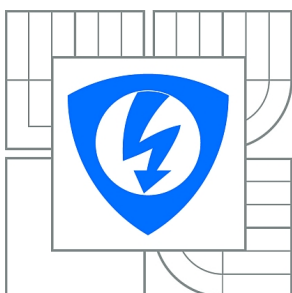




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

TRENDY PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍ

TRENDS IN ACCESS NETWORKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PETR ŠTĚPÁN

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. MILOSLAV FILKA, CSc.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Petr Štěpán

ID: 115288

Ročník: 2

Akademický rok: 2013/2014

NÁZEV TÉMATU:

Trendy přístupových sítí

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Proved'te praktický návrh optické přístupové sítě. Pro návrh vyberte vhodnou technologii a topologii, které přichází v úvahu. Uvažujte pasivní i aktivní technologie. Porovnejte výhody a nevýhody. Proved'te návrh měřících metod, vhodných měřících přístrojů, splnění příslušných norem a standardů, včetně závěrečných měřících protokolů. Řešte problematiku spolehlivosti, monitoringu a auditu navržené přístupové sítě.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] FILKA, M. Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku. CENTA, Brno 2009.
- [2] FILKA, M. Přenosová média. Skripta laboratoře. VUT FEKT, Brno 2003.
- [3] KUCHARSKI, M., DUBSKÝ, P. Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras. Mikrokom, Praha 2001.

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 28.5.2014

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.

ANOTACE

Práce se zabývá moderními trendy v FTTx, ale především se zaměřuje na FTTH, jenž reprezentuje zavádění vlákna až do domovů účastníků. Je zde shrnuta základní problematika komunikace na optickém vlnovodu, následuje srovnání s jinými typy přístupových sítí. Další částí je rozbor problematiky výstavby optické sítě i popis topologií a technologií využívaných v FTTH. Následuje kapitola, v níž jsou charakterizovány aktivní a pasivní prvky tvořící AON a PON sítě. Navazující část se zabývá studiem nejrozšířenějších služeb, které lze na optické přístupové síti provozovat. Jsou jimi především služby spojené s TriplePlay. Nedílnou součástí projektu je studie managementu, dohledu a auditu optické sítě. V hlavní části je vytvořen reálný návrh optické přístupové sítě s multimediálními službami TriplePlay, kdy je uskutečněn výběr vhodné varianty a podrobná realizace projektu s výběrem aktivních i pasivních prvků včetně stanovení ekonomické bilance.

Klíčová slova: FTTx, optická přístupová síť, FTTH, ODN, pasivní optická síť, aktivní optická síť, optické vlákno, služby TriplePlay, GPON, monitoring, výstavba FTTH

ABSTRACT

This work deals with the modern trends in FTTX, but mainly focuses on FTTH, who represents the connecting of fiber to the homes of the participants. Sum up the basic problems of communication on the optical fibre, followed by comparison with other types of access networks. Another part is the analysis of the problems of construction and a description of the optical network topologies and technologies used in FTTH. In following chapter are characterized active and passive elements forming AON and PON networks. Next part deals with the study of the most common services that can be on the optical access network to operate. They are mainly associated with the TriplePlay services. An integral part of the project is the study of management and supervision optical networks. In the main part is created real model situation where is the requirement for the creation of optical access networks with broadband of TriplePlay, followed by selection of appropriate options and detailed project with a selection of active and passive elements with economic balance.

Keywords: FTTx, optical access network, FTTH, ODN, passive optical network, active optical network, optical fiber, TriplePlay, monitoring, construction of FTTH

ŠTĚPÁN, P. *Trendy přístupových sítí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. XY s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Trendy přístupových sítí 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 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 práce prof. Ing. Miloslavu Filkovi, CSc. za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

V Brně dne

.....

podpis autora

OBSAH

Úvod	9
1. FTTx	11
1.1 FTTx základní pojmy	11
1.2 Proč FTTH?	14
1.3 Srovnání FTTH v rodině přístupových sítí.....	15
1.3.1 Srovnání s mikrovlnnými spoji.....	15
1.3.2 Srovnání s xDSL	17
2. Současné trendy výstavby optické sítě	18
2.1 Projektování a plánování	18
2.2 Současné metody pokládání kabelů přístupové sítě venku	19
2.2.1 HDPE, LSPE a HFFR trubky	20
2.2.2 Mikrotrubičkování	20
2.2.3 Nadzemní instalace	22
2.2.4 Technologie MCS (Micro Cabling System) Road.....	22
2.2.5 Technologie MCS – Drain	23
2.2.6 Technologie INSAK-K	24
2.2.7 Elektronický značkovací systém.....	24
2.3 Současné metody pokládání kabelů přístupové sítě uvnitř	25
2.3.1 Trubičkové systémy	25
2.3.2 Riser kabely	26
2.3.3 Lišty, žlaby	27
2.3.4 Využití některých struktur budov jako kabelové trasy	27
2.3.5 Technologie 3M™ Fiber Pathway	28
2.3.6 Specializované systémy pro průmyslové prostory.....	28
3. Pasivní prvky optické sítě	29
3.1 Optická vlákna	29
3.1.1 POF (Polymer Optical Fiber)	31
3.1.2 Důležité vlastnosti optického vlákna	32

3.2	Zdroje záření – LED x LD.....	35
3.3	Kabely s optickými vlákny	35
3.4	Optické splittery.....	37
3.5	Optické konektory.....	39
3.6	Spoje a svary optických vláken	40
3.7	Ostatní pasivní prvky optické sítě.....	41
4.	Aktivní prvky optické sítě.....	42
4.1	OLT	42
4.2	ONT.....	43
4.3	Optický směrovač	43
4.4	Optický přepínač.....	43
4.5	Optický most.....	44
4.6	EDFA	44
4.7	Opakovač	44
4.8	Media konvertor.....	45
5.	Technologie a topologie pro optické sítě.....	46
5.1	AON (Activ Optical Network)	47
5.2	PON (Pasiv Optical Network)	49
5.3	Technologie pro vícenásobný přenos signálu.....	53
6.	Služby na optické síti.....	54
6.1	Video	54
6.2	Hlas	56
6.3	Datové služby	56
7.	Kontrolní měření, monitoring, dohled a audit FTTH	57
8.	Návrh vlastní optické přístupové sítě	58
8.1	Legislativní, smluvní a ekonomické aspekty.....	59
8.1.1	Legislatura v ČR	60
8.2	Technologické aspekty.....	60
8.3	Náklady na výstavbu	62
9.	Optická síť Brno – Královo Pole.....	63

9.1	Popis lokality a nástin technického řešení	63
9.2	Topologie	65
9.3	Stanovení útlumů na trasách	69
9.4	Technické specifikace	71
9.4.1	Trubičkové systémy	72
9.4.2	Vlákna, kabely a rozvaděče	74
9.4.3	ONT	75
9.4.4	OLT	75
9.5	Měření, monitoring a dohled	76
9.5.1	Metoda OTDR	76
9.5.2	Metoda OLTS	78
9.5.3	Monitorovací systémy	79
9.5.4	Ostatní metody kontroly optických vláken	80
9.5.5	Audit FTTH	81
9.5.6	Výstupní protokoly měření	82
9.6	Ekonomická rozvaha	83
9.7	Plán rozvoje	85
10.	Závěr	87
	Seznam použitých zdrojů	89
	Seznam použitých zkratk	92
	Seznam příloh	94

ÚVOD

"Information is the oxygen of modern age." Tato slavná věta amerického prezidenta Ronalda Regana nese velkou pravdu. Informace rozšiřuje poznání, pokládá základy svobody, vyhrává války, dokonce zachraňuje životy. Možnost přistupovat k obrovskému objemu informací zejména prostřednictvím internetu, je dnes bezesporu hlavním pilířem celé moderní společnosti. V civilizovaném světě již neexistuje subjekt, který není závislý na potřebě rychle přijímat, zpracovat a následně odesílat informace svému okolí.

Pro přenos informací existuje nespočet technologií, které využívají nejrůznější fyzikální jevy. Informace je přenášena nejčastěji pomocí elektrické energie procházející vodičem, dále za využití vysokých frekvencí přenášena vzduchem nebo s pomocí pulzů světelného záření putujících různým prostředím. A právě tento poslední způsob přenosu informace může představovat komunikační technologii s potenciálem stát se nejvíce používaným komunikačním médiem budoucnosti. Především kvůli své takřikajíc neomezené kapacitě, extrémní přenosové rychlosti a univerzálnosti.

Historické kořeny přenosu informací za pomoci směřovaného světelného záření šířícího se různým prostředím spadají do poloviny 19. století. Tehdy profesor Daniel Colladon v Ženevě, v Paříži a rovněž v Londýně demonstroval použití proudu vody jako jednoduchého světlovodu. O následnou popularizaci tohoto jevu se na světových výstavách postaral Ir John Tyndall. Za zmínku stojí i Křížíkova fontána poprvé představena na výstavě v Praze roku 1891. K objevení skleněného světlovodu podobného tomu dnešnímu nechybělo mnoho. Z počátku se objevily spíše snahy o přenesení obrazu přes svazky skleněných vláken. Tak tomu bylo kupříkladu v Mnichově roku 1930, kdy německý student Heinrich Lamm přenesl obraz zářícího vlákna žárovky s pomocí svazku skleněných vláken. Na přelomu 50. let minulého století byla díky snaze o dokonalejší přenos obrazu navržena první konstrukce optického vlákna s tlustým jádrem a tenkým pláštěm o různých indexech lomu. Ty našly uplatnění především v medicíně jako endoskopy. Postupem času především díky snahám o získání média s větší šířkou pásma investovaly telekomunikační firmy, výzkumné ústavy a giganti jako AT&T úsilí i prostředky do rozvoje konstrukcí optických vlnodů, které by byly schopny efektivně přenášet informace. Při jejich rozvoji výrazně napomohlo zkonstruování prvního laseru Theodorem Maimanem roku 1960, který měl pro vlnovody potenciál jako zdroj záření. Poslední překážkou pro zdárné využití optického vlákna pro přenos informace na delší vzdálenost se stal útlum. Jeho příčinami se zabývala skupina

v Standard Telecommunications Laboratory (dále STL) pod vedením Antoni Karbowiaka. Roku 1966 Charles Kuen Kao z STL odhalil, že příčina útlumu spočívá v přítomnosti nečistot (jev absorpce) a podařilo se mu snížit jeho hodnotu na $1 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$. Za jeho objev mu byla roku 2009 udělena Nobelova cena za fyziku. Jediným problémem stále zůstává vyšší cena, ta ovšem s rostoucí poptávkou po větší šířce pásma a s uplynulými roky přinášejícími zdokonalené výrobní procesy, ustupuje do pozadí. Tímto jsme se dostali až do doby, kdy je optické vlákno díky nízkým hodnotám útlumu a přijatelným cenám zaváděno až do zásuvek v našich domovech – Fiber To The Home (FTTH).

Tato práce si dává za cíl provést průzkum moderních trendů v optické přístupové síti se zaměřením na FTTH a to zejména v oblastech výstavby a managementu. Zabývá se především problematikou optického přenosu, seznámením se s aktivními a pasivními prvky, základními topologiemi, technologiemi a standardy pro FTTH, službami, monitoringem a auditem takovéto sítě. V praktické části dokumentu je řešena problematika návrhu optické přístupové sítě po stránce ekonomické i technické, na ni dále navazuje reálný návrh sítě FTTH, která bude podporovat moderní služby s touto sítí spojené, tedy Triple Play. Je zde popsáno detailní řešení s prvky a technologiemi, které byly rozebrány v teoretické části. Tento model by měl především reprezentovat způsob expanze přístupové sítě FTTH do již osídlených oblastí, což autor považuje za hlavní a nevyhnutelný, pozvolný trend v přístupových sítích. Vše je řešeno s důrazem na vysokou rentabilitu projektu. V závěru nechybí ekonomická rozvaha a úvaha nad dalšími možnostmi rozšíření navrhované přístupové sítě.

1. FTTX

Metallické vedení zaváděné do účastnických zásuvek s technologií DSL již přestává uspokojovat zákaznické potřeby. Důvodem je především omezená šířka pásma, která již nedokáže pokrýt narůstající požadavky na multimediální přenosy. Především se jedná o vysokorychlostní transfery dat, přenos HDTV, telefonii a videotelefonii, to vše v jednom okamžiku a s vysokými nároky na QoS (*Quality Of Service*). Tyto služby, souhrnně zvané Triple Play, představují velkou zátěž na přístupovou síť. Kladené požadavky na šířku pásma je možno splnit nasazením optické přístupové sítě, tedy OAN (*Optical Acces Network*). Plná konektivita se zárukou šířky pásma bude zaručena v případě nasazení FTTH, kdy bude optické vlákno přivedeno až k účastnickým zásuvkám do našich domovů, firem či výrobních závodů.



Obr. 1.1: Technologie FTTH

Výrazný posun v FTTx zapříčinila především výstavba rozsáhlých optických metropolitních sítí. Jejich přípojný uzly představují první krok pro připojení koncových uživatelů prostřednictvím optického vlákna. [19]

1.1 FTTx základní pojmy

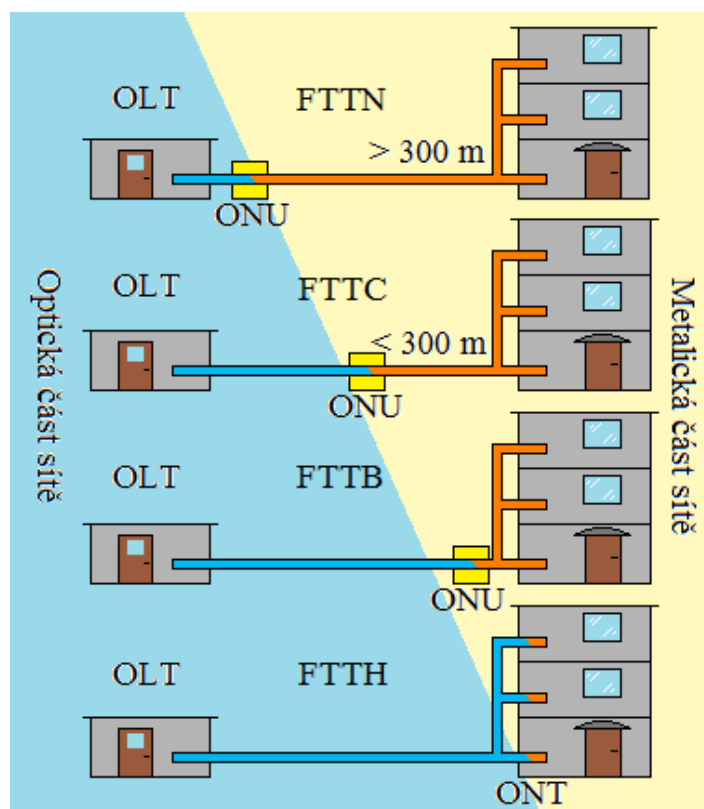
Přístupová síť FTTH, na kterou bude tato práce zaměřena, (*Fiber To The Home*) spadá do rodiny FTTx, kde poslední písmeno určuje polohu koncové jednotky. Představuje-li tato jednotka rozhraní mezi optickou a dále pokračující metallickou sítí, je označována ONU (*Optical Network Unit*). V případě FTTH, kdy je optické vlákno zavedeno až do zásuvky uživatele a většina metallické části přístupové sítě je tímto vynechána, nazýváme koncovou jednotku ONT (*Optical Network Termination*). Situaci znázorňuje obrázek 1.2. ONT v podobě jednoduchého kompaktního zařízení bývá nejčastěji osazeno konektory RJ45, RJ11

a CATV pro připojení koncových zařízení a představuje zároveň i výchozí bránu sítě. Blíže budou tato zařízení rozebrána v kapitole 4. Kombinací umístění rozhraní ONU a optického linkového zakončení OLT (*Optical Line Terminator*) nacházejícího se na straně distributora, vzniká řada typů přístupových sítí jako:

- FTTB (*Fiber To The Building*) – vlákna jsou přivedena do budov účastníků odbočením několika vláken z místní optické sítě. Toho bývá využito například v panelových zástavbách. Samotné odbočení několika vláken z kabelové trasy místní sítě je prováděno v tzv. optických spojkách zakopaných v zemi nebo pomocí odbočovacích multiduktů. V prvním případě je potřebný počet vláken s patřičnou rezervou navařen na optický kabel vedoucí k budově zákazníka. V druhém případě je vlákno zataženo trubičkou přímo do technické místnosti v budově zákazníka. Přivedená vlákna zbavená ochrany jsou zde kvůli nezbytné rezervě dvou až tří metrů namotána na kazetu umístěnou v tzv. ochranné vaně a jsou opatřena optickými konektory. Pomocí propojovacích patchcordů je vana propojena s převodníkem, který optický signál převede na elektrický. Odtud je kabelem FTP nebo UTP připojen přepínač zajišťující konektivitu celého domu prostřednictvím metalického vedení.
- FTTO (*Fiber To The Office*) – vlákna jsou přivedena přímo do pracovních prostor institucí, jako jsou nemocnice, úřady, obchodní společnosti apod., ve kterých jsou kladeny vysoké nároky na přenosovou kapacitu systému. Název je odvozen od místa, pro které je tento druh připojení typický – kancelář.
- FTTCab (*Fiber To The Cabinet*) – vlákna jsou přivedena k účastnickému rozvaděči, který se nalézá například na ulici mezi budovami zákazníků. Odtud jsou směrem k zákaznickým přepínačům vyvedeny koaxiální kabely nebo kroucená dvojlinka s maximální délkou trasy 300 m. Vhodné umístění optického kabinetu skýtá možnost využití starých datových či telefonních rozvodů k propojení s budovami.
- FTTC (*Fiber To The Curb*) – vlákna jsou přivedena k účastnickému rozvaděči, který se nachází poblíž budovy, jenž je připojována, typicky u chodníku apod. S umístěním rozvaděče mimo budovu vyvstávají velké nároky na zachování jeho bezpečnosti proti vandalismu, povětrnostním podmínkám aj. Podobně jako FTTCab využívá stávajících metalických rozvodů jako spoje z DSLAM k zákazníkům.
- FTTN (*Fiber To The Node*) – podobné FTTC, kde jsou vlákna přivedena do pouličních kabinetů, odkud pokračují metalické rozvody k účastníkům. Část spoje za

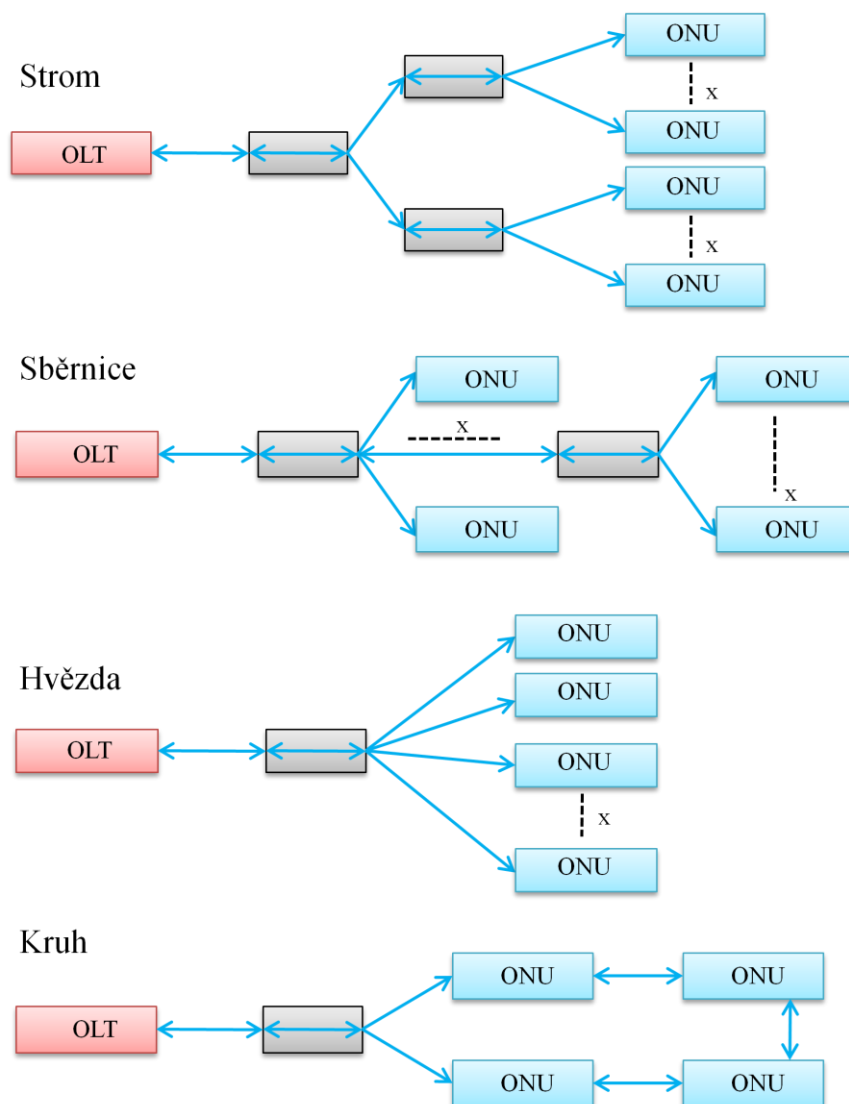
optickými vlákny bývá často reprezentována technologiemi ADSL2+ nebo VDSL. Na rozdíl od FTTC může být kabinet umístěn až kilometr od zákazníků.

- FTTE_x (*Fiber To The Exchange*) – vlákna jdou připojena do telefonních ústředěn k multiplexním zařízením DSLAM, odkud jsou zákazníci připojováni prostřednictvím metalického vedení a ADSL.
- FTTH (*Fiber To The Home*) – optická vlákna jsou v tomto případě přivedena do domovů zákazníků. Zde jsou ukončena ve výchozí bráně sítě nebo jsou zavedena až do zásuvky v patřičném místě v obytné jednotce. Tento typ přípojky je využíván nejčastěji k běžným datovým službám, IP telefonii a přenosu vysílání IPTV. Díky ukončení optické konektivity až u samotného zákazníka nabízí tento způsob spolu s FTTO největší šířku pásma a je tak ze všech výše popsanych technologií nejefektivnější.



Obr. 1.2: Znázornění vybraných členů rodiny FTTx ve vztahu k poloze klíčových prvků optické sítě

Množina prvků OLT, ONU/ONT, kabelových spojů, vláken a dalších prvků rozebraných v dalších kapitolách vytváří tzv. optickou distribuční síť (ODN – Optical Distribution Network). Podle uspořádání těchto prvků vznikají různé topologie sítí, typická uspořádání jsou na obrázku 1.3. Nejčastěji se můžeme setkat s topologií strom a to zejména v situacích, kdy připojujeme panelová sídliště či oblast s rodinnými domky. Topologie sběrnice je aplikována například na univerzitách k propojení základních komunikačních uzlů budov.



Obr. 1.3: Znázornění typických topologií optické distribuční sítě – ODN

1.2 Proč FTTH?

Před budováním jakéhokoliv projektu je zapotřebí shrnout a prověřit všechny možné způsoby řešení, použitelné zdroje, materiály apod. U projektování telekomunikační sítě je tomu podobně. Ptáme se tedy proč využít FTTH a optická vlákna obecně?

- Enormně velká šířka pásma oproti koaxiálnímu páru či radiotechnice – nosná frekvence 10^{13} až 10^{16} Hz.
- Vysoký kapacitní potenciál s využitím multiplexů (např. DWDM – Dense Wavelength Division Multiplexing).
- Naprostá elektrická izolace.
- Malé rozměry a hmotnost vlnodů, konektorů i aktivních prvků.
- Zcela odolné proti přeslechům a dalším elektromagnetickým interferencím.
- Obtížně odposlouchávatelné – bezpečný přenos pro armádu, banky, firmy atd.
- Nízké ztráty během přenosu.
- Dohled a kontrola sítě na špičkové úrovni.
- Vysoká spolehlivost a efektivita.
- Nízká cena. [23]

1.3 Srovnání FTTH v rodině přístupových sítí

1.3.1 Srovnání s mikrovlnnými spoji

Velkým konkurentem FTTH v řešení problémů takzvané „poslední míle“ může být mikrovlnná technika. Pro srovnání byly vybrány typické systémy Summit a Ceragon s dosahem okolo 2 – 4 km dle individuálního charakteru lokality. Jedná se o technologie využívající pro přenos licencované i nelicencované pásma 10 až 28 GHz. Oproti FTTH nabízejí rychlou a levnou montáž venkovních jednotek v řádu hodin, ovšem jejich umístění je podmíněno přímou viditelností obou stran. Napájení jednotek je uskutečněno po Ethernetu (IEEE 802.3af, IEEE 802.3at). Některá důležitá fakta jsou uvedena v tab. 1.1. Nevýhodou oproti zavedení optického vlákna je značná nespolehlivost přímo se odvíjející od povětrnostních podmínek, jako jsou srážky, vzdušná vlhkost, vysoké teploty, sněžení a prudké změny teploty. V neposlední řadě může být signál snadno oslaben fyzickým zásahem v okolí antény, jako pohyb osob, ptactva, výskyt vegetace. Četnost servisních zásahů na těchto spojkách je vysoká. Velmi obvyklé jsou poruchy zdrojů a některé části antén jako je



Obr. 1.3: Summit



Obr. 1.4: Summit

„vysílací čočka“. Skrz výčet nedostatků se jeví použití mikrovlnných spojů jako poměrně nespolehlivý způsob, který nezaručuje dlouhodobě zcela bezchybný přenos. Za nutnost lze považovat sestavení kvalitního managementu pro odstraňování chyb.

Navzdory nízké spolehlivosti, je možné sledovat trend zasíťování větších obytných zástaveb právě těmito technologiemi. Jedná se například o připojení periférií velkých měst či panelových sídlišť, kdy je konektivita přivedena do centrálního uzlu pomocí směrových antén a posléze rozvedena bezdrátově nebo částečně metalickými rozvody do okolních budov. Přívod sítě zastoupený mikrovlnným spojem tak tvoří zranitelnou část ohrožující konektivitu celé sítě, tedy až stovek koncových zákazníků. V kombinaci s nižšími přenosovými rychlostmi (absence multiplexu) lze tuto technologii pro dlouhodobá řešení konektivity označit jako nedostatečnou. Oproti tomu fyzická odolnost spoje prostřednictvím optického vlákna zkombinovaná s dostatečným označením zakopaných kabelů zaručuje vysokou spolehlivost se stabilním přenosem.

Z tabulky 1.1 je patrné, že rychlosti dvou široce využívaných technologií mikrovlnných spojů jsou oproti kapacitám, které nabízejí optická vlákna, poměrně omezené.

Tab. 1.1: Rychlosti a pásma mikrovlnných technologií Summit a Ceragon

Technologie	Typ	rychlost	pásmo	dohled
Summit	UNI	10 – 40 Mbps	10,5 GHz	Implementovaný dohledový software
	UNI-C			
	QAM	25 – 100 Mbps		
	Narrow (alter)	12,5 – 100 Mbps		
	SDV	45 – 350 Mbps	11GHz,17GHz	
Ceragon	1528	155 Mbps	11 GHz, 18 GHz, 26 GHz, 28 GHz	Implementovaný dohledový software
	1500P	50 – 400 Mbps		
	IP-10	10 – 400 Mbps		web

Nasazení mikrovlnných spojů se doporučuje pouze pro krajně nedostupné lokality nebo jako přechodné a levné zajištění konektivity zákazníka. Obdobně lze charakterizovat podobné starší technologie Netro či Hughes.

1.3.2 Srovnání s xDSL

Nejrozšířenější technologií pro připojení koncového zákazníka je dnes stále xDSL a to především asymetrický ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), kde je upstream nižší než downstream. Toto mnohým uživatelům může prozatím vyhovovat, nicméně představuje velké omezení v případě využívání videotelefonie. Velkým nedostatkem je též nízká perspektiva v dalším rozvoji přístupu na médium (multiplexy). Metalické vedení je tímto oproti FTTx značně omezené. I přes náznaky snahy o realizaci služeb Triple Play prostřednictvím xDSL je zajištění patřičných QoS jako u FTTx prozatím nereálné. Další velkou nevýhodou je nízká maximální vzdálenost přípojky koncového účastníka a ústředny ADSL. Po překročení této vzdálenosti dochází k degradaci signálu a snížení přenosové rychlosti. Problémem je také velké množství účastníků na jednom kabelu nebo příliš staré, nekvalitní vedení znemožňující přístup, dále nízká záruka propustnosti sítě a závislost na přítomnosti telefonního vedení. Nejpatrnější a prozatím nedůležitější rozdíl srovnávaných technologií je v pořizovacích nákladech, které jsou v případě xDSL téměř nulové.

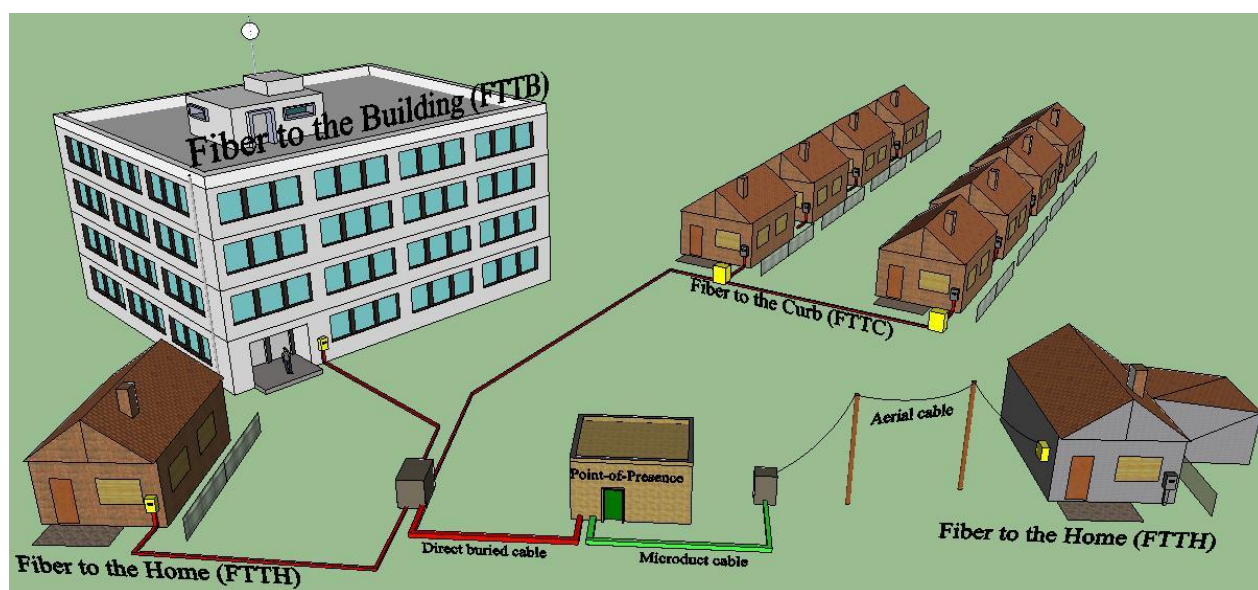
Hrubé srovnání obou výše uvedených technologií je v tab. 1.2, ze které vyplývá, že cena realizace přístupové sítě je prozatím skutečně rozhodující.

Tab. 1.2: Přímé srovnání přístupových sítí optických, mikrovlnných a ADSL

Faktor	ODN	Mikrovlny	ADSL
Spolehlivost	+	-	+
Cena	-	+	+
Dosah	+	-	-
Montáž	-	+	+
Rozšiřitelnost	+	-	-
Šířka pásma	+	-	-
Přenosová rychlost	+	-	-
Modulace	+	-	-
Stabilita systému	+	-	+

2. SOUČASNÉ TRENDY VÝSTAVBY OPTICKÉ SÍTĚ

Velkou nevýhodu pro FTTH stále představuje nutnost vytváření nových tras k cílovým objektům. Při použití konkurenčních kabelových systémů jako DSL tato nutnost odpadá, neboť využívají již rozvedených telefonních obvodů. U bezdrátových technologií jako Summit, Ceragon, Netro či Hughes Network System atd. dojde pouze k instalaci zařízení na straně zákazníka a na straně poskytovatele (případně se přidají retranslační body na prodloužení spoje), čímž je zajištěna plná konektivita. Pro FTTH je však nutné vyhloubit výkop pro položení multiduktů a následně vytvořit kabelové trasy v cílových objektech. Postupem času se vyvinuly technologie a postupy pro zjednodušení pokládky optických kabelů jak v úsecích venkovních, tak i v budovách klientů. Nejpoužívanější způsoby vedení optických vláken v systémech FTTx jsou znázorněny na obr. 2.1. Můžeme zde vidět spoje tvořené přímo zakopanými kabely s optickými vlákny (červeně), mikrotrubičkové systémy pro zafukování vláken (zeleně) i realizace přípojky zavěšeným kabelem.



Obr. 2.1: Znázornění realizace některých způsobů distribuce části strukturované kabeláže dnešních FTTx

2.1 Projektování a plánování

Z vysokých finančních nákladů realizace FTTH plyne požadavek na detailní zpracování projektu a plánování výstavby. Prvním krokem je výběr specifické technologie. Následuje

výběr architektury a topologie sítě, která se obvykle realizuje v návrhových projektových programech s možností generování dokumentací, rozpočtů a detailních simulací provozu. Typickým simulátorem je Opnet IT Guru, Spider–Fiber, MetroWAND, OptiSystem, Automated FTTH Design, FiberPlantIT Simulator nebo FiberPlanIT Engineering Add-On. S tímto krokem úzce souvisí detailní průzkum plánovaných tras v lokalitách, kde bude síť realizována, a následuje přizpůsobení projektu detailním podmínkám lokality.

Projekt je třeba uzpůsobit požadavkům nejen ze strany provozovatele, ale i zákazníka. Mezi hlavní kritéria při návrhu a následné realizace spolehlivé efektivní sítě patří zejména tyto prvky:

- Minimální náklady na uzly i spoje.
- Flexibilita – možnost úprav a rozšíření sítě (ponechání rezerv) a služeb.
- Široká podpora QoS – garance zpoždění, propustnosti a odezvy.
- Náklady na správu (dohled, údržba, servis apod.).
- Bezpečnost – zálohování, záložní okruhy, záložní napájení v uzlech.
- Standard pro zákazníka – podpora Plug & Play a ukončení prostřednictvím standardních rozhraní.

Hluběji bude tato problematika probrána v kapitole 8.

Současným trendem v plánování je i snaha synchronizovat fyzickou realizaci projektu s ostatními zásahy do lokality. Hovoříme především o využití výkopů primárně určených například pro plynovody či kanalizaci, díky čemuž je celý projekt výrazně časově i finančně odlehčen. Toho je zpravidla využíváno při realizaci FTTH v satelitních městečkách, kdy může být datová síť obsažena v projektu celého komplexu.

Z průzkumů kalkulací projektů FTTH vyplývá, že pouhých 5 % z celkového rozpočtu na přístupovou síť je zastoupeno kabelem, oproti tomu u většiny projektů náklady na vnitřní rozvody mohou převyšovat 40 %. Z toho plyne, že projektování vnitřních rozvodů je třeba zahrnout a detailně popsat v projektu přístupové sítě. [5]

2.2 Současné metody pokládání kabelů přístupové sítě venku

Pro usnadnění pokládání kabelů ve venkovních prostorách byla vytvořena řada technologií a postupů, které tento proces usnadňují a šetří finanční prostředky, čas i okolní prostředí. Je rovněž nutné dodržovat patřičné normy jako ČSN 73 6005 specifikující uspořádání technické sítě.

2.2.1 HDPE, LSPE a HFFR trubky

HDPE trubky

Jedná se o nejčastěji používané trubky vyráběné z tvrdého a odolného polyethylenu ukládané do výkopů o hloubce přibližně 60 – 150 cm. Po jejich spojení vzniká trasa vhodná pro zafukování optického kabelu. Nejčastěji se používají HDPE (High Density Polyethylen) s vnějším průměrem 25, 32, 40 a 50 mm. Vyrábí se ve všech barvách stupnice RAL s příslušnými popisy na přání zákazníka z důvodů jasné identifikace trasy. Vnitřní stěna trubky je obvykle opatřena lubrikační vrstvou pro snížení třecí síly působící při zafukování na kabel s optickými vlákny.

Po instalaci je nutné uskutečnit kontrolu průchodnosti trasy zafouknutím kalibrační elektronické sondy a případné deformované části HDPE trubky je třeba vyměnit. Rovněž je třeba provést kontrolu těsnosti spojů. To se provádí natlakováním části potrubí vzduchem, únik vzduchu pak signalizuje netěsnosti v systému.

LSPE trubky

Jsou to ochranné trubky se sníženou hořlavostí používané v místech, jako je metro, tunely, elektrárny, vnitřní zástavby apod. Dle normy ČSN 730862 (neplatná od 1.1.2004) jsou dodávány pod třídou hořlavosti B nebo C1.

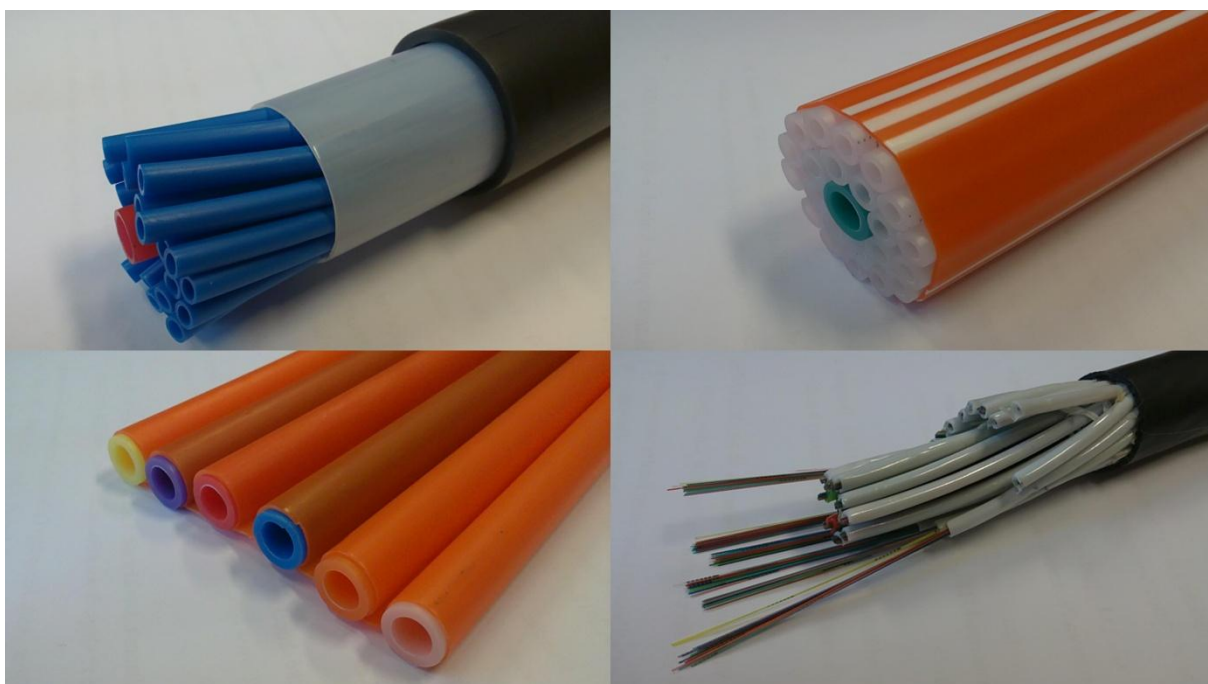
HFFR trubky

Jedná se o trubky se sníženou hořlavostí používaných podobně jako LSPE trubky v prostorách metra, elektráren apod. Neobsahují žádný halogen a mezi jejich výhody patří omezení tvorby kouře při hoření a nízká toxicita zplodin. Nevýhodou je snížená mechanická tuhost. [24]

2.2.2 Mikrotrubičkování

Pro instalaci optických mikrokabelů je využívána technologie mikrotrubičkování, které spočívá v zafukování tenkých ochranných trubiček silným proudem vzduchu do chrániček HDPE, multiductů nebo zesílených trubiček pro uložení do země. Účelem mikrotrubičkování je vytvoření kompaktní, flexibilní distribuční trasy pro zavádění optických vláken nebo jejich svazků, přičemž do jedné trubičky o vnitřním průměru 4 mm je možno zafouknout 12 vláknový mikrokabel a do trubičky o vnitřním průměru 10 mm je možno zavádět mikrokabely obsahující až 144 vláken. *Multiduct* představuje skupinu 4, 7, 12, 19 a 24 trubiček spojených izolací, do nichž jsou postupně zafukovány mikrotrubičky o průměrech 3 a 5 mm. Položením

soustavy do HDPE trubky vznikne trasa pro zavedení optického vlákna. Mikrotrubičky pro přímé uložení do země naleznou uplatnění zejména v přístupových sítích. Nejsou opatřeny žádnou další ochranou, jako HDPE. Jsou vyráběny s průměrem 7, 10, 12 a 14 mm. Plášť je vyroben ze stejného materiálu jako HDPE trubky, přičemž vnitřní strana pláště bývá opatřena silikonem z důvodů minimalizace tření při zafukování. Sdružení těchto mikrotrubiček obalených tenkou izolací vznikají tzv. *rukávky*. Ty umožňují lepší manipulaci se skupinou souběžně vedoucích vláken na delší vzdálenosti. Ukázky výše popsaných systémů jsou na obrázku 2.2. [14]



Obr. 2.2: Mikrotrubičkové systémy pro ukládání optických vlnovodů

Autor pro realizaci přístupové sítě preferuje použití systému Dura-Flat (na obr. 2.2 vlevo dole), vzhledem ke snadnému odbočení jednotlivých trubiček z hlavní trasy.

Pro zafukování mikrokabelů do mikrotrubiček lze použít zařízení ULTIMAZ V 20 nebo Microjet PRM 196 s připojeným kompresorem. Pro zafukování kabelů a mikrotrubiček do průměru 14 mm na vzdálenost 1 až 3 km je používáno například zařízení Superjet, které je schopné vyvinout tlačnou sílu 600 N a zafukovat kabel rychlostí 60 m . min⁻¹.

Tab 2.1: Charakteristické hodnoty zařízení pro zafukování optických mikrokabelů

Zařízení	Tlačná síla (N)	Rychlost (m . min ⁻¹)	Průměr mikrokabelu	Pro trubičky	Tlak (bar)
ULTIMAZ V 20	20	40	0,8 - 4 mm	3 - 8 mm	12
Microjet PRM 196	25	50	0,8 až 8 mm	3 - 8 mm	16

Zmíněná technologie zafukování přináší vysokou efektivitu, finanční úsporu, možnost využití existujících tras k mnohonásobnému rozšíření a případné inovaci.

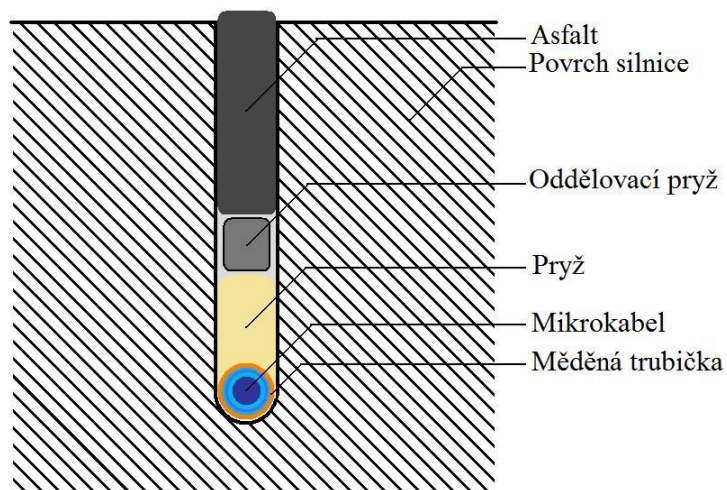
2.2.3 Nadzemní instalace

V tomto případě jsou optické kabely zavěšovány na sloupech, úchytech budov apod. U nás se používá zřídka a to pouze v místech, kde není možné provádět výkopové práce. Klasické optické kabely s nepřizpůsobenými tahovými členy lze zavěšovat pouze na kratší vzdálenosti. Hodnoty maximální délky zavěšení uvádí výrobce. Na delší úseky se využívají speciální závěsné kabely s tahovým prvkem (ocelová lanka uprostřed nebo po stranách). Ty lze použít pro zavěšení na vzdálenosti kolem 100 m. V jiných zemích je tímto způsobem zajištěna optická konektivita i do center velkoměst odlehlých míst a menších měst.

Popsaný způsob představuje nejrychlejší variantu přivedení optické konektivity, ovšem většinou bývá zvolen pouze jako dočasné řešení před uložením kabelových tras do země. Použití najde v menších vesnicích. Je to také dost nevzhledný a nepřehledný způsob, uvažujeme-li síť s vyšší hustotou kabeláže.

2.2.4 Technologie MCS (Micro Cabling System) Road

Jedná se o alternativní technologii vytváření otevřeného výkopu řezáním drážek do vozovek či chodníků. Do nich se pak ukládá mikrokabel s měděnou ochrannou trubicí nebo mikrotrubička pro zafukování s průměrem okolo 5 mm. Šířka drážky je obvykle 1 – 2 cm, její

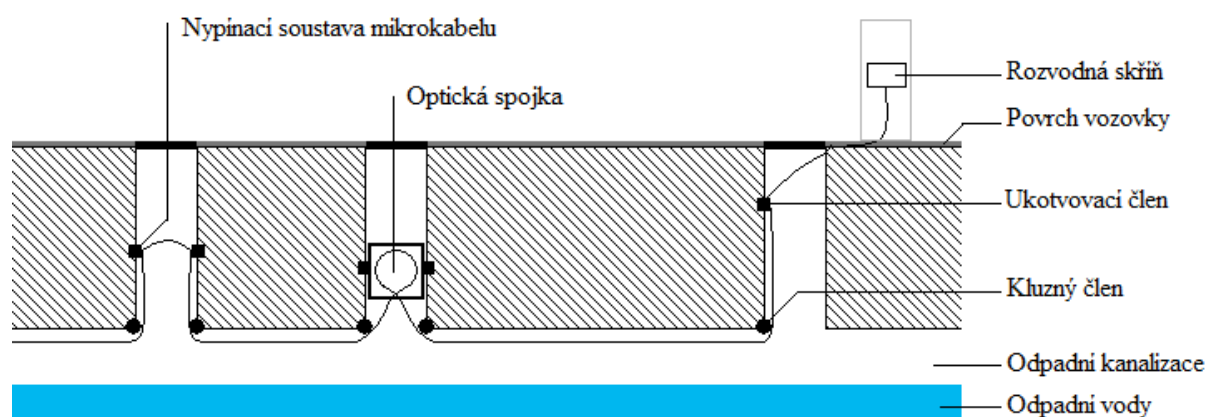


Obr. 2.2: Technologie MCS Road

hloubka 10 cm a více. Použitý mikrokabel může obsahovat 12, 24, 36, 48, 60 nebo 140 optických vláken. Technologii je možno použít pro asfaltové povrchy se zpevněným podkladem, nedoporučuje se použít v místech, kde je podklad písčitý, štěrkovitý nebo kamenitý. Časem zde může docházet k poškození uložených kabelů. Drážka je řezána lehkými elektrickými nebo výkonnými naftovými řezačkami s automatickým pojezdem s využitím diamantových kotoučů. Metoda představuje velkou časovou i finanční úsporu, rovněž je šetrná k vozovkám a chodníkům. Pozitivní je také velmi krátkodobá doba vzniklého omezení provozu na silničních komunikacích. Technologie není nijak normována, závisí především na stavební firmě a použitých strojích. Podobnou technologií je ukládání optického mikrokabelu do chodníků, mezi obrubník a plochu chodníku. Spára je vyplněna lepidlem nebo cementovými hmotami. Není narušen povrch pro pěší a zároveň je obrubníkem přímo určena pevná vodící trasa pro mikrokabel.

2.2.5 Technologie MCS – Drain

Pro zavedení optické konektivity jsou v tomto případě využívány trubky odpadních vod. Kabel s trubičkou obsahující 12, 24, 36, 48, 60 nebo 140 optických vláken je opatřen hliníkovým pláštěm, vnějším ocelovým pancéřovaným výpletem proti fyzickému poškození a obvykle je pokryt polyethylenovou vrstvou sloužící k ochraně proti vnějším chemickým vlivům. Způsob uložení mikrokabelu je patrný z obrázku 2.3. [22]

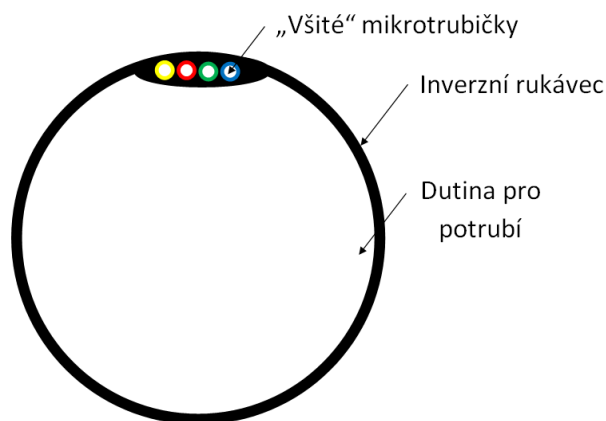


Obr. 2.3: Systém uložení mikrokabelu metodou MCS drain

2.2.6 Technologie INSAK-K

Jedná se o renovaci kanalizačních potrubí za účelem jejich komerčního využití. Renovují se trubky o průměrech 150 – 1200 mm, do kterých je posléze možno zavádět optické kabely v mikrotrubičkách. Technologii využíváme v místech, kde není možné vyhloubit výkop.

Obvykle jde o hustě obydlená místa s velkou hustotou dopravy nebo o historické oblasti. Při této metodě je vnitřní část starého potrubí vyvločkována tzv. inverzním rukávem, který tak vytváří pevnou vrstvu z tvrdého plastu, do níž se „všívají“ mikrotrubičky o průměru 7 – 10 mm. Technologie vytváří hladký povrch vnitřní části potrubí a zároveň nesnižuje



Obr.2.4: Technologie INSAK-K

jeho průchodnost. Na popsany technologický postup se vztahuje patent. Do všívaných mikrotrubiček se obvykle zafukují mikrokabely o průměru 2 – 5 mm. Následující tabulka 2.1 uvádí maximální možné délky pro renovaci potrubí bez přerušení v závislosti na šířce trubky. [14]

Tab. 2.1: Maximální délka pro renovaci potrubí technologií INSAK-K bez přerušení v závislosti na šířce trubky

Průměr trubky	Délka úseku
200 mm	200 m
300 -500 mm	120 m
600 - 800 mm	80 m
900 - 1200 mm	60 m

2.2.7 Elektronický značkovací systém

Při budování tras optické sítě je vhodné důležité body, rizikové trasy či uzly označit. Můžeme tak zamezit pozdějšímu náhodnému poškození rozvodných soustav při hloubení výkopů a zároveň snadno lokalizovat důležité body určené například k výměně nebo servisu. K tomuto účelu je možno využít elektronický značkovač (jinak též marker), který funguje na

jednoduchém principu pasivního LC obvodu bez potřeby vlastního napájení. K jeho vyhledání se používá příslušný lokátor markerů. Značky mají různé velikosti a jsou barevně rozlišovány dle charakteru objektů, které označují, přičemž pro telekomunikace se využívá oranžová barva.

Systém je vhodné doplnit přidáním barevné výstražné pásky, která je zakopána nad hlavní trasou v hloubce kolem 50 cm. Při kopání těžkou technikou bagrista zpozoruje barevnou pásku a přeruší práci, čímž se předejde narušení kabelu.

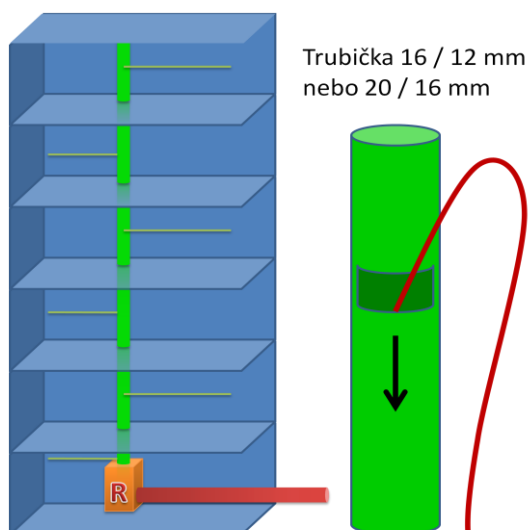
2.3 Současné metody pokládání kabelů přístupové sítě uvnitř

Při pokládání optického vlnovodu, především v budovách, je třeba přísně dodržovat patřičné výrobcem stanovené limitující hodnoty fyzického namáhání tohoto kabelu, jako je maximální tažná síla či poloměr ohybu. Trasy s optickými vlákny je třeba, podobně jako metalické datové kabely, vhodně chránit před poškozením. K tomu jsou určeny zesílené pláště optického kabelu, HDPE trubky, ochranné trubičky či vodící plastové nebo kovové žlaby. Tyto prvky společně vytvářejí kabelovou trasu, která musí být navržena s ohledem na úsporu materiálu i práce.

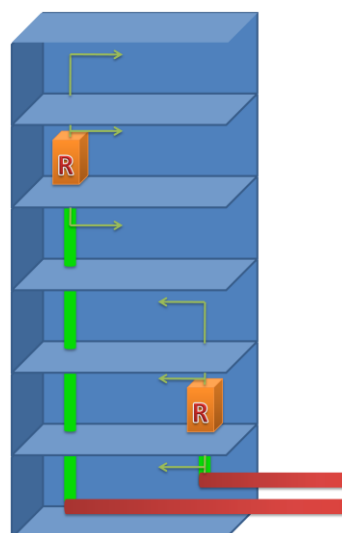
2.3.1 Trubičkové systémy

Ideálním způsobem pro realizace propojení mezi patou domu, kde je přiveden optický kabel, a domovními rozvaděči, resp. ONU/ONT, nacházejícími se v jednotlivých patrech budovy je zavedení propojovacích trubiček. Do trubičky u každého rozvaděče se zavede vlákno (pro lepší manipulaci je lze zatížit) a vytáhne se dole u vývodu optického kabelu, kde se napojí (obrázek 2.6).

Druhá variantou využití trubičkového systému uvnitř je zavedení jediné trubičky napříč budovou (v místech, kde nelze využít stoupaček). Její dolní konec je zaveden do rozvaděče, do kterého je také zaveden hlavní kabel vedoucí z CO. V rozvaděči jsou vlákna propojena. V jednotlivých patrech jsou dírami v trubičce vyvedena příslušná vlákna, která pokračují přímo k zákazníkům (obrázek. 2.5).



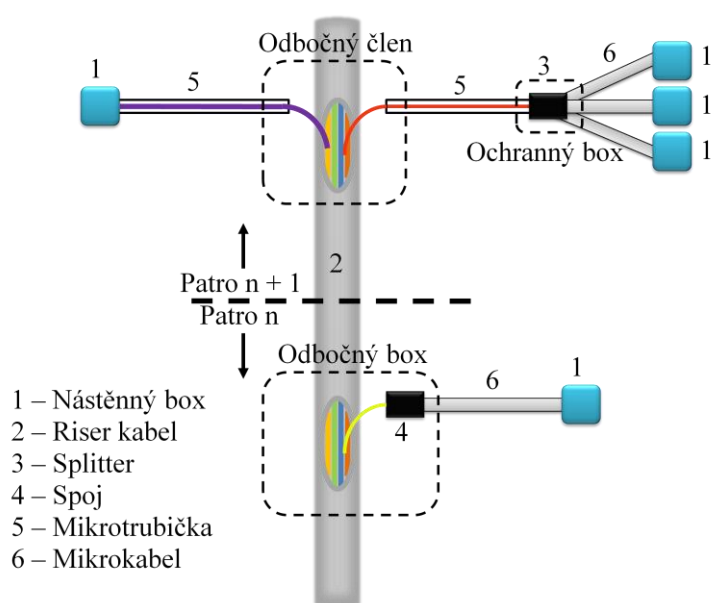
Obr. 2.5: Odbočení z centrální trubičky



Obr. 2.6: Přímá návaznost vnitřních rozvodů na venkovní

2.3.2 Riser kabely

Zejména pro panelové zástavby je navržen systém s využitím kabelů Riser. Jsou spouštěny stupačkami z nejvyššího patra. Nahoře je ponechána patřičná rezerva. V každém patře budovy se podélně seřízne izolace kabelu a otvorem se vytáhne vlákno (až 20 m). Následně se zavede do mikrotrubičky nebo se zalomí a napojí na mikrokabel. Odbočení z kabelu Riser je chráněno odbočným členem nebo odbočným ochranným boxem, který zároveň chrání případný spoj vláken. Modelová situace je znázorněna na obr. 2.7 podle [5].



Obr. 2.7: Znázornění použití kabelu Riser

Velmi efektivní systém Riser kabelů, boxů pro management vláken apod. nabízí platforma Verticasa od firmy PRYSMIAN.

2.3.3 Lišty, žlaby

Pro rozvádění kabelů v uzavřených prostorách jsou využívány lišty na povrch. Firma Kopos nabízí nespočet variant v různých barevných provedeních a texturách. K dispozici jsou lišty s různým stupněm fyzické, chemické a tepelné odolnosti, rovněž jsou k dispozici lišty ohnivzdorné. Materiály splňují ČSN 37 0100, ČSN 37 0001, IEC 1084-1, ČSN EN 50 085-1.

2.3.4 Využití některých struktur budov jako kabelové trasy

Zavádíme-li rozvodnou síť FTTH například ve starších cihlových zástavbách, můžeme využít možnosti, které architektura těchto objektů nabízí. Starší budovy jsou obvykle vystavěny s několika centrálními komíny, které vedou obvykle středem celého objektu napříč všemi patry. Tyto komíny obvykle bývají mimo provoz, vzhledem k přechodu na ústřední topení a napojení na městské vodárny, nicméně jejich konstrukce a umístění z nich dělají ideální prostory pro zavedení hlavních kabelových tras. Tento způsob rozvodu byl využit např. v budově inspektorátu Ministerstva školství v Brně na ulici Křížová. Zde byl jeden z komínů vedoucí středem čtyřpatrové budovy využit jako hlavní propoj mezi ostatními patry a serverovnou umístěnou v prvním nadzemním patře. Pokládka kabelů do takovéto trasy představuje výraznou časovou úsporu a úsporu materiálu jako jsou vodící žlaby či marsy. Rovněž jsou omezeny fyzické zásahy do objektu, jako jsou meziúrovňové průrazy.

Další možnost jak propojit jednotlivá patra či realizovat kratší horizontální propoj, představuje využití stupaček topení. Například při rekonstrukcích může být zachována část těchto rozvodů a ta, díky velkým poloměrům ohybu a vysoké pevnosti srovnatelné s drahými pancéřovými ochrannými trubkami, může být využita pro zavedení několika vlnodů. V závislosti na stavu těchto trubek je možno využít i metody zafukování. Tímto je opět docíleno finanční i časové úspory.

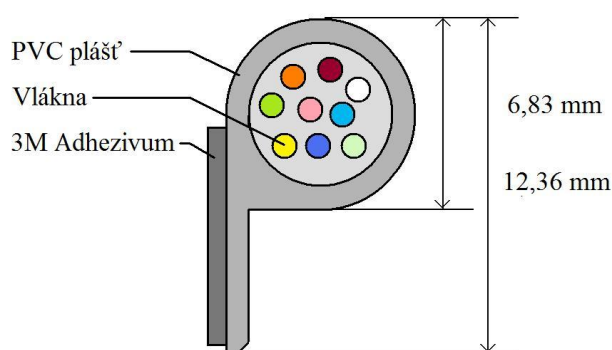
Většina panelových zástaveb disponuje centrálními stoupačkami pro elektrické silnoproudé rozvody. Díky kompaktnosti optických kabelů a jejich naprosté elektrické izolaci mohou být tyto prostory bez potíží využity pro zavedení optických kabelů. Ze stoupaček jsou vlákna dále vedena v lištách chodbou k jednotlivým bytům, kde jsou příslušně zakončena.

Za účelem omezení výkopových prací v oblastech s na sebe přilehlými bytovými domy se realizují trasy pomocí průrazů skrz stěny suterénů, kterými jsou pak u stropu vedeny ocelové žlaby (MERKUR).

Zejména pro systémy FTTH je výhodné využití světlíků u starších budov. Takto je minimalizována délka trasy od odbočení v příslušném patře k jednotce ONT.

2.3.5 Technologie 3M™ Fiber Pathway

Jedná se o technologii vyvinutou pro ukládání speciálních drop kabelů na dlouhých úsecích, jako jsou chodby či haly. Kabel je opatřen vodící lamelou, na které je vrstva lepidla zakrytá fólií. Ta se při instalaci odstraní a kabel je přilepen ke stěně. K jednoduché montáži slouží pojezdová konzole opatřená několika stavitelnými kolečky, která je



Obr. 2.8: Drop kabel 3M

upevněná na teleskopu pro větší dosah. Speciální drop kabel (obr. 2.8) je do ní podélně zaveden. Odstraní se fólie kryjící lepidlo a přímým pohybem konzole po stěně u stropu je drop kabel přilepen ke zdi, přičemž rovnoměrný odstup od stropu je zajištěn stavitelnými vodícími kolečky. Dodávány jsou i podpurné lišty a krytky pro bezpečnou instalaci v rozích a jiných kritických místech. Na delších úsecích, především v chodbách patrových budov, představuje tato technologie významnou úsporu času, kdy je možno i několikapatrovou budovu zasítovat tímto drop kabelem během jediného dne. [28]

2.3.6 Specializované systémy pro průmyslové prostory

Pro průmyslové objekty, výrobní haly a podobně jsou vytvářeny specializované systémy žlabů se širokou škálou praktických dílů zabraňujících poškození, oděru či ohybu vlákna. Umožňují snadný management vláken, patchcordů a kabelů. Profesionální řešení přináší firma Raycom Telekomunikace v podobě systému FiberGuide. Obsahuje například vlastní 3D knihovnu pro projektování v CAD.

3. PASIVNÍ PRVKY OPTICKÉ SÍTĚ

Mezi pasivní prvky optické sítě lze, mimo výše zmíněná vlákna, zařadit i konektory, splittery, spoje a svary, zásuvky, kabely a úložné materiály. Označení pasivní znamená, že se jedná o prvek, který pro svou funkci nepotřebuje energii, provozovateli tedy odpadá nutnost zajistit těmto prvkům napájení.

3.1 Optická vlákna

Optické vlákno lze charakterizovat jako velmi dlouhý válcovitý vlnovod s konstantním průměrem. Velmi důležitým faktorem je zachování homogenity použitého materiálu, tedy skla či plastu. Vlákno je tvořeno jádrem a pláštěm, jak je vyobrazeno na obr. 3.1, přičemž musí platit, že index lomu jádra je vyšší než index lomu pláště. Zachováním přesné geometrie tohoto rozhraní dochází k plnému odrazu paprsku světla a minimalizaci možnosti vzniku nežádoucích ztrát. Vlákno je vždy chráněno tenkou primární a sekundární ochranou. Rozlišujeme tyto typy vlnovodů:

➤ Jednovidová vlákna – SMF (Single Mode Fiber)

Tento typ vláken vede pouze jeden paprsek ve směru osy a díky nízké disperzi a útlumu vykazuje nejlepší přenosové vlastnosti. Menší průměr jádra (7 až 9 μm) a velký úhel odrazu zaručuje, že nedochází k navyšování dráhy paprsku světla. Útlum se pohybuje okolo $0,2 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$. Tento typ vlákna je proto využíván zejména jako páteřní spoj s využitím multiplexu DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing). Geometrické a přenosové charakteristiky SM vlnovodů jsou podrobně specifikovány v ITU-T G.652. Velmi běžným typem pro vnitřní přístupové sítě je vlákno dle G.652.A a G.652.B [3]. Tyto vlákna však z důvodů rezonancí na přítomných OH^- iontech nejsou schopna plně využít šířku pásma. Z důvodů zdokonalení výrobních procesů, díky nimž se do vlákna nedostávají ionty vody OH^- , vzniká G.652.C a G.652.D nabízející plnou šířkou využitelného pásma. Tyto vlákna též díky sníženému obsahu OH^- iontů nazýváme Low Water Peak. G.657.A a G.657.B [4] specifikuje moderní vlnovody se sníženým útlumem pro vnitřní využití. Pro kabeláže se zvýšeným rizikem mechanického poškození vlnovodu (zejména tedy FTTH) je využíváno vlákno typu G.657.C, které umožňuje poloměr ohybu až 5 mm. [1]

Tab. 3.1: Znázornění útlumů pro jednotlivá vlákna různých standardů

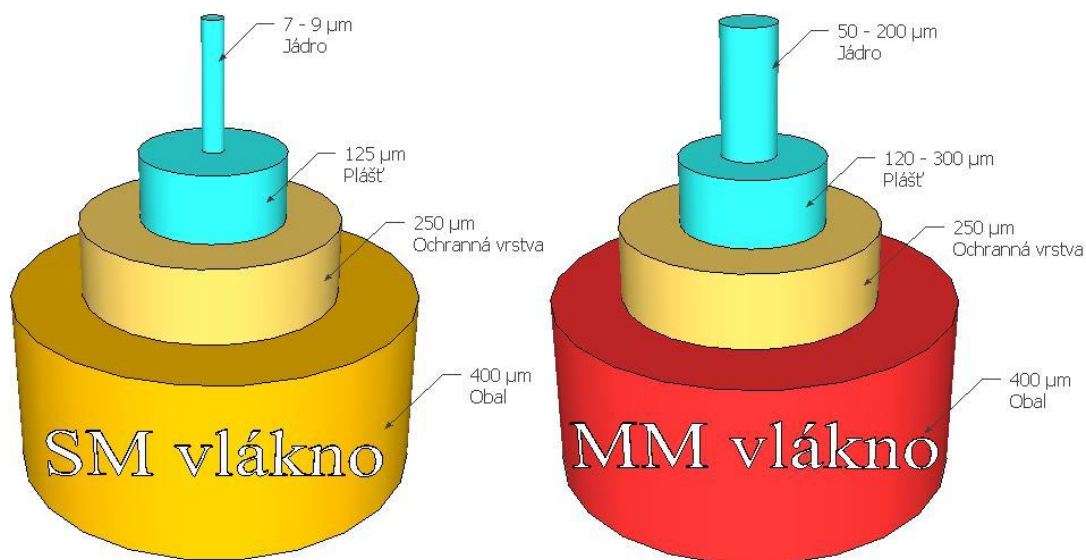
Vlnová délka	G.652.A	G.652.B	G.652.C	G.657.A
1310 nm	0,4 dB . km ⁻¹	0,4 dB . km ⁻¹	0,4 dB . km ⁻¹	0,35 dB . km ⁻¹
1550 nm	0,35 dB . km ⁻¹	0,35 dB . km ⁻¹	0,35 dB . km ⁻¹	0,21 dB . km ⁻¹

Tab. 3.2: Tabulka znázorňující poloměry ohybu moderních typů optických vláken

Vlákno	G.652.D	G.657.A	G.657.B	G.657.C
Poloměr ohybu	15 mm	10 mm	7,5 mm	5 mm

➤ **Vícevidová vlákna – MMF (Multi Mode Fiber) se skokovou změnou indexu lomu**

Tato vlákna jsou schopna souběžně přenášet více paprsků. Průměr jádra leží v rozmezí 50 – 200 μm a průměr pláště 120 – 300 μm . Využívají se především k přenosům na kratší vzdálenosti, například v budovách. Průměr jádra je výrazně větší, jak je patrné z obr. 3.1. Tím je umožněn průchod velkého množství vidů v řádech tisíců, důsledkem čehož však narůstá vložný útlum vlnovodu vlivem navýšené vlnové disperze. Útlum tohoto typu vlákna je tedy výrazně vyšší než u SM vlákna, a to 5 až 20 dB . km⁻¹. [1]

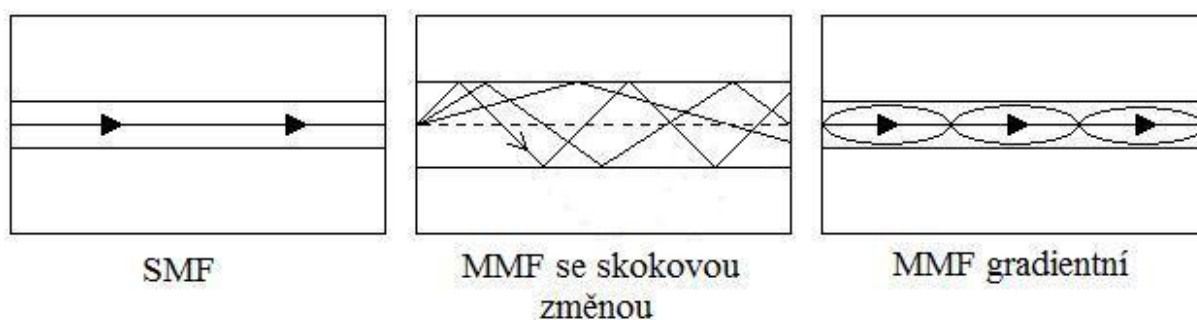


Obr. 3.1: SM a MM vlákno

➤ **Vícevidová vlákna – MMF (Multi Mode Fiber) s gradientní změnou indexu lomu**

U toho typu vláken již nedochází ke skokové změně indexů lomu mezi pláštěm a jádrem, nýbrž indexy lomu přecházejí spojitě z maximální hodnoty v ose vlákna do minimální hodnoty ležící na rozhraní jádro/plášť. Tímto je trajektorie vyslaného záření zakřivena

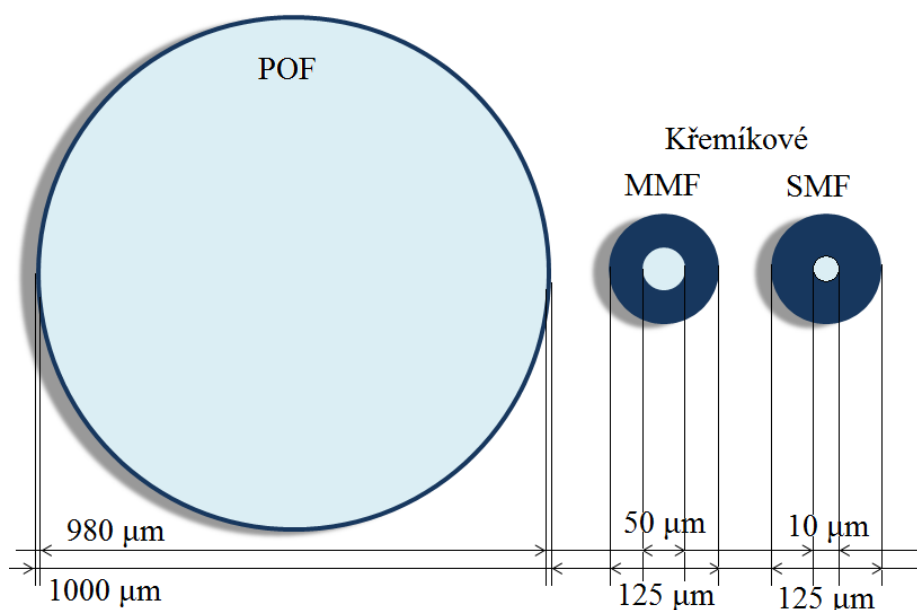
a dochází ke snížení vzdálenosti, kterou musí paprsek urazit od vysílače k přijímači. Tato technologie rovněž napomáhá snížení vidové disperze. Průměr jádra leží v rozmezí 50 až 200 μm a průměr pláště 120 až 300 μm . Využívají se k přenosům na střední a krátké vzdálenosti. Nevýhodou představuje o něco složitější konstrukce, náročnější výroba a spojování vláken.



Obr. 3.2: Znázornění průchodu paprsku různými typy vláken

3.1.1 POF (Polymer Optical Fiber)

Jedná se o optická vlákna vyráběná z plastických hmot PMMA - jádra (Polymethylmetakrylát jinak též plexisklo) a polymery fluoru - pláště. Princip přenosu optického signálu zůstává stejný jako u křemíkových vláken, ovšem je zde patrný rozdíl v konstrukci. Průměr jádra činí 980 μm a na něj těsně přiléhá plášť o průměru 1000 μm . Index lomu jádra je 1,49, pláště 1,4.



Obr. 3.3: Srovnání rozměrů průřezu POF a křemíkového vlákna

POF vykazují odolnost proti mechanické zátěži, jako jsou vibrace či ohebnost, a jsou vhodná zejména pro instalaci do budov. Práce s těmito typy vláken i jejich servis je oproti křemíkovým vláknům velmi snadný. Zdrojem světla jsou pro tyto vlákna LED, RC-LED a VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser) a právě díky tomu, že jsou použity LED diody s pro člověka viditelným světlem, se servis v okolí živých vláken stává jednodušším a rychlejším. Co se týče parametrů přenosu, jsou prozatím stále o krok za SMF a MMF, zejména kvůli vysokému útlumu, který znemožňuje využití POF na vzdálenosti delší než 200 m. Významným odvětvím pro polymerová vlákna je například automobilismus, který využívá jejich mechanickou a elektromagnetickou odolnost, nízkou hmotnost a malé rozměry. Také je možno je použít v domácích sítích nebo jako senzory, osvětlovací či dekorativní techniku i vojenské účely. [11]

Tab. 3.2: Tabulka srovnání výhod a nevýhod křemíkových a polymerových opt. vláken [11]

	Křemíková vlákna	Polymerová vlákna
Výhody	Větší přenosové rychlosti Využitelné na větší vzdálenosti nízký útlum	jednoduchá montáž levné prvky snadné navázání paprsku spolehlivé LED jako vysílač provoz ve viditelném spektru mechanická odolnost
Nevýhody	vysoké nároky na vysílače náročná výroba vysoká cena složitá instalace a manipulace	malý dosah (100 - 200 m) vysoký útlum (až stovky dB km^{-1}) malá dostupnost poskytovatelů

POF vlákna jsou potencionálními nástupci křemíkových optických vláken zejména v oblasti přístupových sítí FTTH v úsecích mezi bránou sítě a domovním rozvaděčem. Ovšem v současnosti se jeví jejich masové nasazení za nepravděpodobné kvůli vysokému útlumu a malé množině firem schopných instalace kompletního systému [11].

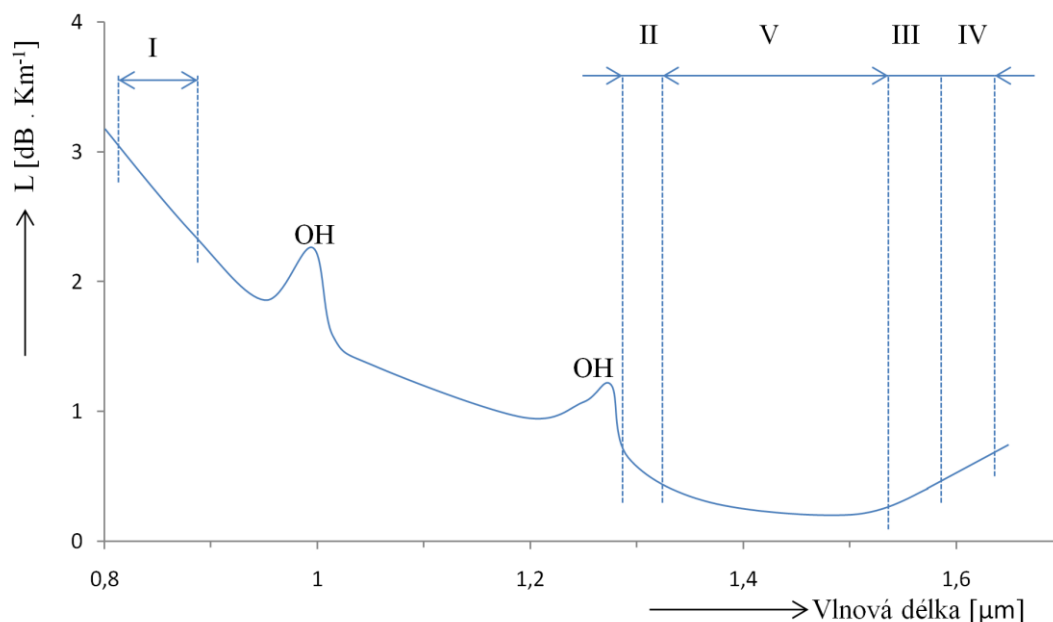
3.1.2 Důležité vlastnosti optického vlákna

Existují dva důležité faktory, které mohou charakterizovat kvalitu přenosu přes optickou trasu:

➤ **Útlum** – každá část optické přenosové soustavy, jako je konektor, vlákno, splitter, svár atd., vnáší do sítě určitou hodnotu útlumu. Tento je způsobován především absorbcí prostředí, vyzařováním z vlákna a rozptylem na nehomogenitách.

- **Ztráty absorbcí** jsou zapříčiněny především výskytem OH^- iontů vody, které se ve vláknech objevují při výrobě. Dnešní moderní metody výroby vlnovodů tyto ztráty redukuje na minimum.
- **Ztráty vyzařováním** jsou způsobeny unikáním energie z jádra vlákna přes rozhraní dvou dielektrik ven.
- **Ztráty rozptylem** vznikají především kvůli výskytu drobných nehomogenit v indexech lomu jádra a pláště. Pakliže jsou jejich rozměry menší než vlnová délka záření ve vlákne, nazýváme vzniklé ztráty Rayleighovými. Mezi příčiny, které rovněž způsobují ztráty rozptylem, řadíme narušení jednotné geometrie vlákna, trhliny, makroohyby či narušení tvaru rozhraní jádra a pláště.

Dle zjištěných závislostí na útlumu bylo pro přenos optického signálu vlákem vybráno několik vlnových délek (resp. jejich rozmezí) takzvaných přenosových oken. Tato závislost útlumu na vlnové délce je patrná z grafu na obr. 3.4.



Obr. 3.4: Útlumová charakteristika optického vlákna [1]

I. okno (850 nm) – útlumová charakteristika silně klesá s rostoucí vlnovou délkou a hodnoty útlumu jsou zde příliš vysoké. Levné zdroje v oblasti těchto vlnových délek zajišťují uplatnění v optických přístupových sítích menšího dosahu.

II. okno (1280 – 1335 nm) – využíváno pro dálkové přenosy, hodnota měrného útlumu se pohybuje v okolí $0,35 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$.

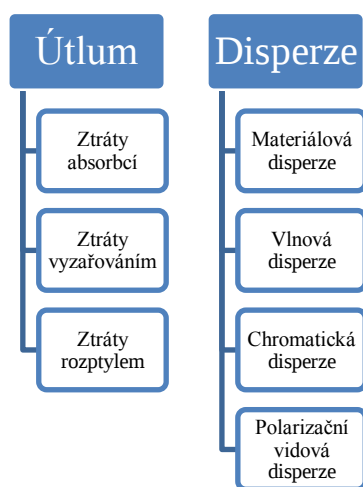
III. okno (1530 – 1565 nm) – využíváno pro dálkové přenosy v globálních a rozsáhlých transportních sítích kvůli minimálnímu měrnému útlumu v okolí $0,19$ až $0,22 \text{ dB} \cdot \text{km}^{-1}$.

IV. okno (1565 – 1625 nm) – útlumová charakteristika je velmi podobná třetímu oknu, díky WDM, které spojuje tato podobná okna do jednoho spektra, dochází až ke zdvojnásobení přenosové kapacity kanálu.

V. okno (1335 – 1530 nm) – velmi vyvážená útlumová charakteristika s lokálním maximem 1380 nm. Spojením s II. oknem vzniká kanál o šířce přenosového pásma enormních 50 THz. Pro přenosy bylo možno jej využívat až koncem 90. let po zdokonalení výroby optických vláken snížením příměsí OH iontů. [1]

➤ **Disperze** – hlavní příčinou zkreslení přenášeného signálu, zejména u MM (Multi Mode) vláken.

- **Materiálová disperze** vzniká z důvodů rozdílných rychlostí paprsků s jinými vlnovými délkami putujících vlnovodem.
- **Vlnovodová disperze** způsobená změnami v geometrii vidu.
- **Chromatická disperze** je kombinací materiálové a vlnovodové disperze.
- **Polarizační vidová disperze** neboli PMD (Polarisation Mode Dispersion) je náhodným jevem, který vzniká kvůli rozdílným indexům lomu jádra a pláště. PMD představuje zásadní problém, zatím neexistuje účinný způsob její eliminace, vyjma výběru velmi kvalitního vlákna.



Obr. 3.5: Nejdůležitější negativní faktory ovlivňující přenos na optickém vlákne

3.2 Zdroje záření – LED x LD

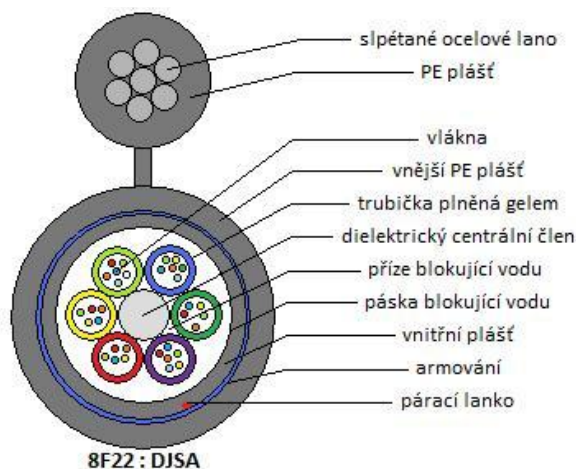
LED – zdroje širokospektrálního záření, využívány na kratších úsecích. Aby bylo zajištěno správné navázání emitovaného světla, vlákno se musí umístit blízko k diodě. Do mezery se vkládají mikro či makročochky. Světlo lze označit za nekoherentní čili s nízkou spektrální čistotou. Výhodu představuje nižší cena a relativně vysoká spolehlivost.

LD – jsou laserové zdroje světla s velmi úzkou spektrální charakteristikou. Využívají se na dlouhá vedení s potřebou přesných směrových charakteristik a rovněž tam, kde je používán vlnový multiplex. Světlo je plně koherentní. Moderní LD jsou lépe chlazené a lze říci, že jsou stejně spolehlivé a stabilní jako LED. Rozdíl zůstává pouze v ceně. Laserové diody pokryjí veškerou využitelnou šířku pásma, tedy od 0,85 μm do 1,55 μm , kde stabilně udrží šířku pásma pod 5 nm [1]. Využití nalézá například v EDFA, opakovačích a na páteřních linkách.

3.3 Kabely s optickými vlákny

Kabel tohoto typu lze definovat jako souběžný svazek optických vláken opatřený ochrannou izolací, přičemž počet vláken i typ ochranné izolace a dalších např. tahových členů závisí na použití kabelu. V praxi rozlišujeme tři speciální typy kabelů podle způsobu uložení:

- **Kabely pro přímé uložení** se zesílenou izolací proti tlaku, vlhkosti a podobným nepříznivým podmínkám.
- **Kabely pro zavěšení** obsahují tahový člen a používají se v místech, kde není možné uložení do země. Na obr. 3.6 je znázorněn typický kabel SAMSUNG 8F22:DJSE s ocelovým lankem umožňujícím prověs až 100 m s pevností v tahu 10 kN.



Obr. 3.6: Závěsný kabelu SAMSUNG

- **Mikrokabely** s nižším počtem vláken se slabou izolací určené k zafukování do ochranných trubek HDPE a multiduktů. Kabel je obvykle velmi křehký s nepříliš velkou pevností v tahu. Svazek vláken je zvláštní typ mikrokabelu, kdy je 2, 4, 8, 12 a více vláken zalito měkkým akrylátem do tvrdého akrylátového pláště. Je určen pro technologii mikrotrubičkování, tedy zafukování do ochranných trubiček malého průměru.

Další kritérium pro kategorizaci kabelu s optickým vláknem je způsob použití, a to:

- **Feeder kabel** je užíván k propojení OLT a splitteru nebo aktivního prvku s využitím 48 – 244 vláken na vzdálenost až několik kilometrů.
- **Distribuční kabel** se často používá k propojení splitteru a jednotky ONT prostřednictvím 12 – 24 vláken do vzdálenosti 1 km.
- **Drop kabel** je nasazen na koncovou část FTTH u zákazníka. Obsahuje 2 až 12 SM vláken typu ITU-T G.657 A1, G.657 A2 (např. výrobce AllWave FLEFlex Fiber). Kabely s vlnovody dle G.657 B3 (např. výrobce EZ Bend Optical Technology) nabízejí ohyb s poloměrem až 5 mm, což je klíčové při instalacích v domovních zástavbách. Průměr kabelu se pohybuje v okolí 3 mm. Je určen k vnitřnímu i vnějšímu použití a díky aramidovým vláknům jej lze použít i jako závěsný kabel na kratší trasy. [26]
- **Další typy speciálních kabelů dle využití**
 - *Low-Friction* kabel je určen ke snadné instalaci zatahováním do již uložených korugovaných trubek. Plášť je navržen s nízkým koeficientem tření a konstrukce s válcovitým průřezem je vyztužena kovovými nebo skelnými prvky pro usnadnění zavádění. Kabel obsahuje 1 – 2 vlákna.
 - *MiniPack* jsou mnohavláknové propojovací kabely, obvykle v provedení pouze s primární izolací LSZH (Low Smoke Zero Halogen). Při velmi malém průměru i hmotnosti obsahují 2 – 48 vláken.
 - *Ribbonové svazky* od firmy XpressTube AR FX představují variantu využití spojení až 4 ribbonových pásků. Instalují se do trubiček o rozměrech 5 – 10 mm vyplněných měkkým materiálem. Počet vláken je zde 4, 6, 8, 12, 24 v závislosti na použitých pásech. Úskalím těchto kabelů je vysoký poloměr ohybu, který je pro 12 vláken 200 mm a pro 24 vláken 400 mm.

- *Ruggedized fiber* představuje kabel s extrémně vysokou mechanickou ochranou využíván například v armádě. Jeho plášť je tvořen nerezovou ocelí, poskytuje zvýšenou odolnost vůči vodě a ohybům.
- *Riser kabel* jinak též stupačkový kabel obsahuje 8, 12, 24 nebo 48 samostatných vláken, která jsou po odstranění podélného kusu izolace v patřičném místě budovy jednotlivě podle potřeby vytažena (až 20 m) a rozvedena dále po budově.
- *Patchkord* je duplexní optický propojovací kabel používaný v rozvaděcích nebo u koncových zákazníků. Obvykle již bývá opatřený konektory a má výrobcem určenou délkou. Zejména u koncových zásuvek a ONT/ONU se doporučuje používat typ EZ-Bend patchcord, který se vyznačuje vysokou odolností vůči ohybu. Lze jej snadno ohýbat v rozích.
- *Pigtail* je typ kabelu určité délky, který je výrobcem opatřený konektorem pouze na jedné straně. Využívá se v případech, kdy je zapotřebí opatřit konec optického vlákna konektorem, jelikož postup svařování kabelů je jednodušší s kvalitnějším výsledkem než konektorování konce vlákna.



Obr. 3.7: Demonstrativní obrázek realizace optické konektivity

3.4 Optické splitter

Jedná se o zařízení fyzické vrstvy s jedním vstupním vláknem a několika výstupními. Signál z OLT je přiveden na vstup a rozdělen do všech výstupních vláken, která směřují dále do sítě směrem k ONT. V opačném směru je optický výkon z více vláken spojen do jednoho. Splitter bývá prvek s nejvyšším vložným útlumem celé přenosové soustavy, přičemž platí, že se

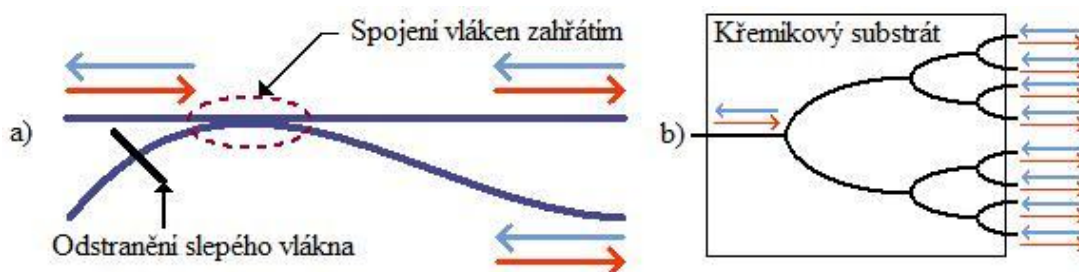
hodnota vložného útlumu zvyšuje s každým dalším rozvětvením. Pro technologie GPON a EPON je limitní hodnota v okolí 25 dB. Splittery jsou dvojího typu:

- **PLC (Planar Lightwave Circuit) splitter** je vyroben planární technologií z tzv. křemíkového substrátu. Tímto způsobem lze vytvořit splittersy v úrovních 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64 i 1:128. Poslední dva jsou méně běžné. Planární splittersy PM společnosti SQS jsou špičkové uniformní, širokopásmové výkonové splittersy s vynikajícími přenosovými parametry, především jednotnou hodnotou vložného útlumu všech kanálů přenosového spektra (tedy od 1260 – 1650 nm). Využití naleznou v laboratořích, průmyslových aplikacích či v senzorové technice. Zařízení jsou velmi kompaktní (typický rozměr je 70 x 10 x 6 mm) a umísťují se v sadách pod sebou do ochranných kazet. Vstupní i rozbočená vlákna splitteru mohou být již od výrobce ukončena konektory (obvykle typu SC).

Tab. 3.2: Tabulka typických vložných útlumů PLC splitteru [21]

Typ splitteru	1:2	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64
Vložný útlum [dB]	<4.0	<7.3	<10.8	<14.0	<17.0	<21.5

- **FBT (Fused Biconic Tapered) splitter** představuje kategorii rozbočovačů vyráběných kaskádovým spojováním optických svazků za vysokých teplot. Při výrobě dojde k roztavení plášťů a následnému vytvoření optického spoje prostřednictvím dvou na sebe těsně přiléhajících jader (obr. 3.8). Touto technologií lze vytvořit svazky dvou až čtyř optických vláken. Typicky jsou pro tyto účely používána vlákna G.652D a G.657B.



Obr. 3.8: a) FBT splitter b) PLC splitter

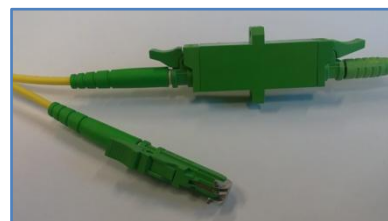
3.5 Optické konektory

- **SC** konektor je používán pro MM i pro SM vlákna a lze jej označit za nejpoužívanější v oblasti LAN s vlnovodem MM. Nejvyšší zastoupení má u patchcordů, výrobci jím nejčastěji osazují své pasivní i aktivní prvky. Rovněž je nejrozšířenějším konektorem pro technologii 100Base-FX (fast Ethernet). Definován standardem ČSN EN 61754-4.



Obr. 3.9: SC konektor

- **E2000/LX.5** je neznámějším konektorem typu SFF (Small Form Factor) využívaný pro MM i pro SM vlákna. Obsahuje feruli o průměru 1,25 mm a v duplexní formě zabere stejný prostor jako jeden konektor RJ45. Ferule je chráněna proti prachu a poškrábání krytkou, která se vysune při vypojení konektoru. Pro snadné upevnění konektor využívá pojistného klipu. Definován je v ČSN EN 61754-23.



Obr. 3.10: E2000 se spojkou

- **LC** je rovněž SFF konektorem s ferulí o průměru 1,25 mm, který ve své duplexní formě zabírá stejnou plochu jako jeden SC konektor. Byl vyvinut v AT&T a k jeho velkému rozšíření výrazně napomohla společnost Cisco. Definován je v EN61754-20.
- **MTRJ** je pouze duplexním konektorem, který podporují zejména výrobci aktivních prvků. Jde o dva konektory, přičemž jeden obsahuje dva otvory, druhý dva piny a vzájemně do sebe pasují. Z tohoto konektoru se později vyvinul koncept konektorování ribbonových pásů. Definován je v EN61754-18.
- **VF-45** je duplexním SFF konektorem, který byl vyvinut v 3M ve snaze o rozšíření FTTD (Fiber To The Desk). Úsilí bylo podpořeno širokou nabídkou levných síťových karet podporujících toto rozhraní, nicméně k zamýšlenému masovému rozšíření nedošlo.
- **MTO/MTP** je založen na konektoru MTRJ. Má stejný tvar a velikost způsob zapojení, stejnou konstrukci obou konektorů se dvěma otvory a dvěma 0,7 mm širokými ferulemi. Ty však neslouží k uložení vlákna jako u MTRJ, nýbrž pouze pro zajištění přesného fyzického spojení obou typů konektorů. Tím dojde ke správnému propojení dvou ribbonových pásů, jejichž konce jsou uloženy ve štěrbině mezi ferulemi. Je vhodný pro ukončení ribbonového pásu se 4 až 24 vlákny. Konektor nalézá využití zejména v datových centrech, kde ve vztahu k ploše, kterou zabírá,

představuje mnohonásobně vyšší kapacitu než jiné konektory. Lze jej použít pro SM i MM vlákna. Blíže specifikován je v EN 61754-7 a ČSN EN 61754-22.

- **MU** je SFF konektor nabízený v duplexním i simplexním provedení. Tvarově připomíná SC a vyznačuje se velmi malými rozměry. Díky tomu je také často označován jako Mini SC. Je velmi rozšířen v Japonsku, u nás se využívá zřídka.
- **ST** používaný především koncem devadesátých let v technologiích 10Base-FL a 100Base-Fx v kombinaci s MM vlákny. Vyznačuje se dlouhou ferulí a typickým bajonetovým zapojením. Právě kvůli konstrukci, obsahující pružinu tlačící vnitřek konektoru směrem ven, bývá často považován za nespolehlivý a dnes se již téměř nepoužívá.
- **FC** počátkem devadesátých let byl takřka nejrozšířenějším konektorem pro SM vlákna. K připojení využíval závit. Specifikace konektoru jsou obsaženy v IEC 60793-2 a ČSN EN50377-2-1.
- **D4 a DIN** u nás nejsou běžně používány, vyjma bezpečnostních kamerových systémů.



Obr. 3.11: Konektor ST



Obr. 3.12: Konektor FC

Informace z [13], [15], [18].

3.6 Spoje a svary optických vláken

Svařováním optického vlákna dochází k vytvoření pevného nerozebíratelného spoje, který se vyznačuje velmi nízkým útlumem. Nejčastěji se tento způsob využívá při napojování pigtailů k optickému vláknu. Pro svařování využíváme mobilních kompaktních svářeček. Elitním výrobcem této techniky je firma Furakawa Fitel, jejichž svářečky jsou vybaveny kamerami a mikroskopy, které umožňují přesně nastavit vlákna před svařováním. Útlum sváru je 0,02 až 0,04 dB. [17]

Méně používaným systémem na propojení dvou konců vláken je spojování za užití mechanických spojek. Lze je též označit přídomkem dočasné. Jejich konstrukce umožňuje opětovné rozebrání spoje.



Obr. 3.13: Kompaktní svářečka Fitel S122 (vlevo), zalamovačka vláken Fitel S325A (vpravo)

Nevýhoda spočívá ve zvýšeném útlumu, který se pohybuje v rozmezí 0,1 – 0,5 dB. Záleží také na kvalitě provedení spoje. Při spojování se vlákna nejprve očistí, zalomí v lámačce a vloží se do vodící drážky ve spojce. Tím se zajistí přesný kontakt. Na spoj je nanesen gel a celá spojka se umístí do ochranné kazety.

3.7 Ostatní pasivní prvky optické sítě

- **Optická zásuvka** slouží k uložení konce vlákna opatřeného příslušným konektorem přímo u zákazníka. Obvykle je zde ponechána dostatečná rezerva kabelu umožňující pozdější přesuny. Do této zásuvky se již připojuje výchozí brána zákazníka, která obvykle obsahuje rozhraní RJ45 pro připojení zařízení do LAN.
- **Optický nástěnný box** využíváný ke krytí spoje a rezerv několika optických vláken vedených na zdi.
- **Optické rozvaděče a kabinety** slouží k bezpečnému uložení aktivních a pasivních prvků v budovách i mimo ně. Vyrábějí se univerzálně v šířkách 19“, výška je stanovena podle počtu konektorů od 1U do U4. Předním výrobcem je například Raycom Telekomunikace [8]. Pro vnitřní použití v případech, kdy potřebujeme zapojit větší množství konektorů, používáme tzv. 19“ datové stojany, které mohou mít kapacitu až 50U. V menších objektech s požadavkem na optickou konektivitu se dnes používají nástěnné boxy s kapacitou 4 až 48 konektorů.
- **Vnitřní patrový box** (někdy též odbočný člen) sloužící k odbočení vlákna z kabelu Riser.
- **Kabelové komory** ukládají se do nich kabelové rezervy apod.

4. AKTIVNÍ PRVKY OPTICKÉ SÍTĚ

Aktivní prvky sítě se vyznačují tím, že ke své funkci potřebují napájení. Nalezneme je v AON, v PON a pochopitelně i v hybridních sítích. Řadíme mezi ně zejména:

- OLT - v CO na straně poskytovatele.
- ONT/ONU – výchozí brána u zákazníka.
- EDFA – zesilovač optického signálu.
- Zařízení pro dohled, prvky pro management.
- Optické konvertory, prvky sítě IPTV v CO, optické opakovače.

4.1 OLT

Jedná se o zařízení s funkcemi přepínače a směrovače, které se nalézá na straně poskytovatele v CO, nebo je výjimečně umístěno dle potřeby na optické trase (pouliční kabinet, rozvaděč). Je pod správou poskytovatele. Rovněž představuje rozhraní mezi přístupovou sítí FTTH a MAN, páteří apod. Jednotky OLT podporují například:

- Porty pro linkové zakončení (obvykle 4 – 24).
- Porty pro uplink ($1\text{Gb} \cdot \text{s}^{-1}$, $10\text{Gb} \cdot \text{s}^{-1}$, $40\text{Gb} \cdot \text{s}^{-1}$).
- EIPS (Ethernet Ring Protection Protokol).
- VPN (Virtual Private Network).
- Plug and Play.
- Lan porty pro vzdálený management.
- Přístup na médium s TDM.
- QoS, monitoring stavu a zátěže.
- Vzdálený management.
- QoS, monitoring stavu a zátěže.
- IGMP.

OLT představuje hlavní uzel pro připojení splitterů v PON a přepínačů v AON, na které jsou následně navázány koncové ONT/ONU. Jsou zde implementovány dohledové systémy a správcovské mechanismy.

4.2 ONT

V FTTH představuje jednotka ONT takzvanou výchozí bránu, která tvoří rozhraní mezi optickou přístupovou sítí a zákazníkem. Za bránou jsou další síťové rozvody realizovány metalickou strukturovanou kabeláží k účastnickému PC, TV apod. Vstup zařízení obvykle podporuje 1 až 4 optická SM vlákna, následuje modul pro management vlákna. Výstup brány je tvořen Ethernetovým přepínačem volitelně s výstupy RJ-45 pro připojení PC, RJ-11 pro VoIP telefony a RF výstupem s konektorem typu F. Zařízení může podporovat:

- Směrovací funkce.
- Přepínací funkce.
- Konverze protokolů mezi zařízením uživatele a optickou přístupovou sítí.
- Wifi standardy.
- Rozhraní RJ45, RJ45-VoIP.
- Rozhraní CATV (koax, F-typ).
- Firewall.
- QoS, management, monitoring stavu a zátěže.

4.3 Optický směrovač

Směrovač (router) je zařízení síťové vrstvy, které propojuje několik nezávislých sítí a následně jimi směruje příchozí data. Podporuje nastavení práv uživatelů i přímé připojení do sítě Internet. Nároky jsou kladeny na kapacitu vyrovnávací paměti, zajišťující dostatečnou konvertibilitu mezi s odlišnou propustností. Směrovače dělíme na dvě základní skupiny. Multiportové profesionální high-end zařízení pro montáž do datových rozvaděčů s širokou podporou směrovacích technik a zabezpečení. Druhou skupinu tvoří low-end zařízení s omezenou podporou moderních technik, o nižším počtu portů a malým výpočetním výkonem.

4.4 Optický přepínač

Přepínač (switch) nalezne uplatnění zejména v sítích AON s technologií P2MP. V nich zastává funkci hlavního prvku vytvářejícího topologii sítě. Lze jej rovněž označit za náhradu splitteru aktivním prvkem. Vznikají tak dvě části sítě s topologií P2P. První mezi OLT a přepínačem a druhá mezi ONT u zákazníka a přepínačem.

4.5 Optický most

Optický most (jinak též Bridge) představuje aktivní uzel sloužící k propojení některých úseků v jedné síti za účelem odlehčení nebo přemostění zátěže z kritických bodů. Přepojování segmentů v optickém mostu se odehrává na základě informací z tabulek s fyzickými adresami a porty. Dynamické přidělování adres zajišťuje přenos informací pouze mezi úseky sítě, které zařízení přímo propojuje, tím dochází k odlehčení ostatních vytěžovaných uzlů. Výhodou zařízení je nízká cena a spolehlivost. [21]

4.6 EDFA

Jedná se o optický zesilovač tvořený laserem jinak též laserovou pumpou, který do erbiem obohaceného vlákna vysílá záření o dané vlnové délce. Zde dochází k navyšování energetických hladin a následné emisi energie odpovídající vstupní vlnové délky i fáze. Pro využití více vlnových délek jsou jednotlivé EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) zapojovány za sebe do kaskád. Používá se v případech, kdy je třeba zesílit jistou vlnovou délku na trase vykazující vyšší útlum. Způsoby použití optického zesilovače jsou:

- Booster – pro získání maximální možné úrovně signálu hned za vysílačem.
- In-line – pro získání požadované úrovně signálu kvůli správné detekci na konci komunikační trasy.
- CATV – v případech kdy potřebujeme signál zesílit před vstupem do pasivního splitteru. [21]

4.7 Opakovač

Opakovač (repeater) je využíván k „regeneraci“ optického signálu při přenosech na delší vzdálenosti, kdy během zlomku přenosového intervalu načítá optický signál, převádí je na elektrický, posléze zpět na optický a opět vysílá data dál do komunikačního řetězce. Podmínkou pro funkci je protokolová a rychlostní konvergence. Vzhledem k tomu bývá i za cenu vložení zpoždění výhodnější použít most, router či jiný aktivní prvek. Opakovače se rozdělují do tří skupin:

- 1R Repeater – pouze ve funkci zesilovače vstupního signálu.

- 2R Repeater – vstupní signál je regenerován, tedy mimo zesílení dochází i k opětovnému tvarování impulsů.
- 3R Repeater – podporuje funkci zesílení, tvarování impulsů a časování přicházejícího signálu. [21]

4.8 Media konvertor

V těchto jednoduchých zařízeních je signál optický konvertován na signál elektrický a naopak. Některé tyto aktivní prvky podporují monitorování stavu linky jako například přenosovou rychlost. [10]

5. TECHNOLOGIE A TOPOLOGIE PRO OPTICKÉ SÍTĚ

Výběr technologie pro vytvářenou optickou síť vychází z několika aspektů. Nejdůležitějšími jsou počet koncových zákazníků, požadovaná šířka pásma spoje, požadavky nabízené služby a finanční návratnost. Technologie, ze kterých v současnosti vybíráme, se v těchto aspektech výrazně liší a jsou podle přístupových prostředků dvojího typu:

1. Přenos mezi dvěma body (point-to-point, P2P, PTP)

Jedná se o dva koncové body, které jsou propojeny individuálními vlákny, jinak řečeno každý účastník má k sobě přivedeno vlastní vlákno. To zajišťuje velmi vysokou šířku pásma, ovšem vzhledem k navýšení počtu potřebných vláken se jedná o nákladnější řešení. Spojení je realizováno pomocí Ethernetu ($100 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$, $1 \text{ Gbit} \cdot \text{s}^{-1}$) nebo synchronní digitální hierarchie (SDH). Technologie obvykle využívá dvojvláken, pro každý směr provozu je vyhrazeno jedno vlákno. P2P rovněž může být realizován jedním vláknem s využitím CWDM, který oddělí kanály pro vzestupný a sestupný směr.

2. Mnohabodová architektura (point-to-multipoint, P2MP)

Jedná se o případ, kdy je jedno vlákno sdíleno více uživateli a je tak využita jeho celková kapacita. Na jeden výstupní port v OLT připadá více účastnických ONU/ONT. Pro vyčlenění komunikace ze sdíleného vlákna používáme pasivní prvky (splitter) nebo aktivní prvky (switch). S touto technologií oproti P2P odpadá zátěž v podobě velkého počtu vláken, ovšem vyvstává nový problém, a to s řešením umístění popřípadě napájení mezilehlých uzlů sítě. Vzhledem k použité topologii je často využívána v kombinaci s CATV.

Podle toho, zda v sítích P2MP používáme aktivní nebo pasivní prvky, nazýváme tyto sítě:

- a) AON (Activ Optical Network) – mezi OLT a ONU/ONT se nachází aktivní prvky (switch)
- b) PON (Pasiv Optical Network) – mezi OLT a ONU/ONT se nachází pouze pasivní prvky (splitter)



Obr. 5.1: Obrázek rozdělení optických přístupových prostředků

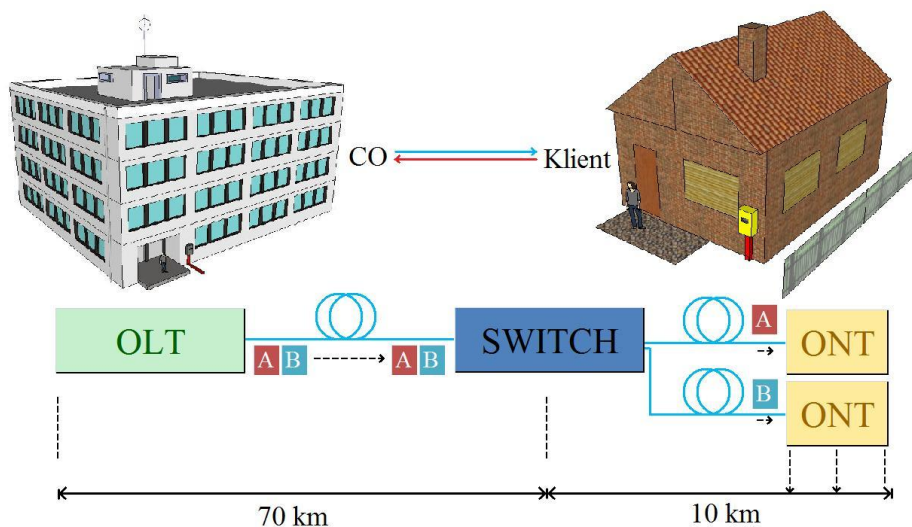
5.1 AON (Activ Optical Network)

V architektuře AON založené na topologii P2MP se mezi OLT (Optical Line Termination) a ONT (Optical Network Terminal) nachází aktivní Ethernetové prvky umožňující vlastní správu a snadnou kombinovatelnost výrobců i jednoduchý upgrade. Jediným pasivním prvkem sítě je zde samotné vlákno a konektory. Na AON lze také pohlížet jako na síť složenou ze spojů typu P2P, ty rozdělujeme na:

- Sdílený spoj mezi OLT a aktivním prvkem (přepínač).
- Koncový spoj mezi aktivním prvkem a ONT u zákazníka.

Díky této architektuře lze linky snadno zálohovat nebo lze zajistit alternativní paralelní spojení. Oproti jiným přístupovým sítím je tato výhodnější také kvůli rovnocennosti upstreamu a downstreamu. Nevýhodou je oproti sítím PON nutnost zajištění napájení mezilehlých uzlů mezi OLT a ONT. Nutností rovněž bývá montáž klimatizačních jednotek pro udržení stále teploty v okolí zařízení, která jsou na razantní teplotní výkyvy dosti citlivá. Výhodou je naopak větší maximální vzdálenost mezi OLT a ONT pro AON, která se nalézá

v okolí 80 km v závislosti na počtu připojených klientů. Nabízí rovněž vyšší dělicí poměr jednoho vlákna k zákazníkům.



Obr. 5.2: Princip aktivní optické sítě AON

Oproti PON je tato technologie dražší z důvodů vyšších cen aktivních prvků, jejich spotřebě elektrické energie i prostorové náročnosti při budování zázemí. U sítě AON je také nutno počítat s prostředky na servis aktivních prvků. Výčet ethernetových technologií používaných v sítích AON a jejich specifikace jsou uvedeny v tabulce 5.1. [1]

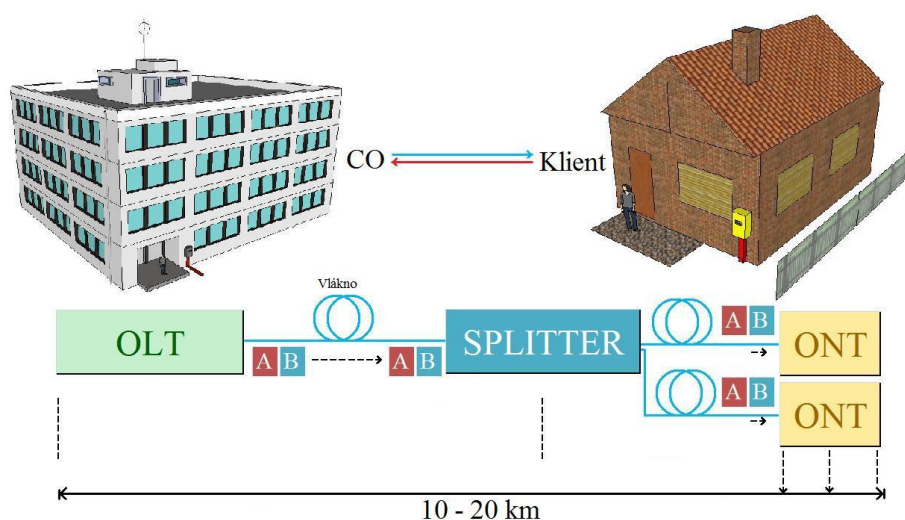
Tab. 5.1: Technologie pro AON

Technologie	standard (vydán)	rychlost	upstream:downstream	počet účastnických vláken
First Mile Ethernet	IEEE 802.3ah (2004)	$100 \text{ Mb} \cdot \text{s}^{-1}$, $1 \text{ Gb} \cdot \text{s}^{-1}$	symetrický 1:1	2 vlákna (1 pro každý směr) nebo 1 při vln. multiplexu
10G Ethernet	IEEE 802.3ae (2002)	$10 \text{ Gb} \cdot \text{s}^{-1}$	symetrický 1:1	2 vlákna (1 pro každý směr)
100G Ethernet	IEEE 802.3ba (2010)	$40 \text{ Gb} \cdot \text{s}^{-1}$, $100 \text{ Gb} \cdot \text{s}^{-1}$	symetrický 1:1	1 vlákno při využití CWDM a DWDM

Kombinací sítě AON a PON vznikne tzv. hybridní síť, která do systému vnáší výhody obou technologií. Výsledná síť se vyznačuje vysokým počtem koncových uživatelů a zároveň dosažení větších maximálních vzdáleností OLT a koncového zákazníka.

5.2 PON (Pasiv Optical Network)

Tato přístupová síť je založena na topologii P2MP s využitím pouze pasivních optických prvků, jinak řečeno ke spojení jedné jednotky OLT s více účastnickými ONT je použito prvků, které ke své funkci nepotřebují zdroj elektrické energie. Využity jsou pouze samotná vlákna a zařízení zvané rozdělovače neboli splittery. Data jsou vysílána od CO po jednom sdíleném vlákně směrem k uživatelským ONU/ONT přes splitter (nyní ve smyslu rozbočovač), ve směru k CO jsou data z každého vlákna z ONU/ONT sloučena splitterem (nyní ve smyslu slučovač) do jediného sdíleného vlnovodu. Jako OLT se obvykle využívá zařízení s 32 a více porty, přičemž na každý z portů je možno připojit zákazníka vzdáleného 10 – 20 km. Tento systém je svou architekturou rovněž ideální pro separátní přenos CATV.



Obr. 5.3: Struktura pasivní optické sítě PON

Použité vlnové délky v sítích PON pro sestupný směr jsou 1490 nm, vzestupný směr 1310 nm a pro CATV pak 1550 nm.

Výrazně nižší pořizovací i provozní cena, jednoduchost spojená se spolehlivostí, úspora materiálu a energetická nezávislost PON je vykoupena menším dosahem sítě, omezenou kapacitou přenosového kanálu a snížením podpory QoS (Quality of Service).

Na pasivních optických sítích lze provozovat několik technologií, které budou popsány v následujících odstavcích a stručně shrnuty v tabulce 5.3.

APON (ATM Based PON)

Jde o pasivní optickou síť, ve které se k přenosu používají ATM buňky. Systém nabízí přenosovou rychlost $155 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$ symetricky pro oba směry komunikace nebo asymetricky,

ve směru ke klientovi $622,08 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$ a v opačném směru $155 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$. Bližší specifikace v ITU-T G-983.1. Pro přenos je využíváno vlákno ITU-T G.652 (single i dual). Maximální podporovaná vzdálenost mezi OLT a ONT dle normy je 20 km s užitím rozbočení 1:32.

BPON (Broadband PON)

Je rozšířením výše uvedeného standardu pro APON využívající vlákna dle ITU-T G.652 a s maximální podporovanou vzdáleností mezi OLT a ONT 20 km s rozbočením 1:32. Přenosové rychlosti pro tuto technologii byly zachovány s využitím vlnového multiplexu. Bližší specifikace v ITU-T G-983.3.

GPON (Gigabit Capable PON)

Jedná se opět o pasivní optickou síť, ve které se pro přenos využívá buněk ATM nebo GEM (GEAPON Encapsulation Method). Obě tyto buňky nebo jejich části se přenášejí v rámci s pevnou délkou, což umožňuje kompatibilitu se službami s paketovou orientací jako je IP nebo Ethernet. Systém nabízí dvě rychlosti pro symetrickou komunikaci ve směru upstream: $1244,16 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$ a $2488,32 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$ a dvě pro downstream: $1244,16 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$ a $2488,32 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$. Pro asymetrickou komunikaci ve směru downstream: $1244,16 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$ a $2488,32 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$ a pro upstream: $1244,16 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$, $622,08 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$, $155,52 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$. Bližší specifikace v ITU-T G-984.1. Pro přenos jsou využita vlákna ITU-T G.652 (single i dual) a maximální podporovaná vzdálenost mezi OLT a ONT dle normy je 20 km s užitím vysokého rozbočení 1:128.

Technologie GPON je podle doporučení ITU-T G.984 členěna do tří tříd podle útlumové bilance jak je znázorněno v tabulce 5.2.

Tab. 5.2: Znázornění útlumových tříd pro technologie GPON a EPON

Typ		Rozsahy útlumu [dB]
GPON	Třída A	5 – 20
	Třída B	10 – 25
	Třída C	15 – 30
EPON	Typ 1	5 – 20
	Typ 2	10 – 24

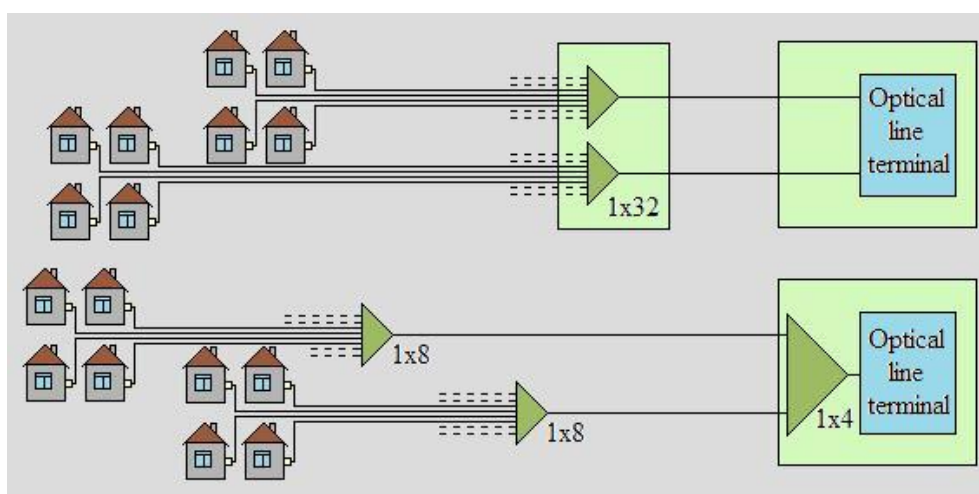
Výše uvedené třídy jsou rozlišovány zejména maximálními hodnotami útlumu optické přístupové sítě, od kterých se odvíjí energetická náročnost sítě. Z toho vyplývá, že s klesající třídou GPON vzrůstají nároky na vyšší vysílací výkon a tudíž i vyšší cenu optické přístupové sítě. Podobně je tomu v případě technologie EPON.

EPON (Ethernet Based PON) / EFMF (Ethernet in First Mile Fiber)

Jedná se o pasivní optickou síť, která má za cíl zpřístupnit služby Ethernet koncovým klientům. Tím dochází k výraznému zjednodušení při zajištění konektivity přístupových sítí. Rychlost technologie je v obou směrech $1244,16 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$. Pro komunikaci využívá Ethernet rámce s pevnou délkou 2 ms. Rozlišujeme dva typy rozhraní:

- 1000 Base-PX10 – na vzdálenosti do 10 km s maximálním rozbočením 1:16.
- 1000 Base-PX20 – na vzdálenosti do 20 km s maximálním rozbočením 1:32.

Bližší specifikace v IEEE 802.3ah.



Obr. 5.4: Dvě běžné sestavy splitterů: centralizovaná (nahore), distribuovaná (dole)

Pro zaručení přenosu plnohodnotných širokopásmových služeb byla skupinou FSAN zavedena standardizace PON pro systém FTTx. Pro přenos hlasových a datových služeb k uživateli byla stanovena vlnová délka $1490 \text{ nm} (\pm 50 \text{ nm})$, ve směru opačném pak $1310 \text{ nm} (\pm 50 \text{ nm})$. Pro služby s přenosem videa byla vybrána vlnová délka 1550 nm . [1]

10GEPON

Je novým standardem IEEE 802.3av pro PON kompatibilní s EPON a novými technologiemi pro WDM v pasivních sítích. V symetrickém režimu podporuje rychlosti $10 \text{ Gbit} \cdot \text{s}^{-1}$ a v nesymetrickém $10 \text{ Gbit} \cdot \text{s}^{-1}$ ve směru downstream a $1 \text{ Gbit} \cdot \text{s}^{-1}$ pro upstream. Maximální podporovaná vzdálenost mezi OLT a ONT je 20 km s užitím rozbočení 1:32. [1]

XG-PON

Standard organizace ITU-T podporující rychlost v asymetrickém režimu pro downstream $10 \text{ Gbit} \cdot \text{s}^{-1}$ (1575 – 1580 nm) a pro upstream $2,5 \text{ Gbit} \cdot \text{s}^{-1}$ (1260 – 1280 nm). Je plně kompatibilní se standardem GPON, nicméně kvůli oddělení signálů při použití WDM bylo nutno upravit rozsah vlnových délek pro downstream na 1290 – 1330 nm. Maximální podporovaná vzdálenost mezi OLT a ONT je 20 km s maximálním rozbočením 1:256.

Tab. 5.3: Specifikace jednotlivých typů technologií pro PON

Technologie	Standard (rok vydání)	Přenosová rychlost		Přenosová buňka	Vlnová délka	
		Upstream [Mbit . s ⁻¹]	Downstream [Mbit . s ⁻¹]		Upstream [nm]	Downstream [nm]
APON	ITU-T G.983.1 (1988)	155,00	622,08	ATM	1260 – 1360	1480 – 1500
BPON	ITU-T G.983.3 (2001)	622,08	1244,16	ATM	1260 – 1360	1480 – 1500
GPON	ITU-T G.984.1 (2003)	2488,32	2488,32	ATM, GEM	1260 – 1360	1480 – 1500
EPON	IEEE 802.3ah (2004)	1244,16	1244,16	Ethernet	1310	1490
10G-EPON	IEEE 802.3av (2009)	10312,00	10312,00	Ethernet	1260 – 1280	1575 – 1580

WDM-PON

Budoucnost pasivní optické sítě spočívá právě v tomto druhu technologie, která využívá k přístupu na médium vlnový multiplex WDM (Wavelength Division Multiplex) hlouběji popsany v následující podkapitole. Jednotlivé vlnové délky pro WDM jsou specifikovány v ITU-T G.694.2. Velmi perspektivní je kombinace TDMA a WDM, která zajistí maximální možné využití přenosového pásma. WDM-PON dělíme na tři typy podle použité technologie odbočení signálu k zákaznickému ONU/ONT:

- Filtrace přidělené vlnové délky – v tomto případě je k rozbočení mezi OLT a ONU/ONT používán splitter. Vzniká tak situace, kdy jsou ke každému koncovému ONU/ONT přivedena všechny datové toky rozdělené pouze vlnovými délkami. U zákazníka jsou nasazeny filtry (WDM filtr), které propouští pouze příslušné vlnové délky. Díky této technologii hrozí riziko narušení bezpečnosti, jelikož ke každému zákazníkovi směřují všechna data pro ostatní ONU/ONT.

- Směrové odbočení vlnové délky – namísto splitteru je využita směrová odbočnice, která zajistí, že k danému ONU/ONT směřují pouze toky dat o příslušné vlnové délce. Ze zákaznických koncových jednotek je odstraněn filtr vlnových délek. Výhodou je také skutečnost, že útlum směrové odbočnice je nižší než útlum WDM filtru.
- Hybridní zapojení DWA (Dynamic Wavelength Assignment) – jde o kombinaci obou výše popsaných technologií. Odbočení probíhá směrovými odbočnicemi a v zákaznických koncových jednotkách jsou nasazeny laditelné WDM filtry. Díky této konfiguraci vzniká dynamická flexibilní síť, schopná pružně měnit uvolněné vlnové délky mezi zákazníky.

5.3 Technologie pro vícenásobný přenos signálu

Výhoda duplexního provozu na optickém vlákně je založena na možnosti využití vícenásobného přístupu na médium ve stejném čase, neboli využití multiplexu. Patří mezi ně:

- SDM (Space Division Multiplex) – nejjednodušší forma multiplexu, kdy je pro každý směr komunikace vyčleněno jedno vlákno.
- WDM (Wavelength Division Multiplex) – jak již bylo zmíněno u popisu WDM-PON na jediném vlákně jsou provozovány oba směry komunikace oddělené vlnovou délkou. Díky této technologii je zde možnost sloučit více provozů z jednoho směru do jediného vlákna pomocí širokospektrálních zdrojů záření a následně je rozdělit pasivními optickými filtry. WDM je blíže specifikováno v ITU-T G.692 a je možné jej rozdělit na:
 - CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplex) neboli řídký vlnový multiplex definovaný v ITU-T G.694.2. Pracuje mezi vlnovými délkami 1270 nm a 1610 nm s rozestupy mezi kanály 20 nm.
 - DWDM (Dense Wavelength Division Multiplex) neboli hustý vlnový multiplex definovaný v ITU-T G.694.1. Jedná se o mnohem vyspělejší technologii využívanou na páteřních trasách. Technologie pracuje mezi vlnovými délkami 1490 nm a 1620 nm se schopností rozlišení jednotlivých kanálů až 0,4 nm. Komunikační řetězec začíná výkonným laserem s chlazením a pokračuje zesilovačem EDFA což značně zvyšuje cenu systému.
- FDM (Frequency Division Multiplex) – jedná se o multiplex, ve kterém se na jednom vlákně vysílá na stanovené vlnové délce frekvenčně odlišený signál pro oba směry.

6. SLUŽBY NA OPTICKÉ SÍTI

Hovoříme-li dnes o službách provozovaných na optických sítích, zpravidla používáme termín Triple Play neboli „trojitá hra“. Název má reprezentovat souběžný širokopásmový přenos tří odlišně specifikovaných typů dat, který je možný právě díky rozšiřování kapacit datových přípojek. Mezi služby Triple Play patří:

➤ Video:

- IPTV (přenos TV/HDTV s užitím protokolu IP).
- CATV (analogové vysílání TV přenášené přes optické vlákno).
- VoD (Video On Demand).
- Interaktivní TV (připojení TV k internetu).
- PPV (Pay Per View – předplacení pořadu pro opakované vysílání).

➤ Hlas:

- VoIP (např. SIP telefonie).
- Mod (Music On Demand).
- Rozhlas.

➤ Data:

- Připojení k internetu (služby ftp, TCP, web, e-mail, PC online hry).
- Zabezpečovací systémy.

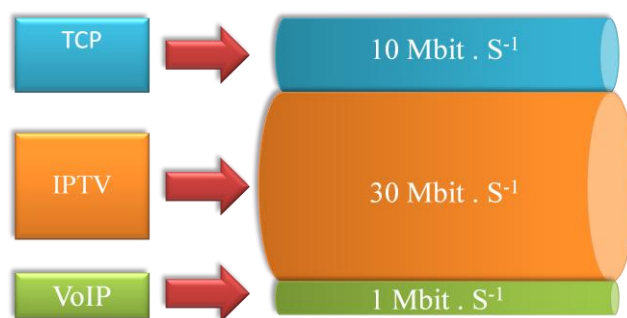
6.1 Video

Z obrázku 6.1 znázorňujícího rozložení datových toků služeb Triple Play jednoznačně vyplývá, že z hlediska přenosu je nejnáročnější služba pro přenos videa. Distributoři nabízejí dva typy specifických technologií pro jejich kvalitní přenos, a těmi jsou CATV a IPTV. Obě technologie disponují jinými výhodami a jsou probrány v následujících kapitolách.

CATV – překryvná PON

Jedná se o službu pro přenos videosignálu k zákazníkovi po překryvné PON souběžně s daty. Pro přenos je využíváno pásmo 1550 nm s nejmenším útlumem, stanoveno normou ITU-T.

Na straně distributora (CO) se nalézá stanice s přijímačem TV signálu s patřičnými konvertory a slučovačem, který slučuje televizní kanály do jediného signálu. Ten je přiveden



Obr. 6.1: Přibližné rozložení datových toků služeb Triple Play

ke zdroji záření (laser), dále na optický zesilovač, kde signál přechází na optické vlákno překryvné PON vedoucí k detektoru záření na straně zákazníka. Optický zesilovač je volen o různých výkonech s ohledem na počet a stupeň rozbočení splitterů na trase mezi CO a koncovým zákazníkem. Na straně klienta je optický signál převeden na elektrický a prostřednictvím koaxiálního kabelu je přiveden do TV.

Tento způsob realizace přenosu videosignálu přes optické vlákno vyniká nižší cenou, díky lacinějším aktivním prvkům. Nevýhodou je omezená nabídka doplňkových služeb. [1]

IPTV – paketová síť

Služba je založena na přenosu videosignálu přes paketově orientovanou síť s využitím IP protokolu. Proces přenosu audiovizuální informace začíná na straně poskytovatele, kde dochází k digitalizaci a komprimaci formátů HDTV/SDTV do MPEG2/MPEG4. IP datagram je přenášen aktivní optickou sítí do zakončovací jednotky u zákazníka a následně přes UTP cat.5e kabel do set-top-boxu s RJ-45 vstupem. Odtud je signál veden k TV nejlépe pře HDMI rozhraní nebo klasickým SCART či koaxiálním kabelem.

Využití IPTV přináší oproti CATV mnohé výhody a to zejména v doplňkových službách, jako vytváření videoték, filmy/počady se zpožděným začátkem, interaktivní TV s možností přístupu k webu. Nevýhodou je vysoká cena aktivních prvků na straně zákazníka i poskytovatele. Z tohoto důvodu je popsaná technologie vhodná pouze pro rozsáhlejší sítě, pro jednotlivce nebo menší sítě není zaručena cenová návratnost. Limitní hodnoty sítě pro přenos televizního vysílání jsou v tabulce 6.1.

Tab. 6.1: Kritéria pro optickou síť přenášející televizní signál

Požadavky na síť	Přenosová rychlost	Maximální zpoždění	Maximální chybovost
Limitní hodnoty	$> 10 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$	$< 90 \text{ ms}$	$< 10^{-8}$

6.2 Hlas

Mezi služby přenosu hlasu řadíme zejména VoIP a MoD

VoIP (Voice over Internet Protocol)

Voice over Internet Protocol je obdobou klasického analogového telefonování dvou účastníků. V tomto případě je však hlas zdigitalizován a komprimovaně přenášen pomocí IP a UDP protokolu datovou sítí přes Internet. Zásadním problémem je požadavek na plynulou komunikaci v reálném čase bez výpadků a zpoždění. Pro přenosovou linku představuje toto výraznou zátěž s vysokými požadavky na QoS. Řešením pro VoIP je nasazení optické sítě s limitními hodnotami pro rychlost, zpoždění a chybovost. Jejich doporučené hodnoty jsou v tabulce 6.2.

Tab. 6.2: Limitní hodnoty pro VoIP

Požadavky na síť	Přenosová rychlost	Maximální zpoždění	Maximální chybovost
Limitní hodnoty	$> 1 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$	$< 10 \text{ ms}$	$< 10^{-8}$

MoD (Music on Demand)

Jedná se přenášení zvukových (zejména hudebních) souborů vysoké kvality prostřednictvím vysokokapacitní sítě. Tato data jsou následně přehrávána v aplikacích Microsoft Windows, zařízení Apple, mobilních zařízení nebo prostřednictvím set-top boxů. Podobně jako u VoIP je zde vysoký požadavek na QoS, zpoždění a propustnost linky.

6.3 Datové služby

Mezi Triple Play pochopitelně patří i služba přenosu dat. V souvislosti s rozvojem sítí WDM dochází k neustálému navyšování kapacity optických vláken. Díky tomu lze komfortně využívat možnosti aplikací, které skrz použité protokoly (FTP, HTTP, POP apod.) poskytují koncovým zákazníkům nejrůznější služby jako přenosy dat či hraní her. Hlubší rozbor této kapitoly není předmětem práce.

7. KONTROLNÍ MĚŘENÍ, MONITORING, DOHLED A AUDIT FTTH

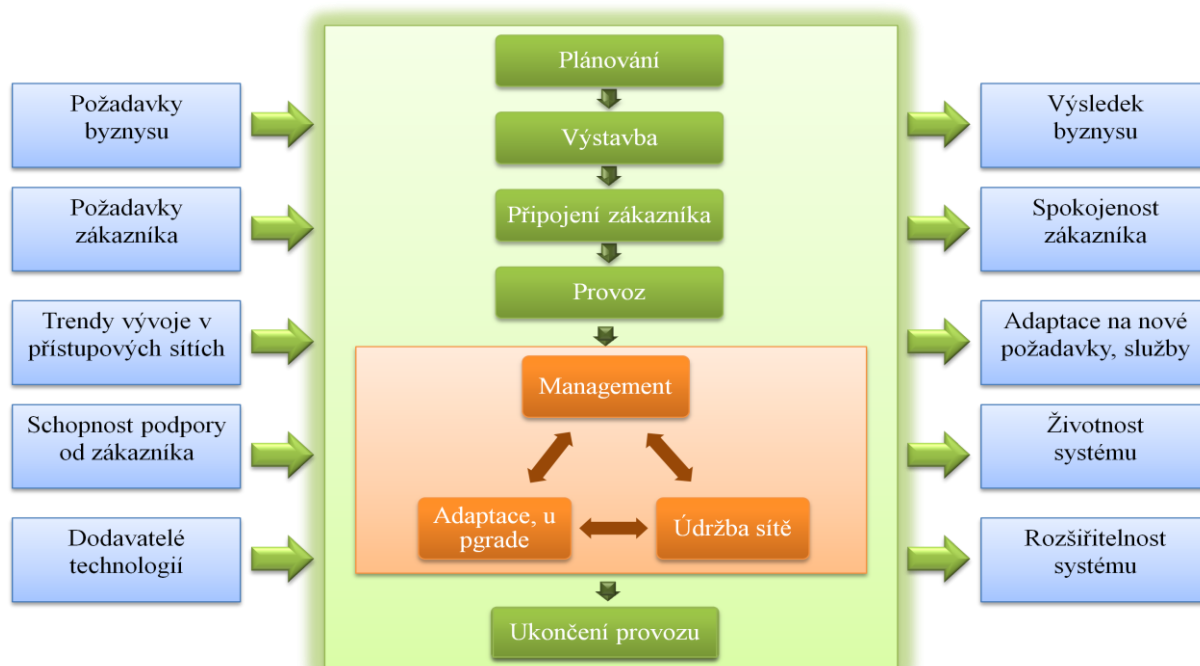
Podobně jako každý komunikační systém může i optická přístupová síť vykazovat určitou chybovost a nestabilitu. Pro správnou funkci je nezbytná schopnost na tyto chyby včas reagovat. To by nebylo možné bez monitorovacích systémů, které alarmují při chybách nebo výpadcích. Rovněž je třeba přesných měřících technik nezbytných při instalaci, auditu i řešení a odstraňování závad. Díky nepřetržitě běžícím dohledovým systémům je provozovatel upozorněn na kolizi, je schopen ji lokalizovat a patřičně zareagovat v závislosti na urgenci poruchy. Moderním trendem jsou dohledová centra s monitorovacím HW/SW, v nichž je po 24 hodin denně pohotovost. Operátor tohoto centra registruje poruchy, analyzuje je a řeší. Na chyby je upozorněn zákazníkem, partnerem provozujícím na pronajatém vlákne služby nebo je upozorněn vlastním interním managementem aktivních prvků sítě. Dohled a monitoring by měl být pravidelně podpořen celkovým auditem dle důležitosti datového okruhu. Rovněž by měla proběhnout příslušná měření během i po výstavbě optické sítě. Základními metodami pro měření optické sítě jsou ODTR, OLTS, dále měření CR a PMD. Jejich aplikování je spolu s nasazením monitorovacích systémů rozebráno v praktické části práce.

8. NÁVRH VLASTNÍ OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ

Nejprve je třeba přijmout fakt, že každá přístupová síť je realizována za zcela odlišných podmínek. To je dáno zejména odlišným rozmístěním distribučních bodů, koncových jednotek u zákazníků a všech mezilehlých uzlů, dále výběrem vhodné technologie (pasivní nebo aktivní) a dalšími individuálními faktory pro danou lokalitu. Vše se navíc odvíjí od specifických požadavků zákazníka a od výsledné schopnosti rentability projektu.

U samotné výstavby přístupových sítí můžeme v některých dílčích oblastech spatřovat jisté podobnosti, které se mohou kladně promítat na výsledném rozpočtu. Zde se ovšem předpokládá předešlá zkušenost s výstavbou optické přístupové sítě. Příkladně se jedná o realizaci propojení mezi patry bytového domu. Firma má v těchto dílčích případech výstavby zaběhlé postupy (např. využívá Riser kabely), ve kterých spatřujeme výraznou časovou a tudíž i finanční úsporu.

Proces návrhu, realizace, provozu i zániku optické přístupové sítě je spolu s hlavními prvky, které tento proces ovlivňují, znázorněn na obr. 8.1. Zelená část diagramu představuje jednotlivé časové úseky během existence sítě FTTx. Každý bod je spjat s konkrétními výdaji, které budou do jisté míry rozebrány v následujícím textu, přičemž mezi nejmarkantnější pochopitelně řadíme samotnou výstavbu. Modrá část diagramu pak reprezentuje faktory ovlivňující procesy během životnosti sítě a rovněž očekávané výstupy.



Obr 8.1: Znázornění vzniku, provozu, vývoje a zániku přístupové sítě

Ukončení provozu může být chápáno jako pouhé odpojení zákazníka, částečná demontáž (ONU/ONT a osazení CO) či méně časté kompletní stažení všech prvků a jejich ekologickou likvidací. Nebývá zvykem tuto část uvažovat jako položku v rozpočtu při návrhu přístupové sítě. Samotná životnost optické přístupové sítě je uváděna jako několik dekad, praktické odhady leží v rozmezí 30 až 40 let. Uvézt přesné rozmezí je obtížné bereme-li v potaz možnosti regenerace resp. obměny částí úseků přístupové sítě díky využívání technologie mikrotrubičkování.

8.1 Legislativní, smluvní a ekonomické aspekty

Při realizaci optické přístupové sítě je třeba brát v potaz normy, nařízení a zákony země potažmo nadnárodního celku, jako je Evropská unie, ve které realizace probíhá, přičemž bereme v potaz tendence, kam se problematika v legislativě bude do budoucna vyvíjet. Dále je třeba podepsat příslušné licenční smlouvy a zajistit oprávnění fyzického zásahu do lokality. Zde mohou vyvstat problémy s řazením objektů do památkových zón, což omezuje nebo dokonce znemožňuje razantní zásahy v jejich okolí. V neposlední řadě je nutná analýza lokálního trhu, ve které se zaměřujeme na konkurenci, její nastavení cen, nabízené typy služeb i jejich kvalitu. Do legislativních aspektů je možno řadit i smluvní ujednání s odběratelem služby, kterému tímto garantujeme její zprovoznění a běh v dohodnuté kvalitě k určitému datu.

Výstavba optické přístupové sítě je velmi náročná z hlediska zásahů do okolního terénu. Dochází k narušení silnic, chodníků, částí budov a pozemků. K tomu, abychom mohli začít hloubit výkopy pro chráničky, je zapotřebí získat povolení od majitelů zasažených nemovitostí. To v dnešní době může představovat velká omezení.

V této části je rovněž řešen rozpočet projektu s pochopitelným důrazem na schopnost rentability. Hlavní body jsou shrnuty v následujícím seznamu.

- Legislativa země a nadnárodního celku (např. EU) – zákony, normy, licence.
- Stanovení rozpočtu pro návrh, výstavbu a provoz.
- Smluvní ujednání se zákazníkem.
- Sjednání smluv s majiteli nemovitostí.
- Financování – soukromý sektor, bankovní dům aj.
- Analýza trhu – zjištění stavu konkurence a jejich cen.

8.1.1 Legislativa v ČR

Před uvedením přístupové sítě do provozu je v České republice zapotřebí projít registračním a schvalovacím řízením RRTV (Rady pro rozhlasové a televizní vysílání). Po vyplnění žádosti a příslušných dokumentů je nutné zaplatit jednorázový správní poplatek pro udělení licencí, který pro rozhlasové vysílání činí 15 000 Kč a pro televizní vysílání 50 000 Kč. Po úspěšném schválení je žadatel zařazen do veřejného seznamu RRTV pod svým názvem, identifikačním číslem jako distributor televizního a rozhlasového vysílání prostřednictvím kabelových systémů.

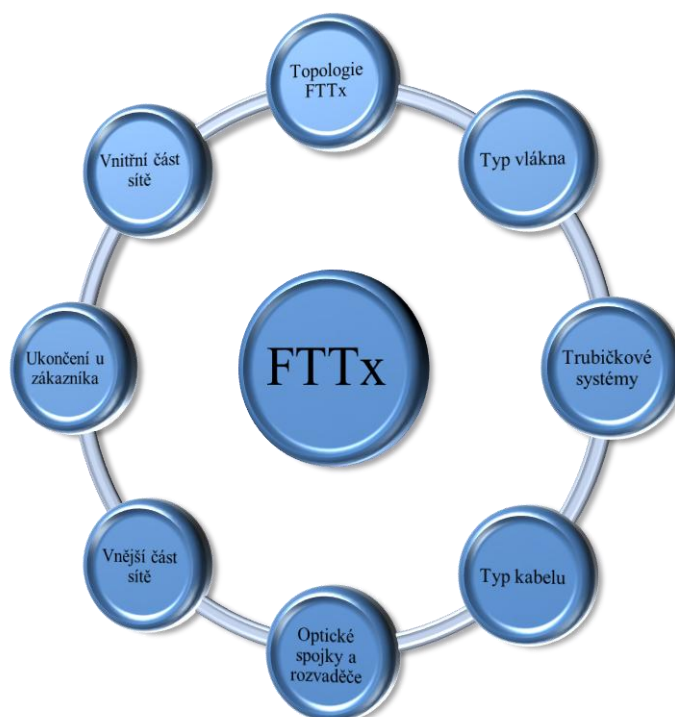
Pro provoz přístupové sítě je také nutno podepsat příslušné smlouvy se svazy autorských práv, mezi které se řadí například DILIA, ČSN IFPI, GESTOR, OSA či INTERGRAM.

8.2 Technologické aspekty

V této pasáži je třeba vybrat zejména vhodný typ technologických řešení popsaných v kapitole 2. až 5., potažmo i 7. a vhodně je aplikovat v návrhu přístupové sítě.

Zásadním krokem je pochopitelně výběr technologie pro přístupovou síť FTTx, kde se rozhodujeme mezi AON a PON a odtud v úzké návaznosti pokračujeme k volbě vlákna, aktivních a pasivních prvků v CO a OLT/ONT u zákazníka, typů úložných mechanismů apod. Následuje výběr topologie, či jinak řečeno vhodné rozmístění výše popsaných prvků v lokalitě. Topologie je definitivně stanovena po provedení důkladného průzkumu interiérů a exteriérů budov, komunikací a dalších objektů nalézajících se v lokalitě. Následně můžeme rozhodnout o vhodnosti použití většiny technologií (Riser kabel nebo mikrotrubičky ve stupačkách, umístění podružných rozvaděčů apod.) a předejít tak komplikacím během výstavby.

Po výběru technologií a topologií následuje realizace, kde figuruje snaha o vytvoření efektivní strategie výstavby. Tím je míněno například přidružení k paralelně probíhajícím výkopovým pracím. Snažíme se synchronizovat souběh realizace vnější i vnitřní části sítě, případně o plynulé navázání jejích výstavby. V této fázi je důležité dynamicky řešit dílčí problémy, kterým se při výstavbě nelze vyhnout a rovněž se na ně nelze připravit vzhledem k odlišnostem každé lokality. Před připojením zákazníků resp. předání funkční služby je nutné provést sekvenci měření, která potvrdí funkčnost spoje v požadované kvalitě. Z výstupů těchto měření je zhotoven protokol, který je předán zákazníkovi. V této fázi probíhá řešení posledních problémů.



Obr. 8.2: Hlavní položky při výběru technologií pro FTTx

Pro kontrolu sítě jsou zavedeny příslušné mechanismy popsané v následující kapitole 9.5. Dohled nad sítí by měl být podpořen pravidelným nezávislým auditem, který vypoví o plné funkčnosti přístupové sítě, jak je stanovena ve smlouvě mezi zákazníkem a provozovatelem potažmo majitelem.

Během životnosti sítě je nutné zavedení mechanismu pro její servis. Ten může být zastoupen vlastní technickou službou provozovatele nebo lze využít služeb externích firem pro technickou podporu (např. DISK). Autor dle vlastních zkušeností přistupuje k druhé variantě pouze jako k záložní vzhledem ke kvalitě těchto servisních zásahů. Provozovat síť bez vlastní technické podpory se jeví jako riskantní. Pro servis je vhodné zajistit servisní telefonní zákaznickou linku dostupnou nepřetržitě 24 hodin denně.

Výše rozepsané kroky jsou přehledně sepsány v následujícím seznamu:

- Výběr technologií – zpravidla AON, PON, dále výběr vlákna, aktivních a pasivních prvků, osazení CO a OLT/ONT aj.
- Průzkum – před realizací přístupové sítě je třeba provedení série průzkumů lokality.
- Výběr topologie – rozmístění uzlů, spojů, koncových bodů a záložních linek.
- Realizace – výstavba a řešení technických problémů v jejím průběhu.

- Zprovoznění služby – zavedení služby až do koncových přípojek zákazníků, provedení prvních testovacích měření a řešení prvotních nedostatků připojení.
- Monitoring, dohled, audit – zavedení prvků pro kontrolu a management sítě.
- Servis a údržba prvků přístupové sítě.

8.3 Náklady na výstavbu

Náklady na výstavbu optické přístupové sítě představují většinový podíl z celkového rozpočtu. Podle [6] se mohou u FTTH pohybovat až v okolí dvou třetin celkových nákladů. Tento typ výdajů začíná s vyhotovením celkové projektové a stavební dokumentace. Následuje uhrazení správních poplatků, případně finanční vyrovnání s majiteli pozemků, komunikací a nemovitostí, do kterých výstavba zasahuje. Mezi stavební práce řadíme hloubení výkopů, pokládání kabelů, chrániček a multiduktů, budování tras a rozvodů v budovách, kompletace rozvaděčů a nástěnných boxů, svařování vláken, zajištění napájení aktivních prvků a mnoho dalších.

Povinností při výstavbě může být zajištění přívodů elektrické energie pro stavební techniku. Rovněž je třeba zajistit volný přístup či příjezd ke všem objektům, které jsou součástí projektu.

Zde je uveden soupis hlavních nákladů na výstavbu:

- Náklady související s projektovou dokumentací.
- Poplatky za schválení stavby příslušnými úřady.
- Stavební práce – výkopy, pokládání chrániček, realizace tras uvnitř budov, montáže zařízení, zafukování vláken, konektorování apod.
- Energie – zajištění elektřiny a jiných energií během výstavby.
- Zpřístupnění objektů.
- Zajištění oprav, odvozu odpadu a úklidu po dokončení prací.

9. OPTICKÁ SÍŤ BRNO – KRÁLOVO POLE

Pro návrh vlastní přístupové sítě autor vybral obec Brno, část Žabovřesky a to konkrétně v okolí ulic Fričova, Kvapilova a Kainarova. V cílové lokalitě se nachází stovky řadových dvougeneračních domů, vil a desítky bytových vícepodlažních budov.

Pro realizaci internetového připojení byla vybrána technologie FTTH, koncová jednotka ONT je tedy vždy ukončena přímo v objektu zákazníka.

Pro variantu FTTH lze použít dva typy sítí – AON nebo některý ze standardů PON. Základní strategie spočívá ve snaze vystavět jednoduchou rentabilní nízkoenergetickou síť za pomoci vhodně umístěných trubičkových systémů, jejichž rezervy následně poslouží jako základ pro nástavbové výkonnější a především rozsáhlejší technologie. V hustě zastavěných oblastech velkých měst s paradoxně nedostatečnými rychlostmi přípojek internetu prostřednictvím ADSL apod. je to efektivní způsob postupné expanze optických přístupových sítí. Po studii všech výše popsanych variant AON a PON sítí autor preferuje nasazení pasivní optické přístupové sítě, zejména kvůli snadné integraci do metropolitní sítě, plné podpoře Triple Play, nízké ceně dané redukováním počtem aktivních prvků a nízké náročnosti na údržbu. Ze standardů popsanych v kapitole 5.2 autor vybral ten nejrozšířenější, tedy GPON a to konkrétně typickou asymetrickou variantu o rychlostech $2,50 \text{ Gbit} \cdot \text{s}^{-1}$ pro downstream a $1,25 \text{ Gbit} \cdot \text{s}^{-1}$ pro upstream. Protože je připojení lokality do metropolitní sítě provedeno v rozmezí několika set metrů, nasazení aktivních technologií, které představují zejména velkou úsporu optického vlákna, není v tomto případě preferováno. Pasivní optická síť je finančně úspornější, snadno rozšiřitelná, flexibilní, stabilní a energeticky nenáročná.

Cílem této části práce je tedy vytvořit návrh GPON sítě dle ITU-T G-984.1 pro danou lokalitu, definovat použité technologie, stanovit rozpočet a diskutovat možná řešení expanze.

9.1 Popis lokality a nástin technického řešení

Lokalitu pro realizaci přístupové sítě lze rozdělit do dvou částí. První z nich je oblast kolem ulic Fričova a Kvapilova se 14 čtyřpodlažními budovami, přičemž v každé je 16 potencionálních zákazníků. Druhá oblast je tvořena celkem 114 vilami a rodinnými, převážně dvoupodlažními domy, které jsou přilehlé k ulici Kainarova. Dohromady je zde 128 cílových budov s 338 potencionálními zákazníky. Zóna má spíše obytný charakter, nenalézají se zde ve vyšší míře průmyslové či obchodní objekty, které by vyžadovaly vyšší nároky na poskytovanou službu. Výjimku tvoří například budova na adrese Královopolská 3052/139,

612 00 Brno s administrativními a technickými prostorami, pro kterou lze vzhledem k jejímu charakteru navrhnout specifické řešení připojení do metropolitní sítě.

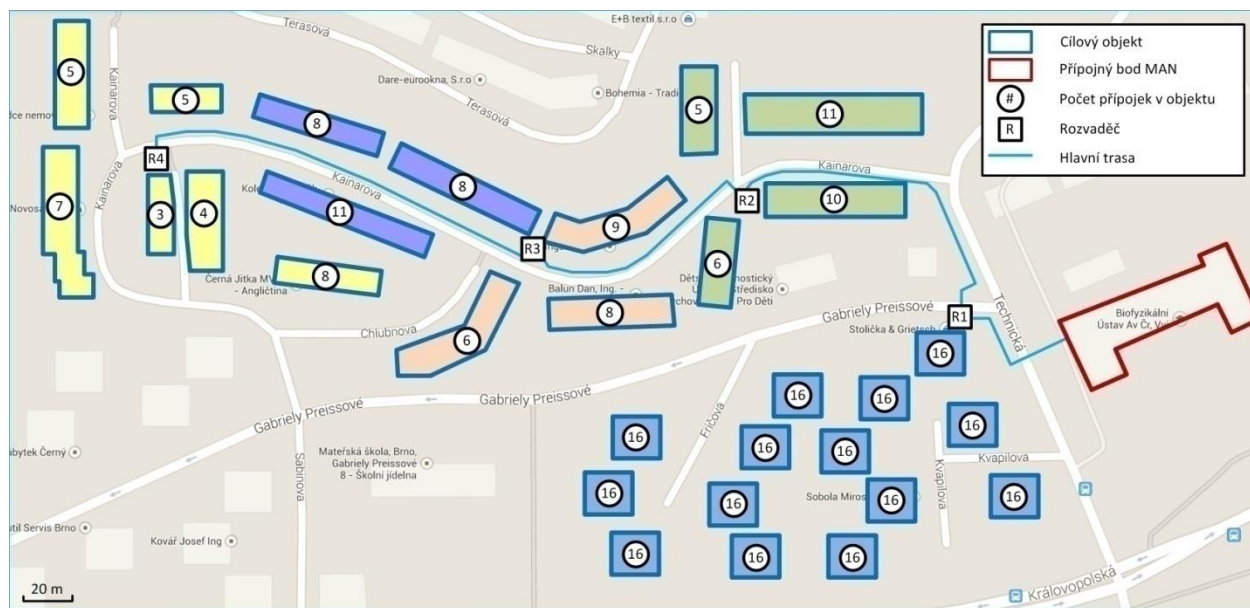
Jedná se o poměrně malou hustě zastavěnou oblast. Vzhledem k charakteru lokality se v dohledné době nepředvídají žádné zásadní fyzické zásahy, proto je ideální pro zakopání chrániček s mikrotubičkovými systémy do země, bez hrozby vzniku následných škod souvisejících s porušením optických kabelů.

Díky strategickému výběru lokality je k optické přístupové síti po její realizaci možné připojit mnoho dalších ulic podobného charakteru se stovkami potencionálních zákazníků. Jedná se například o budovy podél trojice ulic Horská, Skalky a Terasová nebo objekty kolem ulice Gabriely Preissové, Vychodilovy a dále. Odhadovaný počet koncových zákazníků je po připojení okolních periferií až 2000.

Při průzkumu konkurence v lokalitě byla zjištěna maximální nabízená rychlost připojení $2 \text{ kb} \cdot \text{s}^{-1}$ až $8 \text{ kb} \cdot \text{s}^{-1}$ prostřednictvím technologie xDSL, což je podle dnešního standardu v podobě sítí podporujících Triple Play zcela nedostatečné. Nabízené rychlosti prostřednictvím PON jsou 40, 80 a 100 Mb $\cdot \text{s}^{-1}$. Pro moderní domácnost zákazníka představují vítaný komfort.

Připojení navrhované optické přístupové sítě do MAN bude realizováno přes uzel BAPS (Brněnská akademická počítačová síť), který se nalézá v technickém zázemí budovy Akademie věd na adrese Královopolská 2590/135, 612 00 Brno. Odtud bude vyčleněn patřičný počet optických vláken dále vedených podél ulice Královopolská ve směru k lokalitě.

Na následujícím obrázku 9.1 je vyobrazena lokalita, v níž bude PON zaváděna. Modré obdélníky představují bloky řadových domů, modré čtverce ve spodní části obrázku pak čtyřúrovňové panelové domy se čtyřmi bytovými jednotkami na patře. V černém kruhu u každého bloku je počet koncových ONT, které se v něm nachází. Z nákresu je rovněž patrná poloha jednotlivých rozvaděčů a hlavní trasy, po kterých vedou přívodní vlákna. Červeně je zvýrazněna budova Akademie věd, jako přípojný bod v rámci BAPS.



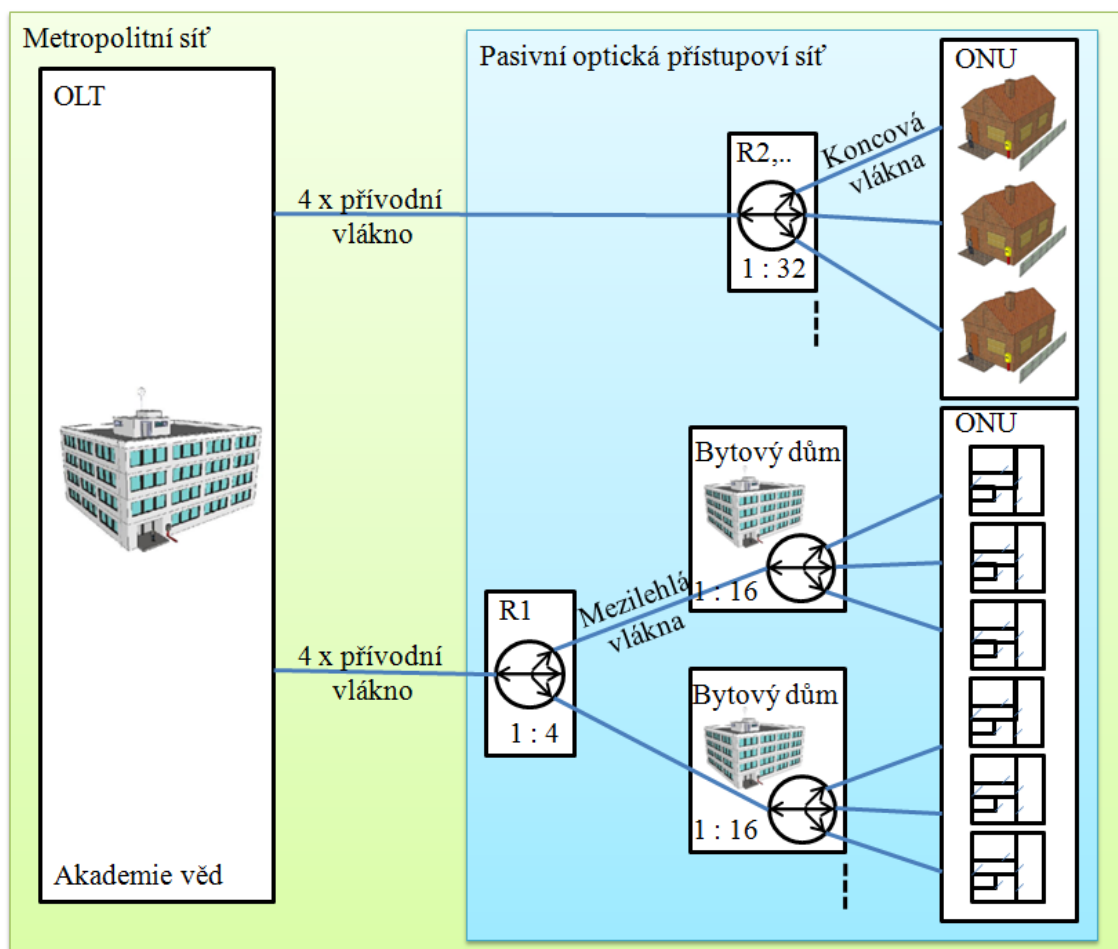
Obr. 9.1: Mapa lokality v okolí ulic Kainarova, Fricova a Kvapilova [2]

Objekty jsou kvůli přehlednosti barevně členěny do zón podle náležitosti k jednotlivým splitterům. Jinak řečeno na množinu objektů dané barvy připadá jeden splitter 1:32 umístěný v nejbližším rozvaděči. U bytových domů je využito kaskádního zapojení splitterů s dělením 1:4 a 1:16, detailně bude topologie popsána v následujícím textu.

9.2 Topologie

V této podkapitole bude shrnuta topologie sítě utvářená polohou přírodních, mezilehlých a koncových vláken, dále umístěním splitterů i jednotek OLT a ONT.

Přírodní vlákna vedou od uzlu metropolitní sítě AV (Akademie věd) k rozvaděči R1, kde je ponechána 15 m kabelová rezerva. Z celkového počtu dvanácti přírodních vláken jsou 4 napojena přímo v R1 na splittery s poměrem odbočení 1:4, čtyři vlákna poslouží jako rezerva a zbylé vlnovody jsou navařeny na kabel ve směru ostatních rozvaděčů, jak je znázorněno na obr. 9.3. V rozvaděči R2 je ukončeno 1 přírodní vlákno, které je napojeno na splitter s odbočením 1:32, v R3 jsou obdobně ukončena 2 vlákna a v posledním R4 končí taktéž jedno vlákno napojením na splitter 1:32. Schematicky je topologie znázorněna na obr. 9.2.



Obr. 9.2: Schematické znázornění topologie navrhované sítě

R1 je kořenový rozvaděč pro zónu s bytovými domy, od kterého jsou vedena mezilehlá vlákna ze splitterů s dělením 1:4 směrem k jednotlivým budovám. V nich jsou v optickém rozvaděči napojena na podružný splitter 1:16 poblíž centrálních stoupaček, kterými je sveden Riser kabel s 16 koncovými optickými vlákny, která jsou po čtveřicích rozvedena do každého patra a odtud dále v lištách směrem k průřazům do bytových jednotek.

Rozvedení koncových vláken v zónách s řadovými domky je patrné z tabulky 9.1. Z důvodu přehlednosti jsou bloky řadových domků označovány číslem jako jeden objekt, jak je patrné z obr. 9.3. Z důvodu úspory je odbočný výkop z hlavní trasy veden vždy jen k jednomu ze dvou k sobě přilehlých domů. Jsou do něj zavedena dvě vlákna, přičemž jedno je následně průřazem přivedeno do druhého domu.

Tab. 9.1: Rozvedení větví přístupové sítě k příslušným objektům z rozvaděčů R1 až R4

Rozvaděč	Větev pro objekty
R1	1, 2, 3
	4, 5, 6, 7
	8, 9, 10, 11
	12,13,14
R2	15, 16, 17, 18
R3	19, 20, 21
	22, 23, 24
R4	25, 26, 27, 28, 29, 30

Hlavní trasy mezi jednotlivými rozvaděči a jednotkou OLT jsou uvedeny v následující tabulce 9.2. Délky jsou udávány s rezervou 5 až 15 metrů podle charakteru a délky spoje.

Tab. 9.2: Vzdálenosti mezi hlavními uzly sítě

Trasa		Vzdálenost [m]
AV	R1	100
R1	R2	165
R2	R3	120
R3	R4	175
AV	R4	560



Obr. 9.3: Znárodnění hlavních a vedlejších kabelových tras, rozložení rozvaděčů a označení objektů [2]

9.3 Stanovení útlumů na trasách

Pro realizaci pasivní přístupové sítě bylo vybráno vlákno podle ITU-T G.652.D, které vykazuje nejlepší útlumové charakteristiky v širokém rozsahu vlnových délek. Připojení v CO (Botanická 68a) je prostřednictvím konektoru SC/PC a ukončení ONT je použit konektor typu SC/APC vnášející do trasy útlum 0,2 dB. Schematicky je rozložení útlumových prvků znázorněno na obrázku 9.4. Souhrn všech prvků trasy a k nim odpovídajících útlumů je zapsán v tabulce 9.3.

Způsob zjištění celkového vložného útlumu trasy A_{celk} od přípojného bodu až k zákazníkovi lze spočítat s pomocí rovnice:

$$A_{celk}(\lambda) = L \alpha(\lambda) + N_{spoj} A_{spoj}(\lambda) + N_{kon} A_{kon} + A_{pasiv}, \quad (9.1)$$

kde L je délka vlákna, N_{spoj} je počet spojů (svary, spojky), $A_{spoj}(\lambda)$ činí útlum svaru či spojky, N_{kon} počet konektorů, A_{kon} útlum konektoru a A_{pasiv} je útlum vkládaný do trasy pasivním prvkem (např. splitter). V našem případě je útlum vnášený optickými vlákny nutno sečíst ze tří částí (přívodní, mezilehlá, koncová vlákna). Rovnice pro zjištění vložného útlumu $A_{vl}(\lambda)$ všech optických vláken pak nabývá tvaru:

$$A_{vl}(\lambda) = l_{přív} \alpha_1(\lambda) + l_{mezi} \alpha_2(\lambda) + l_{konc} \alpha_3(\lambda) + \dots l_x \alpha_n(\lambda), \quad (9.2)$$

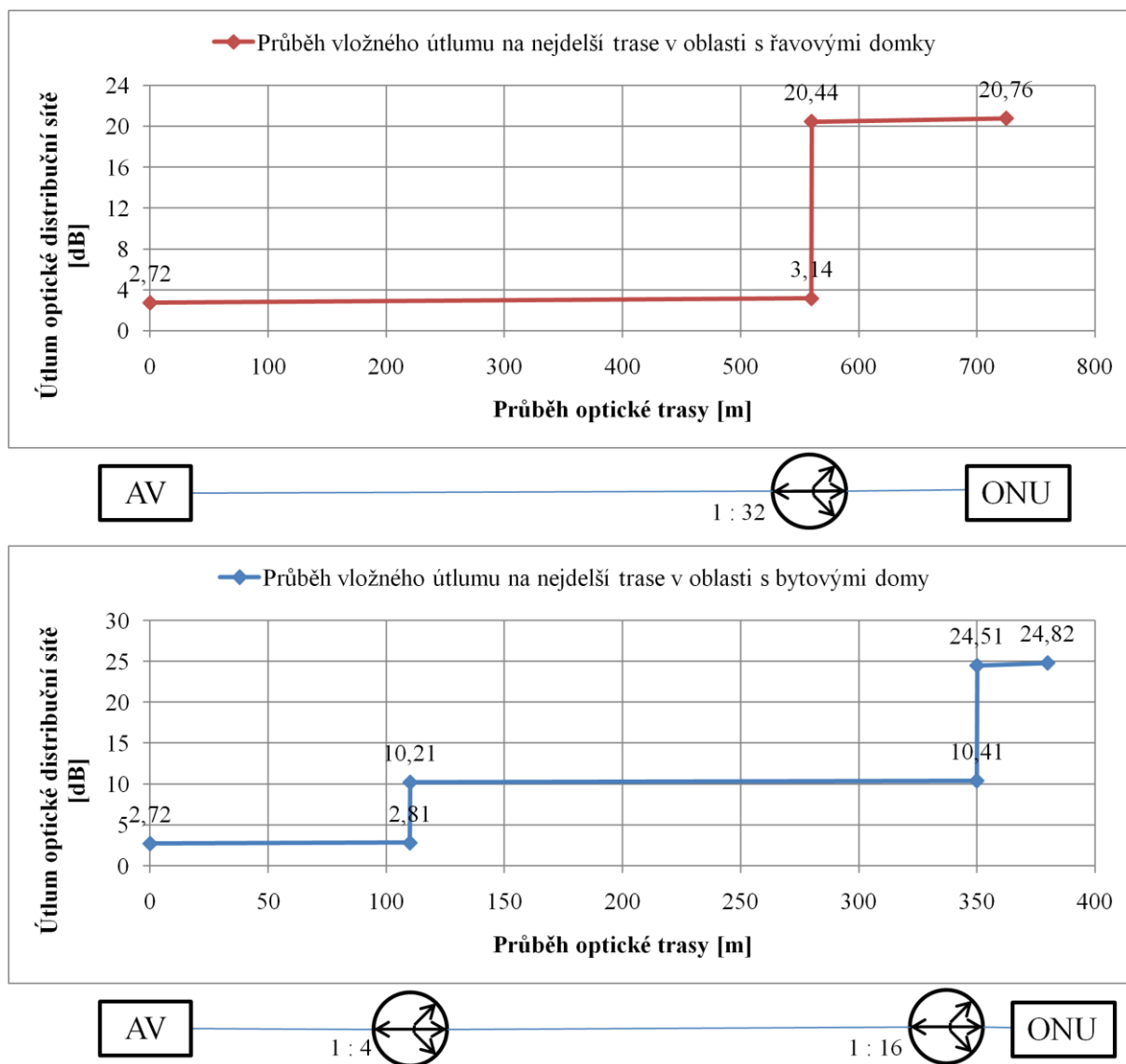
kde $l_{přív}$ je délka přívodního vlákna, l_{mezi} délka mezilehlého vlákna, l_{konc} délka koncového vlákna, l_x je délka každého dalšího navazujícího vlákna a $\alpha_n(\lambda)$ představuje koeficient útlumu daného vlákna.

Tab. 9.3: Stanovení útlumové bilance pro dvě nejdelší větve přístupové sítě od bodu AV

Větev	Prvek sítě	Max. hodnota vložného útlumu na ks/km [dB]	Celkem ks/km	Celková hodnota vložného útlumu [dB]
Bytové domy	Přívodní vlákno	0,40	0,110	0,044
	Mezilehlé vlákno	0,40	0,240	0,098
	Koncové vlákno	0,40	0,030	0,012
	Splitter 1:4	7,40	1	7,400
	Splitter 1:16	14,10	1	14,100
	Konektor SC	0,20	1	0,200
	Svary	0,05	5	0,250
				22,104
Řadové domy	Přívodní vlákno	0,40	0,560	0,224
	Mezilehlé vlákno	–	–	–
	Koncové vlákno	0,40	0,165	0,066
	Splitter 1:32	17,30	1	17,300
	Konektor SC	0,20	1	0,200
	Svary	0,05	5	0,250
				18,040

Údaje o útlumech jsou čerpány z předcházejících kapitol. K výslednému součtu vložných útlumů pro obě větve je třeba přičíst útlumová bilance přívodních vláken vedoucích od uzlu na adrese Botanická 68a. Délka trasy složená z úseků BFU – Technická 2, Technická 2 – Kounicova67 a Kounicova 67 – Botanická 68 činí 5800 m. Útlum tohoto přívodního vlákna činí 2,72 dB. Celkový vložný útlum pro nejdelší větve směřující k bytovému domu (č. 14) je **24,824 dB** a k nejvzdálenějšímu (č. označení 30) řadovému domu pak **20,760 dB**. V obou případech se vložný útlum nalézá v rozmezí třídy B (doporučení ITU-T G.984), tedy 10 až 25 dB.

Na obr. 9.4 je markantní zejména útlum vkládaný splittery. Samotné vlákno, konektory a spoje při návrhu PON malé rozlohy jako je tato činí pouze **3 % až 4 %** z hodnoty celkového vložného útlumu. Lze tedy říci, že zařazení do třídy GPON, od které se odvíjí energetická náročnost pasivní sítě, závisí zejména od aplikované soustavy splitterů.



Obr. 9.4: Průběh útlumu uvažované přístupové sítě pro větev vedoucí k nejvzdálenějšímu řadovému domku (nahore) a nejvzdálenějšímu bytovému domu (dole)

9.4 Technické specifikace

V minulé kapitole se autor zaměřuje zejména na popis lokality a výběr vhodné technologie s ohledem na efektivitu, rentabilitu a rozšiřitelnost. Specifikuje topologii kabelových tras a uzlů, rovněž určuje celkový útlum jednotlivých větví optické přístupové sítě. V kapitole technické specifikace si autor dává za cíl rozebrat konkrétní technologie resp. technologické postupy budování FTTH.

9.4.1 Trubičkové systémy

Pro realizaci většinové části přístupové sítě byl vybrán systém Dura-Flat, který umožňuje velmi snadné odbočení jednotlivých trubiček k zákazníkovi. Výhodou je také poměrně příznivá cena, variabilní počet i velikost trubiček a možnost přímého položení do země. Systém představuje velkou úsporu za jinak nezbytné odbočovací členy a také přináší extrémní úsporu času při přípravě celé trasy. Pro propojení rozvaděč-zákazník byly vybrány trubičky DURA-LINE OTHM-DFLAT-6/5/4x12-8 o velikosti 12/8 mm, do kterých lze zafukovat mikrokabely o průměru 6 mm. Na hlavních trasách mezi jednotlivými rozvaděči jsou položeny do země HDPE trubky se zesílenou ochranou proti vnějším vlivům DURA-LINE OTHM-HDPE-32-4x10-8. Jedná se o čtyři trubičky o průměru 10/8 mm uložené v podpůrné konstrukci a v izolaci HDPE o průměru 32/27 mm. Do každé ze čtyř trubiček je možno zafukovat mikrokabely o průměru až 6 mm. Celý systém rozvedení trubiček v lokalitě včetně délek jednotlivých úseků je znázorněn na obr. 9.5.

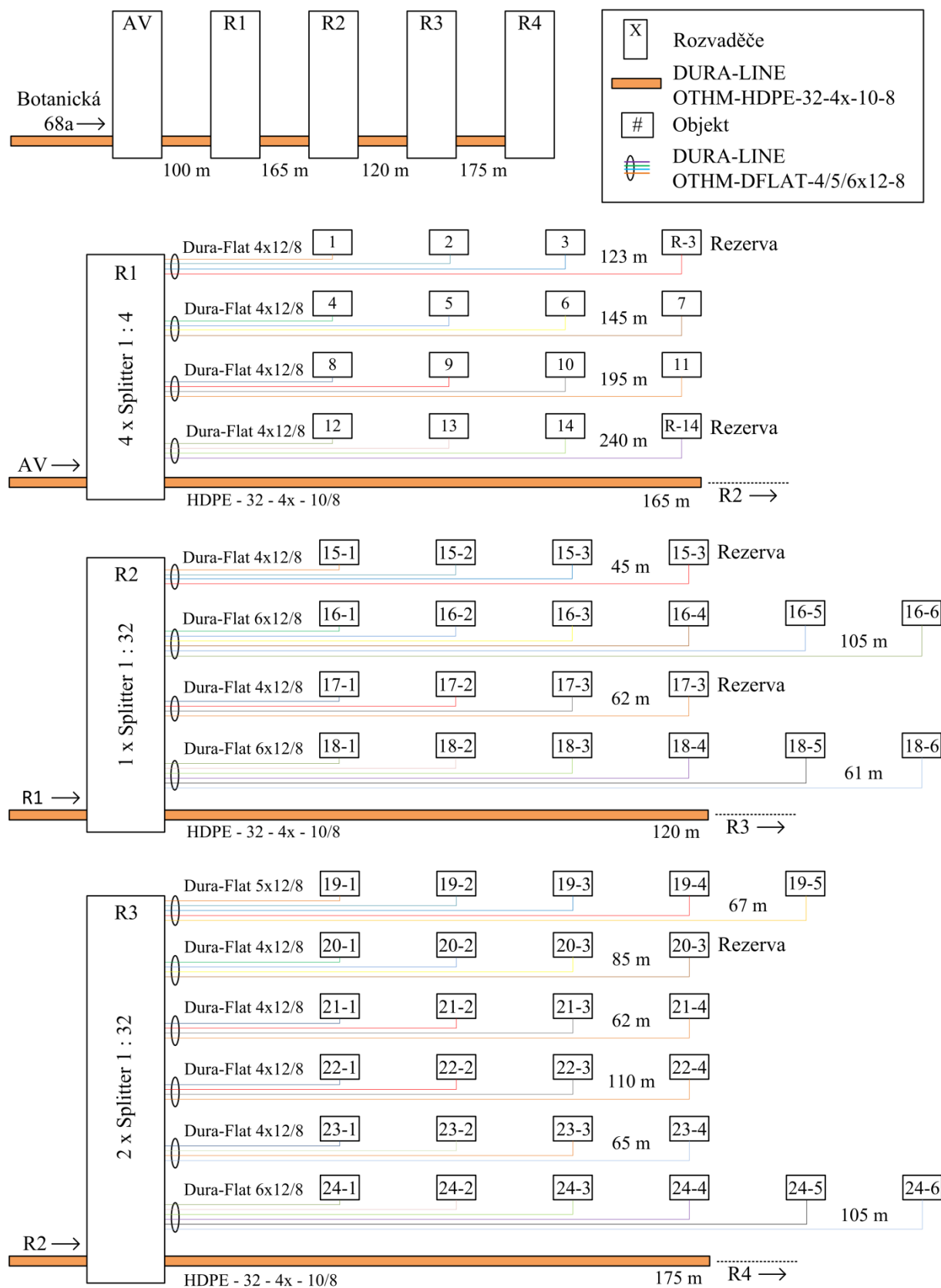
Trubičky jsou ukládány do hloubky 0,7 m pod povrchem terénu, hlavní trasy propojující rozvaděče jsou ukládány do hloubky 1 m až 1,3 m. Na většině míst lze výkopy realizovat pod rozebranou dlažbou chodníku, v případě křížení s vozovkou jsou vyříznuty dvě drážky vedle sebe a chránička je zde uložena do menší hloubky.

Ukončení trasy pro mikrotrubičky u zákazníka je realizováno šikmým průrazem z objektu pod úroveň terénu, dále podle konkrétních dispozic. Dle požadavku zákazníka lze rovněž přistoupit na instalaci venkovní jednotky na zeď budovy. V případě bytových domů je snaha přiblížit se průrazem co nejbližší stoupačkám. V průrazu je HDPE trubička izolována a ukončena.

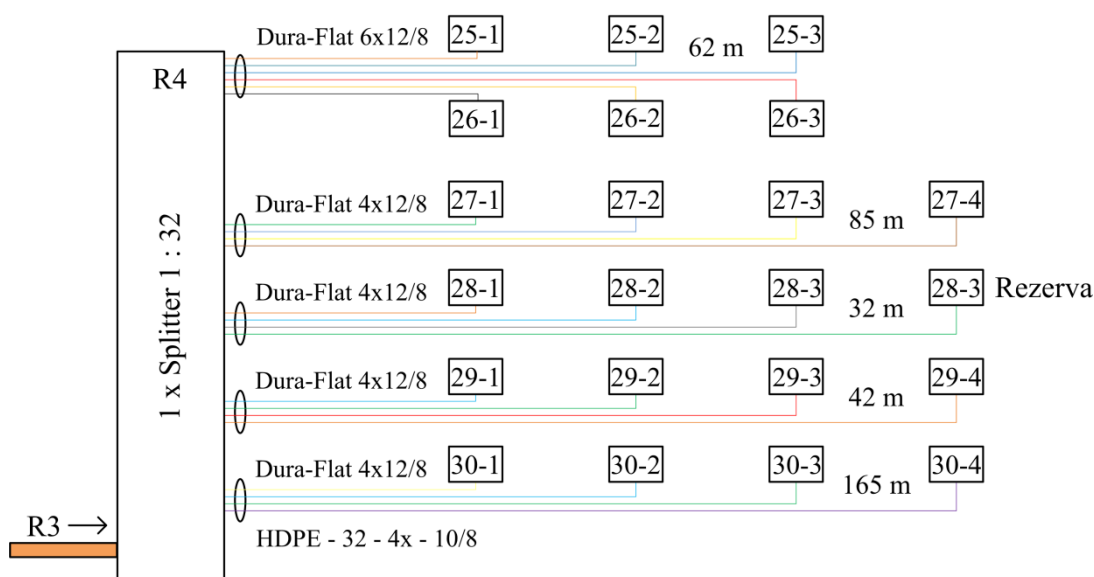
Trubičkové systémy ve výkopech jsou označeny barevnou výstražnou páskou, při pokládce jsou dodrženy předpisy dané výrobce a k zasypání je použit materiál bez větších ostrých částí. Před realizací výkopu je nutno označit body křížení s inženýrskými sítěmi.

Trubičková síť je podrobena testu průchodnosti, který spočívá v zafouknutí kontrolního pístu do každého úseku. Následuje test těsnosti, při kterém je každý úsek natlakován vzduchem a pozoruje se pokles tohoto tlaku.

Zafukování optických kabelů je prováděno pomocí zařízení Microjet PRM 196.



Obr 9.5: Trubičkové systémy (část 1.)



Obr. 9.5: Trubičkové systémy (část 2.)

9.4.2 Vlákna, kabely a rozvaděče

Pro navrhovanou PON bylo vybráno vlákno dle ITU-T G.652.D. Pro provoz ve směru download je využita vlnová délka 1310 nm, pro upload 1490 nm a pro přenos TV signálu pak 1550 nm dle ITU-T.

Návrh je situován do hustě obydlené části Brna a je obklopen perspektivními oblastmi, které budou v budoucnu na přístupovou síť navazovat. Proto je do hlavní trasy zatažen optický kabel s redundantním počtem vláken a ze stejného důvodu jsou zde pokládány ochranné HDPE trubky s větším počtem trubiček (do každé z nich lze zatáhnout mikrokabel se 72 vlákny). Pro hlavní trasu mezi AV až R4 byl vybrán typ MIKRO AIRBLOWN od výrobce SAMSUNG s označením 012-SM652DLT-MIKRO-58-SA s 12 vlákny ITU-T G.652.D a tloušťkou 5,8 mm. Z něj jsou čtyři vlákna ukončena v rozvaděči R1, jedno v R2, dvě v R3 a jedno v R4. Ostatní vlákna tvoří rezervu systému. Pro připojení řadových domků a propojení splitterů v R1 se splittery v bytových domech je využit kabel FIBER BUNDLE se čtyřmi vlákny dle ITU-T G.652.D. Do objektů 3 a 14 vede kabel SAMSUNG 012-SM652DLT-MIKRO-58-SA s 12 vlákny ITU-T G.652.D z důvodů rezervy pro perspektivní oblasti dalšího rozšíření.

Poslední trasa pro připojení koncových účastníků v bytových domech je realizována kabelem Riser V2 LSZH se 24 vlákny typu SM dle ITU-T G.657A, která umožňují bezpečnější instalaci vzhledem k vyššímu poloměru ohybu. Kabel je zatažen ve stoupačkách a je průběžně ukotvován. Pro zvýšení bezpečnosti se kabel zavede do ochranné

elektroinstalační trubky o průměru 20 mm. V každém patře je instalován odbočný člen pro 4 vlákna, která pak vedou v ochranných lištách k ONT v bytech zákazníků. Propojení kabelu Riser a kabelu s mezilehlými vlákny od R1 je realizováno průchodkami do optického nástěnného rozvaděče ORM 16 SDF, který umožňuje uložení splitteru 1:16, management šestnácti svarů a namotání kabelové rezervy přívodního kabelu. Tento rozvaděč je umístěn poblíž stoupaček.

Rozvaděče R1, R2 a R4 jsou venkovní pilířové ORU 1 SIS s výklopným rámem o kapacitě 144 svarů, s možností připojení 48 účastníků (2 vlákna na účastníka), vybavené jsou až čtyřmi moduly SAFeTNT pro propojení nebo ukončení optických kabelů. Rozvaděč R3 je rovněž venkovní pilířový typu ORU 2 SIS s možností připojení až 192 účastníků (2 vlákna na účastníka). Obě varianty rozvaděčů jsou montovány na podstavce výšky 30 cm.

U pokládání a zafukování optických kabelů jsou dodržovány výrobcem stanovené teplotní a mechanické limity. Každý rozvaděč obsahuje popis zapojení.

9.4.3 ONT

Pro plnohodnotné nasazení služeb Triple Play u zákazníka bylo vybráno zařízení Alcatel-Lucent 7342 – I, které vyniká svou variabilitou a výhodným poměrem cena/výkon. Plně podporující standard GPON o rychlostech pro downstream $2,5 \text{ Gbit} \cdot \text{s}^{-1}$ a $1,25 \text{ Gbit} \cdot \text{s}^{-1}$ pro upstream. Do WAN portu je připojeno SM vlákno prostřednictvím pigtailu s konektorem SC/PC. Pigtail je s koncovými vlákny propojen svařením. Zařízení Alcatel-Lucent 7342 – I je vybaveno dvěma porty 100/1000 Base-TX s konektory RJ-45, dvěma porty FXS pro VoIP s konektory RJ-11 a doplnkově je opatřeno modulem CATV s koaxiálním výstupem RF prostřednictvím konektoru F-type. Zařízení je vybaveno montážní kazetou pro management rezervy vlákna. Pro zvláštní případy, kdy není možné instalovat jednotku dovnitř, lze použít vnější jednotku Alcatel-Lucent 7342 – O se stejnou konfigurací [16].

9.4.4 OLT

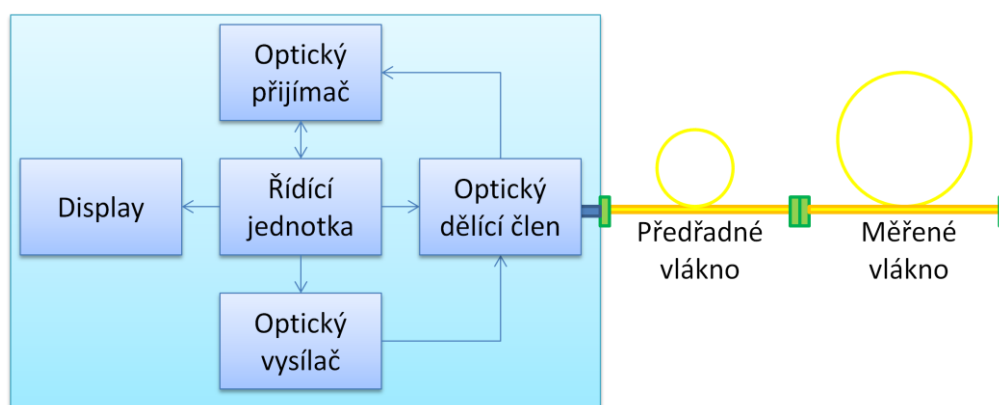
Mezi cenově výhodnými výkonnými zařízeními pro osazení CO, která plně podporují QoS pro Triple Play a umožňují implementaci RF jednotky, patří často používaný Alcatel-Lucent 7342 model ISAM FTTU (ANSI). Plně podporuje vyžadované rychlosti pro download/upload standardu GPON na požadovaných vlnových délkách 1490/1310nm s dosahem až 20 km. Zařízení je pro navrhovanou síť vhodné zejména pro svoji snadnou rozšiřitelnost prostřednictvím vedle sebe ukládaných karet, tzv. PON linkových modulů, přičemž každý

tento modul je vybaven čtyřmi SC konektory pro připojení splitteru s dělením 1:32 (pro vzdálenosti v rozmezí 20 km) až 1:64 pro vzdálenosti menší. Prostřednictvím jednoho modulu se čtyřmi porty tedy můžeme poskytovat služby Triple Play pro 256 koncových ONT. Z celkového počtu 16 možných přípojných modulů použijeme dva, čímž jsme schopni připojit všech 338 ONT [16].

9.5 Měření, monitoring a dohled

9.5.1 Metoda OTDR

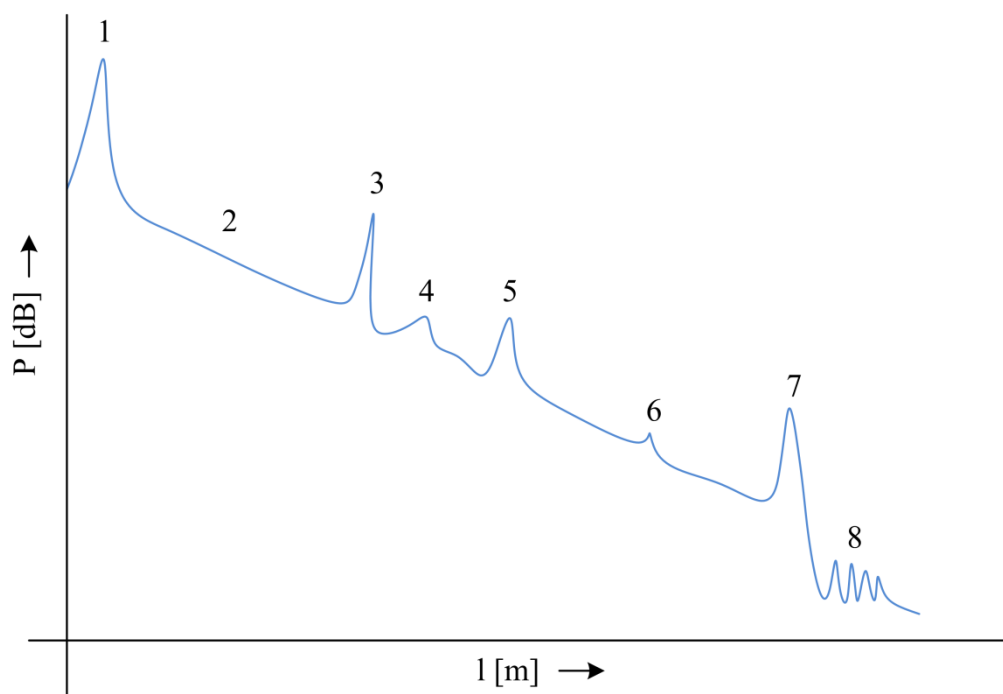
Pro dohled nad optickými sítěmi se v první řadě využívá metoda zpětného odrazu jinak též OTDR (Optical Time-domain Reflectometer). Její princip spočívá v Rayleighově a Fresnelově rozptylu. Je využito toho, že část vysílaného světla se při průchodu vláknem odraží zpět. Zpětný odraz je změřen a z amplitudy odraženého záření se zjistí vzdálenost poruchy od vysílače. Takto zjištěná informace je v závislosti na dohledovém systému doručena provozovateli optické sítě nebo uživateli daného přenosu prostřednictvím e-mailu, SMS nebo příslušného trapu. Metoda spolehlivě určuje útlum a délku vlákna, ohyby, špatné konektory či svary. Jednotka pro měření OTDR je zvána RTU (Remote Test Unit). Při instalaci provádí sérii měření, ze kterých stanoví referenční hodnotu, se kterou následně porovnává všechny výsledky testů.



Obr.9.6: Schéma technologie měřicí metody OTDR

Výstupem měření bývá zpravidla graf závislosti výkonu P [dB] na vzdálenosti měřeného úseku l [m], který má tvar klesající křivky. Její jednotlivá zvlnění pak determinujeme jako odrazy vstupního vlákna, bodové poruchy (svary, spojky), změna podélného útlumu apod.

Vzhledem k tomu, že reflektometrickou metodu používáme v PON síti, do které je začleněn splitter, vyvstává problém se zobrazováním výkonových hladin. Naměřený zpětný rozptyl je dán součtem ostatních signálů jednotlivých větví splitteru. Útlum na kritických bodech trasy pak na reflektometru vypadá velmi malý až zanedbatelný, ale může skrývat zásadní poruchy vlákna. Je třeba věnovat těmto drobným výkyvům pozornost. Splitter také na celkové trase představuje velký skokový útlum, což klade vyšší nároky na správné nastavení dynamického rozsahu reflektometru. Jediná možnost jak se vyhnout měření přes optický splitter v PON síti je použití konektorování vláken namísto jejich svařování a měřit pak jednotlivé úseky vláken samostatně. Tato varianta je ovšem velmi náročná a u velkých sítí nelze prakticky realizovat.



Obr. 9.7: Znázornění poruch křivky zpětného rozptylu

Na obr. 9.7 je znázorněna křivka zpětného rozptylu. Bod č. 1 představuje odraz od čela vlákna na vstupu systému, bod č. 2 reprezentuje část úseku bez poruch vlákna, bod č. 3 představuje odraz na konektoru či lokální poruchu homogenity vlákna, charakteristika v bodě č. 4 je způsobena rozšířením módového pole vlákna, č. 5 znázorňuje charakteristický tvar poruchy způsobené mnohonásobným odrazem (při chybném nastavení rozsahu měření), bod č. 6 značí změnu průměru vlákna nebo jiné podélné vlivy a poruchy působící na vlákno, v bodě č. 7 dochází k odrazu od čela vlákna na konci systému, posledním úsek charakteristiky je šum v bodě č. 8.

Pro zjištění makroohybů porovnáváme měření na vlnových délkách 1310, 1490 nm s měřeními na 1650 nm. Makroohyby se projevují spíše na vyšších vlnových délkách, proto, když porovnáme obě měření, jednoznačně identifikujeme typ poruchy.

Za účelem dosažení přesnějších výsledků je měřicí metoda prováděna z obou stran každého úseku. Z praktických důvodů ji uskutečňujeme v nejbližší možné době po instalaci měřeného prvku. Jako reflektometr je použito zařízení s označením PON ready s dostatečným dynamickým rozsahem. Upřednostňuje se ruční nastavení co možná nejmenší šířky měřicího impulsu, dosahu měření a delší doby pro zpracování potažmo vyhodnocení výsledků. Doporučuje se kontrola nastavení prahových hodnot varovných upozornění. Měření optickým reflektometrem vyžaduje šetrné zacházení s konektory. Doporučuje se jejich čištění před i po měření. Vhodné zařízení pro tento typ měření je EXFO FTB-2 Pro.

9.5.2 Metoda OLTS

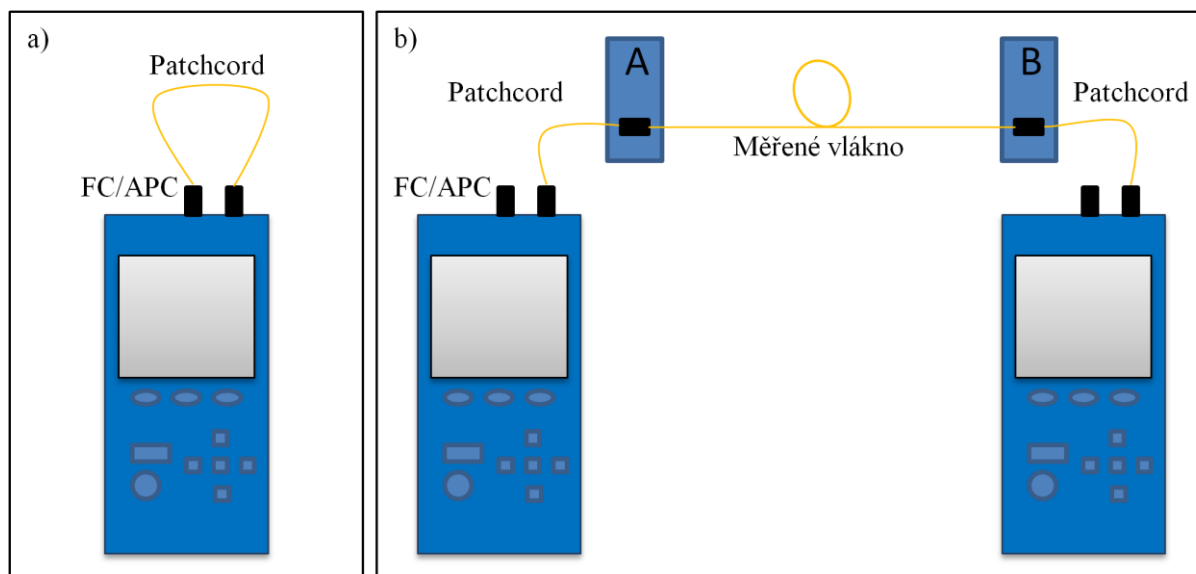
Další měřicí metodou je OLTS (Optical Loss Test Set) nebo též transmisní přímá metoda. V praxi užívá zdroj záření na začátku vedení a měřidlo výkonu na konci. Měřidla nabízejí možnost rychlého zjištění celkového vložného útlumu trasy složené z vložného útlumu konektorů, splitterů, svarů, ohybů apod. Některá měřidla rovněž odhadují délku trasy.

Po prvním propojení zdroje a měřiče výkonu dojde k prvotní sadě měření za účelem stanovení referenční hodnoty. Je nutné vyčistit všechny použité konektory a zvolit stejný typ referenčního vlákna, jako je vlákno, které následně měříme. S referenční hodnotou se dále srovnávají všechny budoucí náměry. Systém je znázorněn na obr. 9.8. Metoda je vhodná zejména do systémů s nižší odrazivostí média, tedy do těch, které využívají SM vlákna.

Nevýhodou zůstává, že systém není schopen oproti metodě OTDR lokalizovat chybu, pouze alarmuje na odchylky od referenčních hodnot.

Měření se provádí dvakrát z obou stran. Z výsledků je vypočítán průměr. Tato hodnota se pak porovnává se součtem hodnot všech útlumů svarů, kabelu, konektorů apod. na měřené optické trase.

Na měření jsou vhodné zařízení firmy EXFO jako např. EXFO FOT-920.



Obr 9.8: Schéma měření metodou OLTS: a) provedení referenčního měření (kalibrace) b) měření vlákna

Pro měření se doporučuje použít zařízení s odhadem délky a s možností automatických testovacích sekvencí. Tím je výrazně zvýšena efektivita práce.

9.5.3 Monitorovací systémy

V současnosti je k dispozici mnoho kvalitních systémů zajišťujících efektivní monitoring pro optické sítě. Vyznačují se vysokou variabilitou, vysokou kompatibilitou a spolehlivostí. Jsou jimi například:

MLS (Monitoring Line System)

Je produktem spolupráce firmy Profiber a SQS, který slouží ke kompletnímu monitorování a přesné lokalizaci poruch. Za tímto účelem používá monitoring optického výkonu, metodu OTDR (MLS OTDR monitoring – RTFS) a OLTS (MLS Transmissive monitoring – TM) či jejich kombinace (MLS ARFTS). Jedná se o soubor hardware a software využívající rozhraní RS485 a Ethernet s TCP/IP protokolem. Systém rovněž dokáže kalkulovat s výstupy čidel v okolí komplikací (teplota, tlak apod.). [9]

Jednotky MLS lze optimalizovat pro více druhů optických sítí, lze je ovládat vzdáleně přes webové rozhraní a je možné nastavit vysílání varovných zpráv prostřednictvím e-mailu a SMS.

NQMS (Network Quality Monitoring System)

Plně automatický produkt firmy EXFO pro správu a vyhodnocování kvality optické sítě FTTx. Pracuje na standardu RFTS (Remote Fiber Test System), která je založen na metodě OTDR. Využívá reflektometr v zapojení s přepínačem, díky kterému postupně monitoruje jednotlivá vlákna. Systém podporuje zjištění chyby, lokalizace poruchy, alarmy, statistiky. [9]

SNMP – SNMPc

SNMP je standardizovaný, poměrně jednoduchý protokol vyšších vrstev pro správu (nastavování/získávání hodnot) zařízení. Podporuje jej řada zařízení, jako jsou aktivní síťové prvky, tiskárny, access pointy apod. Díky možnosti získávat z těchto zařízení v pravidelných intervalech potřebné informace o jejich funkci, se staly systémy využívající SNMP součástí moderních dohledových systémů.

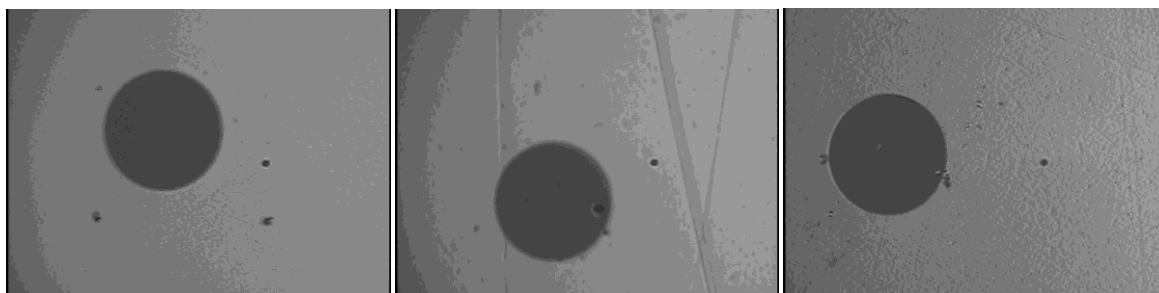
Mezi typické dohledové a správcovské systémy na bázi protokolu SNMP patří například SNMPc. Díky tomuto mechanismu jsme schopni v reálném čase monitorovat rozsáhlé síťové infrastruktury. Topologii sítě je pro větší přehled možno svázat geograficky s mapou. SNMPc je velmi jednoduchý, rychle rozšiřitelný, široce podporovaný a snadno obsluhovatelný systém pro správu každé datové sítě. Navíc podporuje IPv6, emailové/SMS upozornění, event logging a vícevrstvé mapování sítě.

Tento protokol lze považovat za levnou a efektivní variantu pro dohled nad koncovými aktivními prvky.

9.5.4 Ostatní metody kontroly optických vláken

Kontrola kvality čel konektorů

Častým rozpojováním optických konektorů dochází k opotřebování a znečišťování či zaprášení jejich čel. Může dojít k jejich poškrábání nebo se na nich mohou uchytit drobné nečistoty, které se negativně projeví na přenosu optického signálu zvýšeným útlumem spoje. Očištění se provádí nasucho a následně isopropylalkoholem. Detaily možných poškození čela konektorů jsou na obr. 9.9. Pro kontrolu je využíván speciální mikroskop například kompaktní optický EXFO C series 400X pro 2,5 mm ferule se čtyřsetnásobným zvětšením nebo EXFO FIP-400 [9].



Obr. 9.9: vlevo čistý povrch čela konektoru, uprostřed viditelné poškození poškrábáním, vpravo čelo konektoru mírně znečištěné

Čistota povrchu čela vlákna je dána zejména konstrukcí konektorů, zda-li jsou chráněny krytkou proti poškození a vniknutí prachových částic. V čistotě čela vlákna hraje velkou roli i četnost rozpojování konektorů a zkušenost techniků provádějících servisní zásahy.

Vizuální zaměřovač poruch

Velmi užitečná pomůcka při konektorování více vláken u optických rozvaděčů, kdy může být obtížné identifikovat vlákno, které chceme opatřit konektorem. Princip spočívá v prosvícení vlákna červeným laserem o vlnové délce 635 nm, čímž dojde identifikaci požadovaného vlákna před případným zalomením apod. Dosah je uváděn do 5 km.

Mezi kvalitní zařízení patří např. EXFO FLS-241-UNIV.

Identifikátor živého vlákna

Podobně jako klasická „elektrikářská tužka“ na principu elektromagnetického pole, která lokalizuje vodiče vysokého napětí pod proudem, funguje i identifikátor živého vlákna. Díky němu můžeme zjistit, zda je na vlákne nějaký provoz, aniž by bylo nezbytné vlákno přerušit nebo rozpojit jeho konektory. Udává také přibližnou úroveň měřeného signálu.

Mezi kvalitní zařízení se řadí např. EXFO LFD-200.

9.5.5 Audit FTTH

Pro správnou a spolehlivou funkci optické sítě je nezbytný její pravidelný preventivní audit. Jeho zavedení, náplň, frekvenci a rozsah určuje interní management sítě daného provozovatele s přihlédnutím zejména na důležitost přezkoumávaného celku nebo úseku. Nezávislý audit třetí stranou může proběhnout také na žádost zákazníka. Doporučuje se provádět audit v plném rozsahu, ale jedná-li se o rozsáhlé síť, je mu podrobena pouze vybraná část. Dokumentace z výstaveb, výsledky dřívějších auditů, výstupy dlouhodobějších

statistik a předchozí zkušenosti napomohou při výběru konkrétního hlubšího zaměření auditu. Odhalí zejména slabiny systému a skryté vady.

Pro přezkoumání využíváme zejména tyto metody:

- OTDR – odhalí a lokalizuje, makro/mikroohyby, špatné konektory, svary, špinavá čela vláken apod.
- OLTS – zjištění útlumu trasy.
- měření CD (Chromatic Dispersion) – zjišťuje odchylky fáze signálu, limitní hodnoty CD pro jednotlivé vlnové délky určuje ITU-T G.695.
- Měření PMD (Polarisation Mode Dispersion) – vlákna jsou podrobena interferometrické metodě, výstupy jsou srovnány s limitními hodnotami ITU-T G.697.
- Kontrola čel konektorů.
- Podle důležitosti spoje kontrola izolace, mechanických spojů, prohlédnutí čistoty úložných boxů i rozvaděčů, pevnost zavěšení kabelů, inspekce stavu pouličních kabinetů apod.
- Kontroly vyšších vrstev:
 - ITU-T Y.156.
 - BERT (Bit Error Rate Test).
 - test velikosti posuvného okénka apod.

9.5.6 Výstupní protokoly měření

Po každém měření jsou vyhotoveny měřicí předávací protokoly pro ověření provozovatelem.

Patří mezi ně:

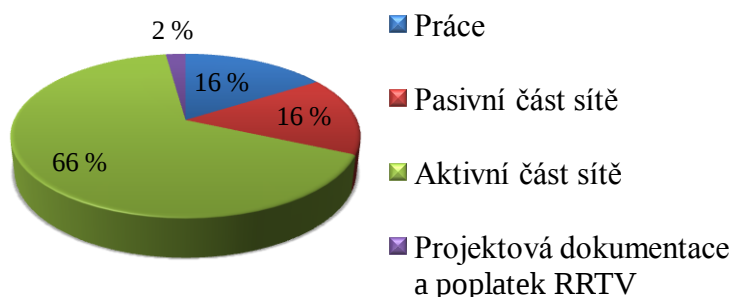
- Protokol o průchodnosti trubičkového systému.
- Protokol o tlakutěsnosti trubičkového systému.
- Protokol o měření ODTR.
- Protokol o měření OLTS.
- Protokol o měření CD a PMD (prakticky prováděnou pouze výjimečně).
- Protokol o provedení kompletního/částečného auditu (proběhne na vyžádání).

9.6 Ekonomická rozvaha

V následující části bude sestaven rozpočet na výstavbu výše rozebírané optické přístupové sítě FTTH. Autor vychází z předchozích kapitol věnovaných legislativě a ekonomice výstavby optických přístupových sítí, z vlastních zkušeností a příslušných katalogů specializovaných výrobců. Jedná se pouze o rozvahu základní části sítě obsahující ONT, OLT, trubičkové systémy, dále systémy vláken, splittery, výkopy svařování vláken apod., nejsou uvažovány dodatečné systémy pro monitoring. Cena výkopových prací byla stanovena z hodinové taxy pro vypůjčení příslušné techniky a zajištění její obsluhy. Cena ostatních prací je přibližně stanovena z hodinové mzdy pracovníků. Cena pro zafukování vláken potažmo mikrokabelů byla stanovena jako průměrná hodnota z několika nabídek na trhu.

Přehledně je ekonomická bilance zpracována v tabulkách 9.4 a 9.5 na následujících stranách. Pro větší přehlednost jsou výdaje roztříděny do třech kategorií: pasivní prvky (trubičkové systémy, kabely, rozvaděče, stavební materiál ale i poplatky RRTV a projektová dokumentace), aktivní prvky (ONT a OLT) a práce (svařování a zafukování vlákna, instalace trubiček apod.).

Celková cena navrhované GPON sítě je odhadována na **2 600 000 Kč**. Na jednoho zákazníka připadá investice v průměru okolo **7 700 Kč**. Z obrázku 9.10 je patrné, že největší finanční zatížení projektu spočívá v aktivních prvcích a to zejména prostřednictvím koncových jednotek u zákazníka, z čehož vyplývá, že klíčovým prvkem pro realizaci rentabilní GPON sítě malého rozsahu zůstává výběr vhodného ONT. Druhý markantní výdaj je zastoupen mikrotrubičkovým systémem. Návratnost investice se odhaduje v rozmezí **15 až 20 měsíců** v závislosti na nastavení cen za poskytované služby.



Obr. 9.10: Model rozložení investic projektu

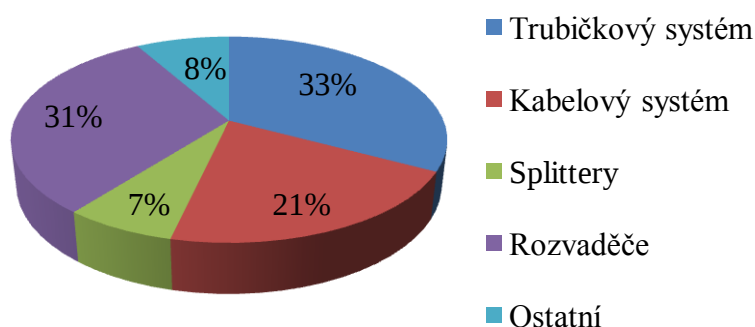
Tab. 9.4: Ekonomická rozvaha aktivních a pasivních prvků GPON sítě, včetně poplatků a dokumentace (v Kč, bez DPH)

Položka	Cena za ks/m	Celkem ks/m	Výrobce	Specifikace	Cena
Poplatek RRTV					50 000,00
Projektová dokumentace					7 000,00
Trubičkový systém					
Dura-Flat 4x12/8	48,00	1 456	DURA-LINE	OTHM-DFLAT-4x12-8	69 888,00
Dura-Flat 5x12/8	59,00	67	DURA-LINE	OTHM-DFLAT-5x12-8	3 953,00
Dura-Flat 6x12/8	74,00	333	DURA-LINE	OTHM-DFLAT-6x12-8	24 642,00
HDPE	56,00	560	DURA-LINE	OTHM-HDPE-32-4x10-8	31 360,00
Utěsnění trubičky 12 mm	36,00	32	DURA-LINE	průhledné	1 152,00
Ochranné lišty	6,00	340	Kopos	20 x 20 mm, 3 m	2 040,00
Kabelový systém					
Riser kabel	38,60	420	OEM	024-SM657AMB-RISER-105-KT	16 212,00
Přívodní kabel	12,00	923	SAMSUNG	MIKRO AIRBLOWN 12 vl. SM	11 076,00
Mezilehlé/Koncové mikrokabely	5,50	5 500	LS CABLE	FIBER BUNDLE 4 vl. SM	30 250,00
SC/APC Pigtail 1 m	77,00	350			26 950,00
Splittery					
PLC 1:4	600,00	4			2 400,00
PLC 1:16	1 343,00	14			18 802,00
PLC 1:32	1 820,00	4			7 280,00
Rozvaděče					
ORU1 SIS	17 500,00	3		s příslušenstvím	52 500,00
ORU2 SIS	23 500,00	1		s příslušenstvím	23 500,00
ORM16 SDF	3 600,00	14		s příslušenstvím	50 400,00
Ostatní					
Ochrana sváru	5,00	700			3 500,00
Další montážná prvky				průchodky, spojky trubiček, těsnící elementy	30 000,00
					462 905,00
Aktivní prvky					
ONT	4 400,00	338	Alcatel-Lucent	Alcatel-Lucent 7342 – I/O UNIT	1 487 200,00
OLT	132 000,00	1	Alcatel-Lucent	7342 model ISAM FTU (ANSI)	232 000,00
					1 719 200,00

Tab. 9.5: Ekonomická rozvaha pracovních úkonů (v Kč)

Práce	
Výkopové a stavební práce	270 000,00
Položení trubiček	20 000,00
Zafukování kabelů	82 000,00
Svařování vlákn	45 000,00
	417 000,00

Nyní se zaměříme rozložení nákladů v oblasti pasivních prvků sítě. Z grafu na obr. 9.11 je patrné, že trubičkový systém spolu s rozvaděči tvoří v rovnocenném poměru až dvě třetiny z celkových nákladů v oblasti pasivních prvků. Systém Dura-Flat představuje nemalou investici, nicméně umožňuje velmi rychlou instalaci, od kterého se odvíjí finanční úspora za pozemní práce. Systém se také díky rezervám trubiček stává variabilnější a díky celistvosti úseků je rapidně sníženo riziko zatékání či jiné poruchy. Mezi ostatní prvky řadíme průchodky, elektroinstalační ochranné trubky, vyvazovací členy, spojky trubiček, montážní a kotevní prvky, silikony, těsnění.



Obr. 9.11: Model rozložení investic projektu pro pasivní část sítě

Výše uvedené ceny se mohou lišit v závislosti na měnové politice ČNB.

9.7 Plán rozvoje

Na obrázku 9.12 je znázorněno, které oblasti mají být připojeny ke stávající přístupové síti. Jedná se o panelové domy v okolí ulice Gabriely Preissové a dále hustě osídlená oblast kolem ulic Horská, Skalky a Terasová. Perspektivní je také jižní oblast podél ulic Lipská a Záhřebská. Primární trasa pro rozšíření je plánována od R3 (typ ORU 2 SIS) směrem na sever mezi budovami ke křižovatce ulic Terasová a Skalky. Druhá rozšiřující trasa pak vede

od R1 (typ ORU 1 SIS) s využitím rezerv stávajícího mikrotrubičkového systému vedoucího k objektu č. 14 směrem k bytovým domům na západ. Pro připojení těchto oblastí lze dále pokračovat stejnou technologií, přičemž je prosazován systém splitterů 1:32 a 1:64.



Obr 9.12: Plán rozvoje stávající optické přístupové sítě [2]

10. ZÁVĚR

Potřeba rychlého přenosu velkého množství informací v dnešní době klade vysoké požadavky na telekomunikační sítě a to zejména v úsecích mezi koncovými uživateli a distribučními body ISP – přístupové sítě. Odpovědí na tyto požadavky je rychlý vývoj všech technologických prvků v této oblasti. Schopnost sestavení využitelné moderní přístupové sítě je proto přímo podmíněna orientací v těchto elementárních prvcích. Podstatnou částí dokumentu, která navazuje na rozbor klíčového postavení rodiny FTTx ve skupině přístupových sítí, je tedy hlubší popis moderních pasivních i aktivních prvků, na nichž je současná ODN postavena. Následně jsme schopni podle uspořádání těchto prvků vnímat síť z širší perspektivy a pochopit tak současné technologie, které udávají směr dalšího rozvoje. Proto je rozbor standardů aktivních a pasivních přístupových optických sítí rovněž nezbytnou součástí práce.

Objektem analýzy současného stavu problematiky nemohou zůstat jen samotné prvky podílející se na přenosu informace, musejí být zahrnuty i moderní postupy a technologie pro výstavbu a také prostředky sloužící k uložení a ochraně optických vláken. Této problematice je věnována podstatná kapitola v začátku dokumentu, v níž autor popisuje možnosti mikrotrubičkových systémů a způsoby uložení kabelů s optickými vlákny v budovách i mimo ně. Z dokumentu je patrné, že mezi moderní postupy výstavby optických sítí je v rámci finančních a jiných úspor začleněn i trend spojený s využíváním struktur budov v dané lokalitě, jako jsou komíny, suterény či stoupačky. Jelikož za primární trend přístupových sítí lze označit schopnost při nízkém rozpočtu vystavět rentabilní flexibilní optickou síť s podporou Triple Play, klademe na tuto oblast ukrývající markantní úsporu času a peněz velký důraz.

Komplexnější pohled na reálný návrh ODN je možno získat ze studia legislativních, smluvních, ekonomických a technologických aspektů doplněného o průzkum nákladů na stavbu. Právě díky těmto poznatkům je možné sestavit konkurenceschopnou rentabilní a spolehlivou optickou přístupovou síť splňující požadavky jak ze strany zákazníka, tak i businessu. Přehledně znázorněn je rovněž celý životní cyklus sítě.

V poslední části dokumentu se autor věnuje návrhu multimediální optické přístupové sítě ve vybrané hustě osídlené lokalitě v centru města Brna. Po analýze oblasti a sumarizaci vlastností sítí AON a PON je vybráno technologické řešení – FTTH postavené na standardu GPON. Strategii úspěšného návrhu je především snaha realizovat rentabilní,

spolehlivou a flexibilní síť s nízkými vstupními a provozními náklady, což právě tento typ ODN při efektivním rozložení výdajů umožňuje.

Návrh optické přístupové sítě pokračuje popisem jednotlivých větví a stanovením jejich útlumové bilance. V projektu figuruje snaha o vytvoření nízkoenergetické sítě, proto je kaskádové zapojení splitterů navrhováno s přihlédnutím na zařazení tras do energetické třídy B. Značnou finanční úsporu autor shledává ve výběru vhodného trubičkového systému. Trendem v této oblasti je používání technologie Dura-Flat. Díky ní můžeme po realizaci výkopu snadno zhotovit přímé trasy od rozvaděče až do domu zákazníka. Samotné položení i následné zafukování kabelu je výrazně urychleno, navíc díky celistvosti úseků jsou eliminována rizika zatékání apod. Kabelový systém nepodléhá snaze o přílišnou redundanci vláken, jako je tomu u sítě trubiček, které představují prostředek expanze ODN do přilehlých oblastí. Práce dále zahrnuje popis jednotlivých fyzických elementů sítě a konkrétní řešení jejich instalace v příslušné lokaci. Nezbytnou součástí přístupové sítě jsou prostředky pro odhalení chybovosti, kolizí či rozpadů a na ně navazující schopnost jejich lokalizace a specifikace. Za tímto účelem je do práce začleněn i rozbor možností dohledu přístupové sítě v části textu popisujícího metodiku měření a auditu ODN. V závěru dokumentu autor sestavil podrobnou ekonomickou bilanci se základním rozdělením na pasivní část sítě, aktivní část sítě a práce. Výstup potvrdil, že nejvyšší zatížení projektu daného rozsahu leží v aktivních prvcích. Poslední část dokumentu obsahuje stručný nástin plánované expanze sítě do okolních zástaveb.

Na základě poznatků získaných v teoretické části diplomové práce, byla sestavena moderní multimediální optická přístupová síť s důrazem na návratnost a nízkou cenu. Obsažena je kompletní dokumentace trubičkových, kabelových a jiných technologických systémů i popis použitých aktivních jednotek. Je stanovena metodika měření a diskutována možnost nasazení dohledu nebo provedení kontrolního auditu. Návrh je podpořen ekonomickým rozbořem každé oblasti výstavby.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] FILKA, Miloslav. *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Brno: Litozeman, 2009. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [2] Google Inc. Gabriely Preissové, Brno - Mapy Google. Mapy Google [online] 2014 [cit. 01-04- 2014] Dostupné z WWW: <<http://maps.google.com>>.
- [3] ITU-T G.652. *SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS: Characteristics of a single-mode optical fibre cable*. 2000. Dostupné z: <http://www.iet.unipi.it/m.luise/HTML/AdT/ITU_G652.pdf>.
- [4] UIT-T G. 657 A. *LOW BENDING RADIUS AND LOW WATER-PEAK G 657 A SINGLEMODE OPTICAL FIBRE: Specification: UIT-T G. 657 A*. Dostupné z: <http://www.sileccable.com/Portals/france/pdf/en/FOG657A_v1.pdf>.
- [5] KOLÁTOR, Petr. Vnitřní rozvody sítí FTTH. *Petr_Kolator_-_Vnitřni_rozvody_FTTH* [online]. 2013 [cit. 2014-03-18]. Dostupné z: <http://www.profiber.eu/files/14.3.2013_A3_Petr_Kolator_-_Vnitřni_rozvody_FTTH.pdf>.
- [6] KŘEPELKA, Václav. Podrobný pohled na investice do FTTH sítí. *Telekomunikace & ICT*. 2009, roč. 46, č. 4, s. 10-13. ISSN 0040-2591.
- [7] LAFATA, P. Acces server: Pasivní optické sítě WDM-PON [online]. 2009 [cit. 2014-03-02]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050004>>.
- [8] Lafata, P., Vodrážka, J.: *Pasivní optická síť GPON*. Access server [online], Internet: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050002>. 2009, roč. 7. [cit. 2014-03-03]. ISSN 1214-9675.
- [9] LAFATA, P. Pasivní optické sítě s rychlostí 10Gbit/s. *Acces Server* [online]. 10.3.2011, [cit. 2014-03-04]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?nazevclanku=pasivni-opticke-site-s-rychlosti-10-gbits&cisloclanku=2011030001>>.
- [10] Media konvertory. *Ofacom.cz* [online]. 2009, [cit. 2010-12-14]. Dostupný z

WWW:

<http://www.ofacom.cz/index.php?option=com_content&view=section&id=5&Itemid=105>.

- [11] MIKULEC, M. POF - polymerová optická vlákna. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 56 s. Vedoucí diplomové práce prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.
- [12] MÜNSTER, P. *Návrh optické přístupové sítě FTTx*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 67 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Reichert.
- [13] Optické konektory a spojky vláken. [online]. [cit. 01-04-2014]. Dostupné z: <<http://www.optickekabely.cz/konektoryapigtaily/opticke-konektory-a-spojky-vlaken>>.
- [14] Optické sítě, ftth, mikrotrubičky, optické kabely, optická vlákna. [online]. [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <<http://www.mtel.cz/>>.
- [15] Optokon Fiber Optic Technology Calibration Laboratory: Passive Components for Fiber Optic Networks. [online]. [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <<http://www.optokon.cz/passive-components-fiber-optic-networks/fiber-optic-connectors>>.
- [16] Products. *Alcatel-Lucent* [online]. 2014 [cit. 2014-03-03]. Dostupné <z: <http://www.alcatel-lucent.com/products>>.
- [17] Profiber. [online]. [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <<http://www.profiber.eu/Furukawa-FITEL-S178A-3D-svarecka-optickych-vlaken-s-vystredenim-na-jadro/>>.
- [18] PŘEHLED NEJZNÁMĚJŠÍCH OPTICKÝCH KONEKTORŮ. [online]. [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <http://opticon.edituj.cz/index.php?id_document=41910>.
- [19] PUŽMANOVÁ, Rita. Širokopásmový Internet: Přístupové a domácí sítě. Vydání první. Brno: Computer Press, 2004. 384 s. ISBN 80-251-0139-8.
- [20] Raykom: Telekomunikace. [online]. [cit. 2013-12-09]. Dostupné z: <<http://www.raycom.cz/katalog/opticke-site/ftth.html>>.

- [21] Shenzen Kington Optic Co.,Ltd. [online]. [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <<http://www.kingtonoptic.com/en/ProductShow.asp?id=333>>.
- [22] SCHLITTER, P. *Acces server: Mikrokabelážní systémy* [online]. 2004 [cit. 2013-11-20]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2004072806>>.
- [23] SCHLITTER, Pavel. Optická vlákna a práce s nimi. [online]. s. 49 [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <www.comtel.cz>.
- [24] Sitel: Společnost pro výstavbu integrovaných telekomunikací. [online]. [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <<http://www.sitel.cz/>>.
- [25] SPECIALISTA NA VLÁKNOVOU OPTIKU [online]. [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <<http://www.fibre.cz/>>.
- [26] STIBOR, Patrick. Účastnické optické kabely: Seminář - Sítě FTTx. [online]. s. 20 [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <<http://www.profiber.eu>>.
- [27] ŠÍMA, Jaromír. Optické sítě: Vláknová optika. [online]. s. 93 [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <http://www.klfree.net/store/skoleni_optika_2008_klfree_2.pdf>.
- [28] ŠÍMA, Jaromír. FTTH: Horizontální rozvody –způsoby řešení. [online]. s. 12 [cit. 2013-12-05]. Dostupné z: <www.profiber.cz>.
- [28] ŽÁK, O. *Návrh optické přístupové sítě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elek-trotechniky a komunikačních technologií, 2011. 83 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Reichert.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AON	Active Optical Network
ARFTS	Advance Remote Fibre Test System
BPON	Broadband PON
CATV	Community Access Television
CO	Central Office
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier
EIPS	Ethernet Ring Protection Protokol
EPON	Ethernet PON
FBT	Fused Biconic Tapered
FTTH	Fiber To The Home
GEPON	Gigabit Ethernet Capable PON
GPON	Gigabit Capable PON
HDPE	High Density Polyethylen
HDTV	High - definition television
IP	Internet Protocol
IPTV	TV over Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
LED	Light Emitting Diode
LD	Laser Diod
MAN	Metropolitan Area Network
MLS	Monitoring Line System
MM	Mulit Mode
MOD	Music on Demand
MPEG	Motion Picture Experts Group
OAN	Optical Access Network
ODN	Optical Distribution Network
OLT	Optical Line Terminator
OLTS	Optical Loss Test Set
ONT	Optical Network Termination

ONU	Optical Network Unit
OTDR	Optical Time-domain Reflectometer
P2MP	Point To Muti-point
P2P	Point To Point
PLC	Planar Lightwave Circuit
PON	Passive Optical Network
PMD	Polarisation Mode Dispersion
PE	Polyethylen
QoS	Quality of Service
RFTS	Remote Fibre Test system
SM	Single Mode
STB	Set Top Box
STM	Standard Telecommunications Laboratory
TDMA	Time Division Multiple Access
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice over Internet Protocol
VPN	Virtual Private Network
WDM	Wavelength Division Multiplex

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A

Obsah přiloženého CD

- Elektronická verze semestrálního projektu na téma „*Trendy přístupových sítí*“ ve formátu pdf.