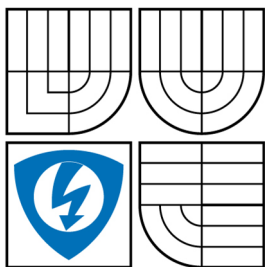


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ



FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

NÁVRH SÍTĚ FTTH

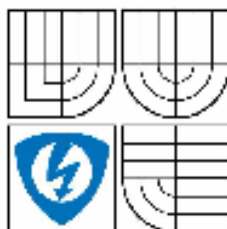
DESING OF FTTH NETWORK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

RADIM ŠIFTA
doc. Ing. MILOSLAV FILKA, CSc.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor

Teleinformatika

Student: Radim Šifta

Ročník: 3

ID: 72872

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Návrh sítě FTTH

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Provedte návrh sítě FTTH pro obec "Světlokosy". Návrh a výstavba bude probíhat společně s výstavbou nového vodovodního řádu. Připolož s HDPE trubek a mikrotrubiček. Návrh, cca 200 přípojných bodů, dle charakteru vesnice. Zvažte možné technologie a topologie návrhu, IPTV a CATV. Provedte ekonomickou rozvahu návrhu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FILKA, M. Optické sítě. Skripta. VUT FEKT, Brno 2007.
- [2] GIRARD, A. FTTx PON Technology and Testing. EXFO, Quebec 2005.
- [3] ČETNEŠ, J. Přichází doba optická. Sdělovací technika, 2008, č. 11.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 2.6.2009

Vedoucí práce: doc. 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

ABSTRAKT:

Cílem této práce je přiblížit čtenáři problematiku návrhů optických přístupových sítí FTTH. Práce je rozdělena na několik základních částí. V úvodu práce je nastíněno srovnání s ostatními optickými přístupovými sítěmi. V další kapitole jsou diskutována základní známá řešení, používané architektury, topologie a jejich srovnání. Následující kapitola se věnuje pasivním prvkům distribuční sítě, jejich rozdělení a použití. Další kapitola je zaměřena na techniky instalace distribuční infrastruktury, zejména pak na technologii mikrotrubičkování. Předposlední kapitola je zaměřena na distribuci video služeb. Závěrečná část práce je tvořena třemi navrhovanými modely různých architektur pro fiktivní obec „Světlokosy“. Je provedena analýza jednotlivých variant z hlediska technologického i ekonomického. Současně jsou porovnány investiční náklady navrhovaných modelů a jejich celkové porovnání a zhodnocení.

ABSTRACT:

The aim of this thesis is to bring reader the issue of FTTH optical access network design. The thesis is divided into several basic parts. At the beginning of the thesis is outlined comparison with other optical access networks. In the next chapter are discussed the basic solutions, used architectures, topologies, and their comparison. The following chapter deals with the passive elements of the distribution network, their division and using. Next chapter is focused on installation technologies of distribution infrastructure, especially on microducting technology. Penultimate chapter is focused on the video services distributioning. The final part of the thesis consists of three designed models of the different architecture for the fictional village of "Světlokosy". There is an analysis of the individual variations in technological and economic terms. Simultaneously, investment costs of the proposed models are compared and their overall comparison and evaluation.

Klíčová slova:

Optická přístupová síť FTTH, šířka přenosového pásma, optické vlákno, aktivní optická síť, pasivní optická síť, distribuční infrastruktura.

Keywords:

Optical access network FTTH, transmission bandwidth, optical fiber, active optical network, passive optical network, distribution infrastructure.

Bibliografická citace práce

ŠIFTA, R. *Návrh sítě FTTH*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 59 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miloslav Filka, CSc.

Prohlášení autora o původnosti práce

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

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

V Brně dne.....

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Miloslavu Filkovi CSc., za užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování bakalářské práce. Zvláštní poděkování patří Ing. Miroslavu Hladkému ze společnosti PROFiber Networking s.r.o. a Ing. Pavlu Dubskému ze společnosti OFA s.r.o. za poskytnutí zázemí a odborných informací potřebných pro zpracování bakalářské práce.

V Brně dne.....

.....

podpis autora

Obsah

Úvod.....	9
1. Definice sítě FTTH.....	10
1.1 Srovnání s ostatními sítěmi FTTx.....	10
1.2 Model sítě FTTH.....	12
2. Základní konfigurace.....	13
2.1 Základní funkční celky tvořící přístupovou síť.....	13
2.2 Aktivní optická síť (AON).....	14
2.3 Pasivní optická síť (PON).....	15
3. Pasivní prvky.....	16
3.1 Splittery a jejich útlum.....	16
3.2 Optická vlákna.....	17
3.2.1 Jednovidová vlákna.....	17
3.2.2 Mnohavidová vlákna.....	19
3.2.3 Mnohavidová vlákna s gradientní změnou indexu lomu.....	19
3.3 Optické kabely, svazky vláken, multiducty, mikrotrubičky.....	20
3.3.1 Optické kabely.....	20
3.3.2 Svazky vláken.....	21
3.3.3 Mikrotrubičky, multiducty, zesílené mikrotrubičky.....	21
pro přímou instalaci.....	21
3.4 Ostatní prvky distribuční sítě.....	22
3.4.1 Optické spoje a svary.....	23
3.4.2 Optické konektory.....	24
4. Instalace distribuční infrastruktury.....	26
4.1 Technická úskalí výstavby.....	26
4.2 Útlum.....	27
4.3 Mikrotrubičkování.....	28
4.3.1 Mikrotrubičkování s optickými mikrokabely.....	28
4.3.2 Mikrotrubičkování se svazky optických vláken.....	29
4.3.3 Mikrotrubičkování s pokládkou speciálních optických.....	29
mikrokabelů do drážek.....	29

5. Triple play (trojitá hra).....	30
5.1 Distribuce video signálu.....	30
6. Případová studie – Návrh sítě FTTH pro obec „Světlokosy“ ..	33
6.1 Topologie P2P IPTV.....	36
6.1.1 Pasivní infrastruktura.....	37
6.1.2 Distribuční centrum – centrální místnost (CO).....	40
6.1.3 Koncový účastníci.....	41
6.1.4 Celková bilance finančních nákladů.....	42
6.2 Topologie P2P CATV.....	43
6.2.1 Pasivní infrastruktura.....	43
6.2.2 Distribuční centrum – centrální místnost (CO).....	45
6.2.3 Koncový účastníci.....	46
6.2.4 Celková bilance finančních nákladů.....	47
6.3 Topologie P2MP CATV.....	47
6.3.1 Pasivní infrastruktura.....	48
6.3.2 Distribuční centrum – centrální místnost (CO).....	50
6.3.3 Koncový účastníci.....	51
6.3.4 Celková bilance finančních nákladů.....	51
6.4 Závěrečné porovnání a zhodnocení navrhovaných modelů.....	52
7. Závěr.....	54
Seznam použitých zdrojů.....	55
Seznam použitých zkratk.....	57

Seznam obrázků

Obr. 1.1:	Typy optických přístupových sítí.....	11
Obr. 1.2:	Vrstvový model FTTH.....	12
Obr. 2.1:	Funkční celky FTTH.....	13
Obr. 2.2:	Aktivní optická síť.....	14
Obr. 2.3:	Pasivní optická síť.....	15
Obr. 3.1:	Planární splitter.....	16
Obr. 3.2:	Fúzní splitter.....	16
Obr. 3.3:	Průřez optickým vláknem.....	17
Obr. 3.4:	Jednovidové vlákno.....	18
Obr. 3.5:	Mnohavidové vlákno se skokovou změnou indexu lomu.....	19
Obr. 3.6:	Mnohavidové vlákno s gradientní změnou indexu lomu.....	20
Obr. 3.7:	Druhy optických kabelů, a) „Feeder kabel“, b) „Distribuční kabel“, c) „Drop kabel“ [7].....	21
Obr. 3.8:	Svazky vláken [3].....	21
Obr. 3.9:	a) 12M multiduct v HDPE chrániče, b) rukávy pro silnostěnné trubičky, c) silnostěnné trubičky [13].....	22
Obr. 3.10:	Mechanická spojka [16].....	23
Obr. 3.11:	Svářecí technika Furukawa Fitel [16].....	24
Obr. 3.12:	Ukázka optických konektorů.....	25
Obr. 4.1:	Optické rozbočování 1:8 v PON.....	28
Obr. 6.1:	Rozvržení obce „Světloky“.....	35
Obr. 6.2:	Návrh distribuční sítě FTTH P2P IPTV.....	38
Obr. 6.3:	Rozložení investičních nákladů P2P IPTV.....	42
Obr. 6.4:	Náhradní schéma překryvné PON sítě pro CATV.....	44
Obr. 6.5:	Rozložení investičních nákladů P2P CATV.....	47
Obr. 6.6:	Návrh distribuční sítě FTTH P2MP CATV.....	49
Obr. 6.7:	Rozložení investičních nákladů P2MP CATV.....	51
Obr. 6.8:	Porovnání investičních nákladů jednotlivých návrhů.....	53

Seznam tabulek

Tab. 3.1: Závislost útlumu na počtu portů [8].....	16
Tab. 3.2: Porovnání útlumu používaných vláken [3].....	19
Tab. 6.1: Rozpis optických přípojek.....	34
Tab. 6.2: Investiční náklady na vybudování distribuční sítě P2P IPTV.....	39
Tab. 6.3: Investiční náklady na vybudování CO pro P2P IPTV.....	41
Tab. 6.4: Investiční náklady na koncová zařízení pro P2P IPTV.....	42
Tab. 6.5: Celkové náklady na topologii P2P IPTV.....	42
Tab. 6.6: Náklady na vybudování překryvné PON sítě.....	45
Tab. 6.7: Technické vybavení Head End stanice pro CATV.....	46
Tab. 6.8: Celkové náklady na topologii P2P CATV.....	47
Tab. 6.9: Investiční náklady na vybudování distribuční sítě P2MP CATV.....	50
Tab. 6.10: Investiční náklady na vybudování CO pro P2MP CATV.....	51
Tab. 6.11: Celkové náklady na topologii P2MP CATV.....	51
Tab. 6.12: Porovnání investičních nákladů jednotlivých návrhů.....	52

Úvod

Počátky používání optického vlákna, jako média používaného pro datové přenosy, sahají přibližně o 30 let zpět, do 70 let minulého století. V té době se uskutečnily první úspěšné pokusy. Za těchto 30 uplynulých let dosáhla optická vlákna nemalého technického pokroku a vývojově se dostala na špičku technologií, které kdy lidstvo stvořilo. Dřívější infrastruktury založené na metalických vodičích postupem času začaly být vzhledem k šířce přenášeného pásma nedostačující, a to nutně vedlo k tomu, že byly nahrazeny optickými vlákny. Optická vlákna byla zpočátku kvůli vysoké ceně nasazovaná pouze v páteřních a později metropolitních sítích. Díky neustálému vývoji optických technologií a snižování cen za aktivní zařízení se optická vlákna dostávají i do oblasti přístupových sítí a vytlačují tak zcela metalické kabely. Nejmodernější optické přístupové sítě FTTH zajistí uživateli optickou konektivitu až do domu.

Práce je rozdělená na dvě základní části. První část je teoretická a seznamuje čtenáře s problematikou návrhu sítí FTTH. Jsou v ní rozebrány používané topologie a možné konfigurace, které jsou navzájem porovnány. Dále jsou popsány používané prvky a technologie pro budování přístupových sítí FTTH

Druhá - praktická část se zabývá návrhem sítě FTTH pro fiktivní obec „Světlokosy“. V této části jsou provedeny návrhy tří modelů, které reprezentují architektury P2P IPTV, P2P CATV a P2MP CATV. V každém navrhovaném modelu jsou podrobně rozebrány technologie použité pro budování distribuční infrastruktury, distribučního centra a koncových zařízení. Jednotlivé modely jsou analyzovány jednak z hlediska technologického, ale také ekonomického. Závěrem je provedena celková finanční analýza a porovnání návrhů z hlediska technologického, ekonomického a služeb poskytovaných koncovým zákazníkům.

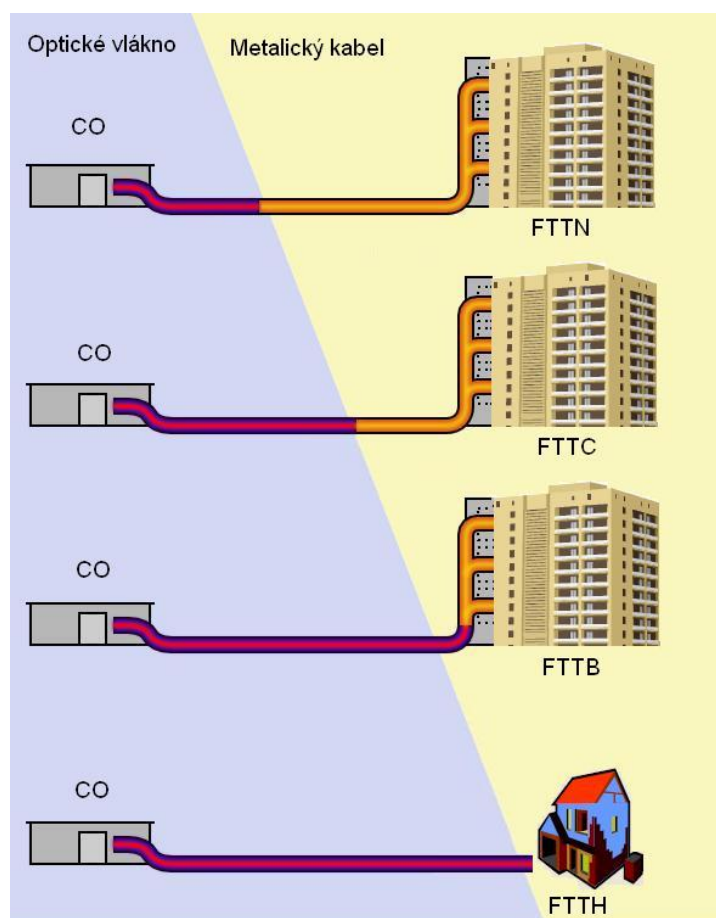
1. Definice sítě FTTH

V současné době, kdy je rozvoj nových technologií masivní a požadavky telekomunikačních služeb na šířku přenosového pásma a přenosové rychlosti jsou čím dál větší, se velice uplatňuje využití optických technologií. Tak jako alternativní operátoři zaměřeni na metalické sítě, tak i národní telekomunikační operátoři, se snaží do svého portfolia přidat hlasové služby, video služby a přístup k vysokorychlostnímu internetu. Všichni se snaží zákazníkům poskytnout komplexní telekomunikační služby, nejlépe v podobě služeb triple play. Vývoj optických vláken, s téměř neomezenou virtuální šířkou přenosového pásma otevřel dveře mohutnému rozvoji metropolitních sítí. Díky tomu i optické přístupové sítě začínají být dostupnější i pro širokou veřejnost a nejsou pouze výsadou velkých firem. Mobilní i alternativní operátoři se většinou snaží poskytnout “triple play“ služby často na pronajatých infrastrukturách poslední míle. Jiná situace nastane, když se rozhodne o výstavbě vlastních, na míru šitých širokopásmových optických přístupových sítí až k zákazníkům.

1.1 Srovnání s ostatními sítěmi FTTx

FTTH (Fiber To The Home) – je to optická přístupová síť, která vede optický signál od poskytovatele služeb až do zákaznických přípojek, je jednou z možností řešení optických přístupových sítí OAN FTTx. Do souboru FTTx dále patří:

- FTTC (Fiber To The Curb) - kdy jsou vlákna zavedena do účastnického rozvaděče a odtud jsou koncový účastníci připojeni metalickým kabelem.
- FTTB (Fiber To The Building) - optická vlákna jsou přivedena do budov koncových účastníků, kteří jsou pak připojeni pomocí vnitřní sítě.
- FTTO (Fiber To The Office) - optická vlákna jsou zavedena do prostor koncových účastníků s velkými nároky na přenosovou kapacitu.
- FTTCab (Fiber To The Cabinet) - optická vlákna jsou zavedena až do přístroje (PC).
- FTTN (Fiber To The Node) - optické vlákno je přivedeno k distribučnímu kabinetu a odtud může být připojeno až několik set blízkých účastníků pomocí metalických kabelů.



Obr. 1.1: Typy optických přístupových sítí.

Optické vlákno se díky technologii FTTH rozšíří z páteřní sítě až ke koncovému uživateli. Tyto sítě mají v dnešní době uplatnění zejména pro přenos moderních, širokopásmových triple play služeb, díky kterým uživatelé mohou využívat služeb:

- **Hlasových:** klasická telefonie, VoIP telefonie, rozhlasové vysílání, hudba na vyžádání (Music on Demand).
- **Datových:** připojení k vysokorychlostnímu internetu a služby s ním spojené jako email, web, ftp, hraní her (On Line Gaming) nebo služby spojené se zabezpečením domácnosti.
- **Obrazových:** video telefonie, video na vyžádání (Video on Demand), televizní analogové nebo digitální vysílání ve vysoké kvalitě, interaktivní TV, IPTV, apod.

1.2 Model sítě FTTH

Aplikační vrstva

Zákaznické zařízení, hardware a software, informace.

IP vrstva

Služby poskytovatele připojení k internetu (ISP).

Přenosová vrstva

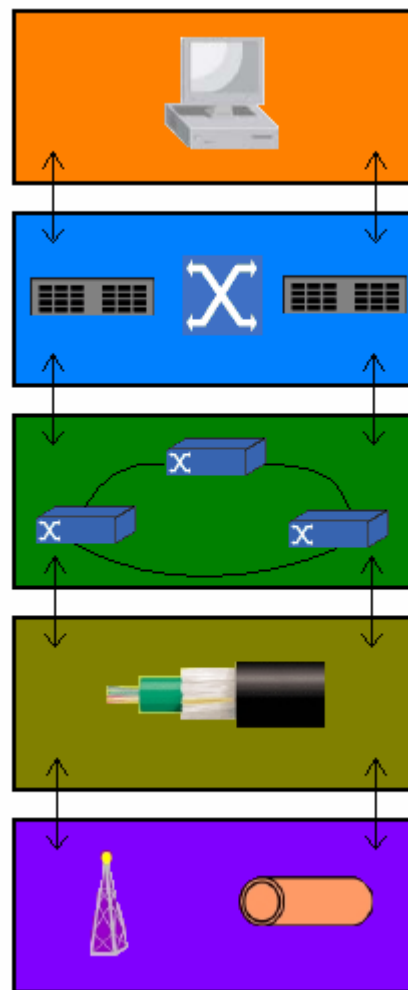
Přenosová zařízení, která propojují jednotlivé uzly.

Vrstva kabelů

Optické kabely, mikrokabely, multiducty, mikrotrubičky, svazky vláken, vlákna.

Vrstva chrániček a stožárů

Chráničky a stožáry.



Obr. 1.2: Vrstvový model FTTH.

2. Základní konfigurace

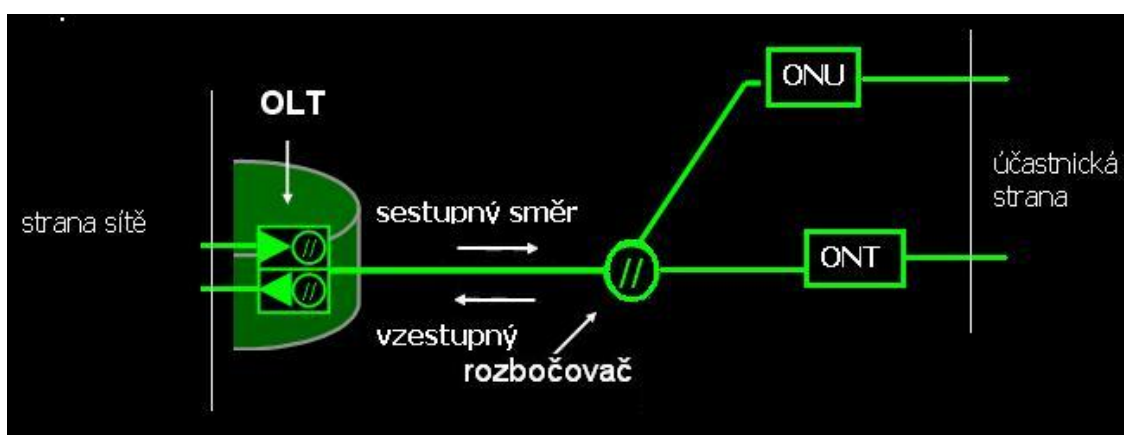
Řešení optického přenosu se dělí na dvě základní skupiny:

1. **bod - bod** (Point - To - Point, P2P)
2. **mnohabodová architektura** (Point - To - Multipoint, P2MP)

Při přenosu založeném na architektuře P2P, jsou na větvení signálu používány aktivní prvky, proto se tato síť nazývá aktivní - **AON** (Active Optical Network).

U architektury P2MP se na větvení signálu používají pasivní rozbočnice - splitters, síť je pak označována jako **PON** (Passive Optical Network).

2.1 Základní funkční celky tvořící přístupovou síť:



Obr. 2.1: Funkční celky FTTH.

OLT (Optical Line Terminal) = optické linkové zakončení, zajišťuje funkce síťového rozhraní mezi sítí zajišťující telekomunikační služby a sítí přístupovou (síťové zařízení na straně operátora).

ONU (Optical Network Unit) = optické ukončovací jednotky, zajišťují funkce na rozhraní mezi optickou a metalickou částí sítí (zařízení na straně zákazníka).

ONT (Optical Network Terminal) = optické síťové zakončení, zajišťující funkci účastnického rozhraní mezi koncovými zařízeními účastníků a přístupovou sítí (zařízení na straně zákazníka).

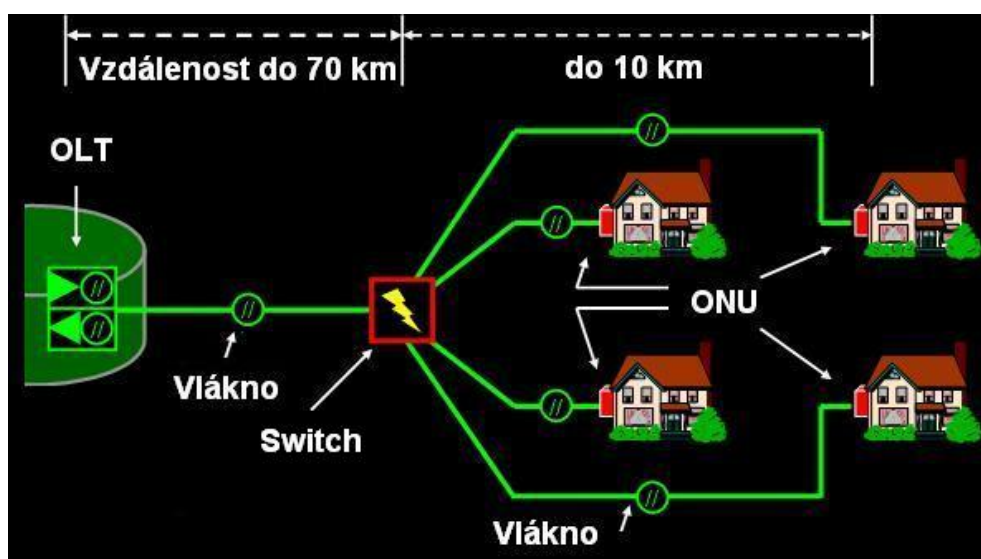
OLT, ONU a ONT jsou aktivní prvky sítě.

ODN (Optical Distribution Network) = optická distribuční síť, neboli soubor prostředků pro přenos signálu mezi OLT a ONU (ONT).

2.2 Aktivní optická síť (AON):

Jak již bylo zmíněno výše, tento typ architektury bývá používán u sítí P2P. Na trase nejsou použity pasivní prvky, ale aktivní prvky sítě Ethernet. U tohoto řešení je preferován vyhrazený kanál (vlákno) pro každého uživatele, který je plně duplexní a připojuje ho k přístupové platformě (směrovač, přepínač). Výhodou je bezproblémové řešení a garance dostupnosti služeb na úrovni přístupové linky, na které nevzniká žádná agregace a umožňuje standardní řešení na bázi optického ethernetu. AON lze použít na větší vzdálenosti než PON, limit je přibližně 80 km v závislosti na počtu koncových uživatelů [4]. Maximální počet koncových uživatelů je dán počtem použitých aktivních prvků. Nevýhodou jsou naopak vysoké investiční náklady, které plynou z:

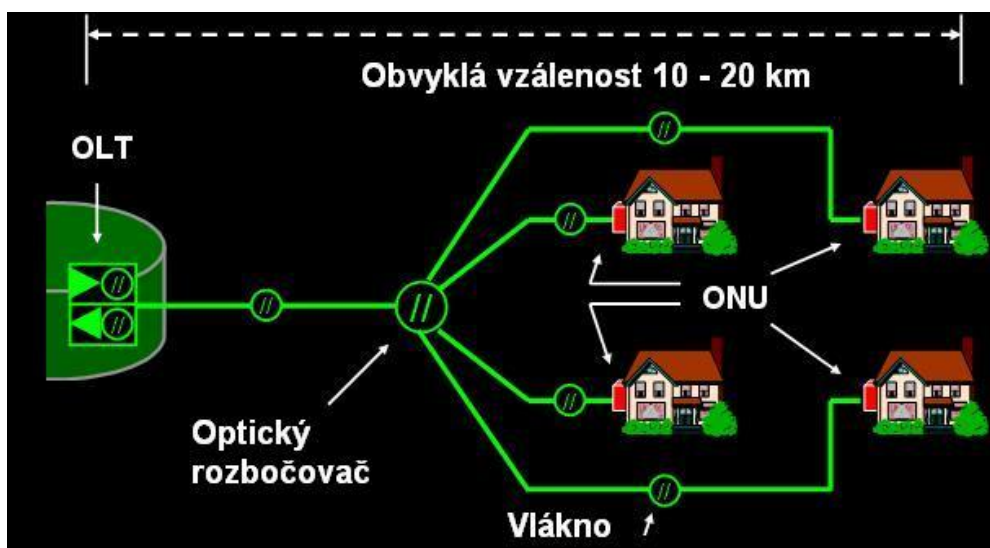
- nutnosti instalace bod-bod mezi každým zákazníkem a přístupovou platformou (velké množství vláken, svarů, optických konektorů, spojek, atd.),
- vysoké spotřeby el. energie (přibližně 8x více než P2MP),
- existence přístupové agregační platformy, která musí být dostatečně škálovatelná pro potenciál zákazníků v dané oblasti,
- potřeby velkého prostoru pro ukončení připojení všech zákazníků, s dostatečnou rezervou, pro možnost budoucího rozšíření (13x více prostoru oproti P2MP).



Obr. 2.2: Aktivní optická síť.

2.3 Pasivní optická síť (PON):

Tato síť umožňuje mnoha uživatelům sdílet jediné vlákno, bez žádných aktivních prvků. Zdrojový signál je přiveden z OLT do splitteru (rozbočovače), který je umístěn v blízkosti koncových uživatelů. Pasivní splitter bývá použit k připojení obvykle 32 nebo 64 koncových uživatelů (to je dáno podle infrastruktury sítě). Každé účastnické zařízení je potom zakončené ONT. OLT zajišťuje hlasové a datové příchozí signálové přenosy na vlnové délce 1490 nm, respektive 1550 nm pro CATV, zatímco ONT zajišťuje přenos odchozích signálů na vlnové délce 1310 nm umožňující přenos právě po jednom vlákně, aniž by docházelo k interferenci [8]. Nevýhodou této sítě je složitější řešení garance kvality služeb pro koncové zákazníky, agregace a omezená maximální přenosová rychlost. Ve všech dalších parametrech je tato síť výhodnější než P2P a proto jsou často používány modifikace PON sítí.



Obr. 2.3: Pasivní optická síť.

Kombinací aktivní a pasivní optické sítě vznikne tzv. hybridní síť. Volbou vhodné infrastruktury takové sítě může dojít k využití výhod obou druhů sítí, jako například dosažení velké vzdálenosti OLT od ONT, velký počet koncových uživatelů atd.

3. Pasivní prvky

3.1 Splittery a jejich útlum

Tab. 3.1: Závislost útlumu na počtu portů [8].

Počet portů	Útlum splitteru [dB]
2	3
4	6
8	9
16	12
32	15
64	18

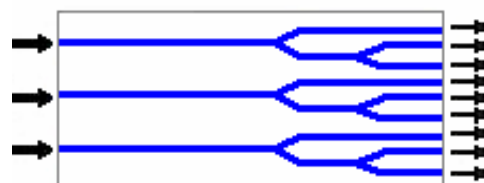
Jsou to zařízení s jedním vstupním portem a několika porty výstupními. Vstupní signál je dělen mezi výstupní porty a umožňuje tím uživatelům sdílet jedno optické vlákno (tím pádem i přenosové pásmo). V opačném směru – od uživatele jsou signály spojovány

z několika ONT do jednoho vlákna. Splittery jsou pasivní zařízení, protože nevyžadují žádné externí energetické zdroje.

Z důvodu dělení vstupního signálu má každý splitter jistý útlum. Jeho velikost je dána počtem výstupních portů. V síti FTTH může být zapojen jeden splitter nebo několik splitterů řazených do kaskády, což se odvíjí od topologie. Bez ohledu na topologii ale musí vyhovovat určitému maximálnímu útlumu, který je definován dle ITU-T viz. tabulka. 3.1.

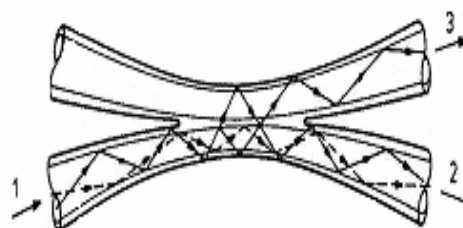
Podle technologie výroby se dělí na dvě skupiny:

PCL (Planar Lightwave Circuit) - jsou vyráběny planární technologií. Používá se na splittery s větším počtem výstupních portů. Technologickým postupem je na křemíkovém substrátu možné vyrobit požadovanou strukturu a dosáhnout tak až 128 výstupních portů.



Obr. 3.1: Planární splitter.

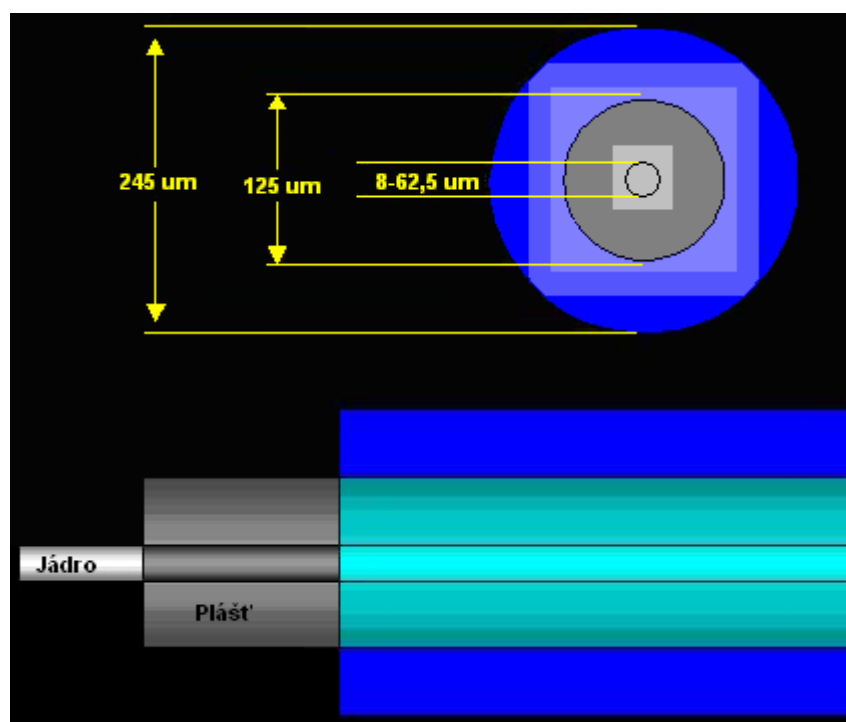
FBT (Fused Bionic Taper) - fúzní metoda, splittery se vyrábí spojováním optických vláken při vysokých teplotách a tlaku, dojde k natavení pláště a jádra se dostanou velmi blízko sebe. Touto technologií lze vyrobit jen svazky 2-4 vláken, která je možné pro dosažení většího počtu výstupních portů řadit kaskádovitě za sebe.



Obr. 3.2: Fúzní splitter.

3.2 Optická vlákna

Optické vlákno je válcový, podélně homogenní vlnovod. Je tvořeno jádrem, pláštěm a primární ochranou. Vyrábí se z chemicky čistého skla, nebo dnes i dokonce z plastů. Pro funkci op. vlákna jako vlnovodu musí být splněna podmínka absolutního odrazu, tj. rozdílného indexu lomu jádra a pláště. To je zajištěno vyšším indexem lomu jádra n_1 než indexu lomu pláště n_2 . Tím je zajištěno, že nemůže dojít k vyvázání optického paprsku z vlákna.



Obr. 3.3: Průřez optickým vláknem.

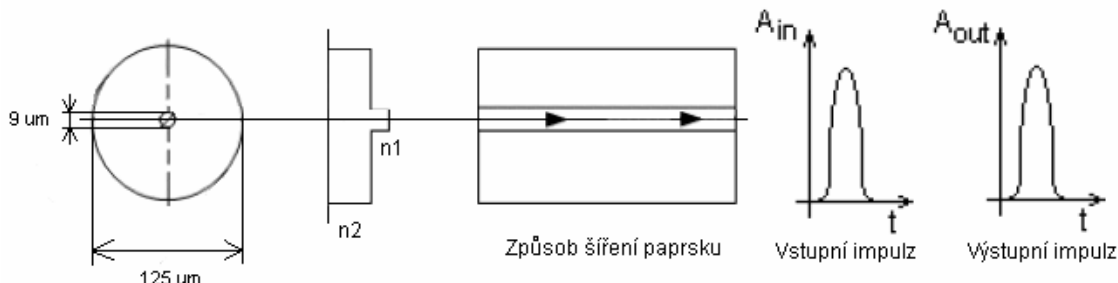
Optická vlákna můžeme z hlediska způsobu šíření op. signálu rozdělit na:

- Jednovidová SMF (Single Mode Fiber),
- Mnohavidová MMF (Multi Mode Fiber), která dále mohou být:
 - se skokovou změnou indexu lomu,
 - s gradientní změnou indexu lomu.

3.2.1 Jednovidová vlákna

Tyto vlákna mají malý průměr jádra a umožňují přenos pouze jediného vidu elektromagnetické vlny. U těchto typů světlovodů lze dosáhnout nízkých hodnot

útlumu. Současně však malý průměr jádra stěžuje navázání paprsku do vlákna. Dále tato vlákna umožňují díky malé disperzi větší šířku přenosového pásma. Pro jejich buzení se využívá zdrojů světla s úzkou spektrální čarou – optické lasery. V současnosti je to nejpoužívanější druh op. vláken nejen pro dálkové přenosy, ale také v sítích FTTx.



Obr. 3.4: Jednovidové vlákno.

V dřívějších dobách se hojně používala optická vlákna podle doporučení ITU-T G.652.A a G.652.B. Od těch se však postupem času začalo upouštět, neboť je nebylo možné provozovat na celém rozsahu vlnových délek a využívat tak všechna dostupná přenosová pásma.

Proto se začala používat vlákna dle doporučení ITU-T G.652.C a ITU-T G.652.D. Jsou to vývojově relativně nová vlákna, která z části eliminují nedostatky G.652.A a G.652.B. Umožňují provoz v celém rozsahu vlnových délek a využívat tak všechna přenosová pásma, včetně rozšířeného pásma E, které je mezi vlnovými délkami 1360-1460 nm [9]. To dříve nebylo možné z důvodu zvýšeného vloženého útlumu, který klasická vlákna na těchto vlnových délkách vykazovala. Je to způsobeno vlivem rezonancí na absorbovaných OH iontech vody, která se dostávala do vláken při výrobě. Proto jsou vlákna G.652.C a G.652.D označována jako Low Water Peak. Hodnota vloženého útlumu těchto vláken se pohybuje okolo 0,35 dB/km pro vlnovou délku 1310 nm, 0,27 dB/km pro 1490 nm a 0,22 dB/km pro 1550 nm [9]. V současné době se začínají čím dál více prosazovat op. vlákna Zero Water Peak, která vykazují ještě lepší vlastnosti než vlákna Low Water Peak. Technologickými pokroky při výrobě bylo dosaženo vláken, které zcela eliminuje nedostatky vláken G.652. Jsou vhodná pro využití celého spektra používaných vlnových délek (1310-1625 nm), aniž by vykazovala zvýšený vložený útlum [3].

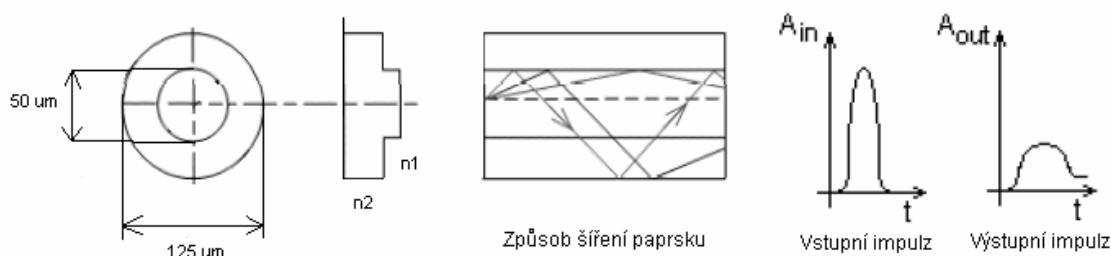
Dalším typem jsou vlákna dle doporučení ITU-T G.657.A, respektive G.657.B, které najdou uplatnění v mechanicky nevstřícných prostředích, díky velkým ohybovým poloměrům až 7,5 mm [3].

Tab. 3.2: Porovnání útlumu používaných vláken [3].

Vlnová délka	G.652.C	G.652.D	G.657
1550 nm	0,3 [dB/km]	0,3 [dB/km]	0,21 [dB/km]
1383 nm	0,4 [dB/km]	0,4 [dB/km]	0,31 [dB/km]

3.2.2 Mnohavidová vlákna se skokovou změnou indexu lomu

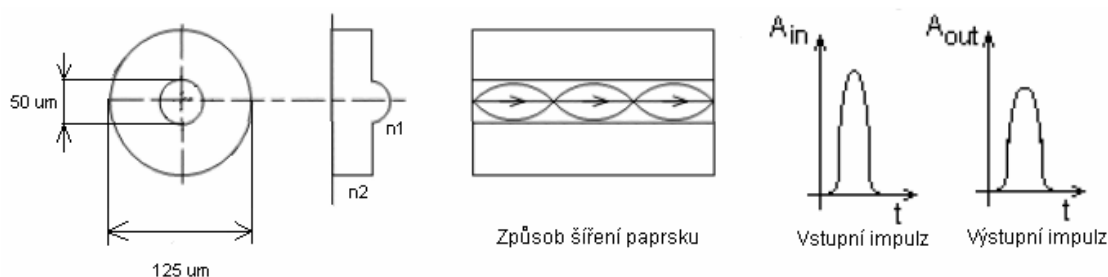
Zvětšováním průměru jádra roste počet vidů, které se mohou šířit. Standardně se používají světlovody s průměry jader 50 μm a 62,5 μm , ve kterých se šíří řádově tisíce vidů. Tímto vlivem vzniká vidová disperze, která omezuje šířku pásma do 50 MHz/km a dochází ke zvyšování hodnoty vloženého útlumu, která se u mnohavidových vláken pohybuje okolo 3 dB/km [6]. Uplatnění nachází na krátké přenosové vzdálenosti.



Obr. 3.5: Mnohavidové vlákno se skokovou změnou indexu lomu.

3.2.3 Mnohavidová vlákna s gradientní změnou indexu lomu

V gradientním vlákne se index lomu jádra mění spojitě. Z maximální hodnoty n_1 v ose vlákna postupně klesá na minimální hodnotu n_2 , které dosahuje na rozhraní jádra a pláště. Paprsky sledují zakřivení trajektorie, jejichž dráha je kratší než ve vláknech se skokovou změnou indexu lomu. Umožňují podstatné snížení vidové disperze. Při stejném průměru jádra a stejném rozdílu indexů lomu Δn přenáší gradientní vlákno oproti mnohavidovému se skokovou změnou indexu lomu poloviční počet vidů, což se příznivě projevuje na kvalitě přenášeného signálu. Dosahují šířky pásma přes 1 GHz [6]. Využívají se pro přenosy na středně velké vzdálenosti a jsou výhodné pro multiplexní přenosy.



Obr. 3.6: Mnohavidové vlákno s gradientní změnou indexu lomu.

3.3 Optické kabely, svazky vláken, multiducty, mikrotrubičky

3.3.1 Optické kabely

Optický kabel vzniká zapouzdřením více vláken v jeden celek. Jsou vyráběné pro různé použití, od toho se odvíjí jejich konstrukce, velikost a kapacita vláken. Optické kabely, které se vyrábějí pro přímou pokládku do země mají zesílený plášť, který chrání vlákna před nadměrným tlakem a jinými nepříznivými vlivy. Naopak mikrokabely pro zafukování do multiductů nebo HDPE trubek mají plášť tenký, protože hlavní ochrana je vytvořena právě HDPE trubicou. Vyrábějí se také kabely pro vzdušné instalace, které jsou opatřeny nosným ocelovým lanem, či dielektrickým tahovým prvkem a PE pláštěm. Podle počtu vláken se dají optické kabely rozdělit na:

„Feeder kabely“ (Obr. 3.7 a)

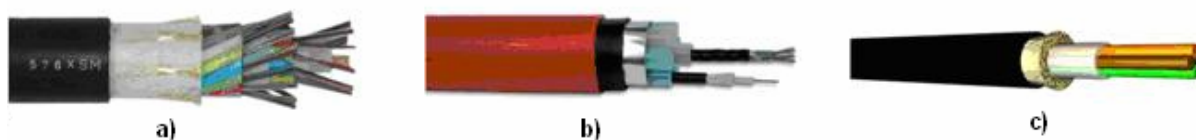
Nachází se mezi CO a prvním splitterem nebo aktivním prvkem. Mohou pokrýt několika kilometrové vzdálenosti a mohou mít 48-244 vláken k zajištění potřebné přenosové kapacity [7].

Distribuční kabely (Obr. 3.7 b)

Nachází se mezi splitterem nebo aktivním prvkem a ONT. Pokrývají vzdálenosti maximálně do 1 km a mývají 12-24 vláken [7].

Drop kabely (Obr. 3.7 c)

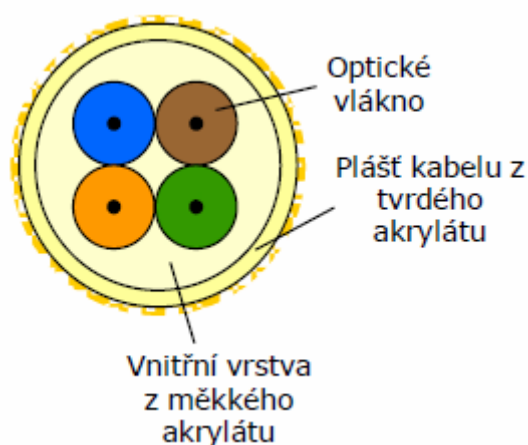
Jsou poslední částí externí sítě FTTH. Jsou tvořeny mikrokabely a mývají 2-6 vláken a průměr 1.8-6 mm. Používají se na vzdálenosti max. do 500 m [7].



Obr. 3.7: Druhy optických kabelů - a) “Feeder kabel“, b) “Distribuční kabel“, c) “Drop kabel“ [7].

3.3.2 Svazky vláken

Svazky vláken jsou optické mikrokabely kruhového průřezu, které jsou tvořeny jistým počtem vláken zalitých ve vrstvě měkkého akrylátu. Plášť kabelu je vyroben z tvrdého akrylátu. Svazky vláken se vyrábí v počtu 2-12 vláken. Dosahují průměru 1,0-1,45 mm. Jejich výhodou je vysoká flexibilita, umožňují poloměr ohybu až 20 mm [3]. Svazky vláken se používají s výhodou při technologii mikrotrubičkování, kdy jsou jednotlivé svazky zafukovány do mikrotrubiček. Mohou být také zafukovány do zesílených trubiček pro přímé položení do země.



Obr. 3.8 – Svazek vláken [3].

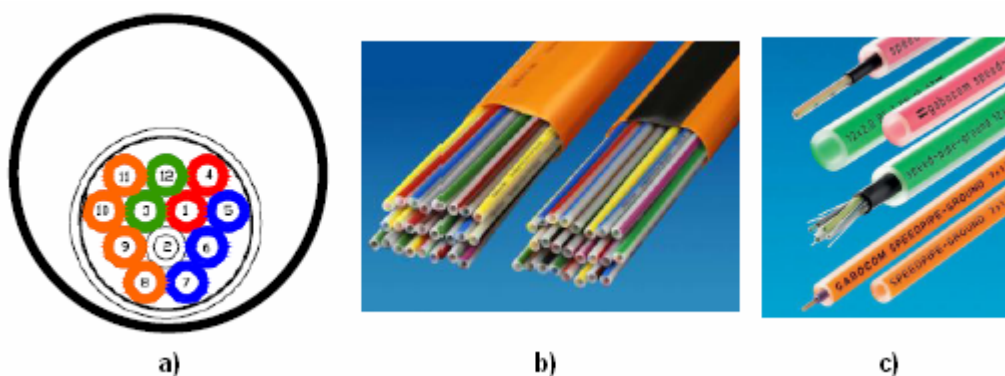
3.3.3 Mikrotrubičky, multiducty, zesílene mikrotrubičky pro přímou instalaci

Mikrotrubičková kabeláž nahrazuje strukturu běžných op. kabelů a zavádí do budování distribučních infrastruktur flexibilitu, modularitu a mají vyšší činitel plnění. Mikrotrubičky mají malé a lehké pláště a mohou mít různé průměry. Zafukují se do HDPE chrániček, do multiductů nebo do zesílených trubiček pro přímé položení do země. Do samotných mikrotrubiček se zafukují optická vlákna, či svazky optických vláken. Mikrotrubičky musejí mít na rozdíl od běžných trubiček určitou velikost, aby

byly přizpůsobeny původní trubičky a kabelům, které mají být instalovány a aby byla zajištěna vzájemná kompatibilita během instalace.

Multiducty jsou oplášťované sestavy 4, 7, 12, 19 a 24 trubiček, do kterých jsou zafukovány 3 mm nebo 5 mm mikrotrubičky. Multiduct se 24 trubičkami je tak schopný pojmout až 288 vláken. Do nich se zafukují optická vlákna, či svazky optických vláken. Multiducty se zafukují do HDPE chrániček. Z multiductů se mikrotrubičky vyvazují pomocí speciálních “Y” nebo “T” odbočných spojek [13].

Zesílené mikrotrubičky pro přímé položení do země se s výhodou používají pro metropolitní, přístupové (FTTx) a lokální sítě. Pro jejich položení není nutné instalovat HDPE trubky a zachovávají modularitu multiductů. Vyrábí se v průměrech 7, 10, 12 a 14 mm, přičemž do 7 mm mikrotrubičky je možné zafouknout svazek až 12 vláken. Zesílené mikrotrubičky mohou být také sdružovány v tzv. rukávech, které umožňují pojmout až 24 x 7 mm zesílených trubiček [13].



Obr. 3.9: a) 12M multiduct v HDPE chrániče, b) rukávy pro silnostěnné trubičky, c) silnostěnné trubičky [13].

3.4 Ostatní prvky distribuční sítě

Mezi zbylé části pasivní optické sítě patří:

- optické konektory,
- mechanické spoje a svary,
- patchordy, pigtaily,
- příslušenství pro trubičky (spojky trubiček, koncovky trubiček, těsnicí průchodky pro HDPE trubky i trubičky, ucpávky, redukční manžety atd.),
- optické zásuvky v bytě zákazníka,
- optické rozvaděče aj.

3.4.1 Optické spoje a svary

Mechanické spoje představují rychlý a levný způsob spojení vlákna. Výhodou je také že je to rozebíratelný spoj, tudíž se s výhodou využívá pro dočasné spoje u náhradních tras apod., kde je realizován menší počet spojů. Nevýhodou je větší vložený útlum mechanickou spojkou, který se pohybuje od 0,1 dB do 0,5 dB [16].

Princip instalace mechanické optické spojky [16]:

- očištění vlákna,
- zalomení v lámačce - děličce vláken,
- založení do spojky - „V“ drážka, kapilára, ...
- zajištění fyzického kontaktu - imerzní gel,
- mechanická fixace polohy,
- případné „doladění“,
- uložení do kazety.



Obr. 3.10: Mechanická spojka [16].

Svařování optických vláken se provádí tam kde je třeba pevných nerozebíratelných spojů. Tento druh spojování vláken má vysokou kvalitu a nízký útlum. Vyplatí se při realizaci většího množství spojů na jednom místě, na spojování segmentů optických tras, pro zakončování vláken pigtaily nebo patchordy. Provádí se pomocí přenosných svářeček, které jsou vybavené speciální technikou, jako je kamera, mikroskop apod., které umožní optimální nastavení vláken před samotným provedením svaru. Útlum se u svarových spojů pohybuje v rozmezí 0,02-0,04 dB [6].



Obr. 3.11: Svářecí technika Furukawa Fitel [16].

3.4.2 Optické konektory

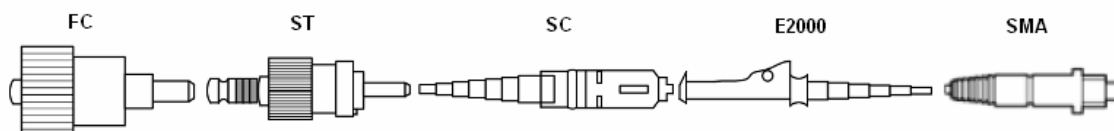
Optické konektory patří mezi nepoužívanější optické pasivní komponenty a slouží pro připojování vláken k aktivním nebo pasivním prvkům v ústřednách, rozvaděčích, v místech opakovačů a v malé míře i v kabelových trasách. Princip konektorů spočívá v přesném navedení příslušných konců vláknových světlovodů proti sobě. Důležitou roli má počáteční nastavení polohy konců vláken vůči referenčním polohám příslušné části konektoru. To se provádí speciálními fixovacími přípravky. Samotný kontaktní člen je nejdůležitější částí konektoru, který výrazně ovlivňuje kvalitu, parametry a cenu. V současné době jsou technologie výroby optických konektorů na vysoké úrovni. Díky tomu mají konektory značně nižší útlum, než tomu bývalo dříve, větší odolnost vůči polarizačním vlastnostem a zpětným rozptylům. Také se rozšířily materiály používané pro výrobu a metody leštění čel. V neposlední řadě se také snížila cena. Hodnota útlumu vloženého do optické trasy prostřednictvím konektorů se pohybuje v rozmezí 0,2-0,6 dB [6]. Konektory se většinou kupují od výrobců s kouskem vlákna, jako tzv. pigtaily, avšak některé jednodušší typy konektorů je možné na vlákno instalovat i v terénu. Na hodnotu zpětného odrazu má značný vliv způsob leštění čela (ferule).

Používané typy leštění ferulí [5]:

- NPC (Non Physical Contact) – kolmé zabroušení.
- PC (Physical Contact) – sférické zabroušení.
- SPC (Super Physical Contact) – sférické zabroušení.
- UPC (Ultra Physical Contact) – sférické zabroušení.
- APC (Angled Physical Contact) – úhlové sférické zabroušení.

Používané druhy konektorů [5]:

- SMA - starší typ konektoru určený pro SM vlákna, nezajištěný proti otočení, vložený útlum 0, 25 dB.
- FC - standard pro telekomunikace, šroubovací převlečná matice s polohováním, vložený útlum < 0,4 dB.
- ST - standard pro telekomunikace, optický konektor určený pro SM i MM vlákna. bajonetový závěr, vložený útlum 0,2-0,3 dB.
- SC - optický konektor určený pro SM vlákna, podporovaný AT&T, ISO/IEC11801. Push-pull provedení, vložený útlum 0,15 dB.
- E2000 - evropský standard pro telekomunikace, je to konektor určený především pro SM vlákna, provedení push-pull, vložený útlum 0,2 dB.



Obr. 3.12: Ukázky optických konektorů.

4. Instalace distribuční infrastruktury

Instalace prvků distribuční sítě může být provedena mnoha způsoby. Optické kabely mohou být instalovány použitím příslušné nadzemní nebo podzemní instalační techniky. Umístění HDPE chrániček, splitterů, spojek a jiných pasivních komponentů bývá závislé na geografických faktorech a realizované topologii.

Pokládka HDPE chrániček, optických kabelů, multiductů atd. je jednou z nejdražších částí při budování pasivní infrastruktury, což je způsobeno nákladnými výkopovými pracemi. Máme na výběr z několika metod. To, kterou zvolíme, se odvíjí od mnoha faktorů, jako je cena, povolení úřadů, změna estetiky, zda budujeme síť ve stávající výstavbě nebo v nové lokalitě apod.

- Metoda pokládání HDPE trubek do země, do kterých jsou poté zafukovány op. kabely, multiducty atd.
- Přímá metoda pokládání do země, kdy jsou použity zesílené trubičky určené pro tento účel a následně jsou do nich zafukovány mikrokabely nebo svazky vláken.
- Instalace op. kabelů do plynového, kanalizačního, vodovodního, popř. i jiného potrubí. V tomto případě je využito stávající infrastruktury např. plynového řádu a není proto nutné provádět opětovné výkopové práce.
- Venkovní nadzemní instalace, kdy jsou kabely zavěšeny na sloupech nad zemí. Tento typ instalace se většinou používá u přestaveb nebo tam, kde není možná pokládka do země. Optické kabely mohou být připevněny k nosnému lanu nebo mohou být samonosné. Ve vyspělých zemích se tímto způsobem zavadí optická konektivita díky nízkým pořizovacím nákladům i do malých vesnic.

4.1 Technická úskalí výstavby

Technická úskalí provází každou výstavbu, a to jak nové sítě, tak i přestavbu již fungující sítě. Aby síť fungovala co nejefektivněji a zároveň byla cenově dostupná a měla jisté rezervy do budoucna, je nutné udělat složitý kompromis. Proto je pro každý projekt nutné zvážit následující faktory:

- Základní otázkou je, zda zvolit architekturu P2P, P2MP nebo hybridní kombinaci?
- Pokud P2P, tak jaké zvolit aktivní prvky?

- Pokud pasivní síť, jaký typ – BPON, GPON, EPON, GEPON?
- Spoje u splitterů vařit nebo konektorovat?
- Umístění splitterů?
- Distribuce video služeb IPTV nebo CATV?
- Použít mikrotrubičky nebo klasickou technologii?
- Použít jedno vlákno nebo dvě?
- Jakým způsobem měřit parametry sítě?
- Jak velké rezervy nechat do budoucna?

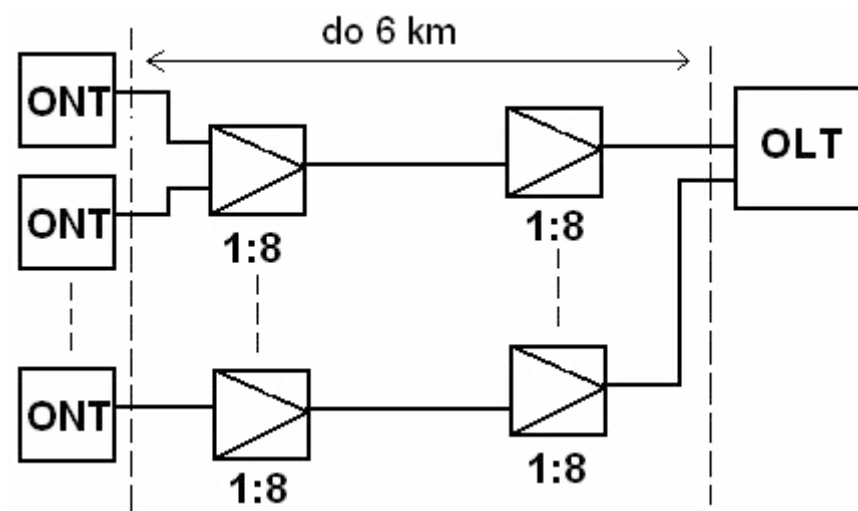
Většinu těchto otázek nám může pomoci vyřešit simulační software, kde můžeme provést návrh a analýzu optických systémů, optimalizaci optických tras, porovnání tradičních a nových technologií, analýzu ochrany a obnovy sítě apod.

Největší problémy při výstavbě telekomunikačních optických sítí jsou v přístupových sítích. Telekomunikační operátoři si již vybudovali moderní vysokokapacitní a vysokorychlostní transportní síť založené na optice, nebo si je pronajímají. Problémem však bývá rychlé a ekonomické připojení koncových zákazníků. Při výstavbě bývají často problémem prostorová omezení na ulicích, chodnících, případně jiná omezení, jako památková, která mnohdy znemožňují provádění výkopů pro pokládku nových HDPE chrániček a kabelových komor pro uložení odbočných spojek a rezerv optických kabelů. Tyto problémy se daří minimalizovat pomocí technologie mikrotrubičkování.

4.2 Útlum

Důležitým faktorem návrhu distribuční sítě je útlum na optické trase, tj. útlum mezi OLT a ONT. Útlum vložený do optické cesty je tvořen útlumem samotného vlákna, útlumem splitterů, dále útlumem všech svarů, mechanických spojů a konektorů. Současná technologie umožňuje připojení až 64 zákazníků (ONT) na jeden OLT port. Použitím dvou úrovní rozbočení, by byl teoretický útlum $2 \times 9 \text{ dB}$ + útlum svarů a vláken. Kvůli rozptylu parametrů optických splitterů (8,5-11 dB), se ale však musí v praxi počítat s útlumem alespoň 10 dB. Vezmeme-li například teoretickou vzdálenost ONT od OLT do 6 km (obr. 4.1), při útlumu vláken 0,33 dB/km, kvalitních kabelech, kvalitní instalaci a rezervě pro budoucí rozšíření, pak nám stále ještě zbývá na celé op. trase rezerva 3-4 dB. Tu můžeme použít na další úroveň rozbočení 1:2. Z toho

plyne, že při dodržení určité vzdálenosti OLT od ONT (do 6 km), je možné dosáhnout celkového rozbočení až 1:128.



Obr. 5.1: Optické rozbočování 1:8 v PON.

4.3 Mikrotrubičkování

Mikrotrubičkování je jednou z moderních technologií používaných v telekomunikacích pro výstavbu optických přístupových sítí. Tato technologie umožňuje podstatné zvýšení přenosové kapacity, redukuje náklady na výstavbu a zavádí do distribuční sítě modularitu a flexibilitu. V současnosti se stává čím dál větším problémem prostor při výstavbě a nedostatečná kapacita kabelovodů. Tyto problémy se dají do značné míry eliminovat právě nasazením mikrotrubičkování. To se provádí s optickými mikrokabely, svazky vláken, nebo jejich kombinací.

4.3.1 Mikrotrubičkování s optickými mikrokabely

Při této technologii se do volných ochranných HDPE trubek zafouknou multiducty nebo volné svazky mikrotrubiček, do nich jsou pak zafukovány optické mikrokabely. V jedné HDPE trubce je možné vybudovat až několik na sobě nezávislých optických cest. Mikrotrubičkování umožňuje výstavbu optických tras postupně a tím rozložit celkové náklady do delšího období, protože je možné mikrokabely přifukovat až v okamžiku jejich potřeby a také je možné jednoduše měnit konfiguraci sítě.

Výhody mikrotrubičkování s mikrokabely lze shrnout následovně:

- Snížení nákladů v případě budoucí výměny vláken.
- Omezení počtu optických kabelových spojek na minimum.
- V případě potřeby snadné odbočení bez použití optické odbočné spojky.
- Využívá se již vybudovaných tras (nevyužité HDPE chráničky).
- Zjednoduší se možnost křížení nebo propojení několika tras.
- Snadná změna konfigurace sítě.

4.3.2 Mikrotrubičkování se svazky optických vláken

Tato technologie se v současnosti prosazuje u většiny projektů, které řeší problematiku poslední míle. Svazky vláken se hojně využívají namísto optických mikrokabelů při technologii mikrotrubičkování. Do mikrotrubiček se ze soustředovacího bodu zafouknou svazky optických vláken (2-12). Tyto svazky jsou mikrotrubičkami odbočujícími z multiductu přivedeny až do optických rozvaděčů, popř. až do domu zákazníka. Mikrotrubičkování se svazky vláken má stejné výhody jako mikrotrubičkování s mikrokabely, navíc mají výhodu větší flexibility, umožňují poloměr ohybu až 20 mm [3].

4.3.3 Mikrotrubičkování s pokládkou speciálních optických mikrokabelů do drážek:

Jedná se o bezvýkopovou technologii využívanou v případech, kde je ve městech obtížné budovat přístupovou síť klasickými výkopovými technologiemi. Speciální optický mikrokabel se pokládá do drážek hlubokých cca 0,5 m a šířce 10 až 12 mm. Drážky se vyřezávají do asfaltových či betonových povrchů, chodníků, nebo jiných zpevněných ploch. Používají se mikrokabely s max. počtem 60-120 optických vláken [19].

Výhody mikrotrubičkování s pokládkou do drážek:

- Výhodná alternativní instalace v případě míst, kde není možné provádět pokládku klasickým způsobem.
- Omezení časové náročnosti výstavby a redukce finančních nákladů.

5. Triple play (trojitá hra)

Širokopásmové služby triple play, jsou dnes často skloňovaným pojmem pro distribuci nemodernějších datových, hlasových a video služeb. I když se o tyto služby pokouší operátoři prostřednictvím metalických sítí, nikdy se jim nepodaří dosáhnout kvality a množství služeb jako je tomu u optických.

Triple play umožňuje služby:

- Datové:
 - připojení k vysokorychlostnímu internetu a služby s ním spojené:
 - e-mailing, e-learning, web, ftp, online gaming atd,
 - služby spojené se zabezpečením domácnosti.
- Hlasové:
 - klasická telefonie,
 - IP telefonie – VoIP,
 - rozhlasové vysílání,
 - hudba na vyžádání (Music On Demand).
- Video:
 - TV prostřednictvím IP (IPTV), umožňující HDTV,
 - analogové vysílání TV (CATV),
 - video na vyžádání (Video On Demand),
 - interaktivní TV, prohlížení www stránek na TV atd.

5.1 Distribuce video signálu

Zajišťování této služby je pro každého telekomunikačního operátora velice důležité, protože tvoří většinu jeho příjmů. V rámci Triple Play, jsou nabízeny video služby, které jsou k uživatelům distribuovány dvěma způsoby. Pomocí IPTV nebo CATV.

IPTV

Přenáší video signál k uživateli prostřednictvím paketové sítě. IPTV může oproti CATV nabídnout velkou škálu služeb, kterých mohou zákazníci využívat. Jedná se o služby jako je VoD (Video On Demand), vlastní videotéka, přehrávání zpožděných pořadů, interaktivní TV, prohlížení www stránek na TV a mnohé další. To je však zaplacenou vyššími pořizovacími náklady zejména na aktivní prvky, jak na straně zákazníka, tak na straně poskytovatele (CO). Jak plyne již z charakteru IPTV, je možné ji implementovat pouze v P2P sítích, zvláštním případem je IPTV přes GEPON síť. Proces přenosu video signálu je následující [2]:

- Na straně síťového zakončení je digitalizován a po té komprimován.
 - MPEG2:
 - SDTV 3-4 Mbit/s,
 - HDTV 16-20 Mbit/s.
 - MPEG4:
 - SDTV 1,5-3 Mbit/s,
 - HDTV 6-10 Mbit/s.
- Takto komprimovaná – binární data jsou vkládána do IP datagramů a přenášena do ONT.
- Mezi ONT a televizor je nutné zařadit STB s rozhraním IP.
- STB je s ONT propojen strukturovanou kabeláží CAT 5, televizor s ONT pak prostřednictvím koaxiálního kabelu, SCART či HDMI (HDTV) kabelu.

Realizace IPTV je možná dvěma způsoby. Pokud je síť rozsáhlejšího charakteru, tak se v distribučním centru budují nákladné Head End stanice. V případě malých sítí by tato varianta byla velice neekonomická a síť by se stala zcela jistě nerentabilní. Proto se využívá možnosti outsourcingu externích firem formou odkoupení nebo pronájmu proxy serveru, který je do CO umístěn a následně zpracovává zakoupený IPTV content.

IPTV přes GEPON:

GEPON architektura umožňuje rozdělení přenosového pásma pro jednotlivé uživatele. Podporuje multicast – jeden signál může být sdílen několika uživateli. Každý video kanál je zajišťován specifickou multicastovou adresou. Podporuje také

unicast, ten se používá pro služby na vyžádání a podporuje jeden signál pro jednoho uživatele.

CATV

Druhou možností distribuce video signálu je **překryvná PON** síť, využívající vlnovou délku 1550 nm. Tato vlnová délka byla stanovena organizací ITU-T a byla zvolena z důvodu nejmenšího útlumu na této vlnové délce. Video signál je prostřednictvím CATV koncovému zákazníkovi doručován překryvnou PON sítí, která je budována vedle distribuční sítě pro datové a hlasové služby, která může být P2P nebo P2PM. V případě P2MP představuje CATV jistou analogii.

Pro CATV je nutné v CO vybudovat Head End stanici zahrnující parabolu s konvertory a slučovač, kterým se zajišťuje sloučení kanálů do jednoho signálu. Tento signál je přiveden do laserového vysílače, ve kterém dojde ke konverzi el. signálu na optický. Po té je takto upravený optický signál přiveden do optického zesilovače a následně distribuován překryvnou PON sítí ke koncovému zákazníkovi. Důležitým parametrem pro vybudování překryvné PON je výstupní úroveň optického zesilovače. Podle této hodnoty jsou voleny prvky sítě a řazení splitterů tak, aby se signál dostal ke koncovému zákazníkovi s jistou úrovní, kterou je schopná GW (GateWay - brána) zpracovat. V GW dojde ke konverzi optického signálu na elektrický a následně je přenášen do televizoru prostřednictvím koaxiálního kabelu.

CATV koncovým zákazníkům nedokáže nabídnout interaktivní služby jako VoD, Time Shifting apod., což je ale kompenzováno výrazně nižší cenou aktivních prvků. Z tohoto důvodu je často CATV používána.

6. Případová studie – Návrh sítě FTTH pro obec „Světlokosy“

Tato praktická část práce by měla představovat výchozí podklady pro přípravnou fázi projektu. Měla by zahrnovat veškerá řešení nutná pro realizaci této přístupové sítě v dané lokalitě. Výstupem je technické i ekonomické řešení, na základě kterého vyplývá, která z navrhovaných variant je pro daný projekt nejvhodnější z hlediska možností realizace, finanční náročnosti, poskytovaných služeb pro koncové zákazníky a rezervou pro budoucí rozvoj.

Cíle projektu

Cílem projektu je navrhnout přístupovou síť FTTH, která bude v dané lokalitě nejvhodnější po všech hlediscích. Měla by vytvářet infrastrukturu založenou na moderních optických technologiích, které nabízí dostatečně velkou šířku přenosového pásma, dimenzovanou i na další rozvoj v budoucnosti s možností flexibilního rozšiřování. Koncovým zákazníkům by pak taková síť umožňovala kvalitní připojení k internetu, samozřejmě jsou nejmodernější služby triple play, umožňující nejen konektivitu opravdu vysokorychlostního internetu, ale také služby jako je VoIP telefonie, IPTV či CATV. To vše při zachování finanční dostupnosti pro běžného uživatele. Každý takový projekt je příkladem a výzvou pro ostatní poskytovatele internetových služeb, ale i měst samotných, k vybudování vlastních optických infrastruktur a rozšíření svého portfolia služeb.

Popis lokality

Vlastnosti lokality, ve které se rozhodneme vybudovat optickou přístupovou síť, nám vždy ovlivňují průběh celého návrhu nejzásadněji. Podle vybrané lokality, počtu obyvatel a také geografických vlastností je třeba vybrat vhodnou topologii a všechny prvky optické infrastruktury.

Návrh sítě FTTH bude prováděn na fiktivní obci „Světlokosy“. Tato obec má přibližně 600 obyvatel, 134 rodinných domů, 20 bytů, Základní a Mateřskou školu, Obecní úřad, Poštu, potraviny, restauraci a společenský dům. Návrh počítá s připojením všech 154 domácností i ostatních institucí. Předpokládáme velkou penetraci, protože obec se nachází v zajímavé lokalitě poblíž velkého města a byla v posledních letech rozšiřována a opravována. O takové destinace je v dnešní době velký zájem, především

mladými lidmi a rodinami, které se chtějí vyhnout ruchu velkoměsta, ale přitom mu být nadosah. V následující tabulce je nastíněn počet optických přípojek.

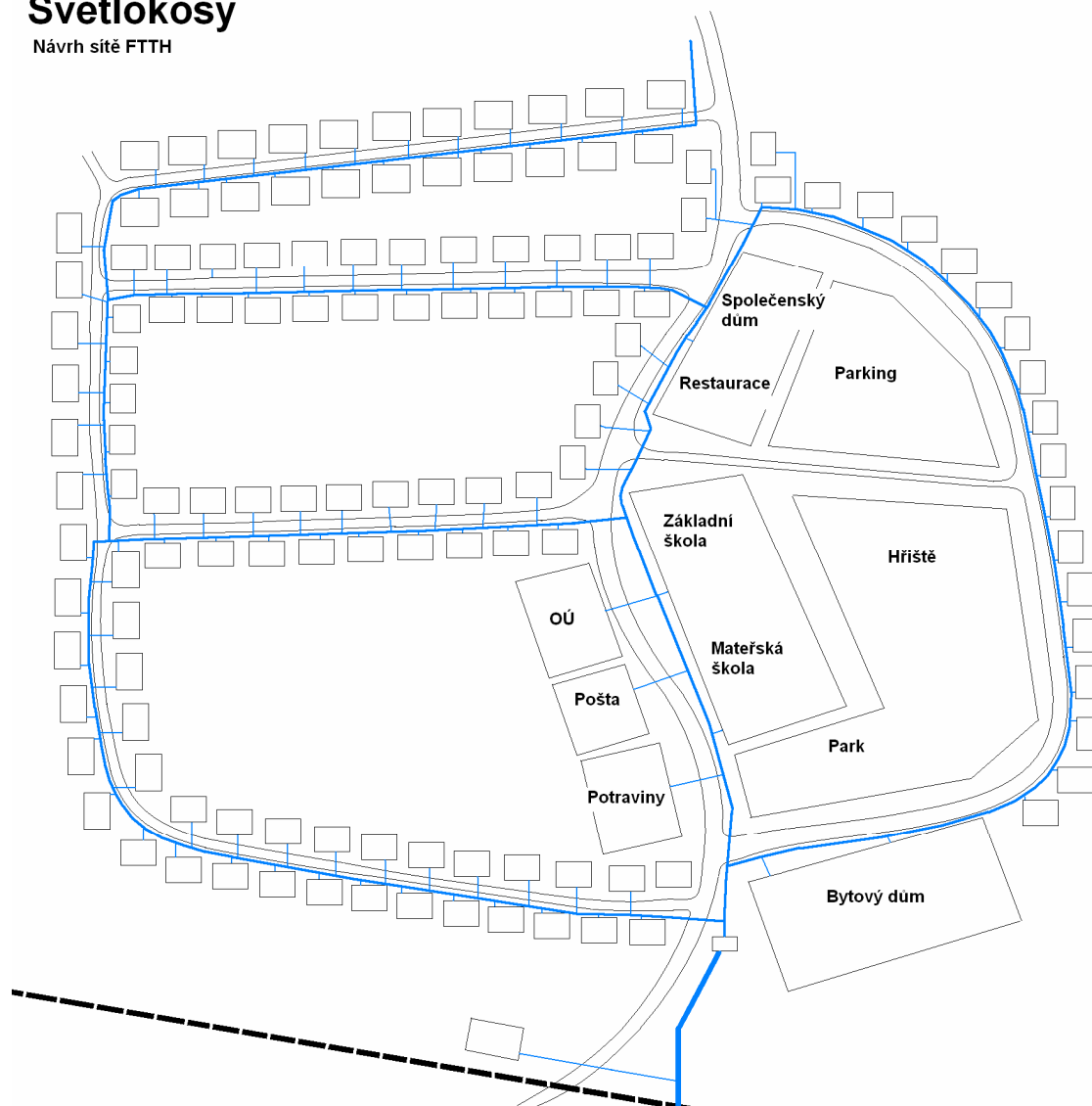
Tab. 6.1: Rozpis optických přípojek.

Objekt	Počet přípojek FTTH
Rodinné domy	134
Bytové jednotky	20
Základní škola	1
Mateřská škola	1
Obecní úřad	1
Pošta	1
Společenský dům	1
Restaurace	1
Potraviny	1
Celkem	161

V projektu bereme v úvahu vybudování všech 161 přípojek a také rezervy do budoucna, protože je dosti pravděpodobné rozšiřování obce o další objekty. Celkový počet přípojek může být tedy maximálně 240 při topologii P2P, při P2MP i více. Na následujícím obrázku je nastíněno rozložení obce včetně nově budovaného vodovodního řádu.

Světlokosy

Návrh sítě FTTH



Obr. 6.1: Rozvržení obce „Světlokosy“.

Projekt počítá s faktem, že v obci byl vybudován nový vodovodní řád. Při té příležitosti byly položeny polyethylenové HDPE trubky 40/32 mm a 20/16 mm, které využijeme pro realizaci pasivní infrastruktury. Díky tomu, že byly HDPE trubky položeny současně s budováním vodovodního řádu, došlo ke značné redukci financí při výstavbě pasivní infrastruktury, protože nebylo nutné provádět nákladné výkopové práce.

Analyzované návrhy

Všechny návrhy, které budou probírány, jsou realizovány plně optickými přístupovými sítěmi FTTH. Podle toho, jaká bude zvolena topologie, se bude dále odvíjet šířka pásma připadající na každého koncového uživatele, kvalita poskytovaných služeb a jejich množství. V návrzích nejsou započítány investice spojené se stavebními a instalačními pracemi, návrhy jsou koncipovány z hlediska výběru správných technologií pro danou lokalitu a měli by dát čtenáři přehled o finančních nákladnostech jednotlivých variant. Uváděné ceny byly přepočteny kurzem 1 USD = 20,5 Kč, 1 EUR = 27 Kč.

V následujícím textu budou analyzovány tyto architektury:

- P2P IPTV
- P2P CATV
- P2MP CATV

Ve všech třech variantách bude pasivní infrastruktura realizovaná pomocí technologie mikrotubičkování. To sice způsobí navýšení počátečních investic výstavby, ale bude tím do budoucna zajištěna flexibilita a modifikovatelnost sítě bez nutnosti dalších nákladných výkopových prací.

6.1 Topologie P2P IPTV

V této části se zaměříme na řešení topologie P2P. Rozebráno bude technologické řešení i předběžné finanční kalkulace jak pasivní části sítě, tak i nutných aktivních prvků. Tato síť představuje ze všech tří variant tu nejsilnější po stránce šířky přenosového pásma. Každý koncový zákazník má své vlákno, které vede od CO až do jeho GW, což mu nabízí v podstatě „neomezenou“ virtuální šířku pásma. Taková síť je schopná nabídnout vysokorychlostní internet, VoIP a také IPTV a to vše s velkými rezervami do budoucna. IPTV představuje sice značné zvýšení investic z důvodu nutnosti STB u koncových uživatelů, ale na druhou stranu rentabilita takové sítě by měla být zajištěna službami, které IPTV umožňuje a které zejména v budoucnosti budou považovány za standard. Jedná se např. o VoD, zpětné přehrání zmeškaného pořadu atd.

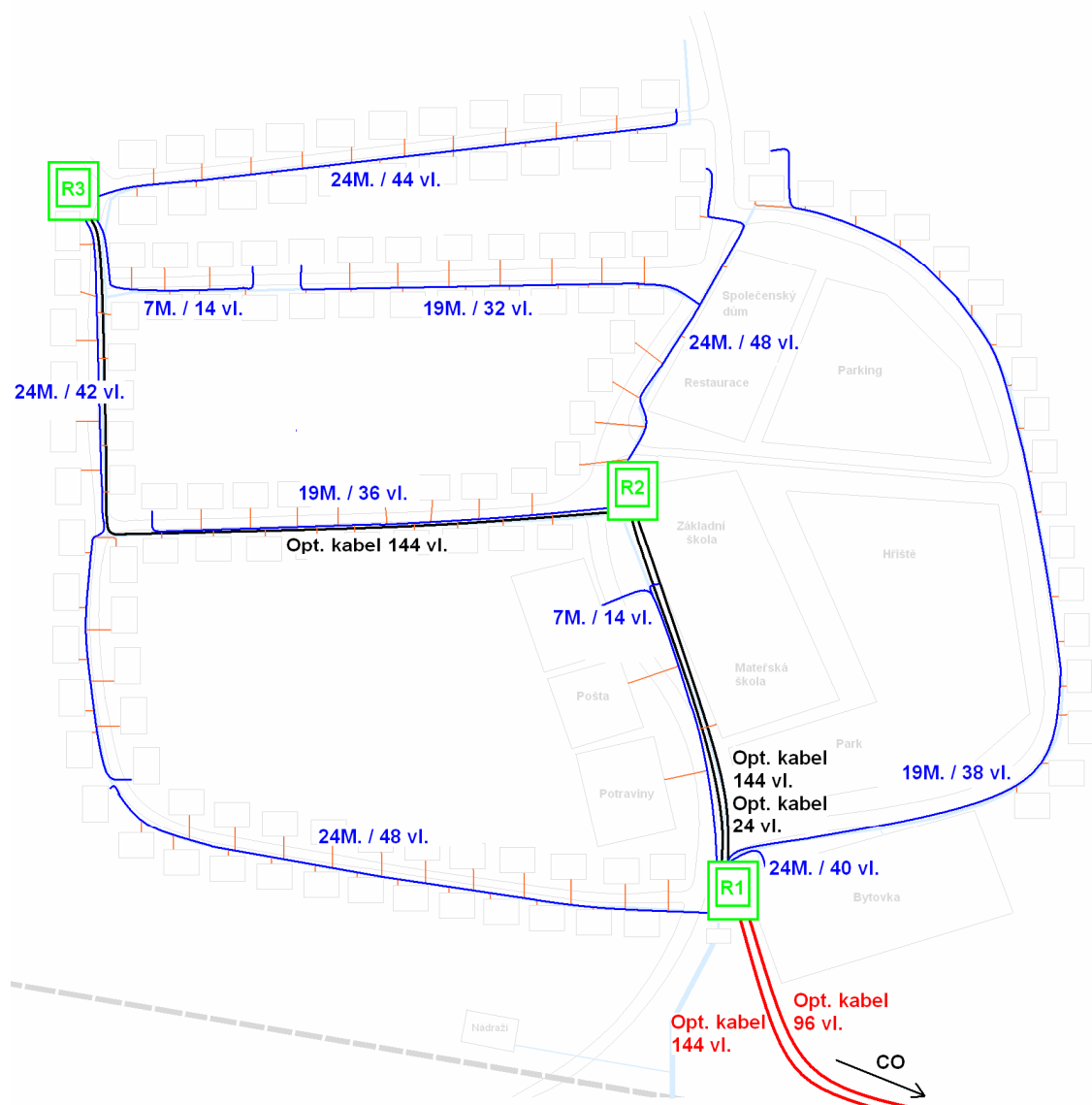
6.1.1 Pasivní infrastruktura

V popisované lokalitě je 161 objektů, kterým bude zajištěna optická konektivita pomocí sítě FTTH. Jedná se o 134 rodinných domů, 20 bytových jednotek, Základní škola (1G přípojka), Mateřská škola (1 přípojka), Obecní úřad (1 přípojka), Poštu (1 přípojka), potraviny (1 přípojka), restauraci a společenský dům (2 přípojky).

Schéma rozvržení prvků sítě je patrné z obr. 6.2. Hlavní strukturu tvoří rozvaděče R1-R3. R1 a R2 jsou typu ORU3 (umožňuje připojení až 252 koncových účastníků), R3 je typu ORU2 (umožňuje připojení až 108 koncových účastníků). Rozvaděče jsou mezi sebou propojeny optickými kabely. Rozvaděč R1 a R2 jsou propojeny dvěma kabely MiDia CT, o kapacitě 144 a 24 vláken. Rozvaděče R2 a R3 jsou propojeny kabelem MiDia CT o kapacitě 144 vláken. Rozvaděče jsou propojeny op. kabely, které mají více vláken než je na takovou distribuční síť potřeba, to je ovšem způsobeno výrobními počty kabelů. Vlákná, která jsou neaktivní, budou sloužit do budoucna pro případné rozšiřování sítě. Rozvaděče jsou propojeny op. kabely, nikoli mikrotrubičkami. Ušetříme tak za mikrotrubičkovou technologii, která by byla v této sekci zbytečná. Pro případné rozšiřování sítě budou sloužit neaktivní vlákna.

Rozvaděč R1 je propojen s CO pomocí dvou optických kabelů MiDia GX uložených v HDPE chráničkách, přičemž jeden je 144 vláknový a druhý 96 vláknový. Z celkového počtu 240 optických vláken přiváděných z CO do R1 tedy bude aktivních pouze 161, ostatní budou nachystány na budoucí využití. Na rozvaděč R3 budou v budoucnu připojeny další objekty, které budou vybudovány v rámci rozšiřování obce. V rozvaděčích je instalován Fiber Management Systém SAFeTNET®. Ten umožňuje přehledné uspořádání vláken, kontrolu proti ohybu, bezpečné uložení svarů atd. Optické kabely jsou uloženy v HDPE 40/32 mm trubkách, které byly položeny při výkopových pracích spojených s budováním nového vodovodního řádu.

Pro připojení koncových účastníků je již použita technologie mikrotrubičkování. Vzhledem k tomu, že počet koncových přípojek se bude s velkou pravděpodobností někdy měnit, je výhoda flexibility mikrotrubiček na místě. Z rozvaděčů jsou vedeny multiducty v počtu 7, 12, 19 a 24 mikrotrubiček (v obrázku označeno např. 7M./14 vl. = sedmi trubičkový multiduct a čtrnáct vláken). Počty mikrotrubiček v jednotlivých multiductech jsou v některých případech naddimenzované, což je dáno výrobním počtem.



Obr. 6.2: Návrh distribuční sítě FTTH P2P IPTV.

Mikrotrubičky, které zůstanou prázdné, budou sloužit jako rezervy do budoucna. Z multiductů jsou mikrotrubičky v místech koncových zákazníků vyvázány pomocí odbočovacích členů. V tomto místě jsou trubičky nahrazeny spojkou za zesílené trubičky pro přímé položení do země gabocom peed pipe®-ground, o rozměrech OD 7/ID 4 mm. Do takto připravených cest jsou zafouknuty svazky vláken AccuBreeze FX. Do všech objektů jsou zafouknuty dvou vláknové svazky vláken. Vlákná u koncových účastníků jsou zakončena pigtaily. Konektivita bytových jednotek bude zajištěna rozvaděčem typu ORU1 umístěným na chodbě bytového domu. Z něj pak povede v lištách ke každému účastníkovi patchcord Violet TIGER-AllWave®FLEX. Do ZŠ je na rozdíl od ostatních přípojek (100 Mbit) zavedeno 1 Gbit

vlákno a následně je konektivita do jednotlivých částí budovy zajištěna vnitro objektovými metalickými rozvody. V rámci celé navrhované sítě jsou používána vlákna AllWave®Flex dle doporučení ITU-T G.657.

Pro zajištění konektivity koncových uživatelů bude u topologie P2P IPTV využíván vždy jen jedno z dvojice vláken, které je v příslušném rozvaděči provařené s vláknem daného optického kabelu. Tím bude zajištěná přímá konektivita mezi CO a koncovým zákazníkem.

Tab. 6.2: Investiční náklady na vybudování distribuční sítě P2P IPTV.

Prvky distribuční sítě		Cena [Kč]
HDPE 40/32 mm	4200 m	96 600
Sloupové rozvaděče ORU 3 s listovacím managementem	2x	39 600
Sloupové rozvaděče ORU 2 s listovacím managementem	1x	16 900
Sloupové rozvaděče ORU 1 s listovacím managementem	1x	15 200
Opt. kabel MiDia GX se 144 vl.	1250 m	119 375
Opt. kabel MiDia GX se 96 vl.	500 m	32 600
Opt. kabel MiDia CT se 24 vl.	250 m	5 000
Multiduct 24M x 3 mm	1120 m	106 400
Multiduct 19M x 3 mm	1000 m	68 000
Multiduct 7M x 3 mm	280 m	10 500
Gabocom peed pipe®-ground OD 7/ID 4 mm	900 m	6 750
Těsnicí průchodky pro HDPE trubky	141 ks	50 050
Ucpávky HDPE trubek	9 ks	900
Spojky trubiček	141 ks	13 728
Odbočné členy Y	141 ks	91 650
Odbočné členy T	1 ks	800
Ucpávky trubiček	10ks	200
Redukční manžety pro vyústění trubiček	141 ks	25 740
Redukční manžety pro vyústění multiductu 19M.	1 ks	350
Svazky vláken AccuBreeze FX - 2 vláknové	17190 m	110 016
Svazky vláken AccuBreeze FX - 4 vláknové	120 m	876
Ochrany pro svary	500x	3 600
Patchcordy	20x	2 400
Pigtaily	141x	7 755
Cena celkem		773 090

Protože výkopové práce představují u méně náročných projektů až 60% investic, je výběr správných a kvalitních technologií a způsoby uložení do země důležitým faktorem do budoucna, aby pro případné modifikace sítě nebylo nutné provádět opětovné výkopové práce.

6.1.2 Distribuční centrum – centrální místnost (CO)

Umístění distribučního centra je ve vzdálenosti 0,5 km od rozvaděče R1. Je to z důvodu připojování dalších lokalit v blízkosti vesnice, se kterými se počítá do budoucna. Proto bylo zvolené jisté geografické umístění, aby bylo distribuční centrum přístupné pro více lokalit současně.

Technické vybavení CO se odvíjí od služeb, které síť distribuuje. Naše distribuční centrum je určené k poskytování datových, hlasových a video služeb, včetně IPTV. Základním prvkem CO jsou čtyři switche firmy Allied Telesyn - Enhanced Fast Ethernet Layer 3+ Switch řady x900-48FS. Každý tento „inteligentní“ switch má 48 x 100BASE-X SFP portů a 4 x 1000BASE-X SFP uplinkové porty. Podporují IPv4 a IPv6, QoS, multicast služby, VLAN, zrcadlení portů, SSL a SSH, DSCP, agregace linek dle IEEE 802.3ad a mnohé další. Čtyři tyto switche zajistí konektivitu až 192 koncových uživatelů. Čtyři uplinkové porty každého switche jsou datově „napájeny“ 1G technologií, konkrétně pomocí Combo switche Allied Telesis AT-x900-12XT/S. Každý tento combo switch má 12 Gbit portů. Proto jsou v našem CO použita tato zařízení dvě. Tím získáme 24 Gbit portů, 16 jich je použito k datovému „napájení“ uplinkových portů FE switchů x900-48FS, jeden Gbit port je použit pro přímé propojení se ZŠ. Do šachet switchů je třeba zapojit SFP moduly, které zajistí propojení mezi switchi a vlákny koncových uživatelů. V našem případě jsou porty směrem k zákazníkům jedno vláknové, tudíž budou použity 100M BiDi SFP moduly, pro ZŠ jsou použity dvou vláknové SFP moduly, jeden je umístěn ve switchi AT-x900-12XT/S a druhý v AT-8648T/2SP-50, který je umístěn v budově ZŠ. Pro propojení 1G uplinků x900/48FS s 1G porty x900/12xt/s budou použity dvou vláknové SFP moduly pracující na vlnové délce 1310 nm. Centrální místnost je také vybavená propracovaným managementem rozvaděče LGX™ Fiber Management, který umožňuje bezpečné uložení svarů, rezerv a hlavně zajišťuje přehlednou organizaci vláken. Aktivní prvky také musí být osazeny softwarem vhodným pro požadované služby.

Budovat Head End stanici pro poskytování služeb IPTV by bylo v případě tak malého počtu koncových účastníků jako má naše síť velice nákladné a nerentabilní. Z tohoto důvodu byla zvolena varianta zajištění konektivity IPTV formou outsourcingu od společnosti ProZETA. Od této společnosti by se odkoupil Video Proxy server, který by zajišťoval vše potřebné. Tento Proxy server je nutné „datově“ napájet, což by bylo

zajištěno na pronajaté páteřní síti, která prochází nedaleko obce. V následující tabulce 6.3 jsou nastíněny investice do distribučního centra.

Tab. 6.3: Investiční náklady na vybudování CO pro P2P IPTV.

Distribuční centrum	Cena [Kč]
Aktivní technologie	795 523
Rozvaděč s fiber managementem, včetně pigtailů, konektorových průchodek (adapterů) a patchcordů k aktivnímu zařízení	95 500
Video Proxy server	71 400
Celková cena	962 423

6.1.3 Koncový účastníci

Volba koncových zařízení je důležitým faktorem při vytváření kvalitní optické sítě, která má nabízet plnohodnotné služby triple play. Při výběru zařízení je nutné brát ohled na kvalitu zpracování, propracovanost managementu a podporované služby. Pokud bychom zvolili nevhodné zařízení, mohlo by dojít ke znehodnocení signálu nebo zhoršení kvality poskytovaných služeb.

Pro uživatele naší sítě jsem zvolil GW od dánské firmy DKT Omega, konkrétně produkt DKT Omega FTTH-1F-4P-SV, který je navržen pro distribuci služeb Triple Play prostřednictvím IP. Disponuje čtyřmi 10/100 Mbps RJ45 porty pro připojení STB nebo PC. Data jsou distribuována jedním single mode vláknem. Tato gateway také podporuje protokol SNMP umožňující správu a monitorování. Set Top Box byl zvolen Amino 110, který je společností ProZETA doporučen, pro bezchybnou funkčnost s video proxy serverem. Tento STB umožňuje příjem 48 kanálů ve formátu MPEG2. Cena za služby IPTV by byla na jednoho uživatele cca 300 Kč/měsíc.

Vnitro objektové rozvody jsou v případě ZŠ řešeny Fast Ethernet Layer 3 switchem Allied Telesis AT-8648T/2SP-50 umístěným v racku. Tento L3 switch disponuje 48x 10/100Base-Tx porty. Díky svému managementu, ochranným prvkům a možnostem nastavení služeb QoS zajišťuje spolehlivou distribuci datového toku pro celou ZŠ. Z racku jsou v lištách vedeny do koncových prostorů strukturované kabeláže CAT 5. V případě OÚ je použita GW stejná jako u běžných uživatelů v domácnostech.

Tab. 6.4: Investiční náklady na koncová zařízení pro P2P IPTV.

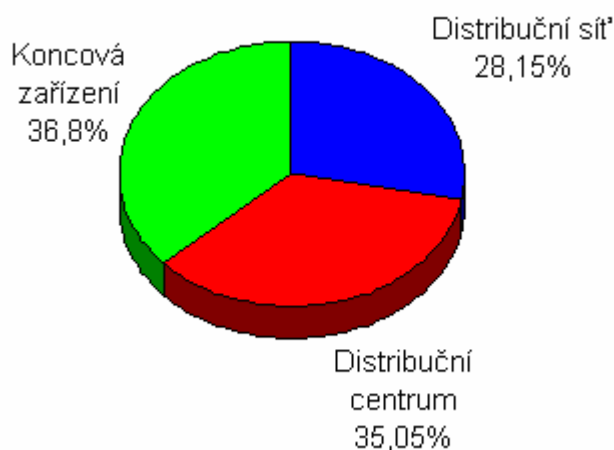
Koncový účastníci	Cena [Kč]
Gatewaye	623 923
STB	361 600
Switch AT-8648T/2SP	25 127
Cena celkem	1 010 650

Z tabulky 6.4 vyplývá, že značné náklady představují STB nutné k příjmu IPTV. Rentabilitu této investice by mělo zajistit široké portfolio služeb, které bude díky STB umožněno.

6.1.4 Celková bilance finančních nákladů topologie P2P IPTV

Tab. 6.5: Celkové náklady na topologii P2P IPTV.

Část infrastruktury	Cena [Kč]
Distribuční síť	773 090
Distribuční centrum	962 423
Koncová zařízení	1 010 650
Celková cena	2 746 163
Cena na koncového zákazníka	17 057



Obr. 6.3: Rozložení investičních nákladů P2P IPTV.

Celková výše investičních nákladů potřebných pro realizace tohoto návrhu je 2 746 163 Kč. Po přepočtu na koncového účastníka je cena 17 057 Kč. Jak plyne z tab. 6.4 a obr. 6.3, nejnákladnější částí jsou to u této topologie dle očekávání koncová zařízení, která představují 36,8% z celkových investic na vybudování této topologie.

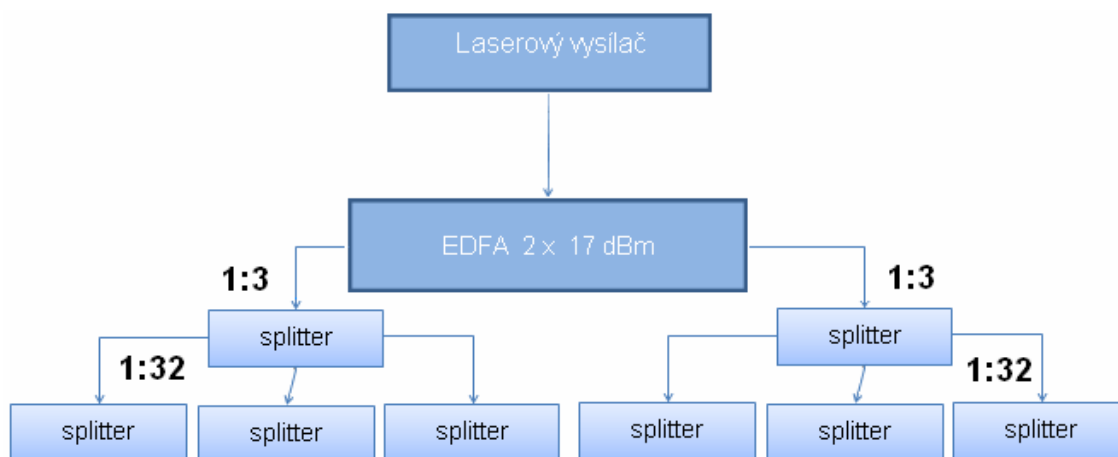
6.2 Topologie P2P CATV

Tato varianta distribuční sítě je často realizovaná z důvodu dobrého poměru cena/výkon. Každý koncový uživatel má své vlákno na datové a hlasové služby, tudíž má plnou šířku pásma jen pro sebe. Namísto IPTV je zákazníkům poskytována CATV, která je distribuována pomocí překryvné PON sítě. Tato varianta navyšuje náklady o splittery které je nutné instalovat v rozvaděčích a o sedm vláken provařených na víc na trase R1 – R2 – R3. Tyto položky jsou však zanedbatelné oproti financím, které ušetříme vypuštěním IPTV. Je to zejména tím, že pro CATV není nutné pořizovat nákladné STB. Také na aktivní prvky umístěné v CO nejsou kladeny tak vysoké finanční nároky. Nevýhodou CATV je, že poskytuje pouze příjem TV signálu bez možnosti dalších video služeb.

6.2.1 Pasivní infrastruktura

Distribuční síť je téměř shodná s topologií P2P IPTV. Rozdíl je v počtu provařených vláken, která byla z CO do rozvaděče R1 sice přivedená jako rezervní, ale nebyla používána. Počet provařených vláken se navýší pouze o 2, protože překryvnou PON síť, potřebnou pro distribuci CATV, vytvoříme kaskádním řazením splitterů. Použitý EDFA zesilovač má dva výstupy, tudíž budou základními rozbočovacími prvky dva splittery 1:3. V rozvaděči R1 budou instalovány čtyři splittery. Základní rozbočovací splitter 1:3 a tři splittery s rozbočením 1:32, které zajistí konektivitu CATV v oblasti, kterou pokrývá, včetně bytového domu. Ke koncovým zákazníkům bude signál přiveden stávající infrastrukturou s tím rozdílem, že druhé vlákno v každém svazku, které bylo doposud nevyužité, bude provařené se splittery a použité pro distribuci CATV. Stávající infrastrukturu v bytovém domě je nutné rozšířit o 20 patchordů, oproti P2P IPTV, kde bylo pro každého zákazníka jedno vlákno dostačující. Mezi rozvaděčem R1 a R2 je provařeno oproti stávajícímu počtu navíc 17 vláken. V rozvaděči R2 jsou instalovány dva splittery. Druhý hlavní rozbočovací splitter 1:3 a jeden s rozbočením 1:32, které zajistí konektivitu CATV v oblasti, kterou pokrývá. Přivedení signálu koncovým zákazníkům je provedeno opět provařením druhého vlákna ve svazku. Mezi rozvaděčem R2 a R3 jsou provařena dvě vlákna a v rozvaděči R3 jsou také instalované dva splittery, s rozbočením 1:32, které pokryjí zbylou část obce. Rozšíření do budoucna bude možné případně dodáním EDFA zesilovače.

Použitý EDFA zesilovač má dva výstupy s úrovní 17 dBm. Koncová zařízení DKT jsou schopná přijímat správně signál do -8 dBm. Maximální překlenutelný útlum je tedy $17+8=25$ dB. Kaskádní řazení splitterů v této distribuční síti je volené tak, aby maximální překlenutelný útlum nepřekročil tuto hodnotu. Hlavní splittery mají útlum 5,8 dB a na něj jsou napojené další splittery, s rozbočením 1:32, které představují vložený útlum 15 dB. Výsledný útlum splitterů je tedy přibližně 20,8 dB. Připočteme-li ještě útlum vláken (0,2-0,3 dB/km), svarů (0,02-0,04 dB) a konektorů (0,2-0,6 dB), máme do hodnoty 25 dB stále jistou rezervu.



Obr. 6.4: Náhradní schéma překryvné PON sítě pro CATV.

Prvky distribuční sítě budou tedy shodné s variantou P2P IPTV, navíc přibyló šest splitterů s rozbočením 1:32 a dva s rozbočením 1:3. Dále bylo nutné provaření dalších dvou vláken mezi CO a R1 a provaření vláken mezi splittery. Z důvodu maximálního využití splitterů při stávající konfiguraci distribuční sítě bylo nutné mezi R1 a R2 provařit 16 vláken. Tím jsme využili 16 volných výstupů na jednom z rozbočovačů 1:32 v R1 a zároveň jsme ušetřili za další splitter 1:16, který by bylo nutné instalovat v R2. Zapomenout také nesmíme na to, že jsou využita i druhá vlákna ve svazku, tudíž je potřeba i tato vlákna zakončit pigtaily či patchcordy. V následující tabulce jsou nastíněny výdaje spojené s budováním překryvné PON sítě pro CATV.

Tab. 6.6: Náklady na vybudování překryvné PON sítě.

Komponenty	Cena [Kč]
Splitter 1:3 2x	3 549
Splitter 1:32 6x	23 273
Pigtail 141x	7 755
Patchcord 20x	2 400
Celkem	36 978

Cena distribuční sítě je tedy 810 077 Kč což představuje navýšení oproti P2P IPTV o 4,8 %.

6.2.2 Distribuční centrum – centrální místnost (CO)

Distribuční centrum je pro datovou a hlasovou část shodné s topologií P2P IPTV. Základním prvkem jsou opět čtyři switche od společnosti Allied Telesyn - Enhanced Fast Ethernet Layer 3+ Switch řady x900-48FS a Combo switche Allied Telesis AT-x900-12XT/S.

Pro CATV je nutné vybudovat Head End stanici, která zajistí příjem TV signálu. Head End stanice zahrnuje zařízení pro příjem satelitních kanálů, DVB-T kanálů a slučovač, který zajistí sloučení kanálů do jednoho signálu. Tento signál je dále přiveden do laserového vysílače, kde dojde ke konverzi el. signálu na optický. Po té je takto upravený optický signál přiveden do optického zesilovače a z něj dvěma vlákny přiveden do hlavních rozbočovačů 1:3 umístěných v R1.

Pro naši síť je navržena Head End stanice od firmy Blankom, skládající se z následujících prvků:

Tab. 6.7: Technické vybavení Head End stanice pro CATV.

Produkt	Popis
Headend -Management HCB 100	Řídící jednotka systému
Bus Extender with power supply unit BEB 100	Přídavné napájení
Twin Audio/Video modulator VMC 101	Audio/video modulátor pro vřazení tv kanálu přes A/V vstup, dvou karta, 2 kanály
Twin SAT-TV Transmodulator STC 201	Dvojkarta pro příjem SAT kanálu, jedna karta přijímá 2 stanice
TWIN TERR. TV - TRANSMODULATOR TTC 501	Dvojkarta pro příjem DVB-T stanic, jedna karta přijímá 2 stanice,
Active 4/Way Combiner ACC 190	Slučovač kanálů
19" Subrack MSR 016	Rack pro uložení komponentů
Laser transmitter 1550 nm, LT1550-006-1-33-SC-SNMP	Laserový vysílač, 1550 nm, 8 dBm, 1 výstup, 6 mW
Erbium-Doped Fiber amplifier, EDFA-17-220-SA-04-S	EDFA optický zesilovač, 2*17dBm, 100~240VAC, 19", SC/APC connector

Tato Head End stanice je koncipovaná pro 22 kanálů k vysílání. Výstupní úroveň 2x17 dBm je pro naši síť dostatečující a umožňuje vytvoření překryvné PON. Cena této HE je 167 436 Kč. Výsledná cena distribučního centra pro topologii P2P CATV je tedy 1 058 459 Kč.

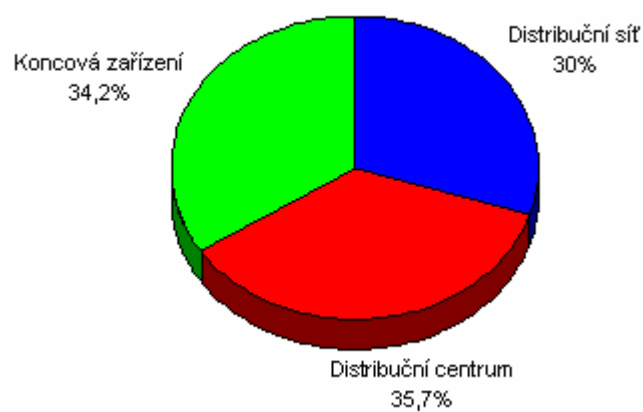
6.2.3 Koncový účastníci

U koncových účastníků jsou v tomto případě instalovány GW DKT Omega FTTH-CATV-2F-4P-S, které jsou navrženy pro distribuci služeb Triple Play (data, hlas, video-IPTV, RF) prostřednictvím IP. Disponuje čtyřmi 10/100 Mbps RJ45 portem pro připojení PC, jedním RF TV výstupem a podporou protokolu SNMP umožňujícího správu a monitorování. IP data jsou distribuována jedním single mode vláknem, CATV signál je distribuován druhým, samostatným single mode vláknem. Rozdíl oproti P2P IPTV je v integrování modulu pro příjem CATV. Celková cena koncových zařízení je oproti P2P IPTV redukována, protože pro příjem CATV není nutný STB. Cena koncových zařízení je 923 510 Kč.

6.2.4 Celková bilance finančních nákladů

Tab. 6.8: Celkové náklady na topologii P2P CATV.

Část infrastruktury	Cena [Kč]
Distribuční síť	810 077
Distribuční centrum	1 058 459
Koncová zařízení	923 510
Celková cena	2 792 046
Cena na koncového zákazníka	17 342



Obr. 6.5: Rozložení investičních nákladů P2P CATV.

Celková výše investičních nákladů potřebných na vybudování tohoto návrhu by byla 2 792 046 Kč. Po přepočtu na koncového účastníka je cena 17 342 Kč. Jak je patrné z tab. 6.8 a obr. 6.5, největší náklady si vyžádalo distribuční centrum, což je způsobeno Head End stanicí pro CATV.

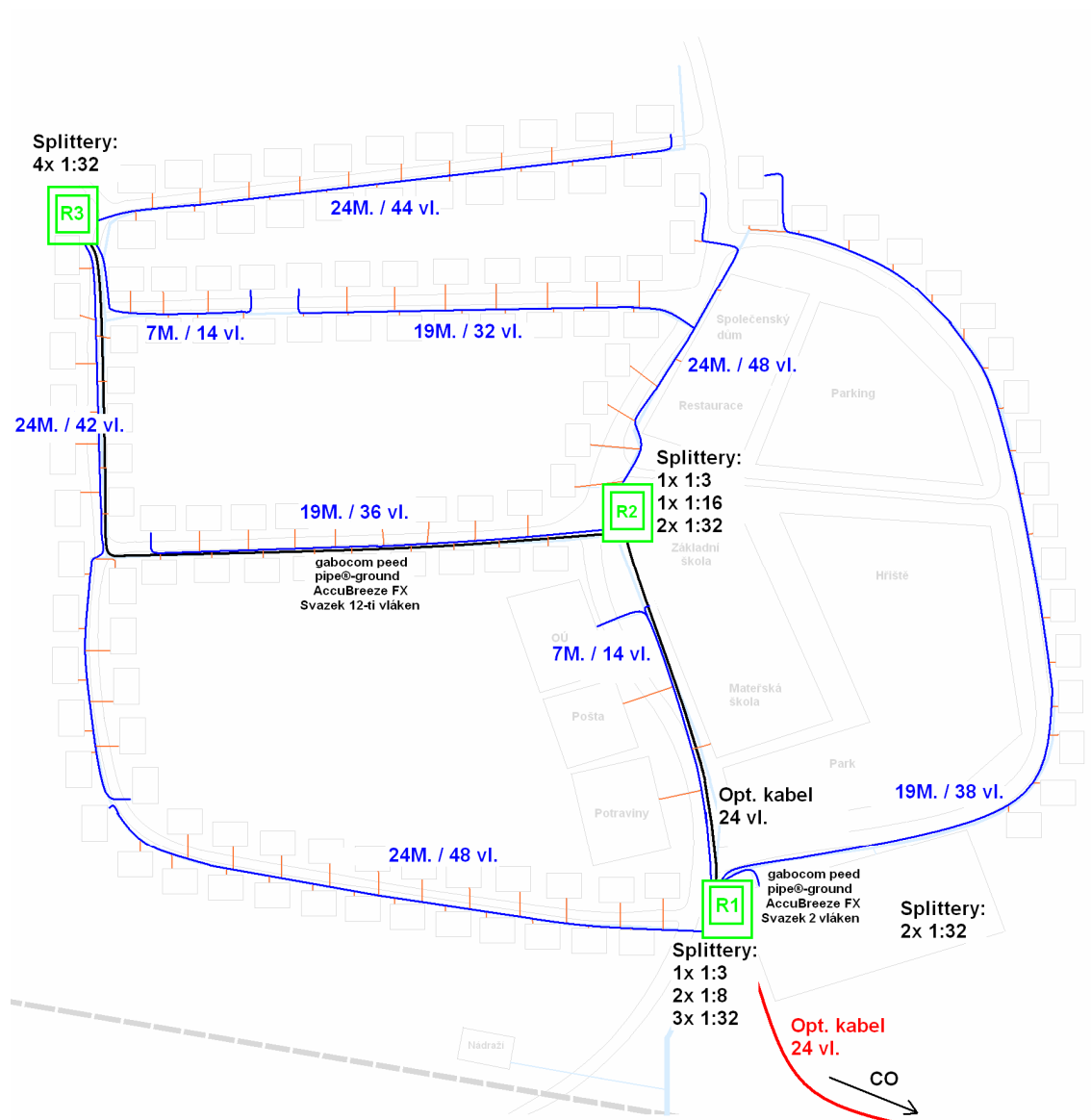
6.3 Topologie P2MP CATV

V této části se zaměříme na řešení topologie P2MP. Rozebráno bude jako v předchozích případech technologické řešení i předběžné finanční kalkulace jak pasivní části sítě, tak i nutných aktivních prvků. Tato síť by měla představovat ze všech tří variant tu nejlevnější, avšak po stránce šířky přenosového pásma nejhorší. Koncový zákazníci nemají své vlákno vedoucí z CO až do jeho op. zásuvky pro sebe, ale o optický signál se dělí, což má za následek snížení přenosové rychlosti při rozbočení 1:32 na max. 38 Mbit/s [9].

6.3.1 Pasivní infrastruktura

Distribuční síť je v tomto případě analogická k překryvné PON síti pro distribuci CATV. Překryvná PON síť zůstane zachována, jako tomu bylo u topologie P2P CATV. Zachovány také zůstanou mikrotrubičkové systémy z rozvaděčů R1-R3 až do koncových zařízení. Tato část sítě bude beze změny.

Zásadní rozdíl bude v redukci počtu vláken přiváděných z CO do R1 a následně i mezi všemi rozvaděči. Propojení CO a R1 je vytvořeno optickým kabelem se 24 vlákny. Z toho op. kabelu bude použito 8 vláken pro datovou a hlasovou část, 2 vlákna jsou použita pro překryvnou PON. Rozvaděč R1 je s rozvaděčem R2 propojen stejným způsobem. R2 a R3 jsou propojeny pomocí zesílené trubičky pro přímé položení do země gabocom peed pipe®-ground, o rozměrech OD 7/ID 4 mm, do níž je zafouknut svazek 12ti vláken. Všechny rozvaděče jsou typu ORU1, z důvodu použití malého množství vláken. V rozvaděči R1 je uloženo 6 splitterů, 3 pro distribuci datového a hlasového signálu – 1x 1:32 a 2x 1:8 a 3 pro překryvnou PON síť – 1x 1:3 a 2x 1:32. V rozvaděči R2 jsou uloženy 4 splittery. Pro překryvnou PON 1:3 a 1:32, pro datovou a překryvnou síť 1:16 a 1:32. V rozvaděči R3 jsou uloženy 4 splittery s rozbočením 1:32, pro každou síť dva. Dva splittery 1:32 jsou také umístěny v domovním rozvaděči bytového domu, kterému je konektivita zajištěna svazkem 2 vláken umístěným v trubičce pro přímé položení do země gabocom peed pipe®-ground, o rozměrech OD 7/ID 4 mm. Pro oblast zahrnující ZŠ, MŠ, OÚ, Poštu a potraviny je využito splitteru 1:8 (umístěného v R1), který díky svému rozbočovacímu poměru umožňuje vyšší přenosové rychlosti do těchto institucí, oproti běžným uživatelům. V rozvaděčích jsou uloženy svary a jejich ochrany. Na obr. 6.6 je nastíněno rozložení pasivních prvků datové i překryvné PON sítě pro topologii P2MP CATV.



Obr. 6.6: Návrh distribuční sítě FTTH P2MP CATV.

V tab. 6.9 jsou nastíněné investiční náklady na vybudování distribuční sítě. Jak je z ní patrné, došlo k výraznému snížení nákladu potřebných na optická vlákna, jejichž počet se snížil ze stávajících 161 na 10. Naopak navýšení nákladu si vyžádala investice do pasivních odbočnic – splitterů.

Tab. 6.9: Investiční náklady na vybudování distribuční sítě P2MP CATV.

Prvky distribuční sítě		Cena [Kč]
HDPE 40/32 mm	3450 m	79 350
Sloupové rozvaděče ORU 1 s listovacím managementem	4x	15 200
Multiduct 24M x 3 mm	1120 m	106400
Multiduct 19M x 3 mm	1000 m	68 000
Multiduct 12M x 3 mm	200 m	10 400
Multiduct 7M x 3 mm	80 m	3 000
Gabocom peed pipe®-ground OD 7/ID 4 mm	1500 m	11 250
Těsnicí průchodky pro HDPE trubky	141 ks	50 050
Ucpávky HDPE trubek	9 ks	900
Spojky trubiček	141 ks	13 728
Odbočné členy Y	141 ks	91 650
Odbočné členy T	1 ks	800
Ucpávky trubiček	10ks	200
Redukční manžety pro vyústění trubiček	141 ks	25 740
Redukční manžety pro vyústění multiductu 19M.	1 ks	350
Opt. kabel MiDia CT se 24 vl.	750 m	15 000
Svazky vláken AccuBreeze FX - 2 vláknové	17290 m	110 656
Svazky vláken AccuBreeze FX - 4 vláknové	200 m	1 460
Svazky vláken AccuBreeze FX - 12 vláknové	500 m	6 750
Ochrany pro svary	520x	3 744
Patchcordy	40x	4 800
Pigtaily	282x	15 510
Splittery 1:32	11x	42 667
Splittery 1:16	2x	5 064
Splittery 1:3	2x	3 549
Cena celkem		679 966

6.3.2 Distribuční centrum – centrální místnost (CO)

Distribuční centrum je pro datovou a hlasovou část odlišné od topologie P2P IPTV. Základním prvkem je multi-inteligentní platforma iMAP 9400 společnosti Allied Telesis, která je vybavena 4 servisními GEPON moduly AT- AT-TN-118-A. Každý tento servisní modul zajistí konektivitu dvěma PON stromům, v našem případě dvěma splitterům. Platformu je možné vybavit až 7 servisními moduly. Dále je tato platforma vybavena řídicí jednotkou iMAP AT-TN-401-C CFC-24, linkovým modulem iMAP GE3AT-TN-301-C a napájecím zdrojem iMAP 9400 AC starter kit AT-TN-R111-A-30.

Pro CATV jsou využity stejné prvky jako v případě topologie P2P CATV. Jak vyplývá z tab. 7.10, výsledná cena distribučního centra pro topologii P2MP CATV je tedy 749 272 Kč. Tato cena je výrazně nižší oproti předchozím variantám.

Tab. 6.10: Investiční náklady na vybudování CO pro P2MP CATV.

Distribuční centrum	Cena [Kč]
Aktivní technologie	738 772
Vybavený rozvaděč s fiber managementem, pro 24 vláken včetně pigtailů, adapterů a patchcordů	10500
Celková cena	749 272

6.3.3 Koncový účastníci

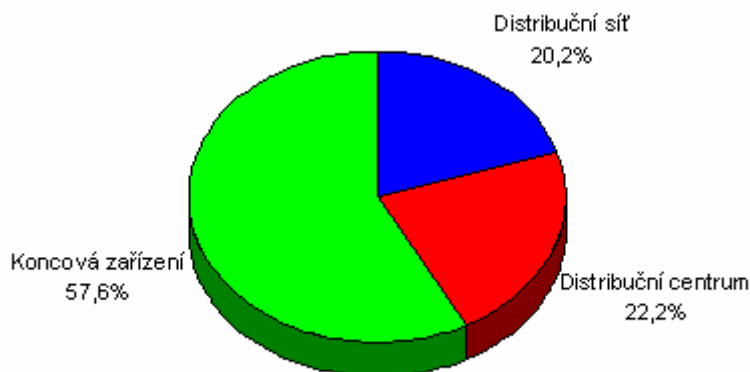
U koncových účastníků je použit PON media konvertor AT-ON1000, na který je napojena GW AT-iMG634, zahrnující funkci switche i VoIP brány., Pro CATV je použit DKT CATV nod, který zajistí příjem CATV.

Do ZŠ je zavedeno vlákno ze splitteru 1:8 (z rozvaděče R1). V budově je použit PON media konvertor AT-ON100 na něž je připojen L3 switch Allied Telesis AT-8648T/2SP, stejně jako v případě P2P IPTV. Pro příjem CATV je použit opět DKT CATV nod.

6.3.4 Celková bilance finančních nákladů

Tab. 6.11 - Celkové náklady na topologii P2MP CATV.

Část infrastruktury	Cena [Kč]
Distribuční síť	679 966
Distribuční centrum	749 272
Koncová zařízení	1 940 348
Celková cena	3 369 586
Cena na koncového zákazníka	20 930



Obr. 6.7: Rozložení investičních nákladů P2MP CATV.

Celková výše investičních nákladů potřebných pro realizace tohoto návrhu je 3 369 586 Kč. Po přepočtu na koncového účastníka je cena 20 930 Kč. Jak plyne z tab. 6.11 a obr. 6.7, největší investice by si v případě této topologie vyžádala koncová zařízení jejichž cena ve výsledku zapříčiní navýšení celkové ceny projektu a způsobí, že bude nejnákladnější.

6.4 Závěrečné porovnání a zhodnocení navrhovaných modelů

V následující tabulce jsou souhrnně zobrazeny investiční náklady jednotlivých návrhů.

Tab. 6.12: Porovnání investičních nákladů jednotlivých návrhů.

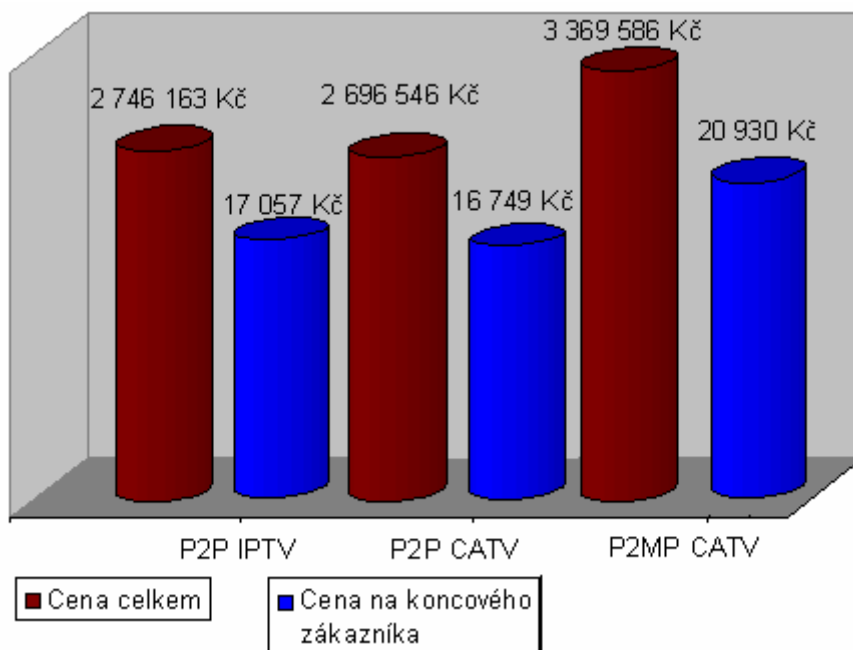
Navrhovaná topologie	P2P IPTV	P2P CATV	P2MP CATV
Distribuční síť	773 090 Kč	810 077 Kč	679 966 Kč
Distribuční centrum	962 423 Kč	1 058 459 Kč	749 272 Kč
Koncový účastník	1 010 650 Kč	923 510 Kč	1 940 348 Kč
Cena celkem	2 746 163 Kč	2 792 046 Kč	3 369 586 Kč
Cena na koncového zákazníka	17 057 Kč	17 342 Kč	20 930 Kč

Navrhované modely lze porovnat z více hledisek. Po finanční stránce vychází nejlépe topologie P2P IPTV, která představuje snížení ceny na koncového zákazníka o 18,5 % v porovnání s nejdražší variantou - P2MP CATV. Porovnáme-li výsledné ceny topologií P2P IPTV a P2P CATV připadající na koncového zákazníka, zjistíme, že jsou tyto sumy téměř stejné. Tento fakt je způsoben tím, že pro CATV je vybudována HE stanice, kdežto IPTV je řešena formou outsourcingu, a tak i přestože pro CATV nejsou nutné STB, ceny jsou téměř stejné.

Budeme-li hodnotit navrhované topologie z hlediska použitých technologií a s tím související možností poskytovaných služeb koncovým zákazníkům, dospějeme k závěru, že model P2P IPTV je v tomhle ohledu nejvýhodnější, což je dáno malým počtem koncových uživatelů a nabídkou moderních služeb. Každý uživatel má své vlákno a tudíž plnou šířku pásma, o kterou se nemusí s nikým dělit. Tím je mu umožněno využívání nejmodernějších služeb triple play a díky STB také služeb spojených s IPTV. U modelu P2P CATV má koncový zákazník sice také „datové“

vlákno „pro sebe“, ale vzhledem k využívání CATV se stává tento model méně atraktivní, neboť kromě příjmu TV není možné využívat žádných dalších video služeb. Model P2MP je po této stránce nejslabší, koncový účastník se o „datové“ vlákno dělí prostřednictvím splitterů s ostatními zákazníky, což způsobuje omezení maximální přenosové rychlosti a problémy s agregací. Tato varianta by byla vhodná pro rozsáhlé projekty z hlediska počtu koncových účastníků, kde nižší šířka přenosového pásma je vykoupena nízkými provozními náklady.

S finanční i technologickou stránkou navrhovaných modelů úzce souvisí rentabilita – návratnost investic. Rentabilita se odvíjí od mnoha faktorů, které je nutné při navrhování sítí brát v potaz. Rentabilita modelu P2P CATV je sporná. V případě, že by se IPTV u P2P realizovalo taktéž formou vlastní HE stanice, byla by cena této topologie velice vysoká a pak by takový projekt neměl smysl. Z toho důvodu je IPTV řešeno formou outsourcingu a tudíž je výsledná cena IPTV i CATV u P2P téměř shodná. Model P2MP by byl v našem případě zcela nerentabilní, neboť je u této topologie potřeba alespoň 3000 koncových uživatelů. Pak se náklady rozpočtou mezi všechny a projeví se projektové a množstevní slevy a cena klesá. PON technologie je drahá především proto, že se ještě nevyužívá v tak hojné míře jako P2P, kdy aktivní prvky jsou velmi levné.



Obr. 6.8: Porovnání investičních nákladů jednotlivých návrhů.

7. Závěr

Cílem této Bakalářské práce je dát čtenáři objektivní pohled na možnosti realizace optické přístupové sítě FTTH pro obec menší rozlohy.

V úvodu práce je nastíněn přehled optických přístupových sítí FTTx a zařazení FTTH. Dále jsou rozebrány používané konfigurace a topologie, které jsou mezi sebou porovnány. V následující kapitole jsou čtenáři přiblíženy pasivní prvky opt. přístupových sítí, které tvoří základní části přístupové infrastruktury. Součástí problematiky návrhů sítí FTTH je instalace distribuční infrastruktury, jejíž možnosti a používané technologie jsou řešeny v následující kapitole. Při navrhování se také musí brát v potaz způsob distribuce video služeb, které jsou nastíněny v další kapitole.

Poslední kapitola se věnuje praktické části - návrhu sítě FTTH pro obec „Světlokosy“. V případové studii jsou analyzovány a řešeny tři modely – P2P IPTV, P2P CATV a P2MP CATV, které jsou v dnešní době nejvíce nasazovány. Ve všech navrhovaných modelech se počítá s budováním distribuční infrastruktury současně s budováním nového vodovodního řádu obce. Pro všechny návrhy bylo použito technologie mikrotrubičkování spolu s ostatními nejmodernějšími technologiemi. Každý z modelů je rozdělen na tři základní části – pasivní infrastruktura, distribuční centrum a koncový účastníci. Jednotlivé části jsou podrobně analyzovány jednak z hlediska použitých technologií, zařízení a prvků, ale také z hlediska finanční nákladnosti. Závěrem jsou diskutovány výhody a nevýhody navrhovaných modelů, rentabilita a jejich vzájemné porovnání.

I přesto, že do analyzovaných modelů nebyly zahrnuty investice spojené se stavebními pracemi a měřeními, umožňuje nám i tato případová studie názorné porovnání a vytvoření úsudku, která z navrhovaných variant je pro obec menší rozlohy v daných podmínkách nejvhodnější. Pokud bych se měl v případě skutečné realizace na základě této případové studie rozhodnout, kterou ze tří architektur uskutečnit, zvolil bych model P2P IPTV. Vzhledem k tomu, že převážná část obyvatel obce „Světlokosy“ by měla být tvořena mladými lidmi, jistě by chtěli využívat nejmodernějších širokopásmových služeb, které by tato síť mohla nabídnout. Díky možnosti outsourcingu IPTV je i cena na koncového zákazníka na přijatelné úrovni a rentabilita by tím měla být zajištěna.

Seznam použitých zdrojů

- [1] BROUČEK, J., HLADKÝ, M. *Aktivní prvky a technologie FTTx–vize a trendy versus realita a zkušenosti* [online]. 2009 [cit. 2009-04-04]. Dostupný z WWW: <<http://www.profiber.cz/index.php?act=solutions>>.
- [2] CETNEŠ, J. *Prichádza doba optická*. Sdelovací technika, 2008, c. 11.
- [3] DUBSKÝ, P. *Efektivní řešení pasivní části sítě FTTx* [online]. 2009 [cit. 2009-04-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.profiber.cz/index.php?act=solutions>>.
- [4] FARMER, J. *Fiber-to-the-Home: Overview & Technical Tutorial* [online]. 2005 [cit. 2009-03-13]. Dostupný z WWW: <www.ftthcouncil.org>.
- [5] FILKA, M. *Optické sítě*. Skripta. VUT FEKT, Brno 2007.
- [6] FILKA, M. *Přenosová média*. Skripta. VUT FEKT, Brno 2007.
- [7] *FTTH Infrastructure Components and Deployment Methods* [online]. 2007 [cit. 2009-03-15]. Dostupný z WWW: <www.europeftthcouncil.com>.
- [8] GIRARD, A. *FTTx PON Technology and Testing*. EXFO, Quebec 2005.
- [9] HLADKÝ, M. *FTTx přístupové infrastruktury*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 72 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Miloslav Filka, CSc.
- [10] KOTAS, R. *Přístupové sítě, sítě FTTx- aktivní prvky* [online]. 2007 [cit. 2009-03-19]. Dostupný z WWW: <http://www.profiber.cz/eshop/files/FTTx_PROFiber.pdf>.
- [11] KOTAS, R. *REALIZACE PROJEKTU FTTx : DATOVÁ DISTRIBUČNÍ SÍŤ BOHUŇOVICE* [online]. 2008 [cit. 2009-03-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.profiber.cz/index.php?act=solutions>>.

- [12] KŘIŠŤAN, J., ŠOFER, R. *FTTH EP2P –případová studie sítě většího rozsahu v podmínkách ČRRIO Media a.s.* [online]. 2009 [cit. 2009-04-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.profiber.cz/index.php?act=solutions>>.
- [13] Opravilová, Z., *Použité pasivní prvky a nové možnosti v trubičkových systémech*, [online], [cit.2008-4-11]. Dostupné z www: <http://www.profiber.cz/eshop/files/OFA_prezentace_Bohunovice_2008.pdf>
- [14] PISAŘÍK, M. *IPTV, co je co a jak na to : FTTH* [online]. [2008] [cit. 2009-03-15]. Dostupný z WWW: <www.sqs-fiber.cz>.
- [15] PROFiber Networking s.r.o., Praha, *Interní literatura*, [online]. Dostupné z www: <<http://www.profiber.cz>>
- [16] REICHERT, P., ŠÍMA, J. *Svářečky nebo mechanické spojky ?* [online]. 2009 [cit. 2009-04-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.profiber.cz/index.php?act=solutions>>.
- [17] SUKOP, J., BROUČEK, J., KOTAS, R. *Upgrade prístupovej siete, migrácia k FTTH (P2P a P2MP)* [online]. 2007 [cit. 2009-04-03]. Dostupný z WWW: <<http://www.profiber.cz/index.php?act=solutions>>.
- [18] STIBOR, P. *Optická vlákna pro přístupové sítě specifikace ITU-T G.657* [online]. 2009 [cit. 2009-04-14]. Dostupný z WWW: <<http://www.profiber.cz/index.php?act=solutions>>.
- [19] ŠIFTA, R. *Návrh sítě FTTH*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 44 s. Vedoucí semestrální práce doc. Ing. Miloslav Filka, CSc.

Seznam použitých zkratk

AON	(Active Optical Network)	aktivní optická síť
ATM	(Asynchronous Transfer Mode)	asynchronní přenosový mód
BPON	(Broadband PON)	širokopásmová pasivní optická síť
CATV	(Community Antenna Television)	kabelová TV
CO	(Central Office)	distribuční místnost
EDFA	(Erbium Doped Fiber Amplifier)	erbiem dopovaný optický zesilovač
EPON	(Ethernet PON)	pasivní optická síť pracující na principu ethernetu
FBT	(Fused Bionic Taper)	fúzní technologie výroby splitterů
FTTB	(Fibre To The Buildind)	optické vlákno do budovy
FTTC	(Fibre To The Curb)	optické vlákno k chodníku
FTTCab	(Fibre To The Cabinet)	optické vlákno do PC
FTTH	(Fiber To The Home)	optické vlákno do domu
FTTN	(Fiber To The Node)	optické vlákno do uzlu
FTTO	(Fibre To The Office)	optické vlákno do kanceláře
FTTP	(Fiber To The Premises)	optické vlákno do areálu
GEM	(GPON Encapsulation Method)	modifikace GPON sítě
GEPON	(Gigabit Ethernet Capable PON)	gigabitová pasivní optická síť pracující na principu ethernetu
GPON	(Gigabit Capable PON)	gigabitová pasivní optická síť
GW	(GateWay)	zařízení na straně zákazníka, označované též jako „brána“
HDPE	(PolyEthylene High-Density)	chránička
HDTV	(High - definition television)	TV s vysokým rozlišením
IP	(Internet Protocol)	Internet protokol
IPTV	(TV over Internet Protocol)	přepínané video

ISP	(Internet Service Provide)	poskytovatel internetových služeb
ITU	(International Telecommunication Union)	mezinárodní telekomunikační unie
MoD	(Music on Demand)	hudba na vyžádání
MPEG	(Motion Picture Experts Group)	komprimační metoda
P2MP	(Poin - To - MultiPoint)	spojení bod – více bodů
P2P	(Point – To - Point)	spojení bod - bod
OAN	(Optical Access Network)	optická přístupová síť
ODN	(Optical Distribution Network)	optická distribuční síť
OLT	(Optical Line Terminal)	optické linkové zakončení
ONU	(Optical Network Unit)	optické ukončovací jednotky
ONT	(Optical Network Terminal)	optické síťové zakončení
OTDR	(Optical Time Domain Reflectometer)	optoelektronický nástroj používaný pro charakteristiku op. vláken
PLC	(Planar Lightwave Circuit)	planární technologie výroby splitterů
PON	(Passive Optical Network)	pasivní optická síť
POTS	(Plain Old Telephone Service)	analogové telefonní služby
PSTN	(public switched telephone network)	veřejná přepínaná telefonní síť
QoS	(quality of service)	kvalita služeb
STB	(Set Top Box)	zařízení pro příjem IPTV, HDTV, DVB-T
VoD	(Video on Demand)	video na vyžádání
VoIP	(Voice over Internet Protocol)	internetová telefonie
VPN	(Virtual Private Network)	virtuální privátní síť