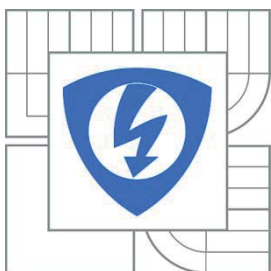


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

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

NASAZENÍ FTTH V LOKÁLNÍCH SÍTÍCH

FTTH DEPLOYMENT IN LOCAL NETWORKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

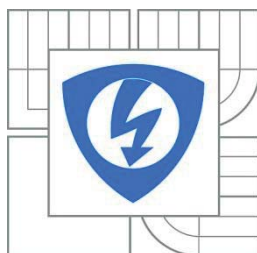
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. LUKÁŠ HORNÍČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. MILOSLAV FILKA, CSc.

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Lukáš Horníček

ID: 115181

Ročník: 2

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Nasazení FTTH v lokálních sítích

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Úkolem práce je definování sítí FTTH, posouzení současných trendů, architektury a standardy s ohledem na využití v přístupových sítích a v sítích lokálních poskytovatelů telekomunikačních služeb ISP. Vytvořte dva návrhy sítí včetně technologií, realizované jako AON a PON WDM. Využijte simulace sítě, návrhy porovnejte a to jak po stránce technologií, tak i spolehlivosti, technického a ekonomického hlediska. Naznačte perspektivy lokálních přístupových sítí FTTH.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] GIRARD. A. Guide to WDM Technology. EXFO, Quebec, 2002.
- [2] KUCHARSKI, M. WDM – Nová filozofie optických sítí. Telekomunikace 1998, č.10.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 29.5.2013

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

Konzultanti diplomové práce:

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena v teoretické a praktické rovině na problematiku optické přístupové sítě. První kapitola pojedná o konceptu přístupových sítí typu FTTx. Druhá kapitola je zaměřena na princip a standardizaci aktivní optické sítě AON P2P. Třetí kapitola je zaměřena na princip a standardizaci pasivní optické sítě TDM PON. Čtvrtá kapitola je zaměřena na sítě typu WDM PON, vlnové multiplexy, koncepce řešení a platformu LG-Ericsson EA 1100. Pátá kapitola je zaměřena na problematiku infrastruktury optické trasy v oblasti optických přístupových sítí. Šestá kapitola představuje vlastní návrh hlavní stanice pro příjem, zpracování a distribuci televizního vysílání. Sedmá kapitola představuje návrh vlastního řešení dvou přístupových sítí (AON P2P a WDM PON) pro město Bystřice nad Pernštejnem. Případové studie obsahují návrh infrastruktury optické trasy, infrastruktury distribučního centra, infrastruktury u koncových účastníků, ekonomickou analýzu CAPEX/OPEX a základní simulace v programu OptSim.

KLÍČOVÁ SLOVA

Optická přístupová síť, AON, PON, WDM PON, FTTH, Hlavní stanice, OptSim, Triple Play, IPTV, CATV, Blankom, Pacific Broadband Networks, LG-Ericsson.

ABSTRACT

The master's thesis is focused on the theoretical and practical issues of optical access networks. The first chapter of the thesis deals with the concept of the access networks known as FTTx. The second and third chapters focus on the principles and standardization of the active optical network AON P2P and the passive optical network TDM PON. The fourth chapter of the thesis focuses on the network WDM PON, wavelength multiplexes, solution concept and the LG-Ericsson EA 1100 platform. The fifth chapter of the thesis deals with the infrastructure of the optical paths for optical access networks. The sixth chapter of the thesis presents custom design of the headend for reception, processing and distribution of television broadcasting. Two custom access network solutions (AON P2P and WDM PON) for the town Bystřice nad Pernštejnem are presented in the seventh chapter. Case studies include the design of the optical paths infrastructure, central office infrastructure, end-user infrastructure, CAPEX/OPEX economic analysis and basic simulation in OptSim.

KEYWORDS

Optical Access Network, AON, PON, WDM PON, FTTH, Headend, OptSim, Triple Play, IPTV, CATV, Blankom, Pacific Broadband Networks, LG-Ericsson.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HORNÍČEK, L. *Nasazení FTTH v lokálních sítích*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 151 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miloslav Filka, CSc..

PROHLÁŠENÍ

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

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení §11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Miloslavu Filkovi, CSc. za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady poskytnuté pro vypracování této práce. Dále děkuji za odborně-technologickou spolupráci panu Ing. Martinu Ťupovi ze společnosti PROFiber Networking CZ bez jeho pomoci by nebylo možné vytvořit tuto diplomovou práci. V neposlední řadě také děkuji panu Zdeňku Lenkovi ze společnosti Blankom CZ a panu Petru Kolátorovi ze společnosti OFA.

V Brně dne

.....

podpis autora

OBSAH

<i>ÚVOD</i>	12
<i>1. OPTICKÁ PŘÍSTUPOVÁ SÍŤ</i>	13
1.1 Současné přístupové sítě	13
1.2 FTTX	14
<i>2. AKTIVNÍ OPTICKÁ SÍŤ</i>	17
2.1 EFM	19
2.1.1 100BASE-LX10	19
2.1.2 100BASE-BX10	19
2.1.3 1000BASE-LX10	19
2.1.4 1000BASE-BX10	20
2.2 10GE	20
2.2.1 10GBASE-SR	21
2.2.2 10GBASE-LR	21
2.2.3 10GBASE-ER	21
2.2.4 10GBASE-LX4	21
2.2.5 10GBASE-ZR	22
<i>3. PASIVNÍ OPTICKÁ SÍŤ TDM PON</i>	23
3.1 APON	25
3.2 BPON	25
3.3 GPON	25
3.4 XG-PON: NGA1	26
3.5 EPON	27
3.6 10G EPON	29
<i>4. PASIVNÍ OPTICKÁ SÍŤ WDM PON</i>	32
4.1 Definice a princip vlnového multiplexu	32
4.1.1 WDM	32
4.1.2 WWDM	33
4.1.3 CWDM	33
4.1.4 DWDM	34

4.2	Koncepce sítě WDM PON	36
4.2.1	Sítě založené na optickém rozbočovači	36
4.2.2	Sítě založené na směrové odbočnici	37
4.3	Individuální realizace	38
4.4	Platforma LG-Ericsson	40
4.4.1	Autoselekce vlnové délky	40
4.4.2	Perspektiva v sítích typu FTTH	41
4.4.3	Základová skříň	42
4.4.4	Služební karty	43
4.4.5	Řídící karta	43
4.4.6	Karty přepínače	43
4.4.7	Směrová odbočnice	44
4.4.8	Koncová zařízení (FTTH)	44
4.4.9	Koncová zařízení (FTTB)	45
4.4.10	Specifikace WDM PON rozhraní	47
5.	<i>INFRASTRUKTURA</i>	48
5.1	Optické vlákno	48
5.1.1	SMF	48
5.1.2	MMF SI	51
5.1.3	MMF GI	52
5.1.4	Sledované parametry optických vláken a tras	52
5.2	Spojování optického vlákna	54
5.2.1	Nerozebíratelný optický spoj	54
5.2.2	Rozebíratelný optický spoj	55
5.3	Svazek optických vláken	56
5.4	Optický mikrokabel	56
5.5	Optický kabel	58
5.6	Mikrokabelážní systém	60
5.7	Rozbočovač	62
5.7.1	FBT rozbočovač	63
5.7.2	PLC rozbočovač	63
5.8	Směrová odbočnice	64

<i>6. HLAVNÍ STANICE</i>	66
6.1 IPTV	66
6.2 CATV	70
<i>7. PŘÍPADOVÁ STUDIE</i>	73
7.1 Lokalita	74
7.2 Případová studie č. 1 – AON P2P	77
7.2.1 Infrastruktura – Optická trasa	77
7.2.2 Infrastruktura – Distribuční centrum	85
7.2.3 Infrastruktura – Koncoví účastníci	91
7.2.4 Vybrané simulace	96
7.3 Případová studie č. 2 – WDM PON	100
7.3.1 Infrastruktura – Optická trasa	100
7.3.2 Infrastruktura – Distribuční centrum	108
7.3.3 Infrastruktura – Koncoví účastníci	113
7.3.4 Vybrané simulace	116
7.4 Finanční rozvaha	123
7.4.1 CAPEX: Případová studie – AON P2P	123
7.4.2 CAPEX: Případová studie – WDM PON	124
7.4.3 CAPEX: Srovnání případových studií	125
7.4.4 OPEX	127
7.4.5 Návrh služeb Triple Play	129
7.4.6 Závěrečná finanční bilance a amortizace	131
<i>ZÁVĚR</i>	133
<i>POUŽITÁ LITERATURA</i>	134
<i>POUŽITÉ ZKRATKY</i>	141
<i>SEZNAM PŘÍLOH</i>	144

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1:	Optické přístupové sítě FTTH.....	16
Obr. 2.1:	AON – průřez topologií	17
Obr. 2.2:	AON – propojení přístupového přepínače a CPE	18
Obr. 3.1:	PON – průřez topologií.....	23
Obr. 3.2:	Model časově sdíleného simplexního kanálu TDM	24
Obr. 3.3:	Souběžný provoz XG-PON1 a GPON	26
Obr. 3.4:	EPON – sdílení přenosového média.....	28
Obr. 3.5:	EPON – WDM oddělení přenosových kanálů	29
Obr. 4.1:	WDM PON – využití optického rozbočovače.....	36
Obr. 4.2:	WDM PON – využití směrové odbočnice	37
Obr. 4.3:	Příklad realizace přístupové sítě přes CWDM	39
Obr. 4.4:	WDM PON – autoselekce vlnové délky	40
Obr. 4.5:	Základová skříň LG-Ericsson EA 1100	42
Obr. 5.1:	Jednovidové optické vlákno se skokovou změnou indexu lomu.....	49
Obr. 5.2:	Poloměr makroohybu SMF dle ITU-T G.657	49
Obr. 5.3:	Mnohovidové optické vlákno se skokovou změnou indexu lomu	51
Obr. 5.4:	Mnohovidové optické vlákno s gradientní změnou indexu lomu	52
Obr. 5.5:	Struktura svazku vláken	56
Obr. 5.6:	Struktura optického mikrokabelu	57
Obr. 5.7:	Rozdělení optických kabelů podle agregace	58
Obr. 5.8:	Optický drop kabel EZ-Bend 4.8	59
Obr. 5.9:	Optický drop kabel AccuDRY ve 24 a 12 vláknové variantě.....	60
Obr. 5.10:	Směrová odbočnice AWG	64
Obr. 6.1:	Hlavní stanice IPTV	69
Obr. 6.2:	Hlavní stanice CATV (neoptická část)	72
Obr. 7.1:	Věkové rozložení obyvatelstva v dané lokalitě.....	74
Obr. 7.2:	AON P2P – Útlumový plán.....	84
Obr. 7.3:	AON P2P – Návrh infrastruktury distribučního centra.....	88
Obr. 7.4:	DKT Omega – série 79700 CPE a rozšíření pro 79600 CPE	91
Obr. 7.5:	IPTV STB Motorola VIP1003	94
Obr. 7.6:	Schéma měření AON P2P	96
Obr. 7.7:	Schéma simulace AON P2P.....	97
Obr. 7.8:	Diagram oka pro 125 Mbit/s (AON P2P)	98

Obr. 7.9:	Diagram oka 1,25/2,5/5/10 Gbit/s.....	99
Obr. 7.10:	WDM PON – Útlumový plán.....	107
Obr. 7.11:	WDM PON – Návrh infrastruktury distribučního centra.....	110
Obr. 7.12:	LG-Ericsson EARU 1113.....	114
Obr. 7.13:	Schéma měření WDM PON.....	116
Obr. 7.14:	Schéma simulace WDM PON.....	117
Obr. 7.15:	Struktura elementárního vysílače	118
Obr. 7.16:	Struktura optického přijímače	119
Obr. 7.17:	Struktura směrové odbočnice AAWG.....	119
Obr. 7.18:	Spektrum optického signálu na vstupu směrové odbočnice.....	120
Obr. 7.19:	Spektrum optického signálu na účastnické zásuvce	121
Obr. 7.20:	Diagram oka pro 125 Mbit/s (WDM PON).....	122
Obr. 7.21:	AON P2P – Relativní rozložení CAPEX.....	123
Obr. 7.22:	WDM PON – Relativní rozložení CAPEX	124
Obr. 7.23:	CAPEX - Srovnání případových studií.....	126
Obr. 7.24:	CAPEX – Účastnická přípojka	126

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1:	CATV - DOCSIS a EuroDOCSIS.....	14
Tab. 2.1:	Fyzická rozhraní dle IEEE 802.3ah.....	20
Tab. 2.2:	Fyzická rozhraní dle IEEE 802.3ae a MA.....	22
Tab. 3.1:	Srovnání APON, BPON, GPON a XG-PON1.....	27
Tab. 3.2:	Srovnání EPON a 10G EPON.....	31
Tab. 4.1:	CWDM – nominální vlnové délky a měrný útlum kanálů	34
Tab. 4.2:	Parametry pro útlumový plán platformy LG-Ericsson EA 1100.....	47
Tab. 5.1:	SMF dle ITU-T G.657.....	50
Tab. 5.2:	IL a ORL vybraných optických konektorů	55
Tab. 5.3:	Provedení a kapacita mikrochráničků spol. Sitel.....	61
Tab. 5.4:	Maximální útlum FBT rozbočovačů spol. Optokon	63
Tab. 5.5:	Maximální útlum PLC rozbočovačů spol. SQS Vláknová optika.....	63
Tab. 6.1:	Bitrate vybraných stanic ve formátu SDTV a HDTV	67
Tab. 6.2:	Hlavní stanice IPTV.....	68
Tab. 6.3:	Hlavní stanice CATV (Vstupní neoptická část)	71
Tab. 7.1:	Počet bytových jednotek v rámci připojené budovy	76
Tab. 7.2:	AON P2P/WDM PON – instalované optické mikrokabely	79
Tab. 7.3:	AON P2P - Kalkulace infrastruktury optické trasy.....	82
Tab. 7.4:	AON P2P – Útlumový plán.....	85
Tab. 7.5:	AON P2P - Kalkulace infrastruktury distribučního centra.....	90
Tab. 7.6:	AON P2P – vybrané parametry účastnických bran.....	93
Tab. 7.7:	AON P2P - Kalkulace infrastruktury koncových účastníků	95
Tab. 7.8:	Optsim – Nastavení atenuátorů (AON P2P).....	98
Tab. 7.9	WDM PON - Kalkulace infrastruktury optické trasy.....	105
Tab. 7.10:	WDM PON – Útlumový plán.....	106
Tab. 7.11:	WDM PON - Kalkulace infrastruktury distribučního centra.....	112
Tab. 7.12:	WDM PON - Kalkulace infrastruktury koncových účastníků.....	115
Tab. 7.13:	Nastavení DWDM multiplexu	118
Tab. 7.14:	Optsim – Nastavení atenuátorů (WDM PON)	120
Tab. 7.15:	Závěrečná finanční bilance provozních nákladů.....	131
Tab. 7.16:	Amortizace investičních nákladů	132

ÚVOD

Úspěšný rozvoj optoelektroniky ve století minulém umožnil rozvoj moderní lidské společnosti z pohledu telekomunikací do podoby, jakou známe dnes. Že se nejedná o klišé, potvrzují jména uznávaných vědců a ceny, které jim byly za výzkum a vývoj v této oblasti uděleny. Klíčovým prvkem pro počátky optoelektronického přenosu byl dostatečně silný zdroj světla. Fyzikální princip takového zdroje světla popsal roku 1917 Albert Einstein¹. Funkční zdroj světla využívající principu zesilování světla stimulovanou emisí sestrojil a nechal si patentovat roku 1960 fyzik Charles Townes. Nezávisle na něm vytvořili laser i sovětsí fyzici Nikolaj Basov a Alexandr Prochorov. Za to byli všichni tři v roce 1964 oceněni Nobelovou cenou za fyziku. Je správné zmínit jméno Gordon Gould, který po řadě soudních sporů získal řadu dílčích patentů na laseru a zároveň je považován za autora samotného slova „laser“.

Stejně tak klíčový objev pro rozvoj telekomunikačních sítí na optickém vlákne učinil Charles Kuen Kao, který v roce 1966 publikoval svou studii, která se zabývala 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. Symbolické je i to, čím Nobelův výbor uvedl oznámení o udělení ceny. Věty „Dnes více než miliarda kilometrů optických vláken po celém světě vytváří páteř moderních globálních telekomunikací“ a „Text, hudba, obrázky a videa mohou být šířeny po zeměkouli ve zlomku sekundy“ jsou inspirací pro mnohé lidi a i pro mne jako autora této diplomové práce [21].

Cílem této diplomové práce je skloubit teoretické a praktické prvky optoelektroniky a vymezit jejich použití pro oblast optických přístupových sítí vedoucích optické vlákno až do domu za použití komerčně dostupných řešení ve snaze o rozšíření těchto sítí ke všem koncovým klientům. To umožní provoz služeb Triple Play v kvalitě a rozsahu, který je na konvenčních metalických sítích nemyslitelný, ke spokojenosti zákazníků i poskytovatelů těchto služeb.

¹ Nobelova cena za fyziku (1921) za objev zákonitostí fotoelektrického jevu

1. OPTICKÁ PŘÍSTUPOVÁ SÍŤ

Optická přístupová síť OAN (*Optical Access Network*) realizuje širokopásmový přístup k telekomunikačním službám pomocí jednoho nebo více optických vláken. Tato širokopásmová konektivita směrem k rozlehlým sítím WAN (*Wide Area Network*), jejímž nejznámějším příkladem je tzv. „síť sítí“ neboli internet, umožňuje poskytovatelům telekomunikačních služeb provoz vysokorychlostního datového připojení. Toto vysokorychlostní datové připojení v součinnosti s poskytováním digitálního televizního vysílání ve standardním rozlišení tzv. SDTV (*Standard-Definition Television*) a zejména vysokém rozlišení tzv. HDTV (*High-Definition Television*) a telefonních služeb umožňuje vytvořit tzv. koncept služeb Triplay Play. Tento koncept služeb je již v provozu na některých konvenčních přístupových sítích realizovaných přes telefonní rozvody a rozvody kabelové televize. Přenosová kapacita těchto sítí však pomalu naráží na fyzické možnosti přenosového média. Tím se otevírají dveře pro nasazení optických přístupových sítí až ke koncovému uživateli. Zkratka FTTH (*Fiber To The Home*) je skloňována častěji a častěji.

1.1 Současné přístupové sítě

Přístupové sítě agregují provoz z dané geografické oblasti k uzlu sítě, který je napojen na síť nebo sítě vyšší směrem k páteřní síti. Tato část komunikačního řetězce mezi poskytovatelem telekomunikačních služeb a účastnickou přípojkou klienta se označuje jako poslední, resp. první míle.

Mezi nejběžnější technologie využívané v přístupových sítích patří DSL (*Digital Subscriber Line*), CATV (*Cable Television*) s podporou DOCSIS (*Data Over Cable Service Interface Specification*), Wi-Fi (*Wireless LAN*) a mobilní připojení. Tato práce je však primárně zaměřená na návrh a nasazení optické sítě FTTH v menších přístupových sítích lokálních poskytovatelů telekomunikačních služeb. Tito lokální poskytovatelé zřídka využijí technologie DSL a mobilního připojení, neboť jejich realizace a provoz je v rukou národních telekomunikačních operátorů. S ohledem na požadovanou šířku přenosového pásma pro služby Triple Play, je nutné vyřadit i technologii Wi-Fi. Z logiky výše psaného vyplývá, že v sítích lokálních poskytovatelů širokopásmových služeb Triple Play našly využití koaxiální rozvody kabelové televize CATV s podporou DOCSIS, resp. EuroDOCSIS.

Z toho vyplývá v souladu se zadáním této práce, ve které se analyzuje nasazení FTTH v menších lokálních přístupových sítích, že primárním výstupem musí být kompletní analýza a návrh sítě FTTH, která plně nahrazuje současné síť kabelové televize s podporou DOCSIS, resp. EuroDOCSIS, a to po technologické a současně ekonomické stránce celého projektu, neboť je vždy hledán konsenzus mezi rozsahem, potažmo kvalitou nabízených služeb a cenou, kterou je za ně ochoten zákazník zaplatit při dostatečné rentabilitě vynaložených investic.

V tabulce 1.1 jsou uvedeny přenosové rychlosti ve směru downstream a upstream na fyzické vrstvě na jednom frekvenčním kanálu pro DOCSIS a EuroDOCSIS, přičemž požadavkem normy ve verzi 3.0 jest, že musí být spojeny minimálně 4 kanály pro klienta/klienty. Nutno podotknout, že uvedená přenosová kapacita kanálu je sdílena mezi desítky až stovky připojených účastníků [18].

Tab. 1.1: CATV - DOCSIS a EuroDOCSIS [18].

Verze	DOCSIS		EuroDOCSIS	
	Downstream	Upstream	Downstream	Upstream
1.x	42,88 Mbit/s	10,24 Mbit/s	55,62 Mbit/s	10,24 Mbit/s
2.0	42,88 Mbit/s	30,72 Mbit/s	55,62 Mbit/s	30,72 Mbit/s
3.0 (4 kanálový)	171,52 Mbit/s	122,88 Mbit/s	222,48 Mbit/s	122,88 Mbit/s
3.0 (8 kanálový)	343,04 Mbit/s	122,88 Mbit/s	444,96 Mbit/s	122,88 Mbit/s

1.2 FTTH

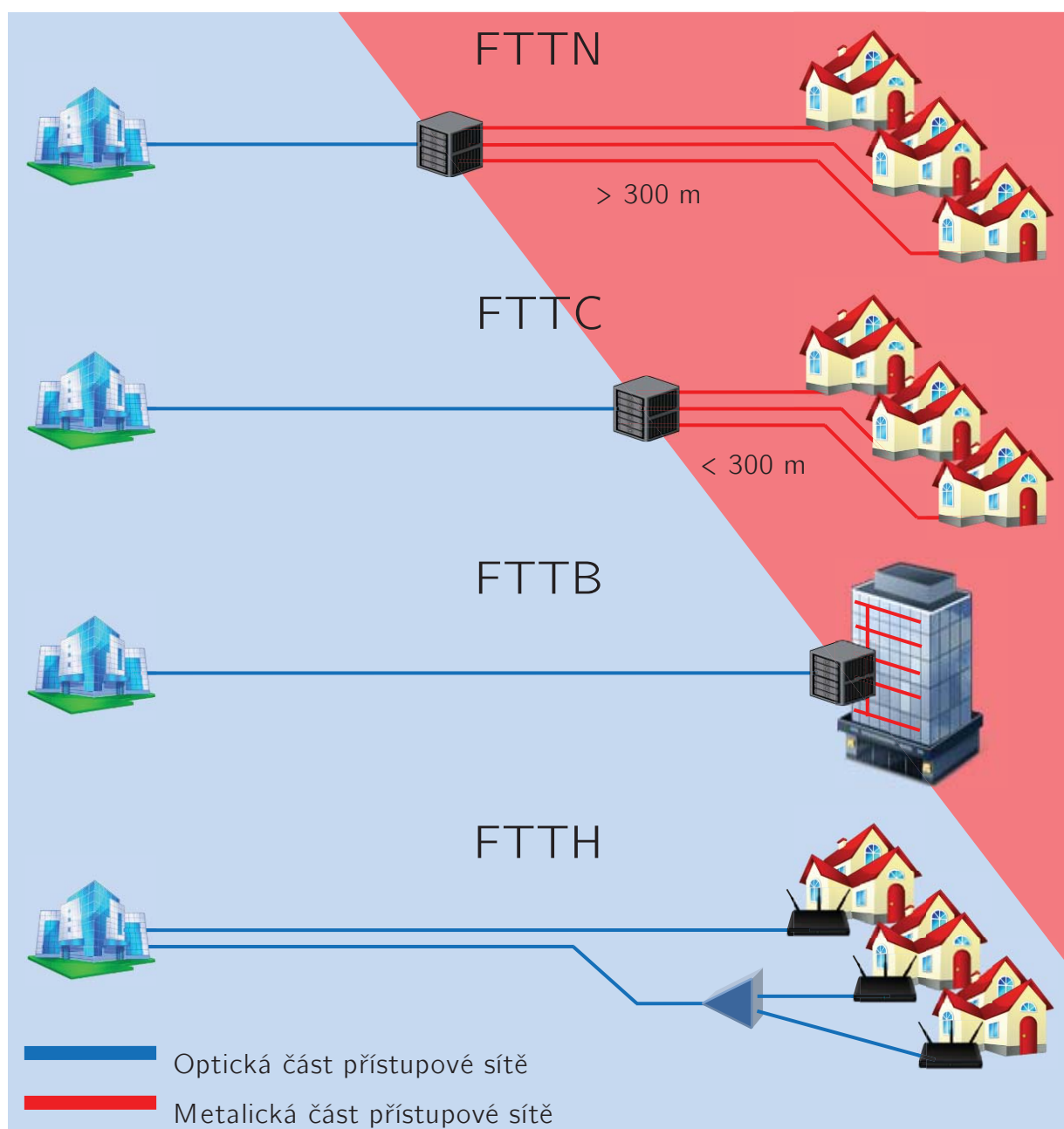
Přístupové sítě označované zkratkou FTTH (*Fiber To The ...*) představují řešení přístupových sítí vystavěných na optickém vlákně. Kde náhradní symbol za písmeno „X“ nám určuje pozici optické ukončující jednotky ONU (*Optical Network Unit*) nebo optické ukončující jednotky ONT (*Optical Network Termination*) 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 CO (*Central Office*) nebo některé jeho vzdálené pobočce SO (*Street Office*), směrem ke koncovému uživateli. Optická část přístupové sítě se označuje jako ODN (*Optical Distributed Network*)[13].

Existuje nespočet koncepčních variant realizace přístupové sítě spadající do kategorie FTTH. Některé z nich jsou spíše teoretickou úvahou nebo se v principu výrazně mezi sebou neliší.

Z hlediska této práce je nutné primárně zmínit „předchůdce“ FTTH a to především FTTN, FTTC a FTTB (viz obrázek 1.1).

- FTTN (*Fibre To The Node*) – kde jsou optická vlákna přivedena do distribučních uzlů (kabinetů), odkud jsou rozváděna metalickými rozvody až tisícům 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 LAN.
- FTTH (*Fibre To The Home*) – kde optická vlákna jsou přivedena až do účastnických zásuvek.
- FTTP (*Fibre To The Premises*) – kde optická vlákna jsou přivedena do budov účastníků a napojena na vnitřní síť nebo jsou přivedena až do účastnických zásuvek. Jedná se tedy o hybridní kombinaci FTTH a FTTB, přesto však zařazovanou pod FTTH.
- 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, kteří vyžadující velkou přenosovou kapacitu (viz data centra).

K samotné přístupové síti FTTH je nutné podotknout, že často chápána definice v překladu „optika do domu“ není zcela korektní. Optické vlákno je přivedeno do každé domácnosti, které tak poskytuje širokopásmovou datovou přípojku, potažmo služby Triple Play.



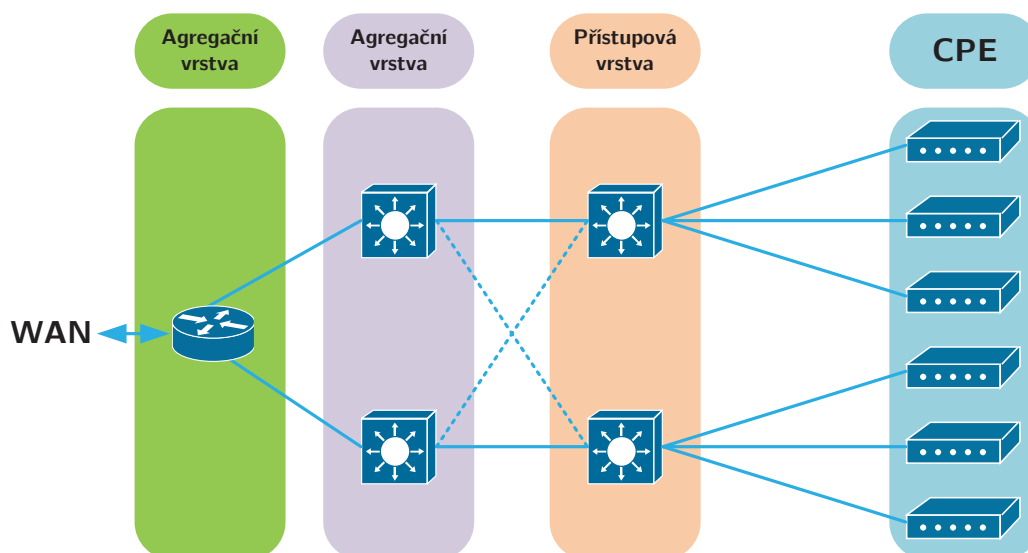
Obr. 1.1: Optické přístupové sítě FTTX [15].

2. AKTIVNÍ OPTICKÁ SÍŤ

Kategorie optických přístupových sítí, kde platí, že na přenosové trase mezi distribučním centrem CO a účastnickou zásuvkou koncového klienta nejsou krom optického vlákna žádné další pasivní prvky k rozdělování nebo slučování signálu, je označována jako aktivní. Taková aktivní optická síť AON (*Active Optical Network*) využívá aktivní síťové prostředky, které jsou umístěny v distribučním centru CO, v lokálních pouličních rozvaděčích a u koncového klienta, což se projevuje v nutnosti zohlednit podpůrnou napájecí síť pro jednotlivá aktivní zařízení při realizaci projektu.

Fyzická topologie mezi účastnickou zásuvkou koncového klienta, resp. zařízením CPE (*Customer Premises Equipment*) plní funkci „domácí brány“ ke službám Triple Play a prvním aktivním agregačním prvkem nejbližší ke klientovi je přímé propojení tj. spojení bod-bod (P2P). Označení účastnického zařízení zkratkou CPE, můžeme souhrnně nahradit v modelu sítě FTTX, resp. FTTH optická ukončující jednotkou ONT/ONU.

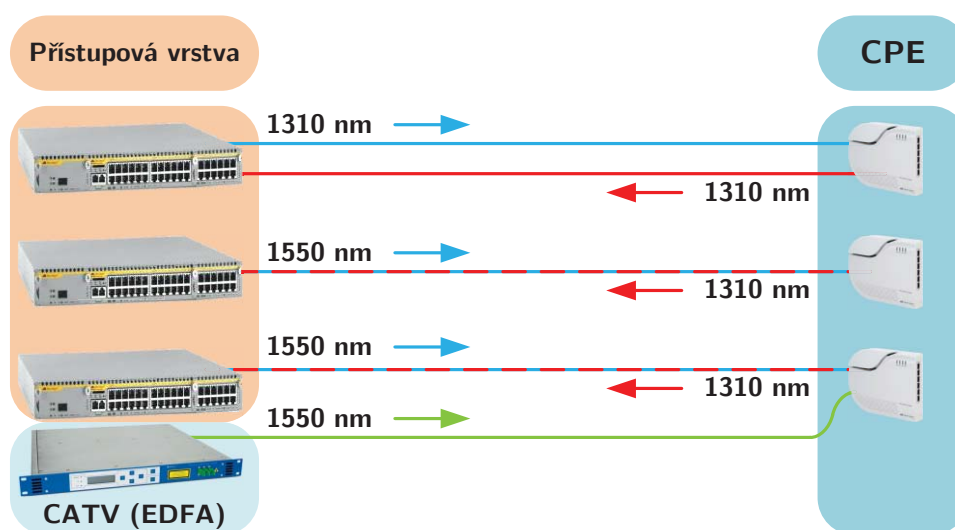
Při pohledu na průřez přes celou přístupovou síť tvoří jednotlivé aktivní agregační prvky hvězdicovou topologii a jsou hierarchicky zapojeny do jednotlivých agregačních vrstev, což je znázorněno na obrázku 2.1. Ze symboliky použitých prvků v obrázku již může být zřejmé, že AON jsou téměř bez výjimky realizované na nativní podpoře Ethernetu.



Obr. 2.1: AON – průřez topologií.

Na samotném obrázku 2.1 je znázorněn průřez optickou přístupovou sítí, jejíž strukturu tvoří 3 agregační vrstvy (*aggregation layer*), přičemž nejnižší agregační vrstva, která je spojena přímo s CPE, označujeme jako vrstvu přístupovou (*access layer*). Počet agregačních vrstev je závislý na počtu účastnických zásuvek. Agregačním prvek v sítích založených na Ethernetu je L2/L3 přepínač pracující na druhé, resp. třetí vrstvě modelu ISO/OSI případně v nejvyšší agregační vrstvě je umístěn samostatný směrovač.

Samotné propojení přístupového přepínače umístěného v CO nebo v pouličním lokálním rozvaděči a účastnického zařízení CPE (viz obrázek 2.2) je možno realizovat několika způsoby [20].



Obr. 2.2: AON – propojení přístupového přepínače a CPE [20].

První varianta využívá dvojici optických vláken pro separátní provoz upstream a downstream kanálu po samostatném vlákne [20].

Druhá varianta využívá pouze jedno optické vlákno při souběžném odděleném provozu upstream a downstream kanálu za pomoci vlnového multiplexu WDM (*Wavelength Division Multiplex*) [20].

Třetí varianta je rozšířením varianty druhé o překryvnou optickou pasivní síť PON realizující simplexni distribuci kabelové televize CATV ve formátu zejména DVB-C příp. DVB-T, resp. DVB-S, resp. analogové televize. Třetí řešení je logicky alternativou k IPTV využité v první a druhé variantě [20].

Uvedené vlnové délky v obrázku 2.2 jsou pouze ilustrační, záleží na použitém fyzickém rozhraní v dané síti [20].

2.1 EFM

Síťová architektura Ethernet in the first mile (EFM) byla specifikována standardem IEEE 802.3ah v roce 2004. Právě Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství IEEE (*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 standard je též zahrnován do skupiny EFMF (*Ethernet In First Mile Fibre*), což ve volném překladu znamená Ethernet na první míli po optice. Nutno podotknout, že tento standard nezahrnuje jen aktivní optické sítě, ale i pasivní optické sítě a také sítě vyžívající metalické rozvody. To je však nepodstatná informace v rámci této práce a tyto podvrstvy PMD (*Physical Medium Dependent*) fyzického rozhraní budou vynechány [23].

2.1.1 100BASE-LX10

Podvrstva fyzické vrstvy realizující P2P spojení poskytující Ethernetovou linku 100 Mbit/s na vzdálenost až 10 km přes dvojici jednovidových vláken SMF (*Single-Mode Fiber*), tzn. každé pro jeden směr provozu [23].

2.1.2 100BASE-BX10

Podvrstva fyzické vrstvy realizující P2P spojení poskytující Ethernetovou linku 100 Mbit/s na vzdálenost až 10 km přes jedno jednovidové vlákno SMF při souběžném odděleném provozu upstream a downstream kanálu za pomoci vlnového multiplexu WDM [23].

2.1.3 1000BASE-LX10

Podvrstva fyzické vrstvy realizující P2P spojení poskytující Ethernetovou linku 1000 Mbit/s na vzdálenost až 10 km přes dvojici jednovidových vláken SMF, tzn. každé pro jeden směr provozu. Nebo alternativně přes dvojici mnohovidových vláken MMF (*Multi-Mode Fiber*) do vzdálenost až 550 metrů [23].

2.1.4 1000BASE-BX10

Podvrstva fyzické vrstvy realizující P2P spojení poskytující Ethernetovou linku 1000 Mbit/s na vzdálenost až 10 km přes jedno jednovidové vlákno SMF při souběžném odděleném provozu upstream a downstream kanálu za pomoci WDM [23].

Tab. 2.1: Fyzická rozhraní dle IEEE 802.3ah [23].

Rozhraní		100BASE-LX10	100BASE-BX10	-	
Optické vlákno	Typ	SMF	SMF	-	
	Počet	2	1	-	
Max. vzdálenost		10	10	km	
Přenosová rychlost	Up	100	100	Mbit/s	
	Down	100	100	Mbit/s	
Vlnová délka	Up	-	1310	nm	
	Down	-	1550	nm	
	Oba	1310	-	nm	
Vysílací výkon	Max	−8	−8	dBm	
	Min	−15	−14	dBm	
Citlivost přijímače	Max	−8	−8	dBm	
	Min	−25	−28,2	dBm	
Rozhraní		1000BASE-LX10	1000BASE-LX10	1000BASE-BX10	-
Optické vlákno	Typ	SMF	MMF	SMF	-
	Počet	2	2	1	-
Max. vzdálenost		10	0,55	10	km
Přenosová rychlost	Up	1000	1000	1000	Mbit/s
	Down	1000	1000	1000	Mbit/s
Vlnová délka	Up	-	-	1310	nm
	Down	-	-	1490	nm
	Oba	1310	1310	-	nm
Vysílací výkon	Max	−3	−3	−3	dBm
	Min	−9	−11	−9	dBm
Citlivost přijímače	Max	−3	−3	−3	dBm
	Min	−19,5	−19,5	−19,5	dBm

2.2 10GE

Síťová architektura 10 Gigabit Ethernet (10GE) byla specifikována standardem IEEE 802.3ae v roce 2002. Aktivní optická síť realizovaná na nativní podpoře Ethernetu. Podporováno je výhradně plně duplexní spojení mezi dvěma body o rychlosti 10 Gbit/s separátně pro upstream a downstream kanál [22].

Standard této síťové architektury definuje dva typy fyzické vrstvy. První pro LAN vycházející z předešlých verzí Ethernetu a druhou pro WAN, která umožňuje napojení na síť SDH, resp., SONET řádu STM-64 o rychlosti 9,58 Gbit/s. Klíčovou informací při návrhu sítě je, že obě varianty využívají stejnou fyzickou podvrstvu PMD a proto není nutné použití různých transceiverů a změn v útlumovém plánu sítě, liší se de facto jen kódování. Z toho důvodu budou níže zmíněny pouze podvrstvy pro LAN, což je označeno v samotném názvu posledním písmenem „R“ [23][36][22].

2.2.1 10GBASE-SR

Podvrstva fyzické vrstvy realizující P2P spojení poskytující Ethernetovou linku 10 Gbit/s na vzdálenost až 300 metrů přes dvojici mnohovidových vláken MMF, každé pro jeden směr provozu [22].

2.2.2 10GBASE-LR

Podvrstva fyzické vrstvy realizující P2P spojení poskytující Ethernetovou linku 10 Gbit/s na vzdálenost 10 km přes dvojici jednovidových vláken SMF, každé pro jeden směr provozu [22].

2.2.3 10GBASE-ER

Podvrstva fyzické vrstvy realizující P2P spojení poskytující Ethernetovou linku 10 Gbit/s na vzdálenost až 40,0, resp. 42,5 km přes dvojici jednovidových vláken SMF, každé pro jeden směr provozu. Pro operační vzdálenost větší jak 30 km musí být splněny veškeré technické nároky na spoj specifikovaný v IEEE 802.3ae v kapitole 52.14.3 [22].

2.2.4 10GBASE-LX4

Podvrstva fyzické vrstvy realizující P2P spojení poskytující Ethernetovou linku 10 Gbit/s na vzdálenost až 10,0 km přes dvojici jednovidových vláken SMF, každé pro jeden směr, nebo až 300 metrů přes dvojici mnohovidových vláken MMF, každé pro jeden směr [22].

Nasazení širokého vlnového multiplexu WWDM (*Wide Wavelength Division Multiplexing*) pro upstream a downstream kanál na obou vláknech umožnilo snížení modulační rychlosti při zachování celkové přenosové rychlosti linky. Toto síťové řešení je vhodné pro souběžný provoz přes SMF a MMF v rámci jedné sítě [22].

2.2.5 10GBASE-ZR

Podvrstva fyzické vrstvy realizující P2P spojení poskytující Ethernetovou linku 10 Gbit/s na vzdálenost 80 km přes dvojici jednovlákenných vláken SMF, každé pro jeden směr provozu, nepatří do standardu IEEE 802.3ae a byla vytvořena dodatečně pod standardem Multivendor agreement [1].

Tab. 2.2: Fyzická rozhraní dle IEEE 802.3ae a MA [22][1].

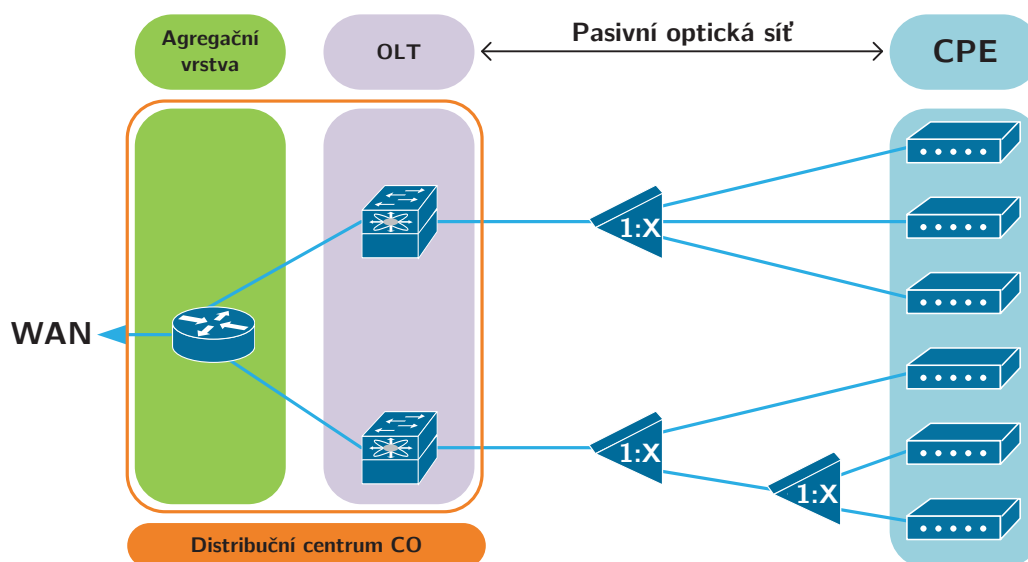
Rozhraní		10GBASE-SR	10GBASE-LR	10GBASE-ER	-
Optické vlákno	Typ	MMF	SMF	SMF	-
	Počet	2	2	2	-
Max. vzdálenost		0,3	10	30 (40)	km
Přenosová rychlost	Up	10	10	10	Gbit/s
	Down	10	10	10	Gbit/s
Vlnová délka	Oba	850	1310	1550	nm
Vysílací výkon	Max	-1	0,5	4	dBm
	Min	-7,3	-8,2	-4,7	dBm
Citlivost přijímače	Max	-1	0,5	-1	dBm
	Min	-9,9	-14,4	-15,8	dBm
Rozhraní		10GBASE-LX4	10GBASE-LX4	10GBASE-ZR	-
Optické vlákno	Typ	MMF	SMF	SMF	-
	Počet	2	2	2	-
Max. vzdálenost		0,3	10	80	km
Přenosová rychlost	Up	10	10	10	Gbit/s
	Down	10	10	10	Gbit/s
Vlnová délka	Oba	$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4^2$	$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4^2$	1550	nm
Vysílací výkon	Max	5,5	5,5	4	dBm
	Min	-0,5	-0,5	0	dBm
Citlivost přijímače	Max	5,5	5,5	-7	dBm
	Min	-2	-2,7	-24	dBm

² λ_1 1269,0 – 1282,4 nm, λ_2 1293,5 – 1306,9 nm, λ_3 1318,0 – 1331,4 nm, λ_4 1342,5 – 1355,9 nm

3. PASIVNÍ OPTICKÁ SÍŤ TDM PON

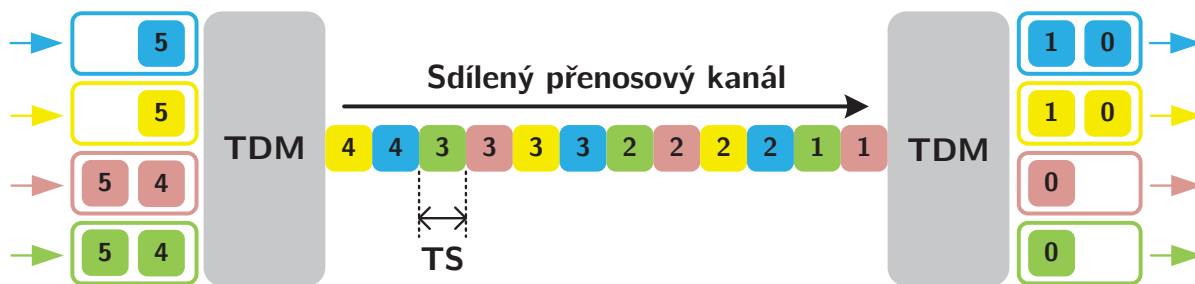
Kategorie optických přístupových sítí, kde platí, že na přenosové trase mezi distribučním centrem CO a účastnickou zásuvkou koncového klienta nejsou žádné aktivní prvky ke směrování a přepínání datového proudu, je označována jako pasivní. Taková pasivní optická síť PON (*Passive Optical Network*) využívá pouze pasivní síťové prostředky, které jsou umístěny mezi distribučním centrem a koncovým klientem, což se projevuje nulovými náklady na podpůrnou napájecí síť, kterou není třeba realizovat.

Fyzická topologie mezi účastnickou zásuvkou koncového klienta, resp. optickou ukončující jednotkou ONT (CPE) a jednotkou optického linkového zakončení v distribučním centru CO odpovídá komunikačnímu modelu bod-mnohobodů tzv. P2MP (*Point-To-MultiPoint*), což prakticky odpovídá hierarchické stromové struktuře, kde kořenem stromu je jednotka optického linkového zařízení OLT umístěná v CO a listy stromu jsou jednotlivá účastnická zařízení CPE, resp. optické ukončující jednotky ONT (viz obrázek 3.1). Samotné větvení stromu je realizováno prostřednictvím optických rozbočovačů (viz kapitola číslo 5.7) [13].



Obr. 3.1: PON – průřez topologií.

Pasivní optické sítě TDM PON využívající pro sdílení přenosového média principu tzv. časového multiplexu TDM (*Time Division Multiplexing*), který umožňuje sdílení infrastruktury přístupové sítě mezi více účastníky. Princip časového multiplexu je založen na periodickém opakování skupiny stejně velkých bloků tzv. timeslotů TS. Zjednodušený model simplexního kanálu využívajícího TDM je níže na obrázku 3.2 [16].



Obr. 3.2: Model časově sdíleného simplexního kanálu TDM [16].

Před analýzou samotných síťových architektur spadajících pod TDM PON je vhodné definovat tyto základní parametry:

- Fyzický dosah sítě vyjadřuje maximální překlenutelnou vzdálenost v přístupové síti mezi OLT v distribučním centru a ONT (CPE) u koncového klienta při uvažování typického útlumu na přenosové trase [38].
- Logický dosah sítě vyjadřuje maximální překlenutou vzdálenost v přístupové síti mezi OLT v distribučním centru a ONT (CPE) u koncového klienta z pohledu přenosových protokolů fyzické a linkové vrstvy při neuvažování útlumu přenosové trasy [38].
- Logický rozbočovací poměr vyjadřuje počet zařízení ONT (CPE), které lze připojit přes sdílené médium na rozhraní jednotky OLT [38].
- Maximální vzdálenost mezi uživateli vyjadřuje rozdíl vzdálenosti mezi nejvzdálenějším zařízením ONT (CPE) a nejbližším zařízením ONT (CPE) od distribučního centra [38].

3.1 APON

Síťová architektura APON též označována ATM PON (*Asynchronous Transfer Mode PON*) byla specifikována v roce 1998 Mezinárodní telekomunikační unií ITU-T (*International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector*) doporučením G.983.1. To definuje symetrický kanál pro downstream a upstream 155,52 Mbit/s, nebo asymetrický kanál 622,08 Mbit/s pro downstream a 155,52 Mbit/s pro upstream, nebo v novějších variantách asymetrický kanál až na 1244,16 Mbit/s pro downstream. Z důvodu realizace přenosu veškerých informací koncepcí ATM a s tím související finanční náklady na tyto zařízení a jejich komplikovanější správu, považují APON za nevyužitelné v sítích menších lokálních poskytovatelů [31].

3.2 BPON

Síťová architektura BPON (*Broadband PON*) byla specifikována v roce 2001 ITU-T doporučením G.983.3. De facto lze BPON považovat za rozšíření APON o možnost využití vlnové délky 1550 nm pro překryvné vysílání CATV, přičemž upstream kanálu je vyhrazena vlnová délka 1310 nm, resp. 1260 až 1360 nm a downstream kanálu je vyhrazena vlnová délka 1490 nm, resp. 1480 až 1500 nm. I přes podporu překryvného vysílání platí výše uvedená nevýhoda koncepce ATM [32].

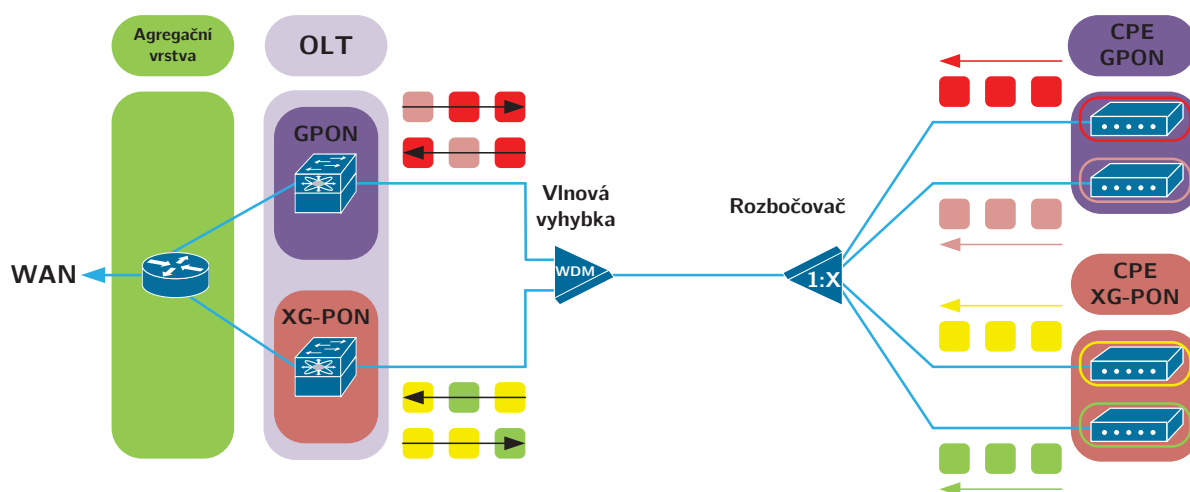
3.3 GPON

Síťová architektura GPON (*Gigabit PON*) byla specifikována v roce 2003 ITU-T doporučením G.984.1. Přenos je realizován prostřednictvím GEM rámců (*GPON Encapsulation Method*) i prostřednictvím 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. Celá koncepce této sítě se snaží přiblížit k paketově orientovanému přenosu dat, který je využívaném v sítích Ethernet. Toho je docíleno tím, že ATM buňky, resp. GEM rámce nebo jejich části jsou rozdělovány do bloků o pevné délce přenosu 125 μ s. GPON nabízí asymetrickou a symetrickou variantu přenosového kanálu. Symetrická varianta poskytuje přenosovou rychlost 2488,32 Mbit/s [33][17].

3.4 XG-PON: NGA1

Síťová architektura XGPON (*X Gigabit PON*), resp. její koncepční část NGA1 (*Next Generation Access 1*) je též označovaná jako XG-PON1/2 (*X Gigabit PON1/2*) či 10G-PON (*10 Gigabit PON*) byla specifikována v roce 2010 Mezinárodní telekomunikační unií ITU-T doporučením G.987.1[34].

Vývojová větev NGA1 založená principiálně na časovém multiplexu TDM zajišťuje plnou kompatibilitu z předchozí architekturou GPON. Přičemž se nejedná jen o typickou zpětnou kompatibilitu se staršími zařízeními, ale o koexistenci dvou síťových architektur na téže síti současně, což umožňuje provést upgrade přístupové sítě postupně a především tam, kde je žádoucí zvýšení přenosové kapacity. Této součinnosti GPON a XG-PON1 je dosaženo použitím různých vlnových délek pro kanály upstream a downstream u obou architektur, přičemž pochopitelně vlnové délky pro starší GPON zůstaly nezměněny a to pro upstream vlnovou délku 1310 nm, resp. 1290 až 1330 nm a pro downstream vlnovou délku 1490 nm, resp. 1480 až 1500 nm. Proti tomu XG-PON1 využívá pro upstream vlnovou délku 1270 nm, resp. 1260 až 1280 nm a pro downstream vlnovou délku 1578 nm, resp. 1575 až 1580³ nm. Pro překryvné vysílání CATV je v normě vyhrazena typická vlnová délka 1550 nm, resp. 1550 až 1560 nm. Přenosová rychlost XG-PON1 je pro upstream kanál 2,488 Gbit/s a pro downstream je 9,953 Gbit/s [34][40].



Obr. 3.3: Souběžný provoz XG-PON1 a GPON [35].

³ Specifikace rozšiřuje vlnový rozsah na 1575 až 1581 nm pro venkovní podmínky.

Na obrázku 3.3 je znázorněn souběžný provoz XG-PON1 a GPON. Klíčovým prvek je na straně CO tzv. vlnová výhybka a její funkce je patrná z obrázku. Na straně klienta dochází k potlačení nežádoucích vlnových délek až v ONT (CPE) [35].

Plánovaný XG-PON2 bude poskytovat symetrickou linku o rychlosti 9,953 Gbit/s, přičemž ze současné specifikace XG-PON1 je patrné, že oblast vlnové délky 1360 až 1480 nm je označena poznámkou pro „budoucí využití“ [34].

Tab. 3.1: Srovnání APON, BPON, GPON a XG-PON1 [31][32][33][34][40].

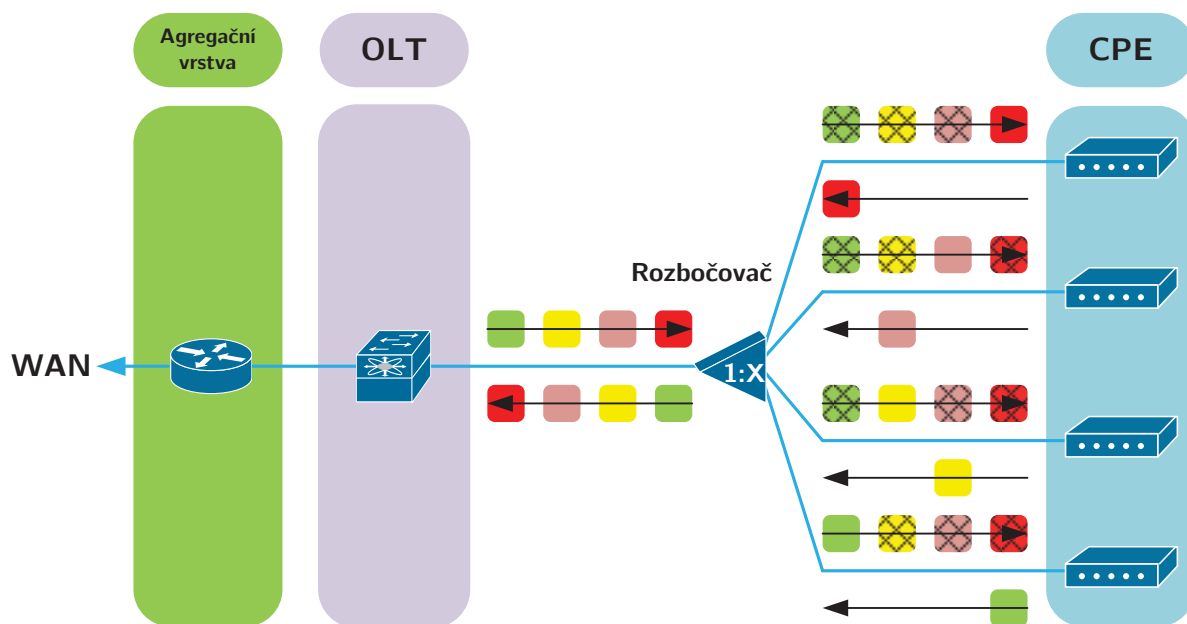
Název			APON	BPON	GPON	XG-PON1	-
			ATM PON	Broadband PON	Gigabit PON	X Gigabit PON	-
Standard			ITU-T	ITU-T	ITU-T	ITU-T	-
			G.983.1	G.983.3	G.984.1	G.987.1	-
Rok			1998	2001	2003	2010	-
Optické vlákno			G.652	G.652	G.652	G.652	-
Max. vzdálenost	Fyzická		20	20	20	20	km
	Logická		20	20	60	60	km
Max. rozdílová vzdálenost			20	20	20	20	km
Přenosová rychlost	Up		622,08	155,52	2488,32	2488,32	Mbit/s
	Down		1244,16	622,08	2488,32	9953,28	Mbit/s
Útlum	Třída A		5 – 20	5 – 20	5 – 20	29/31	dB
	Třída B		10 – 25	10 – 25	10 – 25	Extended 1	dB
	Třída C		15 – 30	15 – 30	15 – 30	Extended 2	dB
Protokol			ATM	ATM	GEM/ATM	XGEM	-
Šifrování			AES				-
Kódování na fyzické vrstvě			Scrambling + NRZ				-
Vlnová délka	1 vlákno	Up	1260 – 1360	1260 – 1360	1260 – 1360	1260 – 1280	nm
		Down	1480 – 1500	1480 – 1500	1480 – 1500	1575 – 1580	nm
	2 vlákna	Up+Down	1260 – 1360	-	1260 – 1360	1260 – 1280	-
Max. rozbočovací poměr			1:32	1:32	1:64	1:128	-

3.5 EPON

Síťová architektura Ethernet PON (EPON) spadající pod Ethernet in the first mile (EFM) byla specifikována standardem IEEE 802.3ah v roce 2004. Tento standart je též zahrnován do skupiny Ethernet na první míli po optice (EFMF) a pokrývá oblasti i AON (viz kapitola 2.1 na straně 19) [23].

Rychlost fyzické vrstvy je 1,25Gbit/s (využitelná rychlost max. 1 Gbit/s) při symetrickém provozu upstream a downstream kanálu [23].

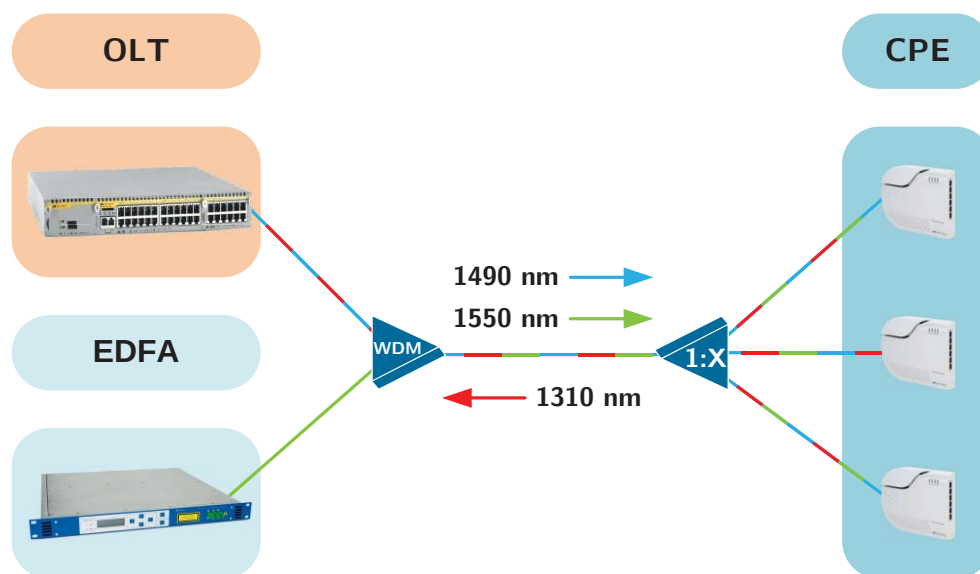
Fyzická vrstva umožňuje přes fyzickou topologii P2MP odpovídající hierarchické stromové struktuře emulovat krom nativního P2MP také komunikaci P2P příp. jejich kombinaci. Eliminace kolizí, vznikajících sdílením přenosového média, je provedena aplikací protokolu MPCP (*Multi-Point Control Protocol*) [17].



Obr. 3.4: EPON – sdílení přenosového média [17].

Princip činnosti je založen na dynamickém přidělování přenosové kapacity na upstream kanálu jednotlivým jednotkám ONT (CPE) a to zasíláním zpráv typu „GATE“ po downstream kanálu s informacemi o přiděleném intervalu v upstream kanálu, přičemž jednotka ONT odpovídá zprávou „REPORT“, kde jednotku OLT informuje o dalších požadavcích pro další sérii dynamického přidělování přenosové kapacity. Řízení provozu na downstream kanálu je pochopitelně snazší z důvodu, že jediným vysílačem je jednotka OLT a příjemci jsou jednotlivé jednotky ONT (CPE), každá s přiděleným jedinečným identifikátorem LLID (*Logical Link Identifier*). Pokud jednotka ONT (CPE) přijme rámec se souhlasným LLID jako má ona, tak rámec přijme a zpracuje, jinak je rámec zahozen (viz obrázek 3.4), vyjma LLID určeného pro broadcast [17].

Souběžný provoz upstream a downstream kanálu po jednom vlákně v architektuře EPON je realizován vlnovým multiplexem WDM. Pro upstream je využita vlnová délka 1310 nm, resp. 1260 až 1360 nm a pro downstream je využita vlnová délka 1490 nm, resp. 1480 až 1500 nm. Pro překryvné vysílání CATV je možno využít vlnovou délku 1550 nm⁴ [23][17].



Obr. 3.5: EPON – WDM oddělení přenosových kanálů.

Pro 10 km dosah mezi OLT a ONT (CPE) je v architektuře EPON specifikováno rozhraní 1000BASE-PX10 a pro dvojnásobný dosah 20 km je specifikováno rozhraní 1000BASE-PX20 [23].

3.6 10G EPON

Síťová architektura 10 Gigabit Ethernet PON byla specifikována standardem IEEE 802.3av v roce 2009. Tento standart lze též zahrnout do skupiny Ethernet na první míli po optice (EFMF) [24].

10G EPON je kompatibilní z předchozí architekturou EPON. Přičemž se nejedná jen o typickou zpětnou kompatibilitu se staršími zařízeními, ale o koexistenci dvou síťových architektur na téže síti současně, ne však v takové míře, jako je kompatibilita mezi GPON a XG-PON1. Upgrade přístupové sítě je možné provést za předpokladu upgradu jednotky optického linkového zakončení OLT v CO.

⁴ Překryvné vysílání CATV není v normě IEEE 802.3ah specifikováno.

Přičemž upgrade optických ukončujících ONT (CPE) lze provést postupně a především tam, kde je žádoucí zvýšení přenosové kapacity [40][24].

Této součinnosti EPON a 10G EPON je dosaženo pro každý kanál odlišně. Pro downstream kanál je to docíleno použitím různých vlnových délek, přičemž pochopitelně vlnová délka pro starší EPON zůstala nezměněna na hodnotě 1490 nm, resp. 1480 až 1500 nm, proti tomu 10G EPON využívá pro downstream kanál vlnovou délku 1577 nm, resp. 1575 až 1580 nm. Pokud se nyní podíváme na vlnové délky využívané pro upstream kanál, zjistíme, že pro starší EPON byla využita vlnová délka 1310 nm, resp. 1260 až 1360 nm a v případě 10G EPON je pro asymetrický upstream kanál využita vlnová délka 1310 nm, resp. 1260 až 1360 nm a v případě symetrického kanálu je využita vlnová délka 1270 nm, resp. 1260 až 1280 nm. Z logiky věci vyplývá, že zde dochází k prolnutí vlnových pásem, resp., že nelze využít vlnové dělení pro upstream kanály EPON a 10G EPON. Pro souběžný provoz obou upstream kanálů je využit časový multiplex TDM, který rozděluje přenosovou kapacitu sdíleného kanálu mezi obě síťové architektury. Opět platí, že překryvné vysílání CATV je možno využít vlnovou délkou 1550⁵ nm [23][40][24].

V předchozím odstavci bylo zmíněno, že 10G EPON nabízí možnost volby mezi symetrickou a asymetrickou rychlostí linky. Přenosová rychlost linky v obou směrech v případě symetrické varianty (PR) je 10,3125 Gbit/s. Proti tomu asymetrická varianta (PRX) má sníženou rychlost pro upstream na 1,25 Gbit/s a pro downstream je zachována rychlost 10,3125 Gbit/s [24].

Symetrickou i asymetrickou variantu lze dále rozdělit na tři typy rozhraní podle dosahu přenosové cesty mezi OLT a ONT (CPE). Pro 10 km dosah tzv. „Low Power Budget“ je to rozhraní 10GBASE-PR10, resp. 10GBASE-PRX10, pro 20 km dosah tzv. „Medium Power Budget“ je to rozhraní 10GBASE-PR20, resp. 10GBASE-PRX20 a pro 30 km dosah tzv. „High Power Budget“ je to rozhraní 10GBASE-PR30, resp. 10GBASE-PRX30 [24].

Z toho je zřejmé, že 10G EPON umožňuje volbu mezi 6 různými fyzickými rozhraními. To je výhodné zejména z ekonomického hlediska, neboť je hledáno takové řešení, které vyhoví svému účelu při eliminaci zbytečného předimenzování.

⁵ Překryvné vysílání CATV není v normě IEEE 802.3av specifikováno.

Tab. 3.2: Srovnání EPON a 10G EPON [23][24].

Název		EPON	EPON	10G EPON	10G EPON	-
		Ethernet PON	Ethernet PON	10G Ethernet PON	10G Ethernet PON	-
Standard		IEEE	IEEE	IEEE	IEEE	-
		802.3ah	802.3ah	802.3av	802.3av	-
Rok		2004	2004	2009	2009	-
Rozhraní		1000BASE-PX10	1000BASE-PX20	10GBASE-PRX10	10GBASE-PR10	-
Optické vlákno		G.652	G.652	G.652/G.657	G.652/G.657	-
		1	1	1	1	-
Max. vzdálenost		10	20	10	10	km
Max. rozdílová vzdálenost		10	20	10	10	km
Přenosová rychlost	Up	1,25	1,25	1,25	10,3125	Gbit/s
	Down	1,25	1,25	10,3125	10,3125	Gbit/s
Útlum	Max	20/19,5 ⁶	24/23,5 ⁷	20	20	dB
	Min	5	10	5	5	dB
Protokol		Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet	-
Vlnová délka	Up	1260 – 1360	1260 – 1360	1260 – 1360	1260 – 1280	nm
	Down	1480 – 1500	1480 – 1500	1575 – 1580	1575 – 1580	nm
Max. rozbočovací poměr		1:32	1:32	1:32	1:32	-
Název		10G EPON	10G EPON	10G EPON	10G EPON	-
		10G Ethernet PON	10G Ethernet PON	10G Ethernet PON	10G Ethernet PON	-
Standard		IEEE	IEEE	IEEE	IEEE	-
		802.3av	802.3av	802.3av	802.3av	-
Rok		2009	2009	2009	2009	-
Rozhraní		10GBASE-PRX20	10GBASE-PR20	10GBASE-PRX30	10GBASE-PR30	-
Optické vlákno		G.652/G.657	G.652/G.657	G.652/G.657	G.652/G.657	-
		1	1	1	1	-
Max. vzdálenost		20	20	30	30	km
Max. rozdílová vzdálenost		20	20	30	30	km
Přenosová rychlost	Up	1,25	10,3125	1,25	10,3125	Gbit/s
	Down	10,3125	10,3125	10,3125	10,3125	Gbit/s
Útlum	Max	24	24	29	29	dB
	Min	10	10	15	15	dB
Protokol		Ethernet	Ethernet	Ethernet	Ethernet	-
Vlnová délka	Up	1260 – 1360	1260 – 1280	1260 – 1360	1260 – 1280	nm
	Down	1575 – 1580	1575 – 1580	1575 – 1580	1575 – 1580	nm
Max. rozbočovací poměr		1:32	1:32	1:32	1:32	-

⁶ 1000BASEPX10-U/1000BASEPX10-D⁷ 1000BASEPX20-U/1000BASEPX20-D

4. PASIVNÍ OPTICKÁ SÍŤ WDM PON

Kategorie pasivních optických sítí WDM PON využívající pro sdílení přenosového média principu tzv. vlnového multiplexu WDM, který umožňuje sdílení infrastruktury přístupové sítě mezi více účastníky. Princip vlnového multiplexu je založen na souběžném paralelním přenášení několika vzájemně oddělených vlnových délek. Tohoto vlnového multiplexu je využíváno jak v aktivních optických sítích AON a tak v sítích pasivních TDM PON pro souběžný paralelní přenos upstream a downstream kanálu po jednom optickém vlákně příp. navíc pro distribuci překryvného kabelového vysílání CATV.

Sítě WDM PON jsou označovány jako sítě „nové generace“ s „konvenčními“ pasivními optickými sítěmi mají společnou pouze fyzickou topologii tvořící hierarchickou stromovou strukturu s topologií P2MP, ale díky soustavě oddělených vlnových kanálů vytvářejících spojení bod-bod (P2P) mezi jednotlivými jednotkami ONT (CPE) a příslušnými rozhraními optických linkových zakončení na straně CO. Logická topologie odpovídá aktivním optickým sítím AON, neboť spojení mezi CO a koncovým uživatelem je realizováno plně duplexními nesdílenými kanály. Pro zvýšení přenosové kapacity lze na jednotlivé vlnové kanály WDM PON nasadit síťové architektury využívající časového multiplexu TDM a tím vznikne tzv. WDM-TDM PON. [80][39].

4.1 Definice a princip vlnového multiplexu

4.1.1 WDM

Vlnový multiplex WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) je původní „nejhrubší“ koncept vlnového dělení na optickém vlákně, který slouží pro souběžný paralelní přenos dvou až tří separátních vlnových kanálů. Typické využití je pro paralelní souběžný provoz upstream a downstream kanálu na jednom optickém vlákně v sítích AON a PON, příp. doplněný o třetí kanál sloužící pro simplexní distribuci překryvného kabelového vysílání CATV v sítích PON. Typické vlnové délky např. pro EFM (viz kapitola 2.1) jsou pro upstream 1310 nm, pro downstream 1490 nm (1550 nm) a pro překryvné vysílání CATV je to vlnová délka 1550 nm [13].

4.1.2 WWDM

Široký vlnový multiplex WWDM (*Wide Wavelength Division Multiplexing*) umožňuje souběžný paralelní přenos čtyř vlnových kanálů. V případě jednovláknového vlákna je využita oblast kolem 1310 nm, která je rozdělena na čtyři kanály s odstupem přibližně 25 nm. Konkrétní implementaci lze nalézt např. v aktivních sítích využívají 10 gigabitový Ethernet s rozhraním 10GBASE-LX4 (viz kapitola číslo 2.2.4) a konkrétní rozestup vlnových délek jednotlivých kanálů je uveden v poznámce pod čarou na straně 22 [13].

4.1.3 CWDM

Hrubý vlnový multiplex CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplexing*) umožňuje v současnosti souběžný paralelní přenos až osmnácti vlnových kanálů. Již historickou specifikací bylo doporučení G.671 pod záštitou Mezinárodní telekomunikační unie ITU-T, přičemž jednotlivé kanály měly rozestup menší jak 50 nm, ale větší jak 1000 GHz [13][27][29].

V červnu 2002 bylo vydáno stěžejní doporučení G.694.2 pod názvem „Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid“, které standardizuje přesně 18 vlnových kanálů CWDM, přičemž nominální vzdálenost mezi středy jednotlivých vlnových kanálů je 20 nm při toleranci posuvu nosné ± 6 až 7 nm. V praxi je uvažována tolerance cca $\pm 6,5$ nm. Vzájemnou kompatibilitu fyzických rozhraní od různých výrobců pracujících na CWDM definovalo doporučení G.695 vydané v únoru 2004 [13][29][30].

Výše zmiňovaný počet 18 vlnových kanálů je možné využít pouze na vláknech označovaných jako „All Wave“, resp. „Low Water Peak“, tedy optická vlákna, které lze provozovat na všech vlnových délkách z rozsahu od 1260 nm až 1625 nm [13][29][81].

To jsou vlákna splňující doporučení G.652.C a G.652.D. Pro vlákna splňující starší doporučení G.652.A a G.652.B lze využít vlnové kanály mimo pásmo přibližně 1360 až 1420 nm [13][29][81].

Prakticky se však využívá méně vlnových kanálů, neboť navrhovaný útlumový plán vzhledem k délce optické trasy sítě musí vždy zohledňovat vlnový kanál v oblasti nejvyššího měrného útlumu [29][81].

Lze to dokázat jednoduchým výpočtem vycházejících z hodnot měrného útlumu pro jednotlivé vlnové kanály v tabulce 4.1. Při uvážení optického vlákna ITU-T G.652.C/D. Největší měrný útlum je 0,470 dB/km je na kanálu číslo 1 a nejnižší měrný útlum je 0,273 dB/km na kanálu číslo 16. Rozdíl měrného útlumu mezi kanálem číslo 1 a číslo 16 je 0,197 dB/km. Rozdíl útlumu je pro vzdálenost 40 km 7,88 dB a pro vzdálenost 80 km 15,76 dB [29][81].

Tab. 4.1: CWDM – nominální vlnové délky a měrný útlum kanálů [29][30][81].

Kanál	Nomin. střední vlnová délka [nm]	Optické vlákno SMF dle ITU				Pásmo ve spektru SMF
		G.652.A a G.652.B		G.652.C a G.652.D		
		Měrný útlum		Měrný útlum		
		Min [dB/km]	Max [dB/km]	Min [dB/km]	Max [dB/km]	
1	1271	0,392	0,473	0,385	0,470	Original 1260 – 1360 nm
2	1291	0,370	0,447	0,365	0,441	
3	1311	0,348	0,423	0,352	0,423	
4	1331	0,331	0,425	0,340	0,411	
5	1351	0,320	0,476	0,329	0,399	
6	1371	-	-	0,316	0,386	Extended 1360 – 1460 nm
7	1391	-	-	0,301	0,372	
8	1411	-	-	0,285	0,357	
9	1431	0,263	0,438	0,269	0,341	
10	1451	0,250	0,368	0,254	0,326	
11	1471	0,238	0,327	0,24	0,312	Short 1460 – 1530 nm
12	1491	0,229	0,303	0,229	0,300	
13	1511	0,221	0,290	0,220	0,290	
14	1531	0,215	0,283	0,213	0,283	
15	1551	0,211	0,278	0,209	0,277	Conventional 1530 – 1565 nm
16	1571	0,208	0,276	0,208	0,273	Long 1565 – 1625 nm
17	1591	0,208	0,278	0,208	0,275	
18	1611	0,208	0,289	0,212	0,283	

4.1.4 DWDM

Hustý vlnový multiplex DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) umožňuje v současnosti souběžný paralelní přenos desítek až stovek vlnových kanálů. Specifikace „Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid“ byla vytvořena pod záštitou Mezinárodní telekomunikační unie ITU-T jako doporučení G.694.1 v červnu 2002.

Toto doporučení popisuje rozložení vlnových kanálů ve spektru od 1490 nm až po 1620 nm v pásmech Short, Conventional a Long. Rozestup jednotlivých vlnových kanálů je v případě „nejhrubší“ varianty 100 GHz (tj. přibližně 0,8 nm), 50 GHz (tj. přibližně 0,4 nm), 25 GHz (tj. přibližně 0,2 nm) a v případě „nejhustší“ varianty pouhých 12,5 GHz (tj. přibližně 0,1 nm) [13][28].

Jednotlivé vlnové kanály jsou odvozeny na obě strany od centrálního vlnového kanálu, který byl stanoven na nominální frekvenci nosné 193,1 THz. Vzorce (4.1), (4.2), (4.3), (4.4) uvedené níže jsou specifikované v doporučení G.694.1 slouží pro výpočet libovolného vlnového kanálu v DWDM, přičemž za „n“ je dosazeno celé číslo z množiny $\mathbb{Z}$ [28].

Určení nosné frekvence vlnového kanálu při rozestupu 100 GHz [28]:

$$\text{Nosná kanálu} = 193,1 + n \times 0,1 \text{ [THz]} \quad (4.1)$$

Určení nosné frekvence vlnového kanálu při rozestupu 50 GHz [28]:

$$\text{Nosná kanálu} = 193,1 + n \times 0,05 \text{ [THz]} \quad (4.2)$$

Určení nosné frekvence vlnového kanálu při rozestupu 25 GHz [28]:

$$\text{Nosná kanálu} = 193,1 + n \times 0,025 \text{ [THz]} \quad (4.3)$$

Určení nosné frekvence vlnového kanálu při rozestupu 12,5 GHz [28]:

$$\text{Nosná kanálu} = 193,1 + n \times 0,0125 \text{ [THz]} \quad (4.4)$$

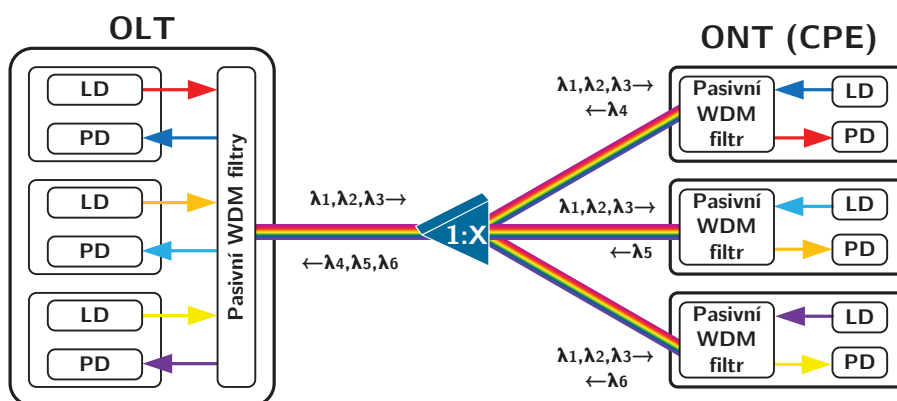
Pro dosažení extrémně úzké spektrální čáry s dostatečnou kmitočtovou stabilitou nosné je použito jednovidových laserů a úzkopásmových interferenčních filtrů. Stabilita laseru je zajištěna buď zvenčí (tj. injekční synchronizací, fázovým závěsem), nebo pomocí rozprostřené zpětné vazby, anebo pomocí braggovských zrcadel. Samotné rozčlenění kanálů musí být prováděno na mezifrekvenci pomocí elektrických filtrů, tj. v přijímači musí být směšovač a místní oscilátor ve formě kmitočtově stabilizovaného vysoce koherentního zdroje světla z důvodu, že selektivita optických filtrů je v nejlepším případě kolem 10 THz. Opět platí jako u CWDM, že prakticky se používají jen některé vlnové kanály s ohledem na útlumový plán vzhledem k délce optické trasy, neboť kanály v oblasti vyššího měrného útlumu nelze použít pro delší vzdálenosti a jejich využití by omezilo délku celé trasy [13].

4.2 Koncepce sítě WDM PON

4.2.1 Sítě založené na optickém rozbočovači

Sítě WDM PON založené na využívání pasivních optických rozbočovačů umožňují pouze pevné přidělení vlnových délek pro jednotlivé koncové účastnické zařízení ONT (CPE). Koncept sítě vychází z principů fungování pasivního optického rozbočovače popsaného v kapitole 5.7 [39][41].

Ve směru downstream jsou všechny vlnové kanály společně šířeny na pasivní optický rozbočovač, který provede pouhé rozbočení optického signálu na všechny své výstupy. Po separátních optických vláknech se šíří optický signál k jednotlivým jednotkám ONT. V každé jednotce je instalován pasivní vlnový filtr, který propustí pouze vlnový kanál určený pro tuto jednotku. Ve směru upstream vysílá každá jednotka ONT na své pevně přidělené vlnové délce, přičemž na pasivním optickém rozbočovači dojde ke sloučení upstream vlnových kanálů do jednoho vlnového multiplexu, který je šířen směrem k optickému linkovému zakončení OLT [39][41].



Obr. 4.1: WDM PON – využití optického rozbočovače [41].

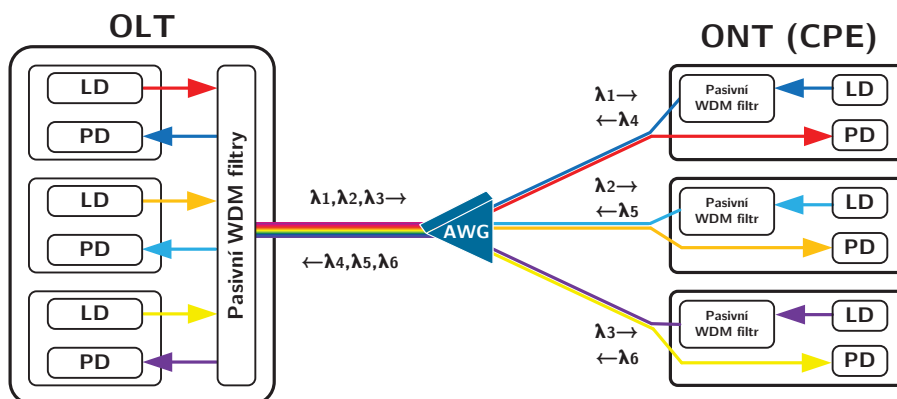
Z výše popsaného principu vyplývají výhody a nevýhody této realizace. Výhoda tohoto řešení je pouze v ceně pasivního rozbočovače, která je dána jeho konstrukcí. Nevýhody jsou jednoznačné a vycházejí z pevně přidělených vlnových délek. V každém stromu WDM PON sítě je nutné zajistit, aby nedošlo k použití dvou jednotek ONT pracujících na stejných vlnových kanálech a každá případná změna fyzického zapojení v přístupové síti si vyžádá výměnu těchto jednotek. Druhou nevýhodou nutnost šifrování přenášených dat vzhledem ke všesměrovému šíření downstream kanálů ke všem jednotkám ONT [39][41].

4.2.2 Sítě založené na směrové odbočnici

Sítě WDM PON založené na využívání pasivních směrových odbočnic AWG umožňují vydělování vlnových délek pro jednotlivé koncové účastnické zařízení ONT (CPE). Koncept sítě vychází z principů fungování pasivní směrové odbočnice popsaného v kapitole 5.8 [39][41].

Ve směru downstream jsou všechny vlnové kanály společně šířeny na pasivní směrovou odbočnici AWG, která provede vydělení jednotlivých vlnových kanálů do jednotlivých výstupů. Z každého výstupu se po separátním optickém vlákne šíří pouze vlnový kanál určený pro danou jednotku ONT, čímž odpadá nutnost použití pasivního WDM filtru pro potlačení nežádoucích vlnových kanálů. To zvyšuje bezpečnost sítě a snižuje nároky na šifrování síťového provozu. Princip vysílání ve směru upstream je totožný jako při využití optického rozbočovače [39][41].

Hlavní výhodou, kromě zvýšení bezpečnosti sítě, je zvýšení překlenutelné vzdálenosti z důvodu snížení vloženého útlumu. Použitím směrové odbočnice AWG je vložen do přenosové trasy útlum přibližně 4 až 5 dB [39][41].



Obr. 4.2: WDM PON – využití směrové odbočnice [41].

Kaskádním zapojením pasivního optického rozbočovače a směrové odbočnice lze dosáhnout větší přesnosti vydělování jednotlivých vlnových délek což umožňuje realizaci hustého vlnového multiplexu. V kombinaci s přeladitelnými vlnovými filtry to usnadňuje návrh univerzálního síťového plánu přidělování vlnových délek jednotlivým jednotkám ONT. Univerzální jednotky ONT zjednodušují návrh, realizaci a připojení klienta kdekoliv v rámci přístupové sítě za předpokladu volného vlnového kanálu. Existují koncepce podporující dynamické přidělování vlnové délky DWA (*Dynamic Wavelength Assignment*) či hybridní WDM-TDM PON, ty však nejsou v současné době dostupné pro komerční nasazení v přístupových sítích [39][41].

4.3 Individuální realizace

Individuální realizace WDM PON vychází z řešení, které není založeno na „hotovém“ řešení vystavěném na konkrétní platformě. Tento postup je dnes více rozšířen vzhledem k tomu, že dnes jediné komerčně dostupné platformní řešení je LG-Ericsson EA 1100.

Individuální řešení poskytují nespočet možností realizací přístupové sítě. Vzhledem k omezenému prostoru v této práci se zaměřím na řešení využívající prvky aktivního Ethernetu probíraného v kapitolách číslo 2.1 a 2.2. Pochopitelně postup tohoto řešení lze přenést ze sítí P2P i na síťové architektury EPON/10G EPON.

Mnou navrhované individuální řešení jednoho segmentu přístupové sítě umožňuje v případě využití hrubého vlnového multiplexu CWDM připojení 16 koncových účastnických zařízení přes jedno optické vlákno, nebo v případě využití hustého vlnového multiplexu DWDM připojení 40 koncových účastnických zařízení přes jedno optické vlákno.

Na straně CO je nutné instalovat přístupový přepínač podporující instalaci SFP modulů (*Small form-factor pluggable transceiver*) pro downlink, do kterého jsou instalovány SFP moduly pracující na jednotlivých kanálech CWDM či DWDM. Pro praktický příklad lze uvést použití L2/L3 přepínače AT-x900-48FS společnosti Allied Telesis. Tento přepínač podporuje instalaci 48 SFP downlink modulů. To umožňuje realizaci tří hrubých vlnových multiplexů pro celkové připojení 48 koncových účastnických jednotek, nebo realizaci jednoho hustého vlnového multiplexu pro 40 koncových účastnických jednotek při nevyužití zbylých 8 slotů pro SFP moduly. Maximální možné využití všech slotů při DWDM nastane při použití 5 přepínačů s celkovou kapacitou 240 modulů SFP, což umožní realizaci šesti hustých vlnových multiplexů pro celkové připojení 240 koncových účastnických jednotek [70][71][3][14].

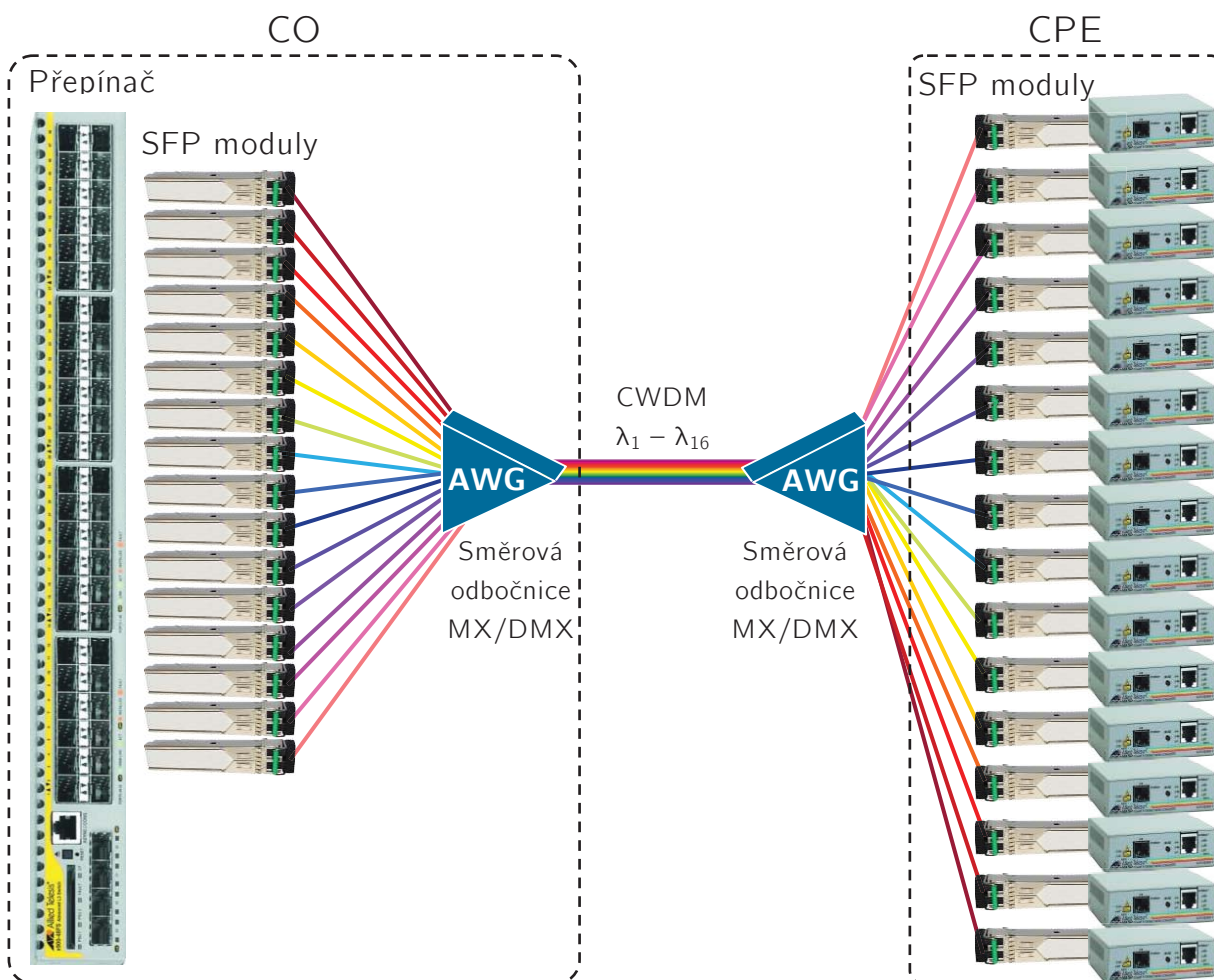
Dále je nutné do přepínače instalovat správné SFP moduly o odpovídající vlnové délce v kontrastu použité směrové odbočnice AWG. Při realizaci hrubého vlnového multiplexu je využita směrová odbočnice SFW-C firmy Optokon v konfiguraci CWDM 16 A (rozestup nosných 20 nm, první nosná 1310 nm, šestnáctá nosná na 1610 nm). Odpovídající SFP moduly podporující 100 Mbit/s Ethernet vyrábí firma Forara v produktové řadě CWDM SFP 155Mb/s ve variantě FSCXX03L4, kde za XX náleží číslo vlnového kanálu [70][71][14].

Při realizaci hustého vlnového multiplexu je využita směrová odbočnice SFW-D firmy Optokon v konfiguraci DWDM 40 (rozestup podle specifikace G.694.1 pro pásmo C při rozestupu 100 GHz). Odpovídající SFP moduly podporující 100 Mbit/s, resp. 1 Gbit/s Ethernet vyrábí firma Forara v produktové řadě Multi-rate DWDM SFP 155Mb/s až 2.67Gb/s ve variantě FSDXXMRL8, kde za XX náleží číslo vlnového kanálu v pásmu C (od kanálu č. 17 až 61) [28][70][71][14].

Pro jeden vlnový multiplex je potřeba vždy pár totožných SFP modulů, jeden na straně distribučního centra, druhý na straně koncového klienta.

Jednotka koncového účastnického zařízení ONT (CPE) je realizována media konvertorem Allied Telesis AT-MC1008/SP, ve které je instalován výše zmíněný příslušný SFP modul. Media konvertor realizuje převod na metalický Ethernet 10/100/1000BASE-T [2].

Na obrázku 4.3 je znázorněna individuální realizace segmentu přístupové sítě využívající směrové odbočnice AWG s rastrem odpovídajícím CWDM.



Obr. 4.3: Příklad realizace přístupové sítě přes CWDM.

4.4 Platforma LG-Ericsson

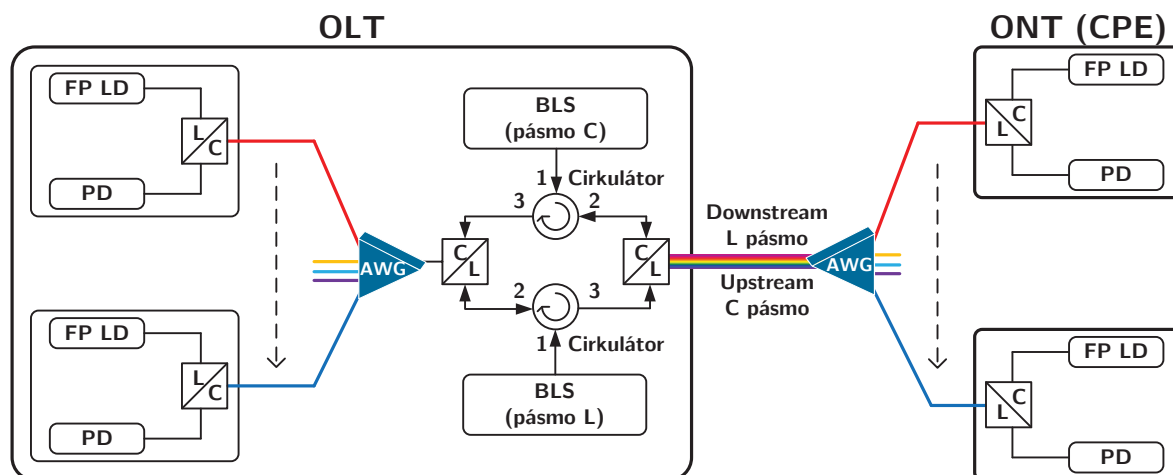
Nevýhody individuální realizace WDM PON popsaného v předchozí kapitole je nutnost vytvoření přesného vlnového plánu využití hrubého nebo hustého vlnového multiplexu pro jednotlivé segmenty sítě a jednotlivé připojené koncové účastnické zařízení. To krom náročného plánování přináší i finanční náklady nutné pro držení skladových zásob všech typů SFP modulů pro případ závady.

Proti tomu kompletní produktové portfolio korporace firem LG-Ericsson poskytuje řešení WDM PON na platformě EA 1100 Multiservice Ethernet Access. Tato platforma pokrývá výstavbu hlavní datové stanice distribučního centra přes pasivní směrové odbočnice až po zařízení pro koncové zákazníky z nefiremního a firemního sektoru při zachování maximální možné modularity přístupové sítě a snadného přechodu na novější technologie s výhledem do budoucnosti. Toto řešení navíc zajišťuje nezávislost datové šířky a oddělení, resp. izolaci datového provozu mezi distribučním centrem a jednotlivými klienty [75].

V jednotlivých podkapitolách se zaměřím na jednotlivé segmenty této platformy a na technologické aspekty optické přístupové sítě FTTH realizované jako WDM PON na této platformě.

4.4.1 Autoselekce vlnové délky

Platforma LG-Ericsson EA 1100 je založena na hustém vlnovém multiplexu DWDM, přičemž alokace vlnové délky pro každý vlnový kanál je založena technologii autoselekce vlnové délky AWL (*Automatic Wavelength Locking*), což umožňuje nasazení „bezbarvých“ („Colourless“) ONT [75].



Obr. 4.4: WDM PON – autoselekce vlnové délky [75].

Na obrázku 4.4 je znázorněn princip autoselekce vlnové délky sítě WDM PON využívající hustý vlnový multiplex DWDM. Autoselekce vlnové délky AWL využívá principu tzv. „Spectrum Slicing“, která umožňuje širokopásmové lasery vybudit na vysílání na specifické úzké spektrální čáře. Jednotka OLT obsahuje širokopásmový zdroj světla BLS (*Broadband Light Source*), směrovou odbočnici AWG a FP laserovou diodu. Širokopásmový zdroj světla v pásmu L je použit pro alokaci vlnové délky „blízkého konce sítě“ OLT a v pásmu L jsou umístěny vlnové downstream kanály. Širokopásmový zdroj světla v pásmu C je použit pro alokaci vlnové délky „vzdáleného konce sítě“ ONT a v pásmu C jsou umístěny vlnové upstream kanály[75].

4.4.2 Perspektiva v sítích typu FTTH

Perspektiva přístupových sítí FTTH fungujících na principu WDM PON vystavěných na platformě LG-Ericsson EA 1100 vyplývá z nadčasového řešení. Toto nadčasové řešení však přináší výrazně vyšší počáteční náklady na výstavbu síťové infrastruktury ve srovnání s aktivními optickými sítěmi s topologií P2P [75][83].

Klíčovou otázkou jest: Proč a případně za jakých podmínek uvažovat o nasazení platformy LG-Ericsson EA 1100? Použití platformy je z logiky věci vyloučeno pro menší přístupové sítě, které v rámci životnosti své položené pasivní infrastruktury nepředpokládají výraznou expanzi počtu připojených koncových klientů, případně rozšíření dosahu přístupové sítě do dalších lokalit při zachování lokace původního distribučního centra CO. Tato úvaha musí pokrývat časový horizont přibližně 50 let, neboť na takovou dobu se odhaduje životnost položené infrastruktury [75][83].

V lokalitách, kde výše zmíněné omezení neplatí a počáteční investiční náklady nejsou překážkou v projektu, je nutné stanovit, zda celá přístupová síť bude vystavěna čistě jako WDM PON nebo bude nastaven rovnovážný stav mezi AON P2P a WDM PON. Rovnovážný stav reprezentuje hraniční oblast kolem distribučního centra CO, po kterou jsou koncoví klienti připojeni spojením P2P s distribučním centrem přes aktivní optickou síť. Od této hraniční jsou koncoví klienti připojeni k distribučnímu centru přes WDM PON. Správným nastavením lze docílit snížení počátečních nákladů spojených s výstavbou infrastruktury WDM PON a omezit náklady na pasivní infrastrukturu AON P2P na delších vzdálenostech [75][83].

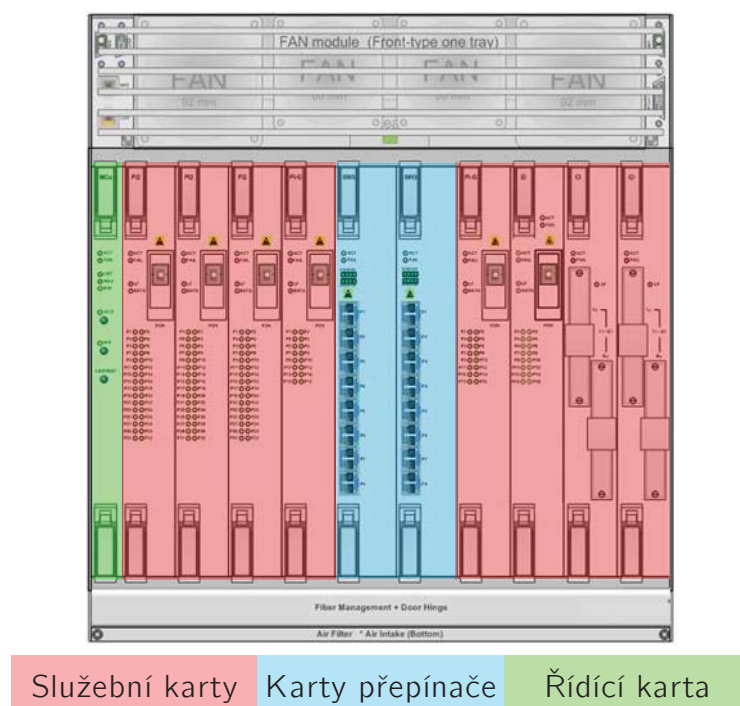
Platforma LG-Ericsson EA 1100 přináší do přístupových sítí flexibilní síťovou architekturu se snadnou škálovatelností a snadným vláknovým managementem při zachování protokolové nezávislosti a nízké spotřebě. Navíc umožňuje překlenout velkou vzdálenost a současně bezpečně odděluje síťový provoz jednotlivých klientů a distribučním centrem. Speciálně modifikované směrové odbočnice AWG doplněné o rozbočovač umožňují i šíření překryvného vysílání CATV [75][83].

Výhledově kolem roku 2014 bude uvedena na trh služební karta, u které bude možností připojit na jedno rozhraní až 64 koncových účastníků při rychlosti 1,25 Gbit/s, tím bude dosaženo propustnosti 80 Gbit/s v obou směrech [83].

4.4.3 Základová skříň

Základová skříň (šasi) je centrálním prvkem platformy LG-Ericsson EA 1100 a zajišťuje chod celého systému. Základová skříň s rozměrem 482×443×480 mm (šířka×výška×délka) je určena pro instalaci do skříně typu rack 19“, kde zabere 10U pozic. V racku 19” 42U lze instalovat 4 samostatné základové skříně [42].

Základová skříň obsahuje 11 slotů, kde 8 slotů slouží pro instalaci služebních karet, zbytek slouží pro instalaci řídicí karty a přepínačů platformy [49][83][42].



Obr. 4.5: Základová skříň LG-Ericsson EA 1100 [83].

4.4.4 Služební karty

Portfolio služebních karet platformy LG-Ericsson EA 1100 je široké, níže uvedu pouze výčet vybraných vhodných pro nasazení v sítích FTTH [42].

Přístupová karta WDM PON

Služební karta pro realizaci přístupové sítě WDM PON podporuje připojení 32 jednotek ONT. WDM PON karta je vyráběna v současnosti ve variantě symetrické linky pro jednu jednotku ONT 100 Mbit/s (PI 100 M, resp. s prodlouženým dosahem PI 100 M High Performance) nebo 1000 Mbit/s (PI 1G 32). Při instalaci maximálního počtu WDM PON karet lze připojit na jednu základovou stanici 256 jednotek ONT. Maximální teoreticky dosažitelná propustnost na jedno optické vlákno při užití rychlejší varianty karty je 32 Gbit/s [49][83][42].

Přístupový přepínač AON P2P

Služební karta pro realizaci přístupové sítě formou AON P2P slouží především na dokrytí oblastí, kde není žádoucí nebo rentabilní realizovat WDM PON. Tato karta je vyráběna ve variantě 24 portového 100 Mbit/s přepínače nebo 24/48 portového 1 Gbit/s přepínače. Ve všech variantách podporuje instalaci SFP modulů a jsou zabezpečeny proti ztrátě konektivity [49][83][42].

4.4.5 Řídící karta

Řídící karta MC (*Maintenance control card*) slouží pro kontrolu a monitoring platformy LG-Ericsson EA 1100 včetně správy jednotlivých karet a alarmu prostřednictvím specializovaného softwaru [49][83][42].

4.4.6 Karty přepínače

Karty přepínače pracující na druhé a třetí vrstvě L2/L3 zajišťují primární přepínání a směrování dat v rámci platformy i směrem na porty uplink. Přepínací kapacita 240 Gbit/s umožňuje provoz platformy při vysokém vytížení. Pro uplink rozhraní je připraveno 8 portů o rychlosti 1 Gbit/s nebo 10 Gbit/s s podporou multicastu a zálohování spojení. Pro zvýšení bezpečnosti přepínače podporují vytvoření až 4095 VLAN podle specifikace IEEE 802.1Q [49][83][42].

4.4.7 Směrová odbočnice

K platformě LG-Ericsson EA 1100 je k dispozici teplotně kompenzovaná směrová odbočnice AAWG (více v kapitole 5.8) a pod produktovým označením WPF 1132. Tato směrová odbočnice je pasivní a nevyžaduje žádné napájení. Slouží k multiplexaci a demultiplexaci optického signálu mezi OLT a až 32 ONT [67][49].

Podle místa montáže rozlišujeme tři provedení. Verze WPF 1132c je určena pro montáž do racku, verze WPF 1132p je ve skříňovém provedení pro montáž na zeď a verze WPF 1132r je v z odolněném provedení pro venkovní použití [67][49].

4.4.8 Koncová zařízení (FTTH)

Koncová účastnická zařízení ONT (CPE) jsou typu „Colourless“ ONT, což znamená, že je lze připojit v jakémkoliv místě sítě za předpokladu volného vlnového kanálu a jsou automaticky nastavena inicializována na správnou vlnovou délku [49].

Malé koncové účastnické zařízení sloužící jako domácí brána ke službám Triple Play. Jednoduchost, spolehlivost a vzhled jednotek je předurčuje pro instalaci v domácnostech koncových uživatelů [49].

Ethernet Access Residential Unit 1112/1113

Vybrané parametry EARU 1112/1113 [49][50][47]:

- 100 Mbit/s WAN rozhraní pro připojení do WDM PON.
- Podpora autoselekce vlnové délky tzv. „Colourless“ ONT.
- Budget 8 dB (HP 12 dB).
- Podpora směrování a přepínání paketů a rámců.
- Integrovaný 4 portový přepínač 10/100BASE-T.
- VoIP – 2 porty RJ 11 (pouze verze EARU 1113).
- Vzdálený management a monitoring.
- Podpora QoS L2/L3, VLAN, STP, RSTP, IPTV (IGMP v2/v3).
- Nízký příkon max. 8,9 W, vstupní napětí +12 V DC.
- Pro vnitřní montáž (0 až 50 °C), volně stojící nebo montáž na zeď.

Ethernet Access Residential Unit 1211/1212

Vybrané parametry EARU 1211/1212 [49][48]:

- 1 Gbit/s WAN rozhraní pro připojení do WDM PON.
- Podpora autoselekce vlnové délky tzv. „Colourless“ ONT.
- Budget 8 dB (HP 12 dB).
- Podpora směrování a přepínání paketů a rámců.
- Integrovaný 4 portový přepínač 100/1000BASE-T.
- VoIP – 2 porty RJ 11 (pouze verze EARU 1212).
- Vzdálený management a monitoring.
- Podpora QoS L2/L3, VLAN, STP, RSTP, IPTV (IGMP v2/v3).
- Nízký příkon max. 15 W, vstupní napětí +12 V DC.
- Pro vnitřní montáž (0 až 40 °C), volně stojící nebo montáž na zeď.

Ethernet Access Residential Unit 1103

Vybrané parametry EARU 1103 [49][46]:

- 100 Mbit/s WAN rozhraní pro připojení do WDM PON.
- Podpora autoselekce vlnové délky tzv. „Colourless“ ONT.
- Budget 8 dB (HP 12 dB).
- Podpora směrování a přepínání paketů a rámců.
- Integrovaný 4 portový přepínač 10/100BASE-T.
- VoIP – 2 porty RJ 11.
- Vzdálený management a monitoring.
- Podpora QoS L2/L3, VLAN, STP, RSTP, IPTV (IGMP v2/v3).
- Nízký příkon max. 8,3 W, vstupní napětí +12 V DC.
- Pro venkovní montáž (-40 až 65 °C) na zeď.

4.4.9 Koncová zařízení (FTTB)

Koncová účastnická zařízení ONU (CPE) jsou typu „Colourless“ ONU, což znamená, že je lze připojit v jakémkoliv místě sítě za předpokladu volného vlnového kanálu a jsou automaticky nastavena inicializována na správnou vlnovou délku. Tyto jednotky slouží pro připojení firemních zákazníků k přístupové síti. Zařízení slouží pro připojení menších a středních organizací. [49].

Ethernet Access Business Unit 2211

Vybrané parametry EABU 2211 [43]:

- Zdvojené 1 Gbit/s WAN rozhraní pro připojení do WDM PON.
- Podpora autoselekce vlnové délky tzv. „Colourless“ ONU.
- Budget 8 dB (HP 12 dB).
- Podpora směrování a přepínání paketů a rámců.
- 2 downlink porty 100/1000BASE-T.
- Vzdálený management a monitoring.
- Podpora QoS L2/L3, VLAN, STP, RSTP, IPTV (IGMP v2/v3).
- Nízký příkon max. 21 W, vstupní napětí 100 – 240 V/50 – 60 Hz.
- Pro vnitřní montáž (0 až 50 °C) do racku 19" (1U).

Ethernet Access Business Unit 2112/2212

Vybrané parametry EABU 2112/2212 [49][44]:

- Zdvojené 100 Mbit/s (EABU 2112), nebo 1 Gbit/s (EABU2212) WAN rozhraní pro připojení do WDM PON.
- Podpora autoselekce vlnové délky tzv. „Colourless“ ONU.
- Budget 8 dB (HP 12 dB).
- Podpora směrování a přepínání paketů a rámců.
- 4 downlink porty 100BASE-T/SFP sloty (pouze verze EARU 2112).
- 2 downlink porty 1 Gbit/s + 2 downlink porty 100BASE-T/SFP (pouze verze EARU 2212).
- VoIP – 2 porty RJ 11.
- Vzdálený management a monitoring.
- Podpora QoS L2/L3, VLAN, STP, RSTP, IPTV (IGMP v2/v3).
- Dvě napájecí jednotky, nízký příkon max. 35/47 W (jeden/dva zdroje), vstupní napětí AC 100 – 240 V/50 – 60 Hz.
- Pro vnitřní montáž (0 až 50 °C) do racku 19" (1U).

Ethernet Access Business Unit 2214W

Vybrané parametry EABU 2214W [49][45]:

- Zdvojené 1 Gbit/s WAN rozhraní pro připojení do WDM PON.
- Podpora autoselekce vlnové délky tzv. „Colourless“ ONU.
- Budget 8 dB (HP 12 dB).
- Podpora směrování a přepínání paketů a rámců.
- 4 downlink porty 10/100/1000BASE-T a 4 downlink 100/1000 Mbit/s sloty SFP.
- Vzdálený management a monitoring.
- Podpora QoS L2/L3, VLAN, STP, RSTP, IPTV (IGMP v2/v3).
- Nízký příkon max. 30 W, vstupní napětí 100 – 240 V/50 – 60 Hz.
- Pro vnitřní montáž (0 až 50 °C) do racku 19" (1U).

4.4.10 Specifikace WDM PON rozhraní

Překlenutelná vzdálenost, resp. vložený útlum v trase není kriticky sledovaný parametr v sítích WDM PON využívající směrovou odbočnici AWG vzhledem k jejímu nízkému vloženému útlumu 4 dB v porovnání s útlumem pasivního rozbočovače 17,3 dB s rozbočovacím poměrem 1:32 [78][75].

V tabulce 4.2 je uvedena specifikace vybraných výkonových hodnot vysílací a přijímací části přenosového řetězce na straně OLT (EARU 1100, PI 100 M) a ONT (EARU1112). Je patrné, že při nastaveném omezení dosahu sítě na 20 km poskytuje tato platforma dostatečnou útlumovou rezervu pro pasivní infrastrukturu [75].

Tab. 4.2: Parametry pro útlumový plán platformy LG-Ericsson EA 1100 [75].

EARU 1100	Pásmo ve spektru SMF	1573 – 1600	nm
	Vysílací výkon (min)	19	dBm
	Citlivost přijímače (min)	–29	dBm
	Rozestup nosných	100	GHz
	Max. vzdálenost	20	km
	Přenosová rychlost	100	Mbit/s
WPF 1132	Vložený útlum	4	dB
EARU 1112	Pásmo ve spektru SMF	1533 – 1560	nm
	Vysílací výkon (min)	–12	dBm
	Citlivost přijímače (min)	–36	dBm

5. INFRASTRUKTURA

5.1 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 [13].

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 kmitočtům řádově THz až PHz, což dnes často označuje jako „relativně“ neomezenou šířku přenosového kanálu [13].

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 [13].

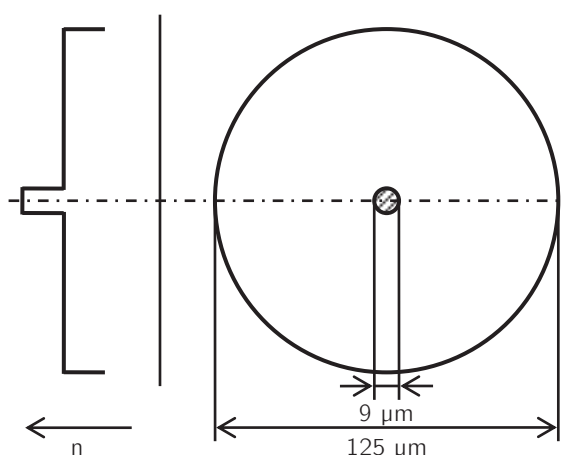
Z výše psaného je jednoznačně zřejmé, proč lze označit vynález optického vlákna a jeho aplikaci v přenosovém řetězci za největší počín lidstva v telekomunikacích.

5.1.1 SMF

Jednovidová optická vlákna SMF (*Single Mode Fiber*) jsou leaderem optických sítí, neboť se vyznačují velmi malou disperzí signálu přibližně 0,3 ns/km, velmi malým útlumem pod 0,2 dB/km a velmi vysokou přenosovou kapacitou. Jádro optického vlákna má průměr jen 7 až 9 μm , což odpovídá šířce jen několika vlnovým délkám přenášeného světla [13].

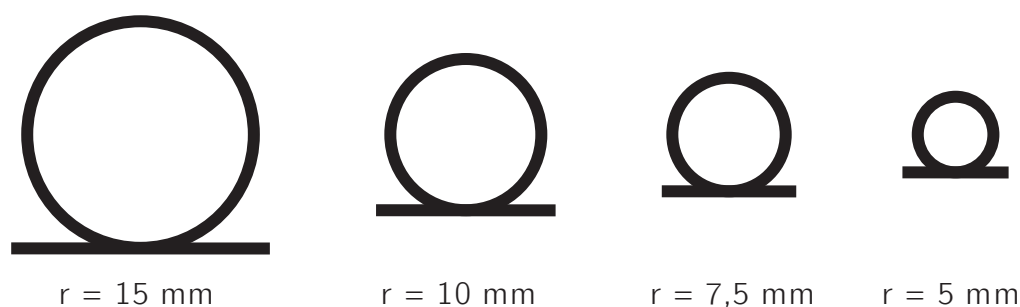
Náročnější výrobní proces však zvyšuje cenu jednovidového vlákna, která však je zvládnutým technologickým postupem výrazně nižší než v minulosti. Jednovidová vlákna jsou výrazně citlivější na kvalitu svařených spojů a preciznost konektorů, což vyplývá z obtížnějšího navázání světelného toku z laseru na vlákno [13].

Optické přístupové sítě FTTH se dnes téměř výhradně staví na těchto jednovidových vláknech, neboť umožňují větší dosah sítě a mají z dnešního pohledu naddimenzovanou přenosovou kapacitu na celou životnost pasivní infrastruktury přístupové sítě.



Obr. 5.1: Jednovidové optické vlákno se skokovou změnou indexu lomu [13].

Ne však každé jednovidové optické vlákno je vhodné do členitého terénu optických přístupových sítí. V této práci často zmiňovaná jednovidová optická vlákna definovaná doporučením ITU-T G.652 od roku 1988 pod označením G.652.A, G.652.B a zejména vlákna pracující v plném vlnovém rozsahu nazývaná „All Wave“, resp. „Low Water Peak“ pod označením G.652.C a G.652.D jsou podporována specifikacemi fyzických rozhraní jednotlivých síťových architektur, ale z důvodu náchylnosti na ohyby je jejich použití v nově vystavovaných sítích vyloučeno [25].



Obr. 5.2: Poloměr makroohybu SMF dle ITU-T G.657.

Plnohodnotnou náhradou za nevhodná vlákna typu G.652 jsou optická vlákna vycházející z doporučení „Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable for the access network“ vydané Mezinárodní telekomunikační unií ITU-T pod označením G.657 v roce 2006. Toto doporučení popisuje základní geometrické, mechanické a přenosové parametry jednovlákenných vláken se sníženou citlivostí na ohyby vlákna (viz obrázek 5.2) v optické přístupové síti. Použití těchto vláken snižuje náročnost výstavby optických tras a zároveň přesně definuje požadavky na jejich montáž při zachování žádoucích přenosových parametrů [26][79].

Doporučení G.657 v současnosti definuje čtyři různé kategorie optických vláken a to jmenovitě G.657A1, G.657A2, G.657B2 a G.657B3 [26].

Tab. 5.1: SMF dle ITU-T G.657 [26].

Průměr jádra		8,6 – 9,5 ± 0,4						μm
Průměr pláště		125 ± 0,7						μm
Makroohyb	Doporučení	G.657.A1			G.657.A2			-
	Poloměr	15	10	-	15	10	7,5	mm
	Počet závitů	10	1	-	10	1	1	-
	1550 nm	0,25	0,75	-	0,03	0,1	0,5	dB
	1625 nm	1	1,5	-	0,1	0,2	1	dB
Měrný útlum max.	1310 - 1625 nm	0,4	0,4	-	0,4	0,4	0,4	dB/km
	1550 nm	0,3	0,3	-	0,3	0,3	0,3	dB/km
Průměr jádra		6,3 – 9,5 ± 0,4						μm
Průměr pláště		125 ± 0,7						μm
Makroohyb	Doporučení	G.657.B2			G.657.B3			-
	Poloměr	15	10	7,5	10	7,5	5	mm
	Počet závitů	10	1	1	1	1	1	-
	1550 nm	0,03	0,1	0,5	0,03	0,08	0,15	dB
	1625 nm	0,1	0,2	1	0,1	0,25	0,45	dB
Měrný útlum max.	1310 nm	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	dB/km
	1550 nm	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	dB/km
	1625 nm	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	dB/km

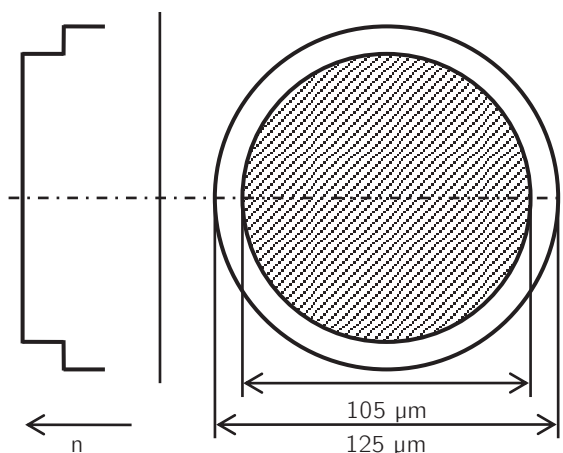
Optická vlákna definovaná jako G.657.A1 a G.657.A2 jsou shodná s vlákny definovanými doporučením G.652.D krom definice útlumu vznikajícího v makroohybech. Pro vlákna typu G.657.A1 jsou definovány maximální přípustné ztráty v makroohybu o poloměru 15 mm a 10 mm na vlnových délkách 1550 nm a 1625 nm. Pro vlákna typu G.657.A2 jsou definovány maximální přípustné ztráty v makroohybu o poloměru 15 mm, 10 mm a 7,5 mm na vlnových délkách 1550 nm a 1625 nm [26][79].

Optická vlákna definovaná jako G.657.B2 a G.657.B3 vycházejí z doporučení G.652.A v oblasti geometrických a mechanických parametrů. Přenosová oblast je uzpůsobena faktu, že tyto vlákna jsou určeny pro krátké úseky optických tras. Z toho důvodu toto doporučení postrádá definici chromatické a polarizační vidové disperze a měrný útlum není definován pro rozsah, ale pouze pro specifické vlnové délky. Pro vlákna typu G.657.B2 jsou definovány maximální přípustné ztráty v makroohybu o poloměru 15 mm, 10 mm a 7,5 mm na vlnových délkách 1550 nm a 1625 nm. Pro vlákna typu G.657.B3 jsou definovány maximální přípustné ztráty v makroohybu o poloměru 10 mm, 7,5 mm a 5 mm na vlnových délkách 1550 nm a 1625 nm [26][79].

5.1.2 MMF SI

Mnohovidová optická vlákna MMF (*Multi Mode Fiber*) se skokovou změnou indexu lomu SI (*Step Index*) se dnes již v přístupových sítích nepoužívají. Jejich nespornou výhodou je jejich cena, která je dána jednodušší výrobou. Jádrem 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 [13].

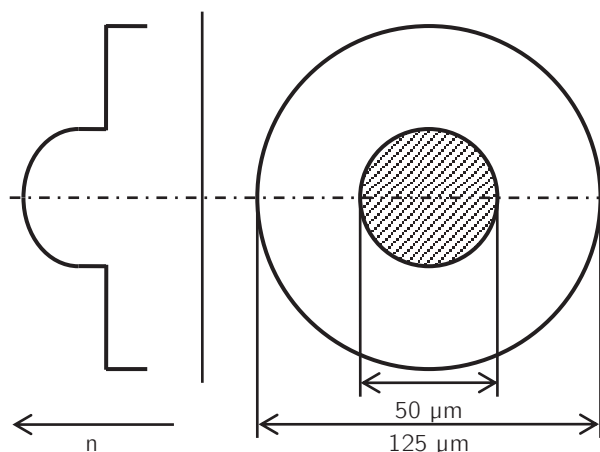
Z dnešního pohledu velmi vysoký útlum až 20 dB/km znemožňuje naopak nasazení mnohovidových vláken na delší vzdálenosti. Výrazně jednodušší je svařování a mechanické spojování těchto vláken. Tyto vlákna mohou být použita pro lokální domácí rozvody služeb Triple Play mezi jednotlivé zařízení, případně mohou tvořit levnou alternativu stávajících metalických rozvodů v budově [13].



Obr. 5.3: Mnohovidové optické vlákno se skokovou změnou indexu lomu [13].

5.1.3 MMF GI

Mnohovidová optická vlákna (*Multi Mode Fiber*) s gradientní změnou indexu lomu (*Graded Index*) 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 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 [13].



Obr. 5.4: Mnohovidové optické vlákno s gradientní změnou indexu lomu

5.1.4 Jednotlivé parametry optických vláken a útlum [13].

Útlum

Útlum optického vlákna definovaný v dB, resp. vztažený na jednotku délky tzv. měrný útlum dB/km je způsoben ztrátami absorpcí, rozptylem a vyzařováním. Ztráty absorpcí jsou následkem přechodů mezi atomárními (ultrafialová a viditelná část spektra) a molekulárními (infračervená oblast spektra) úrovněmi materiálu optického vlákna, které obsahuje nečistoty. Tyto nečistoty jsou tvořeny především ionty kovů a ionty OH. Ztráty rozptylem jsou následkem mikronehomogenit indexu lomu v materiálu optického vlákna. Pokud jsou tyto nehomogenity menší než vlnová délka světelného toku, tak je označujeme jako Rayleighovy ztráty. Ztráty vyzařováním jsou následkem lomu paprsků na rozhraní dvou různých dielektrických. Na velikosti útlumu se výrazně projevují tzv. makroohyby a mikroohyby a veškeré porušení tvaru a geometrie optického vlákna [13].

Chromatická disperze

Chromatická disperze optického vlákna definovaná v $\text{ps}/(\text{nm} \times \text{km})$ je zapříčiněna materiálovou a vlnovou disperzí. Je způsobena nelineární kmitočtovou závislostí skupinové rychlosti šíření vidu ve světlovodu. Chromatická disperze je výrazně větší u mnohovidových vláken, ale uplatňuje se i u vláken jednovidových [16][13].

Potřeba měřit chromatickou disperzi vzrostla u síťových architektur využívající technologii CWDM, resp. více DWDM, neboť takto deformovaný optický signál může zasahovat do vedlejších bitových mezer a dojde ke zkreslení přenášené informace. Chromatickou disperzi na starších trasách nekompenzovaných optických vláken lze kompenzovat kompenzačním vláknem DCF (*Disperzion Compensation Fiber*), které má vysokou zápornou chromatickou disperzi a zapojuje se na konci trasy [16][13].

Polarizační vidová disperze

Polarizační vidová disperze PMD (*Polarization Mode Dispersion*) optického vlákna definovaná v ps/km je zapříčiněna rozdílnou rychlostí šíření vidu ve dvou na sebe kolmých polarizačních rovinách. Projevuje se v síťových architekturách využívající přenosovou rychlost na kanál vyšší jak 2,5 Gbit/s a zhoršuje se při jakékoliv kruhové nesymetrii optického vlákna tj. tzv. mikroohyby zapříčiněné výrobou nebo montáží optického vlákna. Oproti chromatické disperzi ji nelze jednoduše kompenzovat kompenzačními vlákny, ale je nutné zvolit vlákna, která mají garantovanou PMD [16][13].

Nelineární jevy při optickém přenosu

Nelineární jevy vznikající při optickém přenosu je nutné řešit především v případě nasazení technologie hrubého vlnového multiplexu DWDM na dlouhých trasách, kde jsou nasazené zesilovače, neboť součet vysílacích výkonů na jednotlivých vlnových délkách prochází poměrně úzkým jádrem jednovidového vlákna a tím je zapříčiněn vznik nelinearit, které mohou narušit integritu jednotlivých vlnových kanálů [16][13].

Mezi nelineární jevy patří Ramonův rozptyl, Brilluinův rozptyl, stimulovaný rozptyl, vlastní a křížová modulace a tzv. čtyřvlnné směšování [16][13].

5.2 Spojování optického vlákna

Optická vlákna, resp. optické kabely a mikrokabely jsou dodávány v určité nominální délce, a proto je nutné je spojit. Spojení optického vlákna musí být co nejkvalitnější, neboť každý spoj se chová ve vlákne jako vložený útlum a zároveň na něm mohou vznikat nepříznivé odrazy, které mohou deformovat přenášený signál. Z hlediska koncepce spojení optických vláken rozlišuje spoje rozebíratelné a nerozebíratelné. Zakončení optických vláken je řešeno optickými konektory [13].

Je nutné definovat základní sledované parametry spjaté se spojováním optického vlákna. V první řadě je to vložený útlum samotného spoje, označovaný zkratkou IL (*Insertion loss*), je dán vztahem

$$A_{IL} = 10 \times \log \frac{P_1}{P_2} [\text{dB}], \quad (5.1)$$

kde P_1 je optický výkon vstupující do spoje optického vlákna a P_2 je optický výkon vystupující ze spoje optického vlákna. Z logiky věci je žádoucí, aby tento parametr optického spoje byl co nejmenší [17].

Druhým neméně podstatným parametrem spjatým se spojováním optického vlákna je tzv. útlum zpětného odrazu, označovaný jako ORL (*Optical Return Loss*), je dán vztahem

$$A_{ORL} = 10 \times \log \frac{P_1}{P_r} [\text{dB}], \quad (5.2)$$

kde P_1 je optický výkon vstupující do spoje optického vlákna a P_r je výkon, který se na optickém spoji odrazil zpět. Z logiky věci je žádoucí, aby tento parametr byl co největší, neboť tím slabší bude zpětně odražený signál a tím menší bude výsledné zkreslení přenášeného optického signálu [17].

5.2.1 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 [13].

Mechanické pevné spojky

Mechanické pevné spojky pracují na principu osového vyrovnání dvou konců vlákna vůči sobě pomocí mechanických struktur V drážek. Optická vlákna musí před vložením do spojky projít přesným zalomením v lámačce. Po osovém vyrovnání 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. Na obdobném principu funguje i lepení optických vláken [13].

Tavné svařování 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 konce vlákna k sobě přiblížit, aby nedošlo k zeslabení spoje, také provede automatické nebo ruční osové vyrovnání vláken před svařením. Svářecí stanice také obsahují elementy pro kontrolu pevnosti a kvality vyhotoveného sváru. Kvalitně svařený optický spoj má útlum kolem 0,02 dB [13].

5.2.2 Rozebíratelný optický spoj

Rozebíratelný konektorový optický spoj se používá na obou koncích optického vlákna tj. v CO na přístupovém prvku a na ONT (CPE), dále v místech zesilovačů, rozbočovačů a prepínačů, případně v místech, kde potřebujeme provádět měření sítě. Princip konektorů je podobný mechanickým nerozebíratelným spojkám, kde je potřeba, aby byly konce vláken osově vyrovnány, ale konektor musí zabezpečit, aby se plošky konců vláken nikdy nedotknuly, neboť by docházelo k oděrům a znečištění těchto kontaktních ploch [13].

Tab. 5.2: IL a ORL vybraných optických konektorů[17].

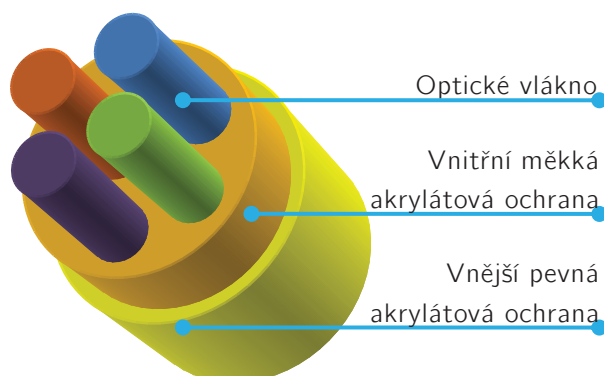
Konektor	FC	ST	SC	E2000	D4	SMA	BICONIC	-
Typické IL	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,25	0,3	dB
Typické ORL	50	50	50	-	45	30	30	dB

5.3 Svazek optických vláken

Svazek optických vláken je elementární spojení několika optických vláken do skupiny, kterou je možno zafouknout přímo do mikrochráničky, resp. do z odolně tlustostěnné mikrochráničky uzpůsobené pro přímou pokládku do země.

Jako výhodné řešení pro optické přístupové sítě se jeví produktová řada svazků optických vláken registrovaná pod obchodním názvem „AccuBreeze FX“ od společnosti OFS koncernu Furukawa Electric [61].

Konfigurace počtu optických vláken ve svazku je v počtu 2, 4, 6, 8 a 12, přičemž průměr svazku je do 1,5 mm a lze jej zafouknout do mikrochráničky s průměrem od 3 mm. Pro zajištění přehlednosti jsou jednotlivá vlákna značena podle barevného kódu. Samotné vlákno je chráněno primárním pláštěm o průměru 250 μm . Vlákna jsou chráněna dvojitou akrylátovou ochranou. Podle specifického účelu lze zvolit svazky vláken s vlákny specifickými parametry dle produktového katalogu. Pro střeoevropské klimatické podmínky je výhodný rozsah udávaných provozních teplot od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až po $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. [61].



Obr. 5.5: Struktura svazku vláken [61].

5.4 Optický mikrokabel

Optický mikrokabel je sdružení jednoho nebo více svazků optických vláken a tahového prvku, který je možné zafouknout přímo do mikrochráničky, resp. do z odolně tlustostěnné mikrochráničky uzpůsobené pro přímou pokládku do země.

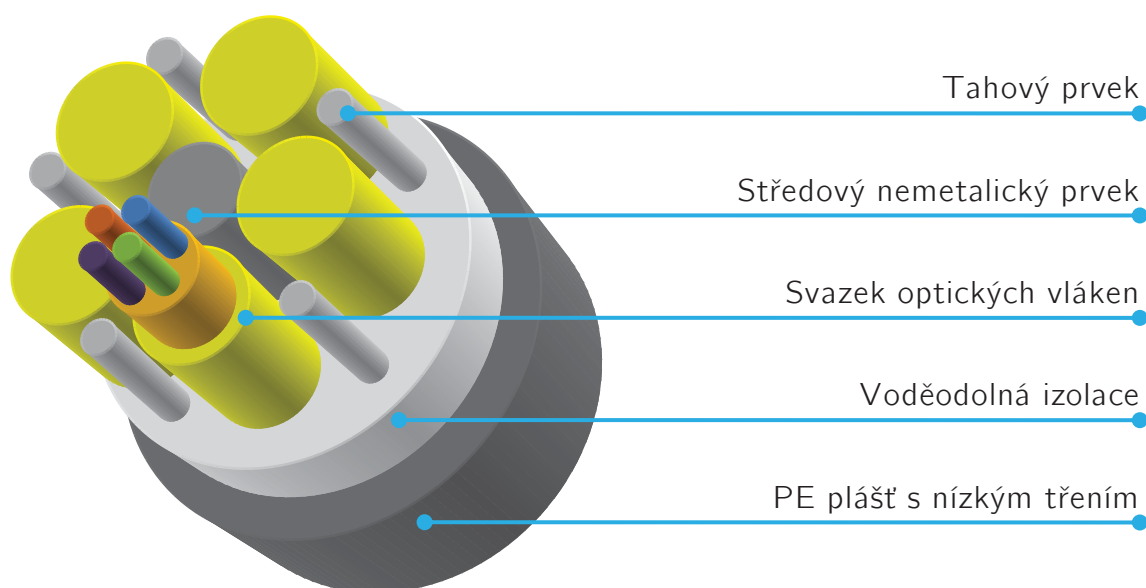
Na českém trhu lze nalézt mikrokabely společnosti např. Samsung či společnosti OFS spadající pod Furukawa Electric. Pro paralelu s výše zmiňovanými svazky optických vláken produktové řady „AccuBreeze FX“ je vhodné zmínit produkty téže společnosti.

Mikrokabel produktové řady „MiDia CT“ obsahuje pouze jeden svazek optických vláken. Konfigurace počtu optických vláken ve svazku je v počtu 2, 3, 4, 6, 8, 10, 12 a 24, přičemž průměr mikrokabelu je 3,9 mm a lze jej zafouknout do mikrochráničky s průměrem 5/7 mm (vnitřní/vnější) [64].

Pro zajištění přehlednosti jsou jednotlivá vlákna značeny podle barevného kódu. Jako tahový prvek je použita aramidová příze. Plášť je tvořen z polyethylenu. Pro středoevropské klimatické podmínky je výhodný rozsah udávaných provozních teplot od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ až po $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ [64].

Pro páteřní části přístupové sítě je vhodné využít alternativně produktovou řadu „MiDia FX“, která obsahuje minimálně pět až dvanáct pozic (trubiček) pro svazky optických vláken. Konfigurace počtu optických vláken ve svazku je v počtu 2, 4, 8 a 12. Minimálně je využit jeden svazek optických vláken tj. jedna trubička, zbylé čtyři trubičky slouží pro udržení mechanické pevnosti a konstrukce mikrokabelu [58][59][60][56].

Celkový počet optických vláken v mikrokabelu je tedy mezi 2 až 144. V maximální konfiguraci 144 optických vláken je využito 12 svazků po 12 vláknech, přičemž průměr mikrokabelu je pro pěti trubičkovou variantu 5,9 mm, pro šesti trubičkovou variantu 6,3 mm, pro osmi trubičkovou variantu 7,6 mm a pro dvanácti trubičkovou variantu 9,7 mm. Pro středoevropské klimatické podmínky je výhodný rozsah udávaných provozních teplot od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ až po $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ [58][59][60][56].



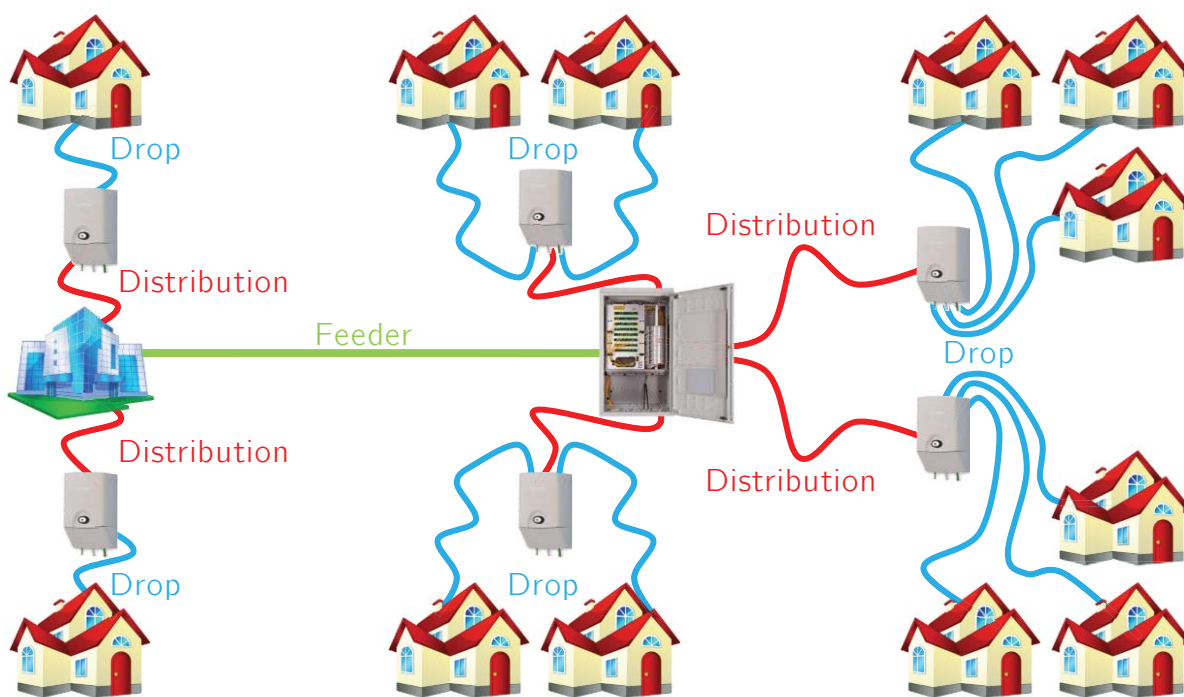
Obr. 5.6: Struktura optického mikrokabelu [58].

5.5 Optický kabel

Obecně optický kabel je sdružení jednoho nebo více optických vláken a ochranných a zpevňujících prvků, přičemž konstrukce duše kabelu i jeho ochranného pláště je přímo závislá na typu jeho montáže a způsobu uložení.

Mezi typické druhy optických kabelů podle způsobu uložení jsou optické kabely pro přímou pokládku do země, optické kabely závěsné a samonosné, optické kabely pro zatažení nebo zafouknutí do HDPE chrániček (trubek), podmořské optické kabely, optické kabely do zemních lan velmi vysokého a zvláště vysokého napětí VVN, resp. ZVN a jiné.

Trasu optické sítě lze rozdělit na tři sekce – Feeder, Distribution, Drop, resp. podle stupně agregace připojených uživatelů v případě sítě PON a v případě sítě AON navíc podle agregace souběhu optických vláken[17].



Obr. 5.7: Rozdělení optických kabelů podle agregace [17].

Nejnižší sekce tzv. „Drop“ (odbočná) je tvořena optickými kabely, které jsou odbočeny z trasy optické sítě přímo k jednotlivým koncovým zákazníkům. Střední sekce tzv. „Distribution“ (distribuční) je tvořena optickými kabely, které jsou mezi optickými rozvaděči. Nejvyšší sekce tzv. „Feeder (přívodní)“ je tvořena optickými kabely, které propojují distribuční centrum s rozvaděči [17].

Z pohledu moderních mikrokabelážních systémů označovaných jako „mikrotrubičkování“ je nevhodné pokládat sekce Feeder, Distribution a část sekce Drop kabely pro přímou pokládku do země, neboť změnu konfigurace přístupové sítě lze v mikrokabelážních infrastrukturách modifikovat bez nákladů spojených s opětovnou pokládkou kabelu na trase. Do již položených mikrochráničků lze zafouknout další mikrokabely a tím minimalizovat náklady na výkopové práce.

Drop kabely je však výhodné využít mezi místem zakončení mikrochráničky v bytových domech a jednotlivými účastnickými zařízeními ONT (CPE) v jednotlivých bytech.

Shodně s předchozí kapitolou bych zmínil vybrané produkty od společnosti OFS (Furukawa Electric).

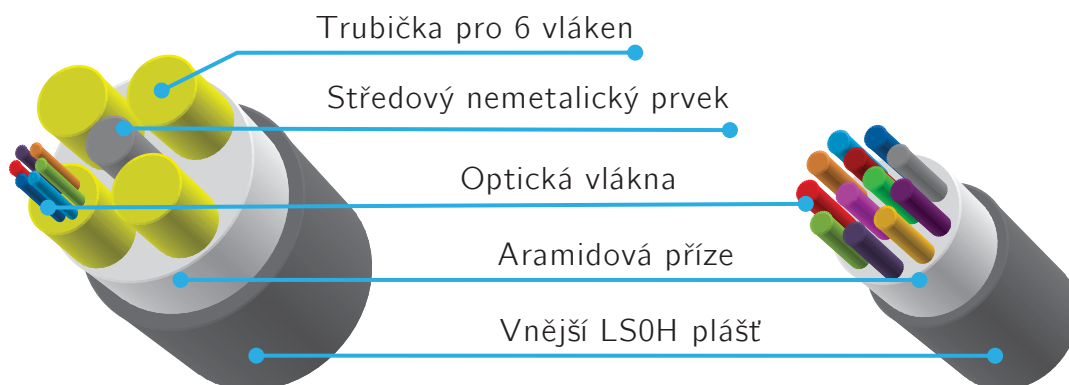
Drop kabel produktové řady „EZ-Bend 4.8“ obsahuje pouze jedno optické vlákno. Tento optický kabel vyhovuje doporučení ITU-T G.657.B a je garantován útlum makroohybem 0,1 dB na vlnové délce 1550 nm při poloměru ohybu 5 mm, přičemž průměr pláště je 4,8 mm. To zaručuje snadnou montáž v bytových prostorech bez zbytečného navyšování útlumu přenosové trasy. Instalační proces je obdobný instalaci klasické strukturované metalické kabeláže [63].



Obr. 5.8: Optický drop kabel EZ-Bend 4.8 [63].

Vícevláknovou alternativou k EZ-Bend 4.8 je drop kabel produktové řady „AccuDRY“, který obsahuje 2, 4, 6, 8, 12, 18, 24, 36, 48 nebo 72 optických vláken. Konstrukce duše kabelu je rozdělena na několik variant podle počtu optických vláken. V první variantě při počtu optických vláken v rozsahu 2 až 12 tvoří jednotlivá vlákna duši kabelu. Ve druhé variantě při počtu optických vláken v rozsahu 18 až 36 je duše kabele rozdělena na sektory trubičkami, přičemž v každé trubičce je uloženo 6 optických vláken. Ve třetí variantě při počtu optických vláken v rozsahu 48 až 72 je duše kabelu rozdělena na sektory trubičkami, přičemž v každé trubičce je uloženo 12 optických vláken. Tento optický kabel vyhovuje doporučení ITU-T G657.A.

Zároveň kabel snese větší makroohyby než specifikuje doporučení ITU-T G.657.B. Průměr pláště kabelu je při 12 vláknové variantě 6,7 mm. Samotná vlákna jsou krom primární ochrany opatřena těsnou sekundární ochranou. Rozsah pracovních teplot od $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ plně vyhovuje použití uvnitř i vně budovy [62].



Obr. 5.9: Optický drop kabel AccuDRY ve 24 a 12 vláknové variantě [62].

5.6 Mikrokabeláží systém

V optických přístupových sítích vzhledem k členitosti terénu a existenci velkého množství separátních optických tras k jednotlivým účastnickým zásuvkám nelze využít efektivně konvenční montáž optických tras, využívanou hojně při realizaci páteřních a metropolitních sítí.

Konvenční technologie je založena na vytvoření kabelových tras za pomoci HDPE chrániček, do kterých jsou zafouknuty nebo zataženy optické kabely. Nevýhodou této technologie je náročné vybočení kabelů z trasy vzhledem k nutnosti instalace odbočovacího členu a navaření optických vláken odbočujícího kabelu.

Přechodovou technologií k mikrokabelážímu systému jsou tzv. multiducty neboli mikrotrubičkové kabely. Ty se používají pro instalaci optických mikrokabelů nebo svazků optických vláken do již položených HDPE chrániček, nebo se zesíleným HDPE či dvojitém pláštěm jsou určeny pro přímou pokládku do země. Tato technologie umožňuje bezproblémové odbočení jednotlivých mikrokabelů z multiductu pomocí T a Y členů, což v prostředí členité přístupové sítě FTTH je stěžejní vlastnost. Odpadá nutnost v místě odbočení spojovat optická vlákna, přesto ale montáž odbočovacích členů je po technické a ekonomické stránce neefektivní.

Na českém trhu se na distribuci mikrokabelážních systémů specializuje společnost Sitel. K dispozici jsou multiducty označované jako „Siduct“ s konfigurací počtu mikrotrubiček 1, 2, 4, 7, 12, 19, 24, 25 a průměr (vnitřní/vnější) mikrotrubiček je 3,5/5 mm, 5,5/7 mm, 8/10 mm a 10/12 mm [77].

Nejefektivnějším způsobem realizace přístupové sítě je za pomoci tzv. mikrochrániček (mikrotrubiček) a zejména pak z odolných tlustostěnných mikrochrániček určených pro přímou pokládku do země. Výhoda této technologie je možnost vytváření neomezeného množství odbočných tras k jednotlivým klientům bez nutnosti instalace odbočných členů či spojování vlákna. Tato technologie umožňuje postupnou výstavbu infrastruktury přístupové sítě od páteřních tras až postupně k jednotlivým klientům. Efektivní vzhledem k rozložení nákladů na výstavbu je i možnost zafukovat optické mikrokabely či svazky optických vláken postupně do mikrotrubiček, podle požadavků na přenosovou kapacitu a počtu aktivně připojených klientů. Typicky lze zafouknout optické mikrokabely a svazky optických vláken na vzdálenost větší než jeden kilometr.

Tab. 5.3: Provedení a kapacita mikrochrániček spol. Sitel [66][54].

Slabostěnná Průměr		Tlustostěnná Průměr		Typická maximální kapacita	
Vnitřní [mm]	Vnější [mm]	Vnitřní [mm]	Vnější [mm]	Provedení	Počet vláken
3,5	5	3,5	7	Svazek vláken	12
5,5	7	5,5	10	Mikrokabel	24
8	10	8	12	Mikrokabel	96
10	12	10	14	Mikrokabel	144
12	14	-	-	Mikrokabel	> 144

V případě souběhu většího počtu jednotlivých mikrochrániček v trase tj. především sekce Distribution a Feeder, je vhodné pro rychlejší pokládku využít tzv. „rukávy“. Rukáv je skupina z odolných tlustostěnných mikrochrániček určených pro přímou pokládku do země, která je obalena tenkým pláštěm z PE. Tyto rukávy distribuuje spol. Sitel pod obchodními označeními „Sleeve“ a „Flat duct“. V husté zástavbě v sekci Drop je možné využít plochý svazek 2 až 7 mikrochrániček určených pro přímou pokládku do země. Jednotlivé mikrochráničky jsou spojeny do vodorovné polohy tenkými můstky, které lze v případě odbočení ke koncovému klientovi nožem odstranit a mikrochráničku tak vybočit z trasy. Tyto ploché svazky mikrochrániček od společnosti Dura-Line jsou označovány jako „DuraFlat“ [54][10].

5.7 Rozbočovač

Optický rozbočovač (*splitter*) neboli vláknová odbočnice je pasivní síťový prvek, který slouží k rozbočení optického signálu ve směru downstream kanálu a ke zpětnému sloučení optického signálu ve směru upstream kanálu. Rozbočení, resp. sloučení optického signálů je zcela na fyzické úrovni bez jakýchkoliv úprav. Rozbočovače mohou podle své konstrukce pracovat v celém vlnovém rozsahu spektra nebo jen v rozsahu striktně vymezeném [13][84].

Instalací rozbočovače v pasivní optické síti vkládáme do přenosové trasy útlum, který výrazně ovlivňuje dosah sítě. Optický rozbočovač představuje největší vložný útlum v celé optické trase ve srovnání s ostatní vložným útlumem optických vláken, svárů a konektorů. Velikost vložného útlumu rozbočovače je přímo závislá na jeho rozbočovacím poměru, který je typicky v poměru 1:N (příp. 2:N) a lze jej v teoretické rovině odvodit ze vzorce

$$A_D = 10 \times \log(N) \text{ [dB]} \quad (5.3)$$

a k tomuto útlumu A_D je nutné připočíst zbytkový útlum A_Z daný nedokonalostí výroby a útlumem přívodů viz vzorec (5.4) [13][84].

$$A = A_D + A_Z \text{ [dB]}. \quad (5.4)$$

Elementární rozbočení 1:2 je realizováno Y-článkem a kaskádním zapojením je možno vytvořit rozbočovač s rozbočovacím poměr 1:N, kde N roste s druhou mocninou dvou v případě symetrické konstrukce. Asymetrická konstrukce rozbočovače umožňuje dělicí poměry např. 1:3, 1:6, 1:12 a 1:24. Rozbočovače se specifickou konstrukcí s rozbočovacím poměrem 1:2 (též nazývané couplery) dovolují asymetrické rozložení výkonu mezi výstupy v poměru např. 60:40, 70:30, 80:20, 90:10, 95:5 a 98:2 příp. jiné v rozsahu 51:49 až 99:1 [13][84][78].

Jednotlivé rozbočovače s různými dělicími poměry je možné zapojit v přístupové síti do kaskády a docílit tím požadovaného dělicího poměru, který však musí respektovat útlumový plán trasy a logický dělicí poměr síťové architektury [13].

Existují dvě technologie výroby rozbočovačů FBT (*Fused Bionic Taper*) a PLC (*Planar Lightwave Circuit*) [13].

5.7.1 FBT rozbočovač

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 [13].

V tabulce 5.4 je zobrazen maximální vložený útlum jednotlivých variant rozbočovačů podle dělicího poměru produktové řady „SFT-SWB 01xN“ společnosti Optokon pracujících na vlnové délce 1270 až 1630 nm (pro 1:N, kde $N = 2$), resp. 1250 až 1630 (pro 1:N, kde $N \neq 2$) [69][68].

Tab. 5.4: Maximální útlum FBT rozbočovačů spol. Optokon [69][68].

Dělicí poměr	1:2	1:3	1:4	1:5	1:6	-
Max. útlum	3,6	6,1	7,2	8,5	9,4	dB
Dělicí poměr	1:8	1:12	1:16	1:32	-	-
Max. útlum	10,7	12,5	14,4	18,5	-	dB

5.7.2 PLC rozbočovač

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 [13].

V tabulce 5.5 je zobrazen maximální vložený útlum jednotlivých variant rozbočovačů podle dělicího poměru produktové řady „PLC Splitters – 1xN“ společnosti SQS Vláknová optika pracujících na vlnové délce 1260 až 1650 nm [78].

Tab. 5.5: Maximální útlum PLC rozbočovačů spol. SQS Vláknová optika [78].

Dělicí poměr	1:2	1:3	1:4	1:6	1:8	1:12	-
Max. útlum	3,9	6,2	7,4	9,3	10,8	13,0	dB
Dělicí poměr	1:16	1:24	1:32	1:64	1:128	-	-
Max. útlum	14,1	16,5	17,3	21,0	25,3	-	dB

Pokud porovnáme technologii výroby FBT a PLC podle vložného útlumu vzhledem k dělicímu poměru, zjistíme, že pro menší dělicí poměr do cca 1:12 mají rozbočovače založené na FBT konstrukci nepatrně nižší útlum. Pro větší dělicí poměry poskytují naopak rozbočovače založená na PLC konstrukci nižší útlum.

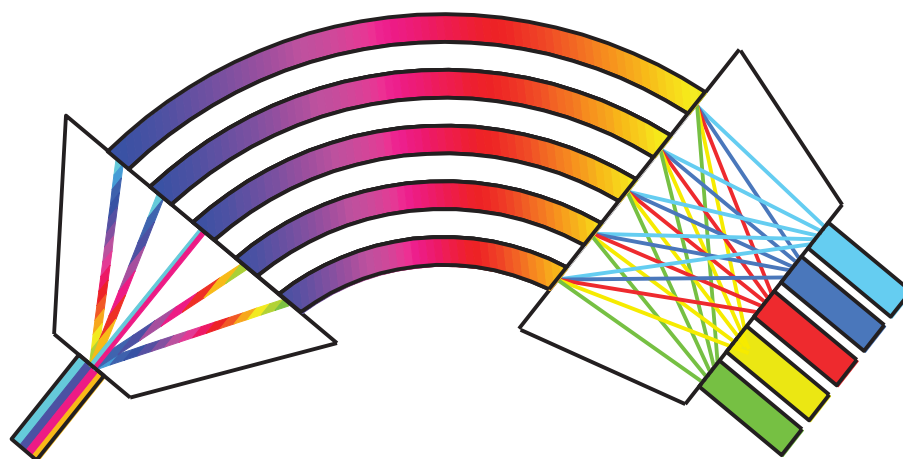
5.8 Směrová odbočnice

Směrová odbočnice využívající technologii vydělování vlnových délek AWG (*Arrayed Waveguide Grating*) je pasivní síťový prvek, který slouží k multiplexaci a demultiplexaci optického signálu podle vlnové délky [41].

Ve směru downstream kanálu přichází optický signál ve formě hrubého nebo hustého vlnového multiplexu CWDM, resp. DWDM na směrovou odbočnici AWG, kde dojde k vydělení jednotlivých vlnových kanálů do určených výstupů odbočnice. Takto vydělené vlnové kanály s nosnými λ_1 až $\lambda_{n/2}$ se šíří separátními optickými vlákny k jednotlivým účastnickým zařízením ONT [41].

Ve směru upstream kanálu vysílá každé účastnické zařízení na své jedné vlnové délce z rozsahu $\lambda_{n/2+1}$ až λ_n a na směrové odbočnici AWG dojde ke sloučení jednotlivých vlnových kanálů do hrubého nebo hustého vlnového multiplexu CWDM, resp. DWDM. Každé účastnické zařízení má separátní downstream a upstream kanál na předem přidělených vlnových délkách [41].

Technologie AWG umožňuje rovnoměrné vydělování jednotlivých vlnových délek při výrazném poklesu vložného útlumu v přenosové trase. Typická hodnota vložného útlumu je přibližně 4 dB a není závislá na dělicím poměru jako u pasivních rozbočovačů. Útlum vložený do přenosové trasy je snížen dále absencí WDM filtrů na straně koncové účastnické jednotky, neboť k odbočení nežádoucích vlnových délek dochází již na směrové odbočnici [41].



Obr. 5.10: Směrová odbočnice AWG [41].

Konstrukce směrové odbočnice AWG (viz obrázek 5.10) je tvořena z rozšiřujícího se vlnovodu, který se po krátké vzdálenosti rozděluje na jednotlivé vlnovody, které jsou vedeny paralelně vedle sebe a trochu zatácejí. Tím vytváří soustředné oblouky, které jsou různě dlouhé. Následně jsou opět spojeny do jednoho širokého vlnovodu. Ten se opět po krátké vzdálenosti rozděluje na jednotlivé vlnovody. Počet jednotlivých vlnovodů odpovídá počtu kanálů vlnového multiplexu [41].

Rovnoměrné rozložení výkonů do jednotlivých vlnovodů je zajištěno přesnou geometrickou konstrukcí a přesným indexem lomu struktury AWG, jelikož však oblouky jednotlivých vlnovodů mají různou délku, procházející optický signál vstupuje do druhého širokého vlnovodu s různým fázovým zpožděním, které je větší pro signály s menší vlnovou délkou [41].

Ve druhém širokém vlnovodu dojde k vzájemné interferenci části signálu přicházejících z různých vlnovodů a tím dojde k vydělení signálu z WDM. Maximální intenzita prvního kanálu bude soustředěna na prvním výstupu a tak dále až maximální intenzita posledního n -tého kanálu bude soustředěna na n -tém výstupu směrové odbočnice AWG [41].

Společnost Profiber Networking distribuuje teplotně kompenzovanou směrovou odbočnici AAWG (*Athermal Arrayed Waveguide Grating*) koncernu LG-Ericsson pod produktovým označením WPF 1132. Tato směrová odbočnice umožňuje filtraci vlnových délek až pro 32 koncových účastnických zařízení [67].

6. HLAVNÍ STANICE

Hlavní stanice (*Headend*) je klíčovým prvek distribučního centra optické přístupové sítě FTTH, neboť umožňuje příjem, zpracování a distribuci video služeb. Rozeznáváme dvě základní koncepce přenosu těchto služeb a to pod označením CATV a IPTV.

V rámci semestrální práce byly zkoumány obě technologie distribuce televizního signálu přes optickou přístupovou síť FTTH. V navazující diplomové práci bylo, vzhledem ke zvoleným technologickému řešení, rozhodnuto o využití IPTV. Vytvořený návrh hlavní stanice pro CATV se stal bezpředmětným, ale dovoluji si ho v diplomové práci ponechat jako referenční.

6.1 IPTV

Digitální televizní vysílání přes internetový protokol neboli IPTV představuje alternativu ke klasickému digitálnímu televiznímu vysílání DVB, přičemž pod skupinu IPTV patří digitální televizní vysílání, video na vyžádání VoD (*Video on Demand*) příp. audio a video na vyžádání AVoD (*Audio & Video on Demand*) a v budoucnu interaktivní multimediální televizní vysílání MHP (*Multimedia Home Platform*). Distribuce IPTV je realizována přes datovou síť jako ostatní data, přičemž internetový protokol umožňuje duplexní režim komunikace mezi distribučním centrem a IPTV tunerem, resp. IPTV STB (*Set-Top Box*) [37].

Vzhledem k ukončení analogového televizního vysílání ke dni 11. 11. 2011 (vyjma regionů Zlínska a Jesenicka ke dni 30. 6. 2012) není třeba řešit digitalizaci přejímaného televizního vysílání [6].

Přijímané programové multiplexy přes DVB-S/S2 příp. DVB-T/T2 jsou již komprimovány ve formátu MPEG-2, MPEG-4 AVC/H.264, a pokud je to žádoucí, je možné změnit formát, rozlišení či bitovou rychlost přijímaného televizního kanálu. Digitální video signál je dále rozdělen do malých bloků PES (*Packetized Elementary Stream*) o velikosti 188 bajtů. Bloky PES jsou sdružovány do transportního bloku. Transportní blok MPEG-TS může obsahovat až 7 PES bloků. To vyplývá z logiky, že 7 PES bloků má velikost $7 \times 188 = 1316$ bajtů a vzhledem k tomu, že Ethernet rámeček umožňuje přenést až 1500 bajtů, tak nedojde k rozdělení transportního bloku MPEG-TS [37].

K distribuci video služeb je využito multicastové vysílání, které distribuuje video služby jen do uzlů sítě, kde je o ně zájem. Každý televizní kanál v IPTV má přiřazenu vlastní multicastovou IP adresu z třídy D (224.0.0.0 až 239.255.255.255), resp. rezervovanou adresu z rozsahu 224.0.0.0 až 224.0.0.255. Zájemci o příjem daného televizního kanálu jsou přihlášeny do dané multicastové skupiny za pomoci protokolu IGMP v2/v3 za předpokladu, že mají oprávnění přijímat daný kanál [37].

Přenosová kapacita linky mezi distribučním centrem a koncovým klientem je sdílená s ostatními datovými službami, proto je v první řadě nutné stanovit maximální počet přenášených multicastových streamů k jednomu klientovi. To prakticky znamená stanovit max. počet aktivních IPTV přijímačů pro každou domácnost.

Reálný bitový tok jednoho televizního kanálu distribuovaného přes DVB-S/S2 je vzhledem k omezeným kapacitám transpondérů nižší, než tabulkový bitrate pro kompresní metody MPEG-2 a H.264/MPEG-4 AVC. Proto jsem provedl měření bitrate vybraných televizních kanálů, které vysílají současně v SDTV a HDTV. Měřicí pracoviště bylo sestaveno z přijímače TechniSat CableStart Combo HD CI a PC s programem DVB Viewer Pro ve verzi 4.9.6.20.

Tab. 6.1: Bitrate vybraných stanic ve formátu SDTV a HDTV.

Stanice	Kodér		Rozlišení	FPS	Bitrate	
	Video	Audio			Video	Audio
ČT1	MPEG-2	MPEG	704×576	25	5,0 Mbit/s	192 kbit/s
ČT1 HD	H.264	MPEG	1920×1088	25	11,0 Mbit/s	192 kbit/s
STV1	MPEG-2	MPEG	720×576	25	6,6 Mbit/s	192 kbit/s
STV1 HD	H.264	AC3	1920×1088	25	11,4 Mbit/s	192 kbit/s

Při implementaci IPTV je nezbytné řešit tzv. kvalitu služeb QoS (*Quality of Service*), neboť paketově orientovaný přenos sítí negativně ovlivňuje přenášené video služby. Z toho důvodu je nutné pro jednotlivé služby Triple Play definovat tzv. priority. Mezi negativní jevy při paketově orientovaném přenosu je zpoždění (*latency*), kolísání zpoždění (*jitter*), změna pořadí paketů (*packet order*) a ztráta paketů (*packet loss*) [37].

Příjem digitální satelitního vysílání v první generaci DVB-S a současně ve druhé generaci DVB-S2 je zajištěn prostřednictvím trojice satelitních parabol o průměru 125 cm, přičemž každá parabola je osazena jedním satelitním konvertorem LNB se čtyřmi nezávislými výstupy pracující v Ku pásmu 10,7 GHz až 12,75 GHz. Orientace parabol je napevno nastavena na pozici 23,5° východně pro příjem z transpondéru družice Astra 3B. Odebírány budou pouze programy z balíku CS Link a Skylink (viz Příloha A) a všechny programové multiplexy leží horním pásmu Ku (tj. 11,7 GHz až 12,75 GHz), lze využít každé LNB pro současný příjem satelitního vysílání s horizontální a s vertikální polarizací pro dva současně připojené satelitní receivery [4].

Hlavní stanice je vystavěna na produktech německé společnosti BLANKOM Antennentechnik GmbH a to na produktové řadě A-Line třetí generace.

Navržená hlavní stanice obsahuje 3 satelitní IP streamery SIA 108 QUAD SAT IP Streamer, přičemž každá jednotka obsahuje dva satelitní receivery. IP streamer umožňuje současný příjem 4 kódovaných multiplexů DVB-S/S2 neboť je vybaven 2 sloty až pro 4 CA moduly, kde první 2 CA moduly jsou vyhrazeny pro první satelitní receiver a druhé 2 CA moduly jsou vyhrazeny pro druhý satelitní receiver. Každý receiver tedy zpracovává až 2 kódované multiplexy DVB-S/S2 a umožňuje streamovat až 16 televizních stanic. Celkově jeden IP streamer umožňuje řízení a distribuci až 32 multicastových proudů [4].

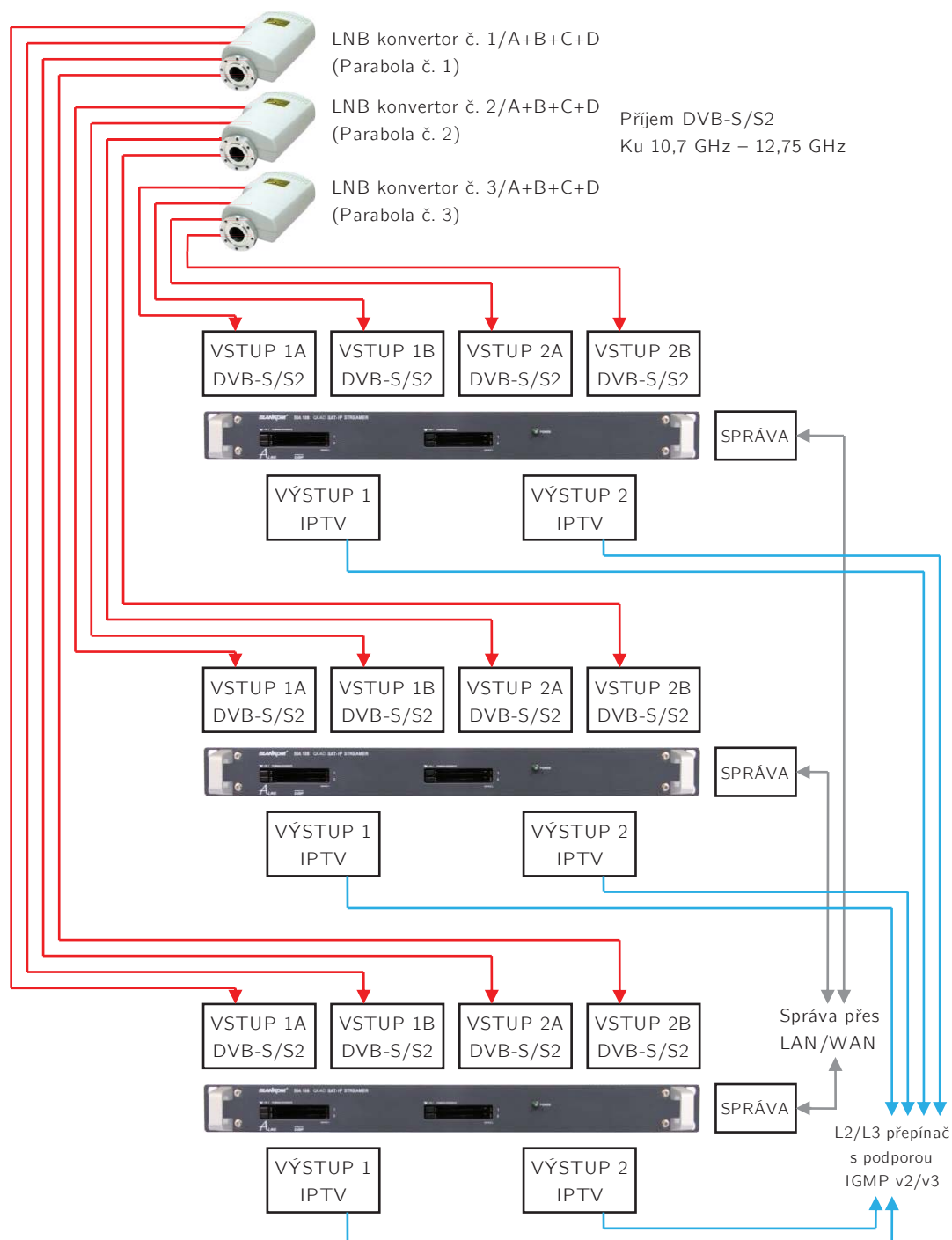
Mnou navržené zapojení 3 satelitních IP streamerů do sítě umožňuje distribuci až 96 televizních kanálů prostřednictvím IPTV. Všechny 6 stream portů (Ethernet 1000Base-T) bude připojeno na nejvyšší agregační přepínač L2/L3 v distribučním centru [4].

Tab. 6.2: Hlavní stanice IPTV.

Výrobce	Typ	Množ.	Cena za jednotku	Cena Celkem
Blankom	SI 108 QUAD SAT IP	3	3 600 €	10 800 €
Blankom	Vybrané funkce CKB 20X	1	350 €	350 €
Blankom	ALU-Offset, 125 cm	3	245 €	735 €
Blankom	LNB Quad	3	70 €	210 €
Blankom	Příslušenství a kabeláž	1	500 €	500 €
CENA CELKEM				12 595 €

Pro případné přídavné služby IPTV jako je VoD a AVoD je nezbytné do hlavní stanice instalovat server s příslušným softwarovým vybavením. Náklady na pořízení jsou zahrnuty až v kalkulaci za infrastruktury distribučního centra [37].

Cenová kalkulace produktů A-Line spol. Blankom v tabulce 6.2 vychází z velkoobchodních ceníků společnosti BLANKOM Antennentechnik GmbH⁸ ve verzi „Preisliste 2011/2012“. Náklady na výstavbu hlavní stanice jsem stanovil na přibližně 322 000 Kč (tj. při kurzu 25,5 Kč = 1 €).



Obr. 6.1: Hlavní stanice IPTV.

6.2 CATV

Překryvné vysílání kabelové televize CATV neboli RF video využívá pro broadcastovou distribuci video signálu analogový RF downstream kanál na vlnové délce 1550 nm. Při broadcastovém vysílání je signál šířen simplexně směrem ke koncovému uživateli. Z ekonomického hlediska je šířený signál vždy přes stromovou topologii (P2MP). V sítích AON je využito druhé optické vlákno, které tvoří překryvnou síť PON. V sítích TDM PON a WDM PON využívající rozbočovač je signál šířen na separátní vlnové délce po stejném vlákne jako datové kanály ve směrech upstream a downstream. V sítích WDM PON využívající směrové odbočnice vhodné využít IPTV nebo použít modifikovanou směrovou odbočnici podporují všesměrové šíření CATV [19][13][4][75].

Ačkoliv jsem hovořil o využití analogového RF kanálu pro distribuci CATV, tak přenášení klasického analogového vysílání ve formátu PAL/SECAM je dnes již téměř vyloučeno. Přes RF downstream je šířeno digitální televizní vysílání DVB (*Digital Video Broadcasting*) ve formátu MPEG-2/MPEG-4. Pro poskytování video služeb Triple Play v sítích FTTH je nejvhodnější využití standardu DVB-C určeného pro digitální televizní vysílání v sítích kabelových televizí a to zejména pro možnost přesné skladby programové nabídky. Lze využít i standard DVB-T/DVB-T2 pro digitální pozemní vysílání. Koncepce RFoG (RF Over Glass) umožňuje postupný přechod k FTTH i současným kabelovým operátorům postupným nahrazením koaxiálních rozvodů rozvody optickými při zachování funkčnosti stávajících zařízení DOCSIS a při souběžném provozu se zařízeními nových síťových architektur EPON/GPON/WDM PON [19][13][4].

Příjem digitální satelitního vysílání byl již popsán v předchozím návrhu hlavní stanice IPTV a jelikož je řešení totožné, nebude opakováno.

Hlavní stanice je vystavěna na produktech německé společnosti BLANKOM Antennentechnik GmbH a to na produktové řadě SNB – Smart Business Line čtvrté generace. Navržená hlavní stanice obsahuje 3 satelitní trasmodulátory (receivery) QAMOS-4CI, každý z nich umožňuje současný příjem 8 multiplexů DVB-S/S2 v konfiguraci až 4 kódovaných, neboť trasmodulátor je vybaven 2 sloty až pro 4 CA moduly. Kaskádní zapojení 3 satelitních trasmodulátorů umožňuje příjem a převod 12 kódovaných a 12 volně vysílaných multiplexů [4].

Mnou navržená konfigurace bude zpracovávat 12 kódovaných a 1 nekódovaný multiplex. Výstupní televizní signál bude ve formátu DVB-C. Stanice bude dále osazena jedním QAM modulátorem QAMOS-IP pro převod 8 IP streamů do formátu DVB-C. Tento modul slouží především pro distribuci lokálních městských televizních stanic (infokanály/obecní rozhlas atd.) příp. pro příjem a distribuci televizních kanálů vysílaných pouze přes síť internet. Agregace jednotlivých Ethernetovských portů pro správu je zajištěna prostřednictvím přepínače WLANIOS. Napájení všech modulů produktové řady SNB je zajištěno prostřednictvím modulu zdroje QUASARIOS [4].

Distribuce digitálního televizního vysílání podle standardu DVB-C (příp. DVB-T/T2) přes pasivní optickou síť se skládá ze dvou elementárních prvků a to optického vysílače a optického zesilovače EDFA [13].

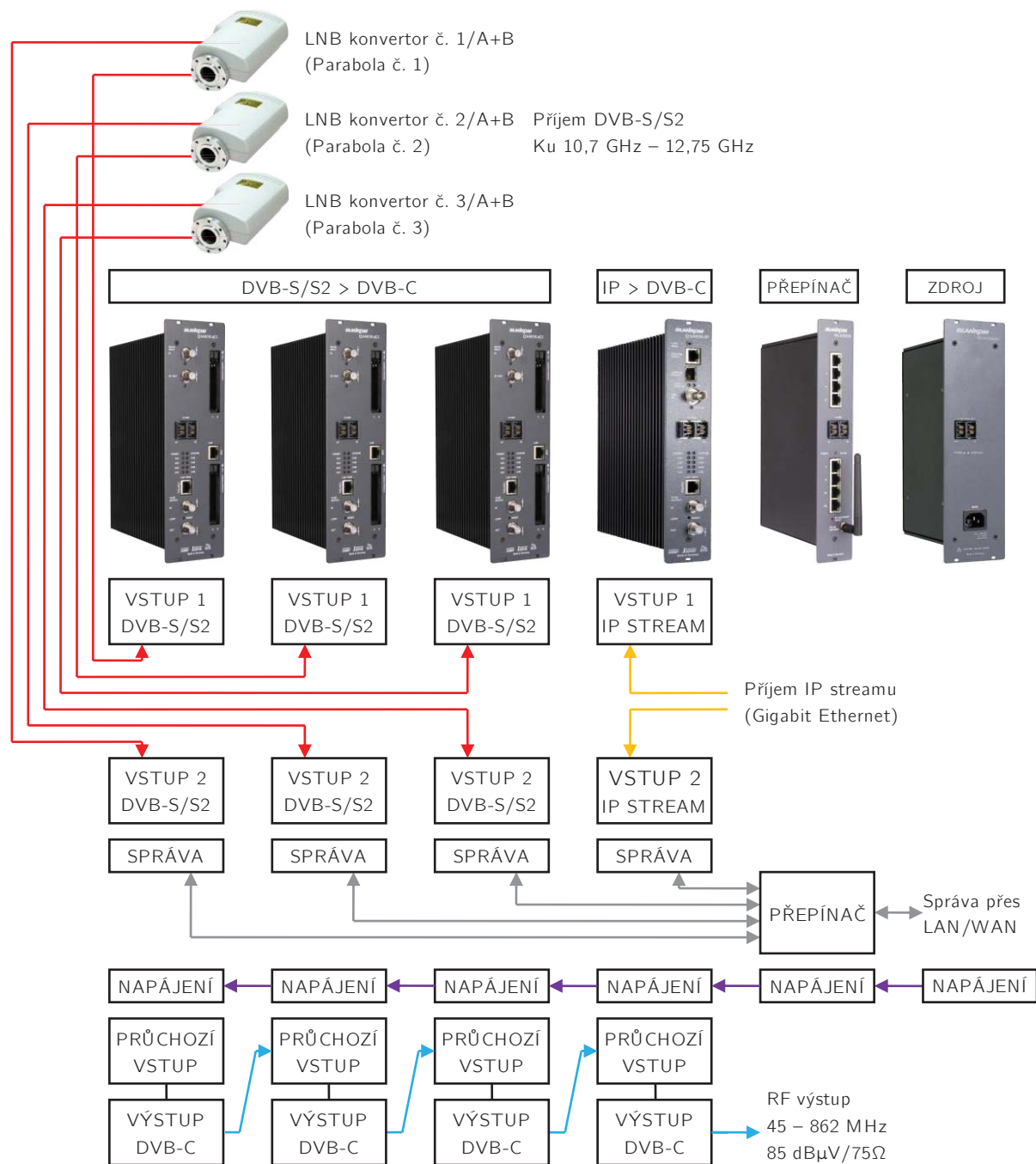
Funkcí optického vysílače je převod televizního RF signálu o frekvenčním rozsahu 45 až 862 MHz z elektrické oblasti do optické vysílané na vlnové délce 1550 nm. Funkcí optického zesilovače EDFA (Erbium Doped Fibre Amplifier) je vybudit optický signál na požadovanou výkonovou úroveň pro přenos pasivní optickou sítí. Optický zesilovač EDFA je univerzální zesilovač, který zesiluje jak analogově tak digitálně modulované signály [13][4].

Cenová kalkulace produktů Smart Business Line spol. Blankom v tabulce 6.3 vychází z velkoobchodních ceníků společnosti BLANKOM Antennentechnik GmbH⁸ ve verzi „Preisliste 2011/2012“. Náklady na výstavbu hlavní stanice jsem stanovil na přibližně 400 000 Kč (tj. při kurzu 25,5 Kč = 1 €).

Tab. 6.3: Hlavní stanice CATV (Vstupní neoptická část).

Výrobce	Typ	Množ.	Cena za jednotku	Cena Celkem
Blankom	QAMOS-4CI	3	3 350 €	10 050 €
Blankom	QAMOS-IP	1	2 600 €	2 600 €
Blankom	QUASARIOS	1	550 €	550 €
Blankom	WLANIOS	1	320 €	320 €
Blankom	Vybrané funkce CKB 20X	1	350 €	350 €
Blankom	MSG 214	1	280 €	280 €
Blankom	ALU-Offset, 125 cm	3	245 €	735 €
Blankom	LNB Quad	3	70 €	210 €
Blankom	Příslušenství a kabeláž	1	500 €	500 €
CENA CELKEM				15 595 €

⁸ Tyto neveřejné ceníky poskytl ředitel spol. Blankom CZ Zdeněk Lenk. Nové produkty, které nebyly v ceníku uvedeny, byly kalkulovány na vyžádání spol. Blankom CZ.



Obr. 6.2: Hlavní stanice CATV (neoptická část).

7. PŘÍPADOVÁ STUDIE

Podstatou případové studie je předpoklad, že důkladným prozkoumáním jednoho případu lépe porozumíme jiným podobným případům.

Případová studie optické přístupové sítě FTTH tvoří praktickou část diplomové práce, ve které jsou využity teoretické poznatky z předchozích kapitol, které jsou aplikovány do reálného prostředí přístupových sítí pod správou lokálních poskytovatelů telekomunikačních služeb nebo pod záštitou kabelových operátorů. Tato kapitola je podřízena zadání této diplomové práce, z čehož vyplývá, že je zaměřena jen na předem dohodnuté síťové architektuře pracující s nativní podporou Ethernetu. Jako autor této diplomové práce chci rozvinout dvě perspektivní možnosti realizace optické přístupové sítě FTTH. První z nich je aktivní optická síť AON s topologií P2P, kde spojení mezi CO a CPE je vytvářeno přes vyhrazená optická vlákna. Druhá z nich je pasivní optická síť WDM PON, kde spojení mezi CO a CPE je vytvářeno přes sdílenou pasivní infrastrukturu při P2P spojení CO a CPE za pomoci vyhrazených vlnových kanálů.

Vytvořené případové studie spadají do tzv. projektové dokumentace, přičemž sekundárním cílem je, aby byly tyto studie, v rámci prostoru vyčleněné v této diplomové práci, co nejpodrobnější a tak simulovaly co nejvěrohodněji skutečně realizovaný projekt po technické i ekonomické stránce věci.

Klíčové u obou realizací optické přístupové sítě je plnohodnotné začlenění služeb Triple Play s předpokladem využití vlastních technických prostředků, které umožní eliminovat využívání služeb od třetích stran, resp. tzv. outsourcing⁹. Navržená optická přístupová síť FTTH musí koncovým zákazníkům poskytnout vysokorychlostní přístup k internetu, přístup k televiznímu vysílání ve vysokém rozlišení HDTV a přístup k telefonii VoIP. Zároveň musí návrh sítě korespondovat s cenou služeb a kupní silou obyvatelstva tak, aby došlo k umožnění vynaložených investic a síť jako taková se stala po určitém časovém úseku rentabilní, to znamená, že musí být krom čistého zisku také zajištěny provozní náklady, náklady spojené s údržbou, obsluhou a budoucím rozvojem sítě.

⁹ Vyjma služby VoIP

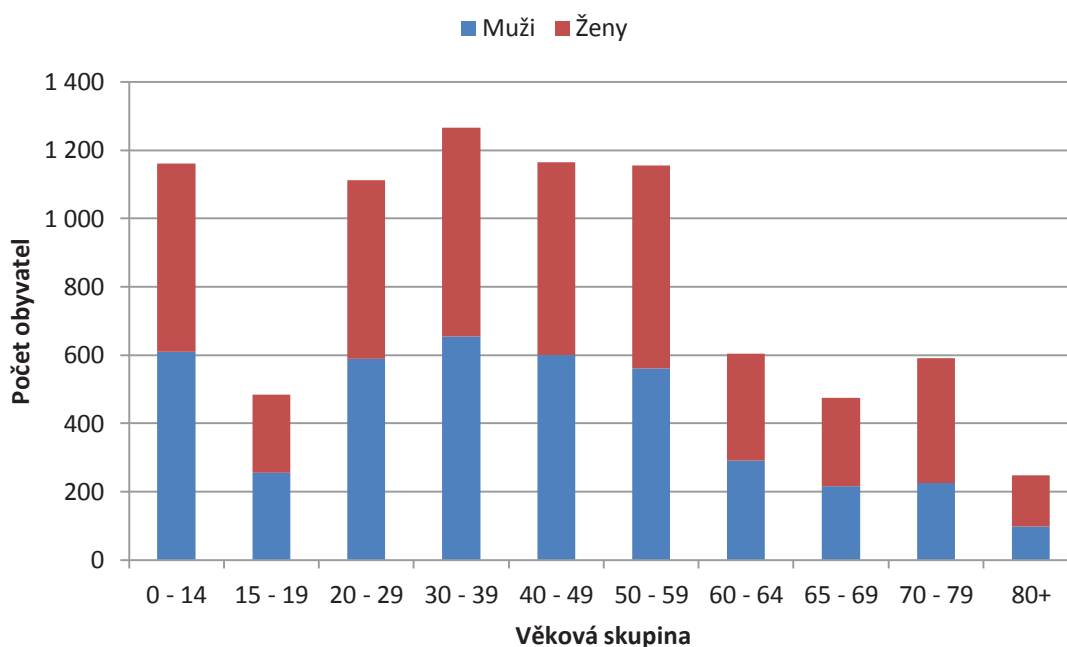
7.1 Lokalita

V rámci této diplomové práce bylo důležité zvolit reálnou lokalitu pro návrh a výstavbu optické přístupové sítě FTTH jako takové a to zejména z důvodu zachování objektivnosti a správnosti dosažených výsledků, které by měly být přenositelné na reprezentativně podobné lokality. Z toho důvodu není vhodné využít smyšlenou či nějak upravenou existující oblast.

Zvolil jsem relativně ideální lokalitu pro tuto diplomovou práci a to město Bystřice nad Pernštejnem v okrese Žďár nad Sázavou v kraji Vysočina, které bude tvořit základní referenční pilíř pro obě případové studie.

Než však vytvořím vlastní technicko-ekonomickou analýzu zvolené lokality, je vhodné zmínit základní statistické údaje, které jsou převzaty z Českého statistického úřadu ze Sčítání lidu, domů a bytů uskutečněného v roce 2011.

Na území města Bystřice nad Pernštejnem trvale žije 8 279 obyvatel, z toho připadá 4 109 na muže a 4 170 na ženy, přičemž ekonomicky aktivních je 3 804 obyvatel. Důležité je věkové rozložení obyvatelstva, které musí být zohledněno v návrhu služeb Triple Play pro každou cílovou skupinu [7].



Obr. 7.1: Věkové rozložení obyvatelstva v dané lokalitě [7].

Výše bylo zmíněno, že danou lokalitu lze považovat za relativně ideální pro výstavbu optické přístupové sítě. Nyní bude rozepráno proč.

První faktor je ten, že v této lokalitě se nachází velké množství nájemních bytů situovaných do tří lokalit – tj. Sídliště I., Sídliště II., Sídliště Voldán.

Druhý faktor je ten, že velké množství bytů umístěných v činžovních a panelových domech je ve vlastnictví města Bystřice nad Pernštejnem, což samotnou realizaci výrazně zjednodušuje, neboť je jednáno s jedním vlastníkem, nikoliv s družstvy či vlastníky jednotlivých bytů.

Třetí faktor je klíčový především z ekonomického hlediska a to, že v tomto městě již úspěšně existuje téměř 20 let lokální kabelový operátor SATT a.s., který poskytuje služby Triple Play přes koaxiální rozvody kabelové televize, který vykrývá výše zmíněné lokality. Cílem této práce není však vytvořit konkurenční subjekt tomuto poskytovateli, ale ceník jeho služeb bude sloužit jako referenční bod ke kupní síle obyvatelstva dané lokality v rámci této diplomové práce. Považuji totiž za vhodné, ačkoliv návrh optické přístupové sítě je sledován především z akademicko-technické roviny, zachovávat kontinuitu s reálně realizovatelnými projekty.

V následujících podkapitolách budou podrobně rozebrány oba návrhy optické přístupové sítě FTTH. Z důvodu zpřehlednění textu, výkresů a mapových podkladů je zavedeno jiné jednotné číslování připojených budov než kombinace ulice a čísla popisného. Zároveň většina obytných budov má více než jedno číslo popisné vzhledem k počtu vchodů, resp. schodišť do budovy, ale na optickou síť bude budova připojena jako celek.

Princip označení jednotlivých přípojných míst je podle schématu XX-YY, kde za XX je dosazena zkratka označující nejbližší nadřazené agregační místo tj. CO, R1 nebo R2 a za YY označuje číslo budovy ve schématu, přičemž je číslováno vzestupně od 01 a pro každá agregační lokalita se čísluje autonomně.

Převodová tabulka je uvedena v Příloze B pro zachování kontinuity s kombinací ulice a čísla popisného.

Distribuční centrum CO optické přístupové sítě bude umístěno v prostorách domu s pečovatelskou službou sídlící na ulici Hornická 643 (zakresleno v mapových podkladech viz Příloha F). Tato lokace odpovídá reálnému umístění distribučního centra stávajícího kabelového operátora.

K distribučnímu centru přes optickou přístupovou síť bude připojeno 53 obytných panelových a činžovních domů s celkovým počtem 1 745 nájemních bytových jednotek.

V návrhu předpokládám připojení všech 1 745 bytových jednotek, přičemž pouze 40 % nájemníků bytových jednotek z každého domu (zaokrouhleno nahoru) bude využívat datové služby Triple Play a 100 % nájemníků bytových jednotek z každého domu bude využívat video služby Triple Play. Využití VoIP telefonie je předpokládáno u 5 % nájemníků bytových jednotek z každého domu (zaokrouhleno nahoru). V absolutním vyjádření bude 725 koncových zákazníků využívat datové služby, 1 745 koncových zákazníků bude využívat video služby a 111 koncových zákazníků bude využívat hlasové služby v kombinaci s datovými službami.

Tab. 7.1: Počet bytových jednotek v rámci připojené budovy.

Označení	Bytových jednotek	Označení	Bytových jednotek	Označení	Bytových jednotek
CO-01	45	CO-19	45	R1-08	36
CO-02	34	CO-20	36	R1-09	31
CO-03	45	CO-21	36	R1-10	31
CO-04	51	CO-22	36	R1-11	31
CO-05	34	CO-23	36	R1-12	31
CO-06	34	CO-24	36	R1-13	36
CO-07	48	CO-25	36	R1-14	27
CO-08	48	CO-26	12	R1-15	31
CO-09	48	CO-27	12	R1-16	31
CO-10	45	CO-28	24	R1-17	29
CO-11	34	CO-29	36	R1-18	31
CO-12	51	R1-01	27	R1-19	31
CO-13	28	R1-02	33	R1-20	31
CO-14	28	R1-03	33	R2-01	8
CO-15	28	R1-04	33	R2-02	16
CO-16	45	R1-05	27	R2-03	16
CO-17	24	R1-06	33	R2-04	16
CO-18	45	R1-07	36		

7.2 Případová studie č. 1 – AON P2P

7.2.1 Infrastruktura – Optická trasa

Tato podkapitola obsahuje vlastní návrh infrastruktury optické trasy mezi distribučním centrem a koncovými účastníky v rámci první případové studie spojené s návrhem optické přístupové sítě FTTH ve městě Bystřice nad Pernštejnem.

Vzhledem ke geografickému členění města a s tím spojené situování bytových domů do tří sídlištních lokalit bude přístupová síť rozčleněna také na tři agregační segmenty. V rámci zachování stejných počátečních podmínek mezi první a druhou případovou studií budou agregační segmenty sítě vyjma distribučního centra plně pasivní – tzv. nebudou vyžadovat napájení z elektrické sítě.

První segment přístupové sítě reprezentuje bytové jednotky, které jsou přímo připojené do distribučního centra. Těchto bytových jednotek je 1 060 a jsou uskupeny do 29 bytových domů.

Druhý segment přístupové sítě reprezentuje bytové jednotky, které jsou připojené do lokálního „pouličního“ rozvaděče R1, kde dochází k napojení, resp. agregaci koncových účastníků na páteřní (*Feeder*) sekci přístupové sítě, která je přímo připojena k distribučnímu centru. K rozvaděči R1 je připojeno 629 bytových jednotek uskupených do 20 bytových domů.

Třetí segment přístupové sítě reprezentuje bytové jednotky, které jsou připojené do lokálního „pouličního“ rozvaděče R2, kde dochází k napojení, resp. agregaci koncových účastníků na páteřní sekci přístupové sítě, která je přímo připojena k distribučnímu centru. K rozvaděči R2 je připojeno 56 bytových jednotek uskupených do 4 bytových domů.

Infrastruktura optické trasy přístupové sítě bude uložena do země, přičemž pro vytvoření páteřní trasy mezi distribučním centrem CO a lokálními rozvaděči R1, resp. R2 bude využita konvenční technologie pokládky za pomoci HDPE chrániček. Mezi CO a R1 budou instalovány 3 souběžně vedoucí HDPE chráničky s průměrem 25/20,4 mm (vnější/vnitřní) s tloušťkou stěny 2,3 mm umožňující přímou pokládku do země a to v celkové délce $3 \times 2\,142$ metrů. Mezi CO a R2 bude instalována jedna totožná HDPE chránička v celkové délce 2 395 metrů [76].

Do HDPE chrániček v páteřní trase mezi CO a R1 bude zafouknut optický kabel společnosti OFS (Furukawa Electric) produktové řady MiDia v konfiguraci obsahující 288 optických vláken. Tento typ optického kabelu s průměrem 14,4 mm je speciálně vyvinut pro HDPE chráničky s menším vnitřním průměrem a jeho konstrukce umožňuje zafukování i zatahování. K dosažení potřebné kapacity optických vláken mezi CO a R1 budou zafouknuty v této trase tři souběžně vedoucí kabely [57].

Do HDPE chráničky v páteřní trase mezi CO a R2 bude zafouknut optický mikrokabel společnosti OFS produktové řady MiDia FX v konfiguraci obsahující 72 optických vláken. Tento typ optického kabelu má průměr 6,3 mm a může být zafouknut do HDPE chráničky nebo do mikrochrániček s vnějším průměrem min. 10 mm. V rámci trasy CO a R2 byla zvolena HDPE chránička z důvodu zajištění rezervy pro případné rozšíření požadované kapacity optických vláken [59].

Lokální optický rozvaděč R1 je realizovaný jako sloupkový optický rozvaděč produktové řady ORU 2 SIS firmy MICOS – divize Telcom, přičemž budou vedle sebe instalovány 3 tyto rozvaděče (tzn. že, do každého bude přiveden jeden optický kabel s 288 optickými vlákny). Tento zvolený pilířový rozvaděč ve venkovním provedení s vestavěným výklopným rámem pro snadnější přístup ke kazetovému systému umožňuje uložení až 576 kusů optických svárů. Kapacita připojených účastníků při výchozí konfiguraci osazeného kazetového systému je 192 (2 vlákna/účastník), resp. 384 (1 vlákno/účastník) koncových uživatelů. Konfigurace kazetového systému je ponechána na výchozí hodnotě 16 SAFeTNET kazetových modulů. V kazetovém systému bude krom sváru uložena tří metrová rezerva pro každé vlákno [51].

Lokální optický rozvaděč R2 je realizovaný jako sloupkový optický rozvaděč produktové řady ORU 1 SIS firmy MICOS – divize Telcom, přičemž bude instalován jeden tento rozvaděč. Tento zvolený pilířový rozvaděč ve venkovním provedení s vestavěným výklopným rámem pro snadnější přístup ke kazetovému systému umožňuje uložení až 144 kusů optických svárů. Kapacita připojených účastníků při výchozí konfiguraci osazeného kazetového systému je 48 (2 vlákna/účastník), resp. 96 (1 vlákno/účastník) koncových uživatelů. Konfigurace kazetového systému je ponechána na výchozí hodnotě 4 SAFeTNET kazetových modulů. V kazetovém systému bude krom sváru uložena dvoumetrová rezerva pro každé vlákno [51].

Nyní se zaměřím na realizaci přístupové sekce optické přístupové sítě. To je sekce mezi agregačním bodem sítě (CO, R1, R2) a domovním rozvaděčem v každé bytové budově bez průchodu dalším agregačním bodem. Pro ochranu optických mikrokabelů bude položena do země zodolněná tlustostěnná mikrochránička o průměru 14/10 mm (vnější/vnitřní) s tloušťkou stěny 2 mm. Zvolil jsem tento největší průměr mikrochráničky z důvodu ochrany celistvosti chráničky před hlodavci, u extrémně malých průměrů je riziko porušení celistvosti výrazně vyšší. Pro připojení všech 53 bytových domů bude položeno přibližně 23 310 metrů tohoto typu mikrochráničky [76].

Tab. 7.2: AON P2P/WDM PON – instalované optické mikrokabely.

Označení	Kapacita mikrokabelu			Množ. [m]		Označení	Kapacita mikrokabelu			Množ. [m]
	Aktiv.	Instal.	Rez.				Aktiv.	Instal.	Rez.	
CO-01	45	48	3	109		CO-28	24	24	0	1621
CO-02	34	48	14	173		CO-29	36	48	12	1011
CO-03	45	48	3	242		R1-01	27	48	21	142
CO-04	51	72	21	240		R1-02	33	48	15	199
CO-05	34	48	14	284		R1-03	33	48	15	272
CO-06	34	48	14	318		R1-04	33	48	15	305
CO-07	48	48	0	397		R1-05	27	48	21	200
CO-08	48	48	0	516		R1-06	33	48	15	210
CO-09	48	48	0	566		R1-07	36	48	12	278
CO-10	45	48	3	619		R1-08	36	48	12	236
CO-11	34	48	14	283		R1-09	31	48	17	280
CO-12	51	72	21	319		R1-10	31	48	17	315
CO-13	28	48	20	442		R1-11	31	48	17	349
CO-14	28	48	20	392		R1-12	31	48	17	384
CO-15	28	48	20	443		R1-13	36	48	12	133
CO-16	45	48	3	579		R1-14	27	48	21	125
CO-17	24	24	0	622		R1-15	31	48	17	191
CO-18	45	48	3	632		R1-16	31	48	17	182
CO-19	45	48	3	687		R1-17	29	48	19	226
CO-20	36	48	12	734		R1-18	31	48	17	252
CO-21	36	48	12	774		R1-19	31	48	17	276
CO-22	36	48	12	843		R1-20	31	48	17	313
CO-23	36	48	12	984		R2-01	8	12	4	150
CO-24	36	48	12	1021		R2-02	16	24	8	148
CO-25	36	48	12	1062		R2-03	16	24	8	208
CO-26	12	12	0	1420		R2-04	16	24	8	234
CO-27	12	12	0	1429						

Pro všechny připojené bytové budovy bude do této mikrochráničky zafouknut optický mikrokabel společnosti OFS produktové řady MiDia FX v konfiguraci 12/24/~~36~~/48/~~60~~/72¹⁰ optických vláken. Konkrétní konfigurace a délka optického mikrokabelu je uvedena v tabulce 7.2 a to ve sloupci „Instal.“. Hodnoty ve sloupci „Aktiv.“ korespondují s počtem bytových jednotek v daném objektu a logicky sloupec „Rez.“ informuje o počtu nevyužitých optických vláken v dané konfiguraci optického mikrokabelu MiDia FX. Produktový kód zvoleného optického kabelu je AT-46CT-XXX, kde za XXX dosadíme počet optických vláken v mikrokabelu [59].

V každém připojeném bytovém domu bude instalován domovní optický rozvaděč, který bude realizován jako nástěnný optický rozvaděč od společnosti MICOS - divize Telcom, přitom je nutné reflektovat počet bytových jednotek v každé budově, aby nedošlo k poddimenzování či předimenzování kapacity nástěnného rozvaděče. V budovách s počtem bytových jednotek 12 a méně bude instalován rozvaděč produktové řady ORM 12, v budovách s počtem bytových jednotek 13 až 24 bude instalován rozvaděč produktové řady ORM 24 VS, v budovách s počtem bytových jednotek 25 až 48 bude instalován rozvaděč produktové řady ORM 48 a v budovách s vyšším počtem bytových jednotek než 48 bude instalován rozvaděč produktové řady ORM 96. Z důvodu zajištění flexibility jsem se rozhodl, konce optických vláken osadit konektory SC/APC, instalace bude provedena formou navaření optických pigtailů [51].

Poslední částí optické trasy jsou interní rozvody v budově, které tvoří spojení domovního rozvaděče a účastnické zásuvky instalované v bytě přímo u koncového klienta. Zvolil jsem optický kabel společnosti OFS produktové řady EZ-Bend 4.8 a to z důvodu, že má extrémní ohybovou odolnost, která umožňuje jednoduchou instalaci v budově bez zvyšování útlumu kvůli makroohybům. Vnější průměr 4,8 mm a odolnost tohoto optického kabelu umožňuje principiálně obdobnou montáž jako u UTP kabelu strukturované kabeláže. Z jedné strany optického účastnického kabelu bude osazen SC/APC konektor a z druhé strany SC/PC, přičemž instalace bude provedena formou navaření optických pigtailů. Na straně účastníka bude SC konektor osazen do účastnické zásuvky [63].

¹⁰ Distributor OFS pro ČR společnost OFA s.r.o., zastoupená panem Kolátorem, sdělila při kalkulaci, že některé profily kabelů nelze dodat (zakázková výroba). 60 vláknový profil nahrazen 72 vláknovým, 36 vláknový profil nahrazen 48 vláknovým.

S montáží infrastruktury přístupové sítě přímo souvisejí výkopové práce. Stanovení ceny výkopových je poměrně komplikovaná činnost a to z důvodu, že měrná cena nezávisí pouze na tabulkové ceně za běžný metr (bm) nebo metr krychlový (m^3). Do ceny je nutné promítnout typ místa výkopu (zeleň/dlažba/asfalt), náklady spojené s uvedením okolí místa výkopu do stavu před výkopem, cenu revitalizace zeleně, a zároveň cenu přídatných služeb. Pro příklad nejlevnější tabulkové ceny tzv. low-end nabízejí společnosti, které provedou práci dle vytyčené trasy, proti tomu společnosti poskytující high-end službu vyřídí podklady pro výkopové práce, analyzují inženýrské sítě, které by mohly být výkopem ohroženy, zajistí správce technického dohledu nad výkopovým dílem, a následně po provedení výkopu zajistí i úklid a uvedení místa do původního stavu. V rámci mnou navrhovaného projektu jsem se rozhodl pro vyšší standard výkopových prací. Pro kalkulaci ceny výkopů budu vycházet z těchto cen, které v sobě zahrnují výše zmíněné: výkop v zeleni cca 400 Kč/bm, výkop v dlažbě 600 Kč/bm, výkop v asfaltu cca 2 500 Kč/bm. Ceny jsou vztažené pro výkop o šířce 30 cm a hloubce 50 cm (tj. $0,3 \text{ m}^2$, resp. $0,15 \text{ m}^3$). Výkopové práce v tomto projektu představují výkopy v délce 5 945 m (tj. $1 783,5 \text{ m}^2$, resp. $891,75 \text{ m}^3$). K této ceně je nutné přičíst cenu pískového lože, které bude 10 cm vysoké (tj. $178,35 \text{ m}^3$ písku). Průměrná cena za metr krychlový písku je cca 360 Kč, náklady na nakládku, převoz a složení jsou uvažovány do vzdálenosti cca 10 km při ceně cca 600 Kč/m^3 . Všechny ceny uvedené v tomto odstavci vzešly z diskuze s odborníky z praxe, přesto je považuji pouze za orientační. Z výše uvedených cen jsem stanovil náklady spojené s realizací výkopových prací přibližně na 3 600 000 Kč. Do této je zahrnuta i základní pokládka HDPE chrániček a mikrochrániček. Při reálné realizaci by mohla být tato cena snížena v rámci oboustranných jednání s dodavatelským subjektem.

Nezanedbatelné náklady spojené s infrastrukturou optické trasy je zafouknutí optických kabelů a mikrokabelů do HDPE chrániček a mikrochrániček, v rámci této práce bude uvažována tabulková cena 10 Kč/bm. Celkově je nutné zafouknout 33 271 metrů optických kabelů a mikrokabelů.

Vícenáklady spojené s montáží v terénu jsem stanovil na cca 300 Kč/přípojku a cca 500 Kč/přípojku v interiéru připojených budov. Ve vícenákladech je zahrnuto vše ostatní, co nebylo konkrétně specifikováno – zapojení rozvaděčů, měření trasy, podpůrný montážní a spojovací materiál a další.

Dále bylo vypočítáno, že pro realizaci optické trasy je nutné 7 665 svárů optického vlákna (6 980 svárů pro navaření pigtailů a 685 pro navaření vláken v rozvaděči R1 a R2). Z toho důvodu jsem se rozhodl do projektu zahrnout nákup kompletní sady na svařování obsahující krom příslušného nářadí svářečku Fujikura FSM-60S – KIT a to za cenu cca 290 000 Kč. Toto řešení představuje snížení nákladů na svár z komerční ceny 200 až 300 Kč na cca 40 Kč.

Tab. 7.3: AON P2P - Kalkulace infrastruktury optické trasy.

Položka	Množství		Cena za jednotku		Celkem celkem	
Sitel HDPE chránička 25/20,4 mm	8 821	bm	13,67	Kč	120 583	Kč
Sitel Spojka 25/25 mm	30	ks	90	Kč	2 700	Kč
Sitel Koncovka 25 mm s ventilkem	8	ks	120	Kč	960	Kč
Sitel Výstražná folie, 250 m	24	ks	625	Kč	15 000	Kč
Sitel Mikrochránička 14/10 mm	23 310	bm	6,73	Kč	156 876	Kč
Sitel Spojka 14 mm, průhledná	78	ks	95	Kč	7 410	Kč
Sitel Průchodka 14 mm těsnící	106	ks	120	Kč	12 720	Kč
OFS MiDia, 288 vláken	6 486	bm	130	Kč	843 180	Kč
OFS MiDia FX, 72 vláken	2 974	bm	33	Kč	98 142	Kč
OFS MiDia FX, 48 vláken	17 979	bm	25	Kč	449 475	Kč
OFS MiDia FX, 24 vláken	2 833	bm	20	Kč	56 660	Kč
OFS MiDia FX, 12 vláken	2 999	bm	16,5	Kč	49 484	Kč
OFS EZ-Bend 4.8	61 075	bm	12	Kč	732 900	Kč
OFS Pigtail SMF 0,9mm, SC/APC	5 235	ks	49	Kč	256 515	Kč
OFS Pigtail SMF 0,9mm, SC/PC	1 745	ks	49	Kč	85 505	Kč
OFS Spojka SC-SC	1 745	ks	23	Kč	40 135	Kč
Krytka sváru	7 665	ks	6	Kč	45 990	Kč
Micos ORU 2 SIS	3	ks	27 000	Kč	81 000	Kč
Micos ORU 1 SIS	1	ks	18 000	Kč	18 000	Kč
Micos ORM 96	2	ks	20 000	Kč	40 000	Kč
Micos ORM 48	43	ks	6 000	Kč	258 000	Kč
Micos ORM 24 VS	5	ks	3 000	Kč	15 000	Kč
Micos ORM 12	3	ks	2 000	Kč	6 000	Kč
Fujikura FSM-60S	1	ks	290 000	Kč	290 000	Kč
Výkopové práce + položení	-	-	-	-	3 600 000	Kč
Zafukování optického kabelu	33 271	bm	10	Kč	332 710	Kč
Optický svár	7 665	ks	40	Kč	306 600	Kč
Vícenáklady - montáž terén	1 745	-	300	Kč	523 500	Kč
Vícenáklady - montáž interiér	1 745	-	500	Kč	872 500	Kč
CELKOVÁ CENA					9 317 545	Kč

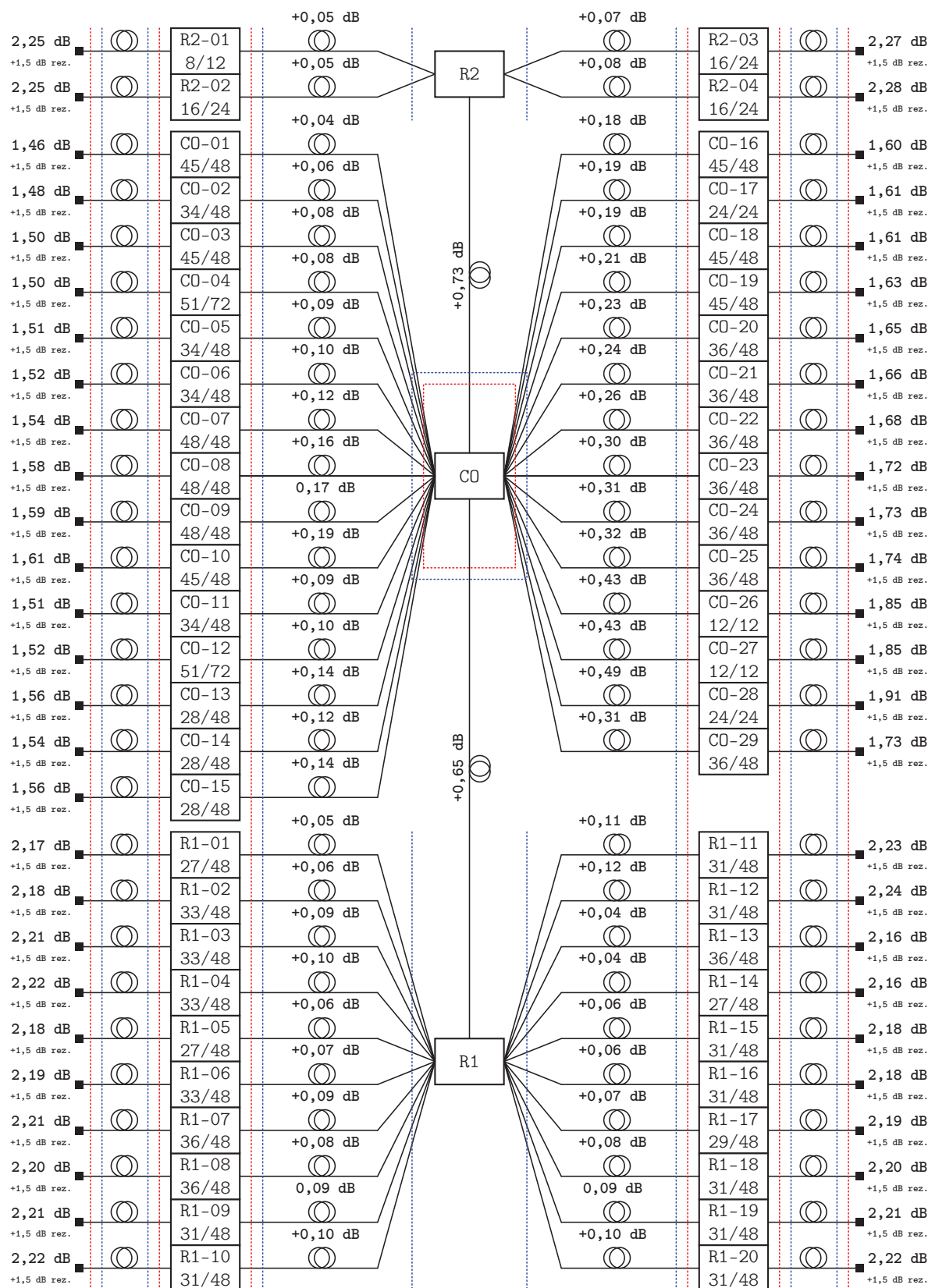
Ceny uvedené v tabulce 7.3 byly kalkulovány podle ceníků společnosti SITEL, spol. s r.o. (chráničky/mikrochráničky + příslušenství), na vyžádání byly kalkulovány produkty společnosti OFA s.r.o. (optické kabely a mikrokabely + příslušenství) a MICOS spol. s r.o. - divize TELCOM (optické rozvaděče). Ostatní ceny vycházejí z dostupných ceníků nebo vlastní kalkulace specifikované výše. Všechny ceny jsou uvedeny v původní měně, v jaké byly zjištěny a jsou uvedeny bez daně z přidané hodnoty.

Spolu s návrhem fyzické infrastruktury optické trasy přístupové sítě je nutné vytvořit odpovídající útlumový plán, podle kterého následně volíme aktivní prvky v přístupové vrstvě distribučního centra, a s tím současně odpovídající koncová účastnická zařízení CPE.

Výpočet útlumového plánu jsem provedl podle níže následujících kritérií. Optické kabely a mikrokabely produktových řad MiDia a MiDia FX mají výrobcem definovaný měrný útlum 0,2 dB/km pro 90 % optických vláken v (mikro)kabelu a 0,3 dB/km pro 100% optických vláken v (mikro)kabelu. Pro návrh uvažuju horší variantu 0,3 dB/km. Optické účastnické kabely produktové řady EZ-Bend 4.8 mají výrobcem definovaný maximální měrný útlum 0,3 dB/km pro vlnovou délku 1550 nm a 0,4 dB/km pro vlnovou délku 1310 nm. Pro návrh uvažuji útlum na vlnové délce 1310 nm tj. 0,4 dB/km. Útlum optického konektoru SC/APC nebo SC/PC, který je součástí optického pigtailu je dle výrobce menší než 0,3 dB, dále uvažuji tuto mezní hodnotu. Jako kvalitně provedený optický svár je považován svár, jehož útlum je menší než 0,05 dB, dále uvažuji tuto mezní hodnotu. Z důvodu zhoršujících se přenosových vlastností optického vlákna se stářím je nutné připočíst k útlumovému plánu určitou rezervu, kterou jsem stanovil na 1,5 dB [57][59][63][65][13].

Na obrázku 7.2 na další straně je schéma útlumového plánu v rámci celé sítě. Červená čára vyznačuje vložený útlum způsobený optickým konektorem SC/APC (SC/PC) a modrá čára vyznačuje vložený útlum způsobený svárem spojující dvě optická vlákna.

V tabulce 7.4 na straně 85 je uvedený kompletní útlumový plán infrastruktury optické sítě, úroveň útlumu odpovídá přibližně hodnotě měřitelné na koncové účastnické zásuvce. Útlum optického vlákna mezi domovním rozvaděčem a koncovou účastnickou zásuvkou je započítán. Uvažována byla vzdálenost 50 metrů, tj. extrém, typicky 10 až 30 metrů, tomu odpovídá útlum 0,02 dB.



Obr. 7.1: AON P2P – Útlumový plán.

Tab. 7.4: AON P2P – Útlumový plán.

Označení	Útlum [dB]	Označení	Útlum [dB]	Označení	Útlum [dB]
CO-01	2,96	CO-19	3,13	R1-08	3,70
CO-02	2,98	CO-20	3,15	R1-09	3,71
CO-03	3,00	CO-21	3,16	R1-10	3,72
CO-04	3,00	CO-22	3,18	R1-11	3,73
CO-05	3,01	CO-23	3,22	R1-12	3,74
CO-06	3,02	CO-24	3,23	R1-13	3,66
CO-07	3,04	CO-25	3,24	R1-14	3,66
CO-08	3,08	CO-26	3,35	R1-15	3,68
CO-09	3,09	CO-27	3,35	R1-16	3,68
CO-10	3,11	CO-28	3,41	R1-17	3,69
CO-11	3,01	CO-29	3,23	R1-18	3,70
CO-12	3,02	R1-01	3,67	R1-19	3,71
CO-13	3,06	R1-02	3,68	R1-20	3,72
CO-14	3,04	R1-03	3,71	R2-01	3,75
CO-15	3,06	R1-04	3,72	R2-02	3,75
CO-16	3,10	R1-05	3,68	R2-03	3,77
CO-17	3,11	R1-06	3,69	R2-04	3,78
CO-18	3,11	R1-07	3,71		

7.2.2 Infrastruktura – Distribuční centrum

Tato podkapitola obsahuje vlastní návrh a řešení infrastruktury distribučního centra CO optické přístupové sítě FTTH. Touto infrastrukturou se rozumí všechny komponenty v přístupové a agregační vrstvě sítě tvořící rozhraní mezi přístupovou sítí a sítěmi vyššími směřující do „sítě sítí“. Zároveň je zde provedeno začlenění již navržené hlavní stanice sloužící k příjmu, zpracování a distribuci video služeb Triple Play a současně všech dalších zařízení pro realizaci ostatních služeb.

Technické zázemí distribučního centra optické přístupové sítě FTTH vychází z počtu připojených účastníků a z rozložení aktivovaných služeb Triple Play, které bylo specifikováno v podkapitole 7.1.

Agregační i přístupová vrstva sítě je realizována na modulární L2/L3 přepínací a směrovací platformě AOCM6000 Advanced Optical Communications Mainframe společnosti Pacific Broadband Networks (PBN). Tato modulární platforma bude instalována do racku 19“, kde šasi zabere 12U pozic. Základní šasi disponuje 10 sloty pro osazení až 2 řídících karet a 8 karet linkových [72].

Pro zajištění spolehlivého provozu je AOCM6000 vybaven dvěma šachtami pro montáž 2 nezávislých napájecích zdrojů. Spolehlivý chod je zajištěn souběžnou instalací dvou řídicích karet obsahující na sobě nezávislé řadiče karet [72].

V návrhu distribučního centra v rámci této případové studie bude instalováno celkem 7 jednotek, přičemž funkci přístupové vrstvy obstará 6 jednotek v totožné konfiguraci karet a funkci agregační vrstvy obstará 1 jednotka v odlišné konfiguraci.

Konfigurace osazení šasi platformy AOCM6000 pro přístupovou vrstvu sítě je následující: Šasi je osazeno dvěma napájecími jednotkami o příkonu 1 kVA pro napětí 110/230 V AC 50/60 Hz a jednou řídicí a přepínací kartou s přepínací kapacitou 384 Gbit/s (lze instalovat 2). Pro uplink je do šasi instalována linková karta AOCM-60-2x10GE obsahující 2 XFP sloty. Do těchto slotů jsou instalovány 2 optické XFP moduly XFP-GX850M-LCPC 10 Gigabitové Ethernetu. Zvolil jsem XFP moduly s dvouvláknovým mnohovidovým optickým rozhraním s maximálním dosahem 300 metrů, což je pro potřeby agregace v rámci distribučního centra dostačující. Pro downlink je do šasi instalováno 7 linkových karet AOCM-60-48GE-SFP, přičemž každá karta obsahuje 48 SFP slotů Gigabitového Ethernetu. Do těchto slotů jsou instalovány SFP moduly Fast Ethernetu s fyzickým rozhraním 100Base-BX-D vysílajícím na vlnové délce 1550 nm a přijímajícím na vlnové délce 1310 nm. Parametry tohoto rozhraní jsou uvedeny v tabulce 2.1 na straně 20. Do každé linkové karty je osazeno pouze 42 SFP modulů, což umožní v celkové kapacitě připojit až 1 764 klientů (aktiv. 1 745 klientů). Bez dalších úprav distribučního centra lze rozšířit kapacitu až na 2 016 připojených klientů [72][73].

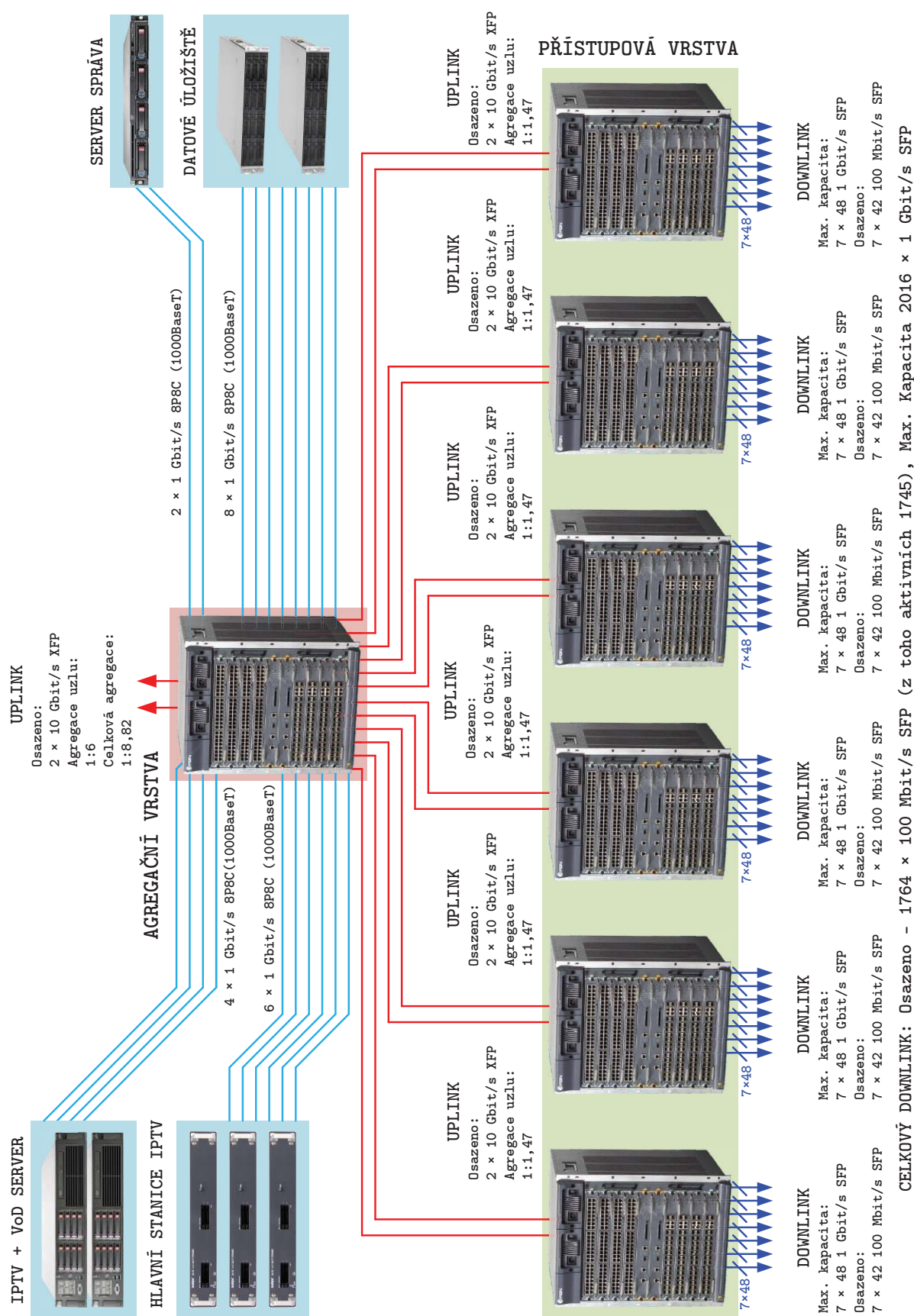
Konfigurace osazení šasi platformy AOCM6000 pro agregační vrstvu sítě je následující: Šasi je osazeno dvěma napájecími jednotkami o příkonu 1 kVA pro napětí 110/230 V AC 50/60 Hz a jednou řídicí a přepínací kartou s přepínací kapacitou 384 Gbit/s (lze instalovat 2). Pro agregaci přístupové vrstvy sítě (tj. 12×10 Gbit/s) jsou do šasi instalovány 3 linkové karty AOCM-60-4x10GE obsahující celkově 12 XFP slotů. Do těchto slotů je instalováno 12 optických XFP modulů XFP-GX850M-LCPC 10 Gigabitové Ethernetu. Pro uplink je do šasi instalována linková karta AOCM-60-2x10GE obsahující 2 XFP sloty. Do těchto slotů lze instalovat dva optické XFP moduly 10 Gigabitové Ethernetu, které musí být kompatibilní s nadřazeným poskytovatelem konektivity. V rámci této studie je uvažována instalace 2 XFP modulů s fyzickým rozhraním 10GBASE-ZR s možnou modifikací pro nasazení na hrubém vlnovém multiplexu CWDM [72][73].

Nasazení CWDM sníží požadavek na pronájem tzv. nenasvícených vláken (*dark fibre*) ze 4 na 2 (1 pro downlink + 1 pro uplink) a zároveň lze kapacitu konektivity v budoucnu navyšovat využitím dalšího vlnového kanálu, nikoliv navýšením pronájmu o další vlákna. Pro připojení hlavní stanice IPTV, serverů pro IPTV a VoD, datové úložiště NAS, serveru obsluhující správu a monitoring CO a dalších podružných síťových zařízení jsou do šasi instalovány 4 linkové karty AOCM-60-48GE-TX, přičemž každá karta obsahuje 48 portů gigabitového Ethernetu s metalickým rozhraním 1000BASE-T [72][73].

Schematický návrh distribučního centra postaveného na platformě AOCM6000 Advanced Optical Communications Mainframe společnosti Pacific Broadband Networks je znázorněn na obrázku 7.3 na další straně. Legenda k tomuto schématu vyplývá z odstavců výše, kde bylo pojednáváno o konfiguraci platformy PBN AOCM6000. Červená čára znázorňuje dvojici (upstream/downstream) MMF vláken 10 Gigabitové Ethernetu zakončených optickým konektorem LC. Tyrkysová čára znázorňuje metalický kabel UTP (kategorie 6) Gigabit Ethernetu zakončeným konektorem 8P8C. Čáry tmavomodré barvy jsou ilustrační a představují downlink rozhraní přístupové vrstvy distribučního centra.

Nyní se zaměřím na protokolovou výbavu platformy AOCM6000. Pro směrování a přepínání v rámci přístupové sítě i mimo ni je klíčová podpora protokolů RIP v1/v2, OSPF, BGP, IP v4/v6, MPLS, STP a MSTP. Pro odbavení a distribuci IPTV streamů a služeb VoD je integrována podpora multicastových protokolů IGMP v2/v3, DVMRP, PIM-SM, PIM-DM. Pro zvýšení bezpečnosti a potlačení nežádoucí komunikace na linkové vrstvě mezi koncovými účastníky lze pro každého účastníka vytvořit vlastní virtuální síť pomocí protokolu VLAN. Těchto sítí lze teoreticky vytvořit 4 094, což je plně vyhovující pro připojení 1 745 koncových klientů [72][73].

Pro příjem, zpracování a distribuci televizního vysílání je do distribučního centra začleněna hlavní stanice vystavěná na produktech německé společnosti BLANKOM Antennentechnik GmbH a to na produktové řadě A-Line třetí generace. Problematika návrhu a volby technologie hlavní stanice byla analyzována v kapitole 6 a z toho důvodu ji přímo v této případové studii nebudu znovu řešit. Náklady na její výstavbu a konfiguraci budou začleněny v rámci kalkulace infrastruktury distribučního centra. Hlavní stanice je do agregační vrstvy distribučního centra připojena šesti Gigabit Ethernet porty (2 pro každý IPTV streamer) [4].



Obr. 7.2: AON P2P – Návrh infrastruktúry distribučného centra [72][73][4].

Pro zachování kontinuity s požadavky na přídavné video služby jsem do návrhu a kalkulace zahrnul instalaci dvou serverů určených pro distribuci regionálních televizních kanálů a různých videorozhlasových nekonečných smyček, dva identické servery HP PL DL380G7 X5690 v rack provedení a NAS datová úložiště produktové řady px12-400r společnosti Iomega. Tyto servery a datová úložiště lze dále překonfigurovat pro služby typu VoD (*Video on Demand*), za předpokladu zaplacení autorských práv k danému videoobrazovému materiálu. Funkce distribuce televizního vysílání IPTV z hlavní stanice není nezačleněním těchto serverů nijak ovlivněna. Navržená hlavní stanice je plně autonomní.

Poslední službou v rámci Triple Play, kterou je do distribučního centra nutné implementovat je hlasová služba VoIP, resp. obecněji telefonie. V rámci této studie jsem zvolil z důvodu efektivnosti a úspory nákladů spojené s provozem vlastních bran mezi VoIP a sítěmi pevných a mobilních telefonních operátorů řešení odkupu služby od třetí strany a to od společnost FAYN Telecommunications s.r.o., přičemž služba je plně virtuální, z čehož vyplývá, že není nutné do distribučního centra instalovat pobočkovou ústřednu [12].

Posledním prvkem distribučního centra v rámci mého návrhu je server monitoringu a správy. Začlenění takového prvku do distribučního centra není povinné, ale považuji ho za žádoucí. Takový server (příp. úspornější varianta pracovní stanice PC) může sloužit jak pro systémy fakturace za odebrané služby, ale místo centrální monitoringu s funkcí alarmu na nečekané události v rámci sítě a ukládání dat s monitorováním. Pokud je tento server vybaven záložním rozhraním do sítě internet (GSM, dial-up, ADSL atd.) je možné vzdáleně diagnostikovat stav přístupové sítě v případě přerušení konektivity do sítě internet havárií hlavní optické trasy nebo chybou vzdálené konfigurace.

Prostory distribučního centra budou osazeny čtyřmi rack 19“ skříněmi HP 647 1200mm Shock Intelligent Series Rack o rozměrech 59,78×130,02×224,86 cm (šířka×hloubka×výška). Kapacita racku je 47U pozic. Reálné rozložení aktivních zařízení a optických rozvaděčů pro uložení svárů optických vláken je zakresleno v Příloze C.

Vícenálady spojené s montáží infrastruktury distribučního centra a prvotní konfigurací aktivních zařízení jsem stanovil na cca 300 Kč/přípojku a současně cca 150 000 Kč je v případové studii vyhrazeno na technickou úpravu prostor distribučního centra související s klimatizací a zabezpečením prostor.

Ceny uvedené v tabulce 7.5 byly kalkulovány na vyžádání společností PROFiber Networking CZ s.r.o. (PBN AOCM6000) a společností Blankom CZ s.r.o.. Ostatní ceny vycházejí z dostupných ceníků nebo vlastní kalkulace specifikované výše. Všechny ceny jsou uvedeny v původní měně, v jaké byly zjištěny (tj. pro euro kurz 25,5 Kč = 1 €) a jsou uvedeny bez daně z přidané hodnoty.

Tab. 7.5: AON P2P - Kalkulace infrastruktury distribučního centra.

Položka	Množství	Cena za jednotku	Celkem celkem
PBN AOCM6000 (AOCM-60-CH12)	7 ks	2 821 €	19 747 €
PBN AOCM6000 (AOCM-60-M)	14 ks	823 €	11 522 €
PBN AOCM6000 (AOCM-60-SCC-384)	7 ks	4 838 €	33 866 €
PBN AOCM6000 (AOCM-60-48GE-SFP)	42 ks	5 574 €	234 108 €
PBN AOCM6000 (AOCM-60-2x10GE)	7 ks	5 641 €	39 487 €
PBN AOCM6000 (AOCM-60-4x10GE)	3 ks	7 091 €	21 273 €
PBN AOCM6000 (AOCM-60-48GE-TX)	4 ks	5 574 €	22 296 €
PBN AOCM6000 (SFP-FE5531-SCPC)	1 764 ks	30 €	52 920 €
PBN AOCM6000 (XFP-GX850M-LCPC)	24 ks	288 €	6 912 €
PBN AOCM6000 (XFP-GX55ZR-LCPC) ¹¹	2 ks	2 750 €	5 500 €
Blankom - Hlavní stanice	1 ks	12 595 €	12 595 €
HP PL DL380G7 X5690	2 ks	194 776 Kč	389 552 Kč
HP PL DL160G6 E5606	1 ks	25 945 Kč	25 945 Kč
Iomega px12-400r Server Class, 24 TB	2 ks	169 959 Kč	339 918 Kč
HP 647 1200mm	4 ks	57 685 Kč	230 740 Kč
ORM SNP 4U	16 ks	10 000 Kč	160 000 Kč
APC Symmetra LX 12kVA	1 ks	16 400 €	418 200 Kč
Patchcord MMF 0,9mm, LC	12 ks	95 Kč	1 140 Kč
Lenovo ThinkPad T430	4 ks	42 700 Kč	170 080 Kč
EIZO FlexScan EV2736WFS-BK	4 ks	18 700 Kč	74 800 Kč
Více náklady – montáž a oživení	1 745 -	300 Kč	523 500 Kč
Technická úprava prostor CO	1 -	150 000 Kč	150 000 Kč
CELKOVÁ CENA			14 219 638 Kč

¹¹ V případě nasazení CWDM použít Forawa CWDM XFP 80KM

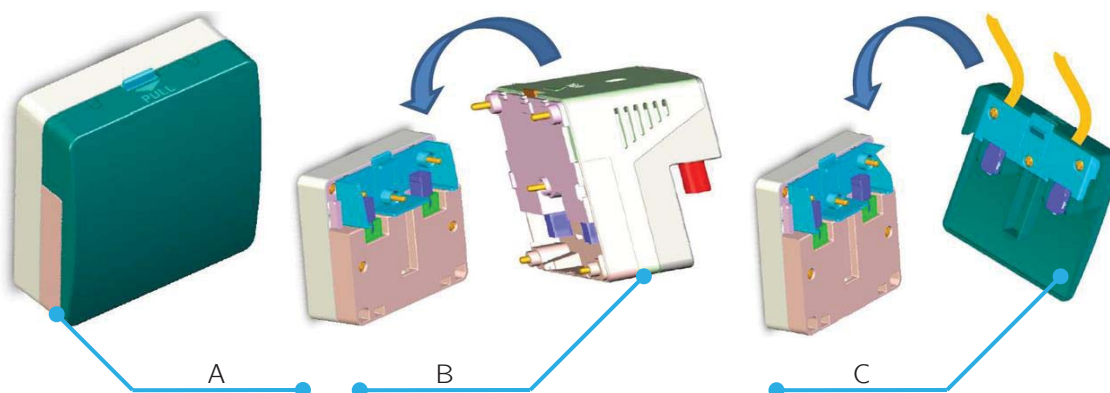
7.2.3 Infrastruktura – Koncoví účastníci

Tato podkapitola obsahuje vlastní návrh a řešení infrastruktury u koncových účastníků optické přístupové sítě FTTH. Touto infrastrukturou se rozumí zařízení pro zakončení optické části (ODN) přístupové sítě – toto zařízení označujeme zkratkou ONT, resp. souhrnně CPE. V praxi hovoříme o tzv. bráně nebo domácí bráně (*gateway*, resp. *home gateway*).

Optický účastnický kabel dovedený do každého z 1 745 připojených bytů je zakončen optickým konektorem SC/PC. Tento konektor je uložen do nástěnné optické zásuvky produktové řady Wall outlet 79700 od výrobce DKT Omega[9].

Samotný výběr domácí brány musí reflektovat aktivované služby Triple Play a tím snižovat pořizovací náklady na domácí bránu. Pro koncové klienty, kteří využijí pouze video služby Triple Play, jsem vybral domácí bránu DKT Omega 79703 CPE. Pro koncové klienty, kteří využijí datové a video služby Triple Play, jsem vybral domácí bránu DKT Omega 79601 CPE. Pro koncové klienty, kteří využijí datové, hlasové a video služby Triple Play, jsem vybral domácí bránu DKT Omega 79603 CPE [8][9][5].

Modulárnost této nové generace domácích bran společnosti DKT Omega je znázorněna na obrázku níže. V části „A“ je vyobrazena samostatná účastnická zásuvka Wall outlet 79700. V části „B“ lze do této nástěnné zásuvky zasunout domácí bránu produktové řady 797XX CPE (v tomto případě 79703 CPE). V části „C“ je do krytu zásuvky instalován optický patchcord¹² s konektorem SC/PC, jehož druhý konec je připojen do domácí brány produktové řady 79600 CPE (v tomto případě 79601 CPE, resp. 79603 CPE) [9][8][5].



Obr. 7.3: DKT Omega – série 79700 CPE a rozšíření pro 79600 CPE [5].

¹² Počet patchcordů dle fyzického rozhraní aktivních síťových prvků, pro 100/1000BASE-LX10 2 patchcordy, pro 100/1000BASE-BX10 1 patchcord.

Výše zvolené účastnické brány (DKT Omega 79703 CPE, 79601 CPE a 79603 CPE) mají optické rozhraní (směrem k WAN) realizované podle standardu IEEE 802.3ah. Konkrétněji je to rozhraní 100Base-BX-U a 1000Base-BX-U s podporou automatické detekce a přepnutí režimu přenosové rychlosti [9][8].

Fyzické rozhraní 100Base-BX-U, resp. 1000Base-BX-U plně vyhovuje mnou navrženému útlumovému plánu, neboť největší vložený útlum v přenosové trase včetně započítané rezervy je přibližně 3,8 dB, přičemž standard obou rozhraní definuje max. vložený útlum pro downstream 6 dB a pro upstream 5,5 dB a současně je dodržena maximální překlenutelná fyzická vzdálenost 10 km. Podpora obou fyzických rozhraní je s výhledem do budoucnosti přístupové sítě žádoucí a to zejména s rostoucími přenosovými požadavky na připojení do sítě internet a zároveň rychlejší 1 Gbit/s rozhraní může být aktivováno v rámci přístupové sítě selektivně jen u účastníků, kteří o danou kapacitu připojení zažádají [23].

Podrobnější parametry jednotlivých účastnických bran jsou uvedeny v tabulce 7.6 a z toho důvodu budou dále zmíněny jen vybrané vlastnosti.

Brána DKT Omega 79703 CPE je vybavena směrem k LAN pouze jednou Ethernet zásuvkou pro konektor 8P8C (též ozn. jako RJ-45) s rozhraním 10/100/1000BASE-TX [9].

Brána DKT Omega 79601 CPE je vybavena směrem k LAN čtyřmi Ethernet zásuvkami pro konektory 8P8C s rozhraním 10/100/1000BASE-TX [9][8].

Brána DKT Omega 79603 CPE je vybavena směrem k LAN čtyřmi Ethernet zásuvkami pro konektory 8P8C s rozhraním 10/100/1000BASE-TX a dvěma telefonními zásuvkami RJ-11 pro připojení konvenčních telefonních přístrojů [8].

Zařízení podporuje vzdálený dohled a správu pomocí protokolu SNMP, Telnet, SSH, automatickou konfiguraci IP adres pomocí DHCP, virtuální sítě VLAN, zabezpečení pomocí filtrování MAC adres a samozřejmě řízení kvality QoS [9][8].

Pro distribuci video služeb Triple Play je nutná podpora a implementace technologie příjmu a odbavení multicastového vysílání a s tím spojená podpora protokolu IGMP v nejnovější verzi [9][8].

Pro hlasové služby Triple Play jsou do brány 79603 CPE implementovány elementární stavové a přenosové protokoly jako je SIP, SDP, RTP a RTCP a hlasové kodeky G.711, G.726 a G.729 [8].

Tab. 7.6: AON P2P – vybrané parametry účastnických bran [9][8][23].

Produktová řada			79703 CPE		79601 CPE		79603 CPE		
WAN	Rozhraní		100Base-BX-U	1000Base-BX-U	100Base-BX-U	1000Base-BX-U	100Base-BX-U	1000Base-BX-U	
	λ	Rx	1550	1490	1550	1490	1550	1490	nm
		Tx	1310	1310	1310	1310	1310	1310	nm
	Konektor		SC/PC	SC/PC	SC/PC	SC/PC	SC/PC	SC/PC	-
	Vlákno	Typ	SMF	SMF	SMF	SMF	SMF	SMF	-
		Bidí	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	Ano	-
	Vzdálenost	Min.	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	m
		Max.	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	10 000	m
	Vložený útlum	Min.	0	0	0	0	0	0	dB
		Max.	5,5/6,0	5,5/6,0	5,5/6,0	5,5/6,0	5,5/6,0	5,5/6,0	dB
	Tx výkon	Min.	-14	-9	-14	-9	-14	-9	dBm
		Max.	-8	-3	-8	-3	-8	-3	dBm
	Rx citlivost	Min.	-28,2	-9	-28,2	-9	-28,2	-9	dBm
		Max.	-8	-3	-8	-3	-8	-3	dBm
	Rychlost	Rx	100	1 000	100	1 000	100	1 000	Mbit/s
		Tx	100	1 000	100	1 000	100	1 000	Mbit/s
LAN	Rozhraní		10/100/1000Base-TX		10/100/1000Base-TX		10/100/1000Base-TX		
	Konektor		1 × 8P8C		4 × 8P8C		4 × 8P8C		-
	L2/L3		Ano		Ano		Ano		-
	VLAN		Ano		Ano		Ano		-
	Regulace trafiku		Ano		Ano		Ano		-
	IGMP		1/2/3		1/2/3		1/2/3		-
	QoS		Ano		Ano		Ano		-
VoIP	Rozhraní		0 × RJ-11 (1 × 8P8C)		0 × RJ-11 (4 × 8P8C)		2 × RJ-11 (4 × 8P8C)		-
	SIP		Ne		Ne		Ano		-
	SDP		Ne		Ne		Ano		-
	RTP		Ne		Ne		Ano		-
	RTCP		Ne		Ne		Ano		-
Správa	Jádro systému		Linux OS		Linux OS		Linux OS		-
	SNMP		1/2		1/2		1/2		-
	DHCP/TFTP		Ano/Ano		Ano/Ano		Ano/Ano		-
	Telnet/SSH		Ano/Ano		Ano/Ano		Ano/Ano		-
Napájení	Zdroj	Typ	Externí		Externí		Externí		-
		U	100–240		100–240		100–240		V AC
	Výstup	U	5		5		5		V DC
		I	2		2		2		A DC
	Spotřeba		10		10		10		W

Důsledkem distribuce televizního vysílání realizované formou IPTV je nutné koncovým klientům nabídnout k odkupu kompatibilní IPTV STB.

V rámci mnou navržené případové studie jsem navrhl tento model distribuce a prodeje IPTV STB. První set-top-box každého připojeného klienta bude dotován do úrovně 50 % pořizovacích nákladů, přičemž pokud bude po záruční době poškozen, cenu opravy nebo výměny uhradí již připojený koncový účastník. Každý další připojený set-top-box k účastnické zásuvce uhradí plně koncový klient.

Vhodné řešení pro poskytovatele služeb Triple Play nabízí společnost Motorola se set-top-boxem produktové řady VIP1003. STB umožňuje příjem a dekódování televizního vysílání v obrazovém formátu SDTV (480i/480p/576i/576p) a HDTV (720p/1080i/1080p) kódované v MPEG-2/MPEG-4 AVC/VC-1/WMV9. Z pohledu koncového uživatele jsou klíčové integrované rozhraní. K dispozici je výstupní rozhraní HDMI/SCART/SPDIF a rozhraní USB 2.0. Propojení STB s bránou je realizováno kabelem UTP (min. kategorie 5) přes rozhraní 10/100BASE-T. Katalogová cena set-top-boxu Motorola VIP1003 je 2149 Kč bez daně z přidané hodnoty. Pro výpočet nákladů na infrastrukturu u koncových účastníků spojených s nákupní dotací na první STB pro každého účastníka je uvažována cena 1075 Kč/účastník. Totožný postup je aplikován u příslušenství k tomuto STB [85].



Obr. 7.5: IPTV STB Motorola VIP1003 [85].

Vzhledem k tomu, že funkce SIP brány je integrována do účastnické brány, budou v rámci přístupové sítě použity konvenční telefonní přístroje. Toto řešení zjednodušuje správu připojených zařízení v rámci sítě. Volba telefonního přístroje je nechána na koncovém účastníkovi[8].

Vícenáklady spojené s montáží a oživením účastnické brány a IPTV STB u koncového klienta jsem stanovil na hodnotu přibližně 100 Kč/přípojka. Tato cena de facto odpovídá nákladům na práci a dopravu servisního technika, který provede instalaci zařízení u klienta. Cena je snížena z důvodu předpokládané hromadné instalace CPE v jednotlivých bytových domech.

Ceny uvedené v tabulce 7.7 byly kalkulovány na vyžádání společností PROFiber Networking CZ s.r.o. (CPE). Cena produktů Motorola vychází z maloobchodních ceníků společnosti Digilive s.r.o a lze předpokládat, že při poptávce by se ceny řídily podle velkoobchodních ceníků. Ostatní ceny vycházejí z dostupných ceníků nebo vlastní kalkulace specifikované výše. Všechny ceny jsou uvedeny v původní měně, v jaké byly zjištěny a jsou uvedeny bez daně z přidané hodnoty.

Tab. 7.7: AON P2P - Kalkulace infrastruktury koncových účastníků.

Položka	Množství	Cena za jednotku	Celkem celkem
DKT Comega Wall outlet 79700	1 745 ks	200 Kč	349 000 Kč
DKT Comega 79703 CPE	1 020 ks	3 200 Kč	3 264 000 Kč
DKT Comega 79601 CPE	614 ks	3 070 Kč	1 884 980 Kč
DKT Comega 79603 CPE	111 ks	3 530 Kč	391 830 Kč
Motorola VIP1003 (50 %)	1 745 ks	1 075 Kč	1 875 875 Kč
Motorola NYX (50 %)	1 745 ks	118 Kč	205 910 Kč
Motorola VIP (50 %)	1 745 ks	99 Kč	172 755 Kč
OFS Patchcord SMF 0,9mm, SC/PC	725 ks	95 Kč	68 875 Kč
PremiumCord UTP (Cat5e), lanko	17 450 m	7,15 Kč	124 768 Kč
PremiumCord 8P8C (RJ-45), lanko	3 490 ks	1,54 Kč	5 375 Kč
PremiumCord kryt konektoru 8P8C	3 490 ks	1,20 Kč	4 188 Kč
Vícenáklady – montáž CPE	1 745 -	100 Kč	174 500 Kč
CELKOVÁ CENA			8 522 056 Kč

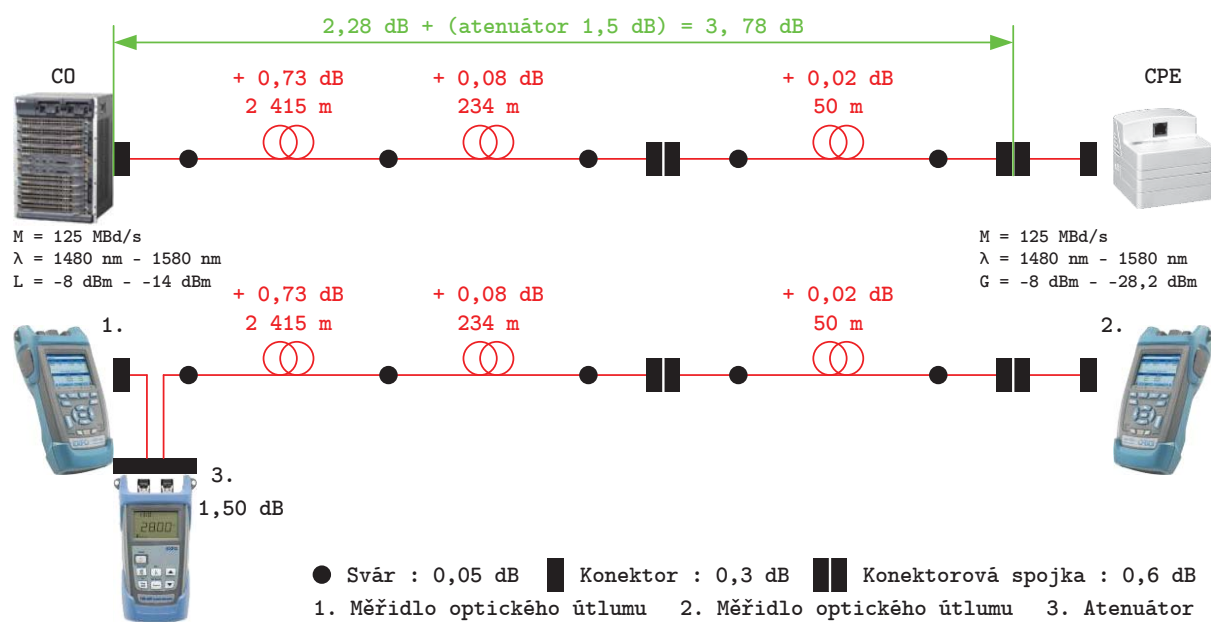
7.2.4 Vybrané simulace

Tato podkapitola obsahuje vlastní řešení simulací navržené optické přístupové sítě v rámci první případové studie spojené s návrhem optické přístupové sítě FTTH.

Vzhledem ke konstrukci simulačního programu OptSim společnosti RSoft lze považovat simulaci pouze za orientační. To je dáno poměrně rozsáhlým spektrem konfiguračních možností, které nelze efektivně ovládnout v omezeném časovém úseku. Simulace optického přenosu je v tomto programu idealizována a zároveň mi tu podle mé osobní zkušenosti chybí provázanost s linkovou vrstvou modelu ISO/OSI, resp. absence standardizovaných rozhraní optického Ethernetu pracujících na fyzické a linkové vrstvě dle modelu ISO/OSI.

Co lze považovat za přínosné pro tuto diplomovou práci je to, že na navrženém simulačním modelu si lze ukázat, kde bych na reálné síti provedl vybraná měření a zároveň navržený model může sloužit jako jistá forma kontroly návrhu sítě.

V horní části obrázku 7.6 je znázorněno propojení distribučního centra a koncového klienta vyhrazeným optickým vláknem, resp. optická trasa mezi SFP modulem instalovaným v PBN AOCM6000 a optickým rozhraním domácí brány. Záměrně jsem zvolil parametry vložného útlumu a délky trasy podle nejvzdálenějšího připojeného objektu označeného jako R2-04. Zeleně je vyznačena trasa po účastnickou zásuvku a k tomu odpovídající útlum optické trasy.



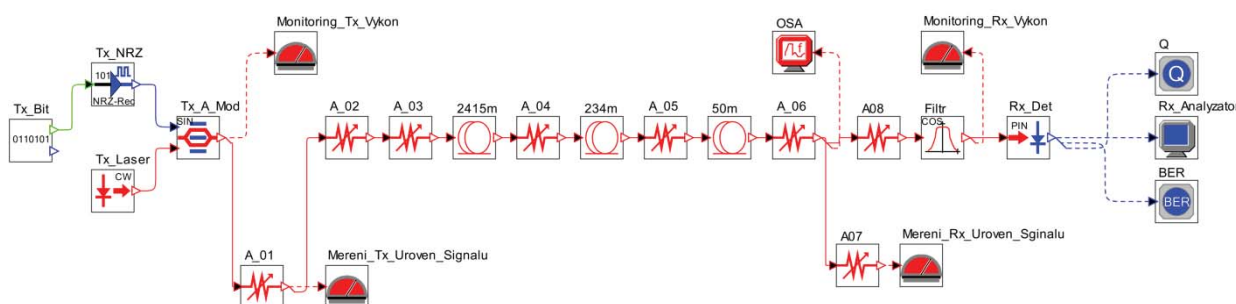
Obr. 7.4: Schéma měření AON P2P.

V dolní části obrázku 7.6 je vyznačeno zapojení dvou obousměrných měřidel optického útlumu a současně je do měřené optické trasy zapojen měřicí optický attenuátor s nastavenou hodnotou vložného útlumu 1,5 dB (+0,6 dB patchcord). Zapojení attenuátoru simuluje plánovanou rezervu kompenzující stárnutí optického vlákna.

Z výše popsaného navrženého měření jsem sestavil simulační zapojení v programu OptSim (viz obrázek 7.7). Výhoda simulačního programu a s tím spojeným navrženým modelem je v tom, že mohu odečítat výkonové úrovně optického signálu jak v místě skutečného zapojení měřidla útlumu, tak uvnitř optického rozhraní na straně vysílače a přijímače. Simulační model byl sestaven pouze pro sestupný směr vysílání (downstream).

Stranu vysílače jsem nastavil tak, aby simulovala rozhraní 100Base-BX-D. Proto jsem zvolil modulační rychlost 125 MBd/s, resp. přenosovou rychlost 125 Mbit/s, dále kódování NRZ, nosná vlnového kanálu 1550 nm, výkon laseru -8 dBm.

Strana přijímače zjednodušeně simuluje rozhraní 100Base-BX-U a je doplněna o analyzátor Q-faktoru, analyzátor BER a elektrický osciloskop umožňující zobrazit diagram oka.



Obr. 7.7: Schéma simulace AON P2P.

Přenosová trasa je sestavena z bloků simulující optické vlákno a attenuátorů nahrazující vložný útlum konektorů a svárů. Nastavený útlum optického vlákna mimo vnitřní rozvody je uvažován 0,3 dB/km, ve vnitřních rozvodech 0,4 dB/km. Funkce a útlum jednotlivých attenuátorů je uvedena v tabulce 7.8 na další straně. Vzhledem k relativně malé vzdálenosti není nutné se zabývat CD a PMD. Zapojení optického spektrálního analyzátoru OSA na účastnickou mi slouží pouze pro kontrolu nastavené vlnové délky vysílače.

Tab. 7.8: Optsim – Nastavení atenuátorů (AON P2P).

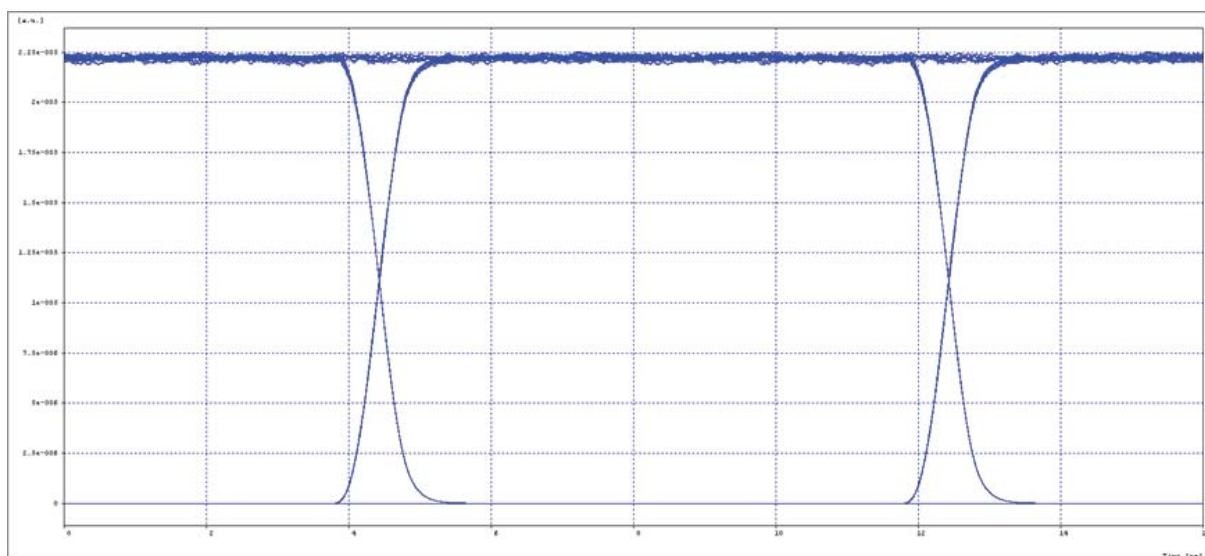
Označení	A_01	A_02	A_03	A_04	A_05	A_06	A_07	A_08	
A [dB]	0,6	1,5	0,35	0,05	0,7	0,35	0,6	0,6	dB
Funkce	Svár	-	-	1×	1×	2×	1×	-	-
	Konektor	-	-	1×	-	2×	1×	-	-
	Atenuátor	-	1×	-	-	-	-	-	-
	Patchcord	1×	-	-	-	-	-	1×	1×

Dosažené výsledky výkonových úrovní optického signálu jsou následující:

- Úroveň signálu na vysílači je $-13,849$ dBm (Monitoring_Tx_Vykon)
- Úroveň signálu na přijímači je $-18,791$ dBm (Monitoring_Rx_Vykon)
- Úroveň signálu na měřidle Tx $-14,449$ dBm je (Mereni_Tx_Uroven_Signalu)
- Úroveň signálu na měřidle Rx je $-18,789$ dBm (Mereni_Rx_Uroven_Signalu)

Naměřené hodnoty úrovně signálu vyhovují specifikacím fyzického rozhraní 100BASE-BX dle IEEE 802.3ah uvedených v tabulce 2.1. Útlum simulované optické trasy od CO po účastnickou zásuvku vypočítám odečtením úrovní signálu zjištěných na měřidlech úrovní signálů. Útlum optické trasy jsem vypočetl na $4,34$ dB a po odečtení útlumu optického patchcordu se dostanu na hodnotu $3,74$ dB. V útlumovém plánu byla predikována hodnota útlumu $3,78$ dB.

Diagram oka reprezentuje superpozici všech navzájem překrytých bitů v signálu. Zobrazení a měření diagramu oka umožňuje zjistit mezisymbolovou interferenci ISI (*intersymbol interference*), která je způsobena překrýváním jednotlivých modulačních impulsů a kolísání zpoždění (*jitter*) [82].



Obr. 7.5: Diagram oka pro 125 Mbit/s (AON P2P).

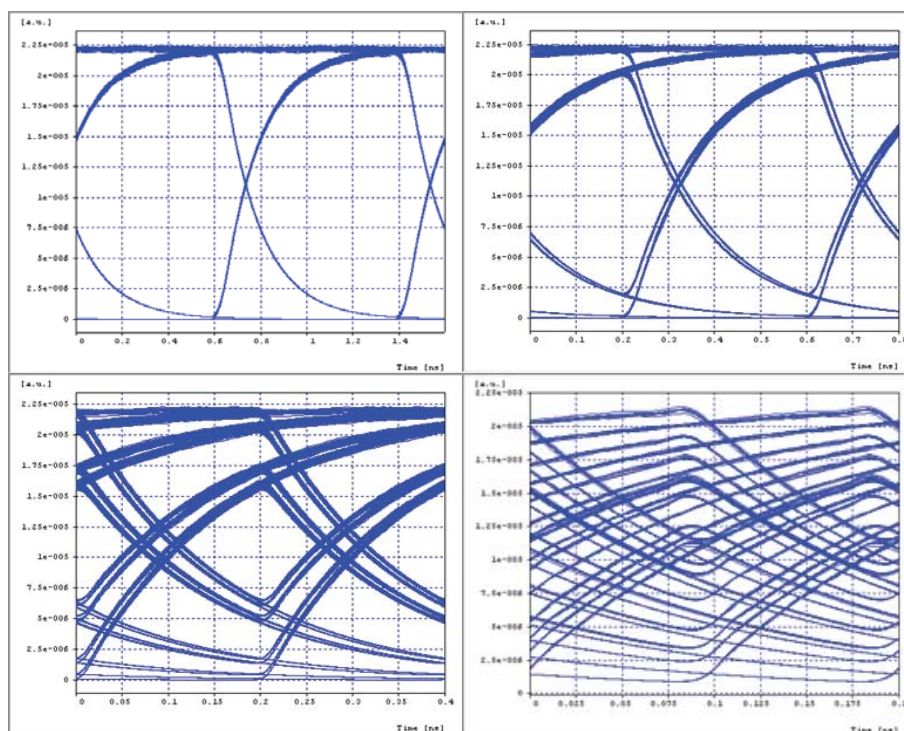
Na obrázku 7.8 na přechozí straně je zobrazen získaný diagram oka z navržené simulace. Tento výstup považuji pouze za teoretický. Program OptSim pro tak krátkou vzdálenost optickou trasu idealizuje a z toho důvodu jsou potlačeny parazitní vlivy. S tím souvisí i zkreslené výsledky získané analyzátory BER a Q-fakturu.

BER (*bit error rate*) neboli bitová chybovost vyjadřuje poměr mezi chybně přijatými bity a celkovým počtem přijatých bitů. Q-faktor vyjadřuje kvalitu analogového signálu s ohledem na odstup užitečného signálu od šumu [82].

Analyzátozem BER jsem zjistil chybovost $0,99999 \times 10^{-40}$. Tuto hodnotu považuje program OptSim jako nejideálnější možnou. V reálné optické síti lze očekávat a změřit bitovou chybovost na fyzické vrstvě v řádech 10^{-11} až 10^{-13} [82][13].

Analyzátozem Q-faktoru jsem zjistil hodnotu Q-faktoru 40 dB. Tuto hodnotu považuje program OptSim jako nejideálnější možnou. V reálné optické síti lze očekávat a změřit hodnotu výrazně nižší [82].

Experimentálně jsem se rozhodl (při ignorování specifikace 100Base-BX) modulační, potažmo přenosovou rychlost zvyšovat skokově na hodnotu 1,25 GBd/s, 2,5 GBd/s, 5 GBd/s a 10 GBd/s, resp. 1,25 Gbit/s, 2,5 Gbit/s, 5 Gbit/s a 10 Gbit/s a sledoval změny v diagramu oka při zachování stávající konfigurace. Je patrné, že se zvyšující se přenosovou rychlostí se oko uzavírá a s tím roste chybovost přenosu.



Obr. 7.6: Diagram oka 1,25/2,5/5/10 Gbit/s.

7.3 Případová studie č. 2 – WDM PON

7.3.1 Infrastruktura – Optická trasa

Tato podkapitola obsahuje vlastní návrh infrastruktury optické trasy mezi distribučním centrem a koncovými účastníky v rámci druhé případové studie spojené s návrhem optické přístupové sítě FTTH ve městě Bystřice nad Pernštejnem.

Vzhledem ke geografickému členění města a s tím spojené situování bytových domů do tří sídlištních lokalit bude přístupová síť rozčleněna také na tři agregační segmenty. V rámci zachování stejných počátečních podmínek mezi touto a předchozí případovou studií budou agregační segmenty sítě vyjma distribučního centra plně pasivní – tzv. nebudou vyžadovat napájení z elektrické sítě.

Infrastruktura optické trasy v této případové studii je plně podřízena požadavkům a specifikům sítě typu WDM PON, resp. specificky platformě LG-Ericsson EA 1100.

Z důvodů maximálního využití všech rozhraní teplotně kompenzovaných směrových odbočnic AAWG je nutné tyto odbočnice instalovat mimo připojené bytové budovy. To z důvodu, že tyto směrové odbočnice AAWG umožňují filtrovat a vydělit vlnové délky až pro 32 účastníků. Pokud se podíváme na tabulky 7.1, zjistíme, že připojené obytné budovy mají různý počet bytových jednotek. Za předpokladu instalace jedné nebo dvou směrových odbočnic AAWG v každé budově, tak nevyužitá rozhraní způsobí pokles ekonomické efektivnosti návrhu sítě WDM PON vzhledem k cenám směrových odbočnic AAWG a s tím souvisejících přístupových karet WDM PON v platformě LG-Ericsson EA 1100.

Bez této technicko-ekonomické optimalizace by bylo nutné instalovat 82 směrových odbočnic AAWG a stejný počet přístupových karet WDM PON. To by znamenalo, že na 1 745 aktivních přípojek by připadalo 879 standardně nevyužitelných přípojek (tj. na 1 aktivní přípojku připadá přibližně 0,504 neaktivní přípojky).

Po provedení technicko-ekonomické optimalizace, bude nutné využít pouze 56 směrových odbočnic AAWG a stejný počet přístupových karet WDM PON. To znamená, že na 1 aktivní přípojku připadne přibližně 0,0269 neaktivní přípojky.

První segment přístupové sítě reprezentuje bytové jednotky, které jsou přímo připojené do distribučního centra. Těchto bytových jednotek je 1 060 a jsou uskupeny do 29 bytových domů. Pro tento počet koncových účastníků bude v distribučním centru instalováno 34 teplotně kompenzovaných směrových odbočnic AAWG LG-Ericsson WPF 1132c určených pro montáž do racku.

Druhý segment přístupové sítě reprezentuje bytové jednotky, které jsou připojené do lokálního „pouličního“ rozvaděče R1, kde dochází k napojení, resp. agregaci koncových účastníků na páteřní sekci přístupové sítě, která je přímo připojena k distribučnímu centru. K rozvaděči R1 je připojeno 629 bytových jednotek uskupených do 20 bytových domů. Pro tento počet koncových účastníků bude v rozvaděči instalováno 20 teplotně kompenzovaných směrových odbočnic AAWG LG-Ericsson WPF 1132c.

Třetí segment přístupové sítě reprezentuje bytové jednotky, které jsou připojené do lokálního „pouličního“ rozvaděče R2, kde dochází k napojení, resp. agregaci koncových účastníků na páteřní sekci přístupové sítě, která je přímo připojena k distribučnímu centru. K rozvaděči R2 je připojeno 56 bytových jednotek uskupených do 4 bytových domů. Pro tento počet koncových účastníků budou v rozvaděči instalovány 2 teplotně kompenzované směrové odbočnice AAWG LG-Ericsson WPF 1132c.

Infrastruktura optické trasy přístupové sítě bude uložena do země, přičemž pro vytvoření páteřní trasy mezi distribučním centrem CO a lokálními rozvaděči R1, resp. R2 bude využita technologie mikrokabelážního systému pokládky za pomoci zodolněných tlustostěnných mikrochrániček určených pro přímou pokládku do země. Mezi CO a R1 bude instalována mikrochránička s průměrem 14/10 mm (vnější/vnitřní) s tloušťkou stěny 2 mm umožňující přímou pokládku do země a to v celkové délce 2 142 metrů. Mezi CO a R2 bude instalována totožná mikrochránička v celkové délce 2 395 metrů [76].

Do mikrochráničky v páteřní trase mezi CO a R1 bude zafouknut optický mikrokabel společnosti OFS (Furukawa Electric) produktové řady MiDia CT v konfiguraci obsahující 24 optických vláken. Tento typ optického kabelu s průměrem 3,9 mm je oproti produktové řadě MiDia FX tvořen pouze jedním svazkem optických vláken [64].

Do mikrochráničky v páteřní trase mezi CO a R2 bude zafouknut optický mikrokabel společnosti OFS (Furukawa Electric) produktové řady MiDia CT v konfiguraci obsahující 4 optická vlákna [64].

Realizace optického rozvaděče R1 je výrazně komplikovanější než v první případové studii. Řešení musí umožnit instalaci 20 teplotně kompenzovaných směrových odbočnic AAWG LG-Ericsson WPF 1132c, které jsou uzpůsobeny do montáže racku 19“. Jako šasi jsem zvolil venkovní datovou skříň produktové řady MSS 2x 30U firmy MICOS – divize Telcom. Tato skříň disponuje instalační kapacitou 2x30U pozic formátu rack 19“. Do této skříně bude osazeno výše zmíněných 20 AAWG WPF 1132c. Dále je nutné vyřešit uložení optických svárů na rozhraní optického vlákna přenosové trasy a optického pigtailu (AAWG se připojuje pomocí konektorů), tzn. 20 svárů ze směru CO a 629 svárů směrem k domovním rozvaděčům. Pro uložení 649 svárů optických vláken jsem zvolil optický výsuvný rozvaděč produktové řady ORM SNP od téže firmy jako šasi. Kapacita tohoto rozvaděče instalované do 4U pozic formátu rack 19“ je 144 vláken. Kazetový systém SAFeTNET tvoří 24 kazet a do každé kazety lze uložit 6 svárů. Dostatečné kapacity pro uložení všech svárů je dosaženo instalací 5 těchto výsuvných rozvaděčů. Obsazení datové skříně bude po instalaci 20x2U (WPF 1132c) + 5x4U (ORM SNP). To znamená, že bude obsazeno všech 60 1U pozic datové skříně [52][51].

Realizace optického rozvaděče R2 vychází principiálně shodně s návrhem rozvaděče R1. Jako šasi jsem zvolil venkovní datovou skříň produktové řady MSS 22U firmy MICOS – divize Telcom. Tato skříň disponuje instalační kapacitou 1x22U pozic formátu rack 19“. Do této skříně budou osazeny 2 teplotně kompenzované směrové odbočnice AAWG LG-Ericsson WPF 1132c. V rozvaděči je nutné uložit 2 sváry ze směru CO a 56 svárů směrem k domovním rozvaděčům. Pro uložení 58 svárů optických vláken jsem zvolil totožný optický výsuvný rozvaděč produktové řady ORM SNP. Obsazení datové skříně bude po instalaci 2x2U (WPF 1132c) + 1x4U (ORM SNP). To znamená, že bude obsazeno pouze 8 1U pozic datové skříně [53][51].

Nyní se zaměřím na realizaci přístupové sekce optické přístupové sítě. To se sekce mezi agregačním bodem sítě (CO, R1, R2) a domovním rozvaděčem v každé bytové budově, resp. mezi směrovou odbočnicí AAWG a domovním rozvaděčem. Návrh této sekce přístupové sítě je identický s návrhem uvedeným v první případové studii, z toho důvodu uvedu níže jen stěžejní body.

Pro ochranu optických mikrokabelů bude položena do země zodolněná tlustostěnná mikrochránička o průměru 14/10 mm (vnější/vnitřní) s tloušťkou stěny 2 mm. Pro připojení všech 53 bytových domů bude položeno přibližně 23 310 metrů tohoto typu mikrochráničky [76].

Pro všechny připojené bytové budovy bude do této mikrochráničky zafouknut optický mikrokabel společnosti OFS produktové řady MiDia FX v konfiguraci 12/24/~~36~~/48/~~60~~/72 (viz poznámka pod čarou č. 9) optických vláken. Konkrétní konfigurace a délka optického mikrokabelu je uvedena v tabulce 7.2 na straně 79 a to ve sloupci „Instal.“. Hodnoty ve sloupci „Aktiv.“ korespondují s počtem bytových jednotek v daném objektu a logicky sloupec „Rez.“ informuje o počtu nevyužitých optických vláken v dané konfiguraci optického mikrokabelu MiDia FX. Produktový kód zvoleného optického kabelu je AT-46CT-XXX, kde za XXX dosadíme počet optických vláken v mikrokabelu [59].

V každém připojeném bytovém domu bude instalován domovní optický rozvaděč, který bude realizován jako nástěnný optický rozvaděč od společnosti MICOS - divize Telcom. V budovách s počtem bytových jednotek 12 a méně bude instalován rozvaděč produktové řady ORM 12, v budovách s počtem bytových jednotek 13 až 24 bude instalován rozvaděč produktové řady ORM 24 VS, v budovách s počtem bytových jednotek 25 až 48 bude instalován rozvaděč produktové řady ORM 48 a v budovách s vyšším počtem bytových jednotek než 48 bude instalován rozvaděč produktové řady ORM 96. Z důvodu zajištění flexibility jsem se rozhodl, konce optických vláken osadit konektory SC/APC, instalace bude provedena formou navaření optických pigtailů [51].

Poslední částí optické trasy jsou interní rozvody v budově, které tvoří spojení domovního rozvaděče a účastnické zásuvky instalované v bytě přímo u koncového klienta. Zvolil jsem optický kabel společnosti OFS produktové řady EZ-Bend 4.8 a to z důvodu, že má extrémní ohybovou odolnost, která umožňuje jednoduchou instalaci v budově bez zvyšování útlumu kvůli makroohybům. Vnější průměr 4,8 mm a odolnost tohoto optického kabelu umožňuje principiálně obdobnou montáž jako UTP kabelu strukturované kabeláže. Z obou stran optického účastnického kabelu bude osazen SC/APC konektor, přičemž instalace bude provedena formou navaření optických pigtailů. Na straně účastníka bude SC konektor osazen do účastnické zásuvky Outlet 8686 [63][55].

S montáží infrastruktury přístupové sítě přímo souvisejí výkopové práce. Tyto výkopové práce jsou identické se schématem výkopových prací navržených a kalkulovaných v první případové studii uvedených na straně 81. Náklady spojené s realizací výkopových prací jsem stanovil přibližně 3 600 000 Kč.

Náklady spojené s infrastrukturou optické trasy je zafouknutí optických mikrokabelů do mikrochrániček, v rámci této práce bude uvažována tabulková cena 10 Kč/bm. Celkově je nutné zafouknout 28 947 m optických mikrokabelů.

Vícenáklady spojené s montáží v terénu a interiéru připojených budov jsou shodně stanovené s první případovou studií a to na hodnotu cca 300 Kč/přípojku v terénu, resp. cca 500 Kč/přípojku v interiéru.

Dále bylo vypočítáno, že pro realizaci optické trasy je nutné 7 024 svárů optického vlákna, přičemž všechny tyto sváry jsou na rozhraní optické vlákno a optický pigtail. Propojení 34 směrových odbočnic AAWG WPF 1132c s přístupovými kartami WDM PON v rámci prvního segmentu sítě je realizováno 34 optickými patchcordy. Pro ostatní rozhraní bude využito v celé trase optické sítě 7 024 optických pigtailů. Totožně s první případovou studií je v ceně projektu zahrnout nákup kompletní sady na svařování obsahující krom příslušného nářadí svářečku Fujikura FSM-60S – KIT a to za cenu cca 290 000 Kč. Toto řešení představuje snížení nákladů na svár z komerční ceny 200 až 300 Kč na cca 40 Kč.

Ceny uvedené na další straně v tabulce 7.9 byly kalkulovány podle ceníků společnosti SITEL, spol. s r.o. (chráničky/mikrochráničky + příslušenství), na vyžádání byly kalkulovány produkty společnosti OFA s.r.o. (optické mikrokabely + příslušenství), MICOS spol. s r.o. - divize TELCOM (optické rozvaděče a datové skříně) a PROFiber Networking CZ s.r.o. (WPF 1132c). Ostatní ceny vycházejí z dostupných ceníků nebo vlastní kalkulace specifikované výše. Všechny ceny jsou uvedeny v původní měně, v jaké byly zjištěny a jsou uvedeny bez daně z přidané hodnoty.

Fyzický návrh sítě, resp. výpočet útlumového plánu musí být podřízen proprietárnímu rozhraní sítě WDM PON postavené na platformě LG-Ericsson EA 1100 Multiservice Ethernet Access. Toto řešení je oproti první případové studii přímočaré a téměř bez možnosti volby fyzického rozhraní vzhledem ke vzdálenosti mezi klientem a přístupovým (agregačním) prvkem.

Tab. 7.9 WDM PON - Kalkulace infrastruktury optické trasy.

Položka	Množství		Cena za jednotku		Celkem celkem	
Sitel Mikrochránička 14/10 mm	27 847	bm	6,73	Kč	187 410	Kč
Sitel Spojka 14 mm, průhledná	93	ks	95	Kč	8 835	Kč
Sitel Výstražná folie, 250 m	24	ks	625	Kč	15 000	Kč
Sitel Průchodka 14 mm těsnící	110	ks	120	Kč	13 200	Kč
OFS MiDia CT, 24 vláken	2 162	bm	16,6	Kč	35 890	Kč
OFS MiDia CT, 4 vlákna	2 415	bm	11,2	Kč	27 048	Kč
OFS MiDia FX, 72 vláken	559	bm	33	Kč	18 447	Kč
OFS MiDia FX, 48 vláken	17 979	bm	25	Kč	449 475	Kč
OFS MiDia FX, 24 vláken	2 833	bm	20	Kč	56 660	Kč
OFS MiDia FX, 12 vláken	2 999	bm	16,5	Kč	49 484	Kč
OFS EZ-Bend 4.8	61 075	bm	12	Kč	732 900	Kč
OFS Pigtail SMF 0,9mm, SC/APC	7 024	ks	49	Kč	344 176	Kč
OFS Spojka SC-SC	1 745	ks	23	Kč	40 135	Kč
OFS Patchcord SMF 0,9mm, SC/PC	34	ks	95	Kč	3 230	Kč
Krytka sváru	7 024	ks	6	Kč	42 144	Kč
Micos MSS 2x 30U	1	ks	60 000	Kč	60 000	Kč
Micos MSS 22U/55	1	ks	40 000	Kč	40 000	Kč
Micos ORM SNP 4U	6	ks	10 000	Kč	60 000	Kč
Micos ORM 96	2	ks	20 000	Kč	40 000	Kč
Micos ORM 48	43	ks	6 000	Kč	258 000	Kč
Micos ORM 24 VS	5	ks	3 000	Kč	15 000	Kč
Micos ORM 12	3	ks	2 000	Kč	6 000	Kč
Micos Outlet 8686	1 745	ks	75	Kč	130 875	Kč
LG-Ericsson AAWG WPF 1132c	56	ks	44 060	Kč	2 467 360	Kč
Fujikura FSM-60S	1	ks	290 000	Kč	290 000	Kč
Výkopové práce + položení	-	-	-	-	3 600 000	Kč
Zafukování optického kabelu	28 947	bm	10	Kč	289 470	Kč
Optický svár	7 024	ks	40	Kč	280 960	Kč
Vícenáklady - montáž terén	1 745	-	300	Kč	523 500	Kč
Vícenáklady - montáž interiér	1 745	-	500	Kč	872 500	Kč
CELKOVÁ CENA					10 957 699	Kč

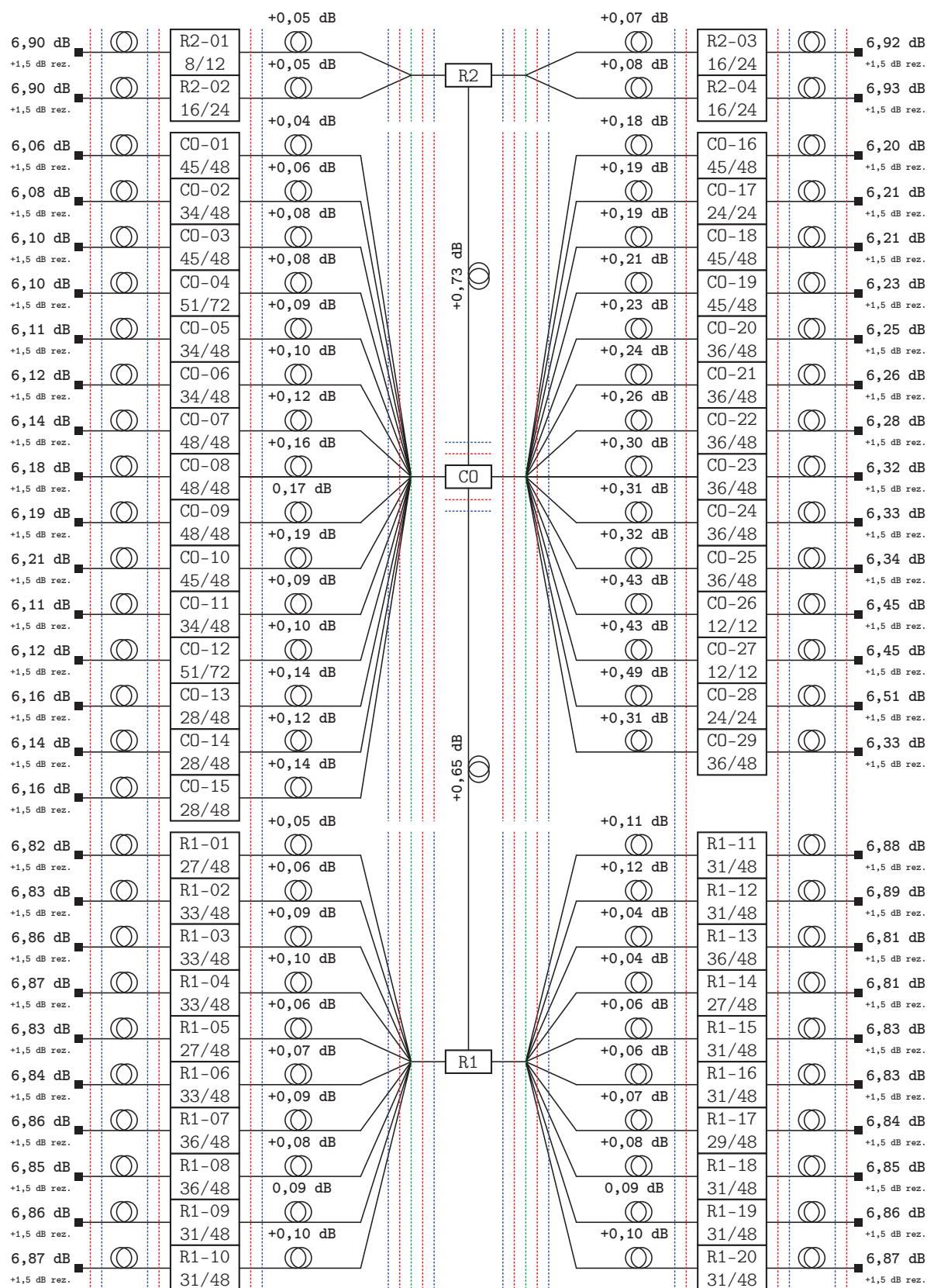
Výpočet útlumového plánu jsem provedl podle níže následujících kritérií. Optické mikrokabely produktových řad MiDia CT a MiDia FX mají výrobcem definovaný měrný útlum 0,2 dB/km pro 90 % optických vláken v mikrokabelu a 0,3 dB/km pro 100 % optických vláken v mikrokabelu. Pro návrh uvažuju horší variantu 0,3 dB/km [59][64][13].

Optické účastnické kabely produktové řady EZ-Bend 4.8 mají výrobcem definovaný maximální měrný útlum 0,3 dB/km pro vlnovou délku 1550 nm a 0,4 dB/km pro vlnovou délku 1310 nm. Pro návrh uvažuji útlum na vlnové délce 1310 nm tj. 0,4 dB/km. Útlum optického konektoru SC/APC, který je součástí optického pigtailu je dle výrobce menší než 0,3 dB, dále uvažuji tuto mezní hodnotu. Jako kvalitně provedený optický svár je považován svár, jehož útlum je menší než 0,05 dB, dále uvažuji tuto mezní hodnotu. Vložený útlum teplotně kompenzované směrové odbočnice AAWG LG-Ericsson WPF 1132c je 4 dB. Z důvodu zhoršujících se přenosových vlastností optického vlákna se stářím je nutné připočíst k útlumovému plánu určitou rezervu, kterou jsem stanovil na 1,5 dB [63][65][13][75].

V tabulce 7.10 je uvedený kompletní útlumový plán infrastruktury optické sítě, úroveň útlumu odpovídá přibližně hodnotě měřitelné na koncové účastnické zásuvce. Útlum optického vlákna mezi domovním rozvaděčem a koncovou účastnickou zásuvkou je započítán. Uvažována byla vzdálenost 50 m, tomu odpovídá útlum 0,02 dB. Na obrázku 7.10 je schéma útlumového plánu v rámci celé sítě. Červená čára vyznačuje vložený útlum způsobený optickým konektorem SC/APC, modrá čára vyznačuje vložený útlum způsobený svárem spojující dvě optická vlákna a zelená čára vyznačuje vložený útlum 4 dB směrové odbočnice AAWG.

Tab. 7.10: WDM PON – Útlumový plán.

Označení	Útlum [dB]	Označení	Útlum [dB]	Označení	Útlum [dB]
CO-01	7,56	CO-19	7,73	R1-08	8,35
CO-02	7,58	CO-20	7,75	R1-09	8,36
CO-03	7,60	CO-21	7,76	R1-10	8,37
CO-04	7,60	CO-22	7,78	R1-11	8,38
CO-05	7,61	CO-23	7,82	R1-12	8,39
CO-06	7,62	CO-24	7,83	R1-13	8,31
CO-07	7,64	CO-25	7,84	R1-14	8,31
CO-08	7,68	CO-26	7,95	R1-15	8,33
CO-09	7,69	CO-27	7,95	R1-16	8,33
CO-10	7,71	CO-28	8,01	R1-17	8,34
CO-11	7,61	CO-29	7,83	R1-18	8,35
CO-12	7,62	R1-01	8,32	R1-19	8,36
CO-13	7,66	R1-02	8,33	R1-20	8,37
CO-14	7,64	R1-03	8,36	R2-01	8,40
CO-15	7,66	R1-04	8,37	R2-02	8,40
CO-16	7,70	R1-05	8,33	R2-03	8,42
CO-17	7,71	R1-06	8,34	R2-04	8,43
CO-18	7,71	R1-07	8,36		



Obr. 7.7: WDM PON – Útlumový plán.

7.3.2 Infrastruktura – Distribuční centrum

Tato podkapitola obsahuje vlastní návrh a řešení infrastruktury distribučního centra CO optické přístupové sítě FTTH. Touto infrastrukturou se rozumí všechny komponenty v přístupové a agregační vrstvě sítě tvořící rozhraní mezi přístupovou sítí a sítěmi vyššími směřující do „sítě sítí“. Zároveň je zde provedeno začlenění již navržené hlavní stanice sloužící k příjmu, zpracování a distribuci video služeb Triple Play a současně všech dalších zařízení pro realizaci ostatních služeb.

Technické zázemí distribučního centra optické přístupové sítě FTTH vychází z počtu připojených účastníků a z rozložení aktivovaných služeb Triple Play, které bylo specifikováno v podkapitole 7.1.

Agregační vrstva sítě je realizována na modulární L2/L3 přepínací a směrovací platforma AOCM6000 Advanced Optical Communications Mainframe společnosti Pacific Broadband Networks (PBN) [72].

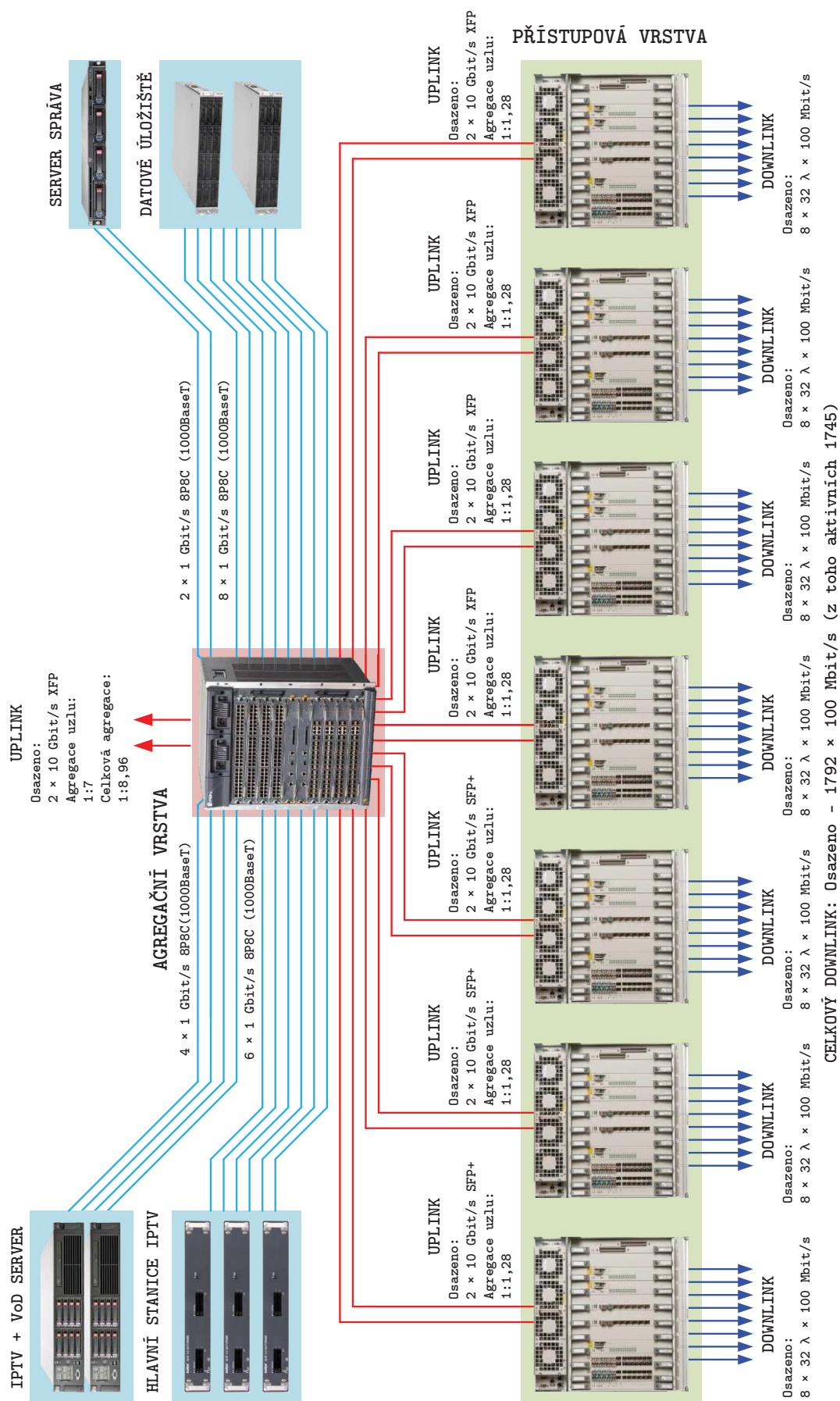
Přístupová vrstva sítě je realizována na WDM PON platformě LG-Ericsson EA 1100. Specifika této proprietární modulární platformy byla podrobně analyzována v podkapitole 4.4 začínající na straně 40.

V návrhu distribučního centra v rámci této případové studie bude instalována jedna agregační jednotka a sedm jednotek přístupových. Všechny sedm šasi přístupových jednotek LG-Ericsson EA 1100 je osazeno kartami v totožné konfiguraci.

Konfigurace osazení šasi platformy EA 1100 pro přístupovou vrstvu sítě je následující: Šasi je v základu osazeno duálními napájecími jednotkami. Do slotů neslužebných karet je osazena 1 řídicí karta MC (*Maintenance control card*) a 1 karta přepínače s přepínací kapacitou až 240 Gbit/s (pozn. lze osadit 2). Přepínací karta disponuje 8 SFP+ sloty pro instalaci SFP+ modulů. Do dvou z těchto slotů jsou instalovány optické SFP+ moduly Forawa FS85TGD3 10 Gigabitové Ethernetu, které poslouží jako uplink rozhraní směrem k agregační vrstvě sítě. Zvolil jsem SFP+ moduly s dvouvláknovým mnohovidovým optickým rozhraním s maximálním dosahem 300 metrů, což je pro potřeby agregace v rámci distribučního centra dostačující. Do slotů služebných karet je instalováno 8 WDM PON přístupových karet typu PI 100 M High Performance (HP), 32 x 125M PON. Porty těchto karet slouží jako downlink rozhraní přístupové vrstvy sítě [75][83][49][42].

Konfigurace osazení šasi platformy AOCM6000 pro agregační vrstvu sítě je následující: Šasi je osazeno dvěma napájecími jednotkami o příkonu 1 kVA pro napětí 110/230 V AC 50/60 Hz a dvěma řídicími a přepínacími kartami s přepínací kapacitou 384 Gbit/s. Pro agregaci přístupové vrstvy sítě (tj. 14×10 Gbit/s) jsou do šasi instalovány 3 linkové karty AOCM-60-4x10GE obsahující 12 XFP slotů a 1 linková karta AOCM-60-2x10GE obsahující 2 XFP sloty, tj. celkově 14 XFP slotů pro agregaci. Do těchto slotů je instalováno 14 optických XFP modulů XFP-GX850M-LCPC 10 Gigabitové Ethernetu. Pro uplink je do šasi instalována linková karta AOCM-60-2x10GE obsahující 2 XFP sloty. Do těchto slotů lze instalovat dva optické XFP moduly 10 Gigabitové Ethernetu, které musí být kompatibilní nadřazeným poskytovatelem konektivity. V rámci této studie je uvažována instalace 2 XFP modulů s fyzickým rozhraním 10GBASE-ZR s možnou modifikací pro nasazení na hrubém vlnovém multiplexu CWDM. Nasazení CWDM sníží požadavek na pronájem tzv. nenasvícených vláken (dark fibre) ze 4 na 2 (1 pro downlink + 1 pro uplink) a zároveň lze kapacitu konektivity v budoucnu navyšovat využitím dalšího vlnového kanálu, nikoliv navýšením pronájmu o další vlákna. Pro připojení hlavní stanice IPTV, serverů pro IPTV a VoD, datové úložiště NAS, serveru obsluhující správu a monitoring CO a dalších podružných síťových zařízení jsou do šasi instalovány 3 linkové karty AOCM-60-48GE-TX, přičemž každá karta obsahuje 48 portů gigabitového Ethernetu s metalickým rozhraním 1000BASE-T [72][73].

Schematický návrh distribučního centra postaveného na platformě EA 1100 společnosti LG-Ericsson v kombinaci s platformou AOCM6000 společnosti Pacific Broadband Networks je znázorněn na obrázku 7.11 na další straně. Legenda k tomuto schématu vyplývá z odstavců výše, kde bylo pojednáváno o konfiguraci platformy EA 1100 a AOCM6000. Červená čára znázorňuje dvojici (upstream/downstream) MMF vláken 10 Gigabitové Ethernetu zakončených optickým konektorem LC. Tyrkysová čára znázorňuje metalický kabel UTP (kategorie 6) Gigabit Ethernetu zakončeným konektorem 8P8C. Čáry tmavomodré barvy představují jednotlivé WDM PON větve přístupové sítě.



Obr. 7.8: WDM PON – Návrh infrastruktury distribučního centra
[75][83][49][42][72][73][4].

Protokolová výbava platformy PBN AOCM6000 byla analyzována v předchozí případové studii. Protokolová výbava platformy LG-Ericsson EA 1100 je kompatibilní s agregačním uzlem sítě a byla rozebrána v podkapitole 4.4.

Pro příjem, zpracování a distribuci televizního vysílání je do distribučního centra začleněna hlavní stanice vystavěná na produktech německé společnosti BLANKOM Antennentechnik GmbH a to na produktové řadě A-Line třetí generace. Samotné začlenění je popsáno v předchozí případové studii a její návrh je uveden v kapitole 6 [4].

Do distribučního centra jsou též implementovány servery a datová úložiště pro rozšířené video služby Triple Play včetně serveru správy a shodně s přechozími dvěma odstavci se odkazují na první případovou studii, neboť navržené řešení je totožné.

Hlasová služba VoIP je shodně s první studií realizovaná tzv. outsourcingem od společnosti FAYN Telecommunications s.r.o. [12].

Prostory distribučního centra budou osazeny pěti rack 19“ skříněmi HP 647 1200mm Shock Intelligent Series Rack o rozměrech 59,78×130,02×224,86 cm (šířka×hloubka×výška). Kapacita racku je 47U pozic. Reálné rozložení aktivních zařízení a optických rozvaděčů pro uložení svárů optických vláken je zakresleno v Příloze D.

Vícenákklady spojené s montáží infrastruktury distribučního centra a prvotní konfigurací aktivních zařízení jsem stanovil na cca 300 Kč/přípojku a současně cca 150 000 Kč je v případové studii vyhrazeno na technickou úpravu prostor distribučního centra související s klimatizací a zabezpečením prostor.

Ceny uvedené v tabulce 7.5 byly kalkulovány na vyžádání společností PROFiber Networking CZ s.r.o. (PBN AOCM6000 a LG-Ericsson EA 1100) a společností Blankom CZ s.r.o.. Ostatní ceny vycházejí z dostupných ceníků nebo vlastní kalkulace specifikované výše. Všechny ceny jsou uvedeny v původní měně, v jaké byly zjištěny (tj. pro euro kurz 25,5 Kč = 1 €) a jsou uvedeny bez daně z přidané hodnoty.

Tab. 7.11: WDM PON - Kalkulace infrastruktury distribučního centra.

Položka	Množství	Cena za jednotku	Celkem celkem
LG-Ericsson EA 1100 (NTC951CCE5)	7 ks	75 820 Kč	530 740 Kč
LG-Ericsson EA 1100 (NTC951FBE6)	7 ks	15 550 Kč	108 500 Kč
LG-Ericsson EA 1100 (NTC951HBE6)	7 ks	87 620 Kč	613 340 Kč
LG-Ericsson EA 1100 (NTC951JCE6)	56 ks	180 360 Kč	10 100 160 Kč
LG-Ericsson EA 1100 (NTC953AS)	1 ks	39 600 Kč	39 600 Kč
Forawa FS85TGD3	14 ks	7 950 Kč	111 300 Kč
PBN AOCM6000 (AOCM-60-CH12)	1 ks	2 821 €	2 821 €
PBN AOCM6000 (AOCM-60-M)	2 ks	823 €	1 646 €
PBN AOCM6000 (AOCM-60-SCC-384)	2 ks	4 838 €	9 676 €
PBN AOCM6000 (AOCM-60-2x10GE)	2 ks	5 641 €	11 282 €
PBN AOCM6000 (AOCM-60-4x10GE)	3 ks	7 091 €	21 273 €
PBN AOCM6000 (AOCM-60-48GE-TX)	3 ks	5 574 €	16 722 €
PBN AOCM6000 (XFP-GX850M-LCPC)	14 ks	288 €	4 032 €
PBN AOCM6000 (XFP-GX55ZR-LCPC) ¹³	2 ks	2 750 €	5 500 €
Blankom - Hlavní stanice	1 ks	12 595 €	12 595 €
HP PL DL380G7 X5690	2 ks	194 776 Kč	389 552 Kč
HP PL DL160G6 E5606	1 ks	25 945 Kč	25 945 Kč
lomega px12-400r Server Class, 24 TB	2 ks	169 959 Kč	339 918 Kč
HP 647 1200mm	5 ks	57 685 Kč	288 425 Kč
ORM SNP 4U	10 ks	10 000 Kč	100 000 Kč
APC Symmetra LX 12kVA	1 ks	16 400 €	418 200 Kč
Patchcord MMF 0,9mm, LC	14 ks	95 Kč	1 330 Kč
Lenovo ThinkPad T430	4 ks	42 700 Kč	170 080 Kč
EIZO FlexScan EV2736WFS-BK	4 ks	18 700 Kč	74 800 Kč
Více náklady – montáž a oživení	1 745 -	300 Kč	523 500 Kč
Technická úprava prostor CO	1 -	150 000 Kč	150 000 Kč
CELKOVÁ CENA			14 914 259 Kč

¹³ V případě nasazení CWDM použít Forawa CWDM XFP 80KM

7.3.3 Infrastruktura – Koncoví účastníci

Tato podkapitola obsahuje vlastní návrh a řešení infrastruktury u koncových účastníků optické přístupové sítě FTTH. Touto infrastrukturou se rozumí zařízení pro zakončení optické části (ODN) přístupové sítě – toto zařízení označujeme zkratkou ONT, resp. souhrnně CPE. V praxi hovoříme o tzv. bráně nebo domácí bráně.

Optický účastnický kabel dovedený do každého z 1 745 připojených bytů je zakončen optickým konektorem SC/APC. Tento konektor bude uložen do nástěnné optické zásuvky produktové řady Outlet 8686, kterou distribuuje na českém trhu společnost OFA [55].

Výběr domácí brány je de facto omezen pouze na portfolio korporace firem LG-Ericsson a to z důvodu proprietárního řešení přístupové sítě WDM PON na platformě LG-Ericsson EA 1100 Multiservice Ethernet Access. Kompletní portfolio účastnických bran bylo představeno v podkapitole 4.4.8 (FTTH) na straně 44 a podkapitole 4.4.9 (FTTB) na straně 45.

Samotný výběr domácí brány opět reflektuje aktivované služby Triple Play, což má za následek snížení pořizovacích nákladů na tato zařízení. Pro koncové klienty, kteří využijí datové a video služby, vyjma služeb hlasových, jsem zvolil účastnickou bránu EARU 1112. Pro klienty, kteří využijí i hlasové služby Triple Play jsem zvolil účastnickou bránu EARU 1113 [49][50][47].

Výše zvolené účastnické brány (LG-Ericsson EARU 1112 a EARU 1113) mají optické rozhraní (směrem k WAN) realizované přes DWDM multiplex, kde kanály v pásmu L slouží pro downstream (z pohledu ONT příjem Rx) a kanály v pásmu C slouží pro upstream (z pohledu ONT vysílání Tx) a to při plně duplexním režimu provozu při přenosové rychlosti 100 Mbit/s. Podrobná funkce optického WDM PON rozhraní včetně autoselekce vlnové délky AWL byla analyzována v podkapitole 4.4 začínající na straně 40. Výkonové úrovně proprietárního WAN rozhraní platformy LG-Ericsson EA 1100 jsou uvedeny v tabulce 4.2 na straně 47 [49][50][47].

Fyzické rozhraní WDM PON na domácí bráně plně vyhovuje mnou navrženému útlumovému plánu, neboť největší vložený útlum v přenosové trase včetně započítané rezervy je přibližně 8,5 dB, přičemž specifikované parametry rozhraní definuje max. vložený útlum pro downstream i upstream 8 dB (resp. HP tzn. High Performance 12 dB) [50][47].

Podrobnější parametry jednotlivých účastnických bran jsou uvedeny v podkapitole 4.4 a z toho důvodu budou dále zmíněny jen vybrané vlastnosti.

Brána LG-Ericsson EARU 1112 je vybavena směrem k LAN čtyřmi Ethernet zásuvkami pro konektory 8P8C (RJ-45) s rozhraním 10/100BASE-T [50][49].

Brána LG-Ericsson EARU 1113 je vybavena směrem k LAN čtyřmi Ethernet zásuvkami pro konektory 8P8C (RJ-45) s rozhraním 10/100BASE-T a dvěma telefonními zásuvkami RJ-11 pro připojení konvenčních telefonních přístrojů [47][49].

Obě brány podporují vzdálený dohled a správu pomocí proprietárního programového vybavení (EA Manager). Přes tento software lze provést vzdálenou konfiguraci, upgrade firmware, zálohu a obnovení aktuální konfigurace a také monitoring teploty. Samozřejmostí je implantace automatické konfigurace IP adres pomocí DHCP, virtuální sítě VLAN, zabezpečení pomocí filtrování MAC adres a samozřejmě řízení kvality QoS [50][47].

Pro distribuci video služeb Triple Play je nutná podpora a implementace technologie příjmu a odbavení multicastového vysílání a s tím spojená podpora protokolu IGMP ve verzi 2 a 3 [50][47].

Pro hlasové služby Triple Play jsou do brány EARU 1113 implementovány elementární stavové a přenosové protokoly jako je SIP, RTP a RTCP a hlasové kodeky G.711, G.726 a G.729A/B [47].

Shodně s první případovou studií bylo rozhodnuto distribuovat televizní vysílání formou IPTV a proto je nutné koncovým klientům nabídnout k odkupu kompatibilní IPTV STB.

Politika distribuce a prodeje IPTV set-top-boxů Motorola VIP1003 je shodná s první případovou studií včetně všech technických parametrů daného STB a z toho důvodu ji v této druhé případové studii vynechávám a bude provedena jen kalkulace. Podrobný rozbor lze nalézt v podkapitole 7.2.3 na straně 91.



Obr. 7.12: LG-Ericsson EARU 1113 [47].

Vzhledem k tomu, že funkce SIP brány je integrována do účastnické brány, budou v rámci přístupové sítě použity konvenční telefonní přístroje. Toto řešení zjednodušuje správu připojených zařízení v rámci sítě. Volba telefonního přístroje je nechána na koncovém účastníkovi [47].

Vícenákklady spojené s montáží a oživením účastnické brány a IPTV STB u koncového klienta jsem stanovil na hodnotu přibližně 100 Kč/přípojka. Tato cena de facto odpovídá nákladům na práci a dopravu servisního technika, který provede instalaci zařízení u klienta. Cena je snížena z důvodu předpokládané hromadné instalace CPE v jednotlivých bytových domech.

Ceny uvedené v tabulce 7.12 byly kalkulovány na vyžádání společností PROFiber Networking CZ s.r.o. (CPE). Cena produktů Motorola vychází z maloobchodních ceníků společnosti Digilive s.r.o a lze předpokládat, že při poptávce by se ceny řídily podle velkoobchodních ceníků. Ostatní ceny vycházejí z dostupných ceníků nebo vlastní kalkulace specifikované výše. Všechny ceny jsou uvedeny v původní měně, v jaké byly zjištěny a jsou uvedeny bez daně z přidané hodnoty.

Tab. 7.12: WDM PON - Kalkulace infrastruktury koncových účastníků.

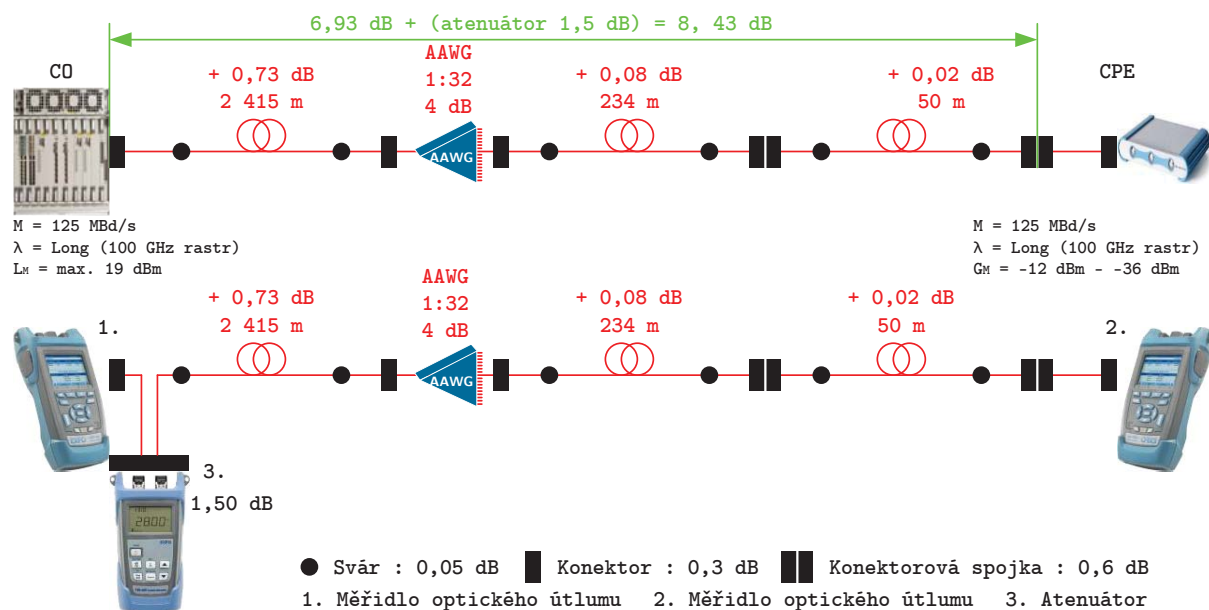
Položka	Množství		Cena za jednotku		Celkem celkem	
OFA Outlet 8686	1 745	ks	75	Kč	130 875	Kč
LG-Ericsson EARU 1112	1 634	ks	4 250	Kč	6 944 500	Kč
LG-Ericsson EARU 1113	111	ks	5 540	Kč	614 940	Kč
Motorola VIP1003 (50 %)	1 745	ks	1 075	Kč	1 875 875	Kč
Motorola NYX (50 %)	1 745	ks	118	Kč	205 910	Kč
Motorola VIP (50 %)	1 745	ks	99	Kč	172 755	Kč
Patchcord SMF 0,9mm, SC/APC	1 745	ks	95	Kč	165 775	Kč
PremiumCord UTP (Cat5e), lanko	17 450	m	7,15	Kč	124 768	Kč
PremiumCord 8P8C (RJ-45), lanko	3 490	ks	1,54	Kč	5 375	Kč
PremiumCord kryt konektoru 8P8C	3 490	ks	1,20	Kč	4 188	Kč
Vícenákklady – montáž CPE	1 745	-	100	Kč	174 500	Kč
CELKOVÁ CENA					10 419 461	Kč

7.3.4 Vybrané simulace

Tato podkapitola obsahuje vlastní řešení simulací navržené optické přístupové sítě v rámci druhé případové studie spojené s návrhem optické přístupové sítě FTTH.

Vzhledem ke konstrukci simulačního programu OptSim společnosti RSoft lze považovat simulaci pouze za orientační (viz Vybrané simulace první případové studie).

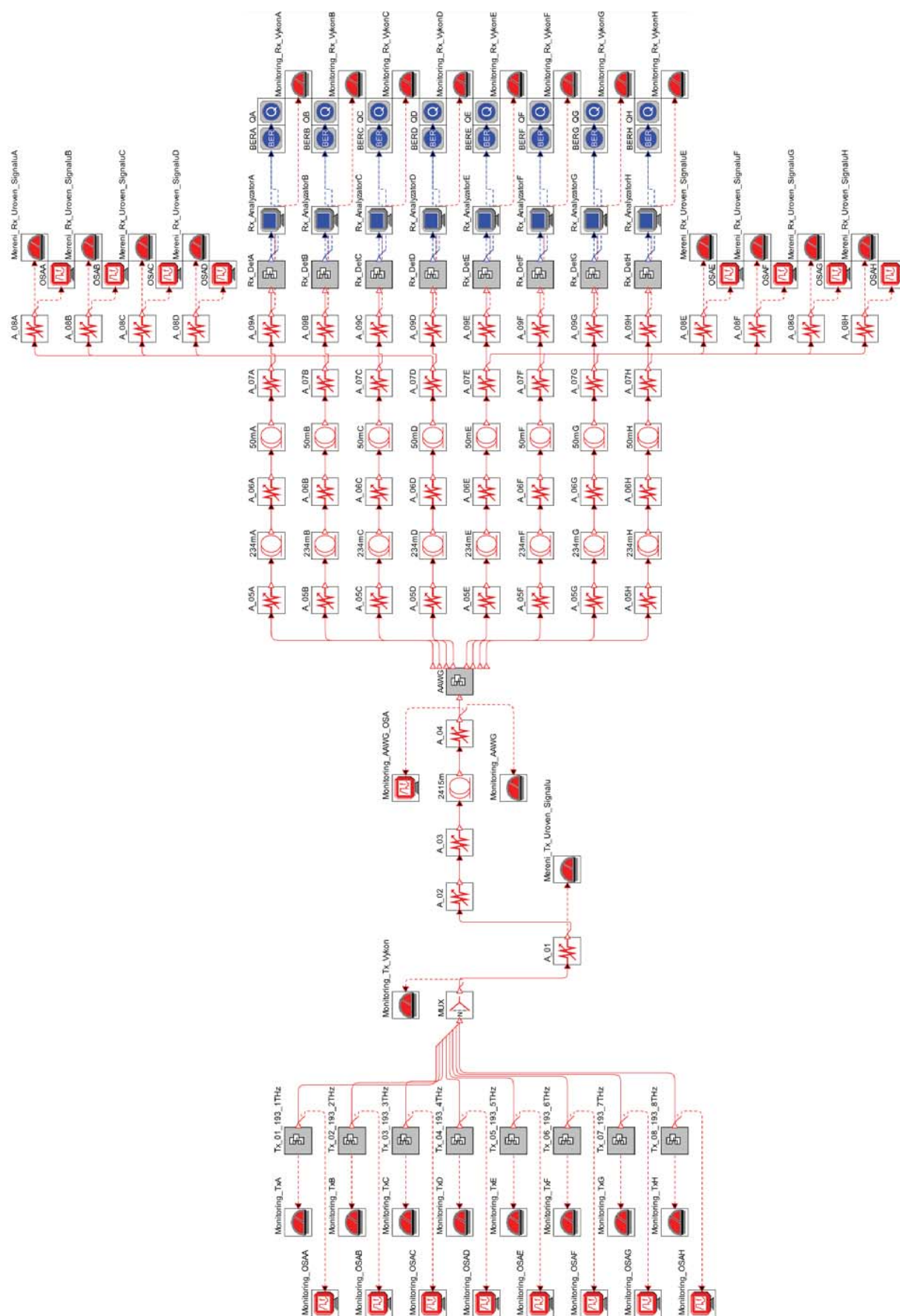
V horní části obrázku 7.13 je znázorněno propojení distribučního centra a koncového klienta přes vyhrazený vlnový kanál hustého vlnového multiplexu mezi rozhraním WDM PON služební karty osazené v šasi platformy LG-Ericsson EA 1100 a optickým rozhraním domácí brány. Záměrně jsem zvolil parametry vložného útlumu a délky trasy podle nejvzdálenějšího připojeného objektu označeného jako R2-04. Zeleně je vyznačena trasa po účastnickou zásuvku a k tomu odpovídající útlum optické trasy.



Obr. 7.9: Schéma měření WDM PON.

V dolní části obrázku 7.13 je vyznačeno zapojení dvou obousměrných měřidel optického útlumu a současně je do měřené optické trasy zapojen měřicí optický attenuátor s nastavenou hodnotou vložného útlumu 1,5 dB (+0,6 dB patchcord). Zapojení attenuátoru simuluje plánovanou rezervu kompenzující stárnutí optického vlákna.

Z výše popsaného navrženého měření jsem sestavil simulační zapojení v programu OptSim (viz obrázek 7.14).



Obr. 7.10: Schéma simulace WDM PON.

Opět platí výhoda, že simulační program a s tím spojený navržený model umožňuje odečítat výkonové úrovně optického signálu jak v místě skutečného zapojení měřidla útlumu, tak uvnitř optických rozhraní na straně vysílače a na straně přijímače. Simulační model byl sestaven pouze pro sestupný směr vysílání (downstream) a to jen pro 8 vlnových kanálů namísto 32, což snížilo čas simulace.

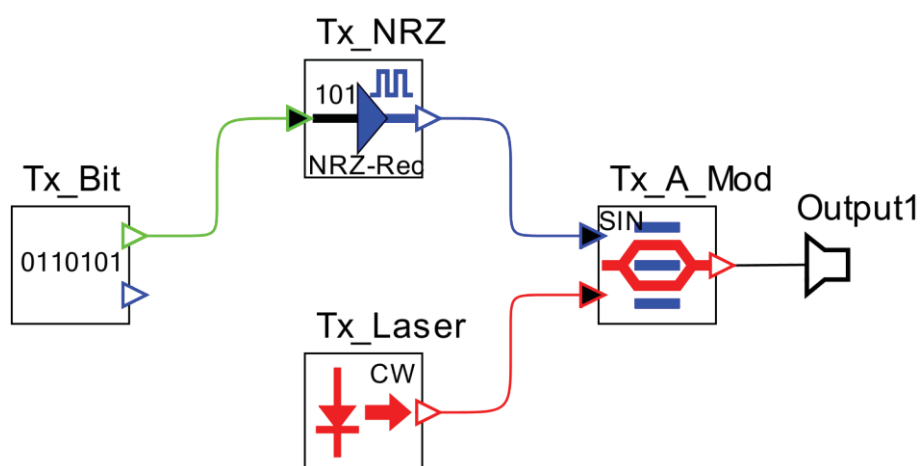
Stranu vysílače jsem sestavil tak, aby umožňovala vysílání na 8 vlnových kanálech hustého vlnového multiplexu DWDM v pásmu L při rastru 100 GHz.

Výpočet nosných frekvencí jednotlivých vlnových kanálů byl proveden podle vzorce (4.1) a výsledky jsou zobrazeny v tabulce 7.13.

Tab. 7.13: Nastavení DWDM multiplexu¹⁴.

Kanál [-]	Frekvence [THz]	Vlnová délka [nm]
0	193,1	1552,52
1	193,2	1551,72
2	193,3	1550,92
3	193,4	1550,12
4	193,5	1549,32
5	193,6	1548,51
6	193,7	1547,72
7	193,8	1546,92

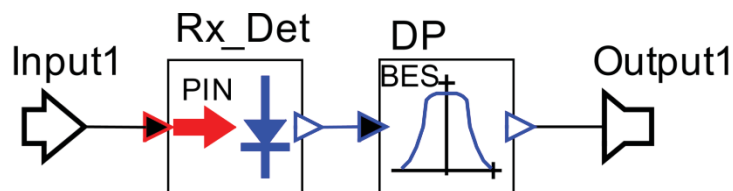
Struktura elementárního vysílače jednoho vlnového kanálu je zobrazena na obrázku 7.15. Modulační rychlost je nastavena 125 MBd/s, resp. přenosová rychlost 125 Mbit/s a výkon laseru na -3 dBm.



Obr. 7.15: Struktura elementárního vysílače.

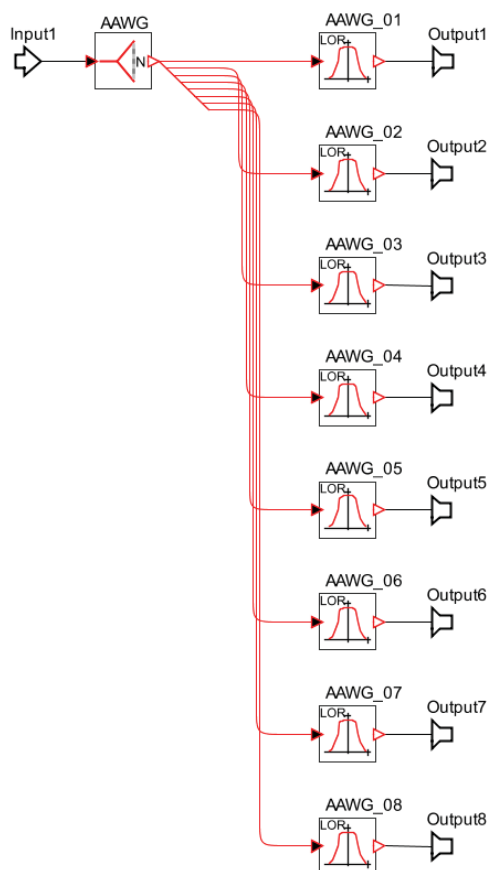
¹⁴ $c = 299\,792\,458$ m/s

Strana přijímače je zjednodušeně tvořena PIN fotodiodou a dolní propustí. Za tento modul jsou následně připojeny analyzátoři BER, Q-faktoru a elektrický osciloskop. V simulaci není uvažována podpora technologie AWL, tj. autoselekce vlnové délky, a z toho důvodu je PIN fotodioda naladěna na specifickou vlnovou délku manuálně.



Obr. 7.16: Struktura optického přijímače.

Model teplotně kompenzované odbočnice AAWG jsem vytvořil z bloku optického rozbočovače, kterému jsem nastavil útlum 4 dB, to odpovídá vloženému útlumu odbočnice LG-Ericsson AAWG WPF 1132c. Na jednotlivé výstupy rozbočovače jsou vloženy optické filtry typu pásmová propust, které propouštějí jen vlnové délky blízké pilotní frekvenci daného kanálu. Fyzikální princip AWG je jiný, ale pro danou simulaci je navržený model dostatečný.



Obr. 7.17: Struktura směrové odbočnice AAWG.

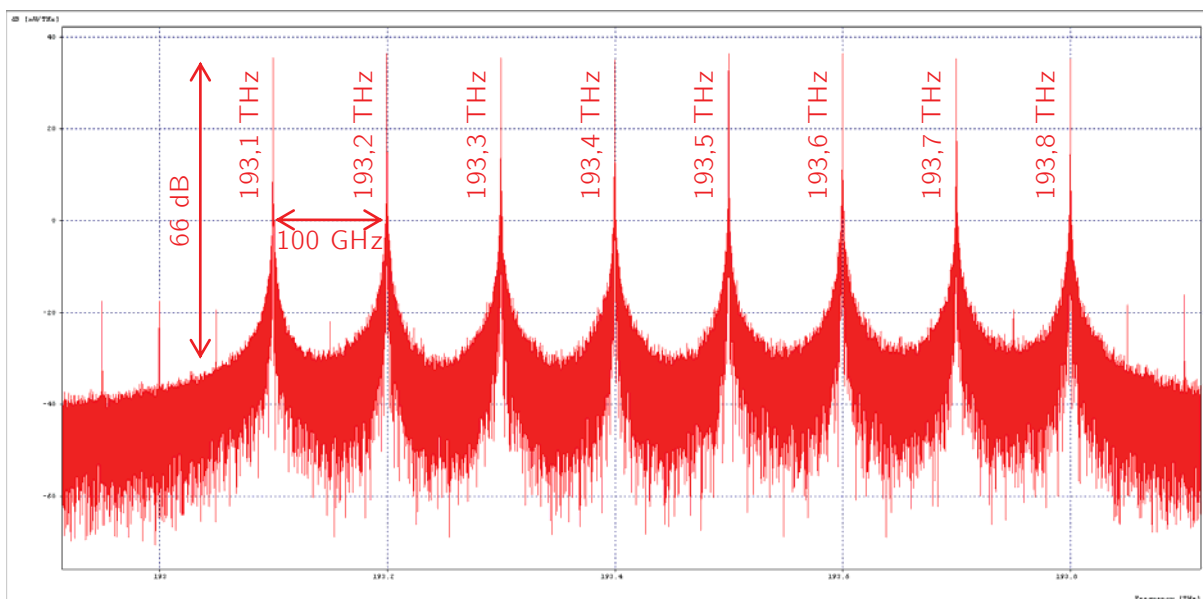
Přenosová trasa je sestavena z bloků simulující optické vlákno a attenuátorů nahrazující vložný útlum konektorů a svárů. Nastavený útlum optického vlákna mimo vnitřní rozvody je uvažován 0,3 dB/km, ve vnitřních rozvodech 0,4 dB/km. Funkce a útlum jednotlivých attenuátorů je uvedena v tabulce 7.14. Vzhledem k relativně malé vzdálenosti není nutné se zabývat CD a PMD.

Tab. 7.14: Optsim – Nastavení attenuátorů (WDM PON).

Označení	A_01	A_02	A_03	A_04	A_05x	A_06x	A_07x	A_08x	A_09x	
A [dB]	0,6	1,5	0,35	0,35	0,35	0,70	0,35	0,6	0,6	dB
Funkce	Svár	-	-	1×	1×	1×	2×	1×	-	-
	Konektor	-	-	1×	1×	1×	2×	1×	-	-
	Atenuátor	-	1×	-	-	-	-	-	-	-
	Patchcord	1×	-	-	-	-	-	1×	1×	-

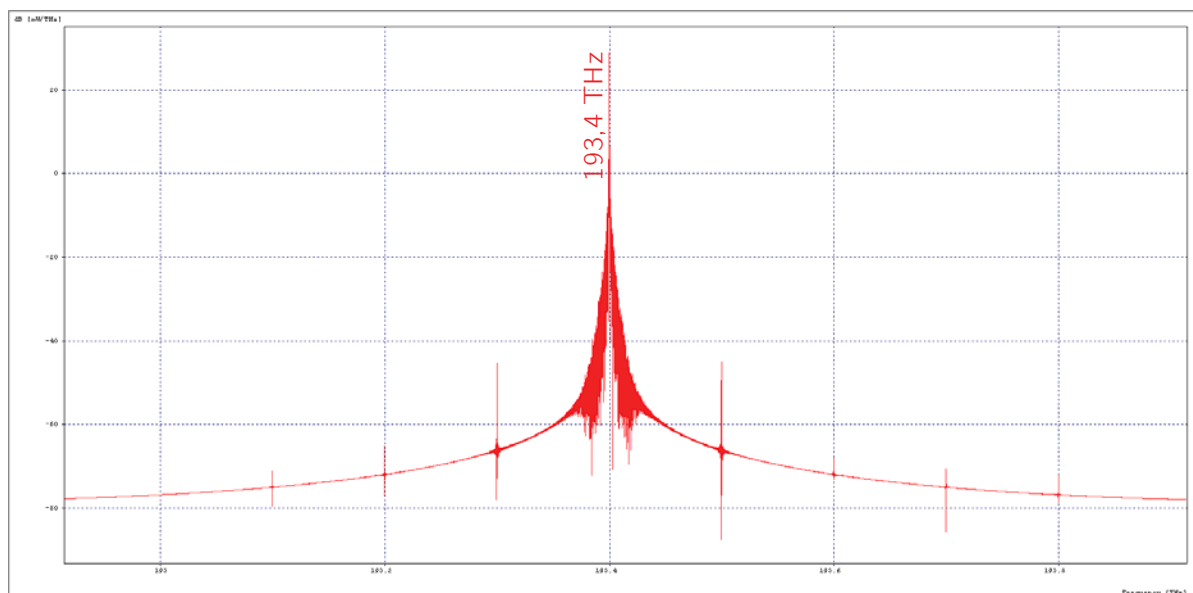
V rámci tohoto simulačního modelu jsem použil modul optického spektrálního analyzátoru OSA. To z důvodu, že umožňuje efektivní měření rozložení výkonu optického signálu ve spektru, což je pro měření na vlnovém multiplexu klíčové. Optický spektrální analyzátozem měřím výstupy elementárních vysílačů, dále vstup směrové odbočnice AAWG a optický signál na jednotlivých účastnických zásuvkách a přitom neuvažuji útlum patchcordu pro připojení tohoto analyzátoru.

Na obrázku 7.18 je zobrazeno rozložení výkonu optického signálu ve spektru na vstupu směrové odbočnice. Konkrétně lze pozorovat spektrum hustého vlnového multiplexu s osmi vlnovými kanály a rastrem 100 GHz. Kmitočet jednotlivých nosných je od 193,1 THz do 193,8 THz s rozestupem 100 GHz.



Obr. 7.11: Spektrum optického signálu na vstupu směrové odbočnice.

Na obrázku 7.19 je zobrazeno rozložení výkonu optického signálu ve spektru s nosnou frekvencí 193,4 THz měřeného na účastnické zásuvce. Lze pozorovat částečné prosakování špiček ostatních vlnových kanálů, které je však v rámci simulace zanedbatelné a souvisí s nastavením pásmových propustí v modelu směrové odbočnice. Výkonová úroveň špičky na frekvenci 193,4 THz je 28,98 dB [mW/THz], pokud tuto hodnotu porovnáme s hodnotou změřenou na výstupu elementárního vysílače (38,64 dB [mW/THz]) zjistíme pokles o přibližně 9,66 dB.



Obr. 7.12: Spektrum optického signálu na účastnické zásuvce (nosná 193,4 THz).

Dosažené výsledky výkonových úrovní optického signálu pro kanál s nosnou 193,4 THz jsou následující:

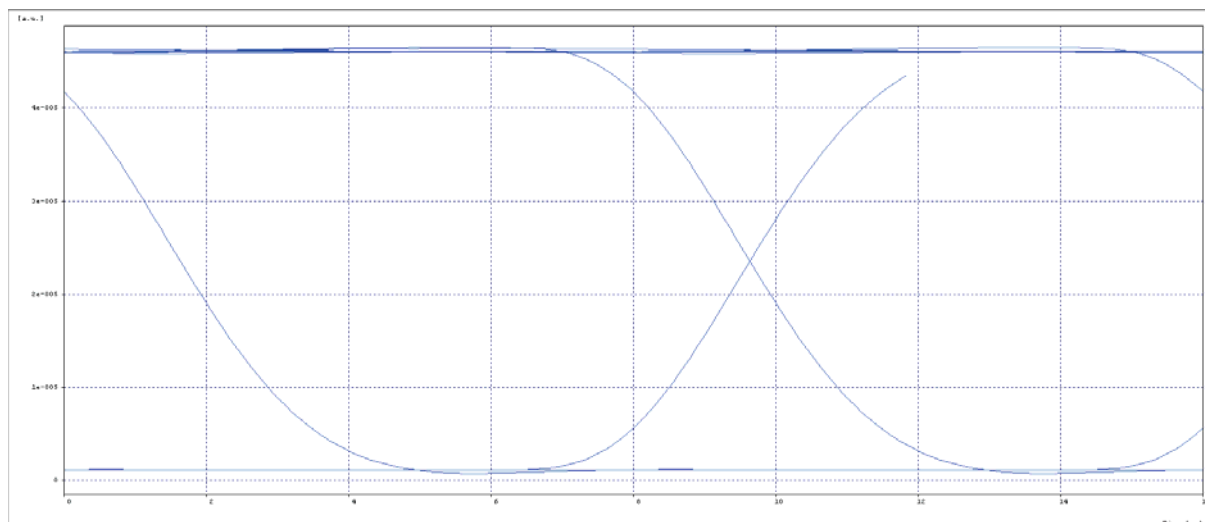
- Úroveň signálu na elementárním vysílači je $-5,834$ dBm (Monitoring_TxD)
- Úroveň signálu na vysílači je $3,197$ dBm (Monitoring_Tx_Vykon)
- Úroveň signálu na přijímači je $-15,517$ dBm (Monitoring_Rx_VykonD)
- Úroveň signálu na měřidle Tx $-2,597$ dBm je (Mereni_Tx_Uroven_Signalu)
- Úroveň signálu na měřidle Rx je $-15,517$ dBm (Mereni_Rx_Uroven_SignaluD)

Naměřené hodnoty úrovně signálu vyhovují specifikacím platformy LG-Ericsson EA 1100 uvedených v tabulce 4.2. Útlum simulované optické trasy od CO po účastnickou zásuvku pro danou vlnovou délku vypočítám odečtením úrovní signálu zjištěných na elementárním vysílači a měřidle úrovní signálů. Útlum optické trasy jsem vypočetl na $9,963$ dB a po odečtení útlumu optických patchcordů se dostanu na hodnotu $8,483$ dB. V útlumovém plánu byla predikována hodnota útlumu $8,43$ dB.

Na obrázku 7.20 je zobrazen získaný diagram oka z navržené simulace pro vlnový kanál s nosnou 193,4 THz. Tento výstup považuji pouze za teoretický. Program OptSim pro tak krátkou vzdálenost optickou trasu idealizuje a z toho důvodu jsou potlačeny parazitní vlivy. S tím souvisí i zkreslené výsledky získané analyzátory BER a Q-fakturu.

Analyzátozem BER jsem zjistil chybovost $0,99999 \times 10^{-40}$. Tuto hodnotu považuje program OptSim jako nejideálnější možnou. V reálné optické síti lze očekávat a změřit bitovou chybovost na fyzické vrstvě v řádech 10^{-11} až 10^{-13} [82][13].

Analyzátozem Q-faktoru jsem zjistil hodnotu Q-faktoru 40 dB. Tuto hodnotu považuje program OptSim jako nejideálnější možnou. V reálné optické síti lze očekávat a změřit hodnotu výrazně nižší [82].



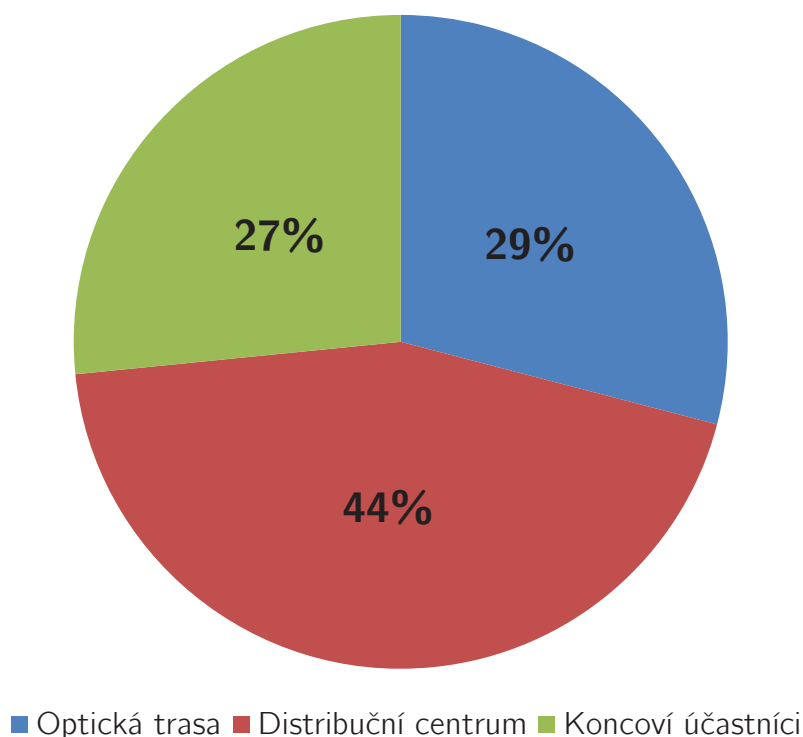
Obr. 7.13: Diagram oka pro 125 Mbit/s (WDM PON).

7.4 Finanční rozvaha

7.4.1 CAPEX: Případová studie – AON P2P

Investiční, resp. kapitálové náklady neboli zkráceně CAPEX (*Capital Expenditure*) tvoří souhrn všech investic do infrastruktury optické trasy, distribučního centra a koncových účastníků.

Pro první případovou studii označovanou zkráceně jako AON P2P jsem stanovil CAPEX na 32 059 tis. Kč. Relativní rozložení CAPEX mezi infrastrukturu optické trasy, distribučního centra a koncových účastníků je v poměru 29:44:27. V absolutních číslech je to 9 318 tis. Kč na optickou trasu, 14 219 tis. Kč pro distribuční centrum a 8 522 tis. Kč pro koncové účastníky.



Obr. 7.21: AON P2P – Relativní rozložení CAPEX.

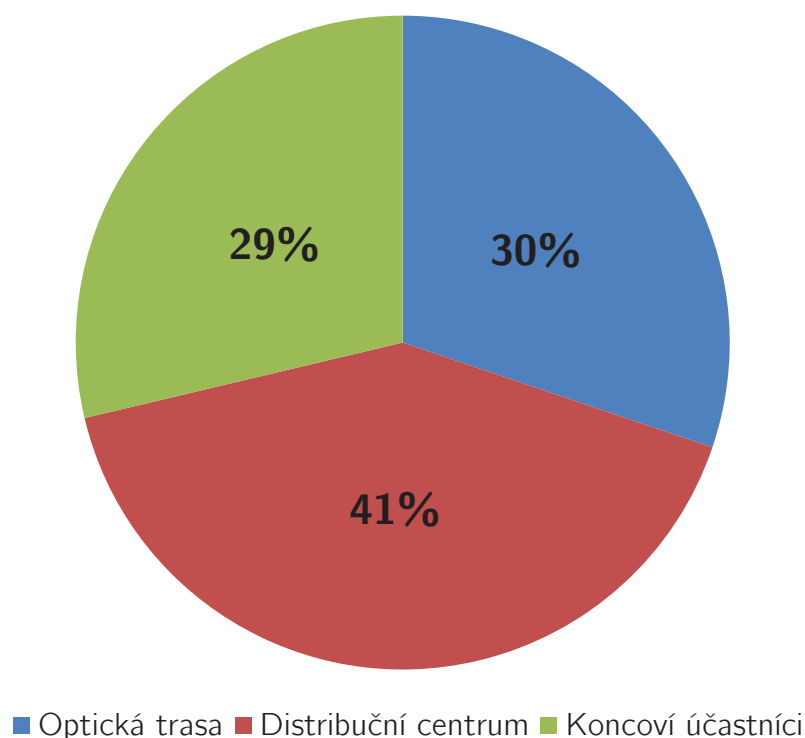
CAPEX infrastruktury optické trasy je výrazně zatížen náklady spojenými s výkopovými pracemi a náklady spojené s fyzickou instalací infrastruktury. Vzhledem k topologii P2P a počtu připojených klientů (tj. 1 745) se zde projevují i zvýšené náklady spojené s investicí do mnohovláknových optických kabelů v páteřní sekci přístupové sítě.

CAPEX infrastruktury distribučního centra je tvořen téměř z 83 % náklady spojenými s nákupem přístupové a agregační platformy PBN AOCM6000. To je logické vzhledem k tomu, že pro každého z 1 745 připojených klientů musí být vyhrazeno separátní spojení aktivního optického Fast Ethernetu. Implementace samotné hlavní stanice IPTV do CAPEX CO tvoří pouze 2,3 % těchto nákladů.

CAPEX infrastruktury koncových účastníků je tvořen z 65 % náklady spojenými s nákupem účastnických bran. Navržený systém dotací nákupu kompatibilních IPTV STB tvoří 26,5 % vynaložených nákladů.

7.4.2 CAPEX: Případová studie – WDM PON

Pro druhou případovou studii označovanou zkráceně jako WDM PON jsem stanovil CAPEX na 36 291 tis. Kč. Relativní rozložení CAPEX mezi infrastrukturu optické trasy, distribučního centra a koncových účastníků je v poměru 30:41:29. V absolutních číslech je to 10 958 tis. Kč na optickou trasu, 14 914 tis. Kč pro distribuční centrum a 10 419 tis. Kč pro koncové účastníky.



Obr. 7.22: WDM PON – Relativní rozložení CAPEX.

CAPEX infrastruktury optické trasy je výrazně zatížen náklady spojenými s výkopovými pracemi a náklady spojené s fyzickou instalací infrastruktury. Pokles nákladů na optické kabely oproti první případové studii je eliminován náklady spojenými s nákupem teplotně kompenzovaných směrových odbočnic AAWG. Náklady na koupi AAWG tvoří 22,5 % investičních nákladů na infrastrukturu optické trasy.

CAPEX infrastruktury distribučního centra je tvořen téměř z 90 % náklady spojenými s nákupem přístupové platformy LG-Ericsson EA 1100 a agregační platformy PBN AOCM6000. Implementace samotné hlavní stanice IPTV do CAPEX CO tvoří pouze 2,2 % těchto nákladů.

CAPEX infrastruktury koncových účastníků je tvořen ze 73 % náklady spojenými s nákupem účastnických bran. Navržený systém dotací nákupu kompatibilních IPTV STB tvoří pouze 21,6 % vynaložených nákladů.

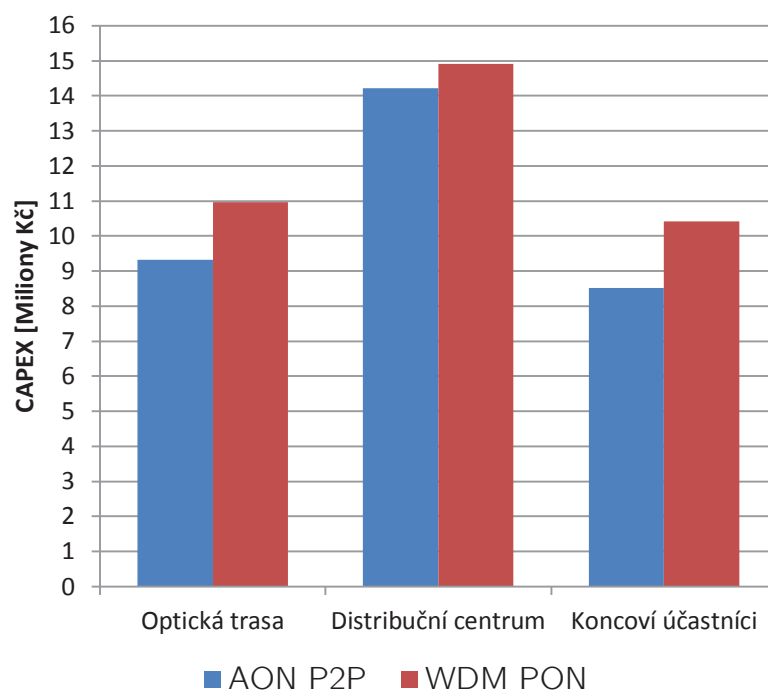
7.4.3 CAPEX: Srovnání případových studií

Srovnání investičních nákladů první a druhé případové studie je jedním z nezbytných podkladů pro rozhodnutí, kterou technologii výstavby v dané lokalitě zvolit a v závěru této diplomové práce doporučit. Pochopitelně CAPEX nesmí být jediným rozhodujícím faktorem pro volbu výsledné studie. Je nutné reflektovat budoucí vývoj sítě a její rozšiřování v dané lokalitě, pokud se rozšíření předpokládá.

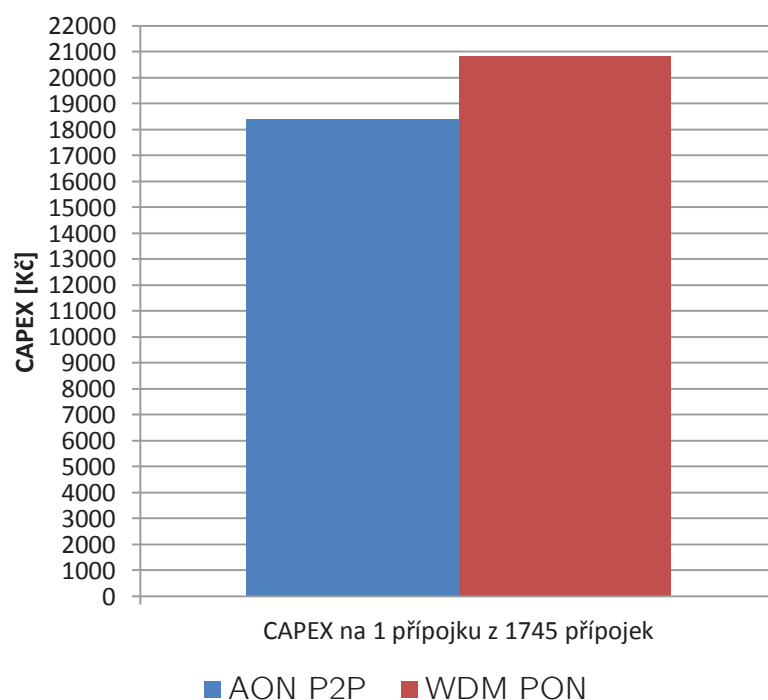
Obecně je nasazení technologie WDM PON v oblasti přístupových sítí FTTH vnímáno jako experimentální či akademické a investičně nákladnější proti technologii aktivního Ethernetu. Tento předpoklad se v CAPEX potvrdil jen částečně a to díky provedení technicko-ekonomické optimalizace, kdy se mi podařilo dosáhnout poměru mezi aktivními a neaktivními přípojkami 1:0,0269. Provedení technicko-ekonomické optimalizace považuji jako stěžejní a je vhodné ji provést ve všech sítích, kde je využita směrová odbočnice (A)AWG nebo rozbočovač. Tím se eliminují nevyužité porty na odbočnicích a rozbočovačích a současně se sníží počet rozhraní jednotek OLT.

Srovnání CAPEX WDM PON vůči AON P2P je následující: Náklady na infrastrukturu optické trasy jsou vyšší přibližně o 18 % (1 640 tis. Kč), náklady na infrastrukturu distribučního centra jsou vyšší přibližně o 5 % (695 tis. Kč), náklady na infrastrukturu koncových účastníků jsou vyšší o přibližně o 22 % (1 897 tis. Kč).

V celkovém součtu vychází CAPEX WDM PON vůči AON P2P vyšší přibližně o 13 % (4 232 tis. Kč). CAPEX na jednu účastnickou přípojku jsou v případě první případové studie (AON P2P) 18 372 Kč/přípojka a v případě druhé případové studie (WDM PON) jsou tyto náklady 20 797 Kč/přípojka.



Obr. 7.23: CAPEX - Srovnání případových studií.



Obr. 7.24: CAPEX – Účastnická přípojka.

7.4.4 OPEX

Provozní náklady neboli zkráceně OPEX (*Operating Expense*) tvoří souhrn všech nákladů nutných pro běžný provoz přístupové sítě (tj. např. náklady za služby, náklady za zaměstnance, náklady za nový materiál a odpisy starších zařízení a v neposlední řadě náklady spojené s odvodem daní a ostatních poplatků).

V rámci této diplomové práce budou vyzdvihnuty jen některé segmenty nákladů patřící do OPEX, neboť právní problematiky provozu přístupové sítě a s ní související náklady přesahují rozsah této práce.

OPEX: Konektivita

Obě případové studie jsou geograficky situovány na půdorysu města Bystřice nad Pernštejnem v okrese Žďár nad Sázavou. Z toho důvodu je nezbytné využít pro připojení navržených přístupových sítí existující transportní nebo páteřní sítě blízké této lokalitě.

Z územního plánu města Bystřice nad Pernštejnem bylo zjištěno, že toto město je připojeno na optickou páteřní síť společnosti SELF servis spol. s r.o. v rámci projektu CzechBone. Z mapových podkladů vyplývá, že tato slepá větev optické páteřní sítě CzechBone je zakončena v budově městského úřadu sídlícího na ulici Příční č.p. 405. Situování optického distribučního rozvaděče ODF (*Optical Distribution Frame*) právě v této lokaci je velice výhodné. To z důvodu, že kolem této budovy vede trasa mnou navržené přístupové sítě, z čehož vyplývají téměř nulové náklady na výkopové práce. Zakreslení optické trasy SELF servis spol. s r.o. včetně ODF je v Příloze E znázorněno zelenou barvou.

Do celkových CAPEX první a druhé případové studie nebudou náklady spojené na připojení do projektu sítě SELF servis uvažovány. To z důvodu, že jsou vzhledem k ceně navrženého projektu irelevantní.

U obou případových studií v návrhu distribučního centra bylo uvažováno uplink rozhraní s konektivitou 2×10 Gbit/s. Společnost SELF servis sdělila pouze cenu 1 Gbit/s konektivitu a to je přibližně 75 000 Kč/měsíc. Tomu se musím přizpůsobit, proto uvažuju odkup 2×1 Gbit/s za cenu 150 000 Kč/měsíčně. Po technické stránce věci obě distribuční centra zůstanou navržena pro konektivitu 2×10 Gbit/s. Neboť předpokládám, že přechod na 10 Gbit/s rozhraní je nutností pro zajištění dostatečné konektivity do sítě internet.

OPEX: Televizní vysílání

Provozní náklady spojené s příjmem, zpracováním a distribucí televizního vysílání představují náklady spojené s platbou za přijímanou programovou nabídku z DVB-S/S2, potažmo je nutné uzavřít smlouvu s poskytovateli těchto vysílání.

Dále je nutné sjednat smluvní vztah se všemi svazy autorskými registrovanými v České republice¹⁵ a s tím pochopitelně spojené provozní náklady.

Bohužel tyto ceny jsou zpravidla vyjednávány mezi dvěma stranami a jsou standardně rozdílné dle vyjednaných podmínek a pochopitelně jsou tyto smlouvy neveřejné. Tyto provozní náklady se mi nepodařilo zjistit. V rámci amortizace projektu budou tyto provozní náklady uvažovány na 52 350 Kč/měsíc, tj. 10 % z hrubého příjmu za tuto službu.

OPEX: VoIP

Služba VoIP je realizována v rámci outsourcingu společností FAYN Telecommunications s.r.o. a vzhledem k nastavení této služby nepřináší realizace této služby žádné provozní náklady. Náklady za telefonování mimo přístupovou síť jsou účtovány přímo koncovým klientům.

OPEX: Energie

Spotřeba infrastruktury distribučního centra byla stanovena z katalogových listů a technické dokumentace jednotlivých zařízení na průměrnou hodnotu přibližně 10 kWh. Pokud započteme spotřebu sekundárních spotřebičů (osvětlení, klimatizace, UPC), získáme hodnotu přibližně 14 kWh. Pokud místo měsíčního zúčtování uvážím roční, dostanu se na hodnotu $14 \times 24 \times 365$ kWh tj. 122,644 MWh.

Dle platných ceníků E.ON Česká republika, s.r.o. vychází roční náklady za odběr elektrické energie na 544 527 Kč, resp. měsíční záloha 45 377 Kč, resp. 4 236 Kč/MWh. Vstupní konfigurace kalkulátoru je následující: Zvolený produkt – StandardPower, distribuční sazba – c03d, jistič 3×32A, spotřeba ve VT: 122,644 MWh, spotřeba v NT: 0 MWh. V ceně jsou zahrnuty poplatky spojené s cenou systémových služeb, s podporou elektřiny z obnovitelných zdrojů, s činností Operátorů trhu s elektřinou a.s. [11].

¹⁵ OSA, INTERGRAM, DILIA, OOA-S, GESTOR, ČNS IFPI, ČPU, BSA

OPEX: Mzdy, provoz kanceláře a distribučního centra

Provozní náklady spojené s měsíčními mzdami zaměstnanců jsou stanoveny pro následnou amortizaci projektu následovně. Je uvažováno zaměstnání technika s průměrnou měsíční mzdou 25 000 Kč a pracovníci kanceláře pro styk s veřejností s měsíční mzdou 18 000 Kč.

Náklady spojené s pronájmem prostor distribučního centra a prostor kanceláře pro styk s veřejností jsou stanoveny na 20 000 Kč/měsíc.

OPEX: Fond oprav a rozvoje

Do provozních nákladů jsem se rozhodl zahrnout náklady spojené s běžnými opravami a odpisem zařízení. Zároveň by tyto prostředky měly v budoucnu umožňovat rozvoj a modernizaci přístupové sítě. V rámci amortizace projektu budou tyto provozní náklady uvažovány na 44 572 Kč/měsíc, tj. 5 % z hrubého příjmu za všechny služby Triple Play.

7.4.5 Návrh služeb Triple Play

Struktura a ceny služeb Triple Play musí reflektovat strukturu a ceny obdobných služeb nabízených konkurenčními subjekty v lokalitách typově podobných.

Tato práce se zaměřuje na přístupové sítě situovaných do menších lokalit (uvažujeme typově obce s méně než 15 000 obyvateli) a z toho důvodu je nutné si provést cenovou analýzu ostatních poskytovatelů v dané lokalitě. V úvodu této práce bylo zmíněno, že optická přístupová síť FTTH by neměla tvořit konkurenci pro poskytovatele Triple Play přes kabelové rozvody, spíše by je měla nahrazovat. Proto ceny služeb Triple Play kabelového operátora poslouží jako referenční.

Zvolil jsem ceník lokálního kabelové operátora spol. Satt a.s. a vybral jsem služby, které kvalitativně mohou odpovídat službám mnou navržené sítě. Cena datových služeb (tj. připojení k internetu) je bez DPH 564 Kč za přípojku o rychlosti 50/4 Mbit/s (download/upload). Ceny video služeb (tj. příjem televizního vysílání) je bez DPH 332 Kč za programovou skladbu složenou z 94 stanic (HDTV+SDTV). Cena hlasových služeb (tj. VoIP telefonie) je bez DPH 60 Kč (+ cena za provolané minuty mimo přístupovou síť).

Ze vstupních dat předchozího odstavce jsem stanovil ceny služeb Triple Play a jejich primární parametry následovně (uvedeno bez DPH):

- Datové služby:
 - o Internet:
 - Parametr: 100/100 Mbit/s (download/upload)
 - Koncová cena: 500 Kč/měsíc
 - Aktivních účastníků: 725
 - o Vzdálené úložiště:
 - Parametr: 10 GB (+ n GB za příplatek)
 - Koncová cena: 0 Kč/měsíc (+ 1 Kč/GB a měsíc)
 - Aktivních účastníků: 725 (+ 0)
- Video služby:
 - o IPTV
 - Parametr: 68 stanice HDTV+SDTV
 - Koncová cena: 300 Kč/měsíc
 - Aktivních účastníků: 1 745
 - o VoD¹⁶
- Hlasové služby:
 - o VoIP:
 - Koncová cena: 49 Kč/měsíc + poplatek za provolané minuty
 - Aktivních účastníků: 111

¹⁶ Distribuční centrum je po technologické stránce na provoz VoD vybaveno. V rámci této práce není odkup licenčních práv a jiných poplatků pro služby typu VoD uvažováno a z toho důvodu není provedena aktivace a nacenění této služby.

7.4.6 Závěrečná finanční bilance a amortizace

Kapitola závěrečné finanční bilance a amortizace je nedílnou součástí této diplomové práce a uzavírá oba technické návrhy přístupové sítě po ekonomické stránce věci.

V tabulce 7.15 jsou shrnuty provozní příjmy a výdaje. Tyto příjmy a výdaje jsou stejné jak pro první případovou studii (AON P2P), tak pro druhou případovou studii (WDM PON). Strana příjmů shrnuje předpokládané příjmy z poskytovaných služeb Triple Play. Výdajová strana shrnuje předpokládané výdaje zajišťující provoz a údržbu přístupové sítě. Čisté příjmy jsem vypočítal na 536 140 Kč/měsíc. Tato částka bude v plné výši použita pro amortizaci vynaložených investičních nákladů, resp. zjednodušeně pro umoření půjčky nutné pro realizaci projektu optické přístupové sítě FTTH. Ceny v tabulce jsou uvedeny bez daně z přidané hodnoty a není uvažováno zdanění příjmů z tohoto projektu.

Tab. 7.15: Závěrečná finanční bilance provozních nákladů.

PŘÍJMY							
Položka	Množství	Příjmy za jednotku		Příjmy celkem			
Internet	725	500	Kč/měsíc	362 500	Kč/měsíc	4 350 000	Kč/rok
Televize	1 745	300	Kč/měsíc	523 500	Kč/měsíc	6 282 000	Kč/rok
Telefon	111	49	Kč/měsíc	5 439	Kč/měsíc	65 268	Kč/rok
VÝDAJE							
Položka	Množství	Výdaje za jednotku		Výdaje celkem			
Konektivita	2	75 000	Kč/měsíc	150 000	Kč/měsíc	1 800 000	Kč/rok
Televize	1	52 350	Kč/měsíc	52 350	Kč/měsíc	628 200	Kč/rok
Energie	1	45 377	Kč/měsíc	45 377	Kč/měsíc	544 527	Kč/rok
Mzdy	2	21 500	Kč/měsíc	43 000	Kč/měsíc	516 000	Kč/rok
Pronájem	1	20 000	Kč/měsíc	20 000	Kč/měsíc	240 000	Kč/rok
Fond oprav	1	44 572	Kč/měsíc	44 572	Kč/měsíc	534 864	Kč/rok
PŘÍJMY A VÝDAJE CELKEM							
Příjmy celkem				891 439	Kč/měsíc	10 697 268	Kč/rok
Výdaje celkem				355 299	Kč/měsíc	4 263 591	Kč/rok
ČISTÉ PŘÍJMY							
ZISK				536 140	Kč/měsíc	6 433 677	Kč/rok

Amortizace investičních nákladů (umoření CAPEX) jsem provedl následovně. Jako měsíční splátka je uvažována částka 536 tis. Kč, tj. částka odpovídající zisku z přístupové sítě za každý měsíc provozu při stávajícím počtu klientů a složení služeb Triple Play. Roční nebo měsíční úroková sazba není uvažována. Cílovým sledovaným parametrem je počet měsíčních splátek vzhledem k investičním nákladům na AON P2P a WDM PON.

Tab. 7.16: Amortizace investičních nákladů.

CAPEX				
	AON P2P		WDM PON	
Optická trasa	9 318	tis. Kč	10 958	tis. Kč
Distribuční centrum	14 219	tis. Kč	14 914	tis. Kč
Koncoví účastníci	8 522	tis. Kč	10 419	tis. Kč
Celkem	32 059	tis. Kč	36 291	tis. Kč
AMORTIZACE				
	AON P2P		WDM PON	
Výše úvěru	32 059	tis. Kč	36 291	tis. Kč
Měsíční splátka	536	tis. Kč	536	tis. Kč
Úroková sazba	0	%	0	%
Délka úvěru	60	měsíců	68	měsíců

Z tabulky 7.16 jednoznačně vyplývá, že amortizace investičních nákladů pro první případovou studii za stanovených podmínek bude trvat 60 měsíců a pro druhou případovou studii za stejných podmínek bude trvat 68 měsíců.

V závěru této podkapitoly, resp. celé kapitoly „Finanční rozvaha“ je vhodné provést závěrečnou celkovou finanční rozvahu přes obě případové studie.

Byly zjištěny dva trendy, které jsou obecně pro rozvoj sítí typu FTTH podstatné z ekonomického hlediska. První z nich je razantní pokles ceny technologií nutných pro realizaci vlnového multiplexu na přístupové optické sítě za předpokladu správné technicko-ekonomické optimalizace, která byla v práci provedena. Druhý trend, který z práce vyplývá je sbližování parametrů CAPEX/přípojka u obou technologií výstavby přístupové sítě při zvyšujícím se počtu připojených účastníků k distribučnímu centru. Pokud by měl být arbitrem volby mezi první a druhou případovou studií parametr CAPEX/přípojka, tak lze doporučit síť navrženou v první případové studii – tj. Aktivní optická síť s topologií P2P.

ZÁVĚR

Závěrem této diplomové práce na téma „Nasazení FTTH v lokálních sítích“ je nutné shrnout dosažené výsledky. Optické přístupové sítě FTTH vedoucí optické vlákno do každé domácnosti je koncepce, která se ukázala jako vhodná pro oblast lokálních neboli místních poskytovatelů telekomunikačních služeb a kabelové televize. Právě pro tyto poskytovatele služeb Triple Play představuje koncepce sítí FTTH při správném nastavení konkurenční výhodu proti velkým národním operátorům poskytujících kvalitativně obdobné služby. Vzhledem k životnosti pasivní optické infrastruktury, která se odhaduje na více než 50 let, je přechod z konvenčních přístupových sítí na optické garancí jistoty rentability vynaložených investic.

Vlastním návrhem dvou hlavních stanic pro příjem, zpracování a distribuci televizního vysílání se mi podařilo dokázat, že hlavní stanice IPTV v porovnání s hlavní stanicí CATV není po technické ani ekonomické stránce projektu náročnější, resp. nákladnější, přičemž začlenění hlavní stanice IPTV do distribučního centra, resp. do přístupové sítě jako takové nepřináší další investiční náklady.

V rámci této práce byly vytvořeny dvě případové studie. První se ubírá cestou vyhrazeného optického vlákna pro každého klienta při využití komponent aktivního optického Ethernetu. Proti tomu druhá se ubírá cestou nasazením hustého vlnového multiplexu přes přístupovou síť. Tato koncepce se označuje jako WDM PON a v současnosti je její nasazování do komerčního provozu více méně sporadické. Obecně přijímaný fakt, že tato koncepce je několikanásobně dražší než realizace aktivní optické sítě s vyhrazeným optickým vláknem se mi v práci podařilo částečně vyvrátit. Ano, z dosažených výsledků je patrné, že náklady na 1 přípojku při 1 745 připojených klientech jsou pro AON P2P nižší (18 372 Kč) a pro WDM PON vyšší (20 797 Kč). Z toho důvodu je nutné pro danou modelovou situaci doporučit první případovou studii. Ale za předpokladu rozšiřování optické sítě v budoucnu nebo při vyšším počtu připojených klientů v počátku se jeví realizace sítě FTTH jako WDM PON jako schůdnější a ekonomičtější varianta. Ze získaných poznatků lze predikovat rozvoj WDM PON a současně technologie IPTV v rámci sítí typu FTTH.

Svou práci bych rád zakončil stejnými větami, které jsem citoval v úvodu práce: „Dnes více než miliarda kilometrů optických vláken po celém světě vytváří páteř moderních globálních telekomunikací“ a „Text, hudba, obrázky a videa mohou být šířeny po zeměkouli ve zlomku sekundy“ [21].

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] 10-Gigabit Ethernet 10GBASE Optical Interface Specifications. JUNIPER NETWORKS, Inc. *Juniper Networks* [online]. Sunnyvale (USA): Juniper Networks, Inc., 2012-03-22 [cit. 2012-10-16]. Dostupné z: https://www.juniper.net/techpubs/en_US/release-independent/junos/topics/reference/specifications/transceiver-m-mx-t-series-10-gigabit-optical-specifications.html#jd0e376
- [2] AT-MC1008/SP: 1000T Gigabit Ethernet to fiber SFP standalone media converter. ALLIED TELESIS, Inc. *Allied Telesis, Inc: the solution : the network* [online]. Tokyo (Japan): Allied Telesis, Inc, © 2012 [cit. 2012-11-12]. Dostupné z: <http://alliedtelesis.com/p-2215.html>
- [3] AT-x900-48FS: 48 x fast Ethernet SFP ports Layer 3 switch with 4 x Gigabit uplink ports. ALLIED TELESIS, Inc. *Allied Telesis, Inc: the solution : the network* [online]. Tokyo (Japan): Allied Telesis, Inc, © 2012 [cit. 2012-11-12]. Dostupné z: <http://alliedtelesis.com/p-2463.html>
- [4] BLANKOM ANTENNENTECHNIK GMBH. *BLANKOM Antennentechnik GmbH* [online]. Bad Blankenburg (Germany), © 2011 [cit. 2012-11-09]. Dostupné z: <http://www.blankom.de>
- [5] BROSZKA, Jesper a Thomas BUHR. DKT COMEGA. *DKT COMEGA 797xx series*. Kirke Saaby (Denmark): DKT Omega, 2011-08-01, 13 s. Dostupné z: http://dkt.dk/Files/Filer/PowerPoints/79700_Series_presentation.ppt
- [6] Česká republika. Vyhodnocení průběhu přechodu zemského analogového televizního vysílání na zemské digitální televizní vysílání: Stav k 30. září 2011. In: *Zpráva č. 7 dle nařízení vlády č.161/2008 Sb.* Praha (Česká republika): Český telekomunikační úřad, 2011-10-11, roč. 2011, č. 7, s. 14. Dostupné z: http://www.ctu.cz/cs/download/digitalni_vysilani/zprava-07_vyhodnoceni_tpp_15_09_2011.pdf
- [7] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Český statistický úřad: Sčítání lidu, domů a bytů 2011* [online]. Praha, Česká Republika: Český statistický úřad, © 2009-2011, 2013-02-20 [cit. 2013-02-24]. Dostupné z: <http://www.scitani.cz/>
- [8] DKT COMEGA. *79600 series CPE / Fiber Termination Unit: High level specifications* [online]. Kirke Saaby (Denmark), 2011-05-30 [cit. 2013-03-07]. Dostupné z: http://www.profiber.eu/files/796xx_High_level_specifications_005.pdf
- [9] DKT COMEGA. *79700 series fiber termination unit/wall outlet: High level specifications* [online]. Kirke Saaby (Denmark), 2012-09-18, 2 s. [cit. 2013-03-07]. Dostupné z: <http://dkt.dk/Files/Filer/PDF/Datasheets/forsete.pdf>
- [10] DuraFlat. DURA-LINE CT, s.r.o. *Dura-Line: Europe* [online]. Tlumačov (Česká republika): DURA-LINE CT, s.r.o., ©2012 [cit. 2012-11-02]. Dostupné z: <http://www.duraline.cz/content/duraflat>
- [11] E.ON ČESKÁ REPUBLIKA, s.r.o. *E.ON* [online]. České Budějovice (Česká republika): E.ON Česká republika, s.r.o., 2013 [cit. 2013-03-23]. Dostupné z: <http://www.eon.cz>
- [12] FAYN TELECOMMUNICATIONS S.R.O. *Fayn: Specialista na volání přes Internet* [online]. Brno (Česká republika), © 2001-2011 [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://www.fayn.cz/>

- [13] FILKA, Miloslav. *Optoelectronics for telecommunications and informatics*. Litozeman. Dallas, Texas (USA): OPTOKON CO., LTD., & METHODE ELECTRONIC., Inc., Publishers, 2009, 398 s. ISBN 978-0-615-33185-0.
- [14] FORARA CO., Ltd. *Forawa: For Better Life Connection* [online]. Shenzhen (China): Forara Co., Ltd., © 2006-2011 [cit. 2012-11-12]. Dostupné z: <http://www.forara.com>
- [15] FTTH COUNCIL EUROPE. *Wiki of the FTTH Council Europe* [online]. Genval (Belgie): FTTH Council Europe, © 2007 - 2012, 2012-02-09 [cit. 2012-10-13]. Dostupné z: <http://wiki.ftthcouncil.eu/>
- [16] GIRARD, André et al. EXFO ELECTRO-OPTICAL ENGINEERING INC. *Guide To WDM Technology & Testing*. 2nd edition. Ghislain LÉVESQUE, Vance OLIVER. Caroline BRUNET, Nathalie COULOMBE, Annie FOURNIER, Alain ROBERGE. Quebec City (Canada): EXFO Electro-Optical Engineering Inc., 2000, 205 s. ISBN 1-55342-001-2.
- [17] GIRARD, André. EXFO ELECTRO-OPTICAL ENGINEERING INC. *FTTx PON Technology and Testing: A detailed review of system performances, issues and testing solutions*. Quebec City (Canada): EXFO Electro-Optical Engineering Inc., 2005, 197 s. ISBN 15-534-2006-3.
- [18] GIRME, Nikhil. *What is DOCSIS?: Data over cable service interface specifications* [online]. Pune (Indie), 2009-12-17 [cit. 2012-10-12]. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/24225986/What-is-Docsis>
- [19] GÖLLNER, Jiří. Distribuce TV signálů v sítích FTTH aneb jinak než IPTV: IPTV - konference FTTH Ostrava 2011. In: *PROFiber Networking CZ* [online]. Praha: PROFiber Networking CZ, 2011-10-13 [cit. 2012-11-09]. Dostupné z: http://www.profiber.eu/files/Distribuce_TV_signalu_v_sitich_FTTH_aneb_jinak_nez_IPTV.pdf
- [20] HLADKÝ, Miroslav. Starý dobrý Point-To-Point. In: HLADKÝ, Miroslav. *Starý dobrý Point-To-Point* [online]. 2010-03-23. Praha: PROFiber Networking CZ, 2010 [cit. 2012-10-15]. Dostupné z: http://www.profiber.eu/files/18.3.2010_Star%C3%BD_dobr%C3%BD_point-to-point.pdf
- [21] Charles Kuen Kao. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2009-11-18, 2012-09-14 [cit. 2012-11-17]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Charles_Kao
- [22] IEEE 802.3ae. *Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications: Amendment 1: Media Access Control (MAC) Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for 10 Gb/s Operation*. IEEE Std 802.3ae™-2002. New York (USA): The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2002-08-30, 529 s. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=8064>
- [23] IEEE 802.3ah. *Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications: Amendment: Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for Subscriber Access Networks*. IEEE Std 802.3ah-2004. New York (USA): The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2004-09-07, 640 s. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=9283>
- [24] IEEE 802.3av. *Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications: Amendment 1: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Gb/s Passive Optical Networks*. IEEE Std 802.3av™-2009. New York (USA): The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., 2009-10-30, 236 s. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=5294944>

- [25] ITU-T G.652. *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*. G.652 (11/2009). Geneva, (Switzerland): International Telecommunication Union, 2009, 22 s. Dostupné z: http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.652-200911-I!!PDF-E&type=items
- [26] ITU-T G.657. *Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable for the access network*. G.657 (11/2009). Geneva, (Switzerland): International Telecommunication Union, 2009, 22 s. Dostupné z: http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.657-200911-I!!PDF-E&type=items
- [27] ITU-T G.671. *Transmission characteristics of optical components and subsystems*. G.671 (02/2012). Geneva, (Switzerland): International Telecommunication Union, 2012, 46 s. Dostupné z: http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.671-201202-I!!PDF-E&type=items
- [28] ITU-T G.694.1. *Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid Recommendation*. G.694.1 (02/2012). Geneva (Switzerland): International Telecommunication Union, 2012, 16 s. Dostupné z: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1/recommendation.asp?lang=en&parent=T-REC-G.694.1-201202-I>
- [29] ITU-T G.694.2. *Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid*. G.694.2 (12/2003). Geneva, (Switzerland): International Telecommunication Union, 2003, 12 s. Dostupné z: http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.694.2-200312-I!!PDF-E&type=items
- [30] ITU-T G.695. *Optical interfaces for coarse wavelength division multiplexing applications*. G.695 (10/2010). Geneva, (Switzerland): International Telecommunication Union, 2010, 70 s. Dostupné z: http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.695-201010-I!!PDF-E&type=items
- [31] ITU-T G.983.1. *Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)*. G.983.1 (01/2005). Geneva, (Switzerland): International Telecommunication Union, 2001, 124 s. Dostupné z: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.1-200501-I/en>. ITU-T Study Group 15.
- [32] ITU-T G.983.3. *A broadband optical access system with increased service capability by wavelength allocation*. G.983.3 (03/2001). Geneva, (Switzerland): International Telecommunication Union, 2001, 59 s. Dostupné z: http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-G.983.3-200103-I!!PDF-E&type=items. ITU-T Study Group 15.
- [33] ITU-T G.984.1. *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics*. G.984.1 (03/2008). Geneva (Switzerland): International Telecommunication Union, 2001, 43 s. Dostupné z: http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.984.1-200803-I!!PDF-E&type=items. ITU-T Study Group 15.
- [34] ITU-T G.987.1. *10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements*. G.987.1 (01/2010). Geneva (Switzerland): International Telecommunication Union, 2010, 52 s. Dostupné z: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.987.1-201001-I/en>
- [35] ITU-T STUDY GROUP 15. *XG-PON: Ten-gigabit-capable passive optical networks* [online]. Geneva (Switzerland): International Telecommunication Union, 2010-05-18, 2 s. [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: http://www.itu.int/dms_pub/itu-t/oth/0B/04/T0B040000382C01PDFE.pdf
- [36] KLAŠKA, Luboš. 10GE aneb Ethernet po 30 letech: 7 - fyzická a linková vrstva 10GE. KLAŠKA, Luboš. *Svět sítí & Infinity a. s.: Informace ze světa počítačových* [online]. Praha (Česká republika): Svět sítí & Infinity a. s., 2003-11-03 [cit. 2012-10-16]. Dostupné z: <http://www.svetsiti.cz/clanek.asp?cid=10GE-aneb-Ethernet-po-30-letech-7-fyzicka-a-linkova-vrstva-10GE-3112003>

- [37] KREJČÍ, Jaroslav a Tomáš ZEMAN. Úvod do IPTV. *Access server: Výsledky výzkumu a další informace nejen z oblasti přístupových telekomunikačních sítí*. [online]. Praha (Česká republika): České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra telekomunikační techniky., 2008-12-10 [cit. 2012-11-10]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku=uvod-do-iptv&cislocclanku=2008100002>
- [38] LAFATA, Pavel a Jiří VODRÁŽKA. Pasivní optická síť GPON. *Access server: Výsledky výzkumu a další informace nejen z oblasti přístupových telekomunikačních sítí*. [online]. Praha (Česká republika): České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra telekomunikační techniky., 2009-05-23 [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku=pasivni-opticka-sit-gpon&cislocclanku=2009050002>
- [39] LAFATA, Pavel a Jiří VODRÁŽKA. Současné a budoucí varianty pasivních optických přístupových sítí. *Elektrorevue: Časopis pro elektrotechniku* [online]. 2009/39 – 2009-07-26. Brno (Česká republika): Ústav telekomunikací, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně., 2009-07-26 [cit. 2012-10-24]. ISSN 1213-1539. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/cz/download/soucasne-a-budouci-varianty-pasivnich-optickych-pristupovych-siti/>
- [40] LAFATA, Pavel. Pasivní optické sítě s rychlostí 10 Gbit/s. *Access server: Výsledky výzkumu a další informace nejen z oblasti přístupových telekomunikačních sítí*. [online]. Praha (Česká republika): České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra telekomunikační techniky., 2011-03-10 [cit. 2012-10-19]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2011030001>
- [41] LAFATA, Pavel. Pasivní optické sítě WDM-PON. *Access server: Výsledky výzkumu a další informace nejen z oblasti přístupových telekomunikačních sítí*. [online]. Praha (Česká republika): České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra telekomunikační techniky., 2009-05-24 [cit. 2012-11-03]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku=pasivni-opticke-site-wdm-pon&cislocclanku=2009050004>
- [42] LG-ERICSSON CO., Ltd. *EA 1100: Ea 1100 Multiservice Ethernet Access Portfolio* [online]. revA. Seoul (Korea): LG-Ericsson Co., Ltd, 2011-08-12, 2 s. [cit. 2012-11-13]. Dostupné z: http://www.profiber.eu/files/LGE_Datasheet_EA1100_DS-11-10_revA.pdf. Tento dokument poskytl: Ing. Martin Ľupa, PROFiber Networking CZ.
- [43] LG-ERICSSON CO., Ltd. *EABU 2211: Datasheet* [online]. revA. Seoul (Korea): LG-Ericsson Co., Ltd, 2011-08-12, 2 s. [cit. 2012-11-14]. Dostupné z: http://www.profiber.eu/files/LGE_Datasheet_EABU2211_DS-11-07_revA.pdf. PROFiber Networking CZ.
- [44] LG-ERICSSON CO., Ltd. *EABU 2212: Datasheet* [online]. revA. Seoul (Korea): LG-Ericsson Co., Ltd, 2011-08-12, 2 s. [cit. 2012-11-14]. Dostupné z: http://www.profiber.eu/files/LGE_Datasheet_EABU2212_DS-11-08_revA.pdf. PROFiber Networking CZ.
- [45] LG-ERICSSON CO., Ltd. *EABU 2214: Datasheet* [online]. revA. Seoul (Korea): LG-Ericsson Co., Ltd, 2011-08-12, 2 s. [cit. 2012-11-14]. Dostupné z: http://www.profiber.eu/files/LGE_Datasheet_EABU2214_DS-11-09_revA.pdf. PROFiber Networking CZ.
- [46] LG-ERICSSON CO., Ltd. *EARU 1103: Datasheet* [online]. revA. Seoul (Korea): LG-Ericsson Co., Ltd, 2011-08-12, 2 s. [cit. 2012-11-14]. Dostupné z: http://www.profiber.eu/files/LGE_Datasheet_EARU1103_DS-11-01_revA.pdf. PROFiber Networking CZ.

- [47] LG-ERICSSON CO., Ltd. *EARU 1113: Datasheet* [online]. revA. Seoul (Korea): LG-Ericsson Co., Ltd, 2011-08-12, 2 s. [cit. 2012-11-14]. Dostupné z: http://www.profiber.eu/files/LGE_Datasheet_EARU1113_DS-11-03_revA.pdf. PROFiber Networking CZ.
- [48] LG-ERICSSON CO., Ltd. *EARU 1212: Datasheet* [online]. revA. Seoul (Korea): LG-Ericsson Co., Ltd, 2011-08-12, 2 s. [cit. 2012-11-14]. Dostupné z: http://www.profiber.eu/files/LGE_Datasheet_EARU1212_DS-11-05_revA.pdf. PROFiber Networking CZ.
- [49] LG-ERICSSON CO., Ltd. *Ethernet Access 1100: Commercial Description*. Version 1.0 Draft/Creation for R5.1. Seoul (Korea), 2011-08, 25 s. SM0-000-S00539. Tento nepublikovaný dokument poskytl: Ing. Martin Ťupa, PROFiber Networking CZ.
- [50] LG-ERICSSON CO., Ltd. *EARU 1112: Datasheet* [online]. revA. Seoul (Korea): LG-Ericsson Co., Ltd, 2011-08-12 [cit. 2012-11-14]. Dostupné z: http://www.profiber.eu/files/LGE_Datasheet_EARU1112_DS-11-02_revA.pdf. PROFiber Networking CZ.
- [51] MICOS SPOL. S R. O. DIVIZE TELCOM. *KATALOG PRODUKTŮ* [online]. Kralice na Hané (Česká republika): Technologické centrum ICT MICOS, 2012, 75 s. [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: <http://telcom.micos.cz/assets/files/promo/MICOS%20Optika%202012.pdf>
- [52] MICOS SPOL. S R.O. DIVIZE TELCOM. *MSS 2x 30U/54: Venkovní datová skříň* [online]. Kralice na Hané (Česká republika): Technologické centrum ICT MICOS, 2010-06-14, 1 s. [cit. 2013-03-02]. Dostupné z: <http://telcom.micos.cz/assets/files/SoupisDokumentace/DATA/MSS%202x30U54/filename18.pdf>
- [53] MICOS SPOL. S R.O. DIVIZE TELCOM. *MSS 22U/55: Venkovní datová skříň* [online]. Kralice na Hané (Česká republika): Technologické centrum ICT MICOS, 2012-02-10, 1 s. [cit. 2013-03-02]. Dostupné z: http://telcom.micos.cz/assets/files/SoupisDokumentace/DATA/MSS%2022U55/Micos-katalog-2012-MSS%2022U_55.pdf
- [54] Mikrotrubičky. SITEL, spol. s.r.o. *Sitel* [online]. Praha (Česká republika): SITEL, spol. s.r.o., © 2011 [cit. 2012-11-01]. Dostupné z: <http://www.sitel.cz/categories/view/categoryId/430>
- [55] Novinka v řešení FTTH sítí pro rezidenční aplikaci: Outlet 8686. *OFA: Optical Fibre Apparatus* [online]. Praha (Česká republika), 2008-06-04 [cit. 2013-03-10]. Dostupné z: http://www.ofacom.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=167:opticka-nastenna-zasuvka&catid=1:novinky-v-nasem-sortimentu&Itemid=2
- [56] OFS FTEL, LLC. *12-Element MiDia FX Dry Core Cable: OFS Generic Specification* [online]. USA, 2004-02, 2 s. [cit. 2012-10-29]. Dostupné z: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/midiaad_fx_12element.pdf
- [57] OFS FTEL, LLC. *24-Element MiDia Dry Core Cable: OFS Generic Specification* [online]. 2009-03 [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/midiaad_24element.pdf
- [58] OFS FTEL, LLC. *5-Element MiDia FX Dry Core Cable: OFS Generic Specification* [online]. USA, 2005-02, 2 s. [cit. 2012-10-29]. Dostupné z: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/midiaad_fx_5element.pdf
- [59] OFS FTEL, LLC. *6-Element MiDia FX Dry Core Cable: OFS Generic Specification* [online]. USA, 2005-01, 2 s. [cit. 2012-10-29]. Dostupné z: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/midiaad_fx_6element.pdf

- [60] OFS FITELE, LLC. *8-Element MiDia FX Dry Core Cable: OFS Generic Specification* [online]. USA, 2004-09, 2 s. [cit. 2012-10-29]. Dostupné z: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/midiaad_fx_8element.pdf
- [61] OFS FITELE, LLC. *AccuBreeze® FX: Cabled Fiber Unit* [online]. USA, Norcross (USA): OFS FITELE, LLC, 2009-04-25, 2 s., 2009-04-25 [cit. 2012-10-28]. 133-A4-0409. Dostupné z: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/accubreeze-fx-cfu.pdf
- [62] OFS FITELE, LLC. *AccuDRY Cable: Indoor/Outdoor* [online]. USA, 2009-08-04, 4 s. [cit. 2012-10-31]. Dostupné z: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/accudry-a4.pdf
- [63] OFS FITELE, LLC. *EZ-Bend 4.8 Cable* [online]. USA, 2009-03-18, 2 s., 2009-03-20 [cit. 2012-10-31]. Dostupné z: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/ezbend48cable.pdf
- [64] OFS FITELE, LLC. *MiDia CT Cable: OFS Generic Specification* [online]. USA, 2006-10, 2 s. [cit. 2012-10-29]. Dostupné z: http://www.ofacom.cz/images/stories/PDF_Kabely/MiDiaCT_en.PDF
- [65] OFS FITELE, LLC. *SC Connector Family: A Complete Fiber Optic Connector Solution* [online]. 2011, 8 s. [cit. 2013-03-02]. Dostupné z: <http://www.ofsoptics.com/resources/16388010924e04a05304f26SCConnector119web.pdf>
- [66] OPRAVILOVÁ, Zdenka. OFA S.R.O. *Použití pasivní prvky a nové možností trubičkových systémů: Prezentace datové distribuční sítě Bohuňovice 10. 4. 2008* [online]. Praha (Česká republika): OFA s.r.o., 2008-04-10, 6 s. [cit. 2010-11-17]. Dostupné z: http://www.profiber.cz/eshop/files/OFA_prezentace_Bohunovice_2008.pdf
- [67] Optické multiplexy: LG-Ericsson WPF. *PROFiber Networking CZ* [online]. PROFiber Networking CZ, (c)2010 [cit. 2012-11-03]. Dostupné z: <http://www.profiber.eu/FTTx-1/WDM-PON/Opticke-multiplexy/>
- [68] OPTOKON A.S. *SFT- SWB-01xN* [online]. Jihlava (Česká republika): OPTOKON a.s., 2009-09-16, 2 s. [cit. 2012-11-02]. CPL_08-02_EN. Dostupné z: http://www.optokon.cz/sites/default/files/cpl_08-02_en-sft-s35-01xn.pdf
- [69] OPTOKON A.S. *SFT 01x02 Singlemode Couplers: SFT-SWB Wavelength Independent* [online]. Jihlava (Česká republika): OPTOKON a.s., 2007-06-13, 2 s. [cit. 2012-11-02]. CPL_06-02_EN. Dostupné z: http://www.optokon.cz/sites/default/files/cpl_06-02_en-sft-s35-01x02.pdf
- [70] OPTOKON A.S. *SFW-C: Coarse Wavelength Division Multiplexer (CWDM)* [online]. Jihlava (Česká republika): OPTOKON a.s., 2006-05-15, 2 s. [cit. 2012-11-12]. CPL_01-03_EN. Dostupné z: http://www.optokon.cz/sites/default/files/cpl_01-03_en-sfw-c.pdf
- [71] OPTOKON A.S. *SFW-D: Dense Wavelength Division Multiplexer (DWDM)* [online]. Jihlava (Česká republika): OPTOKON a.s., 2008-06-02, 2 s. [cit. 2012-11-12]. ACT_01-05_EN. Dostupné z: http://www.optokon.cz/sites/default/files/cpl_01-05_en-sfw-d.pdf
- [72] PACIFIC BROADBAND NETWORKS (PBN). *AOCM6000: High-Density FTTx Communications Switch* [online]. V7b. Australia: Pacific Broadband Networks, 2012-02-07, 4 s. [cit. 2013-03-19]. Dostupné z: <http://www.profiber.eu/files/PBN.AOCM6000%20-%20Datasheet%20V7b%20-%20Released%2007%20Feb%2012.pdf>
- [73] PACIFIC BROADBAND NETWORKS (PBN). *End-to-End Solutions for Triple-Play FTTx Networks* [A4 poster]. Australia: Pacific Broadband Networks, 2012, 1 s. [cit. 2013-03-19].

- [74] PACIFIC BROADBAND NETWORKS. *LT1550: Laser Transmitter with Erbium Doped Fibre Amplifier* [online]. Australia: Pacific Broadband Networks, 2011-09-19, 8 s. [cit. 2012-11-09]. Dostupné z: http://www.profiber.eu/files/PBN.LT1550_-_Datasheet_V8e_-_Released_19_Sep_11.pdf
- [75] PROFIBER NETWORKING CZ. *WDM-PON: Přehled*. Praha, 2012-05, 27 s. JoB-HB 2012-05. Tento nepublikovaný dokument poskytl: Ing. Martin Ťupa.
- [76] SITEL, spol. s r.o. *CENÍK pro HDPE a LSPE chráničky: 11.1.2013 - 6.3.2013* [online]. Praha (Česká republika), 2013-01-11, 11 s. [cit. 2013-02-26]. Dostupné z: http://www.sitel.cz/public/upload/other/Cenik_01az03_2013_trubky_mikrotrubicky_s_bubny_new.pdf
- [77] SITEL, spol. s r.o. *SIDUCT: Mikrotrubičkový kabel* [online]. Praha (Česká republika): SITEL, spol. s r.o., 2009-01-27, 52 s. [cit. 2012-11-01]. Dostupné z: <http://www.sitel.cz/public/upload/other/MIKROTRUBICKOVY%20KABEL%20SIDUCT%20CZ.pdf>
- [78] SQS VLAKNOVA OPTIKA A.S. *Fiberoptic Products: SQS Product Catalog* [online]. Nová Paka (Česká republika): SQS Vlaknova optika a.s., 2011-06-30, 12 s. [cit. 2012-11-02]. Dostupné z: <http://www.sqs-fiber.cz/products/complete/12.pdf>
- [79] STIBOR, Patrick. Vlákná podle ITU-T G.657: Jednovidová optická vlákna se sníženou citlivostí na ohyby. *OFA: Optical Fiber Apparatus* [online]. Praha (Česká republika): OFA s.r.o., 2008-03-20 [cit. 2012-10-27]. Dostupné z: http://www.ofacom.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=149:vlakna-podle-itu-t-g657&catid=80:ofs-v-&Itemid=96
- [80] ŠIFTA, Radim a Miloslav FILKA. Simulace a měření vlnových multiplexů pro pasivní optické sítě. *Elektrorevue: Časopis pro elektrotechniku* [online]. 2011/27 - 2011-6-13. Brno (Česká republika): Ústav telekomunikací, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Vysoké učení technické v Brně., 2011-06-13 [cit. 2012-10-24]. ISSN 1213-1539. Dostupné z: [http://www.elektrorevue.cz/cz/download/simulace-a-m-eni-vlnovych-multiplex-pro-pasivni-opticke-sit-/](http://www.elektrorevue.cz/cz/download/simulace-a-m-eni-vlnovych-multiplex-pro-pasivni-opticke-sit/)
- [81] Technologie CWDM v optických sítích. RLC PRAHA A.S. *RLC Praha a.s* [online]. VRS.1.0.0. Praha (Česká republika): RLC Praha a.s., 2011-06-22, 2011-06-30 [cit. 2012-10-25]. Dostupné z: http://www.rlc.cz/downloads/cwdm_technologie.pdf
- [82] TEJKAL, Vladimír, Miloslav FILKA, Pavel REICHERT a Jan ŠPORIK. Dvoustavové modulační formáty v optických přístupových sítích. *Advances in Electrical and Electronic Engineering: Optika a optoelektronika* [online]. 2010, roč. 8, č. 4, s. 6 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://advances.utc.sk/index.php/AEEE/article/view/31/655>
- [83] ŤUPA, Martin. PROFIBER NETWORKING CZ. *LG-Ericsson: WDM-PON*. Praha (Česká republika), 2012-05-31, 51 s. Tento nepublikovaný dokument poskytl: Ing. Martin Ťupa.
- [84] Útlumová bilance pasivních optických přístupových sítí. *Access server: Výsledky výzkumu a další informace nejen z oblasti přístupových telekomunikačních sítí*. [online]. Praha (Česká republika): České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra telekomunikační techniky., 2009-06-28 [cit. 2012-11-02]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=utlumova-bilance-pasivnich-optickych-pristupovych-siti&cislocclanku=2009060002>
- [85] *VIP1003: Motorola Advanced IP High-Definition Set-top* [online]. Libertyville (USA): Motorola Inc, 2010-03-16, 3 s. [cit. 2013-03-08]. Dostupné z: http://www.motorola.com/staticfiles/Video-Solutions/Products/TV%20Video%20Distribution/Set-tops/IP%20Set-tops/VIP1003/Images/VIP1003%20Data%20Sheet%20365-095-13906_x2.pdf

POUŽITÉ ZKRATKY

Zkratka	Přesné znění	Překlad nebo význam
10G EPON	10 Gigabit Ethernet PON	10 Gigabitová Ethernetová pasivní optická síť
10GE	10 Gigabit Ethernet	10 Gigabitová Ethernetová aktivní optická síť
AAWG	Athermal Arrayed Waveguide Grating	Teplotně kompenzovaná směrová odbočnice
AC	Alternating Current	Střídavý proud
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	Technologie asymetrického připojení k internetu
AON	Active Optical Network	Aktivní optická síť
APON	Asynchronous Transfer Mode PON	ATM pasivní optická síť
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Standart síťové architektury
AVoD	Audio & Video on Demand	Audio a video na vyžádání
AWG	Arrayed Waveguide Grating	Směrová odbočnice
AWL	Automatic Wavelength Locking	Autoselekce vlnové délky
BER	Bit Error Rate	Bitová chybovost
BGP	Border Gateway Protocol	Dynamický směrovací protokol mezi AS
BLS	Broadband Light Source	Širokopásmový zdroj světla
BPON	Broadband PON	Širokopásmová pasivní optická síť
C	Conventional	Pásmo ve spektru SMF
CA	Common Access	Modul podmíněného přístupu
CAPEX	Capital Expenditure	Kapitálové (investiční) náklady
CATV	Cable TeleVision	Kabelová televize
CD	Chromatic Dispersion	Chromatická disperze
CI	Common Interface	Slot pro CA modul
CO	Central Office	Distribuční centrum
CPE	Customer Premises Equipment	Obecné označení zařízení instalované u klienta
CWDM	Coarse WDM	Hrubý vlnový multiplex
DC	Direct Current	Stejnoseměrný proud
DCF	Dispersion Compensation Fiber	Kompenzační vlákno
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	Protokol pro automatickou konfiguraci adres
DOCSIS	Data Over Cable Service Interface Specification	Přenos dat přes rozvody CATV
Down	Downstream	Sestupný přenosový kanál
DSL	Digital Subscriber Line	Vysokorychlostní přenos dat po tel. rozvodech
DVB	Digital Video Broadcasting	Digitální televizní vysílání
DVB-C	DVB Cable	Digitální kabelové vysílání televize
DVB-S	DVB Satellite	Digitální satelitní vysílání televize
DVB-S2	DVB Satellite 2	Digitální satelitní vysílání televize ve 2. generaci
DVB-T	DVB Terrestrial	Digitální pozemní vysílání televize
DVB-T2	DVB Terrestrial 2	Digitální pozemní vysílání televize ve 2. generaci
DVMRP	Distance Vector Multicast Routing Protocol	Protokol pro směrování multicastového proudu
DWA	Dynamic Wavelength Assignment	Dynamické přidělování vlnové délky
DWDM	Dense WDM	Hustý vlnový multiplex
E	Extended	Pásmo ve spektru SMF
EA	Ethernet Access	Nativní podpora Ethernetu
EABU	Ethernet Access Business Unit	ONU LG-Ericsson pro FTTB
EARU	Ethernet Access Residential Unit	ONT LG-Ericsson pro FTTH
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 vlákne
EPON	Ethernet PON	Ethernetová pasivní optická síť
EuroDOCSIS	Europe DOCSIS	Evropský standard DOCSIS
FBT	Fused Bionic Taper	Technologie výroby rozbočovačů
FP LD	Fabri-Perrot LD	Typ laserové diody

Zkratka	Přesné znění	Překlad nebo význam
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 datacenter
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
FTTP	Fibre To The Premises	Optické vlákno do domu nebo budovy
FTTX	Fiber To The ...	Optické vlákno do ...
GEM	GPON Encapsulation Method	Přenosová metoda linkové vrstvy v GPON
GI	Graded Index	Gradientní změna indexu lomu
GPON	Gigabit PON	Gigabitová pasivní optická síť dle ITU-T
GSM	Groupe Spécial Mobile	Globální Systém pro Mobilní komunikaci
HDMI	High-Definition Multi-media Interface	Rozhraní pro přenos multimediálního obsahu
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
IL	Insertion loss	Vložený útlum
IP	Internet Protocol	Internetový protokol
IPTV	Internet Protocol TeleVision	Přenos televizního vysílání přes IP
ISO	International Organization for Standardization	Mezinárodní organizace pro normalizaci
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
L	Long	Pásmo ve spektru SMF
L2	Layer 2	Linková vrstva v modelu ISO/OSI
L3	Layer 3	Síťová vrstva v modelu ISO/OSI
LAN	Local Area Network	Lokální síť
LD	Laser Diode	Polovodičový laser
LLID	Logical Link Identifier	Jedinečný identifikátor v síti EPON
LNB	Low-noise block converter	Satelitní konvertor
LSOH	Low smoke zero halogen	Klasifikace hořlavosti izolace
MA	Multivendor agreement	Průmyslový standard
MC	Maintenance Control card	Řídící karta platformy LG-Ericsson
MHP	Multimedia Home Platform	Interaktivní televizní vysílání
MMF	Multi Mode Fiber	Mnohovidové optické vlákno
MPCP	Multi-Point Control Protocol	Protokol řízení přístupu na společném médiu
MPLS	Multiprotocol Label Switching	Multiprotokolový směrovací protokol
MSTP	Multiple Spanning Tree Protocol	Rozšíření protokolu RSTP
NGA1	Next Generation Access 1	Koncepce sítě dle ITU-T
O	Original	Pásmo ve spektru SMF
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
OPEX	Operating Expense	Provozní náklady
ORL	Optical Return Loss	Útlum zpětného odrazu
OSA	Optical Spectrum Analyzer	Optický spektrální analyzátor
OSI	Open Systems Interconnection	Model síťové komunikace
OSPF	Open Shortest Path First	Typ směrovacího protokolu
P2MP	Point-To-MultiPoint	Spojení bod-mnohobodů
P2P	Point-To-Point	Spojení bod-bod

Zkratka	Přesné znění	Překlad nebo význam
PAL	Phase Alternating Line	Kódování analogové TV
PC	Personal Computer	Osobní mikropočítač
PD	PhotoDiode	Fotodioda
PE	PolyEthylene	Polyethylen
PES	Packetized Elementary Stream	Blok o velikosti 188 bajtů
PIM-DM	Protocol Independent Multicast - Dense-mode	Protokol pro směrování multicastového proudu
PIM-SM	Protocol Independent Multicast - Sparse mode	Protokol pro směrování multicastového proudu
PLC	Planar Lightwave Circuit	Technologie výroby rozbočovačů
PMD	Physical Medium Dependent	Podvrstva fyzické vrstvy
PMD	Polarization mode dispersion	Polarizační vidová disperze
PON	Passive Optical Network	Pasivní optická síť
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	Kvadrurní amplitudová modulace
QoS	Quality of Service	Řízení kvality síťových služeb
RF	Radio Frequency	Rádiová frekvence (30 kHz - 300 GHz)
RFoG	RF Over Glass	Koncept přechodu CATV k FTTH
RIP	Routing Information Protocol	Typ směrovacího protokolu
RSTP	Rapid Spanning Tree Protocol	Protokol potlačující smyčky v síti
RTCP	RTP Control Protocol	Řídící protokol pro přenos protokolem RTP
RTP	Real-time Transport Protocol	Protokol pro přenos zvukových a obrazových dat
S	Short	Pásmo ve spektru SMF
SCART	Syndicat des Constructeurs d'Appareils Radiorécepteurs et Téléviseurs	21 pinový konektor pro připojení video zařízení
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Standard přenosů v optické síti
SDP	Session Description Protocol	Protokol k popisu relace
SDTV	Standard-Definition TeleVision	Televize ve standardním rozlišení
SECAM	Séquentiel couleur à mémoire	Kódování analogové TV
SFP	Small Form-factor Pluggable	Univerzální modul pro komunikaci
SI	Step Index	Skoková změna indexu lomu
SIP	Session Initiation Protocol	Protokol pro inicializaci relací VoIP
SMF	Single Mode Fiber	Jednovidové optické vlákno
SNB	Smart Business Line	Produktová řada firmy Blankom
SNMP	Simple Network Management Protocol	Protokol pro monitoring a sběr dat
SO	Street Office	Pouliční pobočka distribučního centra
SONET	Synchronous Optical Networking	Standard přenosů v optické síti
SPDIF	Sony/Philips Digital Interconnect Format	Rozhraní pro digitální přenos zvuku
STB	Set-Top Box	Externí tuner pro TV
STP	Spanning Tree Protocol	Protokol potlačující smyčky v síti
TDM	Time Division Multiplex	Časově dělený multiplex
TS	Time Slot	Časový slot v TDM
Up	Upstream	Vzestupný přenosový kanál
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice
VLAN	Virtual LAN	Virtuální LAN
VoD	Video on Demand	Video na vyžádání
VoIP	Voice over Internet Protocol	Telefonie přes IP
VVN	Velmi vysoké napětí	-
WAN	Wide Area Network	Rozlehlá počítačová síť
WDM	Wavelength Division Multiplexing	Vlnově dělený multiplex
Wi-Fi	Wireless LAN	Bezdrátová síť IEEE 802.11
WWDM	Wide WDM	Široký vlnový multiplex
XFP	10 Gbps Small Form-factor Pluggable	Univerzální modul pro komunikaci
XGPON	X Gigabit PON	Síťová architektura dle ITU-T
ZVV	Zvláště vysoké napětí	-

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A: Konfigurace příjmu DVB-S/S2

PŘÍLOHA B: Převodní tabulka

PŘÍLOHA C: AON P2P - Osazení rozvaděčů Rack 19“ v CO

PŘÍLOHA D: WDM PON - Osazení rozvaděčů Rack 19“ v CO

PŘÍLOHA E: Obsah CD

PŘÍLOHA F: Mapový podklad sítě FTTH pro město Bystřice n. P.

PŘÍLOHA A

Název stanice	Typ	Kmit.	Pol.	SID	VPID	APID	Distrib.	CATV	IPTV
ČT 4 HD	TV	11797	Hor.	5039	2019	2029	Skylink	CI 1	CI 1
Eurosport HD	TV	11797	Hor.	5033	2013	2023	Skylink	CI 1	CI 1
Filmbox Extra 1	TV	11797	Hor.	5051	2511	2521	Skylink	CI 1	CI 1
Filmbox Family	TV	11797	Hor.	5050	2510	2520	Skylink	CI 1	CI 1
Golf Channel HD	TV	11797	Hor.	5036	2016	2026	Skylink	CI 1	CI 1
HBO Comedy	TV	11797	Hor.	5035	2015	2025	Skylink	CI 1	CI 1
History HD	TV	11797	Hor.	5034	2014	2024	Skylink	CI 1	CI 1
Nova HD	TV	11797	Hor.	5030	2010	2020	Skylink	CI 1	CI 1
Nova Sport HD	TV	11797	Hor.	5031	2011	2021	Skylink	CI 1	CI 1
Prima Family HD	TV	11797	Hor.	5032	2012	2022	Skylink	CI 1	CI 1
Retro Music Television	TV	11797	Hor.	5052	2512	2522	Skylink	CI 1	CI 1
Sport 2 HD	TV	11797	Hor.	5037	2017	2027	Skylink	CI 1	CI 1
TV Paprika HD	TV	11797	Hor.	5038	2018	2028	Skylink	CI 1	CI 1
DOMA	TV	11836	Hor.	5104	1014	1024	Skylink	CI 2	CI 9
JOJ	TV	11836	Hor.	5101	1011	1021	Skylink	CI 2	CI 9
JOJ PLUS	TV	11836	Hor.	5102	1012	1022	Skylink	CI 2	CI 9
STV1 - Jednotka	TV	11836	Hor.	5105	1015	1025	Skylink	CI 2	CI 9
STV2 - Dvojka	TV	11836	Hor.	5106	1016	1026	Skylink	CI 2	CI 9
TA 3	TV	11836	Hor.	5107	1017	1027	Skylink	CI 2	CI 9
TV Dajto	TV	11836	Hor.	5108	1018	1028	Skylink	CI 2	CI 9
TV Markíza	TV	11836	Hor.	5103	1013	1023	Skylink	CI 2	CI 9
HEY! SK	RV	11836	Hor.	5127	-	1617	Skylink	BEZ CI	-
Lumen	RV	11836	Hor.	5126	-	1616	Skylink	BEZ CI	-
Jemné Melodie Sever	RV	11836	Hor.	5124	-	1614	Skylink	BEZ CI	-
Jemné Melodie Západ	RV	11836	Hor.	5123	-	1613	Skylink	BEZ CI	-
Jemné Melodie Východ	RV	11836	Hor.	5125	-	1615	Skylink	BEZ CI	-
Rádio 7	RV	11836	Hor.	5128	-	1618	Skylink	BEZ CI	-
SRo 1 - Slovensko 1	RV	11836	Hor.	5111	-	1311	Skylink	BEZ CI	-
SRo 2 - Rádio Dėvín	RV	11836	Hor.	5115	-	1315	Skylink	BEZ CI	-
SRo 4 - Rádio FM	RV	11836	Hor.	5116	-	1316	Skylink	BEZ CI	-
SRo 5 - Rádio Patria	RV	11836	Hor.	5120	-	1610	Skylink	BEZ CI	-
SRo 5 - Rádio Patria	RV	11836	Hor.	5121	-	1611	Skylink	BEZ CI	-
SRo 3 - Regina Bratislava	RV	11836	Hor.	5112	-	1312	Skylink	BEZ CI	-
SRo 3 - Regina B. Bystrica	RV	11836	Hor.	5113	-	1313	Skylink	BEZ CI	-
SRo 3 - Regina Košice	RV	11836	Hor.	5114	-	1314	Skylink	BEZ CI	-
Radio Viva	RV	11836	Hor.	5129	-	1619	Skylink	BEZ CI	-
Radio Litera	RV	11836	Hor.	5118	-	1318	Skylink	BEZ CI	-
Radio Klasika	RV	11836	Hor.	5117	-	1317	Skylink	BEZ CI	-
Radio Junior	RV	11836	Hor.	5119	-	1319	Skylink	BEZ CI	-

Název stanice	Typ	Kmit.	Pol.	SID	VPID	APID	Distrib.	CATV	IPTV
Radio Slovakia	RV	11836	Hor.	5122	-	1612	Skylink	BEZ CI	-
Discovery HD Showcase	TV	11856	Ver.	7010	512	81	Skylink	CI 3	CI 4
Cinemax	TV	11876	Hor.	13113	3024	3025	CS Link	CI 5	CI 3
CS Film	TV	11876	Hor.	13100	2816	2817	CS Link	CI 5	CI 3
CS Mini	TV	11876	Hor.	13100	2816	2817	CS Link	CI 5	CI 3
Discovery Channel	TV	11876	Hor.	13107	2929	2930	CS Link	CI 5	CI 3
Disney Channel	TV	11876	Hor.	13110	2977	2978	CS Link	CI 5	CI 3
Eurosport	TV	11876	Hor.	13105	2896	2897	CS Link	CI 5	CI 3
Film+	TV	11876	Hor.	13102	2848	2849	CS Link	CI 5	CI 3
Fishing and Hunting	TV	11876	Hor.	13108	2944	2945	CS Link	CI 5	CI 3
HBO	TV	11876	Hor.	13104	2880	2881	CS Link	CI 5	CI 3
HBO 2	TV	11876	Hor.	13109	2960	2961	CS Link	CI 5	CI 3
LEO TV	TV	11876	Hor.	13119	3121	3122	CS Link	CI 5	CI 3
Minimax	TV	11876	Hor.	13111	2993	2994	CS Link	CI 5	CI 3
Spektrum	TV	11876	Hor.	13118	3105	3106	CS Link	CI 5	CI 3
Sport 5	TV	11876	Hor.	13101	2832	2833	CS Link	CI 5	CI 3
Universal Channel	TV	11876	Hor.	13117	3089	3090	CS Link	CI 5	CI 3
Rádio Beat Čechy	RV	11876	Hor.	13120	-	3041	CS Link	BEZ CI	-
duck tv SD	TV	11895	Ver.	5078	4018	4028	Skylink	CI 7	CI 5
Fashion TV Czechia	TV	11895	Ver.	5080	4020	4030	Skylink	CI 7	CI 5
History SD	TV	11895	Ver.	5076	4016	4026	Skylink	CI 7	CI 5
MGM Channel	TV	11895	Ver.	5071	4011	4021	Skylink	CI 7	CI 5
National Geographic	TV	11895	Ver.	5085	4515	4525	Skylink	CI 7	CI 5
National Geographic Wild	TV	11895	Ver.	5072	4012	4022	Skylink	CI 7	CI 5
Pětka	TV	11895	Ver.	5077	4017	4027	Skylink	CI 7	CI 5
Šlágr TV	TV	11895	Ver.	5081	4511	4521	Skylink	CI 7	CI 5
TV Barrandov	TV	11895	Ver.	5075	4015	4025	Skylink	CI 7	CI 5
TV8	TV	11895	Ver.	5079	4019	4029	Skylink	CI 7	CI 5
Viasat Explorer	TV	11895	Ver.	5082	4512	4522	Skylink	CI 7	CI 5
Viasat History	TV	11895	Ver.	5083	4513	4523	Skylink	CI 7	CI 5
Viasat Nature	TV	11895	Ver.	5084	4514	4524	Skylink	CI 7	CI 5
AXN	TV	11914	Hor.	20822	522	102	CS Link	CI 6	CI 10
AXN Crime	TV	11914	Hor.	20823	523	103	CS Link	CI 6	CI 10
AXN Sci-Fi	TV	11914	Hor.	20824	524	104	CS Link	CI 6	CI 10
ČT 1 HD	TV	11934	Ver.	14080	2010	2020	CS Link	CI 4	CI 10
Fanda TV	TV	11973	Ver.	14072	7210	7220	CS Link	CI 8	C 12
Nova Sport	TV	11973	Ver.	14071	7110	7120	CS Link	CI 8	C 12
Eurosport 2 North East	TV	12070	Hor.	13152	3249	3250	CS Link	CI 9	C 11
Filmbox	TV	12070	Hor.	13130	3073	3074	CS Link	CI 9	C 11
Filmbox Plus	TV	12070	Hor.	13131	3089	3090	CS Link	CI 9	C 11
JimJam	TV	12070	Hor.	13132	3105	3106	CS Link	CI 9	C 11
MTV Czechia	TV	12070	Hor.	13140	3233	3234	CS Link	CI 9	C 11

Název stanice	Typ	Kmit.	Pol.	SID	VPID	APID	Distrib.	CATV	IPTV
Nova	TV	12070	Hor.	13138	3201	3202	CS Link	CI 9	C 11
Nova Cinema	TV	12070	Hor.	13139	3217	3218	CS Link	CI 9	C 11
Prima COOL	TV	12070	Hor.	13137	3185	3186	CS Link	CI 9	C 11
Prima LOVE	TV	12070	Hor.	13141	3265	3266	CS Link	CI 9	C 11
Sport 1	TV	12070	Hor.	13133	3120	3122	CS Link	CI 9	C 11
Sport 2	TV	12070	Hor.	13134	3136	3138	CS Link	CI 9	C 11
Country Rádio	RV	12070	Hor.	13151	-	3331	CS Link	BEZ CI	-
Doku CS	TV	12109	Hor.	5046	4006	4166	Skylink	CI 10	CI 7
Eurosport 2 HD	TV	12109	Hor.	5041	3511	3521	Skylink	CI 10	CI 7
Film Europe Channel	TV	12109	Hor.	5062	3012	3022	Skylink	CI 10	CI 7
Filmbox HD	TV	12109	Hor.	5043	4003	4163	Skylink	CI 10	CI 7
HBO HD	TV	12109	Hor.	5047	4007	4167	Skylink	CI 10	CI 7
Kino CS	TV	12109	Hor.	5058	4018	4178	Skylink	CI 10	CI 7
Spektrum HD	TV	12109	Hor.	5045	3515	3525	Skylink	CI 10	CI 7
Travel Channel HD	TV	12109	Hor.	5048	4008	4248	Skylink	CI 10	CI 7
TV Markíza HD	TV	12109	Hor.	5044	3514	3524	Skylink	CI 10	CI 7
Slovak Sport TV	TV	12109	Hor.	5042	3512	3522	Skylink	CI 10	CI 7
Óčko	TV	12168	Ver.	5201	160	80	CS Link	BEZ CI	CI 6
Regionální Televize	TV	12168	Ver.	5203	1131	1132	CS Link	BEZ CI	CI 6
TV LUX	TV	12168	Ver.	5204	518	708	CS Link	BEZ CI	CI 6
Nat Geo Wild HD	TV	12207	Ver.	5611	1101	1104	Skylink	CI 12	CI 2
National Geographic HD	TV	12207	Ver.	5613	1501	1504	Skylink	CI 12	CI 2
Viasat Nature (History) HD	TV	12207	Ver.	5614	1301	1302	Skylink	CI 12	CI 2
ČT 1	TV	12525	Ver.	8003	162	88	CS Link	CI 13	CI 8
ČT 2	TV	12525	Ver.	8004	163	92	CS Link	CI 13	CI 8
ČT 24	TV	12525	Ver.	8006	165	100	CS Link	CI 13	CI 8
ČT 4	TV	12525	Ver.	8007	166	102	CS Link	CI 13	CI 8
Prima Family	TV	12525	Ver.	8002	161	84	CS Link	CI 13	CI 8
TV Noe	TV	12525	Ver.	8008	167	106	CS Link	CI 13	CI 8
BBC Czech	RV	12525	Ver.	8024	-	183	CS Link	BEZ CI	-
ČRo Region	RV	12525	Ver.	8023	-	182	CS Link	BEZ CI	-
ČRo 1 - Radiožurnál	RV	12525	Ver.	8018	-	177	CS Link	BEZ CI	-
ČRo 2 - Praha	RV	12525	Ver.	8019	-	178	CS Link	BEZ CI	-
ČRo 2 - Praha	RV	12525	Ver.	8022	-	181	CS Link	BEZ CI	-
ČRo 3 - Vltava	RV	12525	Ver.	8020	-	179	CS Link	BEZ CI	-
ČRo 6	RV	12525	Ver.	8022	-	181	CS Link	BEZ CI	-
ČRo 7 - Rádio Praha	RV	12525	Ver.	8022	-	181	CS Link	BEZ CI	-
D-Dur	RV	12525	Ver.	8025	-	184	CS Link	BEZ CI	-
Leonardo	RV	12525	Ver.	8026	-	185	CS Link	BEZ CI	-
Rádio Česko	RV	12525	Ver.	8027	-	186	CS Link	BEZ CI	-
Rádio Proglas	RV	12525	Ver.	8021	-	180	CS Link	BEZ CI	-
Rádio Wave	RV	12525	Ver.	8028	-	187	CS Link	BEZ CI	-

PŘÍLOHA B

Označení	Ulice	Číslo popisné	Označení	Ulice	Číslo popisné
CO-01	Hornická	962-963-964	CO-28	Tyršova	858-859-860
CO-02	Okružní	983-984	CO-29	Černý vršek	796-797-798-799
CO-03	Okružní	959-960-961	R1-01	Lipová	882-883-884
CO-04	Okružní	969-970-971	R1-02	Jívová	870-871-872
CO-05	Okružní	967-968	R1-03	Jívová	867-868-869
CO-06	Okružní	965-966	R1-04	Višňová	861-862-863
CO-07	Okružní	957-958	R1-05	Lipová	879-880-881
CO-08	Okružní	955-956	R1-06	Višňová	864-865-866
CO-09	Hornická	953-954	R1-07	Višňová	873-874-875
CO-10	Hornická	950-951-952	R1-08	Višňová	876-877-878
CO-11	Okružní	972-973	R1-09	Višňová	909-910-911
CO-12	Okružní	974-975-976	R1-10	Višňová	912-913-914
CO-13	Hornická	977-978	R1-11	Višňová	915-916-917
CO-14	Hornická	979-980	R1-12	Višňová	918-919-920
CO-15	Hornická	981-982	R1-13	Jívová	888-889-890
CO-16	Hornická	945-946-947	R1-14	Lipová	885-886-887
CO-17	Novoměstská	948-949	R1-15	Jívová	903-904-905
CO-18	Hornická	942-943-944	R1-16	Lipová	891-892-893
CO-19	Hornická	939-940-941	R1-17	Lipová	894-895-896
CO-20	Spojovací	936-937-938	R1-18	Nádražní	906-907-908
CO-21	Spojovací	933-934-935	R1-19	Lipová	897-898-899
CO-22	Novoměstská	930-931-932	R1-20	Lipová	900-901-902
CO-23	Spojovací	927-928-929	R2-01	Voldán	655
CO-24	Spojovací	924-925-926	R2-02	Voldán	985-986
CO-25	Spojovací	921-922-923	R2-03	Voldán	987-988
CO-26	Dr. Veselého	856-857	R2-04	Voldán	989-990
CO-27	Příční	854-855			

PŘÍLOHA C

	RACK A	RACK B	RACK C	RACK D
01				
02				IP Streamer #1
03				
04				IP Streamer #2
05				
06				IP Streamer #3
07	L2/L3 PŘEPÍNAČ PBN AOCM6000 (přístupová sekce)	L2/L3 PŘEPÍNAČ PBN AOCM6000 (přístupová sekce)	L2/L3 PŘEPÍNAČ PBN AOCM6000 (přístupová sekce)	
08				SERVER IPTV
09				
10				
11				SERVER IPTV
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19	L2/L3 PŘEPÍNAČ PBN AOCM6000 (přístupová sekce)	L2/L3 PŘEPÍNAČ PBN AOCM6000 (přístupová sekce)	L2/L3 PŘEPÍNAČ PBN AOCM6000 (přístupová sekce)	L2/L3 PŘEPÍNAČ PBN AOCM6000 (agregační sekce)
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				SERVER - SPRÁVA
29	Optický rozvaděč ORM SNP	Optický rozvaděč ORM SNP	Optický rozvaděč ORM SNP	
30				DATOVÉ ÚLOŽIŠTĚ
31				
32				
33	Optický rozvaděč ORM SNP	Optický rozvaděč ORM SNP	Optický rozvaděč ORM SNP	
34				DATOVÉ ÚLOŽIŠTĚ
35				
36				
37	Optický rozvaděč ORM SNP	Optický rozvaděč ORM SNP	Optický rozvaděč ORM SNP	
38				
39				
40				
41	Optický rozvaděč ORM SNP	Optický rozvaděč ORM SNP	Optický rozvaděč ORM SNP	Optický rozvaděč ORM SNP
42				
43				
44				
45	Optický rozvaděč ORM SNP	Optický rozvaděč ORM SNP	Optický rozvaděč ORM SNP	
46				
47				

PŘÍLOHA D

	RACK A	RACK B	RACK C	RACK D	RACK E
01					
02					
03					
04					
05	OLT	OLT	OLT	OLT	OLT
06	LG-Ericsson	LG-Ericsson	LG-Ericsson	LG-Ericsson	LG-Ericsson
07	EA 1100	EA 1100	EA 1100	EA 1100	EA 1100
08	#2	#3	#4	#5	#6
09					
10					
11					
12					
13		SERVER IPTV		IP Streamer #1	
14					
15		SERVER IPTV		IP Streamer #2	
16					
17	OLT	SERVER - SPRÁVA		IP Streamer #3	OLT
18	LG-Ericsson		L2/L3 PŘEPÍNAČ		LG-Ericsson
19	EA 1100		PBN AOCM6000		EA 1100
20	#1	DATOVÉ ÚLOŽIŠTĚ	(agregační sekce)		#7
21					
22		DATOVÉ ÚLOŽIŠTĚ			
23					
24	AAWG	AAWG		AAWG	AAWG
25	WPF 1132c	WPF 1132c		WPF 1132c	WPF 1132c
26	AAWG	AAWG	AAWG	AAWG	AAWG
27	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c
28	AAWG	AAWG	AAWG	AAWG	AAWG
29	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c
30	AAWG	AAWG	AAWG	AAWG	AAWG
31	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c
32	AAWG	AAWG	AAWG	AAWG	AAWG
33	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c
34	AAWG	AAWG	AAWG	AAWG	AAWG
35	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c
36	AAWG	AAWG	AAWG	AAWG	AAWG
37	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c	WPF 1132c
38					
39					
40	Optický rozvaděč	Optický rozvaděč	Optický rozvaděč	Optický rozvaděč	Optický rozvaděč
41	ORM SNP	ORM SNP	ORM SNP	ORM SNP	ORM SNP
42					
43					
44	Optický rozvaděč	Optický rozvaděč	Optický rozvaděč	Optický rozvaděč	Optický rozvaděč
45	ORM SNP	ORM SNP	ORM SNP	ORM SNP	ORM SNP
46					
47					

PŘÍLOHA E

- Vlastní text diplomové práce
 - Formát: *.pdf
 - Aplikace: Adobe Reader XI
 - Aplikace URL: <<http://get.adobe.com/cz/reader/>>
 - Umístění: <xhorni10.pdf>
- Příloha F
 - Formát: *.pdf
 - Aplikace: Adobe Reader XI
 - Aplikace URL: <<http://get.adobe.com/cz/reader/>>
 - Umístění: <xhorni10_priloha_f.pdf>
- Příloha F
 - Formát: *.vsd
 - Aplikace: Microsoft Office Visio 2010
 - Aplikace URL: <<http://microsoft.com/downloads/>>
 - Umístění: <xhorni10_priloha_f.vsd>
- Zdrojové soubory simulace
 - Formát: *.zip
 - Aplikace: RSoft OptSim 5.2
 - Aplikace URL: <<http://www.rsoftdesign.com/>>
 - Umístění: <optsim.zip>