přepínač	99532
2	AT-XEM-12S	37596	Zásuvný modul	75079
1	AT-PWR05	13382	Záložní zdroj	13382
1	AT-FAN03	2047	Ventilátor	2047
16	AT-SPBD10-14	962	Transceiver	7696
Síťová jednotka				
16	ATx900-48FE	12232	Optický přepínač	195712
16	AT-PWR05	13382	Záložní zdroj	214118
16	AT-SPBD10-13	962	Transceiver	7696
384	AT-IMG634A-R2	3936	Getaway	1511424
Celková cena				2126686

10.2. Návrh FTTH

Druhou, schůdnější možností pro zrealizování služeb Triple play, je pasivní zapojení přístupové sítě FTTH, čili připojení optického vlákna přímo do prostor koncového uživatele. Toto zapojení jsem se rozhodl zrealizovat pasivní variantou standardem GPON díky jeho vyšším hodnotám rozbočovacího poměru. Tento standard umožňuje v asymetrickém provedení poskytnout přenosovou rychlost pro sestupný směr 2,5 Gbit/s a 1,25 Gbit/s pro vzestupný směr. Při zapojení tohoto druhu se dá očekávat

připojení jednotlivých uživatelů rychlostí 78/39 Mbit/s nezávisle na zatížení sítě. Tato rychlost by měla i do budoucna zajistit dostatečně rychlé připojení.

U tohoto druhu přístupové sítě, i když se jedná o rozdílnou oproti původní, nebude potřeba měnit či zafukovat položená vlákna a dělat tak nákladnou manipulaci s mikrotrubičkovým systémem. Rozdíl bude v samotném zapojení, jelikož komunikace prvků probíhá simplexně, tudíž využitelnost jednotlivých vláken bude jiná. Pro samotný přenos bude použito jedno vlákno. Druhé vlákno mu bude sloužit jako rezerva, jak je naznačeno v Obr. 10.2, kde jsem z důvodu přehlednosti nekreslil nevyužitá vlákna. Tato varianta přenosu dat po jednom vlákně je možná díky použití technologie vlnového dělení.



Obr. 10.2: Využitá vlákna v přístupové síti FTTH

10.2.1. Centrální stanice

Centrální stanici bude potřeba osadit novou jednotkou OLT. Pro naše účely jsem vybral zařízení MOTOROLA AXS 2200. Toto zařízení bude osazeno čtyřmi moduly MOTOROLA ASW60A poskytující každý 4 výstupy signálu na bázi standardu GPON. Bude použita asymetrická varianta. Rychlost v sestupném směru tedy bude činit 2,5 Gbit/s, rychlost ve vzestupném směru pak 1,25 Gbit/s. Toto zařízení povoluje po zapojení rozbočovače 1:32 připojit celkový počet 4608 uživatelů. Toto je limit, který bude splněn. Připojení jednotlivých zdrojů signálu OLT se uskutečňuje pomocí konektoru SC. Bude tedy nutné na odchozí vlákno navařit nové pigtaily v provedení konektoru SC na jeho konci.

10.2.2. Připojení účastníků

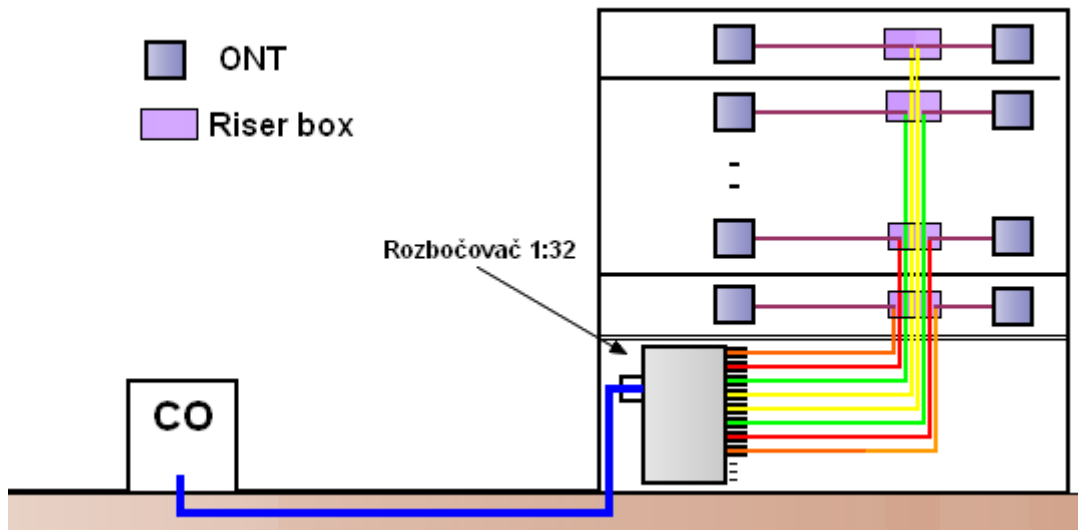
Pro samotný přenos budu tedy využívat pouze jedno vlákno. Druhé vlákno bude sloužit jako rezerva. Zbylá vlákna zůstanou nezapojena a nebude s nimi prozatím manipulováno. Na tomto vláknu v simplexním provedení budou s využitím technologie vlnového dělení provozovány vlnové délky:

- 1490 nm pro sestupný směr
- 1310 nm pro vzestupný směr
- 1550 nm pro RF signál pro televizní příjem

Optické vlákno je k uživateli přivedeno nejprve do sklepní části panelového objektu. Ve sklepní části panelového objektu se nachází datová skříň. Tato skříň bude osazena rozbočovačem 1:32. Tento rozbočovač bude mít k dispozici navíc 8 výstupů, které se budou využívat jako rezerva v případě poruchy připojeného výstupu. Pro připojení rozbočovače do sítě bude potřeba na jeho vstup a výstupy navařit nové pigtaily. Pro naše účely byl vybrán pigtail osazený zakončený konektorem SC. Na tento pigtail na výstupu rozbočovače bude připojen speciální kabel. Jedná se o Riser kabel. Tento kabel je určen pro domovní rozvody. Používá se z důvodu snadného vydělování jednotlivých optických vláken pro jednotlivé uživatele v Riser boxech. Použil jsem kabel obsahující 48 vláken. Na každém patře budou vyděleny 4 moduly, obsahující 2 vlákna každý, pro 4 uživatele. Na vydělené Riser kabely bude dále navařen kabel

G.657A DROP FTTx, 2x9/125 SM vlákno. Tyto kabel jsou kompatibilní, tudíž by neměl být problém v navázání signálu. Kabel G.657A je určen především pro vnitřní instalace. Zvolil jsem jej z důvodu možného minimálního poloměru ohybu 1,2 cm při zatížení, jelikož u tohoto kabelu se dá očekávat možná manipulace i zatížení.

Tímto kabelem, zakončeným navařeným pigtailem, bude přiveden signál do síťového zakončení, nacházejícím se v bytě uživatele. Tento pigtail bude s optickým kabelem G.657A spojen optickou spojkou kvůli jednodušší manipulovatelnosti. Provedení rozvodu kabelů v panelovém objektu jsem naznačil na Obr. 10.3.

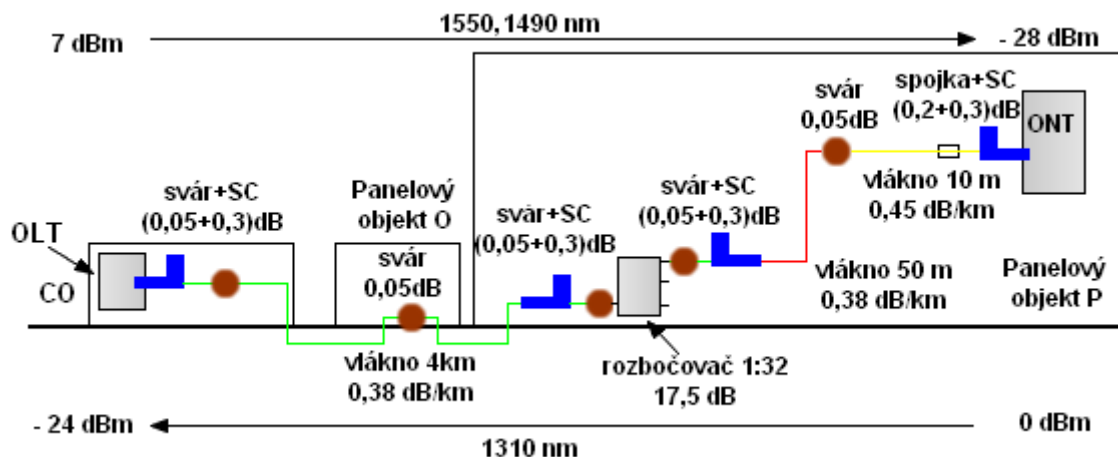


Obr. 10.3: Kabelové rozvody v panelových objektech

Pro zprovoznění služeb Triple play bude do bytu uživatele umístěno optické síťové zakončení ONT 1400GT od firmy Motorola. Tento prvek bude přijímat datový signál vysílaný z OLT stanice vlnové délky 1490 nm. Současně s ním bude přijímat televizní signál na vlnové délce 1550 nm. Vysílat zpět bude signál o vlnové délky 1310 nm. Toto síťové zakončení obsahuje dva ethernet porty RJ-45, dva porty RJ-11 a jeden F-konektor. Dva porty RJ-11 slouží pro připojení VoIP telefonů. F-konektor slouží pro připojení televize.

10.2.3. Útlumová bilance FTTH

Pro výpočet útlumu optické trasy jsem vybral nejvzdálenějšího uživatele nacházejícího se v panelovém objektu P. Pro přehlednější orientaci jsem si celou optickou přenosovou trasu ve zjednodušené formě vykreslil (viz Obr. 10.3). Pro výpočty jsem vždy uvažoval nejnižší možné útlumové hodnoty jednotlivých prvků sítě.



Obr. 10.3: Útlumová trasa FTTH pro připojení nejvzdálenějšího uživatele

V centrální stanici se nachází pigtail osazený konektorem SC a optickým svárem. Pro konektor SC jsem uvažoval hodnotu útlumu 0,3 dB. Pro optický svár hodnotu 0,05 dB. Pigtail ve stejném provedení se stejnými hodnotami útlumu se nachází rovněž na vstupu a výstupu rozbočovače. U panelového objektu O je proveden svár pro spojení vláken vedených v jednotlivých mikrotrubičkách. Pro tento svár jsem uvažoval útlum 0,05 dB. V cílovém panelovém objektu P se nachází optický rozbočovač 1:32. Pro něj uvádí výrobce hodnotu útlumu 17,5 dB. Pro spojení Riser kabelu a kabelu G.657A je použit optický svár s uvažovanou hodnotou útlumu 0,05 dB. Síťové zakončení je připojeno do sítě pigtailem osazeným konektorem SC a optickou spojkou. Pro konektor je uvažovaná hodnota útlumu 0,3 dB, pro spojku 0,2 dB.

Samozřejmě nesmíme opomenout útlum jednotlivých optických vláken. Pro připojení mezi optickým linkovým zakončením a rozbočovačem je položeno 4 km optického kabelu Samsung SJAD, jenž má hodnotu útlumu 0,38 dB/km. Mezi rozbočovačem a Riser boxem je zaveden 50 metrů dlouhý optický kabel ve stoupačce s vlákny G.652.D s útlumem 0,38 dB/km. Pro vnitřní část je použit 10 m dlouhý kabel G.657A pro nějž je uvažován útlum 0,45 dB/km.

Tab. 10.3: Útlum přenosové trasy pro FTTH

	množství	Měrný útlum[dB]	Celkový útlum[dB]
Svár	5 ks	0,05	0,25
Konektor SC	4 ks	0,3	1,2
Rozbočovač	1 ks	17,5	17,5
Spojka	1 ks	0,2	0,2
Optické vlákno	4 km	0,38 /km	1,52
Optické vlákno	50 m	0,38 /km	0,019
Optické vlákno	10 m	0,45 /km	0,0045
Celkový útlum přenosové trasy			20,6935

Hodnota útlumu přenosové trasy nám udává, že námi vytvořenou sítí lze nejlépe zařadit do třídy B standardu GPON (viz Tab. 10.4). Rozlišení jednotlivých tříd spočívá v požadavcích na zařízení. Prvky nižších tříd potřebují výkonnější zdroje signálu. Tento fakt se projeví na ceně prvku, a proto musí být vždy snaha navrhnout zapojení v nejvyšší dosažitelné třídě.

Tab. 10.4: Seznam tříd pro GPON [8]

Třída GPON	Útlum trasy[dB]
A	5 - 20
B	10 - 25
C	15 - 30

Vysílací výkon OLT činí 7 dBm. Pokud od této hodnoty odečteme výslednou hodnotu přenosové trasy 20, 6935, dostaneme se na hodnotu - 13,6935 dBm. Hodnota pro detekci signálu ONT činí podle výrobce - 28 dBm, tudíž uživatel bude schopen přijatý signál detekovat. Obdobným způsobem lze vypočítat, že i data vysílána ONT bude OLT schopno detekovat.

10.2.4. Seznam potřebných prvků

K vypracovanému projektu jsem vyhotovil konečný seznam potřebných prvků pro realizaci sítě s dostupnou cenou. Ocenění potřebných prvků jsem získal v několika měnách z: shop.idigilive.com, ipmedia.com, asm.cz. Ceny byly zpracovány a přepočítány ke dni 17.5.2011 podle kurzů České Národní Banky.

Tab. 10.5: Seznam potřebných prvků pro FTTH

Počet jednotek	Jednotka	Cena za jednotku [Kč]	Vlastnosti	Cena[Kč]
Centrální stanice				
1	MOTOROLA AXS2200	110350	OLT	110350
4	MOTOROLA ASW60A	50750	GPON karta	203000
16	Pigtail SC 1 m vlákno 9/125	85	SC optický pigtail	1360
Panelové objekty				
16	Optický rozbočovač	5166	Rozbočovač 1:32	82656
16	Pigtail SC 1 m vlákno 9/125	85	Pigtail do rozbočovače	1360
384	Pigtail SC 1 m vlákno	85	Pigtail z rozbočovače	32640

	9/125			
800	Optický kabel stoupačky	132	Riser kabel 48 vláken	105600
3840	G.657A 2x 9/125 SM vlákno	9,12	Optický kabel DROP FTTx	35020
96	Riser box	1180	Riser box	113280
384	Pigtail SC 1 m vlákno 9/125	85	Pigtail do ONT	32640
384	3M spojka Fibrlok	184	Optická spojka	70656
384	ONT 1400GT	5465	Getaway FTTH	2098790
Celková cena				2887352

10.3. Hodnocení a srovnání navrhovaných řešení

Základní požadavek pro navrhovaná řešení byl vytvořit síť tak, aby byla schopna poskytovat celý balíček služeb Triple play. Tento požadavek byl splněn u obou navrhovaných řešení. Pro první variantu FTTB bylo navrženo řešení, při kterém se využívá pro přivedení signálu optické vlákno s navázáním na metalické vedení. Toto provedení dosahuje při plném vytížení 40 Mbit/s. Dosažená rychlost by se dala považovat za maximální dosažitelnou, jelikož hodnota 45 Mbit/s je přibližně maximální možná dosažitelná rychlost pro kratší vzdálenosti metalickým vedením ADSL 2+. Za dosažení této přenosové rychlosti jsem spočetl náklady na pořízení jednotlivých součástí na cenu 5538 Kč na každého uživatele. U tohoto zapojení se dají ovšem očekávat další náklady spojené s údržbou použité aktivní technologie.

U druhé varianty FTTH se po změně původního druhu přístupové sítě dosáhlo přenosové rychlosti v sestupném směru 78 Mbit/s. Optické vlákno je v tomto případě přivedeno až do prostor uživatele zabudováním vnitřní optické kabeláže. Cena tohoto provedení by dosahovala 7519 Kč na uživatele, což je cena o 1981 Kč vyšší nežli u první varianty. Vzhledem k použitému rozbočovači ovšem nebudou nutné dodatečné náklady na provoz použitých prvků. I přes vyšší cenu u varianty FTTH bych se přikláněl k využití této možnosti vzhledem k faktu, že by již byla vybudována kabeláž pro vedení optického signálu v panelových objektech, a tudíž možná návaznost na výkonnější standardy.

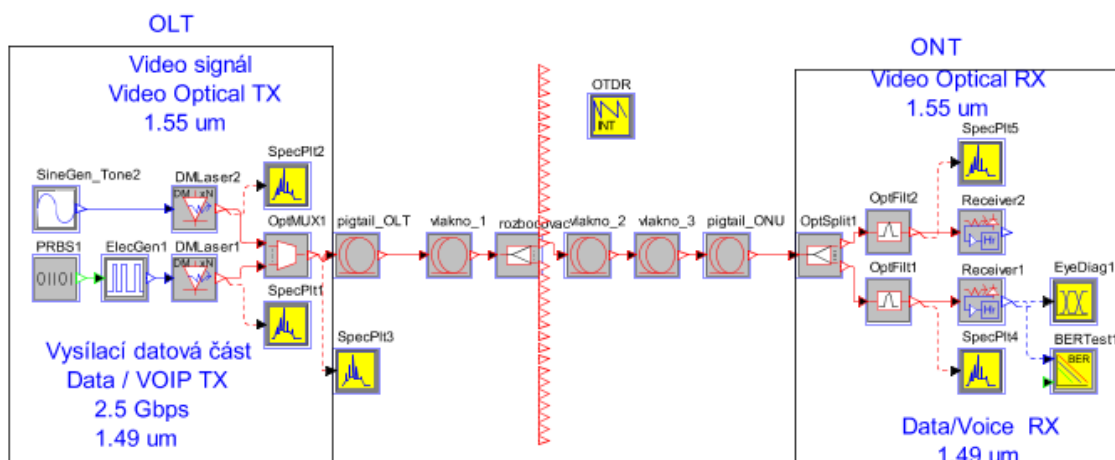
11. SIMULACE SÍTĚ V PROGRAMU OPTSIM

Vzhledem k tomu, že mi byl v konečné fázi odmítnut přístup k reálné síti a nemohlo být provedeno měření, vytvořil jsem simulaci, v níž bude provedeno zapojení mnou navržené sítě FTTH. V této simulaci bych chtěl zjistit několik základních parametrů, z nichž by měla být patrná výsledná kvalita služeb. Tuto simulaci jsem vytvořil v prostředí programu OptSim. OptSim je program umožňující v simulačním prostředí simulovat přístupové sítě FTTx, WDM a další.

11.1. Zapojení sítě FTTH

Celkové zapojení s 384 uživateli bylo velice rozsáhlé, a proto jsem jej zde předložil v několika zobrazení v přílohách. Nejprve je tedy zobrazeno celkové schéma s připojením jednotlivých panelových objektů k centrální stanici pomocí optického vlákna (viz Příloha č.1). V další Příloze č.2 je naznačena situace v centrální stanici, která bude osazena OLT se šestnácti výstupy každý dodávající přenosovou rychlost 2,5 Gbit/s. Následuje Příloha č.3 zobrazující zapojení jednoho OLT výstupu. Příloha č.4 zobrazuje situaci v zapojení jednoho panelového objektu obsahující rozbočovač umístěný v datové skříně ve sklepní části panelového objektu a připojení jednotlivých bytů. Příloha č.5 zobrazuje připojení síťového zakončení.

Pro názornost, lepší orientaci a bližší popsání situace v simulaci jsem zde zobrazil a popsal trasu připojení jednoho koncového uživatele (viz Obr. 11.1). K tomuto návrhu byl připojen navíc přístroj OTDR pro zobrazení průběhu útlumu.



Obr. 11.1: Připojení jednoho uživatele v prostředí OptSim

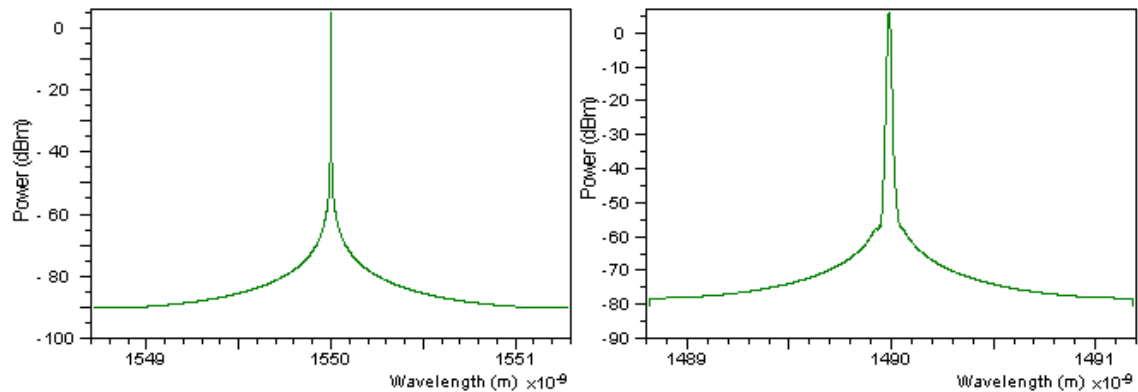
Vysílací část OLT se skládá z dvou základních částí. Vysílací část pro video signál vlnové délky 1550 nm a vysílací část pro datový signál vlnové délky 1490 nm. Pro generování video signálu mi posloužil generátor signálu SineGen_Tone2 generující analogový napěťový signál reprezentovaný sinusoidou. Blok DMLaser2 slouží jako zdroj záření s nastavenou hodnotou vysílacího výkonu 7 dBm a vlnovou délkou 1550 nm. Pro druhou, datovou část, byl použit generátor PRBS1, jenž slouží ke generování náhodné posloupnosti dat s nastavenou rychlostí 2,5 Gbit/s. Blok ElecGen1 tuto náhodnou posloupnost převede na napěťový signál. Jako zdroj záření byl použit blok DMLaser1, pomocí něž jsem nastavil hodnotu vysílacího výkonu 7 dBm a vlnovou délku 1490 nm..

Tyto dva signály jsou spojeny v multiplexeru OptMUX1, v němž byly tyto signály technologií WDM odděleny a vedeny dále po jednom vlákně. Na výstupu OLT je umístěn pigtail_OLT, jenž představuje pigtail vedený z jednotky OLT s nastavenou hodnotou útlumu tak, aby zahrnovala i hodnotu útlumu použitého konektoru a sváru na koncích tohoto pigtailu. Vlakno_1 reprezentuje vlákno 4 km dlouhé vedoucí do panelového objektu do rozbočovače pojmenovaný v simulaci rozbočovac. Na tomto rozbočovači byla nastavena nejen hodnota útlumu rozbočovače 1:32, ale i připojených pigtailů, tedy útlum dvou konektorů a dvou svárů na jejich koncích. Z rozbočovače je vedeno vlakno_2 představující vlákno v Riser kabelu. Na toto vlákno je navázáno vlakno_3 představující 10 m dlouhé vlákno pro vnitřní použití. Mezi těmito vlákny by se měl nacházet jeden svár, avšak tento prvek bohužel OptSim ve své knihovně nemá a tudíž jsem jej neuvažoval. Pro takovýto svár bývá uvažována hodnota útlumu 0,05 dB, což je hodnota, která by neměla zásadním způsobem ovlivnit výsledky simulace.

Připojení ONT je provedeno pomocí pigtail_ONU. V tomto pigtailu je nastavena hodnota útlumu tak, aby zahrnovala i útlum optické spojky a optického konektoru na jeho koncích. V ONT je signál opět rozdělen zpět na jednotlivé signály původních vlnových délek 1490 nm a 1550 nm. K tomuto účelu jsem použil rozbočovače OptSplit1 k rozdělení signálu a následně optického filtru OptFilt1 nebo OptFilt2 pro propuštění pouze požadovaných vlnových délek 1490 nm nebo 1550 nm. Na prvku OptSplit1 byl jeho útlum snižen na minimum tak, aby neovlivňoval výsledky simulace. Signály jsou pak vedeny do jednotlivých bloků Receiver1 nebo Receiver2 obsahující PIN fotodetektor pro detekci přijatého signálu.

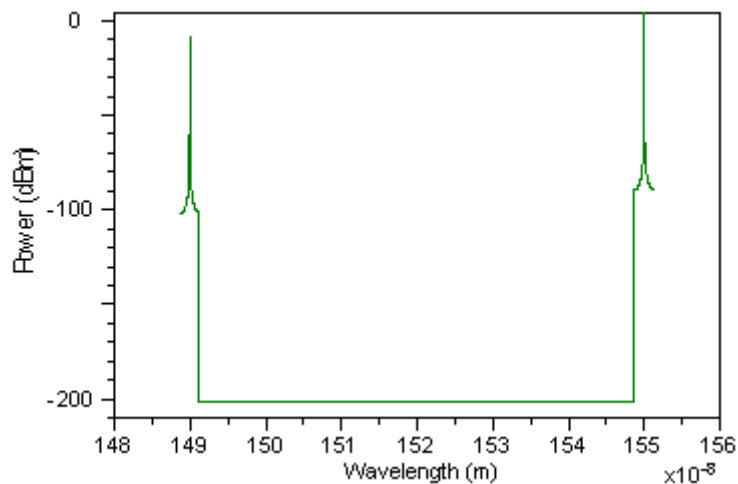
11.2. Výsledky a hodnocení simulace

Pro získání výsledků bylo v simulaci připojeno několik měřících přístrojů. Na vstupy jednotlivých signálů jsem připojil spektrometry. Na datový signál vlnové délky 1490 nm spektrometr SpecPlt1, na televizní signál vlnové délky SpecPlt2. Tyto spektrometry nám zobrazily spektrum jednotlivých vysílaných signálů (viz Obr. 11.2).



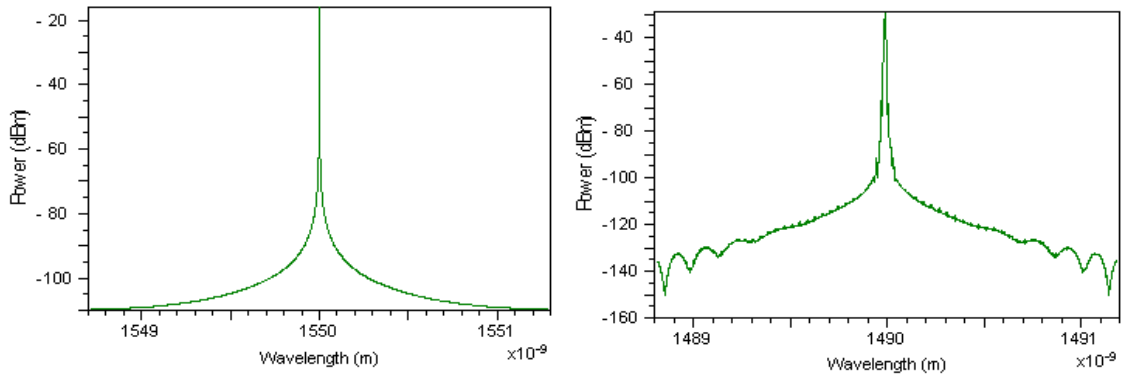
Obr. 11.2: Vstupní spektra modulovaných signálů

Spektrometr SpecPlt3 byl napojen za vlnový multiplexer, tudíž oba signály jsou již vedeny po jednom vlákne navzájem se nerušící (viz Obr. 11.3). Signály byly dostatečně odděleny a lze jednoznačně vyloučit jejich vzájemné ovlivňování.



Obr. 11.3: Vstupní spektra signálu po provedení vlnového multiplexu

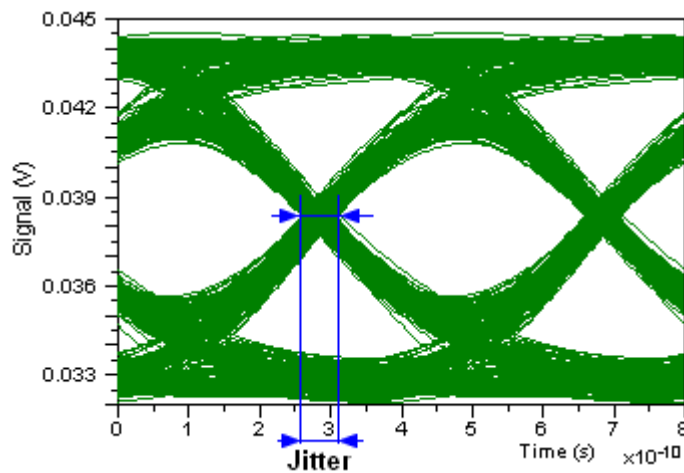
Po vstupu do síťového zakončení byl signál zpět vlnově oddělen pro distribuci jednotlivých dat a zobrazen pomocí spektrometrů SpecPlt4 pro datový a SpectPlt5 pro televizní signál (viz Obr. 11.4).



Obr. 11.4: Výstupní spektra jednotlivých signálů

Výstupní spektrum přijaté na síťové jednotce dosahuje u obou vlnových délek jen minimálního zkreslení. Šířka spektra těchto signálů dosahuje do hodnoty útlumu – 90 dB hodnoty 0,1 nm. Větší šířky spektra signálu dosahují až u hodnot útlumu pod hranicí – 100 dB.

Na výstupní datový signál vlnové délky 1490 nm jsem připojil EyeDiag1. Tento přístroj slouží k získání diagramu oka výstupního signálu (viz. Obr.11.5).



Obr. 11.5: Diagram oka

Průběh diagramu oka naznačuje menší zkreslení signálu, avšak není žádným způsobem zdeformovaný. Toto zkreslení bych přisoudil vlivu útlumu trasy během přenosu signálu. Otevření oka se jeví jako dostatečné pro správné vyhodnocení přijímaného signálu. Z diagramu oka lze vyčíst parametr Jitter. Tato hodnota činí přibližně 0,1 ns a lze ji hodnotit jako velice nízkou. Na přenos služeb Triple play by tedy Jitter neměl mít žádný negativní vliv.

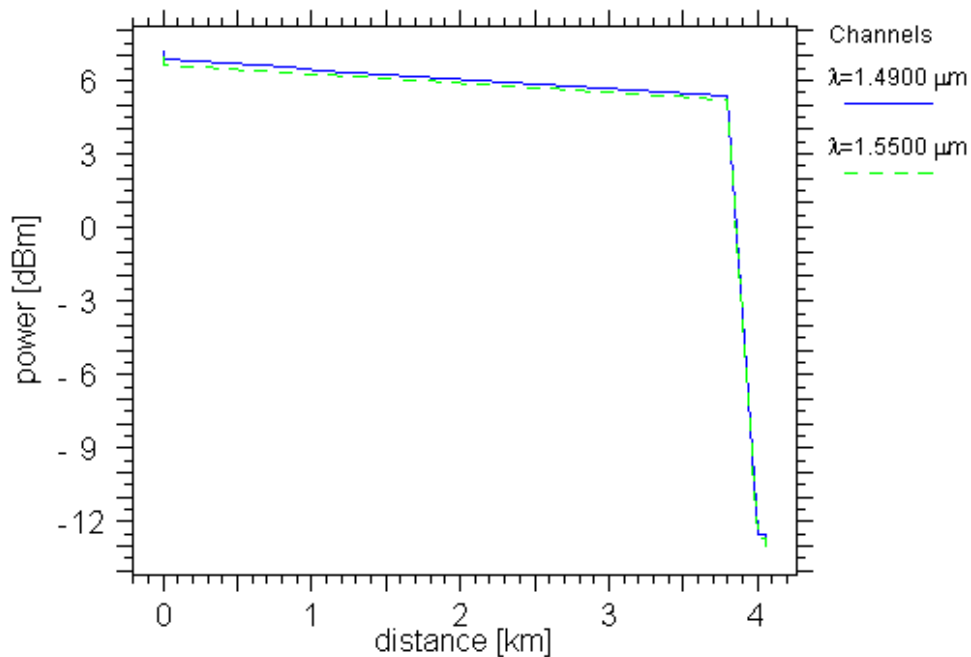
Mírné zkreslení signálu by nemělo mít vliv na chybovost systému. Pro tento účel zjištění bitové chybovosti byl připojen přístroj BERTest1.

BER	BER_lo	BER_hi
8.3327e-007	3.8290e-007	1.7727e-006

Obr. 11.6: Výstup BER analyzátoru

Zjištěná bitová chybovost řádově 10^{-7} (viz Obr. 11. 6) se dá hodnotit jako akceptovatelná pro správný přenos služeb Triple play.

Průběh útlumu na přenosové trase byl vyobrazen přístrojem OTDR (viz Obr.11.7). Tento průběh vyšel podle očekávání. Samozřejmě je patrné, že se jedná o simulační průběh, jelikož v případě skutečného měření by docházelo například k drobnému ustálení hodnoty po rozbočovači. Z průběhu útlumu je vidět zapojení jednotlivých prvků. Na začátku je drobné snížení vinou pigtailu osazeného svárem a konektorem. Na něj navazuje lineární útlum vlákna nastavený na hodnotu. Po průběhu vláknem dochází k rapidnímu nárůstu vinou rozbočovače 1:32 a na něj připojených pigtailech. Na konci je vidět drobné snížení hodnoty navázaným vláknem a poté pigtailem s konektorem a spojkou na jejím konci. Nastavil jsem zde i hodnotu vstupního výkonu 7 dBm. Po průchodu optickým vedením je zde vidět, že optický výkon dosahuje hodnoty přibližně - 13 dBm což je hodnota, kterou by měl detektor ONT detekovat (viz Obr. 10.3).



Obr. 11.7: Průběh útlumu

12. ZÁVĚR

V rámci této diplomové práce jsem se věnoval technologii optických přístupových sítí FTTx a jejich využití pro zpřístupnění služeb Triple play. Úvodem jsem se tedy nejprve zabýval seznámením se samotnými základy optického vedení signálu formou představení jednotlivých optických vláken, jejich vlastnostmi a možnostmi využití. Po tomto seznámení se s problematikou optického vedení jsem již představil jednotlivé typy přístupových sítí FTTx. Tyto sítě jsou v současnosti velice častým tématem telekomunikačních firem. Je to díky jejich potenciálu vysokých přenosových kapacit a možnosti tak plně uspokojit všechny své zákazníky, jelikož je neustálým trendem zvyšující se poptávka po moderních službách. Limitujícím faktorem je samozřejmě cena, jelikož v případě šíření signálu s využitím technologie optického signálu je relativně nová a bude tedy nutné pro poskytnutí služeb touto formou nejprve zřídit potřebnou infrastrukturu sítí. Tento problém je v řešení a moderní metody přivedení optického vlákna využitím technologie mikrotrubičkování je popsán v kapitole č.4.

Následující kapitoly č.5 a č.6 se zabývají již možnostmi realizace takovéto optické sítě. V těchto kapitolách se nachází výčet standardů pro distribuci signálu a seznam jednotlivých síťových prvků pro uvedení signálu do finální podoby podle potřeb zákazníka. Důvodem takovýchto investic do vybudování přístupové sítě FTTx jsou především služby označující se jako Triple play. Tyto služby jsou formou poskytování poměrně nové a bylo u nich potřeba skloubit několik druhů technologií. Při jejich poskytování musíme dbát, aby byly poskytovány v dostatečné kvalitě pro zákazníka. Při špatné kvalitě se dají očekávat ztráty zákazníků, bez nichž budování optických sítí postrádá smysl. Pro tento účel jsem v kapitole č.7 jednotlivé služby Triple play popsal včetně jejich parametrů, které pro jejich správnou kvalitu musíme sledovat.

V praktické části mi byla přidělena optická síť, která v současném stavu nespĺňovala podmínky pro přenos služeb Triple play. Nejprve jsem danou síť analyzoval a zakreslil jejich rozpoložení a snažil se ji z dostupných informací popsat. Již z této analýzy bylo zřejmé, že stávající síť nebude schopna dodávat dostatečnou přenosovou kapacitu pro přenos požadovaných služeb. Byly tedy vytvořeny dva návrhy pro zlepšení stávající situace. Vzhledem ke skutečnosti, že se jednalo již o vylepšení stávající sítě, snažil jsem se nezasahovat do pokládky kabelů, aby byla konečná cena co nejnižší.

U prvního návrhu jsem ponechal stejný druh přístupové sítě, čili FTTB, ale centrální stanici a jednotlivé cílové panelové objekty bylo nutno osadit novými prvky. U tohoto návrhu bylo využito poslední část využito metalického vedení s použitím výchozí brány využívající linku ADSL 2+, díky níž nám byly zpřístupněny všechny požadované služby. Touto variantou by každému uživateli měla být zaručena přenosová rychlost 40 Mbit/s za cenu 5538 Kč.

U druhého návrhu jsem již přešel k možnosti přechodu na přístupovou síť FTTH. Pro tuto variantu byly použity v centrální stanici a prostorách uživatele přístroje pracující na standardu GPON v asymetrickém provedení. Ke změnám došlo již i v kabelovém provedení, nicméně jednalo se pouze o změny v koncovém provedení pigtailů a rozdílném použití vláken, a tudíž nebylo potřeba přidávat další kabely. Bylo ovšem nutné vytvořit kabeláž pro přivedení optického vlákna do domu samotného uživatele. Pro tyto účely byly použity Riser kabely, které jsou pro takovéto zapojení vzhledem k jejich snadnému vydělování určeny. Pro finální připojení optického zakončení byly použity kabely určeny pro vnitřní použití. Toto optické zakončení nám umožnilo po připojení jednotlivých přístrojů přístup ke všem službám Triple play. U této varianty byla poskytnuta každému uživateli přenosová rychlost 78/39 Mbit/s za cenu 7519 Kč. Tato varianta je o 1981 Kč dražší, avšak její rychlost je dvojnásobná, díky čemuž bych se tedy přikláněl k ní. Výhodou u ní je i fakt, že pro daný rozbočovač nebudou potřeba další náklady na údržbu oproti použitému prepínači u varianty FTTB. Dále bylo vlákno přivedeno již do prostor uživatele a bude tedy jednodušší případný přechod na vyšší rychlost.

Vzhledem k odmítnutí přístupu k síti, kde mělo být provedeno měření, jsem pro zjištění parametrů ovlivňující přenos sestavil simulaci v programu OptSim. Tato simulace byla provedena pro druhý návrh s použitou přístupovou sítí FTTH. Tímto programem se mi podařilo zjistit základní parametry negativně ovlivňující přenos. Jedná se o jitter, BER a průběh útlumu během přenosové trasy. Tyto jednotlivé parametry se nacházely v hodnotách, které by neměly výrazným způsobem negativně ovlivnit přenos a kvalitu služeb. Samozřejmě zde musíme brát ohled na to, že se jedná o simulaci, která není schopna vzít v úvahu některé parametry jako například geometrické asymetrie vlákna. V případě že by tyto parametry dosahovaly vyšších hodnot než povolená hranice, bylo by nutné na tuto situaci reagovat a potřebným způsobem síť doplnit.

Seznam použitých značek

M	- Mega
G	- Giga
WDM	- Vlnový multiplex
SM	- Jednovidové optické vlákno
Hz	- Herz
km	- Kilometr
dB	- DeciBel
MM	- Mnohovidové optické vlákno
PMD	- Polarizační vidová disperze
CD	- Chromatická disperze
μs	- Mikrosekunda
ps	- Pikosekunda
km	- Kilometr
FTTX	- Optický signál přiveden do X
DWDM	- Hustý vlnový multiplex
FTTP	- Optické vlákno přivedeno ke klientovi
FTTH	- Optické vlákno přivedeno do domu
FTTB	- Optické vlákno přivedeno do budovy
FTTO	- Optické vlákno přivedeno do kanceláře
PC	- Počítač
ONU	- Optická síťová jednotka
OLT	- Optické linkové zakončení
FTTC	- Optické vlákno přivedeno do rozvodny
FTTN	- Optické vlákno přivedeno k bodu
HDPE	- Vysoce polyethylenová
MCS	- Mikrokabelážní systém
PMP	- Bod k mnoha bodům
PTP	- Bod k bodu
P2P	- Bod k bodu
ITU-T	- Mezinárodní telekomunikační unie
IEEE	- Institut zabývající se elektrotechnikou
AON	- Aktivní optická síť

PON	- Pasivní optická síť
FDM	- Přístup oddělen frekvenčně
TDM	- Přístup oddělen časově
CWDM	- Hrubý vlnový multiplex
APON	- ATM přístupová optická síť
BPON	- Širokopásmová přístupová optická síť
EPON	- Ethernetová přístupová optická síť
ODN	- Optická distribuční síť
OAN	- Optická přístupová síť
ATM	- Asynchronní transportní mód
GPON	- Gigabitová přístupová optická síť
GEPON	- Gigabitová Ethernetová přístupová optická síť
TDMA	- Mnohonásobný přístup rozdělen časově
NRZ	- Nevracející se k nule
GEM	- GPON metoda zapouzdření
IP	- internet protokol
TCP	- kontrolovaná forma přenosu dat
UDP	- diagramy šířená informace
QoS	- kvalita služeb
IPTV	- televize přes internetový protokol
CATV	- kabelová televize
HDTV	- obraz televize ve vysoké kvalitě
VoIP	- hlasové služby internetovým protokolem
VoD	- video na požádání
ADSL	- asymetrická digitální připojení
VDSL	- vysokorychlostní digitální připojení
PPV	- placené pořady
EPG	- elektronický program
VCR	- video ze záznamu
BER	- bitová chybovost
OTDR	- Reflektometrické zobrazení průběhu v časové oblasti
RF	- Radio Frequency
Kč	- Korun českých
SFP	- Small Form Factor Pluggable modul

13. SEZNAM LITERATURY

- [1] FILKA, Miloslav. *Optické sítě*. Brno: VUTIUM, 2007. 210 s.
- [2] FILKA, Miloslav. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Brno: VUTIUM, 2009. 380 s.
- [3] Vodrážka, J. *Základy FTTx. Acces server* [online]. 22.05.2006, 1, [cit. 2010-12-06]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=zaklady-fttx&cisloclanku=2006051702>>.
- [4] *Mikrotrubickovani.cz* [online]. 2009 [cit. 2010-11-24]. Mikrotrubickovani. Dostupné z WWW: <<http://www.mikrotrubickovani.cz/mikrotrubickovani.php>>.
- [5] SCHLITTER, P. *Mikrokabelážní systémy. Acces Server* [online]. 2004, 1, [cit. 2010-12-04]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=mikrokabelazni-systemy&cisloclanku=2004072806>>.
- [6] VODRÁŽKA, J. *Optické přístupové sítě EPON a CWDM. Acces Server* [online]. 27.7.2005, 1, [cit. 2010-12-14]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=opticke-pristupove-site-epon-a-cwmd&cisloclanku=2005070401>>.
- [7] SCHLITTER, P. *Optické přístupové sítě. Acces Server* [online]. 28.7.2004, 1, [cit. 2010-12-14]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=opticke-pristupove-site&cisloclanku=2004072807>>.
- [8] Lafata, P; Vodrážka, J. *Pasivní optická síť GPON. Acces Server* [online]. 23.5.2009, [cit. 2010-12-14]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=pasivni-opticka-sit-gpon&cisloclanku=2009050002>>.
- [9] Lafata, P. *Pasivní optická přístupová síť EPON. Acces Server* [online]. 23.5.2009, [cit. 2010-12-14]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=pasivni-opticka-pristupova-sit-epon&cisloclanku=2009050003>>.
- [10] LAFATA, P. *Pasivní optické sítě WDM-PON. Acces Server* [online]. 24.5.2009, [cit. 2010-12-14]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=pasivni-opticke-site-wdm-pon&cisloclanku=2009050004>>.

- [11] *TEPS: MUNI: Katedra technické a informační výchovy* [online]. 2006, [cit. 2011-05-23]. HW počítačových sítí. Dostupné z WWW: <http://www.ped.muni.cz/wtech/03_studium/teps/TEPS-04.pdf>.
- [12] Media konvertory. *Ofacom.cz* [online]. 2009, [cit. 2010-12-14]. Dostupný z WWW: <http://www.ofacom.cz/index.php?option=com_content&view=section&id=5&Itemid=105>
- [13] Pohled na služby Triple play z tak trochu jiného úhlu. *NETGURU* [online]. 2010, č. 1 [cit. 2011-04-04]. Dostupné z: <http://www.netguru.cz/odborne-clanky/pohled-na-sluby-triple-play-z-tak-trochu-jineho-uhlu.html>
- [14] KREJČÍ, J; ZEMAN, T. Úvod do IPTV. *Acces Server* [online]. 10.12.2008, [cit. 2010-12-14]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=uvod-do-iptv&cisloclanku=2008100002>>.
- [15] NEISON, Richard; BERBUSCIA, Sarah. *www.copper-gate.com* [online]. 2005 [cit. 8.10.2010]. HomePNA 3 Multimedia Home Networking For Triple Play Services. Dostupné z WWW: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=gmail&attid=0.2&thid=1300f717ddcfeedf&mt=application/pdf&url=https://mail.google.com/mail/?ui%3D2%26ik%3Dc7798d6833%26view%3Datt%26th%3D1300f717ddcfeedf%26attid%3D0.2%26disp%3Dattd%26realattid%3Df_glxn0ken1%26zw&sig=AHIEtbRLCuB2Mmu0iF0P8DADS4M4y5GSUA&pli=1>
- [16] HÁJEK, Martin; HOLOMEČEK, Petr . Chromatická disperze jednovídných optických vláken a její měření. In *Mikrokom* [online]. Praha : Mikrokom s.r.o, 2010 [cit. 2011-05-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.mikrokom.eu/sk/pdf/chrom-disperze.pdf>>.
- [17] *Ipmedia.cz* [online]. 2011 [cit. 02.05.2011]. Optický kabel Samsung SJAD SM 9/125, 12 vláken, venkovní. Dostupné z WWW: <www.ipmedia.cz>.
- [18] LAFATA, P. Pasivní optické sítě s rychlostí 10Gbit/s. *Acces Server* [online]. 10.3.2011, [cit. 2011-05-04]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=pasivni-opticke-site-s-rychlosti-10-gbits&cisloclanku=2011030001>>.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1: Celkové Zapojení pro simulaci trasy FTTH v programu OptiSim

Příloha č.2: Zapojení centrální stanice pro simulaci trasy FTTH v programu OptiSim

Příloha č.3: Zapojení jednoho výstupu OLT pro simulaci trasy FTTH v programu OptiSim

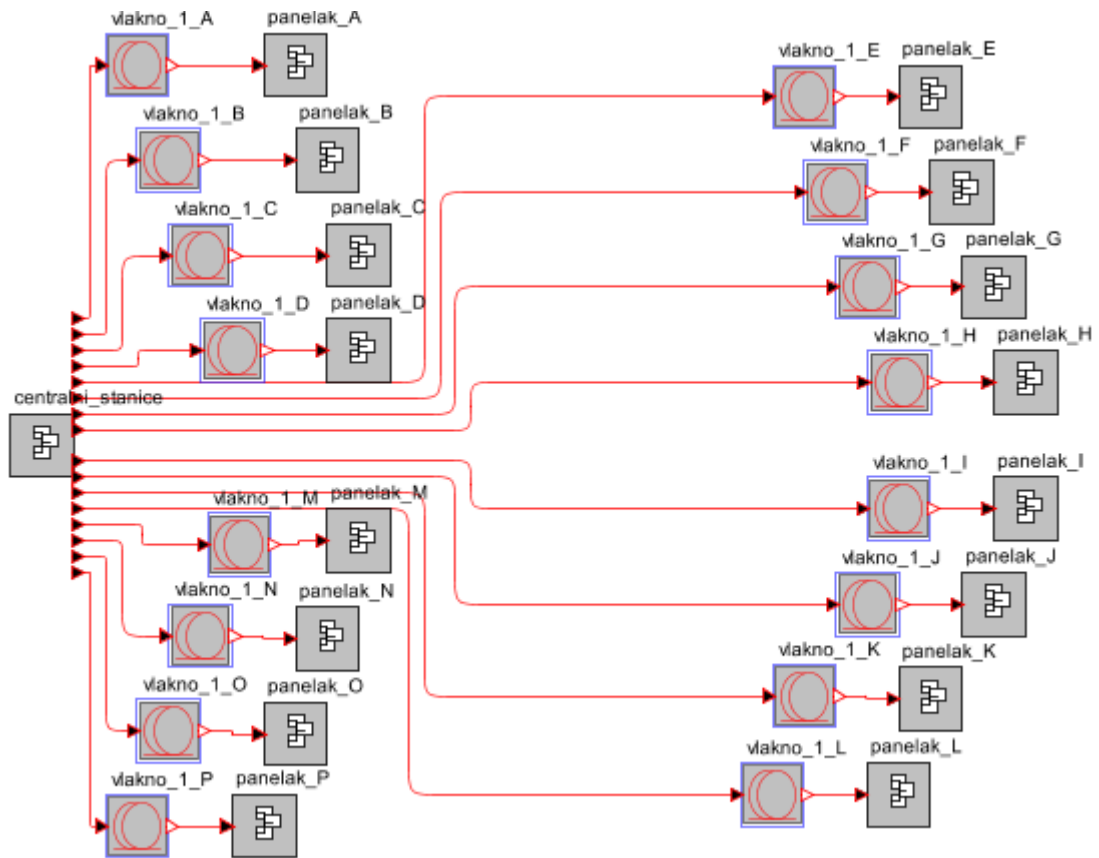
Příloha č.4: Zapojení panelového objektu pro simulaci trasy FTTH v programu OptiSim

Příloha č.5: Připojení ONT jednoho bytu v simulaci trasy FTTH v programu OptiSim

Příloha č.6: Přiložené médium:

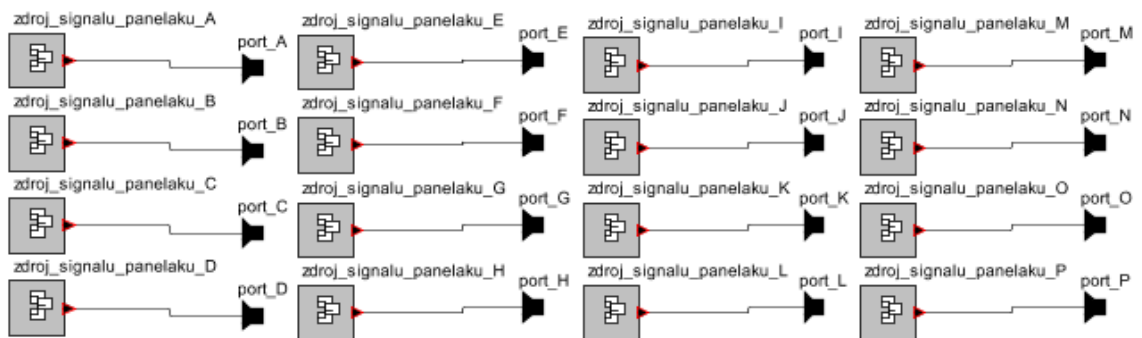
Příloha č.1

Celkové zapojení pro simulaci trasy FTTH v programu OptiSim



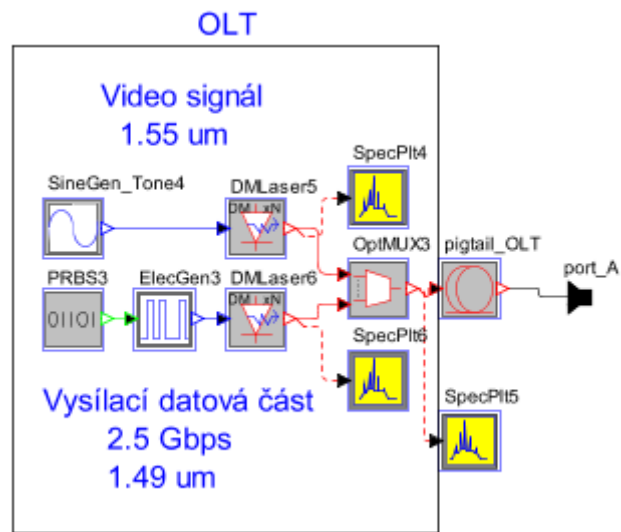
Příloha č.2

Zapojení centrální stanice pro simulaci trasy FTTH v programu OptiSim



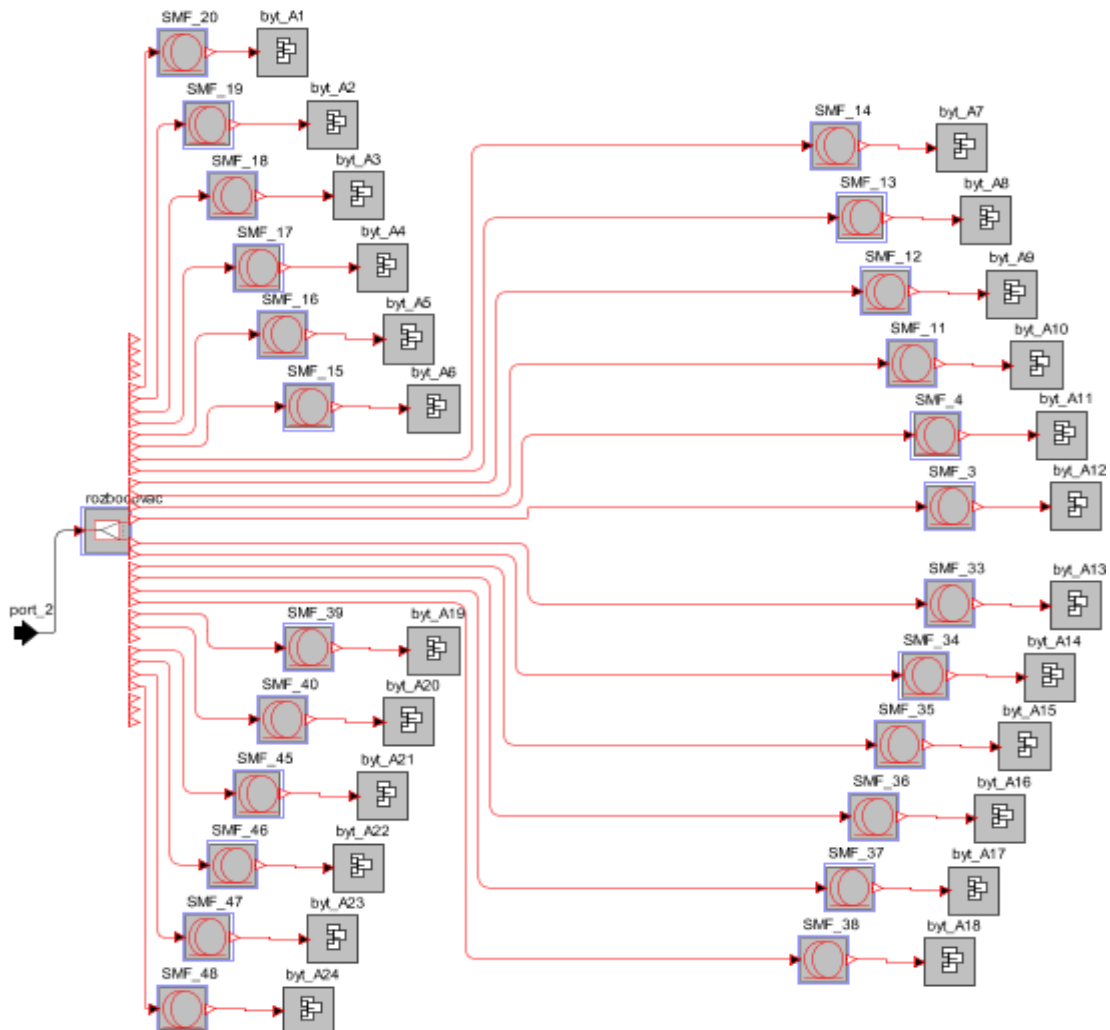
Příloha č.3

Zapojení jednoho výstupu OLT pro simulaci trasy FTTH v programu OptiSim



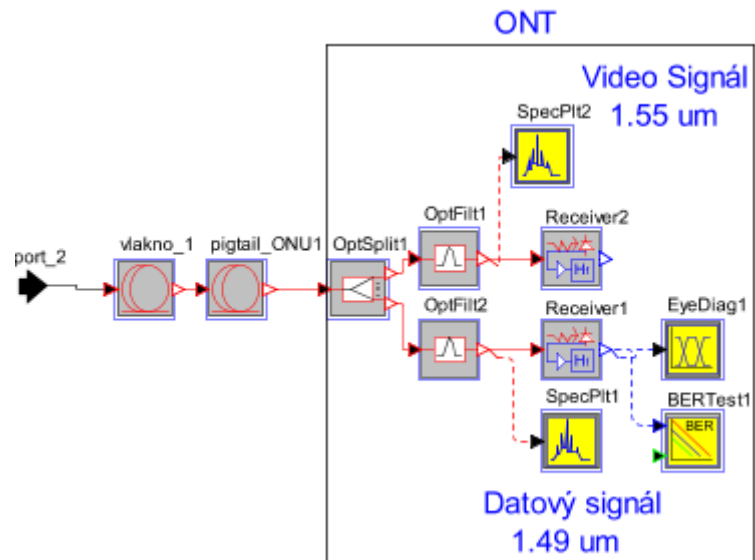
Příloha č.4

Zapojení panelového objektu pro simulaci trasy FTTH v programu OptiSim



Příloha č.5

Připojení ONT jednoho bytu v simulaci trasy FTTH v programu OptSim



Příloha č.6: Příložené médium obsahující:

- Elektronická verze práce
- Simulace celého zapojení FTTH v programu OptSim
- Simulace připojení jednoho uživatele v zapojení FTTH v programu OptSim