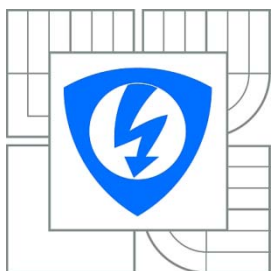


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS**

OPTICKÁ SÍŤ FTTH

OPTICAL NETWORK FTTH

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

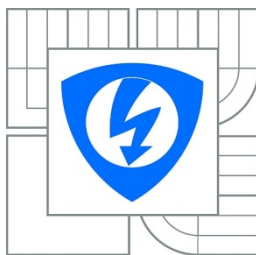
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ HORNÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Teleinformatika

Student: Lukáš Horníček
Ročník: 3

ID: 115181
Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Optická síť FTTH

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Úkolem práce bude definování sítí FTTH, posouzení současných trendů, architektury a standardy. Na modelu sítě navrhnete základní požadavky, parametry a služby sítě. Porovnejte možné technologie pro výstavbu sítí, přednosti i nedostatky, spolehlivost, kvalitu a zohledněte ekonomickou stránku. Naznačte další perspektivy těchto sítí.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FILKA, M. Optoelectronics for telecommunication and informatics. OPTOKON & METHODE Publishers, Dallas, TX, USA 2009. ISBN 978-0-615-33185-0, p. 333.
- [2] FILKA, M. Přenosová média. Skripta laboratoře. VUT FEKT, Brno 2003.
- [3] GIRARD. A. FTTx PON Technology and Testing. EXFO, Quebec, 2005.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 2.6.2011

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

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

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce „Optická síť FTTH“ je teoretický a praktický rozbor problematiky optických přístupových sítí s ohledem na současné a perspektivní trendy ve výstavbě a provozu těchto sítí. Pro přehlednost problematiky je práce členěna do šesti tematických oddílů.

Prvních pět kapitol pojednává o optických přístupových sítích v teoretické rovině s nádechem praktických poznatků v rámci akademické analýzy. První kapitola analyzuje obecnou koncepci sítí FTTH a definuje důvody jejich vzniku. Druhá tematická kapitola specifikuje jednotlivé topologie realizované v optických přístupových sítích FTTH, jejich výhody a nevýhody s ohledem na současné a budoucí přenosové kapacity a ekonomicko-konkurenční potenciál sítě. Dále je definováno principiální rozdělení optických sítí na aktivní a pasivní s definicí jednotlivých síťových architektur, komunikačních modelů a protokolů. Jednotlivé architektury jsou vyhodnoceny pro vhodnost nasazení v sítích FTTH. Třetí a čtvrtá tematická kapitola seznámí čtenáře s pasivní a aktivní infrastrukturou přístupových sítí FTTH. Pasivní infrastruktura rozebírá technologie výstavby používané v minulých desetiletích i nejmodernější technologii mikrotrubičkování, která se v této koncepci sítí prosadila. Pátá tematická kapitola definuje služby Triple Play a důvody nasazení těchto služeb právě na optických sítích.

Poslední šestá kapitola je klíčovým prvkem této práce. Výsledky a poznatky nabyté v předcházejících kapitolách aplikuje na reálný model sítě. Je definována fiktivní obec „Fektákov“, pro kterou jsou vytvořeny 3 případové studie tvořící technické a ekonomické podklady pro realizaci reálné přístupové sítě FTTH. To umožňuje porovnat současné moderní způsoby realizace síťové infrastruktury včetně distribučního centra a koncových účastnických zařízení. Z výsledků těchto tří případových studií jsou vyvozeny závěry, které vyzdvihují přednosti i nedostatky těchto síťových architektur a zároveň naznačují kvalitu a spolehlivost těchto sítí a předpokládanou další perspektivu vývoje.

Závěr práce tvoří zhodnocení všech získaných poznatků a je odrazem pohledu autora na současný a předpokládaný budoucí vývoj v oblasti optických přístupových sítí vedoucí svá optická vlákna až do domů či bytů všech domácností.

KLÍČOVÁ SLOVA

Optická přístupová síť, FTTH, mikrotrubičkování, aktivní optická síť, pasivní optická síť, triple play.

ABSTRACT

The bachelor's thesis „Optical Network FTTH“ is a theoretical and practical analysis of problems of optical access networks with respect to current and prospective trends in the construction and operation of these networks. For the clearness of thesis done divided into 6 chapters.

The first five chapters deal with the optical access networks at a theoretical level with a touch of practical knowledge in the academic analysis. The first chapter deals with general concepts networks FTTH and defines the reasons for their occurrence. The second thematic chapter specifies an individual topology implemented in optical networks FTTH, their advantages and disadvantages with respect to transfer capacity and the economic-competitive potential of the network. It is defined by a principled division of optical networks in the active and passive with the definition of network architectures, communication models and protocols. The individual architectures are evaluated for suitability in the deployment of networks FTTH. The third and fourth thematic chapters inform readers with the passive and active access network FTTH infrastructure. Passive infrastructure examines the method of construction used in the past decades and the latest technology microtubing that this networks concept prevailed. The fifth thematic chapter provides Triple Play services and reasons for using these services just for FTTH optical networks.

The sixth chapter is a crucial element in this thesis. Results and knowledge acquired in previous chapters is applied to real network model. It is defined by imaginary the village "Fektákov" for which they are created by three case studies covering technical and economic documentation for the realization of a real access FTTH network. This allows compare the modern ways of realization network infrastructure, including central office and subscriber terminal equipment. The results of these three case studies, conclusions are drawn that highlight the strengths and weaknesses of these architectures and also suggest the quality and reliability of these networks and the expected future prospects of development.

Conclusion of the thesis is an evaluation of all evidence obtained in this work reflects the author's view on current and expected future developments in optical access networks leading its optical fiber to homes or apartments of all households.

KEYWORDS

Optical access network, FTTH, microtubing, active optical network, passive optical network, triple play.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HORNÍČEK, L. *Optická síť FTTH*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 92 s. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Miloslav Filka, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Optická síť FTTH“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Miloslavu Filkovi, CSc. za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady poskytnuté pro vypracování této práce. Dále děkuji za informačně-technickou spolupráci panu Pavlu Vackovi ze společnosti Abbas a.s. a panu Jaroslavu Stříhankovi ze společnosti PROFiber s.r.o., bez jejichž pomoci by nebylo možno vytvořit tak podrobnou případovou studii. Též děkuji za poskytnutí inspirativních materiálů společnosti SQS Vláknová optika a.s a kanadské společnosti EXFO Inc..

V Brně dne

.....

podpis autora

OBSAH

ÚVOD	9
1. OPTICKÁ PŘÍSTUPOVÁ SÍŤ FTTH	10
1.1 FTTX	10
1.2 Model sítě FTTH	12
1.3 Funkční celky optické přístupové sítě	13
2. TOPOLOGIE A TECHNOLOGIE	14
2.1 Topologie P2P	15
2.2 Topologie P2MP	16
2.3 Aktivní optická síť AON	17
2.3.1 Ethernet in the First Mile	18
2.3.2 10G Ethernet	18
2.3.3 100G Ethernet	18
2.4 Pasivní optická síť PON	19
2.4.1 APON	21
2.4.2 BPON	21
2.4.3 GPON	21
2.4.4 EPON	22
2.4.5 10G-EPON	22
2.4.6 XG-PON	23
2.4.7 WDM-PON	23
3. PASIVNÍ INFRASTRUKTURA SÍTĚ	26
3.1 Optické vlákno	26
3.1.1 Jednovidové optické vlákno	27
3.1.2 Mnohovidové optické vlákno se skokovou změnou indexu lomu	28
3.1.3 Mnohovidové optické vlákno s gradientní změnou indexu lomu	29
3.2 Optický kabel	29
3.3 Optický mikrokabel	31
3.4 Svazek optických vláken	32
3.5 Chránička optických kabelů	32
3.6 Multiduct	32
3.7 Mikrotrubičky	33
3.7.1 Tenkostěnné a tlustostěnné mikrotrubičky	33
3.7.2 Rukávky s tlustostěnnými trubičkami	33
3.8 Spoje a zakončení optických vláken	34
3.8.1 Nerozebíratelný optický spoj	34
3.8.2 Rozebíratelný optický spoj	34
3.9 Optický rozbočovač	35

3.10 Ostatní pasivní prvky	36
4. AKTIVNÍ INFRASTRUKTURA SÍTĚ	37
4.1 OLT	37
4.1.1 PON	37
4.1.2 AON	38
4.2 ONT	38
4.3 Přepínač	39
4.4 EDFA	39
4.5 Ostatní aktivní prvky	39
5. SLUŽBY TRIPLE PLAY	40
5.1 Datové služby	40
5.2 Hlasové služby	41
5.3 Video služby	42
5.3.1 Distribuce pomocí překryvného vysílání CATV	42
5.3.2 Distribuce pomocí IPTV	44
6. PŘÍPADOVÁ STUDIE – OBEC FEKTÁKOV	47
6.1 Popis situace před návrhem	47
6.2 Představení případových studií	50
6.3 Studie 1. – AON P2P IPTV	51
6.3.1 Předmluva	51
6.3.2 Pasivní infrastruktura	51
6.3.3 Aktivní infrastruktura mimo distribuční centrum	55
6.3.4 Distribuční centrum (CO)	56
6.3.5 Finanční rozvaha	59
6.4 Studie 2. – AON P2P CATV	60
6.4.1 Předmluva	60
6.4.2 Pasivní infrastruktura	60
6.4.3 Aktivní infrastruktura mimo distribuční centrum	65
6.4.4 Distribuční centrum (CO)	66
6.4.5 Finanční rozvaha	68
6.5 Studie 3. – PON P2MP CATV	69
6.5.1 Předmluva	69
6.5.2 Pasivní infrastruktura	69
6.5.3 Aktivní infrastruktura mimo distribuční centrum	76
6.5.4 Distribuční centrum (CO)	77
6.5.5 Finanční rozvaha	78
6.6 Sekundární výdaje	79
6.6.1 Konektivita do WAN	79
6.6.2 Povinnosti vyplývající z legislativy České republiky	79
6.7 Volba výsledné studie	80
7. ZÁVĚR	84

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1.1: Optické přístupové sítě FTTX</i>	11
<i>Obr. 1.2: Model sítě FTTH</i>	12
<i>Obr. 1.3: Blokové schéma přístupové sítě</i>	13
<i>Obr. 2.1: Rozdělení optických prostředků</i>	14
<i>Obr. 2.2: Realizace topologie P2P</i>	15
<i>Obr. 2.3: Realizace topologie P2MP</i>	16
<i>Obr. 2.4: Fyzická vrstva AON topologie</i>	17
<i>Obr. 2.5: Fyzická vrstva PON topologie</i>	20
<i>Obr. 2.6: Varianty WDM-PON</i>	24
<i>Obr. 3.1: Jednovidové optické vlákno</i>	27
<i>Obr. 3.2: Mnohovidové optické vlákno se skokovou změnou indexu lomu</i>	28
<i>Obr. 3.3: Mnohovidové optické vlákno s gradientní změnou indexu lomu</i>	29
<i>Obr. 3.4: Průřez jednoláknovým optickým kabelem</i>	30
<i>Obr. 3.5: Drop optický kabel a) uložení do země b) samonosný</i>	31
<i>Obr. 3.6: Průřez optickým mikrokabelem</i>	31
<i>Obr. 3.7: Technologie výroby rozbočovačů</i>	35
<i>Obr. 5.1: Triple Play – schéma datových služeb</i>	41
<i>Obr. 5.2: Triple Play – schéma hlasových služeb</i>	42
<i>Obr. 5.3: Triple Play – schéma video služeb</i>	46
<i>Obr. 6.1: Obec Fektákov – vyznačení výkopových prací</i>	49
<i>Obr. 6.2: AON P2P IPTV – návrh pasivní infrastruktury</i>	54
<i>Obr. 6.3: Struktura investice projektu – AON P2P IPTV</i>	59
<i>Obr. 6.4: Blokové schéma pasivní sítě překryvného vysílání CATV</i>	62
<i>Obr. 6.5: AON P2P CATV – návrh pasivní infrastruktury</i>	64
<i>Obr. 6.6: Struktura investice projektu – AON P2P CATV</i>	68
<i>Obr. 6.7: Blokové schéma pasivní sítě EPON</i>	73
<i>Obr. 6.8: Blokové schéma pasivní sítě překryvného vysílání CATV</i>	73
<i>Obr. 6.9: PON P2MP CATV – návrh pasivní infrastruktury</i>	75
<i>Obr. 6.10: Struktura investice projektu – PON P2MP CATV</i>	78
<i>Obr. 6.11: Výsledná finanční rozvaha</i>	81

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 2.1: Klady a zápory AON</i>	17
<i>Tab. 2.2: Klady a zápory PON</i>	19
<i>Tab. 2.3: Srovnání typů PON sítí pracujících s TDM</i>	25
<i>Tab. 3.1: Základní přehled parametrů SMF vhodných pro FTTH</i>	28
<i>Tab. 3.2: Kapacita tlustostěnné mikrotrubičky</i>	33
<i>Tab. 3.3: Běžný útlum konektorů podle typu</i>	35
<i>Tab. 3.4: Útlum planárních rozbočovačů PLC firmy SQS Vláknová optika a.s.</i>	36
<i>Tab. 5.1: Bitová rychlost přenosu digitální televize</i>	45
<i>Tab. 6.1: Struktura objektů FTTH přípojek</i>	48
<i>Tab. 6.2: Kalkulace prvků pasivní infrastruktury (AON P2P IPTV)</i>	53
<i>Tab. 6.3: Kalkulace prvků aktivní infrastruktury mimo CO (AON P2P IPTV)</i>	56
<i>Tab. 6.4: Kalkulace vybavení distribučního centra</i>	58
<i>Tab. 6.5: Finanční rozvaha – AON P2P IPTV</i>	59
<i>Tab. 6.6: Kalkulace prvků pasivní infrastruktury (AON P2P CATV)</i>	63
<i>Tab. 6.7: Kalkulace prvků aktivní infrastruktury mimo CO (AON P2P CATV)</i>	66
<i>Tab. 6.8: Popis zařízení tvořící hlavní stanici pro CATV</i>	67
<i>Tab. 6.9: Kalkulace vybavení distribučního centra</i>	67
<i>Tab. 6.10: Finanční rozvaha – AON P2P CATV</i>	68
<i>Tab. 6.11: Kalkulace prvků pasivní infrastruktury (PON P2MP CATV)</i>	74
<i>Tab. 6.12: Kalkulace prvků aktivní infrastruktury mimo CO (PON P2MP CATV)</i>	76
<i>Tab. 6.13: Kalkulace vybavení distribučního centra</i>	77
<i>Tab. 6.14: Finanční rozvaha – PON P2MP CATV</i>	78
<i>Tab. 6.15: Kalkulace výdajů – konektivita NIX.CZ</i>	79
<i>Tab. 6.16: Výsledná finanční rozvaha</i>	80
<i>Tab. 6.17: Odhad ročního hrubého zisku přístupové sítě FTTH s IPTV/CATV</i>	82

ÚVOD

Potřeba komunikace provází lidstvo od úsvitu věků. V moderní společnosti není idea optického přenosu tak nová, jak si dnes můžeme myslet. Optický přenos se do popředí však dostává až roku 1960, kdy fyzik **Charles Townes** sestavil funkční zdroj úzkého svazku světelného záření nazývaný laser. Nezávisle na něm vytvořili laser i sovětští fyzici **Nikolaj Basov** a **Alexandr Prochorov**. Všichni tři vědci za svůj přínos pro lidstvo obdrželi v roce 1964 Nobelovu cenu za fyziku. Klíčový objev pro rozvoj telekomunikačních sítí na optickém vlákne učinil **Charles Kuen Kao**, který v roce 1966 publikoval svou studii, která se zabývá nečistotami v optickém vlákne způsobenými především ionty kovů. To umožnilo vytvářet optická vlákna s útlumem menším než 1 dB/km, což bylo v té době nemyslitelné. Za svůj přínos pro oblast telekomunikací mu byla v roce 2009 udělena Nobelova cena za fyziku. Limitujícím faktorem nasazení optických vláken a s tím spojených technologií byla jejich cena, proto byla zpočátku nasazována jen na páteřní sítě, později však plně pronikla i do metropolitních sítí. Neustálý vývoj optických vláken a zařízení pro optické sítě má za následek, že limitující faktor cena ustupuje do pozadí. Do popředí proniká potřeba opravdu širokopásmové přístupové sítě, na které budou realizovány nejmodernější širokopásmové služby Triple Play. Tuto potřebu uživatelé zajistí nejmodernější optické přístupové sítě FTTH, které dovedou optickou konektivitu až do domu.

Tato práce si dává za cíl definovat podstatu optických přístupových sítí FTTH a dává je do kontextu s rodinou optických sítí FTTX, které tvoří mezilehlé pásmo mezi konvečními metalickými a plně optickými sítěmi.

Samotný koncept sítí FTTH nedefinuje konkrétní topologii, architekturu ani protokoly. V této práci jsou zmíněny relativně historické architektury až po nejmodernější současné trendy realizované na nativní podpoře ethernetu.

Zvláštní pozornost je věnována pasivní a aktivní infrastruktuře optických přístupových sítí, neboť ta se od páteřních výrazně liší z důvodu individuálních realizací projektů daných lokálním členěním terénu, počtem koncových zákazníků i poskytovanými službami. Především však s ohledem konkurenčně-ekonomickým potenciál těchto projektů.

Neméně důležitým aspektem v této práci jsou služby Triple Play, neboť ty jsou hnacím elementem vývoje a realizací sítí FTTH.

Klíčovou poslední kapitolou jsou poznatky z akademicko-teoretické roviny aplikovány do reálného prostředí na tři specifické modely sítě pro konkrétní fiktivní obec „Fektákov“, což nabízí specifickou analýzu z pohledu inženýrů a investorů optických přístupových sítí FTTH.

1. OPTICKÁ PŘÍSTUPOVÁ SÍŤ FTTH

Technologie DSL hojně rozšiřovaná na metalickém vedení v počátku nového desetiletí 21. století dosluhuje a stává se nedostačující. Velcí národní telekomunikační operátoři i místní lokální poskytovatelé internetu se snaží své portfolio služeb rozšiřovat o další produkty. Spojení těchto služeb se jest nazýváno Triple Play (česky trojitá hra) a zahrnuje v sobě vysokorychlostní přístup k internetu, digitální televizi ve vysokém rozlišení HDTV, telefonii nebo videotelefonii, případně další doplňkové služby. Tyto služby však vyžadují opravdu širokopásmovou přístupovou síť s velmi vysokou přenosovou rychlostí. Tím se otevírají dveře pro nasazení optických sítí až ke koncovému uživateli, které mu poskytnou potřebnou šířku přenosového pásma pro provoz těchto služeb. Optické přístupové sítě OAN (*Optical Access Network*) dovedou optickou konektivitu nejen do velkých firem a státních institucí, ale stane dostupná široké veřejnosti. Zkratka FTTH (*Fiber To The Home*) bude skloňována častěji a častěji.

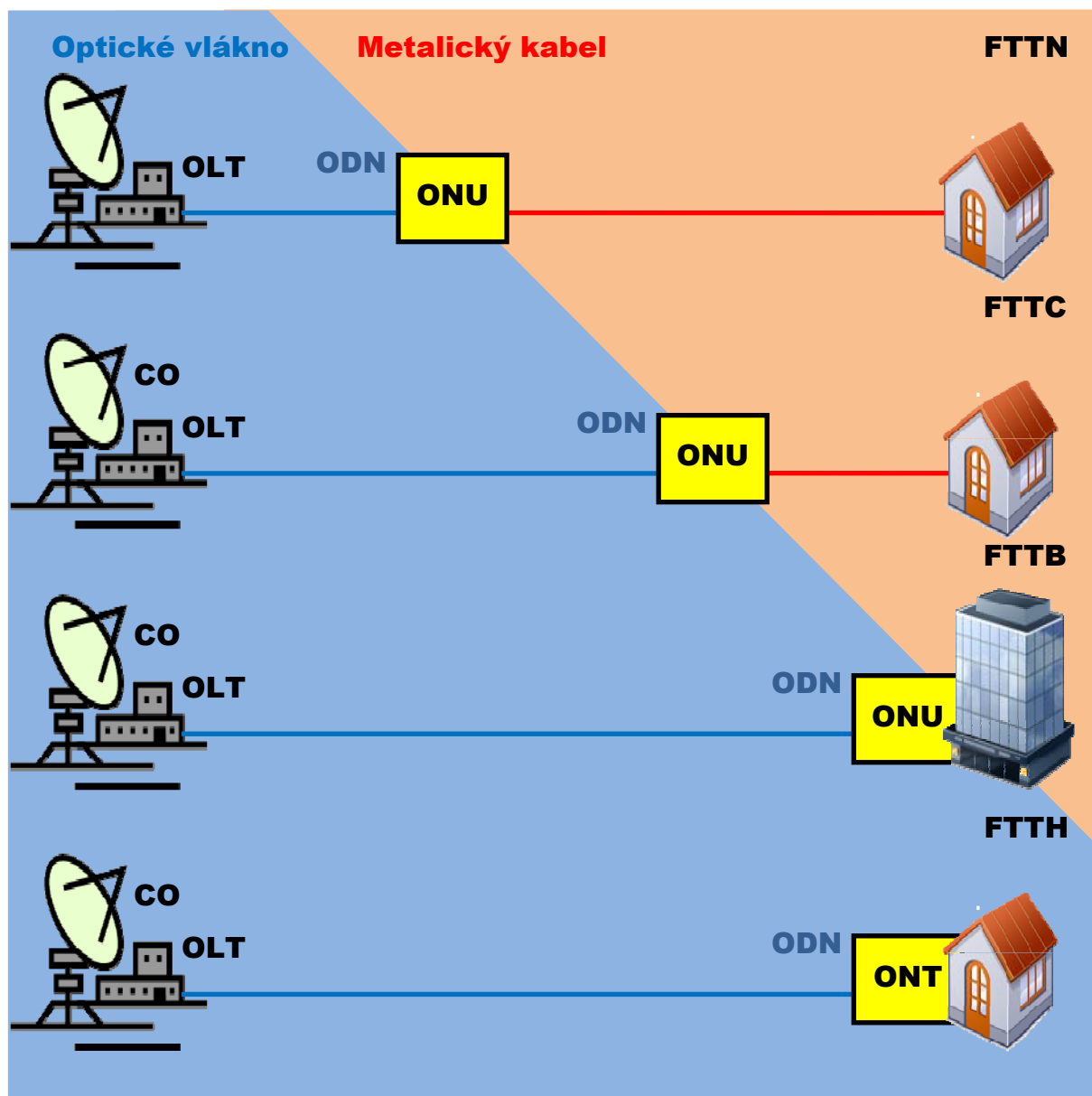
1.1 FTTX

FTTX (*Fiber To The ...*) představuje řešení přístupových sítí vystavěných na optickém vlákně. Kde náhradní symbol za písmeno „X“ nám určuje pozici optické ukončující jednotky ONU (*Optical Network Unit*) nebo optické ukončující jednotky ONT (*Optical Network Termination*) na trase přístupové sítě. De facto nám toto označení říká, kam až sahá optické vlákno od optického linkového zakončení OLT (*Optical Line Terminator*), umístěného v centrále poskytovatele nebo některé jeho vzdálené pobočce, směrem ke koncovému uživateli. Optická část přístupové sítě se označuje jako ODN (*Optical Distributed Network*).

Existují přibližně dvě desítky variant přístupových sítí realizované na FTTX. Uvedu jen nejznámější z nich, neboť se v principu neliší nebo nejsou v praxi realizované. Výčet těch nejznámějších:

- **FTTN** (*Fibre To The Node*) – kde jsou optická vlákna přivedena do distribučních uzlů (kabinetů), odkud jsou rozváděna metalickými rozvody až tisícem blízkých koncových uživatelů.
- **FTTC** (*Fibre To The Curb*) – kde optická vlákna jsou přivedena k účastnickému rozvaděči, ke kterému se koncoví účastníci připojují metalickými kabely.
- **FTTB** (*Fibre To The Building*) – kde optická vlákna jsou přivedena do budov účastníků a napojena na vnitřní síť. Koncoví účastníci jsou však připojeni přes vnitřní síť.
- **FTTH** (*Fibre To The Home*) – kde optická vlákna jsou přivedena až do účastnických zásuvek.

- **FTTO** (*Fibre To The Office*) – kde optická vlákna jsou přivedena do rozhraní počítače.
- **FTTCab** (*Fibre To The Cabinet*) – kde optická vlákna jsou přivedena do prostorů účastníků vyžadující velkou přenosovou kapacitu.



Obr. 1.1: Optické přístupové sítě FTTX

1.2 Model sítě FTTH

Přístupová síť FTTH, jak z názvu vyplývá, přivádí optické vlákno až do domu, tato definice však není úplně správná. Optické vlákno je přivedeno do každého bytu resp. do každé domácnosti, které tak poskytuje širokopásmovou přípojku. Model sítě FTTH je poměrně flexibilní, neboť jednotlivé sítě mohou být vystavěny jako aktivní či jako pasivní.



Obr. 1.2: Model sítě FTTH

Koncoví uživatelé – zákazníci, kterým jsou poskytovány služby Triple Play pomocí tzv. Home Gateway neboli domácí brány.

Aplikační vrstva – tvořená hardwarem a softwarem, poskytuje zdroj dat pro jednotlivé služby, zajišťuje kontrolu integrity dat.

IP vrstva – realizuje služby na úrovni IP protokolu, to jsou služby poskytovatele připojení k internetu (ISP).

Přenosová vrstva – tvořená zařízeními propojující jednotlivé segmenty sítě (rozbočovače, zesilovače, přepínače).

Kabelová vrstva – tvořená optickými kabely, mikrokabely, multiducty, mikrotrubičkami, svazky vláken, vlákny, spojkami, konektory a sváry.

Fyzická vrstva trasy – tvoří ji prvky realizující uložení a ochranu optických kabelů a mikrokabelů (stožáry, kabelovody, chráničky).

[11] [18]

Vrstva fyzické trasy se na přenosu informací resp. dat v tomto modelu sítě FTTH nepodílí, je však její nedílnou součástí. Vrstva „Koncový uživatelé“ není součástí tohoto modelu, ilustruje jen konzumenty služeb, které jsou poskytovány.

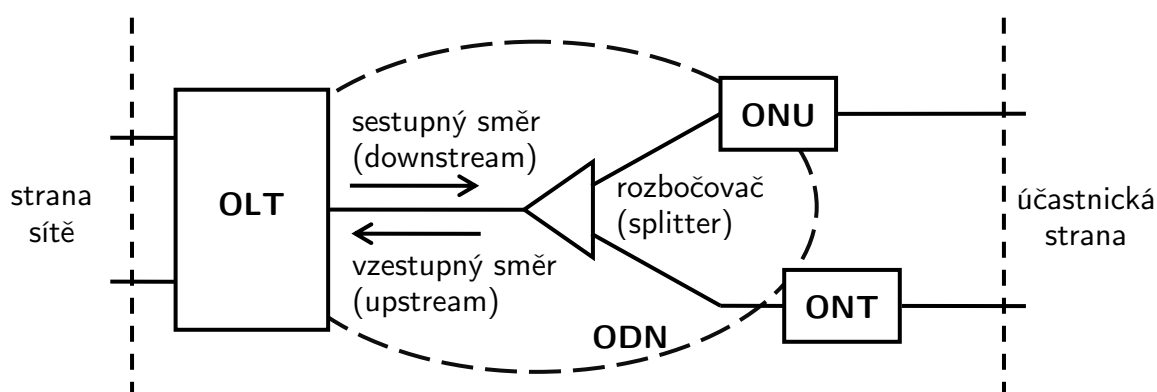
1.3 Funkční celky optické přístupové sítě

Optické linkové zakončení (OLT) – realizuje rozhraní mezi optickou přístupovou sítí a sítí telekomunikačních služeb (páteřní a metropolitní sítě).

Optická distribuční síť (ODN) – realizuje přenosovou trasu a zařízení mezi OLT a ONU resp. OLT a ONT.

Optická ukončující jednotka (ONU) – realizuje rozhraní mezi optickou a metalickou částí přístupové sítě.

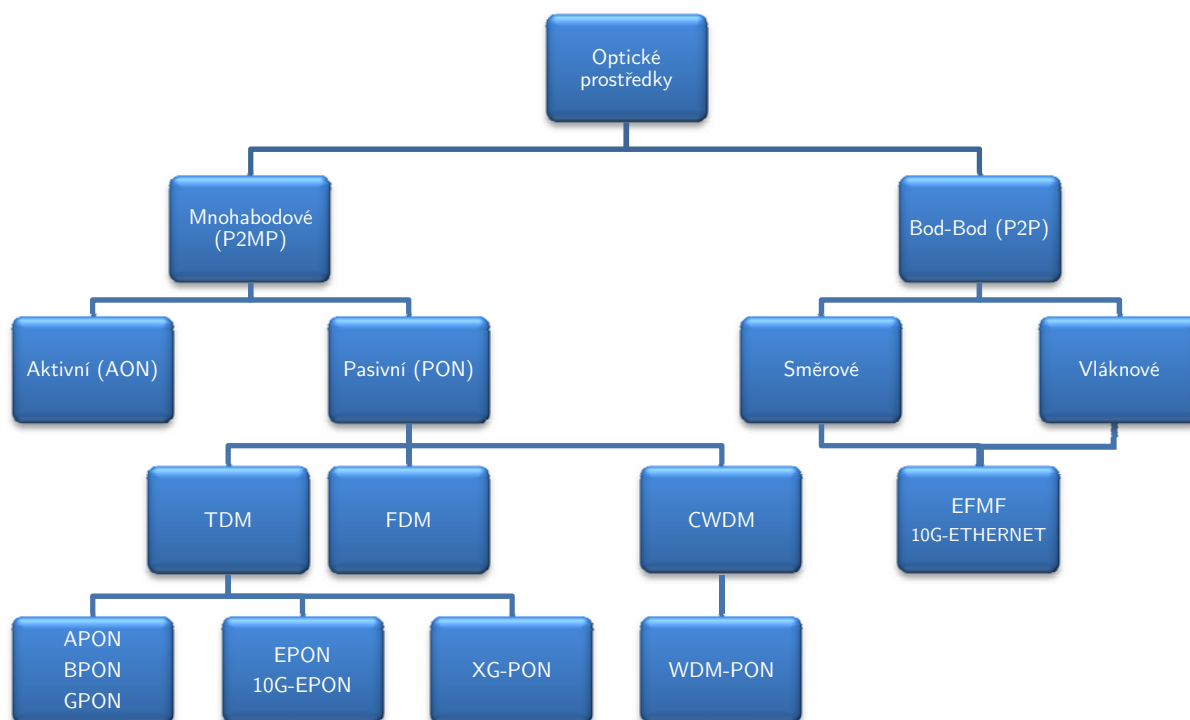
Optická ukončující jednotka (ONT) – realizuje rozhraní optické přístupové sítě a koncových účastníků, často je nazývána jako Home Gateway neboli domácí brána, které distribuuje (odděluje) jednotlivé služby Triple Play.



Obr. 1.3: Blokové schéma přístupové sítě [3]

2. TOPOLOGIE A TECHNOLOGIE

Topologie optické přístupové sítě FTTH je přímo závislá na zvolené technologii v této síti, vztah platí i samozřejmě naopak. Je však logické, že při návrhu optické sítě až do domu vycházíme z ekonomického aspektu celého projektu resp. ideologie firmy, neboť primárním parametrem budování FTTH je finanční rentabilita vložených investic. Zároveň je však zohledněno mnoho dalších faktorů jako např. požadovaná šířka pásma, existence dosavadní infrastruktury či požadavky na provozované služby. Z čehož vyplýne vhodně zvolená technologie a s ní spojená topologie sítě. Nejsnáze se nabízející dělení optických přístupových sítí FTTH je podle typu spojení mezi centrální jednotkou provozovatele služeb a koncovým uživatelem resp. uživateli. V principu rozeznáváme přenos mezi dvěma body, tj. sítě bod-bod (P2P), nebo přenos v mnohabodové architektuře bod-mnohobodů (P2MP). Obě řešení mohou využívat separátní vlákno pro upstream (vzestupný směr) a downstream (sestupný směr), nebo mohou využívat jedno vlákno pro oba směry.

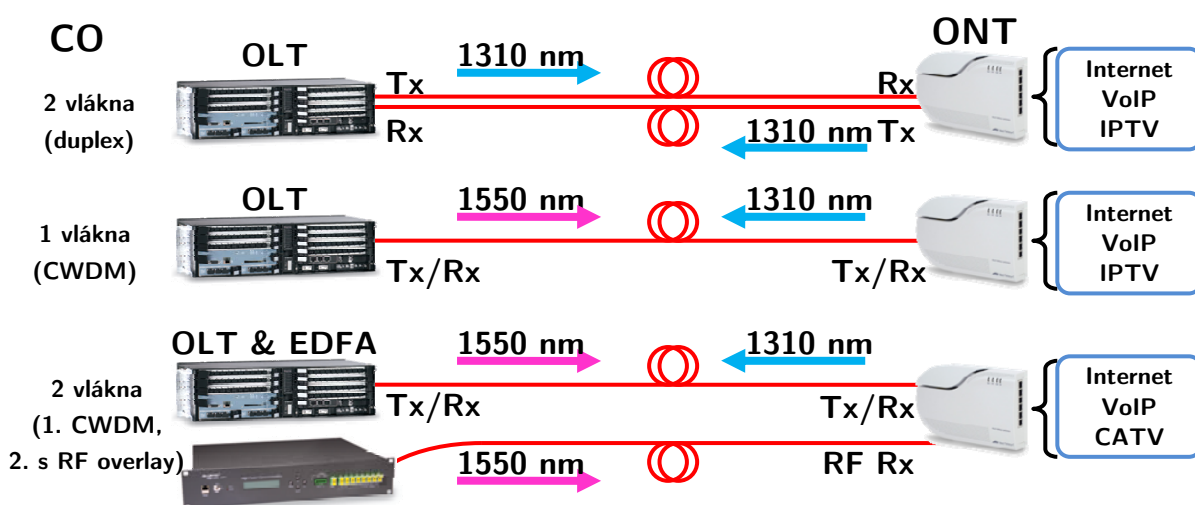


Obr. 2.1: Rozdělení optických prostředků [13]

2.1 Topologie P2P

Topologie P2P (*Point-To-Point*) neboli bod-bod realizuje spojení centrální kanceláře poskytovatele služeb (CO) vyhrazeným vláknem resp. vlákny ke koncovému uživateli. To znamená, že rozhraní optického linkového zakončení (OLT) je přímo spojeno přes optické vlákno s optickou ukončující jednotkou (ONT/ONU). Jedná ze z hlediska správy o nejjednodušší technologii sítě. Její výstavba je však výrazně dražší, jelikož každému koncovému uživateli musí být vyhrazeno separátní optické vlákno. Což však zvyšuje bezpečnost sítě a celá šířka přenosového pásma je dostupná právě jednomu koncovému uživateli, což je z hlediska multimediálních služeb výhodné. Tato síť je svou topologií výhodná pro přenos dat a VoIP telefonii, jelikož je zde velmi malé zpoždění. Síť vystavěná na topologii P2P je považována za síť aktivní AON, neboť na trase kromě vlákna nejsou žádné další pasivní prvky. Protichůdně literatury ji označují za síť pasivní PON, protože na trase nemá aktivní prvek. Zpravidla je přenos na této topologii realizován protokolem *Ethernet in the First Mile* (EFM), též známý pod označením IEEE 802.3ah [15]. Případně 10 gigabitový ethernet IEEE 802.3ae s jednovláknovým vláknem až do vzdálenosti 80 km od CO [14].

Topologii P2P můžeme realizovat několika způsoby (viz Obr. 2.2). První možnost je použití dvojvlákna, kdy upstream bude na jednom vlákně a downstream na druhém. Veškeré služby Triple Play jsou realizovány přes IP protokol. Obdobně je realizována i druhá varianta, kdy je použito jen jedno vlákno, oddělení upstream a downstream kanálu je realizováno pomocí CWDM. Poslední varianta využívá 2 optická vlákna, přičemž na prvním vlákně jsou obousměrně multiplexována data pomocí CWDM a na druhém vlákně je přenos překryvného vysílání CATV (AnalogTV, DVB-T, DVB-C) [6]. Nutné podotknout, že překryvné vysílání CATV je realizováno jako pasivní síť s topologií P2MP.

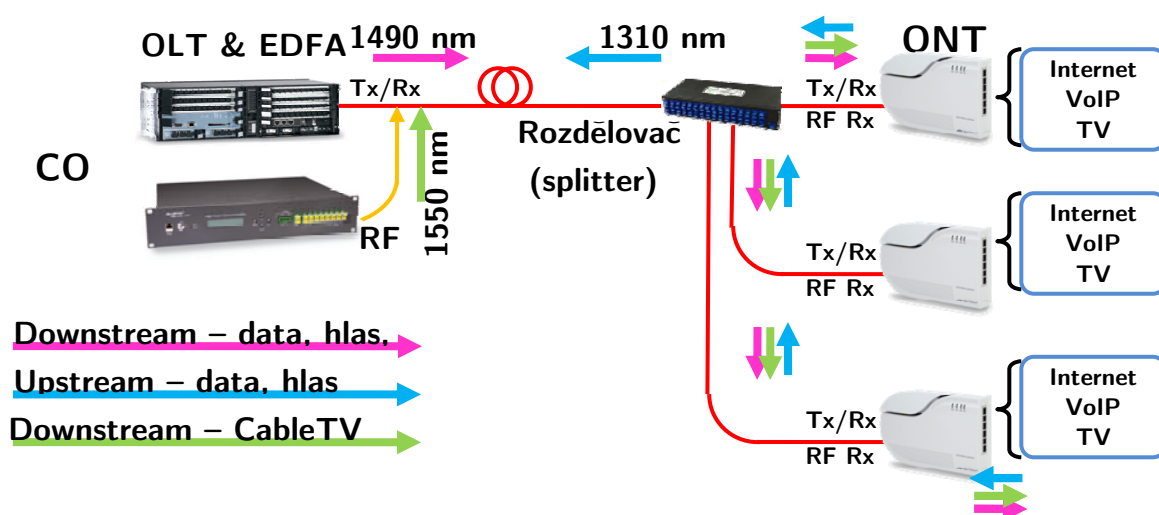


Obr. 2.2: Realizace topologie P2P

2.2 Topologie P2MP

Topologie P2MP (*Point-To-MultiPoint*) neboli bod-mnohobodů realizuje spojení centrální kanceláře poskytovatele služeb (CO) sdíleným vláknem ke koncovým uživatelům. To znamená, že na rozhraní optického linkového zakončení (OLT) je připojeno několik ukončujících jednotek (ONT/ONU). Sdílení rozhraní OLT jednotky mezi několika koncovými uživateli umožňuje zařízení nazývaní se rozbočovač (splitter) v případně pasivní optické síti nebo zařízení nazývaní se přepínač (switch) pro případ aktivní optické sítě, ale při použití aktivního prvku je koncový uživatel k tomuto aktivnímu prvku připojen bod-bod (jako u P2P). Tato síť z hlediska vystavěné infrastruktury nabízí výraznou úsporu optického vlákna, neboť rozbočení se provádí relativně blízko u koncových uživatelů, naopak narůstá zde potřebná správa jednotlivých prvků v terénu, které se v případě topologie P2P vůbec neuvažovaly. Z topologie P2MP připomínající stromové větvení vyplývá, že je vhodná pro překryvné vysílání CATV. Výhodou této topologie je výrazně vyšší využití kapacity optického vlákna. Podle typu rozbočovacího (slučovacího) prvku instalovaného v síti rozlišujeme v mnohobodové topologii optickou síť aktivní AON nebo optickou síť pasivní PON.

Na Obr. 2.3 můžeme vidět příklad realizace topologie P2MP. Na optickém vlákně jsou vlnově multiplexovány kanály pro obousměrný přenos dat, hlasu a IP televize na vlnových délkách 1310 nm pro upstream a 1490 nm pro downstream. Třetí vlnová délka 1550 nm je vyhrazena pro překryvný vysílání CATV.



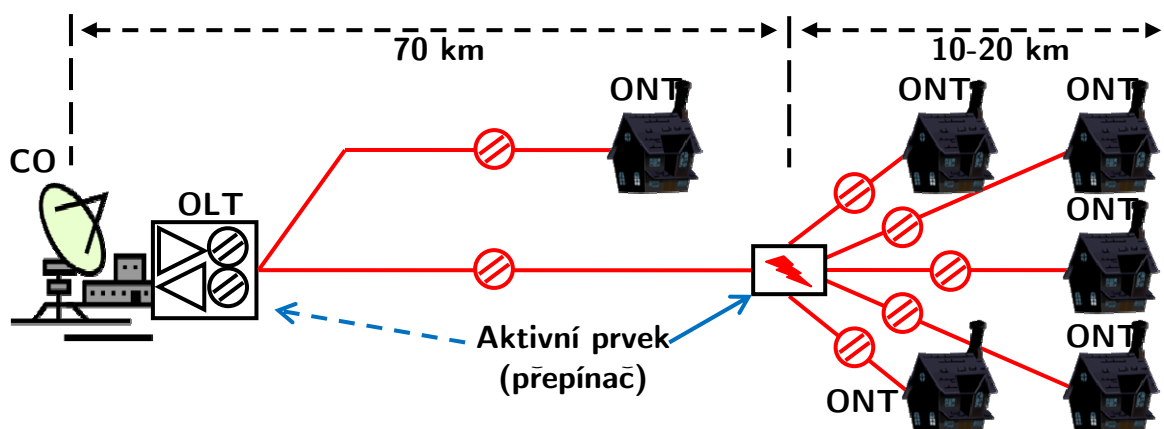
Obr. 2.3: Realizace topologie P2MP

2.3 Aktivní optická síť AON

Tento typ technologie, chcete-li architektury, bývá používán v přístupových sítích vystavených na topologii P2P a zároveň i na topologii P2MP, kde je použit aktivní přepínací prvek. Aktivní optická síť AON (*Active Optical Network*) na své trase mezi OLT a ONT/ONU nemá žádný pasivní prvek kromě optického vlákna. Z čehož vyplývá, že při návrhu této sítě je potřeba zohlednit infrastrukturu podpůrné napájecí sítě pro jednotlivá zařízení. V architektuře AON je každému koncovému uživateli vyhrazeno vlastní optické vlákno (případně dvojitě vlákno) mezi OLT a ONT/ONU u P2P resp. vlastní optické vlákno mezi přepínačem a ONT/ONU u P2MP. Výhodou je, že veškerá zařízení v síti pracují na optickém ethernetu, proto lze kombinovat zařízení různých výrobců. Kapacita přenosového pásma není s nikým sdílena (P2P) a nedochází zde k agregaci poskytované konektivity. Tento kanál je plně symetrický pro downstream a upstream [1] na rozdíl od ADSL, které má v nejnovějším standardu dle ITU G.992.5 asymetričnost dokonce 24:1 [24]. AON sítě na rozdíl od pasivních sítí PON mohou překlenout vzdálenost mezi CO a koncovým klientem až 80 km [1], přičemž při větším počtu klientů se provádí segmentace území (např. 1000 klientech), kdy se vytvoří k CO ještě „pobočkové kanceláře“ – rozvaděče, kde se umístí aktivní prvky. Počet klientů v aktivní přístupové síti je omezen pouze počtem použitých aktivních prvků a ne infrastrukturou jako takovou.

Tab. 2.1: Klady a zápory AON

Výhody	Nevýhody
Aktivní prvky sítě ethernet s možností správy	Napájení aktivních zařízení
Agregace 1:1	Velké množství konektorů, spojek, svárů
Symetrický kanál downstream/upstream	Velké množství vláken
Překlene větší vzdálenost	Vyšší spotřeba elektrické energie
Fyzické oddělení zákazníků	Větší prostory CO
Transparentnost sítě	
Jednodušší upgrade technologií	



Obr. 2.4: Fyzická vrstva AON topologie

2.3.1 Ethernet in the First Mile

První aktivní optická síť realizovaná na nativní podpoře ethernetu. Je využívána jak ve spojení P2P tak i v sítích P2MP, kde je použit aktivní optický přepínací prvek switch. Ethernet in the First Mile byl specifikován standardem IEEE 802.3ah v roce 2004. Právě Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) zajistil, aby se ethernet dostal až ke koncovým uživatelům a tím usnadnil jednodušší implementaci do lokálních sítí LAN. Tento standart je též někdy označován jako EFMF (*Ethernet In First Mile Fibre*), což ve volném překladu znamená ethernet na první míli po optice. Poskytuje symetrickou rychlost propojení 100 Mb/s nebo 1000 Mb/s [15], přičemž downstream a upstream kanály mohou být na separátních vláknech, nebo na společném při použití vlnového oddělení.

2.3.2 10G Ethernet

Aktivní optická síť realizovaná na nativní podpoře ethernetu, nevyužívá již ale přístupovou metodu CSMA/CD (stochastická přístupová metoda s detekcí kolizí) známé z předešlých verzí ethernetu. Podporováno je výhradně plně duplexní spojení OLT a ONT/ONU. Deseti gigabitový ethernet byl specifikován standardem IEEE 802.3ae v roce 2002 a bývá zahrnován do skupiny EFMF. Poskytuje symetrickou rychlost připojení 10 Gb/s [14], přičemž downstream a upstream kanály jsou vedeny na separátních optických vláknech. Existuje několik specifikací fyzické vrstvy, přičemž pro přístupovou síť FTTH je vhodný 10GBASE-L, který na jednovidovém vlákně nabízí dosah 10 km nebo dodatečně vytvořený 10GBASE-ZR, který na jednovidovém vlákně nabízí dosah sítě 80 km.

2.3.3 100G Ethernet

Aktivní optická síť realizovaná na nativní podpoře ethernetu, stejně jako 10 gigabitový ethernet nevyužívá již přístupovou metodu CSMA/CD. 100 gigabitový ethernet byl specifikován standardem IEEE 802.3ba v roce 2010. Poskytuje symetrickou rychlost připojení 40 Gb/s nebo 100 Gb/s. Této rychlosti dosahuje hrubým dělením vlnových délek CWDM (*Coarse WDM*) nebo hustým dělením vlnových délek DWDM (*Dense WDM*), kdy existuje pro každý směr přenosu několik virtuálních kanálů. Tento standart však není zatím v přístupových sítích FTTH používán, neboť by jeho rychlost byla pro koncové uživatele nevyužitelná. Může být použit pro připojení velkých institucí (např. univerzity) či CO do metropolitních a páteřních sítí.

2.4 Pasivní optická síť PON

Tento typ technologie, chcete-li architektury, bývá používán v přístupových sítích vystavených na topologii P2MP. Protichůdné literatury považují za PON síť P2P bez prepínačů na trase. Pasivní optická síť PON (*Passive Optical Network*) na své trase mezi OLT a ONT/ONU nemá žádný prvek vyžadující elektrické napájení, ale používá pasivní optické rozbočovače (splitter) a vazební prvky k rozdělení a distribuci přenosové kapacity vlákna koncovým uživatelům. Optický rozbočovač směrem od CO k ONT/ONU rozděluje příp. odděluje optický signál k jednotlivým koncovým účastníkům a slučuje optický signál ve zpětném směru. Z toho vyplývá, že v PON sítích musí být zavedeno určité řízení kvality služeb, aby měli všichni koncoví účastníci garantováno určitou kapacitu připojení. Díky použití optických rozbočovačů, které mohou rozdělit optický signál na 32 resp. 64. resp. až 128 účastníků jsou tyto pasivní optické sítě výhodné pro šíření překryvného vysílání kabelové televize CATV.

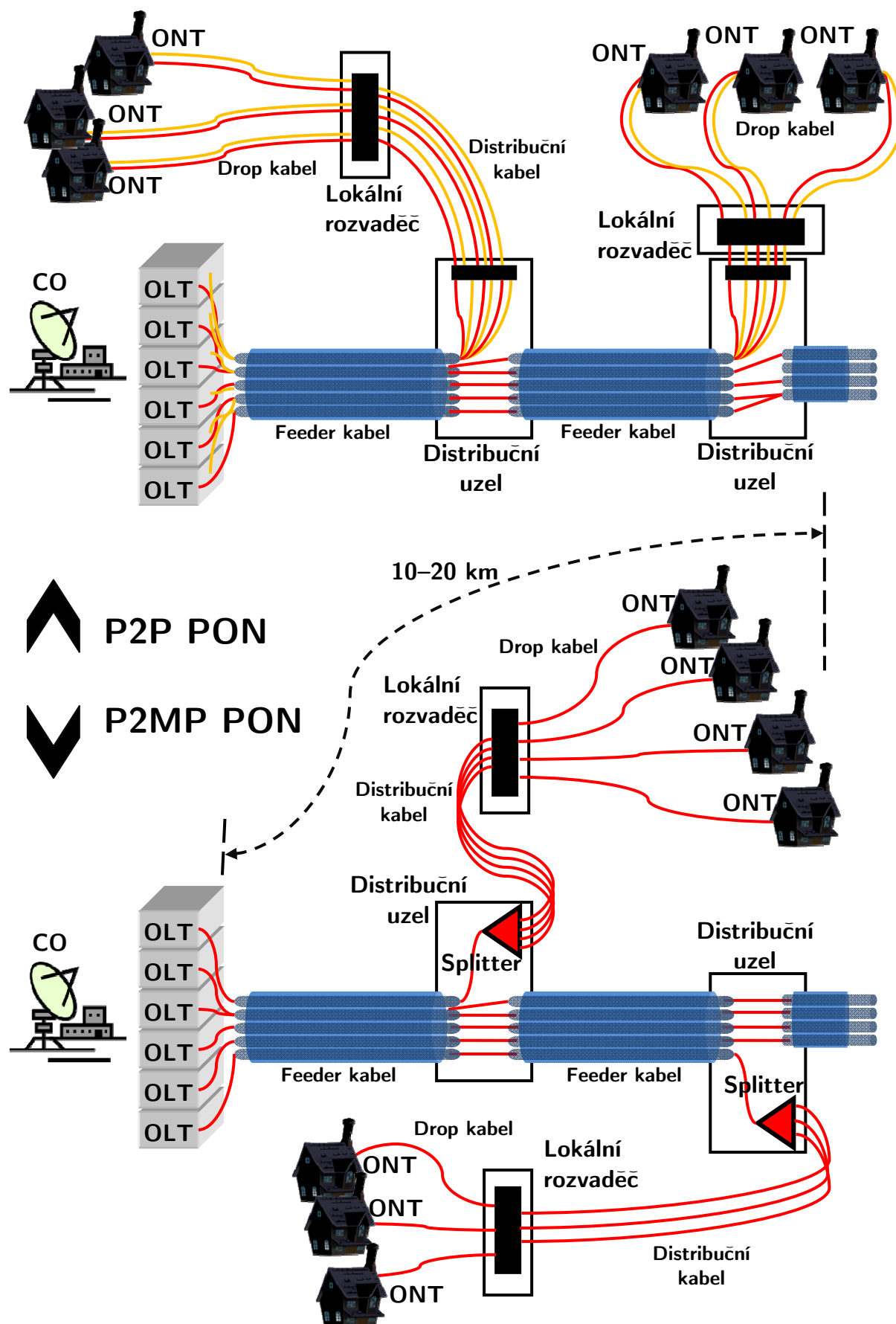
V P2MP PON architektuře je pro downstream vyhrazen kanál o vlnové délce 1490 nm a pro upstream je vyhrazen kanál o vlnové délce 1310 nm. Na třetí vlnové délce 1550 nm je realizován sekundární downstream kanál šíření překryvného vysílání CATV (viz Obr. 2.5).

V P2P PON (resp. AON) architektuře je downstream i upstream přenos dat a hlasu realizován na stejné vlnové délce 1310 nm, protože jsou použita dvě separátní vlákna pro každý směr přenosu. Vlnová délka 1550 nm je využívána pro překryvné vysílání CATV stejně jako u P2MP [3] (viz Obr. 2.5).

Obě architektury P2P PON (AON) a P2MP PON jsou postaveny od základů na rozdílných technologiích a jsou specifikovány různými standardy, které budou podrobněji popsány v následujících podkapitolách.

Tab. 2.2: Klady a zápory PON

Výhody	Nevýhody
Nížší cena výstavby (obzvláště u velkých sítí)	Složitější řízení kvality služeb
Nížší náklady na provoz (elektrická energie)	Agregace konektivity mezi koncové uživatele
Větší spolehlivost (trasa bez aktiv. zařízení)	Omezená šířka přenosového kanálu
U některých variant symetrický kanál	U některých variant nesymetrický kanál
Efektivní využití kapacity vlákna	Dosah na menší vzdálenosti
Realizace bez podpůrné napájecí sítě	
Menší množství vláken	
Menší množství konektorů, spojek, svárů	
Menší prostory pro CO	
Jednoduché připojení nového zákazníka	



Obr. 2.5: Fyzická vrstva PON topologie

2.4.1 APON

Pasivní optická síť realizovaná na časově děleném multiplexu TDM (*Time Division Multiplex*) využívají k přenosu asynchronní ATM protokol, z čehož vyplynulo označení APON neboli ATM PON. APON byl oficiálně specifikován Mezinárodní telekomunikační unií ITU-T roku 1998 jako specifikace G.983.1. Přenosu veškerých informací v síti využívá ATM buňky. Podporuje telekomunikační služby a má v sobě zavedeno řízení kvality služeb QoS (*Quality of Service*), které je v sítích PON na časově děleném multiplexu nutností. K této síti může být na jedno OLT připojeno přes splitter až 32 koncových účastníků. Nabízí symetrický kanál pro downstream a upstream 155,52 Mb/s, nebo asymetrický kanál 622,08 Mb/s pro downstream a 155,52 Mb/s pro upstream. V novějších variantách byly rychlosti asymetrického kanálu zvýšeny až na 1244,16 Mb/s pro downstream [21]. Kvůli poskytování služeb Triple Play a zejména překryvného televizního signálu byl vytvořen nástupnický standard BPON.

2.4.2 BPON

Pasivní optická síť realizovaná na časově děleném multiplexu TDM využívající asynchronní ATM protokol a podporou překryvného vysílání CATV. Z toho vyplynulo označení BPON neboli Broadband PON. Ve své podstatě se jedná o rozšíření specifikace pasivní přístupové sítě APON, kde jsou data a hlas přenášeny pomocí ATM přenosu na vlnové délce 1260–1360 nm pro upstream resp. 1480–1500 nm pro downstream a překryvný televizní signál je přenášen na samostatné vlnové délce 1550 nm [22]. BPON byl oficiálně specifikován Mezinárodní telekomunikační unií ITU-T roku 2001 jako specifikace G.983.3. Přenosové rychlosti byly zvýšeny, ale specifikace optických vláken, počet uživatelů zůstal nezměněn.

2.4.3 GPON

Pasivní optická síť realizovaná na časově děleném multiplexu TDM využívající pro přenos metodu GEM (*GPON Encapsulation Method*) rámců, ale i ATM buněk, aby byla zachována zpětná kompatibilita se staršími zařízeními sítí APON a BPON. Tato pasivní přístupová síť reflektovala potřebu po vyšší přenosové rychlosti pro jednotlivé koncové uživatele, z čehož je odvozen její název GPON neboli Gigabit PON. GPON byl oficiálně specifikován Mezinárodní telekomunikační unií ITU-T v roce 2003 jako specifikace G.984.1. Stejně jako sítě APON a BPON umožňuje provozovat downstream a upstream kanál na separátních vláknech i na společném vlákne s oddělením vzestupného a sestupného kanálu vlnovým multiplexem. Novou vlastností této sítě je možnost realizování záložní trasy pro případ poruchy. Můžeme si vybrat, zda budeme zrcadlit (zdvojit) jenom optické vlákno či veškerá zařízení na síti. V případě zjištění poruchy je síť schopná přejít na záložní okruh. Tato vlastnost vychází z digitálních vysokorychlostních transportních

sítí SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) [8]. Výraznou změnou také prošla změna přístupu ke společnému médiu v upstream kanálu, aby nedocházelo k situacím, že by dva koncoví uživatelé začali vysílat současně. Existují dvě varianty. První z nich funguje na principu, že ONT/ONU oznámí OLT, že má požadavek na přidělení přenosové kapacity pro odeslání dat. Druhý případ funguje na principu, že OLT automaticky přiděluje přenosovou kapacitu jednotlivým ONT/ONU. ATM buňky i GEM rámce nebo jejich části jsou rozdělovány do bloků o pevné délce přenosu 125 μ s, díky čemuž se tato síť přibližuje k paketově orientovanému přenosu známých ze sítí ethernet resp. IP protokolu, což je pro většinu služeb výhodnější. Existuje celkem 7 variant rychlostí a kombinací symetrického a asymetrického kanálu, z nichž nejrychlejší varianta poskytuje symetrickou sdílenou linku koncovým uživatelům pro downstream/upstream o rychlosti 2,5 Gb/s při současném připojení přes splitter 32 resp. 64. resp. hypoteticky 128 ONT/ONU k jednomu OLT [4].

2.4.4 EPON

Pasivní optická síť realizovaná na časově děleném multiplexu TDM využívající pro přenos nativní podporu ethernetu specifikovaného standardem IEEE 802.3ah v roce 2004. Právě Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) zajistil, aby se ethernet dostal až ke koncovým uživatelům a tím usnadnil jednodušší implementaci do lokálních sítí LAN. Tento standart je též někdy označován jako EFMF (*Ethernet In First Mile Fibre*), což ve volném překladu znamená Ethernet na první míli po optice. V EPON sítích jsou data segmentována do rámců s pevnou délkou 2 ms, přičemž poskytuje symetrický kanál, pro downstream na vlnové délce 1490 nm a pro upstream na vlnové délce 1310 nm, o rychlosti 1 Gb/s. K jedné OLT může být připojeno přes splitter až 32 koncových ONT/ONU. EPON je navržen pro síť P2MP, ale dokáže na vyšších vrstvách emulovat spojení P2P resp. P2PE (*Point-To-Point-Emulation*) [1]. Existuje ve dvou specifikacích fyzické vrstvy 1000BASE-PX10 a 1000BASE-PX20, kde poslední dvojčíslí určuje délku přenosové trasy mezi OLT a ONT/ONU v kilometrech, přičemž 10 km varianta umožňuje připojit jen 16 ONT/ONU k jednomu OLT. Podpora překryvného vysílání CATV není v EPON specifikována, přesto je v praxi toto vysílání realizováno na vlnové délce 1550 nm [5] a to do doby, než se IPTV stane dostupnější.

2.4.5 10G-EPON

Pasivní optická síť realizovaná na časově děleném multiplexu TDM využívající pro přenos nativní podporu ethernetu specifikovaného standardem IEEE 802.3av roce 2009. Vyvinul ji Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství s ohledem na to, aby tento standart ethernetu mohl na optické přístupové síti FTTH koexistovat již s provozovanou EPON. Nejedná se tedy jen o zpětnou kompatibilitu použitých

zařízení, jako známe u přechodu BPON–GPON, ale o koexistenci dvou standardů na jedné síti současně. To je umožněno využitím jiných vlnových délek pro 10 gigabitový ethernet vůči gigabitovému, kde pro downstream kanál 10 Gb ethernetu je vyhrazena vlnová délka 1575–1580 nm a pro upstream je vyhrazena vlnová délka 1260–1280 nm [12], vlnové délky gigabitového ethernetu vyplývají z EPON. K dispozici jsou dvě varianty připojení, tj. asymetrické o rychlosti 10 Gb/s pro downstream a 1 Gb/s pro upstream, nebo symetrické o rychlosti 10 Gb/s. Podle specifikací fyzické vrstvy je možné na jedno OLT připojit přes splitter 16 resp. 32 ONT/ONU, přičemž dosah sítě činí 10 km resp. 20 km. Pro překryvné vysílání CATV je rezervována vlnová délka 1550–1560 nm. 10G-EPON a EPON patří mezi nejvíce se rozvíjející optické sítě, podle odhadů pokrývají 65% podíl [5] v sítích FTTH.

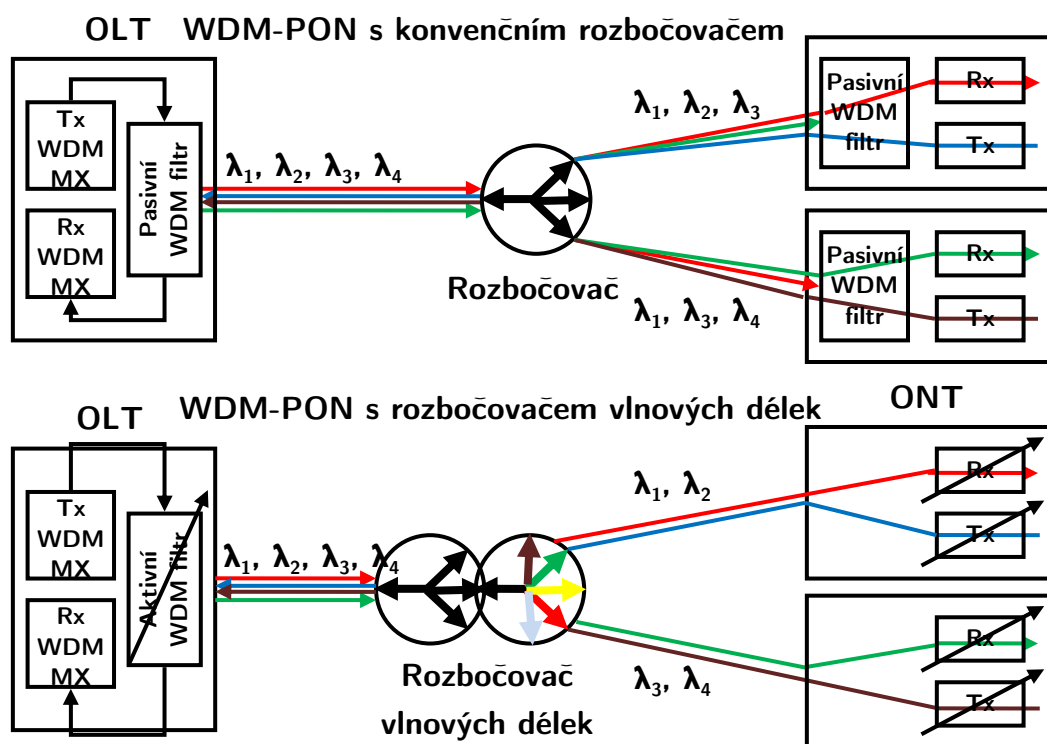
2.4.6 XG-PON

Pasivní optická síť realizovaná na časově děleném multiplexu TDM využívající vystavěných infrastruktur sítí GPON. Navržená za účelem zvýšení přenosové kapacity stávajících rozvodů sítí GPON, jejichž životnost se odhaduje na 20–30 let. XG-PON byl oficiálně specifikován Mezinárodní telekomunikační unií ITU-T roku 2010 jako specifikace G.987.1. Vychází z principu koexistence dvou současně běžících technologií na jedné síti, stejně jako je tomu u EPON a 10G-EPON. To je umožněno použitím jiných vlnových délek pro XG-PON vůči GPON, kde pro downstream kanál XG-PON je vyhrazena vlnová délka 1575–1580 nm a pro upstream je vyhrazena vlnová délka 1260–1280 nm [23], vlnové délky GPON zůstaly zachovány. Existují dvě varianty XG-PON, přičemž XG-PON1 nabízí asymetrické připojení o rychlosti 10 Gb/s pro downstream a 2,5 Gb/s pro upstream, nebo symetrické XG-PON2 o rychlosti 10 Gb/s v obou směrech. K jednomu OLT lze přes splitter připojit 64 resp. 128 resp. hypoteticky 256 ONT/ONU, přičemž dosah sítě činí 20 km. Integrovaná je přímá podpora ethernetu, VoIP, IPTV a emulace okruhů E1. Pro překryvné vysílání televizního signálu je rezervována vlnová délka 1550–1560 nm.

2.4.7 WDM-PON

Pasivní optická síť WDM-PON nevyužívá klasického časového dělení k přístupu ke společnému médiu, ale využívá vlnové oddělení jednotlivých kanálů pro zefektivnění využití šířky přenosového pásma optického vlákna. I když je koncový klient připojen fyzicky na topologii P2MP, de facto je OLT-ONT/ONU spojeno jako P2P, neboť každý uživatel má v této síti vyhrazený vlastní kanál na separátní vlnové délce. Existují i hybridní varianty této pasivní přístupové sítě, které pro ještě větší zefektivnění přenosové kapacity kanálu kombinují vlnový i časový multiplex. Tyto sítě jsou pak označovány jako WDM-TDM PON. Vlnové délky pro jednotlivé kanály jsou definovány Mezinárodní telekomunikační unií ITU-T jako standard G.694.2. Rozlišujeme hrubé dělení vlnových délek CWDM (*Coarse WDM*) a husté dělení

vlnových délek DWDM (*Dense WDM*), přičemž na jednovlákenném vlákně je hrubým dělením vytvořeno přibližně 20 samostatných kanálů a pomocí hustého dělení lze přesáhnout hranici sta kanálů. Místo klasických splitterů mohou být použity WDM filtry, které ke každému uživateli propustí jen jeho vlnovou délku, tím je zvýšena i bezpečnost sítě. Snaha vývojářů je idea, že na jedno optické vlákno by šlo připojit 1000 účastníků, přičemž každému by byla vyhrazena konektivita 1 Gb/s. Současné vývojové trendy naznačují, že to možné bude.



Obr. 2.6: Varianty WDM-PON

Tab. 2.3: Srovnání typů PON sítí pracujících s TDM

Název			APON	BPON	GPON	EPON	10G-EPON	XG-PON
			ATM PON	Broadband PON	Gigabit PON	Ethernet PON	10 Gabitbit EPON	eXGigabit-PON
Standard			ITU-T	ITU-T	ITU-T	IEEE	IEEE	ITU-T
			G.983.1	G.983.3	G.984.1	802.3ah	802.3av	G.987.1
Rok			1998	2001	2003	2004	2009	2010
Max. vzdálenost	Fyzická	[km]	20	20	20	20	20	20
	Logická	[km]	20	20	60	20	20	60
Max. přenosová rychlost	Upstream	[Mb/s]	155,52	622,08	2488,32	1250	10312	9953
	Downstream	[Mb/s]	622,08	1244,16	2488,32	1250	10312	9953
Protokol			ATM	ATM	GEM/ATM	Ethernet MPCP	Ethernet MPCP	MIB
Šifrování			AES	AES	AES	(volitelné)	(volitelné)	AES
Kódování na fyzické vrstvě			Scrambling+NRZ	Scrambling+NRZ	Scrambling+NRZ	8B/10B	64B/66B	Scrambling+NRZ
Vlnová délka	Upstream	[nm]	1260–1360	1260–1360	1260–1360	1310±50	1260–1280	1260–1280
	Downstream	[nm]	1480–1500	1480–1500	1480–1500	1490±50	1575–1580	1575–1580
Tx laser			FP/DFB	FP/DFB	FP/DFB	DFB	DFB	DFB
Rx detektor			PIN	PIN	PIN	APD/PIN	APD/PIN	APD/PIN
Max. poměr rozbočení			1:32	1:32	1:128	1:32	1:32	1:256

3. PASIVNÍ INFRASTRUKTURA SÍTĚ

3.1 Optické vlákno

Optické vlákno neboli světelný vlnovod je skleněné nebo plastové homogenní vedení, které přenáší světelný tok fotonů ve směru své podélné osy. Základním pilířem funkce optického vlákna je že střední část (dále jen jádro) má větší index lomu než jeho vnější obvodová část (dále jen plášť). Světelný paprsek se tak na hranici jádra a pláště plně odráží, což má za následek šíření paprsku jen v podélné trajektorii optického vlákna.

Optické vlákno však vykazuje velmi rozdílný útlum na rozličných vlnových délkách. Z čehož vyplývá, že pro přenos informací není vhodná celá oblast vlnových délek od mikrovln až po rentgenové záření. Pro svůj výhodně nízký útlum se využívá především oblast vlnové délky 0,5 až 1,6 μm . Výhodou této oblasti je také fakt, že dokážeme pro tuto oblast vytvořit dostatečně výkonné zdroje záření (lasery) a dostatečně citlivé detektory tohoto záření. Přičemž oblast vlnových délek odpovídá kmotočtům řádově THz až PHz, což dnes často označuje jako „relativně“ neomezenou šířku přenosového kanálu.

Nejdůležitějším aspektem, proč optické vlákno vytlačilo metalické vedení z páteřních a metropolitních sítí a proč jej vytlačuje ze sítí přístupových a otevřelo dveře FTTH je fakt, že přenos informace se děje optickým zářením. Světelný signál se od elektrického signálu diametrálně liší nositelem informace, na místo nabitých elektronů, kterou jsou ovlivňovány a ovlivňují své okolí, je světelný paprsek tvořen neutrálně nabitými fotony, které prochází dielektrickým přenosovým médiem, ve kterém neexistují žádné galvanické vazby. Přičteme k tomu relativně neomezenou přenosovou kapacitu a rychlost a dostaneme odpověď na to, proč můžeme chápat vynález optického vlákna jako největší počin lidstva v telekomunikacích.

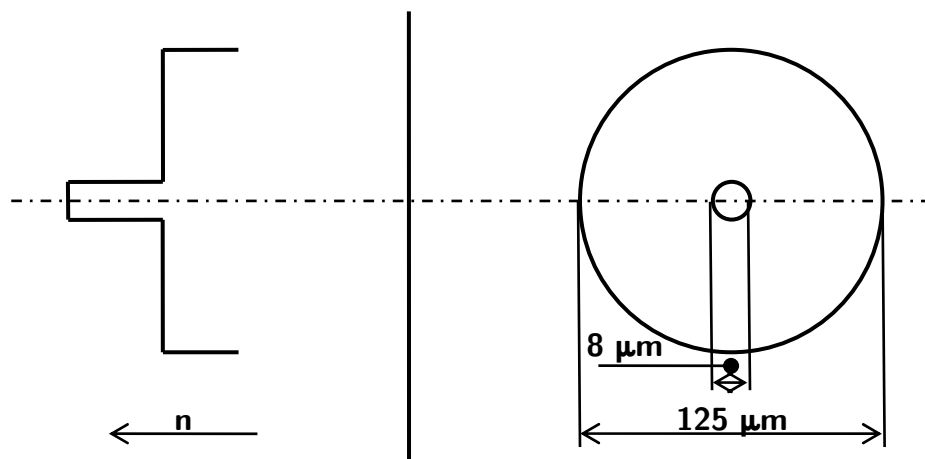
Podle fyzické konstrukce optických vláken a následném šíření světelného paprsku rozlišujeme vlákna:

- **Jednovidová SMF** (*Single Mode Fiber*)
- **Mnohovidová MMF** (*Multi Mode Fiber*)
 - Se skokovou změnou indexu lomu
 - S gradientní změnou indexu lomu

V jednotlivých podkapitolách se zaměřím především na optická vlákna doporučená pro aplikaci v přístupových sítích FTTH.

3.1.1 Jednovidové optické vlákno

Jednovidová optická vlákna jsou leaderem optických sítí, neboť se vyznačují velmi malou disperzí signálu přibližně $0,3 \text{ ns/km}$, velmi malým útlumem pod $0,2 \text{ dB/km}$ a velmi vysokou přenosovou kapacitou. Jádra optického vlákna má průměr jen $7\text{--}9 \text{ }\mu\text{m}$ [2], což odpovídá šířce jen několika vlnovým délkám přenášeného světla. Náročnější výrobní proces však zvyšuje cenu jednovidového vlákna, která však je zvládnutým technologickým postupem výrazně nižší než v minulosti. Jednovidová vlákna jsou výrazně citlivější na kvalitu svařených spojů a preciznost konektorů, což vyplývá z obtížnějšího navázání světelného toku z laseru na vlákno. Optické přístupové sítě FTTH se dnes výhradně staví na těchto jednovidových vláknech, neboť umožňují větší dosah sítě, mají relativně neomezenou přenosovou kapacitu a s tím spojenou přenosovou rychlost a umožňují vlnové dělení WDM resp. hrubé dělení vlnových délek CWDM (*Coarse WDM*) a husté dělení vlnových délek DWDM (*Dense WDM*), které je u mnohovidových vláken nemyslitelné.



Obr. 3.1: Jednovidové optické vlákno

Nově budované optické přístupové sítě FTTH využívají vlákna nové generace specifikovaná doporučením ITU-T G.652.C a G.652.D resp. především nově G.657.A, G.657.B a G.657.C.

Jednovidové optické vlákno dle G.652.C lze provozovat ve všech vlnových délkách od 1260 nm až 1625 nm (*All Wave*), neboť je u těchto vláken potlačen vliv rezonancí iontů vody OH^- vznikajících při výrobě. [19]

Jednovidové optické vlákno dle G.652.D patří do kategorie *All Wave*, zpětně kompatibilní s vlákny série G.652.x. [19]

Jednovidové optické vlákno dle G.657.A patří do kategorie *All Wave*, určené pro drsné podmínky montáže optiky až do domu, kde nelze uložit kabel do přímých trasových kabelovodů, ale je nutné se přizpůsobit členitosti terénu a prostorů v budově. Specifikováno pro makro ohyby o poloměru nad 15 mm . [20]

Jednovidové optické vlákno dle G.657.B patří do kategorie All Wave, obdobné parametry jako G.657.A. Specifikováno pro makro ohyby o poloměru nad 10 mm. [20]

Jednovidové optické vlákno dle G.657.C patří do kategorie All Wave, obdobné parametry jako G.657.A. Specifikováno pro makro ohyby o poloměru nad 5 mm. [20]

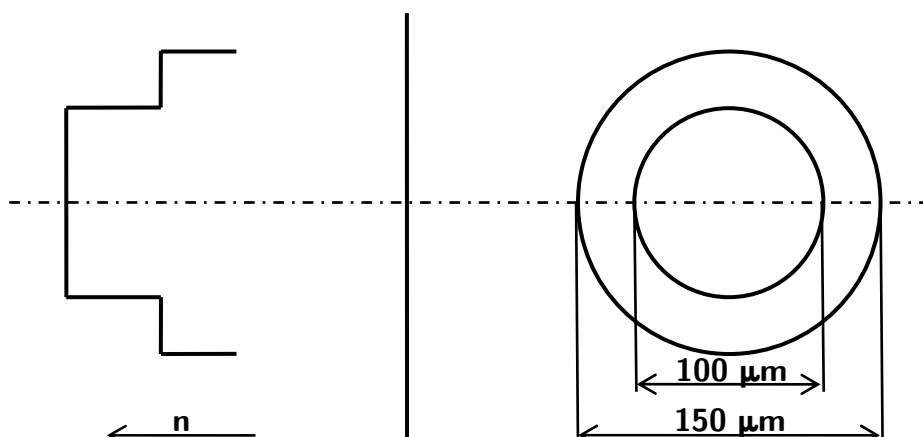
Tab. 3.1: Základní přehled parametrů SMF vhodných pro FTTH

Parametr	G.652.C	G.652.D	G.657.A	G.657.B	G.657.C
Průměr jádra (MFD)	8,6–9,5 μm	8,6–9,5 μm	8,6–9,5 μm	6,3–9,5 μm	×××
Průměr pláště (CD)	125 μm	125 μm	125 μm	125 μm	×××
Max. útlum (1550 nm)	0,3 dB/km	0,3 dB/km	0,3 dB/km	0,3 dB/km	×××
r makroohybu min.	(není def.)	(není def.)	15 mm	10 mm	5 mm
Max. útlum makroohybu	(není def.)	(není def.)	0,1 dB	0,1 dB	×××

Pozn. Doporučení G.657.C zatím není volně přístupné, proto nebyly parametry v tabulce 3.1 doplněny.

3.1.2 Mnohovidové optické vlákno se skokovou změnou indexu lomu

Mnohovidová optická vlákna se skokovou změnou indexu lomu se dnes již v přístupových sítích nepoužívají. Jejich nespornou výhodou je jejich cena, která je dána jednodušší výrobou. Jádro optického vlákna má šířku 50–200 μm , přičemž průměr pláště může být až 300 μm . Je zřejmé, že velikost jádra ovlivňuje disperzi optického signálu 50 ns/km, což znemožňuje správně dekodovat přenášený světelný tok na straně příjemce při velmi vysokých rychlostech přenosu, což omezuje maximální použitelnou rychlost přenosu.

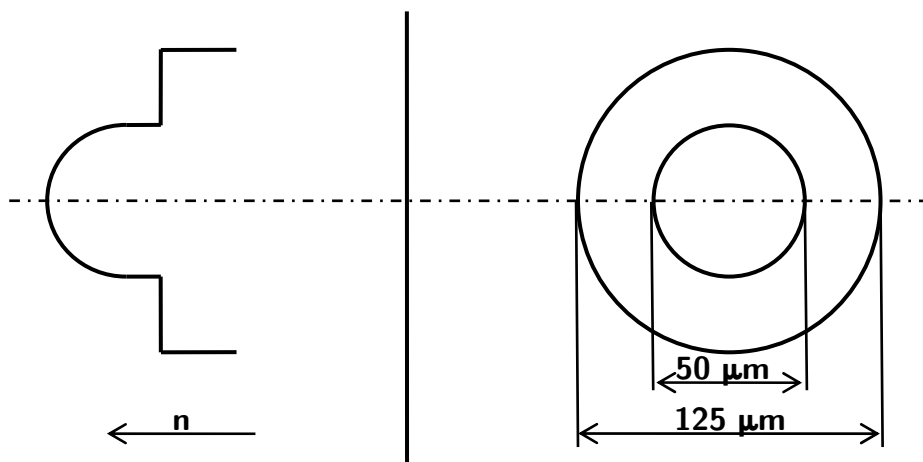


Obr. 3.2: Mnohovidové optické vlákno se skokovou změnou indexu lomu

Z dnešního pohledu velmi vysoký útlum až 20 dB/km [2] znemožňuje naopak nasazení mnohovidových vláken na delší vzdálenosti. Výrazně jednodušší je svařování a mechanické spojování těchto vláken. Tyto vlákna mohou být použita pro lokální domácí rozvody služeb Triple Play mezi jednotlivé zařízení, případně mohou tvořit levnou alternativu pro optické rozvody v budově.

3.1.3 Mnohovidové optické vlákno s gradientní změnou indexu lomu

Mnohovidová optická vlákna s gradientní změnou indexu lomu tvoří alternativu jednovidovým vláknům. Jejich nespornou výhodou je nižší cena výroby oproti vláknům jednovidovým, mají však znatelně lepší parametry než vlákna mnohovidová se skokovou změnou indexu lomu. Jádrem optického vlákna má šířku $50\text{ }\mu\text{m}$, přičemž průměr pláště je $125\text{ }\mu\text{m}$. S parametry útlumu kolem 5 dB/km a disperzí kolem 1 ns/km [2] jsou předurčena pro optické rozvody v budovách a telekomunikační účely, jejich nasazení do optických přístupových sítí FTTH s výhledem požadavků na přenosovou kapacitu do vzdálenější budoucnosti je diskutabilní.



Obr. 3.3: Mnohovidové optické vlákno s gradientní změnou indexu lomu

3.2 Optický kabel

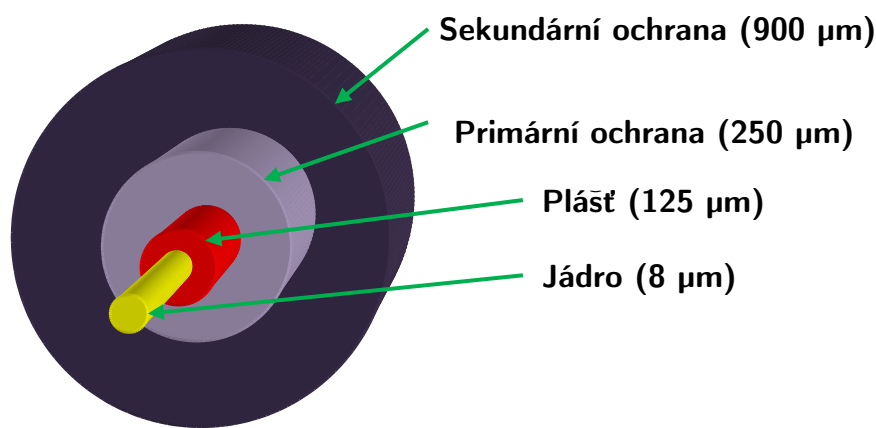
Optické vlákno jako takové je velice zranitelné, což je dáno jeho průměrem, který běžně činí $125\text{ }\mu\text{m}$, proto se při montáži optických používají optické kabely, které jsou tvořeny minimálně jedním optickým vláknem, přičemž horní hranice činí několik stovek vláken v jednom kabelu. Specifika jednotlivých kabelů se výrazně liší podle místa jejich použití a podmínek, kterým mají odolávat.

Jednovláknový optický kabel pro vnitřní použití je tvořen optickým vláknem tvořeným jádrem a pláštěm na kterém je nanесena primární ochranná vrstva mající za cíl posílit mechanickou pevnost vlákna. Na primární ochraně je nanесena silná vrstva plastické hmoty s vysokou pevností. Aby nedocházelo k deformacím vlákna v kabelu vlivem teploty, často je použit dvojitý plášť, jehož vnitřní vrstva je méně pružná než vnější.

Optické kabely určené pro přímé uložení do země mají výrazně silnější primární a sekundární ochranu, případně doplněnou kevlarovou či jinou ochranu. Mohou být napuštěny gelem mající zabránit vnikání vlhkosti po délce kabelu v případě porušení ochranného pláště.

Optické kabely určené pro zafukování do HDPE trubek či multiductů jsou pochopitelně vyráběny s výrazně slabší ochranným pláštěm, který má chránit kabel převážně při zafukování či zatahování. O mechanickou ochranu vůči okolí se pak starají trubičky, multiducty a samotné HDPE trubky.

Podle místa použití rozlišujeme též optické kabely pro vnější použití a vnitřní použití. Existuje i mnoho specifických typů kabelů určené pro konkrétní způsob instalace např. závěsné, samonosné či třeba provedení instalovaných do zemních lan rozvodné sítě VVN a ZVV. Součástí optického kabelu mohou být symetrické Cu dráty či nesymetrické koaxiální vedení, případně silové vodiče určené pro napájení přepínačů či zesilovačů.



Obr. 3.4: Průřez jednovláknovým optickým kabelem

Na Obr. 2.5 v předchozí kapitole bylo nastíněno obvyklé rozdělení kabelů používané v přístupových sítích FTTH podle jejich polohy na trase mezi CO resp. OLT a koncovým zákazníkem resp. ONT/ONU.

Feeder kabel tvoří největší koncentraci optických vláken v přístupové síti. Pokrývá přenosovou trasu mezi OLT a prvním distribučním uzlem (pasivní splitter, aktivní switch) a trasu mezi následujícími distribučními uzly. Jeden kabel obsahuje standardně 48–216 optických vláken, přičemž jeho průměr se pohybuje kolem 6–8,4 mm. Používá se na vzdálenosti do vzdálenosti 10–20 km [17].

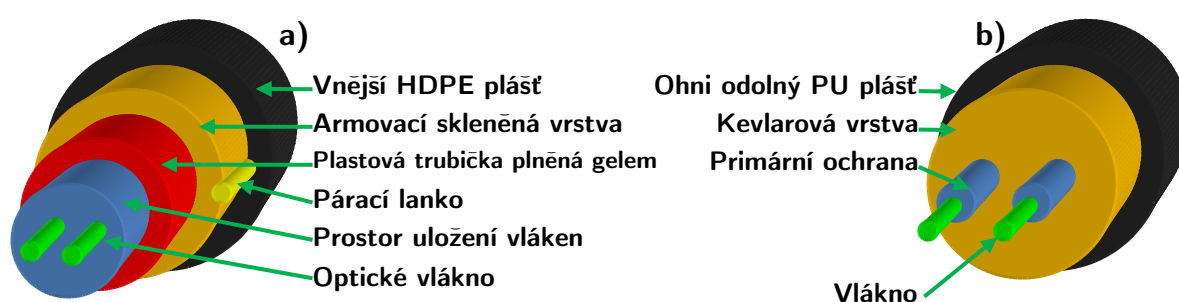
Distribuční kabel tvoří druhou největší koncentraci optických vláken v přístupové síti. Pokrývá přenosovou trasu mezi distribučními uzly a lokálními rozvaděči pro jednotlivé koncové uživatele. Jeden kabel obsahuje standardně 6–216 optických vláken, přičemž jeho průměr se pohybuje kolem 6–8,4 mm. Používá se na vzdálenosti nepřesahující 2 km [17].

Drop kabel tvoří poslední segment přístupové sítě. Pokrývá přenosovou trasu mezi lokálním rozvaděčem a ONT/ONU. Často nahrazuje distribuční kabely, kdy je lokální a distribuční rozvaděč tvořen jedním prvkem. Jeden kabel obsahuje jedno, dvě

nebo čtyři vlákna. Používá se na vzdálenosti zpravidla nepřesahující 500 m [17]. Vyráběn je běžně v provedení pro uložení do země, závěsný či jako samonosný.

Příkladem drop kabelu určeného pro přímé uložení do země je „*Samsung drop outdoor underground/metalfree*“ vyráběný ve variantách pro 2 až 12 vláken, vyhovují doporučení ITU-T G.657A. Je dodáván v celistvé délce až 4000 metrů.

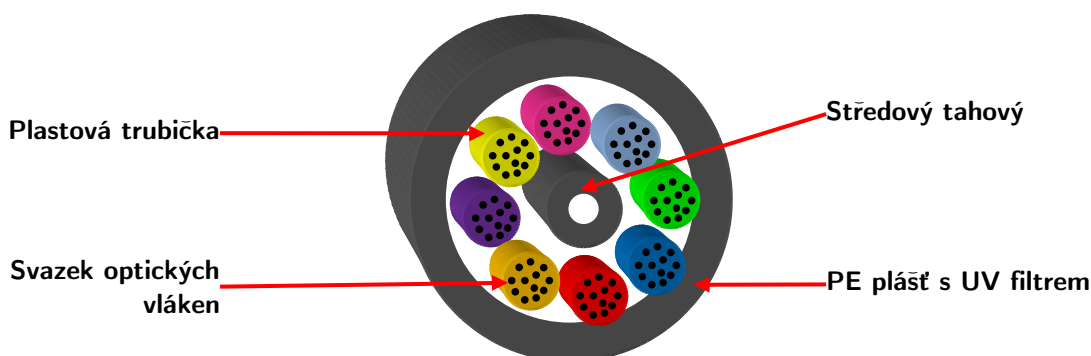
Příkladem samonosného drop kabelu je „*Samsung drop ftx bend free*“ vyráběný ve variantách pro 2 či 4 vlákna, vyhovují doporučení ITU-T G.657A. Je dodáván v celistvé délce až 1000 metrů.



Obr. 3.5: Drop optický kabel a) uložení do země b) samonosný

3.3 Optický mikrokabel

Alternativní řešení realizace optické přístupové sítě navržené s ohledem na to, aby bylo možné optický kabel zafouknout do HDPE chrániček a trubiček, multiductů či tlustostěnných trubiček pro přímé uložení do země. Toho je dosaženo snížením hmotnosti, snížením povrchového tření a vnějšího průměru mikrokabelu.



Obr. 3.6: Průřez optickým mikrokabelem

Konstrukce mikrokabelu je tvořena pláštěm z PE s filtrem vůči UV záření a středovým tahovým prvkem, kolem kterého jsou rozmístěny plastové trubičky, které jsou barevně odlišeny. V jedné plastové trubičce jsou uloženy podle potřeby 2–12 vláken, které jsou též barevně odlišeny, přičemž takovou skupinu vláken pak označujeme jako svazek vláken. Prostor v trubičce mezi vlákny může být vyplněn

voděodolným gelem. V mikrokabelu může být uloženo až 12 svazků vláken. Z toho vyplývá, že maximální počet optických vláken v mikrokabelu je 144 [10]. Na Obr. 3.6 výše je vyobrazen průřez kabelem s 96 vlákny (8 trubiček/12 vláken ve svazku).

3.4 Svazek optických vláken

Svazek optických vláken nemusí být výhradně součástí optického mikrokabelu. Právě přístupových optických sítí FTTH se začalo hojně využívat možnosti zafouknutí samostatného svazku optických vláken do trubiček resp. do tlustostěnných trubiček, které mohou být přímo uloženy do země. Svazek optických vláken je tvořen akrylátovým pláštěm, ve kterém jsou uvnitř svazku uložena optická vlákna v počtu 2–12 [10], která jsou barevně odlišena. Vnitřní prostor bývá často vyplněn voděodolným gelem. Vnější průměr svazku optických vláken činí přibližně 1,1 mm. Optické svazky snesou poměrně ostrý poloměr ohybu 15–5 mm, neboť použitá optická vlákna vyhovují doporučení ITU-T G.657A/B/C.

3.5 Chránička optických kabelů

Chráničky kabelů resp. HDPE trubky se uplatňují při výstavbě telekomunikačních a přístupových sítí a tvoří pevný neprodyšný krunýř, do kterého se zatahují nebo zafukují optické kabely, multiducty či mikrotrubičky. Tyto chráničky mohou být spojovány svařováním nebo použitím mechanických rozebíratelných spojek a jsou pokládány do klasických výkopů nebo se používá bezvýkopová metoda, kdy za pomoci speciálního zařízení se tyto trubky „zaorají“ do země. Běžně vyráběný průměr chráničky je mezi 32–50 mm. Mezi výhody použití technologie chrániček kabelů patří celkové zefektivnění výstavby přístupové sítě, neboť tyto chráničky mohou být položeny několik let dopředu při např. výměně kanalizace a následně realizované FTTH se již nemusí potýkat s náklady spojenými s výkopovými a zemními pracemi.

3.6 Multiduct

Multiduct neboli mikrotrubičkový kabel se používá pro instalaci svazků optických vláken či samotných optických vláken do již položených chrániček, nebo se zesíleným HDPE či dvojitým pláštěm pro přímou pokládku do země. Tato technologie umožňuje bezproblémové odbočení jednotlivých svazků vláken z multiductů pomocí T a Y členů, což v prostředí členité přístupové sítě FTTH je stěžejní vlastnost. Maximální kapacita multiductu složeného z 24 mikrotrubiček o průměru 5 mm činí 288 optických vláken [9], přičemž jeho vnější průměr nepřesahuje 37 mm. Standardně jsou vyráběny multiducty v provedení s 1, 2, 4, 7, 12, 19 a 24, přičemž průměr mikro-trubiček může být 3 nebo 5 mm.

3.7 Mikrotrubičky

3.7.1 Tenkostěnné a tlustostěnné mikrotrubičky

Mikrotrubičky se používají pro zafukování optických mikrokabelů, svazků vláken či samotných optických vláken. Koncept technologie mikrotrubiček byl navržen tak, aby byl zpětně kompatibilní s konvenčními technologiemi výstavby optických přístupových sítí FTTH. Mikrotrubičky se zafukují do chrániček optických kabelů nebo mohou být použity tlustostěnné, které jsou určeny pro přímou pokládku do země, čehož se velmi často využívá při odbočení trubičky HDPE trubky nebo z multiductu. Přenáší hlavní výhodu chrániček a multiductů ke koncovým objektům připojených do sítě, díky čemuž může být trasa optické přístupové sítě položena nezávisle na samotné její realizaci a zároveň je umožněno rozšiřování sítě zafouknutím dalších mikrokabelů do již položených mikrotrubiček bez nutnosti terénních úprav. Výhodná je také úspora kabelových spojek při připojování koncových zákazníků. Propracované odbočovací členy T a Y umožňují odbočit z chráničky konkrétní mikrotrubičku, ze které odbočí mikrokabel nebo svazek vláken, aniž by byla páteřní trasa přístupové sítě byla narušena. Tenkostěnné a tlustostěnné trubičky jsou vyráběny se stejnými vnitřními průměry, což zajišťuje jejich kompatibilitu v případě odbočení mikrotrubičky z chráničky a následného přímého uložení do země ke koncovému uživateli. Do tlustostěnné trubičky o nejmenším průměru 7/4 mm (vnější průměr/vnitřní průměr) lze zafouknout svazek 12 vláken, a naopak do mikrotrubičky o největším průměru 14/10 mm lze zafouknout mikrokabel o 144 vláknech [9]. Mikrotrubičky a technologie mikrotrubičkování se stala leaderem optických přístupových sítí FTTH pro svou zpětnou kompatibilitu s vybudovanou infrastrukturou, škálovatelností a efektivitou výstavby nové infrastruktury a možnost ponechat rezervní kapacitu pro případný upgrade a rozšiřování vybudované sítě a nedílným aspektem je také nižší cena této technologie výstavby.

Tab. 3.2: Kapacita tlustostěnné mikrotrubičky

Vnější průměr	Vnitřní průměr	Kapacita
7 mm	4 mm	12 vláknový mikrokabel
10 mm	6 mm	24 vláknový mikrokabel
12 mm	8 mm	96 vláknový mikrokabel
14 mm	10 mm	144 vláknový mikrokabel

3.7.2 Rukávky s tlustostěnnými trubičkami

Seskupení několika tlustostěnných mikrotrubiček určených pro přímé uložení do země, toto uskupení je při výrobě obaleno tenkým pláštěm, který je určen především pro jednodušší manipulaci se skupinou mikrotrubiček. Používá se tam, kde je delší vzdálenost např. 1000 m větší souběh mikrotrubiček.

3.8 Spoje a zakončení optických vláken

Optická vlákna resp. optické kabely jsou dodávány v určité délce, a proto je nutné je spojit. Spojení optického vlákna musí být co nejkvalitnější, neboť každý spoj se chová ve vlákně jako vložený útlum a zároveň na něm mohou vznikat nepříznivé odrazy, které jsou pro přenos nežádoucí. Z hlediska koncepce spojení optických vláken rozlišuje spoje rozebíratelné a nerozebíratelné. Zakončení optických vláken je řešeno optickými konektory.

3.8.1 Nerozebíratelný optický spoj

Nerozebíratelný optický spoj je spojení, které lze rozdělit nenávratným poškozením spoje. Řadíme zde metodu tavného svařování pomocí speciálních svářecích stanic, dále spojování optických vláken lepením a v neposlední řadě pevné mechanické spojky.

Mechanické pevné spojky pracují na principu osového vyrovnaní dvou konců vlákna vůči sobě pomocí mechanických struktur V drážek. Optická vlákna musí před vložením do spojky projít přesným zalomením v lámačce. Po osovém vyrovnaní jsou vlákna ve spojnici pevně mechanicky zajištěna, aby nedošlo vlivem instalace či klimatických podmínek k posunu. Prostor mezi konci vlákna je zalit silikonovými gely, epoxidovou pryskyřicí, optickými tuky či ultrafialovými lepidly. Tím je dosaženo útlumu nepřesahující 0,3 dB [1]. Na obdobném principu funguje i lepení optických vláken.

Tavné svaření vláken funguje na principu svaření dvou konců optických vláken elektrickým obloukem. Svářecí stanice je automatizovaná a je řízena mikroprocesorem, neboť při svařování je nezbytně nutné vlákna konce vlákna k sobě přiblížit, aby nedošlo k zeslabení spoje, také provede automatické nebo ruční osové vyrovnaní vláken před svařením. Svářecí stanice také obsahují elementy pro kontrolu pevnosti a kvality vyhotoveného sváru. Kvalitní svařený optický spoj má útlum kolem 0,02 dB [1].

3.8.2 Rozebíratelný optický spoj

Rozebíratelný konektorový optický spoj se používá na obou koncích optického vlákna v OLT a v ONT/ONU, dále v místech zesilovačů, rozbočovačů a přepínačů, případně v místech, kde potřebujeme provádět měření sítě. Princip konektorů je podobný mechanickým nerozebíratelným spojkám, kde je potřeba, aby byly konce vláken osově vyrovnané, ale konektor musí zabezpečit, aby se plošky konců vláken nikdy nedotknuly, neboť by docházelo k oděrům a znečištění těchto kontaktních ploch.

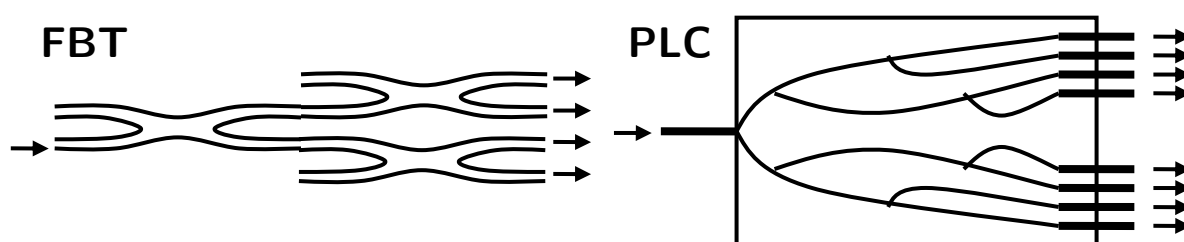
Tab. 3.3: Běžný útlum konektorů podle typu

Konektor	FC	ST	SC	E2000	D4	SMA	BICONIC
Útlum [dB]	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,25	0,3

3.9 Optický rozbočovač

Optický rozbočovač (splitter) je pasivní síťový prvek výhradně používaný v pasivních optických přístupových sítích PON. Jeho funkce je rozbočovat optický signál ze vstupu na několik výstupů a ve zpětném směru slučovat optický signál z několika výstupů na jeden vstup. Tyto pasivní rozbočovače jsou zpravidla určeny pro konkrétní vlnovou délku, nebo pracují ve všech vlnových délkách běžně používaných v optických přenosech. Optický rozbočovač představuje největší vložený útlum v celé optické trase a při jeho použití musíme zohledňovat dovolené zeslabení signálu vlivem útlumu trasy, který je pro GPON a EPON uvažovaný kolem 25 dB. Z toho vyplývá, že při návrhu sítě musíme kromě maximálního logického rozdělení přístupu koncových účastníků k OLT, také zohlednit fyzické možné maximální rozbočení optického signálu, které je dáno počtem portů rozbočovače a výrobní technologií. K dosažení většího rozbočení je možné rozbočovače řadit kaskádně za sebou, celkový útlum však nesmí překročit výše uvedenou úroveň, nebo je možné použít jeden více portový rozbočovač.

Výhradní výhodou rozbočovačů je, že rozbočení a slučování optických signálů se děje pasivně, tudíž odpadá nutnost realizace podpůrné napájecí sítě a celková spolehlivost zařízení je velmi vysoká. Existují dvě technologie výroby rozbočovačů FBT (*Fused Bionic Taper*) a PLC (*Planar Lightwave Circuit*).



Obr. 3.7: Technologie výroby rozbočovačů

FBT rozbočovače jsou vyráběny technologií spojování optických vláken pod velkým tlakem a teplotou, kdy se jednotlivá vlákna spolu svaří a jádra se dostanou velice blízko k sobě, díky čemuž dochází k rozbočování a slučování optického signálu. Jsou vyráběny běžně pro menší počet portů, což je vyrovnáváno řazením více těchto spojení za sebou.

PLC rozbočovače jsou vyráběny planární technologií, obdobnou při výrobě mikroprocesorů. Na křemíkové destičce je technologickým postupem vytvořena požadovaná struktura, která umožňuje vytvořit až 128 výstupních portů.

Tab. 3.4: Útlum planárních rozbočovačů PLC firmy SQS Vláknová optika a.s. [16]

1×N	1×2	1×3	1×4	1×6	1×8	1×12	1×16	1×24	1×32	1×64	1×128
Útlum max.	3,9	6,2	7,4	9,3	10,8	13,0	14,1	16,5	17,3	21,0	25,3
Útlum typ.	3,5	5,8	6,9	9,0	9,8	12,6	13,5	15,9	16,5	20,0	23,5
Vln. délka:	1260–1650 nm										

3.10 Ostatní pasivní prvky

Multikanály – slouží k rychlé a levné realizaci kabelovodů. Své uplatnění nacházejí především pro páteřní a telekomunikační sítě, kde je velký souběh optických kabelů.

Patchcord – optický propojovací kabel o nominální nebo na míru vyrobené délce s osazenými konektory. Zpravidla vyrobený pro duplexní provoz, což znamená 2 vlákna a 4 konektory, existují i symplexní varianty. Používají se v rozvaděcích nebo u koncového zákazníka.

Pigtail – optický kabel o nominální délce, který je dodáván s jedním osazeným konektorem. Používá se standardně na straně klienta pro zakončení optického kabelu, neboť osadit kvalitně konektor je obtížnější a časově náročnější, než navařit na optické vlákno pigtail.

Optická zásuvka u koncového klienta – slouží k uložení zakončení optického vlákna s rezervou u koncového klienta. Z optické zásuvky může být patchcordem připojeno klientská brána ONT, nebo může být tato brána již součástí optické zásuvky, které obsahuje již specifické rozhraní podle poskytovaných služeb (BNC, RJ45).

Mezi další nezbytné prvky patří optické rozvaděče, optické spojky a veškerý podpůrný instalační materiál pro chráničky, optické kabely a mikrotrubičky či instalační materiál nesouvisející se samotnou sítí atd.

4. AKTIVNÍ INFRASTRUKTURA SÍTĚ

Aktivní infrastruktura optické přístupové sítě FTTH je tvořena velkou škálou zařízení určených pro specifické architektury. Tato kapitola je výhradně zaměřena na aktivní zařízení přístupové sítě nativně podporující standart ethernet a na zařízení v těchto sítích provozovaná jako podpůrná. Z logiky věci uvedené v kapitole 2 vyplývá, že tyto zařízení se dále dělí podle toho, zda jsou provozovaná v sítích AON nebo PON. Přičemž aktivní zařízení sítí AON podporují normu IEEE 802.3ah nebo IEEE 802.3ae a aktivní zařízení sítí PON podporují normu IEEE 802.3ah nebo IEEE 802.3av. Podpůrná zařízení určená např. pro překryvné televize jsou kompatibilní s oběma typy sítí.

4.1 OLT

Optické linkové zakončení realizuje rozhraní mezi optickou přístupovou sítí a sítí telekomunikačních služeb (páteří a metropolitní sítě). Toto zařízení je umístěno v CO poskytovatele služeb. Doposud v této práci bylo na toto zařízení pohlíženo jako na prvek, který tvoří bránu mezi vyššími sítěmi včetně zařízeními pro poskytování služeb Triple Play a optickou přístupovou sítí. Tato koncepce byla výhodná s ohledem na rozebíranou tematiku. Při návrhu optické přístupové sítě FTTH je však nutné se na optické linkové zakončení a jeho funkce zaměřit podrobněji.

Optické linkové zakončení se zpravidla nevyrábí jako samostatné zařízení obsahující jeden uplink port určený do sítí vyšších a jeden port určený pro připojení jednoho ONT/ONU pro případ topologie P2P nebo několika ONT/ONU přes rozbočovač či přepínač v topologii P2MP. Taková koncepce by byla neefektivní a prakticky nerealizovatelná.

4.1.1 PON

OLT v sítích PON je komplexní prvek sítě slučující funkci přepínače a směrovače na druhé a třetí vrstvě modelu TCP/IP. Zajišťuje implementaci protokolů a mechanismů k řízení přístupu ke společnému médiu v časovém multiplexu TDM. Koncepce rozhraní zařízení umožňující hot-plug s podporou plug&play, což umožňuje úpravy zapojení sítě bez přerušení distribuce služeb. Toto zařízení obsahuje několik samostatných portů pro řízení linkového zakončení, díky čemuž se navyšuje celkový možný počet připojených ONT/ONU. Pro příklad uvedu zařízení OLT, které obsahuje 8 nezávislých modulů pro připojení 8 nezávislých přístupových podsítí. V každé podsíti je použit standardní pasivní rozbočovač 1×32. Celkový počet koncových ONT/ONU, které mohou být k OLT připojeny, narostl na 256. Tyto zařízení umožňují podrobný monitoring, vzdálenou správu a kontrolou řízení kvality služeb.

4.1.2 AON

Funkci OLT v aktivních přístupových sítích přebírají agregační a přístupové přepínače pracující na druhé a třetí vrstvě příp. technologicky nejvyspělejší na druhé až čtvrté vrstvě modelu TCP/IP. Každé koncové ONT/ONU je připojeno do vlastního portu přístupového přepínače, který plní funkci linkového zakončení OLT. Jednotlivé přístupové přepínače jsou portem (porty) uplink připojeny do agregačních přepínačů, které nám umožňují propojit větší počet přístupových přepínačů a to umožňuje relativně neomezenou kapacitu pro připojení ONT/ONU. Uplink rozhraní přepínače umožňuje připojit přepínač do vyšší struktury sítě. Agregační přepínače disponují uplink porty o rychlosti 1Gb/s, 10Gb/s příp. 40 Gb/s a jejich n-násobný počet n-krát znásobí možnou přenosovou kapacitu do vyšší sítě (metropolitní, páteřní síť). Optické přepínače jsou vybaveny funkcí EIPS (*Ethernet Ring Protection Protocol*), podporou VPN (*Virtual Private Network*) a plnou podporou multicastového vysílání IGMP, nezbytným pro příjem IPTV.

4.2 ONT

Optická ukončující jednotka OLT neboli domácí brána (*Home Gateway*) tvoří rozhraní optické přístupové sítě a koncových účastníků. Poskytuje kompletní řešení pro poskytování služeb Triple Play koncovému uživateli. Funguje na podobném principu jako ONU, s tím, že metalické rozvody služeb jsou realizovány až v samotné domácnosti a ne z lokálního rozvaděče v blízké oblasti (FTTN, FTTC). V přístupových sítích FTTH je výhradně použito ONT, jinak by to popíralo myšlenku této optické přístupové sítě až do domu.

Domácí brána je technologicky navržena s ohledem na architekturu použité sítě AON nebo PON a realizovaných protokolech přenosu. Před vstupní částí může být integrována kazeta pro kabelový management, samotná vstupní část obsahuje podporu pro připojení 1–4 jednovidových optických vláken. Výstupní část domácí brány tvořící rozhraní ke službám Triple Play obsahující ethernetový přepínač 10/100/1000 Mb/s pro připojení datových služeb, IP televize a IP telefonu přes RJ45. Některé varianty obsahují speciálně označené konektory RJ45 určené pro IPTV a VoIP, které zajistí automaticky vyšší prioritu pro přenos podle QoS. Pokud poskytovatel služeb poskytuje překryvné vysílání CATV je součástí výstupní části modul pro připojení televizních přijímačů standardním koaxiálním kabelem bez nutnosti použití STB. Integrované jsou veškeré protokoly zajišťující řízení kvality služeb, vzdálenou správu a monitoring. Zařízení v sobě slučuje funkci ethernetového směrovače, přepínače příp. firewallu a WIFI AP, což usnadňuje napojení na lokální síť LAN v domácnosti.

4.3 Přepínač

Funkce optického přepínače (switch) v AON jako OLT byla vysvětlena v podkapitole 4.1.2. Optický přepínač se však může použít v modifikovaných AON, kde část nebo celá síť může být realizována na topologii P2MP (viz Obr. 2.4). Namísto neřízeného pasivního rozbočovače je použit aktivní prvek - přepínač. Přičemž koncový klient a přepínač jsou realizovány jako spojení P2P. A spojení mezi OLT (agregační nebo přístupový přepínač) a přepínačem umístěných mimo CO je také realizováno jako P2P, přičemž koncoví klienti sdílí tuto přenosovou kapacitu jako je obvyklé u PON.

4.4 EDFA

Optický zesilovač EDFA (*Erbium Doped Fiber Amplifier*) je tvořený zdrojem laserového záření nazývaný jako laserová pumpa, které je navazováno na speciální optické vlákno dopované vzácným prvkem Erbiem. Energie ze záření posouvá energetické hladiny dopovaného prvku na vyšší úroveň. Vlivem procházejícího optického signálu se tato energie vyzáří stimulovanou emisí o stejné vlnové délce a fázi. Kaskádním uzpůsobením může být uzpůsoben tento zesilovač, aby zesiloval v celém přenosovém pásmu. Existuje několik upravených aplikací EDFA zesilovače jako je booster, zesilovač, předzesilovač a zesilovač překryvného televizního vysílání pomocí RF overaly. Právě pro jeho funkci zesilovače překryvné vysílání kabelové televize v přístupových sítích poskytující tuto službu používán.

4.5 Ostatní aktivní prvky

Mezi aktivní prvky řadíme dále optické směrovače, media konvertory, dohledové a správní systémy, komponenty pro překryvné a IP vysílání televize, brány do telefonních sítí a servery.

5. SLUŽBY TRIPLE PLAY

Širokopásmové služby Triple Play (česky s úsměvem „Trojitá hra“) tvoří hlavní hnací element, proč budovat optické přístupové sítě až do domu. Snahou operátorů kabelových a telekomunikačních sítí (pro příklad Telefónica O2 Czech Republic, a.s. či UPC Česká republika, a.s.) je poskytovat Triple Play služby na dosavadní instalované metalické infrastrukturu, což je z jejich pohledu logické. Klasická metalická přístupová síť realizovaná na telefonních či kabelových rozvodech je však limitována samotnou technologií DSL a především kvalitou těchto rozvodů. Hypotetická přenosová kapacita se pohybuje kolem 40 Mb/s, přičemž reálná propustnost nepřesahuje zpravidla ani polovinu a s ohledem na to, že se jedná o velmi asymetrické připojení, je tato konfigurace překážkou pro nasazování moderních širokopásmových služeb. Pro pokrytí požadavků těchto služeb se již v minulosti začalo přecházet na částečně optické přístupové sítě FTTC a FTTB.

Moderní širokopásmové služby Triple Play, lze však plně rozvinout až na optických přístupových sítích FTTH, jimž se služby provozované na metalické infrastrukturu nikdy nevyrovnají kvalitou ani množstvím. To tvoří hlavní impuls budování těchto moderních sítí, které zaručí výhodnou pozici v konkurenčním prostředí mezi poskytovateli telekomunikačních, internetových a kabelových služeb.

Služby Triple Play stojí na třech základních pilířích poskytovaných služeb ve zkratce označovaných jako data, hlas a video. Konkrétní složení programové nabídky jednotlivých služeb však není nikde specifikováno a je v plně kompetenci poskytovatele těchto služeb, který tak může reflektovat požadavky podle aktuálního stavu trhu v dané lokalitě.

5.1 Datové služby

Klíčovým prvkem datových služeb je poskytování vysokorychlostního přístupu k internetu, poskytovatel těchto služeb se označuje jako provider resp. ISP (*Internet Service Provider*). Jednotlivé služby přístupné ze sítě internet vyžadují pro svou funkci resp. plynulou funkci přidělení určité přenosové kapacity pohybující se od stovek b/s až po desítky Mb/s. Česká republika v roce 2010 obsadila 7. pozici v žebříčku zemí s nejrychlejším připojením k internetu s průměrnou hodnotou 5,32 Mb/s na koncového uživatele. Což je rychlost nedostatečná s ohledem na využívání cloud aplikací, sledování videa ve vysokém rozlišení a sdílení většího objemu dat.

Rychlost připojení vysokorychlostního internetu v Triple Play provozované na FTTH v AON činí až 100 Mb/s resp. 1000 Mb/s. Samozřejmě tato rychlost může být v budoucnu zvýšena, pokud to budou koncoví zákazníci vyžadovat. V PON sítích je poskytovaná rychlost menší, což je dáno sdílením konektivity.

Konektivita připojení do internetu může být také snížena o provoz vzniklý IPTV, pokud není síť navržena s ohledem na to, aby k tomuto snížení znatelně nedošlo. Příkladem může být aktivní AON na topologii P2P provozovaná na FastEthernetu 100 Mb/s. V domácnosti jsou zapnuty 3 STB, přičemž na každém je sledována jiná televizní stanice, všechny tři ale ve vysokém rozlišení kódovaném v MPEG2 (tj. přibližně 20 Mb/s). Dostupná přenosová kapacita pro datové a hlasové služby klesla na 40 Mb/s. Možné řešení vystavění/úprava sítě na gigabit ethernet 1 Gb/s při zachování stejné konektivity do internetu. Vždy je zohledněna efektivita řešení v poměru ceny a výkonu.

Na Obr. 5.1 je naznačeno, že datové služby kromě vysokorychlostního připojení do internetu mohou poskytovat doplňkové služby jako vzdálené úložiště dat či zabezpečení domácnosti.



Obr. 5.1: Triple Play – schéma datových služeb

5.2 Hlasové služby

Klíčovým prvkem hlasových služeb je telefonie realizovaná pomocí protokolu VoIP (*Voice over Internet Protocol*) umožňující přenos digitalizovaného hlasu v těle paketů prostřednictvím sítí pracujících na IP protokolu. O samotné řízení komunikace se pak stará novější protokol SIP (*Session Initiation Protocol*). Jelikož je tato služba výrazně citlivá na zpoždění (*latency*), kolísání zpoždění (*jitter*), ztrátu paketů a změnu pořadí paketů, je pro její provoz v přístupové síti nutné zajištění řízení kvality služeb (QoS) s přidělenou vysokou prioritou. S touto službou je spjata přidělení veřejného čísla přístupného z pevných a mobilních sítí a zajištění spojení s těmito sítěmi pomocí bran.

Doplňkové služby tvoří především rozhlasové vysílání v analogové (FM) nebo digitální podobě (DVB), které je součástí překryvného vysílání CATV nebo je součástí IPTV. Doplňkovou službou na vyžádání je pak poslech hudby z hudebního archivu neboli „Hudba na vyžádání“ (*Music On Demand*). Celé schéma hlasových služeb je naznačeno na Obr. 5.2.



Obr. 5.2: Triple Play – schéma hlasových služeb

5.3 Video služby

Video služby resp. obrazové služby zajišťující distribuci televizního signálu. Tato služba byla v minulosti dominantou kabelových operátorů, kteří časem umožnili na svých sítích poskytovat i datové a hlasové služby. Je proto logické realizovat distribuci televizního signálu v přístupových sítích FTTH, neboť tato služba tvoří velkou část celého ekonomického potenciálu poskytovaných služeb Triple Play a tedy je finančně rentabilní v realizovaných projektech FTTH.

Distribuce televizního signálu ke koncovému zákazníkovi může být realizována dvěma odlišnými koncepcemi a to prostřednictvím IP protokolu tj. IPTV nebo jako překryvné vysílání CATV. Obě koncepce distribuce televizního signálu mohou být na přístupové síti provozované souběžně (ale de facto tato situace nastane jen při postupné migraci od CATV k IPTV).

5.3.1 Distribuce pomocí překryvného vysílání CATV

Distribuce televizního signálu pomocí překryvného vysílání CATV využívající Rf overlay (amplitudově modulovaný laser). Přičemž v tomto simplexním downstream analogovém kanálu může být přenášena nejen klasická analogová televize v soustavě PAL, ale také moderní digitální televize využívající analogového kanálu jako je DVB (*Digital Video Broadcasting*). Především je vhodná její kabelová

specifikace DVB-C resp. v budoucnu DVB-C2 (připravované s ohledem na optické sítě), která umožňuje poskytovateli rozdělit poskytované televizní stanice do jednotlivých tematických balíčků. Každému zákazníkovi jsou pak přístupné jen ty televizní stanice, které si předplácí. Nevýhodou tohoto řešení je fakt, že zákazník musí být vybaven STB nebo kompatibilním televizorem podporující DVB-C. Samozřejmě lze v menších sítích vyřešit poskytované televizního signálu prostřednictvím DVB-T resp. v budoucnu DVB-T2 se kterými jsou dnes všechny prodávávané televizní přístroje kompatibilní. Distribuce televizního signálu CATV je realizovaná na vlnové délce 1550 nm, neboť v této oblasti vykazuje optické vlákno nejmenší útlum, což je pro analogový kanál klíčová nutnost. Poskytování překryvného vysílání televize je možné prostřednictvím PON na P2MP topologii s vlnovým oddělením překryvného televizního signálu a kanálů pro upstream a downstream. Na P2P aktivních sítích překryvné vysílání CATV nelze provozovat. To je kompenzováno položením separátního optického vlákna, které je vedeno mezi klienty a CO topologií P2MP s využitím pasivních rozbočovačů.

Přenosový řetězec překryvného vysílání CATV je tvořen hlavní stanicí distribučního centra (*head-end*) umístěním v CO. Toto distribuční centrum je tvořeno satelitními, pozemní přijímači televizního signálu, případně zařízeními poskytnutými v rámci outsourcingu (služby poskytované třetí stranou) zajišťující dodávku televizního signálu. Následuje systém slučovačů a konvertorů, který má za cíl výkonově vyvážit a sloučit veškeré vstupní proudy televizního vysílání. Výsledný proud všech televizních stanic je převeden na optický vysílač, za ním je zařazen optický zesilovač EDFA, který na optické vlákno naváže potřebný výkon, který vystačí pro dekódování na straně přijímače. Na straně koncového klienta je v ONT optický televizní signál převeden do elektrické podoby na koaxiální výstup. Běžným koaxiálním kabelem je možné signál rozvést do všech STB nebo kompatibilních televizorů. Počet STB nebo televizorů není omezen šířkou dostupné přenosové kapacity, jako je tomu v případě IPTV.

Mezi výhody překryvného vysílání patří nižší pořizovací náklady aktivních prvků na straně CO i na straně koncového klienta. Výrazně jednodušší správa a zajištění kvality služeb bez ohledu na vytížení sítě. Přičemž technologie vysílání je kompatibilní se současnými kabelovými rozvody a tím je ulehčen případný upgrade dosavadní kabelové sítě na FTTH.

Mezi nevýhody překryvného vysílání patří především neinteraktivita těchto služeb dána povahou šíření vysílání simplexně k uživateli bez zpětné vazby. V „dožívajících“ stávajících kabelových sítích se interaktivní služby budou řešit prostřednictvím připravované nové verze průmyslového standardu DOCSIS 3.0, který bude fungovat výhradně s STB komunikujících na IP protokolu, což ale pro optické sítě FTTH ztrácí význam a je vhodnější přechod na technologii IPTV.

5.3.2 Distribuce pomocí IPTV

Distribuce televizního signálu prostřednictvím paketů přes síť realizovanou na IP protokolech se označuje jako IPTV, někdy nazývaná jako televize přes internet. Její koncepce je diametrálně odlišná od překryvného vysílání CATV. Nesetkáme se zde s klasickým broadcastingem, který vysílá televizní signál všem potenciálním příjemcům bez ohledu na to, zda tyto služby aktuálně využijí. A to z prostého důvodu zbytečného zahlcování kapacity přístupové sítě, která by mohla být přístupná ostatním službám Triple Play, neboť televizní signál přenášený v paketech je přenášen na shodném downstream kanálu s ostatními datovými pakety. Z povahy tohoto řešení vyplývá interaktivita doplňkových služeb, neboť komunikace v IPTV je plně duplexní vzestupným i sestupným kanálu, což u překryvného vysílání kabelové televize je bez dodatečných úprav nerealizovatelné.

Realizace distribuce IPTV je možná v přístupových sítích AON na topologii P2P či P2MP. Veškeré přepínače v této síti musejí mít podporu multicastového vysílání (směrové vysílání). To zajistí, že datový tok televizního signálu bude šířen jen do vyžádaných směrů a tím se sníží celková datová režie v síti, což má za následek zvýšení propustnosti sítě pro ostatní služby. Distribuce v PON sítích je realizovatelná jen na architektuře EPON resp. 10G-EPON, které mají implementovanu podporu multicastového vysílání (viz podkapitola 2.4.4). S architekturami PON sítí APON, BPON, GPON je IPTV nekompatibilní.

Princip multicastového vysílání byl naznačen výše, nyní se na něj zaměříme podrobněji. Každý televizní kanál tvoří vlastní multicastovou skupinu s vlastní přidělenou IP adresou ze třídy D. Třída D má definovaný rozsah 224.0.0.0 až 239.255.255.255. Zvolením konkrétního televizního kanálu provede STB odhlášení ze stávající multicastové skupiny a zadá požadavek pro přihlášení se do nové. Toto odhlašování a následné přihlašování do multicastové skupiny je realizováno protokolem IGMP (*Internet Group Management Protocol*) ve verzi 2 resp. 3. Před přihlášením do nové skupiny je ověřeno právo multicastové vysílání odebírat. Tato vlastnost umožňuje rozdělit poskytované televizní stanice do jednotlivých tematických balíčků. Každému zákazníkovi jsou pak přístupné jen ty televizní stanice, které si předplácí. Doba mezi požadavkem o přihlášení do nové skupiny a zařazením koncového uživatele do této skupiny a následným vysíláním multicastového proudu tomuto uživateli tvoří určitou časovou prodlevu až několika vteřin.

Přenosová kapacita ke koncovému uživateli je sdílená s ostatními službami Triple Play, z čehož vyplývá omezení množství přijímaných multicastových vysílání resp. aktivních STB u koncového uživatele (příklad uveden v podkapitole 5.1).

Množství aktivních STB přijímačů v domácnosti je podmíněno kapacitou přístupové sítě FTTH směrem ke koncovému uživateli a bitovou rychlostí přenášeného televizního vysílání daného kompresním algoritmem a obrazovým formátem.

Z Tab. 5.1 je patrné, že množství síťového provozu produkovaného IPTV není zanedbatelné, i když šířka přenosového pásma optických sítí FTTH je poměrně velká. Je proto vhodné v přístupové síti využít kódování televizního signálu novější technologie MPEG-4 Part 10 tj. H.264, který má účinnější kompresní poměr při lepším obrazovém a barevném podání scény. Jelikož je IPTV realizovaná přes IP vrstvu modelu TCP/IP, ve kterém může docházet ke zpoždění, kolísání zpoždění, prohození pořadí paketu a ztrátivosti paketu, je nezbytné nutná podpora protokolů řízení kvality služeb QoS.

Tab. 5.1: Bitová rychlost přenosu digitální televize [7]

SDTV 576i	SDTV 576i	HDTV 1080i	HDTV 1080i	HDTV 1080p
MPEG2	H.264	MPEG2	H.264	H.264
≈5,0 Mb/s	≈3 Mb/s	≈20 Mb/s	≈14 Mb/s	≈22 Mb/s

Výše byla zmíněna interaktivita doplňkových video služeb realizovaných v IPTV, nyní se na tyto služby podíváme podrobněji z pohledu toho, co koncovému zákazníkovi umožní.

- **Interaktivní televize ITV** (*Interactive TeleVision*) zpřístupní divákovi řízení obsahu televizního vysílání, reagovat na podněty resp. plně se případně do vysílání zapojit či umožní prohlížení internetových stránek. Tato služba je teprve ve vývoji, ale její aplikace na FTTH přes IPTV bude výrazně jednodušší než u konvenčního příjmu televize. Bude realizována na standardech a protokolech MHEG-5, OpenTV, Librate TVNavigator, MediaHighway a DVB-MHP.
- **Elektronický programový průvodce EPG** (*Electronic Programming Guide*) slouží k vyhledávání pořadů televizního vysílání, jako jedna z mála služeb je dostupný i u překryvného vysílání CATV.
- **Video na vyžádání VoD** (*Video on Demand*) umožňuje sledovat vybrané pořady či filmy z rozsáhlé databáze nahrávek uložených na video serveru. Tento archiv může být umístěn v CO, nebo častěji je realizován formou outsourcingu.
- **Placené pořady PPV** (*Pay Per View*) služba realizovaná jako doplňková k různému typu balíčků televizních stanic. Umožňuje jednorázově shlédnout vybraný pořad, který se nenachází v programových balíčcích, které si klient měsíčně předplácí. Jednorázovým poplatkem je mu zhlédnutí umožněno.

- **Video ze záznamu VCR** (*Videocassette recorder*) služba umožňující nahrání zvoleného televizního vysílání a následném pozdějším zhlédnutí záznamu. Nahrání obstarávají video servery v CO. Klient záznam shlédne obdobnou formou jako VoD.
- **Osobní video rekordér PVR** (*Personal Video Recorder*) vylepšená obdoba služby VCR, které podporuje automatické odstranění reklamních bloků ze záznamu.

Samotná realizace distribučního centra (*head-end*) v CO může být realizována dvěma koncepcemi. První je obdobná překryvnému vysílání CATV, kdy distribuční centrum je tvořeno soustavou satelitních a pozemních přijímačů. Přijímané signály jsou zpracovávány a komprimovány a následně jsou rozděleny do jednotlivých multicastových proudů. Toto řešení je však výrazně nákladnější než u CATV. Proto druhá koncepce je založena na outsourcingu (služby poskytované třetí stranou). Toto řešení je vhodné pro malé přístupové sítě. Televizní stanice jsou dodávány již v digitalizované paketové podobě IPTV prostřednictvím páteří nebo metropolitní sítě a do přístupové sítě jsou začleněny distribučním serverem dodaným v rámci outsourcingu. Lze konstatovat, že pro menší sítě se vyplatí televizní vysílání odkupovat v rámci outsourcingu, pro větší sítě je vhodnější vybudovat vlastní distribuční centrum, které snižuje náklady provozu přístupové sítě a umožňuje poskytovateli služeb Triple Play individuální řešení video služeb.



Obr. 5.3: Triple Play – schéma video služeb

6. PŘÍPADOVÁ STUDIE – OBEC FEKTÁKOV

Případová studie tvoří praktickou část bakalářská práce Optická síť FTTH, ve které jsou využity teoretické poznatky z předcházejících kapitol, které jsou aplikovány na konkrétní model sítě. Tato studie tvoří základ technické řešení včetně ekonomického modelu. Nejsou opomenuty ani úskalí vzniklé při realizaci a správě optických přístupových sítí FTTH včetně návrhu parametrů a cen poskytovaných služeb Triple Play.

Cílem projektu je vytvoření optické přístupové sítě FTTH, která je realizována nejmodernějšími technologiemi výstavby pasivní a aktivní infrastruktury, přičemž samotná případová studie je rozdělena na tři možné separátní varianty realizace. Aplikací jednotlivých variant na konkrétní oblast jsou vytvořeny tři nezávislé technicko-ekonomické návrhy, z nichž po podrobné analýze je vybrána nejvhodnější technologie výstavby pro danou lokalitu. Vytvořená optická přístupová síť FTTH musí koncovým zákazníkům poskytnout vysokorychlostní přístup k internetu, přístup k televiznímu vysílání ve vysokém rozlišení HDTV za pomoci IPTV, nebo CATV a přístup k telefonii zastoupenou VoIP. Případně může síť poskytovat i další služby Triple Play zmíněné v kapitole páté. Vytvořením každého takového projektu inicializuje vznik projektů dalších v jiných lokalitách a zvyšuje tak zdravou konkurenci na trhu mezi poskytovateli služeb Triple Play. Nemluvě o prestiži pro danou obec, která tak může přilákat nové potenciální obyvatele, kteří by se rozhodli v dané obci začít žít.

6.1 Popis situace před návrhem

Uvažovaná fiktivní obec „Fektákov“ je situována 10 km severozápadně od lokace velké městské aglomerace Brno s počtem obyvatel přesahující 400 000 obyvatel. Samotná obec Fektákov vznikla před 10 lety odtržením nově vznikající městské části tzv. satelitního městečka od mateřského města.

V obci Fektákov má trvalý pobyt hlášeno 800 lidí, což představuje 213 samostatných domácností, kde 113 domácností žije v samostatných rodinných domech a dalších 100 domácností v 5 bytových komplexech členěných po 20 bytech na komplex. Komerční sektor včetně obecní samosprávy je v obci zastoupen 6 objekty. Nekomerční veřejný sektor je v obci zastoupen celkem 3 objekty. Obecní samosprávou byl vznesen požadavek na garantovanou symetrickou konektivitu 1 Gb/s pro základní školu. Územní plán obce počítá se vznikem dalších 50 stavebních parcel v horizontu do 5 let, což by mělo být zohledněno v návrhu optické přístupové sítě s cílem co nejmenších investic v budoucnu.

Sociální složení obyvatelstva je především reprezentováno mladými rodinami s vyššími příjmy, kde je předpoklad zájmu o high-end služby Triple Play v kombinaci s ochotou zaplatit za ně vyšší finanční částky než za běžné low-end služby.

Tab. 6.1: Struktura objektů FTTH přípojek

Typ objektu	Počet přípojek
Rodinný dům	113
Byt	100
Komerční sektor	6
Nekomerční sektor	3
Rezervní kapacita	50

V obci Fektákov zatím není realizována žádná obdobná služba telekomunikačních či kabelových operátorů. Optická přístupová síť bude vytvořena tzv. „na zelené louce“, přičemž se využije výkopových prací spojených s plynofikací obce, kde ke každému domu bude položena plynová přípojka. Tím se sníží počet nutných výkopových prací spjatých s realizací pasivní infrastruktury na minimum jen na místa, kde nepůjde využít stávajících výkopových prací spjatých s plynofikací. Nemalé investice do terénních a výkopových prací nejsou tedy spjaty s tímto projektem, ale náklady ponese investor plynofikace.

K místu budoucího distribučního centra (CO) k patě budovy sídla obce byla již v minulosti položena HDPE chránička o průměru 40/33 mm (vnější/vnitřní), jejichž trasa na druhém konci je vyústěna k možnému přístupovému bodu páteřní sítě sdružení NIX.CZ, z.s.p.o..

Na plánu obce v Obr. 6.1 jsou vyznačeny žlutou čarou plánované výkopové práce spjaté s výše uvedenou plynofikací obce. Silnější červenou čarou je vyznačena trasa již položených HDPE chrániček vedoucí k 5 km vzdálenému přístupovému bodu páteřní sítě.

Jednotlivé objekty v obci jsou označeny v Obr. 6.1 kombinací písmene a čísla, což určuje typ objektu a jeho jednoznačnou identifikaci, která bude využita v jednotlivých případových studiích pro přehledný popis pasivní infrastruktury.

6.2 Představení případových studií

Nedílnou součástí před představením samotných případových studií je vhodné říci, co je myšlenkou případové studie, co je jejím cílem v mé bakalářské práci a proč jsem ji koncipoval tak, jak jest dále zpracována. V teoreticko-odborné první části bakalářské práce jsem hovořil o optických přístupových sítích FTTH v akademické rovině od základní myšlenky, přes topologie a architektury až pasivní a aktivní infrastrukturu. V akademické rovině je poměrně snadné vybrat nejlepší možnou variantu realizace přístupové sítě. Po konzultacích s odborníky z praxe jsem však nabyl poznatek, že žádný investor ani firma nepostaví „akademickou“ síť, neboť v reálném světě je hledám kompromis mezi funkčností sítě a její ekonomickou rentabilitou, přičemž na ekonomickou rentabilitu je kladen požadavek nejvyšší.

Pro názornou představu technických aspektů, předností i nedostatků, spolehlivosti i kvalitu sítě a pro ekonomický náhled na celý projekt byly vybrány tyto možné návrhy realizace:

- AON P2P IPTV
- AON P2P CATV
- PON P2MP CATV

Všechny tři koncepce jsou realizovány s nativní podporou optického ethernetu, přičemž všechny splňují specifikaci IEEE 802.3ah. Pochopitelně tato specifikace je rozsáhlá a je rozdělena specificky pro aktivní a pasivní optické sítě.

V rámci objektivní analýzy bylo cílem používat pokud možno shodné dodavatele pro všechny případové studie. Nutno podotknout, že všechny ceny uvedené dále jsou bez daně z přidané hodnoty. Ceny uvedené v jiných měnách než tuzemská měna (Kč) jsou vždy v koncovém součtu převedeny na českou měnu a to podle kurzu $1 \text{ €} = 26 \text{ Kč}$ a $1 \$ = 17 \text{ Kč}$. V tabulkách jsou však uvedeny v původní měně, jakou mi sdělil distributor z důvodu zachování vypovídací hodnoty po změně kurzu.

V rámci zpřehlednění jsou zavedeny specifické legendy, jejich význam nyní vysvětlím. Objekty v plánu obce nejsou číslovány podle čísla popisného, ale podle typu koncového zákazníka. Rodinné domy jsou označeny kombinací písmene X a 3 číslic, bytové domy písmenem Y a 1 číslicí, komerční objekty písmenem K a 1 číslicí, nekomerční objekty písmenem N a 1 číslicí. Jednotlivé multidenty jsou označeny podle schématu M-X/Y-Z, kde M značí multidentu, za X je počet obsazených mikrotrubiček, Y celkový počet mikrotrubiček a Z udává celkový počet zafouknutých optických vláken. Souběžná trasa více než jedné zodolněné tlustostěnné mikrotrubičky je označena podle schématu A×T-B, kde je počet souběžně položených mikrotrubiček, T značí mikrotrubičky a B je počet optických vláken v jedné mikrotrubičce.

6.3 Studie 1. – AON P2P IPTV

6.3.1 Předmluva

První případová studie představuje přístupovou síť realizovanou jako aktivní optická síť AON s topologií P2P a distribucí obrazových služeb IPTV přes internetový protokol představuje vrchol technického řešení, neboť ke každému koncovému účastníkovi je přivedeno samostatné optické vlákno resp. vlákna. Což značí s nikým nesdílenou přenosovou kapacitu a obrazové služby IPTV umožní provoz interaktivní televize ve vysokém rozlišení a provoz služby video na vyžádání.

6.3.2 Pasivní infrastruktura

Pasivní infrastruktura optické přístupové sítě FTTH bude v obci Fektákov přivedena do 272 účastnických přípojek, z čehož 50 tvoří rezerva pro připravované stavební parcely. Přístupová síť je z geografického členění obce rozdělena na dvě části. První segment je přímo připojen do budovy distribučního centra (CO), druhý segment přístupové sítě je připojen do lokálního „pouličního“ rozvaděče (R), nepřímě tedy do distribučního centra. První segment sítě slučuje 167 účastnických přípojek, druhý pak 105, z čehož 50 tvoří výše zmíněná rezerva.

Kompletní pasivní infrastruktura je vytvořena pomocí technologie mikrotrubičkování a to především využitím zodolněných tlustostěnných mikrotrubiček pro přímou pokládku do země, které vedou přímo od distribučního centra či lokálního rozvaděče k účastnické přípojece či domovnímu rozvaděči. Důvod je zřejmý a to efektivní realizace a zjednodušení vybočování jednotlivých mikrokabelů či svazků vláken z hlavní trasy vzhledem k členitosti přístupové sítě v dané oblasti. Odpadá tak nutnost využívat odbočovací a redukční členy pro vybočení mikrokabelů či svazků optických vláken z multiductu či HDPE chrániček do tlustostěnné mikrotrubičky. Kromě toho je tento způsob realizace výhodnější po ekonomické stránce, přičemž uvedu důkaz svých argumentů. Jeden běžný kilometr multiductu 24×5/3,5 mm od společnosti Sitel s.r.o. obsahující ve svém jádře 24 mikrotrubiček vychází přesně na 113 000 Kč. Naopak jeden běžný kilometr 24 zodolněných tlustostěnných trubiček vychází přesně na 99 840 Kč, což je rozdíl 13 160 Kč na běžný kilometr. Reálně je však rozdíl daleko větší, neboť pro vybočení mikrotrubičky z multiductu je nutný T nebo Y člen, redukční spojka, pojistka a těsnící sada, nemluvě o časové náročnosti provedení tohoto úkonu při montáži. Výhoda multiductu je jen v jeho snazší pokládce do země, to znamená, je vhodné ho použít pro překlenutí delších tras, kde nedochází k častému odbočení mikrotrubiček z multiductu. Technologie mikrotrubičkování zajišťuje též, že při dalších úpravách sítě nebudou nutné nové výkopové práce, které představují přibližně polovinu všech nákladů u podobných projektů, nemluvě o úřední stránce věci.

Ke každé účastnické zásuvce je přiveden právě jeden dvouvláknový mikrokabel řady MicroBlo značky Brand-Rex, jehož jednovidová vlákna 8/125 μm splňující standard OS1 tedy doporučení ITU-T G.657.A2. To je garancí vhodnosti optických vláken do členitého terénu optické přístupové sítě FTTH. Ke každé koncové účastnické přípojce jsou dovedeny 2 optická vlákna, přičemž první je aktivní a druhé slouží jako záložní. Je to dáno především z ekonomického důvodu, ale i z čistě pragmatického, nelze v budoucnu vyloučit upgrade síťové architektury.

Primárním dodavatelem prvků pasivní infrastruktury je česká společnost **Abbas a.s.**, která na českém trhu zastupuje řadu světových výrobců a značek. Nabízí tak ucelený sortiment pro výstavbu infrastruktury optické přístupové sítě FTTH. Sekundárními dodavateli jsou společnosti **Sitel s.r.o.** a **Šubrt cz s.r.o.**

Páteří propojení centrální bodů jednotlivých segmentů přístupové sítě, tj. distribučního centra a lokálního rozvaděče, je realizováno jako jediné multiductem typu 4×12/10 mm. Jádru multiductu je tvořeno 4 mikrotrubičkami o vnitřním průměru 10 mm. Plně obsazeny budou 3 ze 4 mikrotrubiček multiductu, do kterých budou zafouknuty optické mikrokabely řady MicroBlo tvořené 72 výše zmíněnými jednovidovými optickými vlákny. Spojení mezi CO a R bude realizováno 216 optickými vlákny, přičemž aktivních včetně plánované rezervy je 210 vláken, zbylý počet tvoří přídatnou rezervu, která je dána konfigurací počtu optických vláken v mikrokabelu. Toto propojení je vyznačeno na Obr. 6.2 modrou čarou a pod označením M-3/4-216.

Nyní se zaměříme na samotné účastnické přípojky připojené přímo pod distribuční centrum. Bytové komplexy (Y1–Y5) jsou připojeny do přístupové sítě mikrokabelem řady MicroBlo tvořený 48 optickými vlákny výše zmíněného typu Blolite. Tento mikrokabel je zafouknut do z odolné tlustostěnné mikrotrubičky typu 12/8 mm o vnitřním průměru 8 mm. V každém bytovém komplexu jsou optická vlákna zakončena v nástěnném rozvaděči Micos ORM 48 RD (označeny jako R-A až R-E), přičemž aktivních bude 20 resp. 40 vláken, zbylý počet tvoří přídatnou rezervu, která je dána konfigurací počtu optických vláken v mikrokabelu. Z optického rozvaděče je ke každé bytové jednotce v bytovém komplexu přiveden účastnický dvou-vláknový drob kabel, který je zakončen až v ONT resp. domácí bráně. Veškeré rodinné domy přímo připojené do distribučního centra (tj. X001–X060), budovy K1 až K5 a budovy základní a mateřské školy jsou též připojeny pomocí odolných mikrotrubiček o typu 7/3,5 mm o vnitřním průměru 3,5 mm, ve kterých je zafouknut dvouvláknový optický mikrokabel MicroBlo.

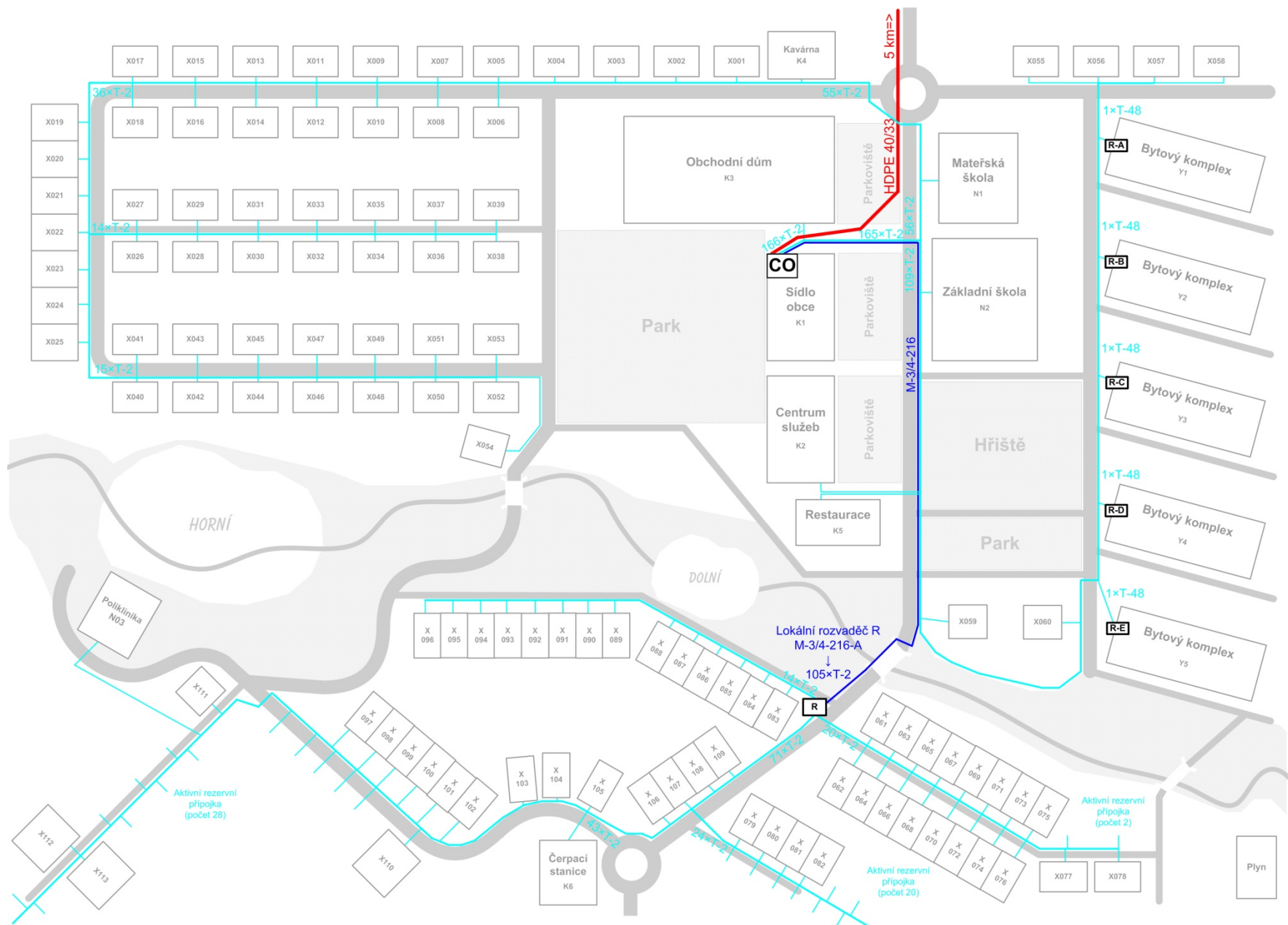
Lokální optický rozvaděč R je realizovaný jako sloupkový optický rozvaděč produktové řady ORU 2 SIS firmy MICOS – divize Telcom. Tento pilířový rozvaděč ve venkovním provedení s vestavěným výklopným rámem pro snadnější přístup ke kazetovému systému umožňuje uložení až 576 kusů optických svárů.

To je kapacita až 192 připojených účastníků při dvou-vláknovém svazku optických vláken. Individuální konfigurací rozvaděče je kapacita kazetového systému SAFeTNET snížena na 216 optických svárů (6×kazetový modul typu SC). V případě potřeby může být kdykoliv kapacita snadnou úpravou navýšena. V rozvaděči jsou jednotlivá optická vlákna ze tří 72-vláknových mikrokabelů vedených multiductem M-3/4-216 od distribučního centra navařeny na jednotlivá optická vlákna dvou-vláknových mikrokabelů zafouknutých do jednotlivých 55 zodolněných tlustostěnných mikrotrubiček o průměru 7/3,5 mm (vnější/vnitřní), položených ke koncovým účastnickým přípojkám druhého segmentu sítě. Jednotlivé sváry optických vláken jsou s dostatečnou rezervou vlákna uloženy do jednotlivých kazet modulu. Přičemž jedna kazeta modulu pojme šest optických svárů vláken. Jeden modul obsahuje šest kazet, tedy jeho kapacita je 36 svárů s rezervou každého vlákna.

Všech 53 rodinných domů (X061-X113), poliklinika a čerpací stanice je připojeno k lokálnímu rozvaděči R pomocí výše zmíněných dvou-vláknových mikrokabelů MicroBlo zafouknutých do zodolněných tlustostěnných mikrotrubiček. K lokálnímu rozvaděči je přivedeno i dalších 50 tlustostěnných trubiček položených k jednotlivým 50 parcelám, do nich však budou vlákna zafouknuta až při aktivaci nového koncového účastníka.

Tab. 6.2: Kalkulace prvků pasivní infrastruktury (AON P2P IPTV)

Položka	Množství	Cena
Mikrotrubičky zodolněné 7/3,5 mm	50600 m	210 496 Kč
Mikrotrubičky zodolněné 12/8 mm	1900 m	14 820 Kč
Multiduct 4×12/10 mm	250 m	22 750 Kč
Brand-Rex mikrokabel 8/125um, 2 vlákna	38000 m	195 700 Kč
Brand-Rex mikrokabel 8/125um, 48 vláken	1900 m	101 935 Kč
Brand-Rex mikrokabel 8/125um, 72 vláken	810 m	56 052 Kč
Brand-Rex účastnický kabel PDC 08/125um 02 vl.	5000 m	62 000 Kč
Spojka trubičky 7 mm s pojistkou	250 ks	12 250 Kč
Spojka trubičky 12 mm s pojistkou	20 ks	1 220 Kč
Koncovka trubičky 7/3,5 mm	100 ks	3 400 Kč
Koncovka trubičky 10 mm	2 ks	120 Kč
Pigtail SC-08-1m	421 ks	34 522 Kč
Pigtail LC-08-1m	275 ks	28 875 Kč
Spojka SC-SC	200 ks	8 200 Kč
Ochrana optického sváru	806 ks	4 796 Kč
Optický rozvaděč ORU 2 SIS + příslušenství	1 ks	30 000 Kč
Optický rozvaděč ORM 48 RD + příslušenství	5 ks	29 500 Kč
Lišty, montážní prvky, silikony	-	50 000 Kč
CENA CELKEM:		866 636 Kč



Obr. 6.2: AON P2P IPTV – návrh pasivní infrastruktury

6.3.3 Aktivní infrastruktura mimo distribuční centrum

Správná volba aktivních prvků u koncových zákazníků je jedním z pilířů úspěchu celého projektu, neboť síť je tak kvalitní, jak kvalitní je nejslabší článek celé sítě. Tedy kvalita nabízených služeb je závislá na kvalitě přístupové sítě a především od kvality koncových účastnických zařízení.

Neexistuje jednoznačné pravidlo, které by mi jako autorovi případové studie řeklo, takové zařízení použij. Z toho důvodu volba zařízení je v mé režii a s mojí představou nabízených služeb.

Jako domácí bránu (*home gateway*) neboli optickou ukončují jednotku ONT jsem zvolil zařízení dánské společnosti DKT Omega (v ČR distributor Profiber Networking), konkrétně model FTTH-2F-4P-S-V. Můj výběr krom věhlasného povědomí o této značce ovlivnily především parametry daného produktu ve své třídě. Konceptně je tato domácí brána sestavena jako stavebnice, přičemž jednotlivé funkční celky se nachází v samostatných modulech. Relativně jednoduchým zásahem lze vyměnit WAN či LAN rozhraní, přidat nebo odebrat modul překryvného vysílání CATV a další. Důležitým parametrem je optické WAN rozhraní SC 100/1000 Mb/s Bi-Di (upstream a downstream na různých vlnových délkách v plném duplexu), integrovaný switch s routerem se 4 LAN rozhraními RJ45 o rychlosti 10/100/1000 Mb umožňující připojení počítačů, VoIP telefonů a IP STB k datovým, hlasovým a obrazovým službám Triple Play. Integrace autonomní VoIP brány s dvěma rozhraními RJ11 umožňuje pro hlasové služby využít konvenční telefonní přístroje. Zařízení podporuje vzdálený dohled a správu (SNMP), automatickou konfiguraci DHCP, virtuální sítě VLAN, zabezpečení pomocí filtrování MAC adres (ACL) a samozřejmě řízení kvality QoS na třetí vrstvě TCP/IP. Pro podporu IPTV je implementován protokol multicastového vysílání IGMP v2 a IGMP v3.

Jako IP STB jsem zvolil produkt Juice Pro (v ČR distributor EDERA Group) a to z důvodu, že v jednom fyzickém zařízení jsou integrovány dva IPTV tunery včetně dvou nezávislých infračervených přijímačů (první v čelním panelu STB, druhý přes prodlužovací kabel až k druhému televiznímu přijímači), což umožňuje plnohodnotný příjem na dvou na sobě nezávislých televizních přijímačích. Koncový zákazník ocení podporu televizního vysílání ve formátu plného rozlišení HDTV (MPEG-2, H.264/AVC) a podporu stávajícího formátu SDTV. To při podpoře prostorového zvuku Dolby Digital. Přičemž STB disponuje řadou rozhraní HDMI/Toslink/SCART/4 USB 2.0/SATA/IDE/RF/Y-Pb-Pr. Z podpory SATA/IDE je zřejmé, že STB může být osazeno v případě potřeby pevným diskem a stane se tak plnohodnotným multimediálním centrem. Zařízení krom nezbytných protokolů pro funkci IPTV STB podporuje protokol RTSP, který je nezbytný pro doplňkovou službu VoD.

Připojení základní školy je realizováno odlišným způsobem, neboť je zde kladen požadavek na vyšší konektivitu a zároveň je hledán způsob, jak začlenit přístupový bod do již existující lokální sítě vystavěné na metalickém gigabitovém ethernetu. V centrálním bodu lokální sítě, tj. v tomto případě rack, v budově základní školy bude instalován inteligentní L3 switch od společnosti Allied Telesis model AT-9924T. Tento switch je vybaven 24 porty 10/100/1000BASE-T metalického ethernetu a čtyřmi sloty SFP. Do dvou z nich je instalován modul SFP 1000BASE-LX optického ethernetu s konektorem LC, přičemž každý z nich zajistí uplink do distribučního centra 1,25 Gb/s. Tento modul je od shodného výrobce a jeho produktové označení je AT-SPBD10-13. Oproti jiným objektům bude základní škola využívat obě optická vlákna v mikrokabelu. Distribuce obrazových služeb je v základní škole realizována shodným zařízením jako pro běžné koncové zákazníky popsané výše.

Tab. 6.3: Kalkulace prvků aktivní infrastruktury mimo CO (AON P2P IPTV)

Položka	Množství		Cena	
Domácí brána FTTH-2F-4P-S-V	221 ¹	ks	33 150	\$
IP STB Juice Pro	232 ²	ks	26 680	€
Switch L3 AT-9924T	1	ks	6 693	\$
SFP modul AT-SPBD10-13	2	ks	1 310	\$
Záložní zdroj pro switch AT-PWR01	1	ks	1 349	\$
CENA CELKEM:			1 416 214	Kč

6.3.4 Distribuční centrum (CO)

Distribuční centrum umístěné v budově sídla obce, není z geografického rozložení lokality umístěno nejvhodněji. To jsem zvolil proto, že v reálných podmínkách jsou distribuční centra menších poskytovatelů služeb Triple Play vždy umístěna tam, kde je jim to dovoleno, nebo kde to umístění představuje minimálními finančními náklady. Nelze aplikovat tezi: „Zde je střed obce, nechť tu stojí distribuční centrum.“

Technické zázemí distribučního centra optické přístupové sítě FTTH vychází z počtu koncových účastníků a z představy poskytovaných služeb Triple Play. Páteř distribučního centra je realizována 6 inteligentními L3 přepínači AT-x900-48FS od společnosti Allied Telesis. Každý z těchto přepínačů je vybaven 48 SFP fast ethernet sloty a 4 SFP Gigabit Ethernet sloty pro uplink. Je vhodné zmínit funkční a protokolovou vybavenost těchto zařízení. Označení L3 switch udává, že toto zařízení krom linkové vrstvy pracuje na vrstvě síťové – podporuje směrování. Maximální přepínací kapacita činí až 37,6 Gb/s. Důležitá je podpora VLAN a s tím souvisejících bezpečnostních mechanismů. Pro zajištění kvality služeb je k dispozici ACL a QoS.

¹ Množství odpovídá počtu aktivních zákazníků v první etapě projektu (tj. 222 - ZŠ)

² Množství odpovídá počtu v poznámce první a za předpokladu odběru 10 STB základní školou

Integrovaná je podpora multicastového vysílání. Podpora protokolu IP verze 6 zajistí případný snadný budoucí přechod od nedostačujícího protokolu IP verze 4. Pro potřeby mnou navrhovaného distribučního centra bude do každého SFP fast ethernet slotu přepínače instalován SFP modul AT-SPFXBD-LC-15. Tento modul splňuje požadavky na optické ethernetovské rozhraní 100BASE-BX Bi-Di (1550 nm Tx, 1310 nm Rx). Počet 6 přepínačů po 48 portech umožní připojení až 288 koncových účastníků. V mé přístupové síti i s plánovanou rezervou bude využito 271³ portů z přístupových switchů. Do 3 ze 4 uplink gigabit ethernet slotů SFP těchto přístupových směrovačů budou instalovány moduly AT-SPLX10 (1000BASE-LX). Tyto SFP simplexní moduly s LC rozhraním přenášejí upstream a downstream kanál po samostatných optických vláknech na vlnové délce 1310 nm. Tyto uplink rozhraní jsou připojeny do agregačního přepínače.

Rozhodl jsem se zvolit pro tento klíčový prvek distribučního centra inteligentní L3 přepínač Allied Telesis AT-x900-24XS. Tento přepínač je vybaven 24 SFP gigabit ethernet sloty a 2 rozšiřitelnými rozhraními, přičemž každé má kapacitu 30 Gb/s. Shodné parametry s použitými přístupovými přepínači nebudu opakovat, vyzdvihnu jen odlišné a pro projekt přístupové sítě klíčové. Zařízení podporuje 10 gigabitový ethernet, agregaci linek dle IEEE 802.3ad, vylepšená pokročilá podpora QoS a multicastových služeb, podpora zrcadlení portů a možnost nakonfigurovat zařízení jako DHCP server. Zaměříme se nyní na samotnou konfiguraci osazení SFP slotů tohoto agregačního přepínače. Pro agregaci uplink portů přístupových přepínačů je instalováno 18 optických modulů AT-SPLX10 (shodné s uplink rozhraním přístupových přepínačů), dále pak 2 optické moduly AT-SPBD10-14 (1000BASE-LX, 1490 nm Tx, 1310 Rx) – pro základní školu a nakonec 4 metalické moduly AT-SPTX (1000BASE-T), které budou sloužit pro interní potřeby managementu distribučního centra. Optická konektivita směrem do páteřní sítě (WAN) bude zajištěna instalovaným modulem AT-XPLR. Tento modul pracuje na 10 gigabitovém optickém ethernetu 10GBASE-LR a umožňuje skrz jednovidové optické vlákno připojení až do 10 km [5]. V případě nutnosti zvýšení přenosové kapacity do WAN lze v budoucnu do tohoto agregačního přepínače instalovat totožný modul a navýšit tak konektivitu na 20 Gb/s. Maximální přenosová kapacita přepínače do WAN může být až 2×30 Gb/s.

Z důvodu úspory finančních prostředků jsem se rozhodl nevybudovat vlastní řešení hlavní stanice (*head end*) obrazových a hlasových služeb – tj. IPTV a VoIP. Pro menšího poskytovatele služeb Triple Play je tato investice nerentabilní a de facto pro projekt likvidační. Rozhodl jsem se využít tedy outsourcingu neboli odkupu služeb on jiné společnosti. Našel jsem dva vhodné poskytovatele, firmu HDD s.r.o. a firmu PROZETA s.r.o. a pro tento projekt jsem vybral první z nich. Podmínkou bylo připojení na páteřní rozvody jejich partnerů a to je díky 820 přístupovým bodům

³ Koncových účastníků včetně rezervy je 272, základní škole je připojena na agregační switch

v ČR splněno, další podmínkou outsourcingu jest dostatečná přenosová kapacita do WAN, neboť multicastový proud IPTV tohoto poskytovatele činí cca 650–750 Mb/s, tento požadavek mnou navrhované síťové řešení také splňuje. Velice důležitou podmínkou je využití kompatibilních IP STB – a proto byly zvoleny set-top-boxy Juice Pro. Pro začlenění kompletní obrazových služeb včetně místního dohledového centra je nutný videoproxy server od HDD s.r.o. Tento videoproxy server s instalovaným softwarem umožňuje krom jiného sledovat vytíženost a oblibu jednotlivých TV programů a tím případně měnit programovou skladbu jednotlivých tematických balíčků. Zároveň videoproxy server umožní integraci služeb video na vyžádání VoD. Měsíční poplatek za tyto služby činí na jednoho koncového zákazníka přibližně 300–400 Kč. Obdobně bude realizován outsourcing hlasových služeb VoIP. Ty budou odkoupeny od společnosti IPEX a.s, od které bude odkoupena i pobočková telefonní ústředna s managementem a tarifikačním softwarem. Dovolím si zmínit, že přidělená telefonní čísla jednotlivým zákazníkům budou díky branám dostupná i z mobilních a pevných sítí. Měsíční poplatek za tuto službu činí na jednoho koncového zákazníka je závislý na množství hovoru uskutečněných mimo vlastní optickou přístupovou síť.

Veškerá pasivní a aktivní infrastruktura bude v distribučním centru uložena do stavebnicových stojanů Combi rack, které jsou plně modulární a lze je upravit podle potřeby umístěných zařízení či okolního prostoru. Optické mikrokabely budou vedeny v kabelových lávkách Defem.

Tab. 6.4: Kalkulace vybavení distribučního centra

Položka	Množství	Cena
Přepínač AT-x900-48FS	6 ks	25 578 \$
Přepínač AT-x900-24XS	1 ks	5 606 \$
SFP modul AT-SPFXBD-LC-15	271 ks	36 585 \$
SFP modul AT-SPLX10	36 ks	14 616 \$
SFP modul AT-SPBD10-14	2 ks	1 310 \$
SFP modul AT-SPTX	4 ks	1 392 \$
SFP modul AT-XPLR	1 ks	1 334 \$
Záložní zdroj pro switch AT-PWR01	7 ks	9 443 \$
Videoproxy server včetně instalace ⁴	1 ks	100 000 Kč
Pobočková ústředna včetně instalace ⁴	1 ks	75 000 Kč
Stojany Combi rack + Defem	1 ks	70 000 Kč
Záložní zdroj APC Smart-UPS 3000VA	2 ks	71 880 Kč
Ostatní pasivní infrastruktura	- -	50 000 Kč
CENA CELKEM:		1 996 568 Kč

⁴ Cena závisí na podmínkách uzavřené smlouvy, jedná se o přibližnou cenu

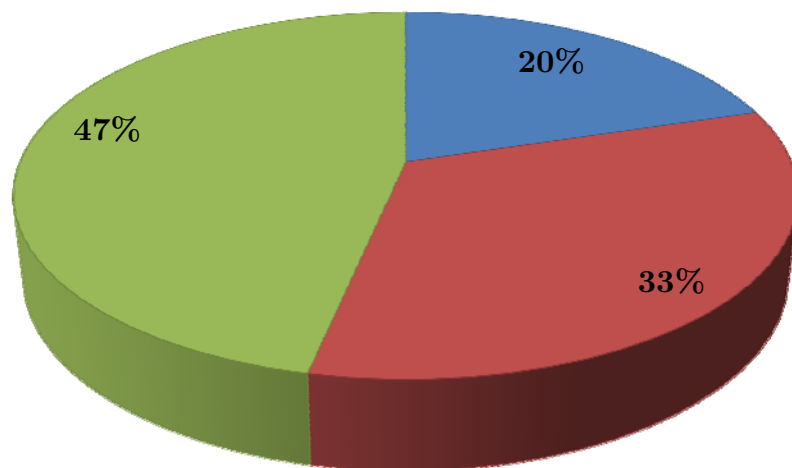
6.3.5 Finanční rozvaha

Celková finanční bilance první případové studie dává jednoznačný pohled na rozprostření investic v tomto projektu. Výstavba kompletní optické přístupové sítě FTTH včetně distribučního centra a nákupu koncových účastnických zařízení si vyžádá investici téměř **4,3 mil. Kč**, z čehož vyplývá průměrná investice na jednu účastnickou přípojku **15 734 Kč**. Lze konstatovat, že téměř polovinu všech vložených finančních prostředků do tohoto projektu pohltí výstavba distribučního centra a spolu s koncovými účastnickými zařízeními (domácí brány, IP STB) tvoří 4/5 všech investic. Proti tomu investice do přístupové sítě resp. pasivní infrastruktury tvoří jen zbývající 1/5 všech nákladů.

Tab. 6.5: Finanční rozvaha – AON P2P IPTV

Segment projektu	Náklady
Přístupová síť	866 636 Kč
Koncová zařízení	1 416 214 Kč
Distribuční centrum	1 996 568 Kč
CENA CELKEM	4 279 418 Kč

■ Přístupová síť ■ Koncová zařízení ■ Distribuční centrum



Obr. 6.3: Struktura investice projektu – AON P2P IPTV

6.4 Studie 2. – AON P2P CATV

6.4.1 Předmluva

Druhá případová studie představuje přístupovou síť realizovanou jako aktivní optická síť AON s topologií P2P pro datové a hlasové služby Triple Play a překryvnou pasivní síť PON s topologií P2MP pro distribuci obrazových služeb formou překryvného vysílání kabelové televize CATV je vhodným kompromisem realizace mezi první a třetí případovou studií. Neboť poskytovatele služeb Triple Play oprostí od vybudování finančně nákladného distribučního centra pro IPTV či poplatků za outsourcing této služby. Koncové zákazníky naopak oprostí od nutnosti pořizovat si kompatibilní IP STB. Zároveň je síť koncipována tak, že bez úprav pasivní infrastruktury je možný budoucí flexibilní přechod k technologii IPTV.

6.4.2 Pasivní infrastruktura

Pasivní infrastruktura optické přístupové sítě FTTH bude v obci Fektákov přivedena do 272 účastnických přípojek, z čehož 50 tvoří rezerva pro připravované stavební parcely. Přístupová síť je z geografického členění obce rozdělena na dvě části. První segment je přímo připojen do budovy distribučního centra (CO), druhý segment přístupové sítě je připojen do lokálního „pouličního“ rozvaděče (R), nepřímo tedy do distribučního centra. První segment sítě slučuje 167 účastnických přípojek, druhý pak 105, z čehož 50 tvoří výše zmíněná rezerva.

Kompletní pasivní infrastruktura je shodná s pasivní infrastrukturou navrženou v první případové studii pro obec Fektákov AON P2P IPTV v podkapitole 6.4.2. To je dáno podobností těchto dvou architekturou, co se týče přenosu datových a hlasových služeb Triple Play, kde je zachována propojení OLT a ONT jako P2P, i přes odlišný způsob šíření televizního vysílání separátním optickým vláknem se šířením analogového optického signálu vlákny v topologii P2MP směrem od distribučního centra k účastnickým přípojkám. Ne méně důležitý je pragmaticko-ekonomický aspekt vytvoření shodné (rozuměj podobné) pasivní infrastruktury, neboť nelze v budoucnu vyloučit přechod obrazových služeb Triple Play z překryvného vysílání CATV na technologii IPTV, která jako jediná dokáže reálně nabídnout interaktivní televizní vysílání a služby s tím spojené.

Ke každé účastnické zásuvce je přiveden právě jeden dvouvláknový mikrokabel řady MicroBlo značky Brand-Rex, jehož jednovlákna 8/125 μm splňující standard OS1 tedy doporučení ITU-T G.657.A2. To je garancí vhodnosti optických vláken do členitého terénu optické přístupové sítě FTTH. Ke každé koncové účastnické přípojce jsou dovedeny 2 optická vlákna, přičemž první slouží pro přenos datových a hlasových služeb Triple Play a druhé slouží pro překryvné vysílání kabelové televize, tedy přenos obrazových služeb. V přístupové síti existují celkem

4 nezávislé skupiny účastnických přípojek pro příjem překryvného vysílání CATV dané kaskádním zapojení jednotlivých splitterů do jednotlivých výstupů zvoleného optického zesilovače EDFA. Z toho vyplývá, že zvolený optický zesilovač EDFA má 4 výstupní rozhraní. Tato segmentace do čtyř nezávislých skupin (graficky stromové topologie) je z důvodu nepřekročení předepsaného maximálního útlumu přenosové optické trasy, který je z největší části dán vloženým útlumem splitterů a z menší části útlumu optických vláken, svárů a konektorů a tím dodržení předepsaného vstupního rozsahu výkonu optického signálu, který bezpečně rozpozná a dekoduje vstupní rozhraní domácí brány (ONT).

Dodavateli prvků pasivní infrastruktury zůstali shodně s první variantou případové studie **Abbas a.s.**, **Sitel s.r.o.** a **Šubrt cz s.r.o.** a k nim navíc pro dodávku PLC splitterů byla zvolena firma **SQS Vláknová optika a.s.**

Z důvodu zachování plné kompatibility s variantou přístupové sítě FTTH jako AON P2P IPTV, zmíněné výše v této podkapitole je zbytečné popisovat konfiguraci pasivní infrastruktury, která je shodná a je uvedena v podkapitole 6.4.2. Proto jsou dále popsány jen odlišnosti dané využitím technologie překryvného vysílání CATV.

Páteří propojení centrální bodů jednotlivých segmentů přístupové sítě, tj. distribučního centra a lokálního rozvaděče, je realizováno shodným multiductem typu 4×12/10 mm. Jádrem multiductu je tvořeno 4 mikrotrubičkami o vnitřním průměru 10 mm. Plně obsazeny budou 2 ze 4 mikrotrubiček multiductu, do kterých budou zafouknuty optické mikrokabely řady již MicroBlo tvořené 60 výše zmíněnými jednovidovými optickými vlákny. Spojení mezi CO a R bude realizováno 120 optickými vlákny oproti 216 v první případové studii, přičemž aktivních včetně plánované rezervy je 105 vláken určených pro přenos datových a hlasových služeb a 3 vlákna určená pro překryvné vysílání CATV. Zbýlý počet 12 vláken tvoří přídatnou rezervu, která je dána konfigurací počtu optických vláken v mikrokabelu. Kapacita multiductu umožňuje v budoucnu zafouknutých dodatečných optických mikrokabelů zpět na počet 216 optických vláken, jako v první případové studii. Toto propojení je vyznačeno na Obr. 6.3 modrou čarou a pod označením M-2/4-120.

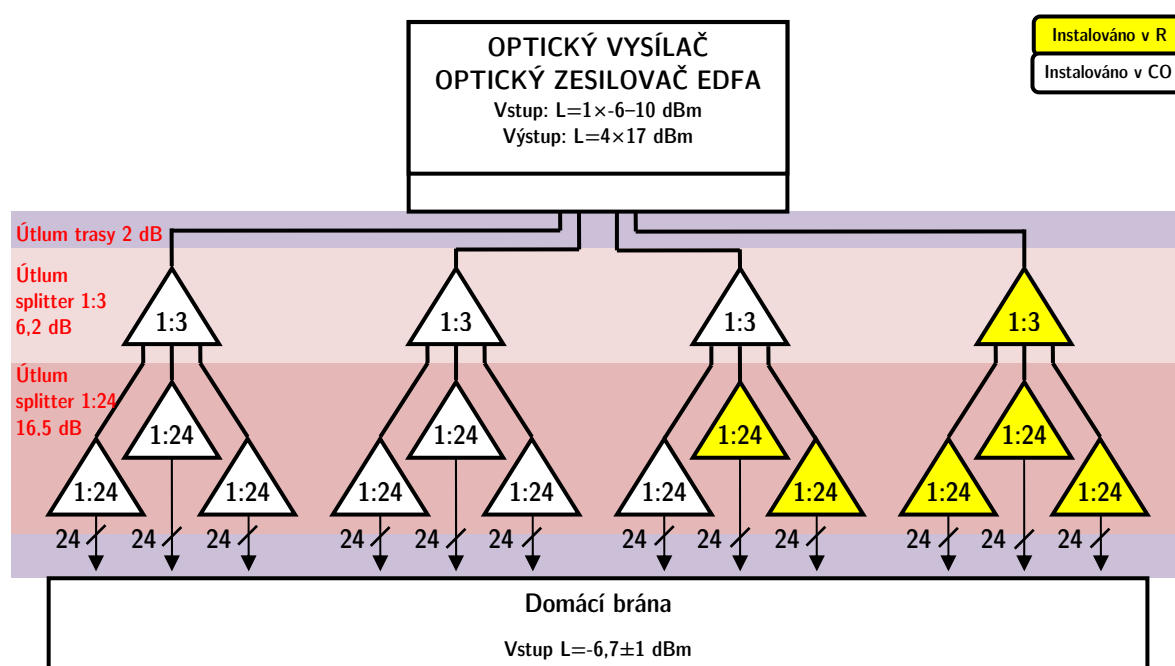
Účastnické přípojky připojené přímo pod distribuční centrum jsou realizovány totožně s případovou studií AON P2P IPTV s tím rozdílem, že v distribučním centru jsou druhá vlákna vedoucí k účastnickým přípojkám zapojena do kaskády splitterů a využita tak pro překryvné vysílání kabelové televize. Plně jsou využity 2 ze 4 výstupních rozhraní optického zesilovače EDFA. Do každého výstupního rozhraní je připojen splitter 1:3 a do každého výstupu splitteru 1:3 kaskádně zapojen další splitter 1:24. Tím je zaručeno připojení 72 účastnických přípojek na jedno výstupní rozhraní EDFA zesilovače. Tato kapacita však nevystačuje pro připojení 167 účastnických přípojek. Proto je ke třetímu výstupnímu rozhraní EDFA zesilovače připojen splitter 1:3 a k jednomu výstupu tohoto splitteru kaskádně splitter 1:24.

Tím je dosaženo kapacity až 168 účastnických přípojek pro první segment sítě. Ke dvěma zbývajícím výstupům splitteru jsou připojeny dvě optická vlákna vedoucí k lokálnímu rozvaděči R. Ke čtvrtému rozhraní optického zesilovače EDFA je přímo připojeno optické vlákno vedoucí též k lokálnímu rozvaděči R.

Lokální optický rozvaděč R je shodně realizovaný jako sloupkový optický rozvaděč produktové řady ORU 2 SIS s totožnou konfigurací kazetového systému SAFeTNET. V tomto rozvaděči je instalován jeden splitter 1:3 a pět splitterů 1:24, přičemž na 2 optická vlákna vedoucí ze třetího rozhraní optického zesilovače EDFA jsou zapojeny dva splittery 1:24. Třetí optické vlákno vedoucí ze čtvrtého rozhraní optického zesilovače EDFA je napojeno na kaskádu splitterů 1:3 a třikrát splitter 1:24. Což v součtu dává dostatečnou kapacitu pro připojení všech účastnických přípojek v druhém segmentu sítě.

Ke všem 55 účastnickým přípojkám jsou z výstupu splitterů v rozvaděči R navařeny optická vlákna sloužící k překryvnému vysílání kabelové televize. K dalším 50 parcelám budou vlákna ze splitterů navařeny až po zafouknutí vláken k těmto objektům při aktivaci nových klientů.

Z důvodu zařazení splitterů do přenosové trasy druhé optického vlákna pro překryvné vysílání kabelové televize je nutné při návrhu pasivní infrastruktury zohlednit tento nezanedbatelný vložený útlum včetně útlumu optického vlákna, svárů, pigtailů a spojek konektorů, tak abychom mohli garantovat v účastnické zásuvce požadované rozpětí úrovně signálu, které rozpozná a dekóduje vstupní rozhraní domácí brány. Vhodný návrh je naznačen v blokovém schématu na Obr. 6.4.



Obr. 6.4: Blokové schéma pasivní sítě překryvného vysílání CATV

Zvolený optický vysílač s integrovaným zesilovačem EDFA od výrobce PBN v konfiguraci EDFA-200-4-S vybavený 4 výstupními rozhraními nabízí výstupní úroveň signálu až 4×17 dBm. Zvolená kaskáda splitterů vytvořená pro všechny výstupní rozhraní shodně je tvořena splitterem s rozbočovacím poměrem 1:3, do kterého jsou zapojeny tři splitters s rozbočovacím poměrem 1:24. Výsledné zapojení kaskády splitterů představuje pro jednu účastnickou přípojku vložený útlum 22,7 dB (tj. $6,2 + 16,5$). Z toho vyplývá pokles úrovně přenášeného signálu na úroveň -5,7 dBm. Přičemž nutno podotknout, že kaskáda splitterů s vloženým útlumem 22,7 dB značí maximální vložený útlum, běžný vložený útlum dle specifikace výrobce je 21,7 dB. Pokud v návrhu zohledníme i útlum optického vlákna ($< 0,4$ dB/km), svárů ($< 0,05$ dB/svár), spojek a konektorů ($< 0,3$ dB/konektor), je nutné počítat s útlumem navíc v rozsahu 1–2 dB. Úroveň signálu v účastnické přípojce se pohybuje cca v rozsahu $-6,7 \pm 1$ dBm. To je vyhovující parametr dle specifikací domácí brány, jejíž selektivní rozsah úrovně vstupního signálu je -10 až 0 dBm.

Tab. 6.6: Kalkulace prvků pasivní infrastruktury (AON P2P CATV)

Položka	Množství	Cena
Mikrotrubičky z odolné 7/3,5 mm	50600 m	210 496 Kč
Mikrotrubičky z odolné 12/8 mm	1900 m	14 820 Kč
Multiduct 4x12/10 mm	250 m	22 750 Kč
Brand-Rex mikrokabel 8/125um, 2 vlákna	38000 m	195 700 Kč
Brand-Rex mikrokabel 8/125um, 48 vláken	1900 m	101 935 Kč
Brand-Rex Mikrokabel 8/125um, 60 vláken	540 m	33 048 Kč
Brand-Rex účastnický kabel PDC 08/125um 02 vl.	5000 m	62 000 Kč
Spojka trubičky 7 mm s pojistkou	250 ks	12 250 Kč
Spojka trubičky 12 mm s pojistkou	20 ks	1 220 Kč
Koncovka trubičky 7/3,5 mm	100 ks	3 400 Kč
Koncovka trubičky 10 mm	2 ks	120 Kč
Pigtail SC-08-1m	644 ks	52 808 Kč
Pigtail LC-08-1m	226 ks	23 730 Kč
Spojka SC-SC	200 ks	8 200 Kč
Ochrana optického sváru	1166 ks	6 938 Kč
Optický rozvaděč ORU 2 SIS + příslušenství	1 ks	30 000 Kč
Optický rozvaděč ORM 48 RD + příslušenství	5 ks	29 500 Kč
PLC splitter 1:3	4 ks	272 €
PLC splitter 1:24	12 ks	1 548 €
Lišty, montážní prvky, silikony	-	50 000 Kč
CENA CELKEM:		906 235 Kč

6.4.3 Aktivní infrastruktura mimo distribuční centrum

Správná volba aktivních prvků u koncových zákazníků je jedním z pilířů úspěchu celého projektu, neboť síť je tak kvalitní, jak kvalitní je nejslabší článek celé sítě. Tedy spolehlivost nabízených služeb bude závislá od kvality přístupové sítě a především koncových účastnických zařízení.

Neexistuje jednoznačné pravidlo, které by mi jako autorovi případové studie řeklo, takové zařízení použij. Z toho důvodu volba zařízení je v mé režii a s mojí představou nabízených služeb.

Domácí bránu jsem zvolil podobnou jako v první případové studii, to je dáno tím, že koncepce těchto dvou sítí je podobná a tato síť je vystavěna s myšlenkou budoucího přechodu od překryvného vysílání CATV k IPTV. Domácí brána je od shodné společnosti DKT Omega, v tomto případě model FTTH-CATV-2F-4P-S. Veškeré parametry jsou plně shodné s modelem FTTH-2F-4P-S-V uvedené v první případové studii v podkapitole 6.3.3 a proto není nutné je znova opakovat. Zaměřím se jen na modul příjmu překryvného vysílání CATV integrovaný v této domácí bráně. Ten má za úkol optický analogový signál převést na elektrický analogový signál v příslušných pásmech shodných s běžným pozemním a kabelovým vysílání televize. Toto pásmo se nachází ve frekvenčním rozsahu 45–862 MHz. Takto převedený signál je přiveden z modulu na výstupní konektor s běžnou impedancí pro televizní koaxiální rozvody $75\ \Omega$ a s úrovní elektrického signálu 88 dB μ V. Koaxiálními kabely v domácnostech je přiveden k televizním přijímačům a STB. Nutno podotknout, že i když hovořím o analogovém signálu, neznamená to příjem pouze analogového televizního vysílání. Naopak přes analogový kanál je přenášeno digitální pozemní či kabelové vysílání DVB-T resp. DVB-C. Nutno zvážit, kterou z variant digitálního vysílání využít, nebo případně jejich kombinaci.

Pořízení kompatibilních televizních přijímačů s vestavěným tunerem DVB-T či DVB-C, případně set-top-boxů s těmito tunery je přeneseno na koncové zákazníky, čímž vzniká výrazná finanční úspora oproti příjmu televize přes IPTV a projekt se stává více rentabilní.

Připojení základní školy je realizováno podobně jako v první případové studii v podkapitole 6.3.3. S tím rozdílem, že z důvodu snížení síťového trafiku o datový provoz multicastového vysílání IPTV je uplink rozhraní switchu sníženo ze dvou na jeden SFP modul 1000BASE-LX, tzn. konektivita do distribučního centra 1×1,25 Gb/s. Uvolněné optické vlákno je využito pro šíření překryvného vysílání CATV, přičemž v budově školy je převod do koaxiálních rozvodů zajištěn optickým přijímačem OPTI 50/51 od společnosti Vector, který je vybaven dvěma nezávislými koaxiálními výstupy CATV s fixním či nastavitelným zesílením úrovně signálu.

Tab. 6.7: Kalkulace prvků aktivní infrastruktury mimo CO (AON P2P CATV)

Položka	Množství		Cena	
Domácí brána FTTH-CATV-2F-4P-S	221	ks	37 570	€
Switch L3 AT-9924T	1	ks	6 693	\$
SFP modul AT-SPBD10-13	1	ks	655	\$
Záložní zdroj pro switch AT-PWR01	1	ks	1 349	\$
Optický přijímač CATV OPTI 50/51	1	ks	70	€
CENA CELKEM:			1 125 859	Kč

6.4.4 Distribuční centrum (CO)

Distribuční centrum je téměř totožné pro poskytování datových a hlasových služeb Triple Play jako v první případové studii AON P2P IPTV. Návrh je uveden v podkapitole číslo 6.3.4. Z toho důvodu se zaměřím pouze na vybudování zázemí pro poskytování obrazových služeb formou překryvného vysílání CATV.

Mým cílem je navrhnout kompletní infrastrukturu a sestavení hlavní stanice včetně příjmu televizního vysílání, které nabídne přibližně stejný rozsah televizních stanic, jako nabízejí větší kabeloví operátoři. Rozhodl jsem se pro příjem televizního vysílání ze satelitního digitálního vysílání DVB-S a DVB-S2 a to jak ve standardním rozlišení SDTV, tak i ve vysokém rozlišení HDTV. Podpora DVB-S2 je při výstavbě nové infrastruktury nezbytná a to z důvodu, že v budoucnu nebude nutné do infrastruktury zasahovat. Přejít na DVB-S2 bude nevyhnutelný, neboť je vhodnější pro přenos HDTV a je zřejmé na první pohled, že každým rokem se počet stanic vysílající v tomto formátu zvětšuje.

Příjem digitálního satelitního vysílání je realizován dvěma parabolickými satelitními anténami typu Toroidal. Tvar této antény s instalovaným odražečem směřuje maximální možný získaný výkon signálu do ohniska antény, kde je umístěn vnější LNB konvertor, který krom nezbytného zesílení a převedení signálu do nižšího frekvenčního pásma, je uzpůsoben monoliticky tak, že obsahuje 8 separátních výstupů. To znamená, že mnou navržené distribuční centrum bude moci přijímat digitální satelitní vysílání až ze 16 multiplexů z téže pozice na geostacionární dráze.

Pro zpracování přijatého digitálního vysílání byla zvolena profesionální přijímací zařízení BLANKOM edice B-line s podporou vzdálené správy přes SNMP. Jedná se o stavebnicový systém, který umožňuje vytvořit hlavní stanici podle svých požadavků. Před samotným návrhem bylo nutné, abych vybral satelitní platformu, kterou budu chtít distribuovat koncovým účastníkům. Zvolil jsem programy paketu CS LINK a SKYLINK. V PŘÍLOHA A: KONFIGURACE PŘÍJMU DVB-S/S2 je podrobný přehled programové nabídky včetně konfigurace. Z přílohy je patrné, že CO CATV zpracovává v první etapě výstavby FTTH pouze 12 multiplexů paketu CS LINK/SKYLINK. Rozhodl jsem se z důvodu snížení nákladů pro jednotlivé klienty použít pro distribuci televizního vysílání formou DVB-T nikoliv DVB-C.

Jelikož není cílem této bakalářské práce podrobně popisovat hlavní stanici CATV, jednotlivé komponenty pro zpracování příjmu DVB-S a podružných signálů jsou uvedeny pouze v přehledové tabulce níže.

Tab. 6.8: Popis zařízení tvořící hlavní stanici pro CATV

Položka	Účel zařízení
Blankom STB 309	Příjem a dekódování 1 multiplexu DVB-S/-S2 a jeho překódování do 1 multiplexu DVB-T. Integrovaný slot CI pro vložení dekódovací karty pro příjem placených kanálů. Navrhovaný počet: 12
Blankom AMB 307	DVB-T modulátor pro analogový televizní signál v základním pásmu. Běžně používáno pro distribuci místních informačních kanálů CATV operátora. Navrhovaný počet: 2
Blankom ITB 100	Převodník IP do 6 nezávislých základních televizních pásem. Navrhovaný počet: 1
Blankom HCB 200	Řídící a napájecí jednotka pro sestavy řady B-line Navrhovaný počet: 1
Blankom ASB 001	Alarm modul pro HCB 100 Navrhovaný počet: 1
Blankom PCB 190	Výstupní pasivní slučovač. Vybaven 8 vstupy. Navrhovaný počet: 2
Blankom ACB 192	Výstupní aktivní slučovač. Vybaven 2 vstupy. Navrhovaný počet: 1
Blankom SSK 124	Montážní skříň pro 24 kazet včetně chlazení Navrhovaný počet: 1
Příslušenství	Montážní plech, držák kazet, montážní sada, zaslepovací díl, kompletní kabeláž Navrhovaný počet: 1

Po dekódování digitálního vysílání DVB-S/DVB-S2, jeho převodu na DVB-T a sloučení jednotlivých kanálů na společné médium – koaxiální kabel, který je přiveden do optického vysílače s integrovaným zesilovačem EDFA je elektrický signál převeden na optický a přes kaskádu splitter distribuován přes optickou přístupovou síť k jednotlivým domácím bránám. Zvolený optický vysílač a zesilovač EDFA je od výrobce PBN v konfiguraci EDFA-200-4-S vybavený 4 výstupními rozhraními nabízí výstupní úroveň signálu až 4×17 dBm.

Tab. 6.9: Kalkulace vybavení distribučního centra

Položka	Množství	Cena
Přepínač AT-x900-48FS	6 ks	25 578 \$
Přepínač AT-x900-24XS	1 ks	5 606 \$
SFP modul AT-SPFXBD-LC-15	271 ks	36 585 \$
SFP modul AT-SPLX10	36 ks	14 616 \$
SFP modul AT-SPBD10-14	1 ks	655 \$
SFP modul AT-SPTX	4 ks	1 392 \$
SFP modul AT-XPLR	1 ks	1 334 \$
Záložní zdroj pro switch AT-PWR01	7 ks	9 443 \$
PBN LT1550 (EDFA-200-4-SC)	1 ks	4 100 \$
Blankom – kompletní řešení hlavní stanice	-	190 000 Kč
Pobočková ústředna včetně instalace	1 ks	75 000 Kč
Stojany Combi rack + Defem	1 ks	70 000 Kč
Záložní zdroj APC Smart-UPS 3000VA	2 ks	71 880 Kč
Ostatní pasivní infrastruktura	- ks	50 000 Kč
CENA CELKEM:		2 145 133 Kč

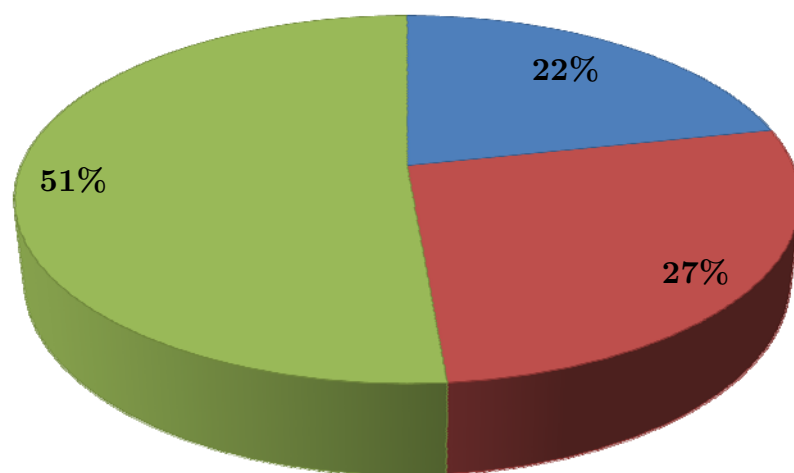
6.4.5 Finanční rozvaha

Celková finanční bilance druhé případové studie dává jednoznačný pohled na rozproštění investic v tomto projektu. Výstavba kompletní optické přístupové sítě FTTH včetně distribučního centra a nákupu koncových účastnických zařízení si vyžádá investici téměř **4,2 mil. Kč**, z čehož vyplývá průměrná investice na jednu účastnickou přípojku **15 358 Kč**. Lze konstatovat, že přes polovinu všech vložených finančních prostředků do tohoto projektu pohltní výstavba distribučního centra a spolu s koncovými účastnickými zařízeními (domácí brány) tvoří téměř 4/5 všech investic. Proti tomu investice do přístupové sítě resp. pasivní infrastruktury tvoří jen něco málo přes 1/5 všech nákladů.

Tab. 6.10: Finanční rozvaha – AON P2P CATV

Segment projektu	Náklady	
Přístupová síť	906 235	Kč
Koncová zařízení	1 125 859	Kč
Distribuční centrum	2 145 133	Kč
CENA CELKEM	4 177 227	Kč

■ Přístupová síť ■ Koncová zařízení ■ Distribuční centrum



Obr. 6.6: Struktura investice projektu – AON P2P CATV

6.5 Studie 3. – PON P2MP CATV

6.5.1 Předmluva

Třetí případová studie představuje přístupovou síť realizovanou jako pasivní optickou síť PON s topologií P2MP. Tato síť by měla představovat nejvíce ekonomickou variantu realizace na úkor přenosové kapacity k jednomu účastníkovi. O ekonomickém přínosu se však v takto malých přístupových sítích dá polemizovat. Představuje však vhodnou perspektivu pro budoucí přechod k architektuře WDM PON.

6.5.2 Pasivní infrastruktura

Pasivní infrastruktura optické přístupové sítě FTTH bude v obci Fektákov přivedena do 272 účastnických přípojek, z čehož 50 tvoří rezerva pro připravované stavební parcely. Přístupová síť je z geografického členění obce a z důvodů návrhu sítě jako PON rozdělena na čtyři části. První segment je přímo připojen do budovy distribučního centra (CO), druhý, třetí a čtvrtý segment přístupové sítě je připojen do lokálních „pouličních“ rozvaděčů (R1–R3), nepřímo tedy do distribučního centra. První segment sítě (CO) slučuje 119 účastnických přípojek, druhý segment sítě (R1) 48 účastnických přípojek, třetí segment (R2) pak 66 účastnických přípojek, z čehož 22 tvoří část výše zmíněné rezervy a nakonec poslední čtvrtý segment sítě (R3) je tvořen 39 účastnickými přípojkami, z čehož 28 tvoří zbytek výše zmíněné rezervy.

Kompletní pasivní infrastruktura je dimenzována s ohledem na možný budoucí přechod k architektuře 10G-EPON s jistým výhledem do deseti k přechodu na WDM PON, který přes fyzickou topologii P2MP dokáže, díky hustému dělení vlnových délek, každému uživateli poskytnout přes jedno sdílené optické vlákno nezávislé a nesdílené propojení P2P mezi OLT-ONT. Přičemž ideou jest na 100 km 1000 účastníků a každému účastníkovi 1 Gb/s. V přístupové síti FTTH je využita shodná technologie výstavby pasivní infrastruktury – mikrotrubičkování, jejíž výhodné aspekty byly představeny v první případové studii v podkapitole 6.4.2.

Celková koncepce pasivní infrastruktury přístupové sítě realizované jako PON P2MP CATV je z důvodu finanční úspory aktivní infrastruktury v distribučním centru realizována tak, že datové a hlasové služby jsou vedeny po separátním optickém vlákne vůči službám obrazovým. Nezasvěcenému čtenáři se to může jevit využití dvou vláken oproti jednomu jako paradox. To však není pravda a své argumenty zdůvodním. V rámci poskytování datových a hlasových služeb je zvolen maximální logický dělicí poměr architektury EPON, což znamená, že na jeden účastnický strom je připojeno přes jediné optické vlákno do rozhraní OLT max. 32 účastnických přípojek. Proti tomu technologie překryvné vysílání kabelové televize není vázána logickým dělicím poměrem připojených účastníků k zesilovači EDFA,

ale jen maximálním vloženým útlumem trasy ke každé účastnické přípojce. De facto lze dosáhnout třikrát větší koncentrace účastnických přípojek na jedno rozhraní EDFA, oproti jednomu rozhraní OLT architektury EPON. Z toho vyplývá, že využitím jednoho společného vlákna pro všechny služby Triple Play v této konkrétní lokalitě, by při mírné úspoře optických vláken zvýšilo náklady na zesilovače EDFA, neboť jedno výstupní rozhraní zesilovače by muselo být přes WWDW coupler sloučeno s jedním rozhraním OLT.

Ke každé účastnické zásuvce je tedy přiveden jeden dvouvláknový mikrokabel řady MicroBlo značky Brand-Rex, jehož jednovidová vlákna 8/125 μm splňující standard OS1 tedy doporučení ITU-T G.657.A2. To je garancí vhodnosti optických vláken do členitého terénu optické přístupové sítě FTTH. Ke každé koncové účastnické přípojce jsou dovedeny 2 optická vlákna, přičemž první slouží pro přenos datových a hlasových služeb Triple Play a druhé slouží pro překryvné vysílání kabelové televize, tedy přenos obrazových služeb.

V přístupové síti bude existovat celkem 10 nezávislých účastnických stromů pro datové a hlasové služby a celkem 5 nezávislých stromů pro překryvné vysílání kabelové televize.

Dodavateli prvků pasivní infrastruktury jsou shodní jako ve druhé variantě případové studie.

Páteří propojení centrální bodů jednotlivých segmentů přístupové sítě, tj. distribučního centra (CO) a lokálních rozvaděčů (R1–R3), je jako jediné realizováno z odolněnou tlustostěnnou mikrotrubičkou typu 12/8 mm, jejíž vnitřní průměr 8 mm poskytuje dostatečnou kapacitu pro případný budoucí růst přístupové sítě a tím i rostoucí požadavek na počet optických vláken mezi rozvaděči a distribučním centrem. Spojení mezi CO a R1 je realizováno mikrokabelem řady MicroBlo tvořený 4 jednovidovými optickými vlákny. Spojení mezi CO a R2 je realizováno řadově shodným mikrokabelem o dvojnásobném počtu optických vláken. Propojení mezi rozvaděči R2 a R3 je realizováno shodně jako v případě CO a R1. Tato propojení jsou vyznačena na Obr. 6.9 modrou čarou s příslušným označením 1×T-8 a 1×T-4.

Nástěnné rozvaděče (R-A až R-E) instalované v bytových komplex (Y1–Y5) jsou připojeny do přístupové sítě mikrokabelem řady MicroBlo se 2 optickými vlákny. Tento mikrokabel je zafouknut do odolněné tlustostěnné mikrotrubičky typu 7/3,5 mm o vnitřním průměru 3,5 mm. V každém nástěnném rozvaděči Micos ORM 48 RD jsou uloženy dva PLC splittery 1:24, přičemž jeden slouží pro rozvod datových a hlasových služeb, druhý pak pro překryvné vysílání kabelové televize. Z optického rozvaděče je ke každé bytové jednotce v bytovém komplexu přiveden účastnický dvou-vláknový drob kabel, který je zakončen až v ONT resp. domácí bráně.

Veškeré objekty připojené přímo do distribučního centra (tj. X001–X006, K1–K5, základní a mateřská škola) jsou připojeny shodnými mikrotrubičkami a mikrokabely jako jednotlivé bytové komplexy.

Lokální optické rozvaděče R1, R2 a R3 jsou realizované jako sloupcové optické rozvaděče produktové řady ORU 1 SIS firmy MICOS. Tyto pilířové rozvaděče ve venkovním provedení s vestavěným výklopným rámem pro snadnější přístup ke kazetovému systému umožňují uložení až 144 ks optických svárů, což je kapacita více než dostačující.

K lokálnímu rozvaděči R1 je od distribučního centra zafouknut 4 vláknový mikrokabel, přičemž 2 vlákna jsou použita pro přenos datových a hlasových služeb a jedno vlákno je použito pro překryvné vysílání CATV. Zbývající nevyužitá vlákna tvoří redundantní rezervu, která je dána konfigurací použitého mikrokabelu. V rozvaděči jsou instalovány splittery 1:32 a 1:16 pro rozvod datových a hlasových služeb a splitter 1:64 pro překryvné vysílání CATV.

K lokálnímu rozvaděči R2 je od distribučního centra zafouknut 8 vláknový mikrokabel, přičemž 3 vlákna jsou použita pro přenos datových a hlasových služeb a jedno vlákno je použito pro překryvné vysílání CATV. Zbývající 4 vlákna jsou navařeny na čtyřvláknový mikrokabel zafouknutý k lokálnímu rozvaděči R3. V rozvaděči jsou instalovány 2 splittery 1:32 a jeden 1:2 pro rozvod datových a hlasových služeb. Pro překryvné vysílání CATV je instalován splitter 1:3 a tři splittery 1:24.

K lokálnímu rozvaděči R3 je od lokálního rozvaděče R2 zafouknut 4 vláknový mikrokabel, přičemž 2 vlákna jsou použita pro přenos datových a hlasových služeb a zbývající 2 vlákna jsou použita pro překryvné vysílání CATV. V rozvaděči jsou instalovány splittery 1:32 a 1:8 pro rozvod datových a hlasových služeb a 2 splittery 1:24 pro překryvné vysílání CATV.

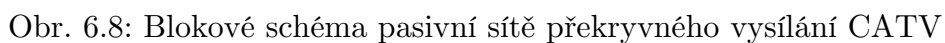
Veškeré objekty připojené do lokálních rozvaděčů R1, R2 a R3 jsou připojeny zodolněnými tlustostěnnými mikrotrubičkami 7/3,5 mm a dvouvláknovými mikrokabely.

Z důvodu zařazení splitterů do přenosové trasy datových a hlasových služeb realizovaných přes EPON i do přenosové trasy služeb obrazových realizovaných jako překryvné vysílání CATV, je nutné při návrhu pasivní infrastruktury zohlednit tento nezanedbatelný vložený útlum včetně útlumu optického vlákna, svárů, pigtailů a spojek konektorů, tak abychom mohli garantovat v účastnické zásuvce požadované rozpětí úrovně signálu, kterou rozpozná a dekoduje vstupní rozhraní domácí brány.

Hlavním uzlem sítě je zvoleno optické linkové zakončení OLT od společnosti Allied Telesis model iMAP 9400 splňující standart IEEE 802.3ah síťové architektury EPON. Jeho podrobná specifikace a jeho parametry jsou uvedeny v podkapitole 6.5.4.

To důležité pro návrh pasivní infrastruktury je zvolení dělicího poměru na jedno síťové rozhraní OLT, v tomto případě je zvoleno nejvyšší možné – 32 účastnických přípojek v jednom stromu sítě. Linková rychlost EPON architektury zvednutá z nominálních 1000 Mb/s na 1250 Mb/s je dělena mezi 32 účastníků, tj. teoreticky 39 Mb/s na účastníka. Tento parametr je hypotetický, neboť je v něm zahrnuta síťová režie. A zároveň je vhodné si uvědomit, že prakticky nenastane situace, kdy by všichni uživatelé ve stromě současně vytvořili tak velký příchozí a odchozí provoz v síti. De facto je 39 Mb/s resp. její snížená úroveň jen vodítkem pro nastavení kvality služeb. Přičemž lze poskytovat vysokorychlostní připojení k internetu s rychlostí např. 100/100 Mb/s. Vše záleží na nastaveném stupni agregace síťové kapacity mezi uživateli, což je dáno poměrem ekonomické rentability a konkurence schopnosti služby. Fyzické rozhraní OLT a ONU je realizováno podle specifikace 1000BASE-PX20, které nám krom jiného udává rozsah citlivosti na straně vysílače v dBm a rozsah úrovně vysílaného signálu na straně vysílače pro OLT i ONT. To jsou nezbytné parametry pro návrh pasivní infrastruktury. Přičemž logickou max. vzdálenost 20 km v této malé lokalitě uvažovat nemusíme. Z výše uvedeného vyplývá, že doporučený max. útlum celé přenosové trasy mezi OLT a ONT by měl být menší, než 24 dB [5] a opačný problém – nebezpečně nízký útlum. Proto při návrhu této sítě musel být ve dvou případech zařazen útlumový článek, aby nedošlo k poškození přijímačů na obou stranách trasy. Kompletní návrh pasivní infrastruktury z hlediska útlumu trasy včetně výpočtu předpokládaného útlumu jednotlivých větví sítě je na Obr. 6.7. Z obrázku je zřejmé, že základní škola je připojena přímo ke splitteru 1:2, což zajistí dostatečnou konektivitu a minimální agregaci připojení.

Zvolený optický vysílač s integrovaným zesilovačem EDFA od výrobce PBN v konfiguraci EDFA-200-5-S vybavený 5 výstupními rozhraními nabízí výstupní úroveň signálu až 5×17 dBm. Zvolená kaskáda splitterů vytvořená pro čtyři výstupní rozhraní splitterem s rozbočovacím poměrem 1:3, do kterého jsou zapojeny tři splittery s rozbočovacím poměrem 1:24. Výsledné zapojení kaskády splitterů představuje pro jednu účastnickou přípojku vložený útlum 22,7 dB ($6,2 + 16,5$). Z toho vyplývá pokles úrovně přenášeného signálu na úroveň -5,7 dBm. Přičemž nutno podotknout, že kaskáda splitterů s vloženým útlumem 22,7 dB značí maximální vložený útlum, běžný vložený útlum dle specifikace výrobce je 21,7 dB. Pokud v návrhu zohledníme i útlum optického vlákna ($< 0,4$ dB/km), svárů ($< 0,05$ dB/svár), spojek a konektorů ($< 0,3$ dB/konektor), je nutné počítat s útlumem navíc v rozsahu 1–2 dB. Úroveň signálu v účastnické přípojce se pohybuje cca v rozsahu $-6,7 \pm 1$ dBm. Tato hodnota platí přibližně i pro páté výstupní rozhraní zesilovače, kde splitter 1:64 představuje vložený útlum 21 dB. To je v obou případech vyhovující parametr dle specifikací domácí brány, jejíž selektivní rozsah úrovně vstupního signálu je -10 až 0 dBm. V blokovém schématu na Obr. 6.8 je útlum navržené přenosové trasy pro překryvné vysílání vypočítán.



Tab. 6.11: Kalkulace prvků pasivní infrastruktury (PON P2MP CATV)

Položka	Množství		Cena	
Mikrotrubičky z odolné 7/3,5 mm	21500	m	89 440	Kč
Mikrotrubičky z odolné 12/8 mm	1025	m	7 995	Kč
Brand-Rex mikrokabel 8/125um, 2 vlákna	23500	m	121 025	Kč
Brand-Rex mikrokabel 8/125um, 4 vlákna	790	m	4 938	Kč
Brand-Rex Mikrokabel 8/125um, 8 vláken	270	m	2 376	Kč
Brand-Rex účastnický kabel PDC 08/125um 02 vl.	5000	m	62 000	Kč
Spojka trubičky 7 mm s pojistkou	120	ks	5 880	Kč
Spojka trubičky 12 mm s pojistkou	10	ks	610	Kč
Koncovka trubičky 7/3,5 mm	100	ks	3 400	Kč
Pigtail SC-08-1m	644	ks	52 808	Kč
Pigtail LC-08-1m	15	ks	1 575	Kč
Spojka SC-SC	200	ks	8 200	Kč
Ochrana optického sváru	1250	ks	7 438	Kč
Optický rozvaděč ORU 1 SIS + příslušenství	3	ks	60 000	Kč
Optický rozvaděč ORM 48 RD + příslušenství	5	ks	29 500	Kč
PLC Splitter 1:2	7	ks	322	€
PLC Splitter 1:3	4	ks	272	€
PLC Splitter 1:8	1	ks	59	€
PLC Splitter 1:12	2	ks	178	€
PLC Splitter 1:16	1	ks	101	€
PLC Splitter 1:24	16	ks	2 064	€
PLC splitter 1:32	4	ks	592	€
PLC splitter 1:64	1	ks	355	€
Útlumový článek, SC/APC, samec-samice, 6 dB	1	ks	438	Kč
Útlumový článek, SC/APC, samec-samice, 10 dB	1	ks	438	Kč
Lišty, montážní prvky, silikony	-	-	50 000	Kč
CENA CELKEM:			610 579	Kč

6.5.3 Aktivní infrastruktura mimo distribuční centrum

Správná volba aktivních prvků u koncových zákazníků je jedním z pilířů úspěchu celého projektu, neboť síť je tak kvalitní, jak kvalitní je nejslabší článek celé sítě. Tedy kvalita nabízených služeb bude závislá na kvalitě přístupové sítě a především na kvalitě koncových účastnických zařízení.

Neexistuje jednoznačné pravidlo, které by mi jako autorovi případové studie řeklo, takové zařízení použij. Z toho důvodu volba zařízení je v mé režii a s mojí představou nabízených služeb.

Výběr domácí brány byl relativně omezen specifikem vystavěné pasivní infrastruktury a to především tím, že optická přístupová síť FTTH v obci Fektákov je tvořená zdvojenou topologií P2MP. To značí, že datové a hlasové služby vedou ke koncovému účastníkovi po jednom vlákně a služby obrazové (CATV) po druhém optickém vlákně. Z toho důvodu jsem v rámci finanční úspory hledal domácí bránu, která by takové spojení umožňovala, jelikož jsem nechtěl použít separátně domácí bránu pro datové a hlasové služby a optický přijímač CATV pro obrazové služby. Volba byla jednoznačná a to domácí brána od japonské společnosti Allied Telesis model AT-iMG616SRF+. Principiálně ani výbavou se neliší od použité domácí brány ve druhé případové studii uvedené v podkapitole 6.4.3, proto nebudu dále tyto parametry opakovat. Jediný patrný rozdíl jsou dvě nezávislá optická rozhraní. Jedno SC pro EPON a druhé SC pro překryvné vysílání CATV.

Připojení základní školy je realizováno v podobném duchu jako v první a druhé případové studii, přesto jej zmíním, neboť využitím architektury EPON se daná konfigurace změnila. Optické vlákno je přivedeno do media konvertoru Allied Telesis model AT-ON1000, kde je rozhraní optické sítě EPON konvertována na běžné metalické rozhraní gigabitového ethernetu. To je propojeno s uplink portem switchu od společnosti Allied Telesis model AT-9924T. Tento switch je vybaven 24 porty 10/100/1000BASE-T metalického ethernetu a čtyřmi sloty SFP. Do jednoho slotu bude instalován modul SFP metalické gigabitového ethernetu. Toto rozhraní bude použito jako uplink port. Distribuce překryvného vysílání CATV je shodná s druhou případovou studií (viz podkapitola 6.4.3).

Tab. 6.12: Kalkulace prvků aktivní infrastruktury mimo CO (PON P2MP CATV)

Položka	Množství		Cena	
Domácí brána AT-iMG616SRF+	221	ks	57 460	\$
Media konvertor AT-ON1000	1	ks	541	\$
Switch L3 AT-9924T	1	ks	6 693	\$
SFP modul AT-SPTX	1	ks	348	\$
Záložní zdroj pro switch AT-PWR01	1	ks	1 349	\$
Optický přijímač CATV OPTI 50/51	1	ks	70	€
CENA CELKEM:			1 130 467	Kč

6.5.4 Distribuční centrum (CO)

Distribuční centrum je téměř totožné pro poskytování obrazových služeb formou překryvného vysílání CATV v případové studii AON P2P CATV uvedené v podkapitole číslo 6.4.4 a shodné pro hlasové služby v první i druhé případové studii uvedené podrobně v podkapitole číslo 6.3.4. Z toho důvodu se zaměřím pouze podrobně na vybudování zázemí pro poskytování datových služeb přes EPON.

Technické zázemí distribučního centra optické přístupové sítě FTTH vychází z počtu koncových účastníků a z představy poskytovaných služeb Triple Play. Páteř distribučního centra je tvořena jedním jediným zařízením – multi inteligentní přístupovou platformou iMAP 9400 společnosti Allied Telesis, která je koncipovaná jako stavebnicový systém, který pomocí zásuvných modulů umožňuje vytvořit ideální konfiguraci pro mnou navrhovanou přístupovou síť v obci Fektákov. iMAP 9400 umožňuje osadit až 7 služebních modulů (*service module*), až 2 síťové moduly (*network module*) a 1 řídicí a dohledový modul (*control module*). Podle mého návrhu je instalováno 5 služebních modulů typu GEAPON2 AT-TN-118, přičemž každý z nich tvoří „kořen“ konektivity dvou nezávislých kaskádně se větvícím PON stromům. Z toho vyplývá, že přístupová síť je tvořena 10 stromy, což bylo již naznačeno na Obr. 6.7 na 73 stránce. Dále je instalován řídicí modul iMAP CFC24 (AT-TN-401), síťový modul AT-TN308-A zajišťující 10 Gb/s WAN optickou ethernet konektivitu a hlavní a záložní zdroj AT-TN-R111-50 a AT-TN-R112-50.

Nutné zmínit drobnou úpravu konfigurace optického vysílače a zesilovače EDFA pro distribuci obrazových služeb formou překryvného vysílání CATV. Čtyř portový zesilovač EDFA je nahrazen pěti portovým zesilovačem téže produktové řady se shodnými parametry.

Tab. 6.13: Kalkulace vybavení distribučního centra

Položka	Množství	Cena
iMAP 9400 AT-TN-251G	1 ks	1 944 \$
iMAP 9400 AT-TN-118	5 ks	24 770 \$
iMAP 9400 AT-TN-308	1 ks	2 970 \$
iMAP 9400 AT-TN-401	1 ks	6 194 \$
iMAP 9400 AT-TN-R111-50	1 ks	2 514 \$
iMAP 9400 AT-TN-R112-50	1 ks	1 676 \$
PBN LT1550 (EDFA-200-5-SC)	1 ks	4 500 \$
Blankom – kompletní řešení hlavní stanice	- -	190 000 Kč
Pobočková ústředna včetně instalace	1 ks	75 000 Kč
Stojany Combi rack + Defem	1 ks	70 000 Kč
Záložní zdroj APC Smart-UPS 3000VA	2 ks	71 880 Kč
Ostatní pasivní infrastruktura	- ks	50 000 Kč
CENA CELKEM:		1 214 536 Kč

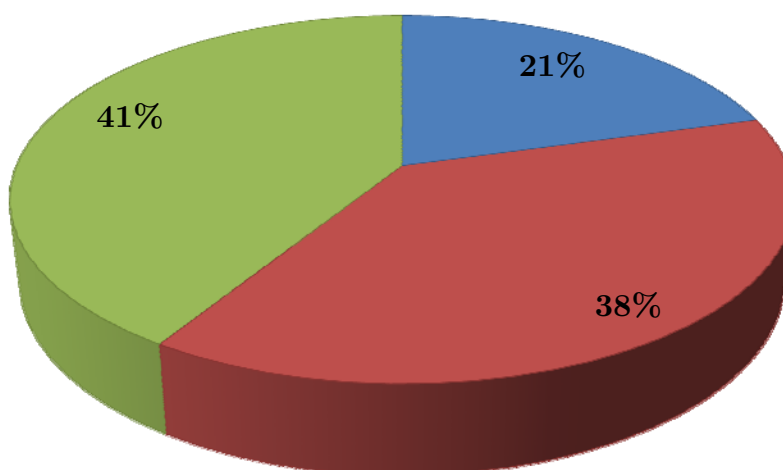
6.5.5 Finanční rozvaha

Celková finanční bilance třetí případové studie dává jednoznačný pohled na rozproštění investic v tomto projektu. Výstavba kompletní optické přístupové sítě FTTH včetně distribučního centra a nákupu koncových účastnických zařízení si vyžádá investici téměř **3,0 mil. Kč**, z čehož vyplývá průměrná investice na jednu účastnickou přípojku **10 867 Kč**. Lze konstatovat, že přes 2/5 všech vložených finančních prostředků do tohoto projektu pohltní výstavba distribučního centra, obdobnou finanční částku necelé 2/5 si vyžádá investice do koncových účastnických zařízení. Proti tomu investice do přístupové sítě resp. pasivní infrastruktury tvoří jen něco málo přes 1/5 všech nákladů.

Tab. 6.14: Finanční rozvaha – PON P2MP CATV

Segment projektu	Náklady	
Přístupová síť	610 579	Kč
Koncová zařízení	1 130 467	Kč
Distribuční centrum	1 214 536	Kč
CENA CELKEM	2 955 582	Kč

■ Přístupová síť ■ Koncová zařízení ■ Distribuční centrum



Obr. 6.10: Struktura investice projektu – PON P2MP CATV

6.6 Sekundární výdaje

Tato stručná podkapitola se zaměří na druhotné výdaje spjaté s realizací přístupové sítě FTTH a je společná pro všechny tři analyzované případové studie. Nejsou zde analyzovány výdaje spjaté s instalací síťové infrastruktury jako takové, ale jsou zde vysvětleny výdaje, které vzniknou se samotnou realizací projektu a před jeho uvedením do provozu.

6.6.1 Konektivita do WAN

Zajištění konektivity směrem k páteřním sítím (WAN) resp. do „internetu“ je klíčovým prvkem celého projektu. Vždy hledáme poměr mezi dostatečnou kapacitou a určitým stupněm agregace, neboť by nebylo finančně únosné mít permanentně vyhrazenou kapacitu pro každého zákazníka. V úvodu představení případových studií bylo uvedeno, že k obci byla položena HDPE chránička ústící k přístupovému bodu sítě společnosti NIX.CZ, z.s.p.o.. Samozřejmě společností poskytující přístup k páteřním optickým sítím je více. Tato bakalářská neřeší fyzické reálné napojení k této organizaci případně k jejím smluvním partnerům (jejichž cena je vyšší). Mým cílem je nabídnout, v rámci případových studií, náhled na tuto problematiku po finanční stránce.

Tab. 6.15: Kalkulace výdajů – konektivita NIX.CZ

Služba	Frekvence platby	Cena	
Instalační poplatek	Jednorázová	27 000	Kč
Základní přípojka	Měsíční	6 000	Kč
Připojení portu - 10Gb/s	Měsíční	27 000	Kč
CENA JEDNORÁZOVÁ		27 000	Kč
CENA ROČNĚ		396 000	Kč

6.6.2 Povinnosti vyplývající z legislativy České republiky

Z legislativy České republiky vyplývá povinnost projít registračním a schvalovacím procesem Rady pro rozhlasové a televizní vysílání České republiky, což krom přípravy požadované dokumentace a vypracované žádosti obnáší jednorázový správní poplatek o udělení licence k provozování televizního vysílání ve výši 50 000 Kč a rozhlasového vysílání ve výši 15 000 Kč. Dále vyplývá nutnost uzavřít smlouvu se všemi svazy autorskými působící na území České republiky a to jmenovitě:

- OSA,
- INTERGRAM,
- DILIA,
- OOA-S,
- GESTOR,
- ČNS IFPI,
- ČPU,
- BSA.

6.7 Volba výsledné studie

Volba výsledné případové studie vychází z několika hledisek, mezi kterými je hledán určitý konsenzus, ale zároveň je odrazem i ideologie firmy, která danou síť realizuje či investora. Rozhodujícím faktem je ekonomický model, rentabilita investice a výnosy z projektu. Neméně důležité je vize přístupové sítě FTTH k budoucím technologiím, neboť životnost pasivní infrastruktury je více než 30 let a díky využití technologii mikrotrubičkování lze snadno provádět i její výměnu či úpravu.

Před samotnou volbou případové studie je vhodné zopakovat a porovnat finanční rozvahy jednotlivých variant případových studií zpracované v podkapitolách 6.3.5, 6.4.5 a 6.5.5. Z toho důvodu je vytvořena pro přehled Tab. 6.16.

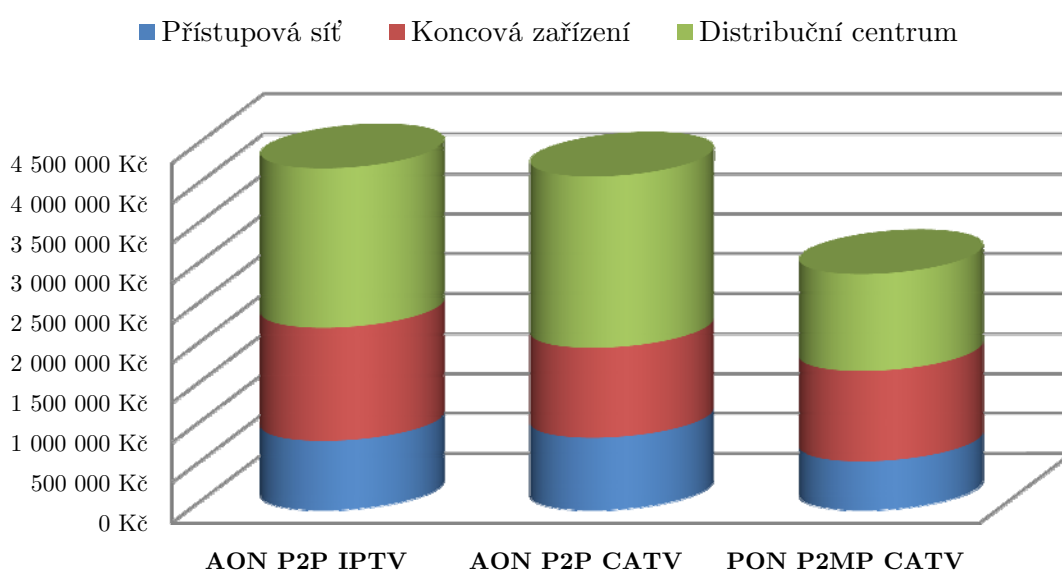
Tab. 6.16: Výsledná finanční rozvaha

Případová studie	AON P2P IPTV	AON P2P CATV	PON P2MP CATV
Topologie	1 × P2P	P2P + P2MP	2 × P2MP
Přístupová síť	866 636 Kč	906 235 Kč	610 579 Kč
	20 %	22 %	21 %
Koncová zařízení	1 416 214 Kč	1 125 859 Kč	1 130 467 Kč
	33 %	27 %	38 %
Distribuční centrum	1 996 568 Kč	2 145 133 Kč	1 214 536 Kč
	47 %	51 %	41 %
CENA NA 1 ZÁKAZNÍKA	15 734 Kč	15 358 Kč	10 867 Kč
CENA CELKEM	4 279 418 Kč	4 177 227 Kč	2 955 582 Kč

Z finanční rozvahy jednoznačně vyplynulo, že z pohledu investic je nejvýhodnější třetí případová studie a to síť FTTH realizovaná jako PON P2MP s překryvným vysíláním CATV, kde průměrná cena na jednoho zákazníka činí „pouhých“ 10 876 Kč, což je téměř o 45 % méně než nejnákladnější varianta realizace jako AON P2P IPTV. Pokud však porovnáme mezi sebou dvě zbývající studie a to síť realizovanou jako AON P2P s distribucí obrazových služeb jako IPTV a proti tomu „totožnou“ síť s překryvným vysíláním CATV, zjistíme nepatrný nárůst investice na koncového zákazníka o 2,4 % v případě IPTV vůči CATV. Nutno zmínit, že v případě realizace poskytování obrazových služeb IPTV, je v rámci outsourcingu a z toho vyplývá smluvní straně odvádět část zisku cca 300–400 Kč za každého zákazníka, což samozřejmě snižuje výnos projektu. Při uvažovaném počtu 272 zákazníků to činí 972 000 až 1 305 600 Kč ročně. Naproti tomu vybudování hlavní stanice kabelové vysílání CATV s sebou nese jen počáteční investice do technologie Blankom a do dekodovacích karet paketů CS LINK a SKYLINK, popř. jejich pravidelné paušální obnovování.

Pokud se zaměříme na technologický aspekt věci a s ním přímo související programová skladbu služeb Triple Play a její rozmanitost, tak řazení případových

studií přesně kopíruje sestupnou tendenci množství a kvality služeb Triple Play. Co se týče hlasových a datových služeb, tak jejich kvalita a možnosti jsou v první a druhé případové studii totožné (pomineme-li sdílení přenosové kapacity média s datovým tokem IPTV). Je to dáno použitou topologií P2P a tudíž k prvnímu stupni agregace dochází až v distribučním centru na přístupovém a následně agregačním přepínači. Zákazníkům lze v takovém případě poskytnout vysokorychlostní připojení o rychlosti např. 100/100 Mb/s a výrazně nízkou latencí a kolísáním zpoždění. Relativně „horší“ variantu datových a hlasových služeb nabízí třetí případová studie s topologií P2MP se síťovou architekturou EPON, kde k prvnímu stupni agregace dochází již mezi až 32 uživateli síťového stromu. To však neznamená reálnou agregaci 1:32, neboť ve většině případů nehrozí současné vytížení jednoho síťového rozhraní EPON na OLT všemi 32 uživateli. Zaměříme-li se na obrazové resp. video služby Triple Play, nejlepší obousměrnou interaktivitu poskytuje IPTV a krom televizního vysílání v HDTV a SDTV umožní poskytnout službu video na vyžádání VoD. V rámci outsourcingu je k dispozici až 66 televizních stanic SDTV formátu, 5 televizních stanic v HDTV formátu a 6 rozhlasových stanic. IPTV technologie je vhodná pro budoucí nasazení interaktivního televizního vysílání ITV, které vyžaduje duplexní komunikaci. Obrazové služby ve druhé a třetí případové studii jsou řešeny formou překryvného vysílání kabelové televize CATV přes P2MP síť. Výhoda spočívá ve vlastním distribučním centru, které krom finanční úspory umožňuje sestavovat vlastní programovou skladbu. Kvalita televizního obrazu je shodná a nehrozí tzv. „kostičkování“ v případě zahlcení sítě. Jedinou nevýhodou je nemožnost provozovat VoD a ITV. V rámci mnou navrhované hlavní stanice CATV je k dispozici až 59 televizních stanic SDTV formátu, 10 televizních stanic v HDTV formátu a 35 rozhlasových stanic.



Obr. 6.11: Výsledná finanční rozvaha

Rentabilita neboli návratnost vložených investic se v těchto projektech různí a je dána po stránce výdajové prvotní vloženou investicí do výstavby přístupové sítě, distribučního centra a nákupu koncových účastnických zařízení, dále je dána permanentními provozními náklady jako je zajištění konektivity, platba za služby v rámci outsourcingu, platba za energie, platba za správu a servis, platba do fondu oprav atd. Příjmová stránka je reprezentována měsíčními platbami zákazníků a vhodně nastavenou počáteční penetrací nově připojených zákazníků (tj. platba za připojení k přístupové síti a jejím službám). Penetraci jsem nezvolil procentuálně, ale na pevnou částkou 5 000 Kč – to pokryje část vynaložené investice do přístupové sítě FTTH.

Níže uvedený odhad tvoří jen nástin možného hrubého výnosu z optické přístupové sítě. Nezahrnuje náklady spojené s instalací sítě ani komplexní provozní náklady, udává však jistý poměr v příjmech mezi první případovou studií přenosu IPTV přes internetový protokol a druhou a třetí případovou studií využívající překryvné vysílání kabelové televize. Pro orientační výpočet byl stanoven měsíční poplatek na datové služby na jednoho zákazníka na 1000 Kč a za obrazové (video) služby částka 500 Kč. Paušální poplatek za hlasové služby není vybírán. Volání v rámci přístupové sítě je zdarma a mimo síť je zpoplatněno ceníkem společnosti IPEX a.s, která poskytuje outsourcing telekomunikačních služeb VoIP.

Tab. 6.17: Odhad ročního hrubého zisku přístupové sítě FTTH s IPTV/CATV

Položka	Cena	
	IPTV	CATV
Služby Triple Play - Datové	3 264 000 Kč	3 264 000 Kč
Služby Triple Play - Obrazové	1 632 000 Kč	1 632 000 Kč
Služby Triple Play - Hlasové	0 Kč	0 Kč
Energie	-50 000 Kč	-50 000 Kč
Konektivita NIX.CZ	-396 000 Kč	-96 000 Kč
IPTV HDD s.r.o.	-1 305 600 Kč	0 Kč
Administrativa a podpora	-300 000 Kč	-300 000 Kč
Fond oprav, údržby a rozvoje	-200 000 Kč	-200 000 Kč
HRUBÝ CELKOVÝ ZISK	2 644 400 Kč	3 950 000 Kč

Kompletní finanční analýza provozních příjmů a nákladů sítě je nezbytně důležitá kromě samotné rentability vynaložených investic také pro případný prodej sítě většímu telekomunikačnímu a kabelovému operátorovi – což je dnes poměrně patrná situace, velcí hráči na trhu investují resp. zkupují již do hotové a životaschopné projekty přístupových sítí.

Z Tab. 6.17 je patrné, že investice do vlastního centra pro překryvné vysílání CATV přináší roční nárůst zisků téměř o 50 % vůči nákupu obrazových služeb IPTV v rámci outsourcingu.

Verdikt:

Doporučuji zvolit **2. případovou studii, tj. AON P2P CATV.**

Odůvodnění:

Ačkoliv jsem autor všech případových studií, kdybych byl ve vedoucí pozici investora, nebo firmy, která by danou optickou síť měla v obci Fektákov realizovat či financovat a měl bych se rozhodovat na základě předložených podkladů tří variant případových studií zpracované v šesté kapitole zvolil bych výše zmíněnou 2. případovou studii.

Po technické stránce nabízí tato síť ideální pozici na rozcestí mezi technologiemi využívající topologii P2P a P2MP. Tato síť tedy zajišťuje snadný budoucí přechod k novějším technologiím. Bez zásahu do pasivní infrastruktury je možný přechod k 1 Gb příp. 10 Gb ethernetu, zároveň v případě s rozšířením technologie WDM PON snadnou úpravou infrastruktury umožňuje přechod k topologií P2MP. Opačný přechod od P2MP k P2P není de facto možný bez „razantního“ zásahu do infrastruktury. S poklesem cen je možné snadnou implementací migrovat od technologie CATV k technologii IPTV.

Po ekonomické stránce tato síť nabízí poměrně rychlé zhodnocení vynaložených investic a díky tomu se stává projekt po méně než dvou letech ziskový. Ačkoliv nebyly v návrhu zaneseny náklady spojené s instalací přístupové sítě FTTH, troufám si konstatovat, že se jedná o systematickou chybu, která byla zanesena do všech případových studií a de facto na mé rozhodování nemá zásadní vliv, neboť touto chybou jsou postihnuty všechny případové studie. S cenou 15 358 Kč na jednoho koncového zákazníka nabízí relativně příjemnou alternativu ke konvenčním metalickým přístupovým sítím, jejichž kapacity jsou již na hraně jejich možností.

7. ZÁVĚR

Vývoj telekomunikačních služeb se nezadržitelně posunuje mílovými kroky kupředu a to co dříve bylo považováno za špičkové, dnes s úsměvem nazýváme zastaralé. Příkladem mé teze může být známý citát vizionáře a otce nejznámější softwarové společnosti Microsoft – Billa Gatese v roce 1981: „640 kilo by mělo stačit každému“, který tak obhajoval koncepci rozložení operační paměti v DOSu. Konkurenční boj mezi firmami žene vývoj telekomunikačních sítí a obecně celý sektor IT k neustálému sebezdokonalování všeho, co má ekonomický potenciál a je rentabilní. Je jedno jestli se jedná o výrobce nebo samotné distributory následných služeb. K přežití v konkurenčním trhu a realizaci zisků je nutné mít „know-how“. Význam optických sítí je dnes nezpochybnitelný, však pochopení významu optických přístupových sítí FTTH teprve čeká na své masivní rozšíření. Aby byly prostředky vynaložené do realizace výstavby optických sítí rentabilní a umožňovaly upgrade na modernější služby, je nutné zachovávat alespoň částečnou zpětnou kompatibilitu. Zároveň samotná pasivní infrastruktura musí být uzpůsobena pro rychlou, modulární, efektní a levnou montáž – z toho důvodu se prosazuje technologie mikrotrubičkování.

Praktickou část a zároveň stěžejní element bakalářské práce tvoří návrh optické přístupové sítě FTTH pro fiktivní obec Fektákov, pro kterou jsou vytvořeny tři samostatné případové studie nejběžnějšími používanými síťovými architekturami AON P2P IPTV, AON P2P CATV a PON P2MP CATV. Z akademické roviny byly veškeré teoretické poznatky aplikovány do skutečné reálné sítě a s tím související ekonomickou stránku projektu. Pro pasivní infrastrukturu byla zvolena moderní technologie mikrotrubičkování, jejíž modularita efektivně pokrývá členité prostředí přístupové sítě a zároveň poskytuje finanční úsporu oproti konvenčním technologiím pokládky pasivní infrastruktury. Aktivní infrastruktura byla reprezentována zařízeními s nativní podporou ethernetu. Výstupem všech tří případových studií jsou technické a ekonomické modely, které dávají náhled na technická úskalí výstavby a provozu těchto sítí a zároveň poskytují pohledy na finanční náročnost i finanční rentabilitu vložených investic. Z těchto modelů vyplývá i přibližná skladba a perspektiva jednotlivých služeb Triple Play. V závěru je zvolena nejvhodnější možná varianta výstavby přístupové sítě pro obec Fektákov, která reflektuje výše zmíněné body a to AON P2P CATV. Architektura optických sítí FTTH stojí na rozcestí, zdali se vydat cestou vyhrazeného optického vlákna každému účastníkovi (P2P) nebo cestou sdíleného optického vlákna P2MP s technologií hustého vlnového dělení DWDM označovaného jako WDM PON, který poskytuje na separátní vlnové délce de facto spojení P2P.

Je však důležité mít na paměti, že jakákoliv vybudovaná optická přístupová síť FTTH je lepší než žádná a s touto myšlenkou je psaná tato bakalářská práce!

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] FILKA, M. *Optoelectronics for Telecommunications and Informatics*. 1. Dallas, Texas, United States of America : OPTOKON CO., LTD., & METHODE ELECTRONIC., Inc., 2009. Optoelectronic telecommunication systems, s. 215–223. ISBN 978-0-615-33185-0. [část knihy]
- [2] FILKA, M. *Optoelectronics for Telecommunications and Informatics*. 1. Dallas, Texas, United States of America : OPTOKON CO., LTD., & METHODE ELECTRONIC., Inc., 2009. Transmission properties of optical fibers, s. 23–44. ISBN 978-0-615-33185-0. [část knihy]
- [3] GIRARD, A. *FTTx PON Technology and Testing*. Quebec City, Canada : EXFO Electro-Optical Engineering Inc., 2005. Network desing and engineering, s. 22–24. ISBN 1-55342-006-3. [část knihy]
- [4] GIRARD, A. *FTTx PON Technology and Testing*. Quebec City, Canada : EXFO Electro-Optical Engineering Inc., 2005. Network desing and engineering, s. 66–77. ISBN 1-55342-006-3. [část knihy]
- [5] GIRARD, A. *FTTx PON Technology and Testing*. Quebec City, Canada : EXFO Electro-Optical Engineering Inc., 2005. Network desing and engineering, s. 77–102. ISBN 1-55342-006-3. [část knihy]
- [6] HLADKÝ, M. *PROFiber Networking CZ* [online]. 2010-03-18 [cit. 2010-10-29]. 6 s. STARÝ DOBRÝ POINT-TO-POINT. Dostupné z WWW:
<<http://www.profiber.eu/files/18.3.2010%20Star%C3%BD%20dobr%C3%BD%20point-to-point.pdf>>. [webová stránka]
- [7] KREJČÍ, J.; ZEMAN, T. *Access server* [online]. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra telekomunikační techniky. 2008-08-10. Praha: 2008-08-10 [cit. 2010-11-24]. Úvod do IPTV. Dostupné z WWW:
<<http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku=uvod-do-iptv&cislocclanku=2008100002>>. ISSN 1214-9675. [webová stránka]
- [8] LAFATA, P.; VONDRÁŽKA, J. *Access server* [online]. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra telekomunikační techniky. 2009-05-23. Praha: 2009-05-23 [cit. 2010-11-06]. Pasivní optická síť GPON. Dostupné z WWW:
<<http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku=pasivni-opticka-sit-gpon&cislocclanku=2009050002>>. ISSN 1214-9675. [webová stránka]
- [9] OPRAVILOVÁ, Z. *PROFiber Networking CZ* [online]. 2008-04-10 [cit. 2010-11-17]. Použité pasivní prvky a nové možnosti v trubičkových systémech. Dostupné z WWW:
<http://www.profiber.cz/eshop/files/OFA_prezentace_Bohunovice_2008.pdf>. [webová stránka]
- [10] STIBOR, P. *PROFiber Networking CZ* [online]. 2010-03-18 [cit. 2010-11-15]. Účastnické optické kabely. Dostupné z WWW:
<http://www.profiber.cz/eshop/files/B3_Stibor-Opticke_ucastnicke_kabely_pro_site_FTTx.pdf>. [webová stránka]
- [11] ŠIFTA, R. *Návrh sítě FTTH*. Brno, 2009. 59 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí práce doc. Ing. Miloslav Filka, CSc. [akademická práce]
- [12] TANAKA, K.; AGATA, A.; HORIUCHI, Y. *JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY* [online]. 2010-02-15. Tokyo, Japan : KDDI Corp., 2010 [cit. 2010-11-08]. IEEE 802.3av 10G-EPON Standardization and Its Research and Development Status, s. 651–661. Dostupné z WWW: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5371994>>. ISSN: 0733-8724. [část e-knihy]
- [13] VODRÁŽKA, J. *Přenosové systémy v přístupové síti*. Vydání 2. přepracované. Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2006. Přístupové sítě, s. 72–73. ISBN 80-01-03386-4. [část knihy]
- [14] 802.3ae. *IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems— Local and metropolitan area networks— Specific requirements : Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications*. New York, NY 10016-5997, USA : IEEE, 2002. 529 s. Dostupné z WWW: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1040118>>. [standard]

- [15] 802.3ah. *IEEE Standard for Information technology Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks Specific requirements : Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications*. New York, NY 10016-5997, USA : IEEE, 2004. 640 s. Dostupné z WWW: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1337489>>. [standard]
- [16] Datasheet PLC Splitters. *SQS Vláknová optika a.s.* Komenského 304, 509 01 Nová Paka : c2008 [cit. 2010-11-18]. 1 x 128 PLC Splitters. Dostupné z WWW: <http://www.sqs-fiber.cz/catalogue/plc_splitter_1_128.pdf>. [webová stránka]
- [17] FTTH Council Europe. *FTTH Council Europe* [online]. c2010, 2010-05-18 [cit. 2010-11-15]. FTTH Handbook/Infrastructure Network Elements. Dostupné z WWW: <http://wiki.ftthcouncil.eu/index.php/FTTH_Handbook/Infrastructure_Network_Elements>. [webová stránka]
- [18] FTTH Council Europe. *FTTH Council Europe* [online]. c2010, 2010-05-18 [cit. 2010-10-28]. FTTH Business Guide/FTTH Operator Models. Dostupné z WWW: <http://wiki.ftthcouncil.eu/index.php/FTTH_Business_Guide/FTTH_Operator_Models>. [webová stránka]
- [19] G.652. *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*. Version 8. Geneva, Switzerland : ITU-T, 2009. 22 s. Dostupné z WWW: <http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.652-200911-I!!PDF-E&type=items>. [standard]
- [20] G.657. *Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable for the access network*. Geneva, Switzerland : ITU-T, 2009. 22 s. Dostupné z WWW: <http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.657-200911-I!!PDF-E&type=items>. [standard]
- [21] G.983.1. *Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks : Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)*. Amendment 13. January 2005. Geneva, Switzerland : ITU-T, 1998. 124 s. Dostupné z WWW: <http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.983.1-200303-S!Amd2!PDF-E&type=items>. [standard]
- [22] G.983.3. *Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks : A broadband optical access system with increased service capability by wavelength allocation ITU-*. Geneva, Switzerland : ITU-T, 2001. 59 s. Dostupné z WWW: <http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.983.3-200103-I!!PDF-E&type=items>. [standard]
- [23] G.987.1. *10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON) : General requirements*. Geneva, Switzerland : ITU-T, 2010. 52 s. Dostupné z WWW: <http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.987.1-201001-I!!PDF-E&type=items>. [standard]
- [24] G.992.5. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2005-04-21, last modified on 2010-10-29 [cit. 2010-11-27]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/ITU_G.992.5>. [e-příspěvek]

POUŽITÉ ZKRATKY

10G-EPON	10 Gigabit Ethernet PON	10 Gigabitová ethernetová pasivní optická síť
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	Asymetrické DSL
AES	Advanced Encryption Standard	Typ symetrické blokové šifry
AON	Active Optical Network	Aktivní optická síť
AP	Access point	Přístupový bod
APON	ATM PON	ATM pasivní optická síť
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Standart síťové architektury
BPON	Broadband PON	Širokopásmová pasivní optická síť
CATV	Cable TeleVision	Kabelová televize
CO	Central Office	Centrální technické a distribuční sídlo poskytovatele služeb
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection	Stochastická přístupová metoda s detekcí kolizí
CWDM	Coarse WDM	Vlnově dělený multiplex s hrubým dělením
DSL	Digital Subscriber Line	Technologie vysokorychlostní přenos dat po metal. síti
DVB	Digital Video Broadcasting	Digitální televizní vysílání
DVB-C	DVB Cable	Digitální kabelové vysílání televize
DVB-S	DVB Satellite	Digitální satelitní vysílání televize
DVB-T	DVB Terrestrial	Digitální pozemní vysílání televize
DWDM	Dense WDM	Vlnově dělený multiplex s hustým dělením
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier	Erbium dopovaný optický zesilovač
EFM	Ethernet in the First Mile	Označení protokolu IEEE 802.3ah
EFMF	Ethernet In First Mile Fibre	Ethernet na první míli po optickém vlákně
EIPS	Ethernet Ring Protection Protocol	Detekce proti vytvoření smyček v ethernetu
EPG	Electronic Programming Guide	Elektronický programový průvodce
EPON	Ethernet PON	Ethernetová pasivní optická síť
FBT	Fused Bionic Taper	Technologie výroby rozbočovačů
FDM	Frequency Division Multiplex	Frekvenčně dělený multiplex
FM	Frequency modulation	Frekvenční modulace používaná pro rádiové vysílání
FTP	File Transfer Protocol	Protokol pro nezabezpečený přenos dat
FTTB	Fibre To The Building	Optické vlákno do budovy
FTTC	Fibre To The Curb	Optické vlákno k účastnickému rozvaděči
FTTCab	Fibre To The Cabinet	Optické vlákno do prostorů s velkými přenosovými nároky
FTTH	Fiber To The Home	Optické vlákno do domu
FTTN	Fibre To The Node	Optické vlákno do distribučního uzlu
FTTO	Fibre To The Office	Optické vlákno do rozhraní počítače
FTTX	Fiber To The ...	Optické vlákno do ...
GEM	GPON Encapsulation Method	Přenosová metoda linkové vrstvy v GPON
GPON	Gigabit PON	Gigabitová pasivní optická síť
HDPE	High density polyethylene	Vysoce odolný polyethylen
HDTV	High-Definition TeleVision	Televize ve vysokém rozlišení
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
IGMP	Internet Group Management Protocol	Protokol zajišťující podporu multicastu
IP	Internet Protocol	Internet Protokol
IPTV	Internet Protocol TeleVision	Technologie umožňující přenos televizního vysílání přes IP

ISP	Internet Service Provider	Poskytovatel připojení k internetu
ITU	International Telecommunication Union	Mezinárodní telekomunikační unie
ITU-T	ITU Telecommunication Standardization Sector	Skupina ITU pro telekomunikace
ITV	Interactive TeleVision	Interaktivní televize
LAN	Local Area Network	Lokální síť
LNB	Low-noise block converter	Satelitní konvertor
MMF	Multi Mode Fiber	Mnohovidové optické vlákno
MOD	Music On Demand	Hudba na vyžádání
Mx	Multiplex	Sdílení média
OAN	Optical Access Network	Optická přístupová síť
ODN	Optical Distributed Network	Optická distribuční síť
OLT	Optical Line Terminator	Optické linkové zakončení
ONT	Optical Network Termination	Optická ukončující jednotka
ONU	Optical Network Unit	Optická ukončující jednotka
P2MP	Point-To-MultiPoint	Spojení bod-mnohobodů
P2P	Point-To-Point	Spojení bod-bod
P2PE	Point-To-Point-Emulation	Emulované spojení bod-bod
PAL	Phase Alternating Line	Kódování analogového barevného televizního vysílání
PE	PolyEthylene	Polyethylen
PLC	Planar Lightwave Circuit	Technologie výroby rozbočovačů
PON	Passive Optical Network	Pasivní optická síť
PPV	Pay Per View	Služba umožňující shlédnout jednorázově placené pořady
PVR	Personal Video Recorder	Služba vzdáleného nahrání zvoleného televizního vysílání
QoS	Quality of Service	Protokol řízení kvality síťových služeb
Rf	Radio frequency	Rádiová frekvence (30 kHz - 300 GHz)
Rx	Received	Obecné označení strany přijímače
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Standard multiplexování digitálních přenosů v optických sítích
SDTV	Standard-Definition TeleVision	Televize ve standardním rozlišení
SIP	Session Initiation Protocol	Protokol pro řízení VoIP
SMF	Single Mode Fiber	Jednovidové optické vlákno
STB	Set-Top Box	Zařízení k převodu televizního vysílání na kompatibilní
TCP	Transmission Control Protocol	Protokol transportní vrstvy modelu TCP/IP
TDM	Time Division Multiplex	Časově dělený multiplex
Tx	Transmitted	Obecné označení strany vysílače
UV	UltraViolet	Ultrafialové záření
VCR	Videocassette recorder	Služba vzdáleného nahrání zvoleného televizního vysílání
VoD	Video on Demand	Video na vyžádání
VoIP	Voice over Internet Protocol	Technologie umožňující přenos telefonie přes IP
VPN	Virtual Private Network	Virtuální privátní síť
WDM	Wavelength Division Multiplex	Vlnově dělený multiplex
WIFI	Wireless LAN	Bezdrátová síť na standardu IEEE 802.11
WWDM	Wide WDM	Široce dělený vlnový multiplex u 10 Gb ethernetu

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A: Konfigurace příjmu DVB-S/S2

PŘÍLOHA B: Obsah DVD

PŘÍLOHA A: KONFIGURACE PŘÍJMU DVB-S/S2

Přehled programů v jednotlivých multiplex paketu CS LINK A SKYLINK. Nezbytné podklady při návrhu kapacity distribučního centra ve druhé a třetí případové studii, kde počet přijímaných multiplexů určuje počet dekódovacích modulů.

Stanice	Formát	Konfigurace	Satelit	Frek.	Paket
AXN	SDTV	LNB-1/OUT-3	Astra 3B	11876/H	CS Link
AXN Crime	SDTV	LNB-1/OUT-3	Astra 3B	11876/H	CS LINK
AXN Sci-Fi	SDTV	LNB-1/OUT-3	Astra 3B	11876/H	CS Link
BBC Czech	Rádio	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
Cinemax	SDTV	LNB-1/OUT-3	Astra 3B	11876/H	CS Link
Country Rádio	Rádio	LNB-1/OUT-8	Astra 3B	12070/H	CS Link
CS Film	SDTV	LNB-1/OUT-3	Astra 3B	11876/H	CS Link
CS Mini	SDTV	LNB-1/OUT-3	Astra 3B	11876/H	CS Link
ČRo 1 - Radiožurnál	Rádio	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
ČRo 2 - Praha	Rádio	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
ČRo 3 - Vltava	Rádio	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
ČRo 6	Rádio	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
ČRo 7 - Rádio Praha	Rádio	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
ČRo Region	Rádio	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
ČT 1	SDTV	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
ČT 2	SDTV	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
ČT 24	SDTV	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
ČT 4	SDTV	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
ČT HD	HDTV	LNB-1/OUT-6	Astra 3B	11973/V	CS Link
D-Dur	Rádio	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
Discovery Channel	SDTV	LNB-1/OUT-2	Astra 3B	11798/H	Skylink
Disney Channel	SDTV	LNB-1/OUT-7	Astra 3B	11992/H	CS Link
Doku CS	SDTV	LNB-2/OUT-1	Astra 3B	12109/H	Skylink
DOMA	HDTV	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
DoQ	SDTV	LNB-1/OUT-3	Astra 3B	11876/H	CS Link
duck tv	SDTV	LNB-1/OUT-2	Astra 3B	11798/H	Skylink
Eurosport	SDTV	LNB-1/OUT-3	Astra 3B	11876/H	CS Link
Eurosport 2 North East	SDTV	LNB-1/OUT-8	Astra 3B	12070/H	CS Link
Eurosport HD	HDTV	LNB-2/OUT-1	Astra 3B	12109/H	Skylink
Fashion TV Czechia	SDTV	LNB-1/OUT-1	Astra 3B	11797/H	Skylink
Film+	SDTV	LNB-1/OUT-3	Astra 3B	11876/H	CS Link
FilmBox	SDTV	LNB-1/OUT-7	Astra 3B	11992/H	Skylink
Filmbox Extra	SDTV	LNB-1/OUT-7	Astra 3B	11992/H	Skylink
Filmbox HD	HDTV	LNB-2/OUT-1	Astra 3B	12109/H	Skylink
Fishing and Hunting	SDTV	LNB-1/OUT-3	Astra 3B	11876/H	CS Link
HBO	SDTV	LNB-1/OUT-3	Astra 3B	11876/H	CS Link
HBO 2	SDTV	LNB-1/OUT-3	Astra 3B	11876/H	CS Link
HBO HD	SDTV	LNB-2/OUT-1	Astra 3B	12109/H	Skylink
HEY!	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
History	SDTV	LNB-1/OUT-5	Astra 3B	11914/H	Skylink
History HD	HDTV	LNB-2/OUT-1	Astra 3B	12109/H	Skylink
Jemné Melodie Sever	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
Jemné Melodie Východ	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
Jemné Melodie Západ	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
JimJam	SDTV	LNB-1/OUT-7	Astra 3B	11992/H	Skylink
JOJ	SDTV	LNB-1/OUT-2	Astra 3B	11798/H	Skylink
JOJ PLUS	HDTV	LNB-1/OUT-2	Astra 3B	11798/H	Skylink
Kino CS	SDTV	LNB-2/OUT-1	Astra 3B	12109/H	Skylink
LEO TV	SDTV	LNB-1/OUT-7	Astra 3B	11992/H	CS Link
Leonardo	Rádio	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link

Lumen	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
MGM Channel	SDTV	LNB-1/OUT-7	Astra 3B	11992/H	Skylink
Minimax	SDTV	LNB-1/OUT-7	Astra 3B	11992/H	CS Link
MTV	SDTV	LNB-1/OUT-8	Astra 3B	12070/H	CS Link
National Geographic	SDTV	LNB-1/OUT-1	Astra 3B	11797/H	Skylink
National Geographic Wild	SDTV	LNB-1/OUT-1	Astra 3B	11797/H	Skylink
Nova	HDTV	LNB-1/OUT-4	Astra 3B	11895/V	Skylink
Nova	SDTV	LNB-1/OUT-8	Astra 3B	12070/H	CS Link
Nova Cinema	SDTV	LNB-1/OUT-8	Astra 3B	12070/H	CS Link
Nova Sport	HDTV	LNB-1/OUT-4	Astra 3B	11895/V	Skylink
Nova Sport	SDTV	LNB-1/OUT-8	Astra 3B	12070/H	CS Link
Óčko	SDTV	LNB-2/OUT-2	Astra 3B	12168/V	CS Link
Prima COOL	SDTV	LNB-1/OUT-3	Astra 3B	11876/H	CS Link
Prima LOVE	SDTV	LNB-1/OUT-8	Astra 3B	12070/H	CS Link
Public TV	SDTV	LNB-1/OUT-7	Astra 3B	11992/H	CS Link
Rádio 7	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
Rádio Beat Čechy	Rádio	LNB-1/OUT-3	Astra 3B	11876/H	CS Link
Rádio Beat Morava	Rádio	LNB-1/OUT-8	Astra 3B	12070/H	CS Link
Rádio Česko	Rádio	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
Radio Junior	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
Radio Klasika	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
Radio Litera	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
Rádio Proglas	Rádio	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
Radio Viva (Slovakia)	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
Rádio Wave	Rádio	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
Retro Music Television	SDTV	LNB-1/OUT-4	Astra 3B	11895/V	Skylink
Spektrum	SDTV	LNB-1/OUT-7	Astra 3B	11992/H	CS LINK
Sport 1	SDTV	LNB-1/OUT-8	Astra 3B	12070/H	CS Link
Sport 2	SDTV	LNB-1/OUT-8	Astra 3B	12070/H	CS Link
Sport 5	SDTV	LNB-1/OUT-3	Astra 3B	11876/H	CS Link
SRO 1 - Slovensko 1	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
SRO 2 - Rádio Dėvín	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
SRO 3 - Regina Banská Bystrica	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
SRO 3 - Regina Bratislava	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
SRO 3 - Regina Košice	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
SRO 4 - Rádio FM	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
SRO 5 - Rádio Patria (M)	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
SRO 5 - Rádio Patria (U)	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
Store Média	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
Store Média 1	Rádio	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
STV1	SDTV	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
STV2	SDTV	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
STV3	HDTV	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
TA 3	SDTV	LNB-1/OUT-2	Astra 3B	11798/H	Skylink
TV Barrandov	SDTV	LNB-1/OUT-4	Astra 3B	11895/V	Skylink
TV Markíza	SDTV	LNB-2/OUT-4	Astra 3A	12565/H	Skylink
TV Noe	SDTV	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
TV Prima	HDTV	LNB-2/OUT-2	Astra 3B	12168/V	CS Link
TV Prima	SDTV	LNB-2/OUT-3	Astra 3A	12525/V	CS Link
TV8	SDTV	LNB-1/OUT-2	Astra 3B	11798/H	Skylink
Universal Channel	SDTV	LNB-1/OUT-7	Astra 3B	11992/H	CS Link
Viasat Explorer	SDTV	LNB-1/OUT-7	Astra 3B	11992/H	Skylink
Viasat History	SDTV	LNB-1/OUT-7	Astra 3B	11992/H	Skylink
Viasat Nature	SDTV	LNB-1/OUT-7	Astra 3B	11992/H	Skylink

PŘÍLOHA B: OBSAH DVD

- Vlastní text bakalářské práce
 - Formát: *.pdf
 - Aplikace: Adobe Reader X
 - Aplikace URL: <<http://get.adobe.com/cz/reader/>>
 - Umístění: <xhorni10.pdf>
- Zdrojový výkres v měřítku pro Obr. 6.1
 - Formát: *.vsd
 - Aplikace: Microsoft Office Visio 2007
 - Aplikace URL: <<http://microsoft.com/downloads/>>
 - Umístění: <vykres_1.vsd>
- Zdrojový výkres v měřítku pro Obr. 6.2
 - Formát: *.vsd
 - Aplikace: Microsoft Office Visio 2007
 - Aplikace URL: <<http://microsoft.com/downloads/>>
 - Umístění: <vykres_2.vsd>
- Zdrojový výkres v měřítku pro Obr. 6.5
 - Formát: *.vsd
 - Aplikace: Microsoft Office Visio 2007
 - Aplikace URL: <<http://microsoft.com/downloads/>>
 - Umístění: <vykres_3.vsd>
- Zdrojový výkres v měřítku pro Obr. 6.9
 - Formát: *.vsd
 - Aplikace: Microsoft Office Visio 2007
 - Aplikace URL: <<http://microsoft.com/downloads/>>
 - Umístění: <vykres_4.vsd>
- Prezentační videoklip společnosti Sitel s.r.o. k systému Combi Rack
 - Formát: *.mp4
 - Aplikace: Microsoft Windows Media Player 12
 - Aplikace URL: <<http://microsoft.com/downloads/>>
 - Umístění: <video.mp4>
- Prezentační video DVD společnosti EXFO Inc. – FTTx PON Testing Video
 - Formát: video DVD (mpeg2)
 - Aplikace: Kompatibilní stolní/softwareový přehrávač DVD
 - Aplikace URL: -
 - Umístění: <VIDEO_TS*. *>
- Kniha – GIRARD, A. *FTTx PON Technology and Testing* od spol. EXFO Inc.
 - Formát: *.pdf
 - Aplikace: Adobe Reader X
 - Aplikace URL: <<http://get.adobe.com/cz/reader/>>
 - Umístění: <fttx_pon.pdf>