



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## NÁVRH OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ FTTX

FTTX NETWORK DESIGN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

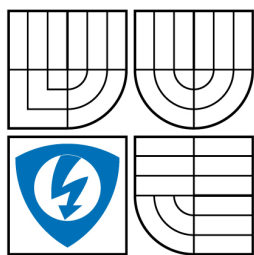
Bc. VLADIMÍR TEJKAL

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL REICHERT

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Telekomunikační a informační technika

**Student:** Bc. Vladimír Tejkal

**ID:** 83193

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2008/2009

**NÁZEV TÉMATU:**

## Návrh optické přístupové sítě FTTx

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Provedte návrh optické přístupové sítě. Zvažte výhody a nevýhody možných připojení FTTx. Porovnejte jednotlivé topologie a standardy u optických sítí typu PON. Provedte návrh modelu tohoto typu sítě v lokalitě s ohledem na návrhové postupy používané v praxi a doporučení ITU. Navrhněte možnosti dohledu navrhované sítě.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] KUCHARSKI, M., DUBSKÝ, P.: Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras, MIKROKOM, Praha 1998
- [2] PFEIFFER, Thomas, et al. OPTICAL FIBERS PAVE THE WAY TO FASTER BRODBAND ACCESS. In PFEIFFER, Thomas, et al. Alcatel Telecommunications Review. 2005th edition. [s.l.] : [s.n.], [2005]. s. 1-9.

**Termín zadání:** 9.2.2009

**Termín odevzdání:** 26.5.2009

**Vedoucí práce:** Ing. Pavel Reichert

**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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

## ANOTACE

Hlavním cílem této diplomové práce bylo provést návrh optické přístupové sítě ve vybrané lokalitě. Úvod je zaměřen na fyzickou vrstvu sítě. Ta zahrnuje optická vlákna, optické kabely, konektory, optické odbočnice a další. Podle místa ukončení optického vlákna budou prostudovány nejvhodnější varianty připojení FTTx. Podle topologie rozlišujeme sítě Bod-Bod a Bod-Multibod. Sítě Bod-Bod jsou označovány také jako aktivní optická síť a pro každého uživatele mají vyhrazeno samostatné vlákno. Sítě Bod-Multibod označujeme jako pasivní optickou síť. V rámci pasivních optických sítí je definováno mnoho standardů, které budou v práci rozebrány. Pro danou lokalitu bude vybráno nejvhodnější řešení. Na závěr bude provedeno měření a zvážena možnost dohledu trasy.

Před vlastním návrhem optické přístupové sítě jsem provedl názornou simulaci v programu OptSim. Provedená simulace pomohla prostudovat přenosové vlastnosti optických sítí v závislosti na fyzické architektuře. Obecně lze říci, že pro návrh vysokokapacitních sítí pro velké firmy bude vhodnější aktivní topologie, která poskytuje díky vlnovým multiplexům vysokou přenosovou kapacitu. Pro připojení v městských oblastech s velkým množstvím samostatných domů je vhodnější využití pasivní topologie.

Pro návrh optické sítě byla vybrána lokalita s několika bytovými domy. U koncových zákazníků není kladen požadavek na vysoké přenosové rychlosti jako u velkých firem. Pro návrh byla zvolena síť FTTB, která je vhodná díky nízkým nákladům. Druhou variantou návrhu byla pasivní optická síť dle standardu GPON. Tento standard byl vybrán z důvodu vysokého dělicího poměru. Pro obě řešení byl vypracován kompletní návrh dle ITU-T i s podrobnou výkresovou dokumentací. Ve vybrané lokalitě bylo provedeno měření stávající optické sítě za účelem ověření možnosti rozšíření současného řešení. Pro ukázkou problematiky měření jsem provedl pomocí optického reflektometru několik náměrů přes optickou odbočnici s cílem dokázat nutnost měření již při výstavbě. Sítě FTTH získávají na popularitě stále více, ale cena je tu limitujícím faktorem.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** optická odbočnice, topologie přístupových sítí, aktivní optická síť, pasivní optická síť, standardy pasivních optických sítí, návrh optických sítí, simulace, měření

## ABSTRAKT

The main goal of this diploma thesis was to implement the proposal of optical access networks in the selected location. Introduce is focused on the physical layer of network. This includes optical fibers, optical cables, connectors, optical splitters, and more. According to the place of termination of optical fiber will be studied best FTTx connections. According to network topology distinguished point to point and point to multipoint network. Networks points to point are also known as an active optical network and for each user are restricted to a separate fiber. Point to multipoint networks known as passive optical network. In terms of the PON is defined by many standards. For a selected location will be choice the most appropriate solution. Finally, the measurement will be made and will be considered for monitoring the route.

Before the design of optical access networks, I made an illustrative simulation in program OptSim. Performed simulations helps to study the transmission characters of optical networks, depending on the physical architecture. In general, for the design of high-capabilities networks for large companies will be more appropriate active topology that provides due wavelength multiplexes high transmission capacity. To join in the urban areas with a large number of separate houses, it is more appropriate use of passive topology.

For the design of optical networks has been selected location with multiple housing buildings. The end customer is not given the requirement for high data transfer rates as large companies. For the proposal was selected FTTB networks which is suitable because of lower costs. The second variant of the proposal was a passive optical network according to standard GPON. This standard was chosen because of the high splitting ratio. For both solutions was developed the entire proposal by ITU-T with a detailed drawing documentation. In the selected area was conducted measuring the optical networks in order to verify the possibility of extension actual solutions. For a sample issue of measurements, I made several measurements using optical reflectometer over an optical splitter in order to prove the need for measurements during construction. FTTH networks gaining in popularity more and more, but price is the limiting factor.

**KEYWORDS:** optical splitter, access network topology, active optical network, passive optical networks, standards for passive optical networks, design of optical networks, simulation, measurements

TEJKAL, V. *Návrh optické přístupové sítě FTTx*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 81 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Reichert.

### PROHLÁŠENÍ

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

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

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlu Reichertovi za velmi užitečnou metodickou pomoc při měření a cenné rady při zpracování diplomové práce.

Děkuji společnosti RSoft Design Group a Safibra za poskytnutí zkušební verze programu OptSim pro návrh a simulaci optických systémů.

V Brně dne .....

.....  
(podpis autora)

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>1 FYZICKÁ VSTVA SÍŤE</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 OPTICKÁ VLÁKNA</b> .....	<b>12</b>
<b>1.2 SPOJOVÁNÍ VLÁKEN</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3 KABELY</b> .....	<b>14</b>
<b>1.4 OPTICKÉ VLÁKNOVÉ ODBOČNICE</b> .....	<b>15</b>
1.4.1 VÝROBA PLC ODBOČNIC .....	15
1.4.2 PARAMETRY PLC ODBOČNIC .....	16
<b>2 TECHNOLOGIE VÝSTAVBY</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1 MIKROTRUBIČKOVÁNÍ</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2 MIKROKABELÁŽNÍ SYSTÉM MCS</b> .....	<b>20</b>
2.2.1 MCS – ROAD .....	20
2.2.2 MCS – DRAIN .....	21
<b>3 PŘÍSTUPOVÉ SÍŤE FTTX</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1 OPTICKÁ DISTRIBUČNÍ SÍŤ</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2 ARCHITEKRURY FTTX</b> .....	<b>24</b>
3.2.1 FTTB – OPTIKA K BUDOVĚ .....	25
3.2.2 FTTH – OPTIKA DO DOMU .....	26
<b>3.3 TOPOLOGIE OPTICKÝCH PŘÍSTUPOVÝCH SÍŤÍ</b> .....	<b>27</b>
3.3.1 SÍŤE BOD-BOD .....	27
3.3.2 SÍŤE BOD-MULTIBOD .....	28
3.3.3 STANDARDY PON .....	30
<b>4 TELEKOMUNIKAČNÍ SLUŽBY</b> .....	<b>34</b>
<b>4.1 DATOVÉ SLUŽBY</b> .....	<b>34</b>
<b>4.2 HLASOVÉ SLUŽBY</b> .....	<b>35</b>
<b>4.3 TELEVIZNÍ SLUŽBY</b> .....	<b>36</b>
<b>5 MĚŘÍCÍ METODY</b> .....	<b>38</b>
<b>5.1 PŘÍMÁ METODA</b> .....	<b>38</b>
<b>5.2 REFLEKTOMETRICKÁ METODA</b> .....	<b>39</b>
<b>5.3 MĚŘENÍ PON SÍŤÍ</b> .....	<b>40</b>
<b>6 SIMULACE SÍŤE POMOCÍ PROGRAMU OPTSIM</b> .....	<b>43</b>
<b>6.1 POROVNÁNÍ SÍŤÍ P2P A P2MP</b> .....	<b>43</b>
<b>6.2 VÝSLEDKY SIMULACE</b> .....	<b>44</b>
<b>6.3 ZHODNOCENÍ SIMULACE</b> .....	<b>46</b>
<b>7 PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE</b> .....	<b>47</b>
<b>7.1 SITUACE FTTB</b> .....	<b>48</b>
7.1.1 POPIS TRASY .....	48
7.1.2 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ .....	49
7.1.3 POUŽITÉ TECHNOLOGIE .....	51

---

<b>7.2 SITUACE FTTH .....</b>	<b>53</b>
7.2.1 POPIS TRASY .....	53
7.2.2 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ .....	54
7.2.3 POUŽITÉ TECHNOLOGIE .....	56
<b>7.3 PŘECHOD NA TOPOLOGII BOD-BOD .....</b>	<b>59</b>
<b>8 MĚŘENÍ OPTICKÉ TRASY .....</b>	<b>61</b>
<b>8.1 POŽADAVKY NA MĚŘENÍ SÍŤE FTTB .....</b>	<b>61</b>
<b>8.2 POŽADAVKY NA MĚŘENÍ PRO GPON .....</b>	<b>61</b>
<b>8.3 PRAKTICKÁ ČÁST MĚŘENÍ .....</b>	<b>63</b>
8.3.1 MONITOROVÁNÍ SÍŤE .....	68
<b>9 ZÁVĚR .....</b>	<b>70</b>
<b>POUŽITÁ LITERATURA .....</b>	<b>72</b>
<b>SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>73</b>
<b>SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE .....</b>	<b>74</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1.1: Přenosová pásma</i> .....	12
<i>Obr. 1.2: Typy konektorů</i> .....	14
<i>Obr. 1.3: Možnosti realizace optických odbočnic</i> .....	16
<i>Obr. 3.1: Příslušenství optických sítí</i> .....	23
<i>Obr. 3.2: Architektury FTTx sítí</i> .....	25
<i>Obr. 3.3: Topologie Bod-Bod</i> .....	28
<i>Obr. 3.4: Topologie Bod-Multibod</i> .....	29
<i>Obr. 3.5: Používané vlnové délky u standardů EPON a GEPON</i> .....	32
<i>Obr. 4.1: Distribuce TV signálu v sítích FTTH</i> .....	36
<i>Obr. 5.1: Měření zpětného směru ze strany ONT</i> .....	41
<i>Obr. 6.1: Síť s topologií P2P</i> .....	43
<i>Obr. 6.2: Síť s topologií P2MP</i> .....	44
<i>Obr. 6.3: Spektrum vysílače</i> .....	44
<i>Obr. 6.4: Přijaté spektrum P2P a P2MP</i> .....	45
<i>Obr. 6.5: Diagram oka P2P a P2MP</i> .....	45
<i>Obr. 6.6: Průběh útlumu trasy P2P a P2MP</i> .....	45
<i>Obr. 7.1: Přehledová situace</i> .....	47
<i>Obr. 7.2: Vedení mikrotrubiček FTTB</i> .....	49
<i>Obr. 7.3: Vedení vláken</i> .....	50
<i>Obr. 7.4: Příklad ukončení vláken</i> .....	50
<i>Obr. 7.5: Útlum trasy FTTB</i> .....	52
<i>Obr. 7.6: Vedení mikrotrubiček FTTH</i> .....	54
<i>Obr. 7.7: Propojení vláken v RSU</i> .....	55
<i>Obr. 7.8: Útlum trasy FTTH</i> .....	59
<i>Obr. 8.1: Konfigurace při měření optické odbočnice</i> .....	64
<i>Obr. 8.2: Měření OLT -&gt; ONT – 1310 nm</i> .....	65
<i>Obr. 8.3: Měření ONT -&gt; OLT – 1310 nm</i> .....	66
<i>Obr. 8.4: Měření ONT -&gt; OLT – 1550 nm</i> .....	66
<i>Obr. 8.5: Měření ONT -&gt; OLT – 1625 nm</i> .....	67

## ÚVOD

Úkolem diplomové práce je provést komplexní rozbor návrhu optické přístupové sítě ve vybrané lokalitě. Celá problematika návrhu bude stavět na fyzické vrstvě. Ta zahrnuje v našem případě optická vlákna, optické kabely, konektory, optické odbočnice a další. Při výstavbě optických sítí je možné se setkat s různými metodami výstavby od klasické zemní pokládky, přes technologii mikrotrubičkování až po speciální mikrokabelážní systémy. Podle místa ukončení optického vlákna budou zváženy nejvhodnější varianty připojení FTTx. V přístupových sítích máme možnost volby několika topologií a v rámci pasivních optických sítí také několika standardů. V rámci navrhnuté sítě je nutné provést měření základních parametrů a proto budou uvedeny hlavní měřící metody.

Přenos informace se postupem času vyvíjel od kurýrních služeb, přes noviny, telegraf a telefon až do dnešní podoby využívající televize, faxů, počítačových sítí, satelitů a v neposlední řadě komunikaci po optickém vlákně. V počátcích vývoje dosahovala optická vlákna vysokého útlumu a i později, když se tento nedostatek podařilo odstranit, se vyžívala především v dálkových trasách kvůli značným pořizovacím nákladům. Dnes je však situace mnohem příznivější a optická vlákna pronikají stále hlouběji ke koncovému uživateli.

Optická vlákna jsou schopna poskytnout nesrovnatelně vyšší přenosovou kapacitu v porovnání s metalickými sítěmi. Z toho důvodu jsou optické sítě velmi perspektivním řešením do budoucna. Z pohledu výroby, kdy se stále ztenčují celosvětové zásoby mědi, je výroba optického vlákna z křemičitého skla levnou záležitostí. Optické systémy jsou velice odolné proti odposlechu, protože je problém z vlákna vyvézt a detekovat svazek světla. Optické kabely mají menší průměr a větší pevnost v tahu než metalické kabely. Díky nízkému vložnému útlumu dovolí optická vlákna přenosy na dlouhé vzdálenosti. Správně instalovaná optická síť nevyžaduje prakticky žádnou údržbu. To je několik výhod, díky nimž se optická vlákna začínají stále více prosazovat v přístupových sítích.

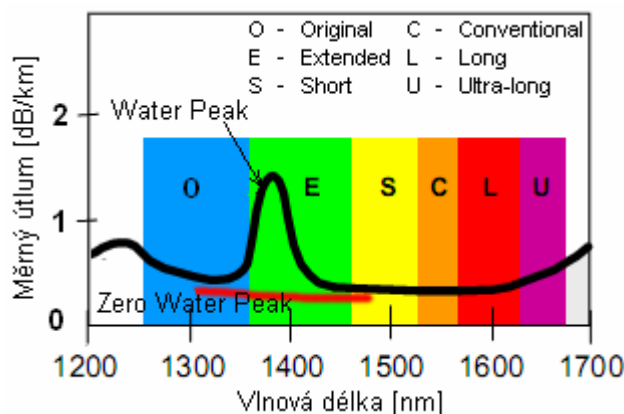
Pokud si před pár lety domácnosti vystačily s telefonním internetovým připojením, dnes je situace odlišná. Pokud budeme chtít poskytovat kvalitní vysokorychlostní služby a video ve vysokém rozlišení na několika zařízeních současně, budeme k tomu potřebovat vhodné přenosové prostředí. Jako ideální volba se jeví připojení FTTH se zavedením optického vlákna až ke spotřebiteli. V našich podmínkách si zatím vystačíme s připojením typu FTTB, které poslední metry realizuje metalickým kabelem. V současné době se jedná o nejlepší řešení v poměru cena/výkon.

# 1 FYZICKÁ VSTVA SÍTĚ

Fyzická vrstva je nejnižší vrstva modelu ISO/OSI a definuje prostředky pro přenos jednotlivých bitů. Složitější datové struktury jsou pak definovány na vyšších vrstvách. V optických sítích je na fyzické vrstvě definována podoba přenášeného signálu. Specifikuje prostředky pro přenos optického signálu od zdroje záření, přes mechanické vlastnosti konektorů a kabelová vedení včetně doporučených délek, až po detektory záření. Fyzická vrstva zahrnuje volbu uspořádání (Bod-Bod, Bod-Multibod) a topologii (sběrnice, hvězda, kruh, ...).

## 1.1 Optická vlákna

Optická vlákna přenáší světelný signál v širokém spektru vlnových délek. Ne všechny jsou však pro přenos vhodné. Pokud předpokládáme světelné spektrum 700 – 1700 nm, definujeme v něm tzv. telekomunikační okna, tedy vlnové délky vhodné pro přenos. Tyto oblasti vykazují nejnižší útlum. V současné době se přenos uskutečňuje především v pásmu vlnových délek 1300 – 1600 nm. Závislost útlumu na vlnové délce této oblasti je vidět na Obr. 1.1. V okolí 1400 nm je zvýšená hodnota útlumu, ale ta se podařila konstrukčně snížit a vzniklo tak široké spektrum vhodné pro přenos.



Obr. 1.1: Přenosová pásma

Optická vlákna můžeme rozdělit do dvou skupin podle jejich průměru jádra na mnohovidová a jednovidová. U obou typů je průměr pláště stejný, a to 125  $\mu\text{m}$ .

Mnohovidová vlákna mají průměr jádra 50  $\mu\text{m}$  (62,5  $\mu\text{m}$  v USA) dle doporučení G.651. Dělíme je dále na gradientní – s plynulou změnou indexu lomu a stepindex – se skokovou změnou indexu lomu. Tato vlákna se používají nejčastěji na vlnové délce 830 nm nebo 1300 nm. Útlum vlákna pro vlnovou délku 850nm je maximálně 4dB/km, pro vlnovou délku 1300nm je maximálně 2dB/km. Výhodou těchto vláken je jejich nízká cena, nenáročná výroba, jednoduchá

montáž a snadné navázání světla do vlákna. Nevýhodou je však zkreslení signálu na výstupu vlákna, ke kterému dochází vlivem rozdílných drah šíření paprsku v jádře. Toto zkreslení je označováno jako vidová disperze.

Potlačení vidové disperze docílíme použitím jednovidových vláken, kdy se jádrem o průměru 9  $\mu\text{m}$  šíří pouze jeden dominantní vid. Jejich výroba a montáž je sice náročnější, ale to je cena za výhodnější přenosové parametry. Tato vlákna jsou v současné době hojně využívána pro vysokorychlostní pátevní trasy. [3], [8]

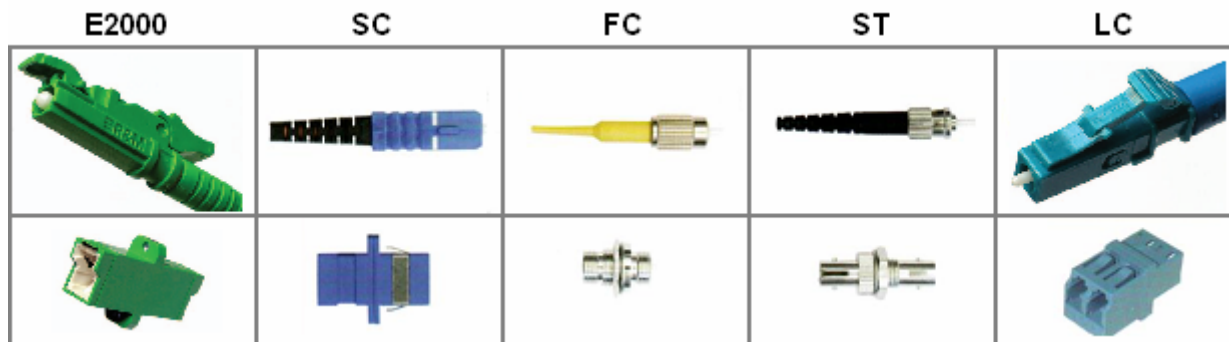
V nově budovaných přístupových sítích je v dnešní době hojně využíváno vlákno dle doporučení ITU-T G.657 – *optická vlákna se sníženou citlivostí na ohyby vlákna v přístupových telekomunikačních sítích*. Toto vlákno je zvláště vhodné pro přístupové optické sítě, kde jsou na kabely a vlákna kladeny náročnější požadavky. Kabely jsou jednak instalovány v rozvaděčích ve větším počtu, v budovách dochází k mnoha ostrým ohybům. Zacházení s kabely je dosti neodborné, zvláště v případě používání samotnými uživateli. Toto dalo popud výrobcům vyrábět odolnější optická vlákna, která usnadní práci technikům a odolají nešetrnému zacházení zákazníků. U těchto vláken nejsou specifikovány hodnoty chromatické a polarizační disperze, protože se předpokládá jejich nasazení na krátké vzdálenosti v přístupových sítích, kde nebudou hodnoty nikdy kritické. Vlákno G.657 najde uplatnění v přístupových sítích nejen díky nízké citlivosti na ohyb, ale je plně kompatibilní s konvenčními vlákny dle ITU-T G.652.D. To znamená, že při svařování mezi těmito vlákny nedojde k zvýšení útlumu sváru.[6]

## 1.2 Spojování vláken

Optická vlákna jsou vyráběna v určitých délkách a proto nastane situace, kdy je potřeba jednotlivé části spojit. U optických systémů se setkáváme se dvěma druhy spojení, rozebíratelné a nerozebíratelné. V případě spojování dlouhých úseků trasy půjde o svařování, tedy nerozebíratelné spojení. Útlum sváru by neměl překročit hodnotu 0,1 dB. Na konec každé takové trasy je následně umístěn konektor, který poskytuje snadnou montáž do potřebného zařízení, jde o rozebíratelné spojení. Na veškerá spojení jsou kladeny vysoké nároky na provedení, protože i malé nepřesnosti mohou navyšovat útlum celé trasy.

Z hlediska realizace přístupových sítí a jejich pozdějšímu měření nás bude zajímat spojování pomocí konektorů. Toto spojení je hlavně využíváno v ústřednách k připojení vlákna do koncových zařízení a k propojení mezi aktivními prvky. Konektory rozlišujeme pevné a rozebíratelné. U pevných konektorů je vlákno vlepeno do ferule, zalomeno a následně je zabroušeno jeho čelo. Úprava čela má vliv především na útlum odrazu (RL – Return Loss).

Pokud uvažujeme typ konektoru FC-PC (Fibre Connector – Physical Contact), pak se RL pohybuje kolem 50 dB. V případě konektoru FC-APC (FC – Asymmetric PC), kdy je čelo zaleštěno pod úhlem 8°, je dosaženo RL až 70 dB. Na Obr. 1.2 jsou zobrazeny různé typy konektorů.



Obr. 1.2: Typy konektorů

Konektor E2000 je používán například společností Telefónica O2. Jde o vysoce kvalitní konektor s integrovanou protiprachovou krytkou, která také zabraňuje vyzařování optického výkonu nezapojeného konektoru. Využití má především na dálkových trasách a ve WAN sítích. Vložný útlum (IL – Insertion Loss) je pod 0,2 dB a RL kolem 60 dB. ST konektor má bajonetové uchycení. Donedávna byl hojně využíván v LAN sítích pro svojí nízkou cenu. Konektor SC nahradil starší variantu ST. Uplatnění má především v LAN sítích často v duplexním provedení. Konektor FC je šroubovací a využívá se v sítích WAN i LAN a na měřicích zařízeních. Konektor LC patří mezi nej kvalitnější miniaturní konektory pro optická vlákna. Je určen k zakončení optických vláken v rozvaděčích a pro připojení aktivních prvků pro vysokorychlostní přenosy. Nejčastěji se vyskytuje v duplexním provedení. Hodnoty útlumů má podobné jako konektor E2000.

### 1.3 Kabely

Samotná optická vlákna jsou velmi křehká a proto musí být vhodným způsobem chráněna proti poškození. Jako nejvhodnější řešení je zabudování vlákna do kabelu. V takovémto optickém kabelu může být umístěna až stovka vláken. Na vlákno je nejprve při výrobě nanesena primární ochrana. Při výrobě kabelu se následně nanese sekundární ochrana, která může být realizována jako těsná nebo volná. Těsná ochrana je obvykle tvořena tvrdou plastickou hmotou. Volná ochrana je tvořena dutinou většího průměru, do které je vloženo vlákno, prostor kolem vlákna bývá zpravidla vyplněn gelem. V jedné dutině může být i více vláken. Sekundární ochrana zabraňuje vzniku mikrohybů a z nich plynoucích ztrát.[10]

Následně jsou podle podmínek, ve kterých se kabel bude vyskytovat, nanášeny další ochranné vrstvy. Pro vnitřní rozvody je určen staniční kabel s vlákny AllWave (Zero Water Peak), která mají nízký obsah hydroxidových iontů a jsou vhodná pro použití i v pásmu 1400 nm. Nejmenší kabel s průměrem do 2 mm je využíván v rozvaděčích, kde se předpokládá vysoký počet těchto kabelů. Instalace od rozvaděče ke koncovým zařízením je prováděna kabely o průměru do 3 mm a to v nehořlavém provedení s vlákny dle doporučení ITU – T G.652.D a G.657.A. Výhodou těchto vláken je vysoká odolnost vůči ohybům. V přístupových sítích jsou využívány vysokokapacitní kabely většinou v Ribbonovém provedení pro podzemní uložení. Jako další varianta může být využit samonosný kabel, který je schopen překlenout vzdálenost až 1000 m bez nutnosti přidavných závěsných prvků. Pro metropolitní sítě je možné použít kabel od 12 až do 300 vláken, podle požadavku na kapacitu trasy. I v případě kabelu s 300 vlákny je jeho průměr pouhých 6,5 mm. Kabely pro metropolitní sítě až po staniční kabely jsou taktéž vhodné pro zafukování do mikrotrubiček.

Samotnou oblast tvoří kabely pro propojování v rozvaděčích. Takový kabel je označován jako patchcord. Jedná se o kabel, který je na obou koncích zakončen konektorem. Délka a typ konektoru jsou volitelné, podle konkrétního zapojení. Kabel označovaný jako pigtail je na jednom konci osazen konektorem a druhý konec je volný a slouží k navaření vlákna. To přináší značné urychlení montáže, protože v terénu je problematické usadit kvalitně konektor na vlákno.

## 1.4 Optické vláknové odbočnice

Pokud realizujeme síť s více účastníky, musíme se rozhodnout jakou přenosovou technologii zvolíme, zda se bude jednat o aktivní nebo pasivní optickou síť. V případě pasivní optické sítě musíme řešit problém, jak rozdělit signál z jednoho vlákna od poskytovatele do více směrů. Zařízení, které takovéto rozbočení umožňuje se nazývá PLC Splitter (Planar Lightwave Circuits), neboli optická odbočnice. S rostoucím počtem pasivních optických sítí se dostává do popředí technologie planárních odbočnic (PLC Splitter – Planar Lightwave Circuits). Jedná se o pasivní součástky, takže nevyžadují žádné napájení.

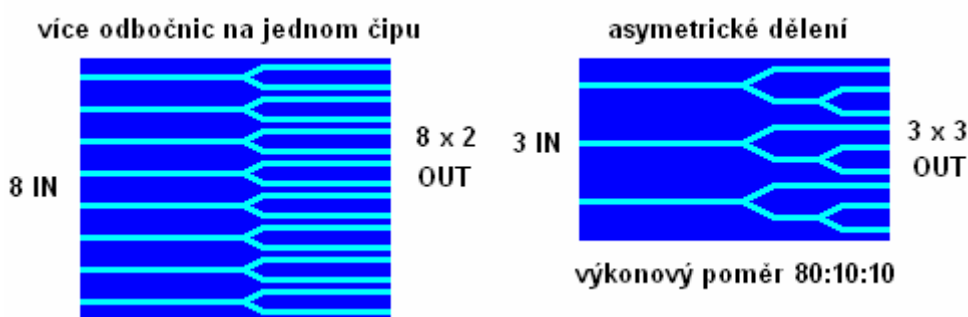
### 1.4.1 Výroba PLC odbočnic

V první fázi výroby jsou ze skla o tvaru válce nařezány kruhové destičky. Ve druhé fázi se pomocí fotolitografie vyrobí maska, na které jsou vyznačeny budoucí cesty. Ve třetí fázi jsou skleněná destička s maskou umístěny do lázně s obsahem stříbra a pomocí teplotních gradientů dochází k výměně molekul sodíku a stříbra a na povrchu skleněné destičky se začíná vytvářet jádro budoucího jednovidového vlákna. Plášť, jaký je u jednovidových vláken, zde reprezentuje

skleněná destička. Plně kruhový vlnovod se vytváří v další lázni s obsahem sodíku při působení teplotních gradientů a elektrického pole. Celý kruhový vlnovod je zanořen jen 13  $\mu\text{m}$  pod povrch, tím je však vytvořen i plášť kolem celého jádra a hloubka tohoto zanoření je dostatečná na to, aby nedocházelo k efektu parazitních vlnovodů vlivem zvýšené vlhkosti. Ve výsledku máme vytvořený plně kruhový vlnovod o průměru 9  $\mu\text{m}$ , jako je tomu u jednovidového vlákna. Ve čtvrté fázi je vytvořeno vstupní a výstupní vláknové pole pro připojení jednovidových vláken k samotné skleněné destičce. Vláknové pole je také skleněná destička, ve které jsou vyřezány V-drážky pro zakládání jednotlivých jednovidových vláken. Založení vlákna musí být v drážce velice přesné a před konečným připojením vláknového pole ke skleněné destičce, musí být proměřena geometrie a musí být dodržena tolerance vyosení vlákna vůči kruhovému vlnovodu ve skleněné destičce. Proces výroby je velmi obtížný, pokud vezmeme v úvahu, že již dnes mohou mít odbočnice až 128 výstupů a musí dojít k přenému spojení jádro na jádro u každého jednovidového vlákna, aby byl zaručen stejný útlum na každém kanálu. Přesnost tohoto spojení definuje parametr uniformity. [10]

### 1.4.2 Parametry PLC odbočnic

PLC odbočnice se rozdělují podle dělicího poměru vždy 1:x (kde  $x = 2, 4, 8, 16, 32, \dots$ ). Vložný útlum roste se zvyšujícím se počtem dělení, jak ukazuje Tab. 1.1. Kromě klasického dělení je možnost umístění více odbočnic 1:2 do jednoho čipu, což přispívá ke snížení nákladů. Dále je možné vyrobit i asymetrické odbočnice 1:3 s výkonovým poměrem 80:10:10, ale i jiným podle přání zákazníka. Různé možnosti realizace jsou na Obr. 1.3.



Obr. 1.3: Možnosti realizace optických odbočnic

Důležitým parametrem odbočnic je šířka pásma, pro kterou je garantována určitá hodnota útlumu, to bývá obvykle pro pásmo 1250 – 1650 nm. Hodnota útlumu by měla být garantována také pro celý rozsah pracovních teplot. Parametr uniformity nám zde definuje rozdíl mezi minimálním a maximálním útlumem pro všechny výstupní kanály v celém pásmu vlnových délek.

Dnes je nejvyužívanější dělicí poměr 1:8, tyto součástky mají útlum 9,8 dB a uniformita je tu 1 dB. Parametry pro další dělicí poměry jsou uvedeny v Tab. 1.1. Je možné realizovat odbočnice s dělicím poměrem až 1:128, ale tyto projekty jsou zatím ve stádiu vývoje. Zde je předpokládaná hodnota útlumu až 25,3 dB. Tato hodnota může na první pohled připadat dosti vysoká. Jsou však již realizované projekty, kde se používalo kaskádní zapojení odbočnic s dělicími poměry 1:8, 1:8 a 1:2, čímž se dostáváme na podobnou hodnotu útlumu a přenosy bezproblémově fungují, protože citlivost detektorů je dnes tak kvalitní, že dokážou rozpoznat i signál o úrovni 0 dBm.

Dělicí poměr	1:2	1:4	1:8	1:10	1:16	1:32	1:64	1:128
Útlum [dB]	3,9	7,4	10,8	12	14,1	17,3	21	25,3
Uniformity [dB]	0,5	0,9	1	1,2	1,3	1,6	2	2,8
Útlum odrazu [dB]	≥ 55							
Vlnové délky [nm]	1260 – 1360 a 1480 – 1650							

Tab. 1.1: Parametry optických odbočnic

U optických odbočnic je důležité také sledovat jejich dlouhodobou spolehlivost. Údaje o spolehlivosti se udávají v jednotkách FIT (Failures In Time) a udává vlastně poruchy v čase. Jednotka FIT je definována jako 1 chyba na  $10^9$  provozních hodin. Pokud tedy máte v síti nainstalováno 10 000 pasivních odbočnic a tuto síť provozujete jeden rok, pak se snadno dopočítáme, že máme  $8,76 \cdot 10^7$  ( $= 10\,000 \text{ součástek} \cdot 365 \text{ dní} \cdot 24 \text{ hodin}$ ) provozních hodin. A pokud výrobce udává hodnotu FIT = 300, pak jednoduše vypočítáme, že za roční provoz nám z 10 000 součástek přestane fungovat 26 ( $= (300 \cdot 8,76 \cdot 10^7) / 10^9$ ). V praxi je hodnota FIT deklarována podstatně nižší.

Výhodou použití pasivních odbočnic je jejich vysoká spolehlivost, malé rozměry, nízká cena v přepočtu na jednotlivé zákazníky v případě vyšších dělicích poměrů. Jelikož jde o pasivní prvky bez nutnosti napájení, mohou být umístěny prakticky kdekoli na trase, bez nutnosti budovat rozvodné stanice. Nevýhodou oproti aktivním prvkům je to, že neumožňují vzdálenou správu s možnostmi nastavení a monitorování. [10]

## 2 TECHNOLOGIE VÝSTAVBY

Při výstavbě metropolitních sítí mohou být kabely ukládány přímo do země. Tato metoda není příliš vhodná, pokud dojde k porušení kabelu. Mnohem lepší řešení poskytuje systém multikanálů. Kanály jsou vyráběny z vysokohustotního polyetylénu a jeho přednosti jsou ve snadné manipulovatelnosti a jednoduché montáži. Délka jednoho segmentu je kolem 1067 mm a jednotlivé díly jsou utěsněny pryžovým těsněním a spojeny čtyřmi pružnými ocelovými sponami. Segmenty jsou vyráběny s kapacitou od 4 do 9 otvorů a umožňují snadné odbočení z trasy. Pokud je potřeba provádět na trase ohyby, musí být použity zkrácené multikanály délky 305 mm. Po určitém počtu segmentů se umísťuje kabelová komora, která slouží k přístupu do vybudované trasy a při potřebě navýšit počet kabelů nejsou nutné další výkopové práce.

Další možností výstavby trasy jsou nadzemní vedení. Ta jsou budována převážně na sloupech trakčního vedení dopravních podniků. Používají se speciální samonosné kabely s centrálním ocelovým prvkem. Nadzemní vedení poskytuje velmi rychlý způsob výstavby při výrazných finančních úsporách a nachází využití především v přístupových sítích. Mezi nové technologie výstavby pro přístupové sítě se řadí mikrotrubičkování a mikrokabeláží systémy MCS (Micro Cabling Systems), konkrétně MCS – Road a MCS – Drain.

### 2.1 Mikrotrubičkování

Mikrotrubičkování je efektivní technologie výstavby přístupových a metropolitních optických sítí. U konvenčních optických sítí musíme před pokládkou vhodně zvolit kapacitu optického kabelu s dostatečnou rezervou. Při mikrotrubičkování není optický kabel uložen přímo do země, ale nejprve je položena ochranná HDPE trubka obvykle o průměru 40/33 mm. Trubky jsou vyrobeny z vysokohustotního polyethylenu (HDPE) s nízkým koeficientem tření a vysokou mechanickou pevností. Do takto připravené trasy můžeme uložit libovolný počet optických kabelů. Do HDPE trubky se pomocí speciálního zařízení zafukují speciální optické mikrokabely s průměrem do 10 mm, nebo svazky trubiček o průměru maximálně 12/10 mm, do kterých se následně zafukují další mikrokabely. Tímto způsobem můžeme v jedné HDPE trubce vybudovat značné množství na sobě nezávislých optických tras. Ochranná HDPE trubka umožňuje snadné vybočení nebo navázání mikrotrubiček pomocí odbočných členů tvaru T a Y. Díky tomu odpadá potřeba použití optické odbočné spojky na trase. V jedné HDPE trubce může být realizována jak páteřní trasa, tak připojení koncových zákazníků. Do již funkční trasy je možné zafouknout další mikrotrubičky a mikrokabely a navýšit tak kapacitu sítě bez nutnosti přerušování provozu.

Kromě klasické metody zafukování je možné použít při pokládce trubičkové řešení pro přímou pokládku do země. Rozlišujeme dvě základní varianty. První z nich je označována jako MULTIDUCTY Direct Bury. V principu jde o HDPE silnostěnnou trubku s tenkostěnnými trubičkami, které jsou instalovány již před vlastní pokládkou. Trubičky mají standardně průměr 5/3,5 mm a jejich počet může být od 4 do 24 kusů s kapacitou od 48 do 384 vláken. Výhodou tohoto řešení je množství variant a odolná konstrukce. Problém nastává při odbočování trubek, kdy se používají komplikované odbočné členy. U nich je potřeba zajistit dostatečnou těsnost a tím roste i cena. Druhou metodou přímé pokládky jsou rukávy s tlustostěnnými trubkami. Rukávy tvoří jen velmi slabý obal a slouží k udržení svazku trubiček pohromadě. Počet a průměr trubiček se liší podle potřebné kapacity vláken. Konkrétně 9 trubiček s průměrem 12/8 mm umožňují instalovat až 864 vláken. Vnitřní průměr tlustostěnných trubiček je shodný s klasickými kvůli vzájemné kompatibilitě a jsou vhodné pro instalaci pouze jednoho mikrokabelu. Toto řešení má výhodu ve snazší instalaci.

Pro zafukování trubiček do ochranné HDPE trubky se používá zařízení SuperJet. Zařízení MikroJet slouží pro zafukování mikrokabelů do mikrotrubiček. Vzdálenost dosahovaná při zafukování se liší podle typu optického mikrokabelu a průměru mikrotrubičky. Např. pro mikrotrubičku průměru 7/5,5 mm je vzdálenost pro 12 vláknový kabel v rozmezí 600 – 900 m a pro 24 vláknový kabel v rozmezí 500 – 800 m. Na trhu je nepřehledné množství mikrotrubiček a mikrokabelů, jejich stručný výčet je uveden v Tab. 2.1. U příslušné mikrotrubičky je uveden i mikrokabel vhodný pro zafouknutí. Snadno se pak dá dopočítat, že pokud zafoukneme do HDPE trubky 40/33 mm čtyři mikrotrubičky 12/10 mm s mikrokabelem po 96-ti vláknech a jednu mikrotrubičku 10/8 mm s mikrokabelem s 72 vlákny, dokážeme vybudovat například páteřní trasu o kapacitě 456 vláken.

Rozměry trubičky		Mikrokabel	
Vnější průměr [mm]	Vnitřní průměr [mm]	Vnější průměr [mm]	Počet vláken
12	10	7,0 – 9,2	72 – 96
10	8	5,8 – 6,3	48 – 72
7	5,5	3,9 / 2,0 – 2,9	2 – 24 / 4 – 24 (Ribbon)
5	3,5	1,4 – 1,45	8 – 12
4	2,5	do 1,0	2 – 4

Tab. 2.1: Mikrotrubičky a mikrokabely

Konstrukce mikrokabelů je různá a liší se zejména podle oblasti použití. K připojení koncových zákazníků slouží nejčastěji přístupové svazky s 2 – 12 vlákny a instalují se do trubiček o průměru 3/2,1 mm. Mikrokabely jsou většinou v suchém provedení a jednotlivá vlákna jsou buď oddělena nebo v Ribbonovém provedení. Pro metropolitní síť se využívají suché Ribbonové kabely se 72 nebo 96 vlákny, vhodné pro zafukování do mikrotrubiček o průměru

12/10 mm. Vysokou kapacitu vláken nabízí Loose Tube mikrokabely střední konstrukce. Mikrokabel obsahuje několik trubiček v nichž jsou umístěny oddělené svazky vláken. Mikrokabel MiDia má průměr 8,4 mm při 72 vláknech v 6 oddělených trubičkách a největší kapacitu poskytuje mikrokabel s 300 vlákny a průměrem 14,4 mm. Kabely střední konstrukce o průměru větším než 10 mm jsou zafukovány přímo do HDPE trubky. K němu je možné zafouknout několik mikrotrubiček s mikrokabely a vytvořit tak jak páteřní, tak přístupovou část sítě. Mikrokabely mají díky malému průměru a nízké hmotnosti výborné vlastnosti pro zafukování.

Mikrotrubičkování umožňuje značné navýšení přenosové kapacity stávajících optických tras bez nutnosti přerušení jejich provozu. Samozřejmostí je bezproblémová kompatibilita s konvenčními optickými sítěmi. Díky snadnému vybočení se zjednoduší možnosti křížení několika tras a minimalizuje se počet svárů optických vláken. Technologie mikrotrubičkování umožňuje rychlou výstavbu optických sítí s výraznou minimalizací zřizovacích nákladů.

## 2.2 Mikrokabeláží systém MCS

Finančně a časově nejnáročnější je při budování optických sítí samotný výkop a následná úprava terénu. Dochází především k omezení plynulosti silniční dopravy, pohybu obyvatel a poškozování životního prostředí. S novou metodou instalace optických kabelů přišla společnost Siemens a je označována jako mikrokabeláží systémy MCS. Tento koncept optické kabeláže odstraňuje jmenované nevýhody konvenčních optických sítí. Své uplatnění nachází především při výstavbě nových přístupových sítí, areálových lokálních sítí, metropolitních sítí, ale také i rozsáhlých sítí WAN. Systém MSC slouží také k rozšiřování stávajících sítí a je možné jej kombinovat s konvenčními optickými sítěmi. Umožňuje rychlou a levnou instalaci optických kabelů ve vozovkách a chodnicích (MSC – Road) nebo potrubích odpadních vod (MCS – Drain). U obou těchto konceptů není potřeba provádět žádné výkopové práce a doba pokládky se z týdnů zkrátí na dny.

### 2.2.1 MCS – Road

Mikrokabeláží systém MCS – Road je určený pro uložení speciálního optického mikrokabelu ve vozovce, chodníku a jiných zpevněných površích z betonu, asfaltu, dlažby. Nejprve je vyfrézována a vybroušena drážka o šířce kolem 10 mm a hloubce 60 – 120 mm. Ta je pečlivě očištěna od nečistot např. horkým vzduchem nebo proudem vody vháněným do drážky pod tlakem. Optický mikrokabel je pokládán do drážky a přítlačným kotoučem dotlačen až na dno. Na mikrokabel je pak dotlačena šňůra z pěnového polyetylenu, která slouží jako výplň s tepelně izolačními vlastnostmi a následně je pak položena šňůra z mechové pryže sloužící jako

přítlačný prvek. Zbylý prostor drážky je pak vyplněn asfaltem. Pokud je pokládka prováděna do chodníků, využívá se prostoru mezi obrubníkem a deskou chodníku. Využívá se stejný postup jako při pokládce na silnicích, ale přináší to řadu výhod. Nedochozí k omezení silničního provozu, obrubník slouží jako mechanická ochrana mikrokabelu a vymezuje průběh trasy.

Pro systémy MCS – Road se využívají speciální mikrokabely. Optický kabel je tvořen měděnou silnostěnnou trubičkou o průměru 5 mm, která je vyplněna pružnou plnicí hmotou a tixotropním gelem pro zabránění šíření podélné vlhkosti. Měděná trubička je chráněna polyetylenovým pláštěm a její vnější průměr je přibližně 7 mm. Vlákná mohou být mnohovidová nebo jednovidová (nejčastěji dle doporučení ITU-T G.652) a jejich počet může být od 12 do 144 vláken. Při větším počtu jsou vlákna sdružována do oddělených svazků po dvanácti vláknech. Kabel je odolný proti příčnému tlaku a korozi a má dobré tepelné vlastnosti. Mikrokabel se dá snadno tvarovat, aniž by se zlomil, ovšem za podmínky minimálního poloměru ohybu 70 mm.

### 2.2.2 MCS – Drain

Mikrokabelázní systém MCS – Drain je určený pro uložení optického mikrokabelu do kanalizačních systémů nebo potrubí odpadních vod. Ve vrchní části přístupu do kanálové šachty jsou namontována ocelová oka a na spodní hranu se montují kluzná plastová vodička. Mikrokabel se protahuje vždy mezi dvěma přístupovými šachtami vzdálenými asi 50 m. Nejprve je šachtou protažena vysokotlaká hadice, která slouží k očištění stěn potrubí. Jakmile se dostane k následujícímu přístupu, je přívod vody uzavřen, na konec hadice je připevněn mikrokabel a hadice se navine zpět. Mikrokabel se pak na obou koncích v přístupových šachtách napne tahovou silou až 15 000 N a zafixuje pomocí spirálových kotevních svorek navinutých na pancíř mikrokabelu.

Pro systém MCS – Drain je potřeba také využít speciální mikrokabely. Ty jsou tvořeny hliníkovou silnostěnnou trubičkou o průměru 6 mm. Vnitřní uspořádání trubičky, použitá vlákna i výplně jsou shodné s mikrokabely pro systém MCS – Road. Rozdíl je ve vnějším plášti, kdy je hliníková trubička opacéřována souvislou vrstvou hliníkových drátů. Pancíř slouží k zachycení tahové síly a ochraně proti hlodavcům. Na pancíř je ještě nanášena vrstva PE izolace a průměr celého kabelu je poté kolem 11 mm. Pro spojování mikrokabelů slouží tlakově vodotěsná spojka z nerezové oceli.

Díky husté síti kanalizačních potrubí je možné vybudovat rozsáhlou telekomunikační síť ve městech a přilehlých oblastech. Realizace je rychlá, finančně nenáročná a MCS systémy je možné kombinovat s konvenčními optickými sítěmi.[9]

## 3 PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ FTTX

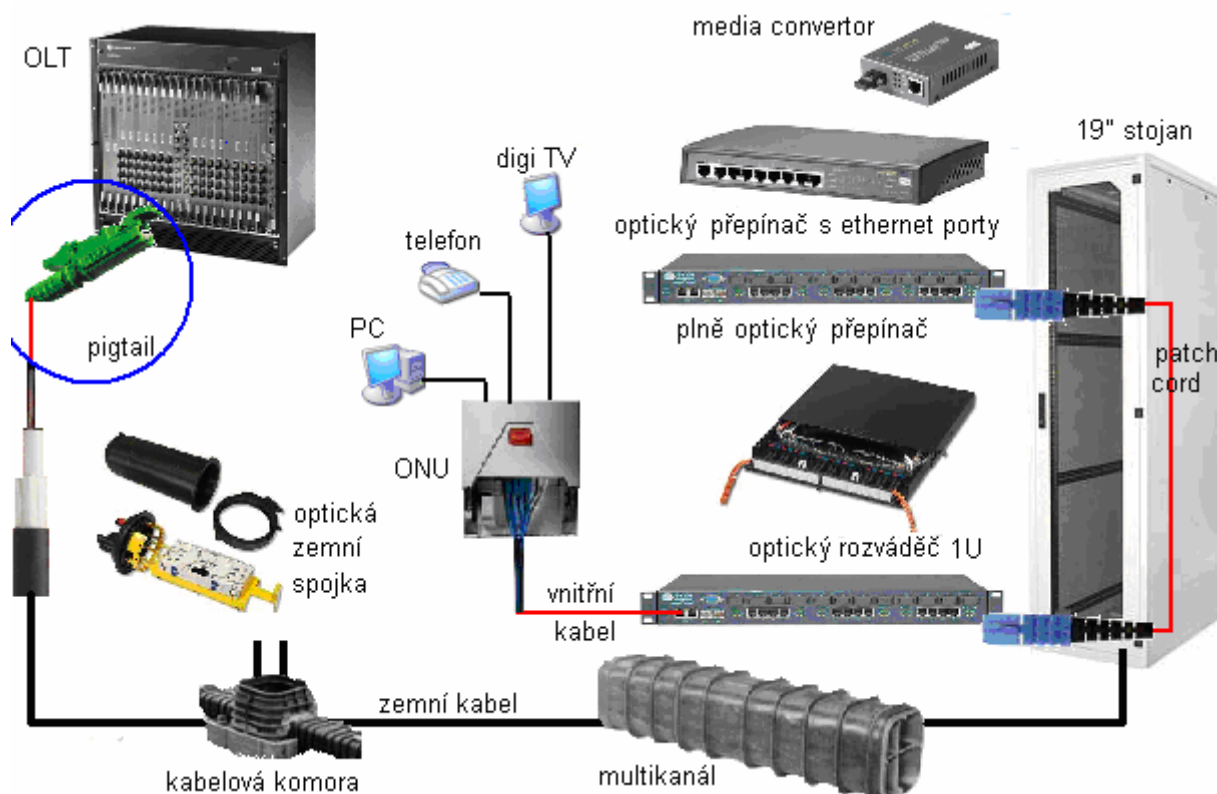
V posledních letech se ve světě telekomunikací dostávají do popředí širokopásmové služby. Jedná se o vysokorychlostní datové služby, televizní vysílání a telefonní služby přes protokol IP. Tato kombinace je souhrnně označována jako Triple Play. Většina poskytovatelů nabízí tuto kompletní nabídku služeb ve formě balíčků. Pokud ovšem chceme provozovat síť s kvalitními širokopásmovými vlastnostmi, pak stávající metalické sítě nebudou v budoucnu kapacitně dostačovat. Jako řešení připadá v úvahu využití optických kabelů, které tvoří převážnou část páteřních sítí a dosahují přenosových rychlostí v řádech desítek Gbit. Jedinou překážkou, proč nejsou optické kabely instalovány v přístupových sítích ve větší míře, jsou vysoké pořizovací náklady a náročnější montážní postupy. V současné době poskytovatelé nenabízí takové služby, které by vyžadovaly linku zvládající gigabitové přenosové rychlosti. Stále tedy vystačí metalické sítě, které díky novým modulačním technikám umožní přenášet data vysokou rychlostí na malé vzdálenosti. Konkrétně u přípojky ADSL 2++ může být do vzdálenosti 500 m dosaženo přenosové rychlosti až 45 Mbit/s v dopředném směru a 1,5 Mbit/s pro zpětný směr. Technologie VDSL umožňuje teoreticky dosáhnout přenosové rychlosti 100 Mbit/s na vzdálenost do 100 m. Ovšem se zvyšujícími se nároky na přenosovou kapacitu u služeb jako HDTV a online her, je jen otázkou času, kdy optické sítě nahradí metalická vedení. Proto je na zřizovateli, jakou technologii zvolí z pohledu budoucí návratnosti investice.

### 3.1 Optická distribuční síť

V optických přístupových sítích se vyskytuje mnoho aktivních a pasivních zařízení, některé z nich jsou zobrazeny na Obr. 3.1. Některá aktivní zařízení pracují na vyšších vrstvách modelu ISO/OSI a poskytují např. funkce pro směrování a zabezpečení přenášených dat. Ve funkci síťového rozhraní mezi telekomunikační a přístupovou sítí se používá optické linkové zakončení OLT (Optical Line Terminal). Koncovými zařízeními potom mohou být optické ukončovací jednotky ONU (Optical Network Unit) a optické ukončovací terminály ONT (Optical Network Terminal). ONT se umísťuje vně domu nebo do bytu a slouží jako koncový prvek pro převod optického signálu na elektrický. Umožňuje připojit telefon, počítače a TV. Označení ONU je užíváno ve spojení se sítěmi FTTB a jedná se například o domovní rozvaděč ve kterém dojde k převodu optického signálu na elektrický. Tomuto zařízením se říká media konvertor a jedná se o nejjednodušší aktivní prvek. Základní konvertor funguje tak, že nejprve přijme paket, uloží do vyrovnávací paměti, kde zkontroluje hlavičku a pošle ho dál. Složitější konvertory umožňují vzdálenou správu a monitorování trasy. Složitějšími aktivními prvky jsou například

přepínače. Ty mohou být plně optické pro sítě FTTH, nebo osazeny ethernet porty a media konvertorem pro sítě FTTB.

Soubor optických přenosových prostředků mezi OLT a ONU/ONT se nazývá optická distribuční síť ODN (Optical Distribution Network). Při pokládce jsou optické kabely uloženy přímo do země nebo jsou vedeny v multikanálech. Ty slouží především jako mechanická ochrana kabelů. Multikanály nachází uplatnění především při výstavbě metropolitních sítí.



Obr. 3.1: Příslušenství optických sítí

Pokud na trase dochází ke spojení kabelů, je nutné svařená vlákna patřičně chránit proti vnějším vlivům. Kabel je proto umístěn v optické spojce, kde je pevně fixován proti vytržení a utěsněn proti vniknutí vody teplem smrštitelnými kabelovými prostupy. Uvnitř jsou z kabelu odstraněny veškeré ochranné prvky, aby mohla být svařena jednotlivá vlákna. Spojka je vybavena kazetami pro umístění svařených vláken, kapacita se odvíjí od konkrétní situace. Základní varianta umožňuje uložit do 24 svárů se 4 kabelovými prostupy a její výhodou jsou především malé rozměry. Největší spojky mají kapacitu kolem 300 svárů a až 40 kabelových postupů. Kabelové spojky mohou být umístěny přímo pod zem, v kabelových komorách multikanálů, připevněny na zeď nebo na sloupy.

Jakmile je kabel přiveden od rozvodné stanice, je ukončen v optickém rozvaděči, který umožňuje přehlednou organizaci optických vláken a konektorů. Optický rozvaděč je vyráběn v šířce 19“ a podle potřebného počtu konektorů se mění jeho výška od 1U do 4U (U – Unit). Rozvaděče jsou umístěny do univerzálního stojanu společně s přepínači, media konvertory a dalšími prvky. Datové stojany jsou především využívány pro větší rozvodné stanice s kapacitou až 50 U. Jako domovní rozvodnice poslouží nástěnné skříně, kde mohou být odděleny části pro pasivní optické rozvaděče, aktivní technologie a napájecí baterie. V souvislosti s budováním optických přístupových sítí se stále více využívají nástěnné boxy. Největší mají kapacitu 48 konektorů a jsou vybaveny kazetami pro umístění svárů. Malý optický box je určen pro 4 konektory a účastnická zásuvka slouží k ukončení 2 optických vláken. Díky rychlé montáži, nízkým nákladům a spolehlivosti nachází uplatnění v sítích FTTx.

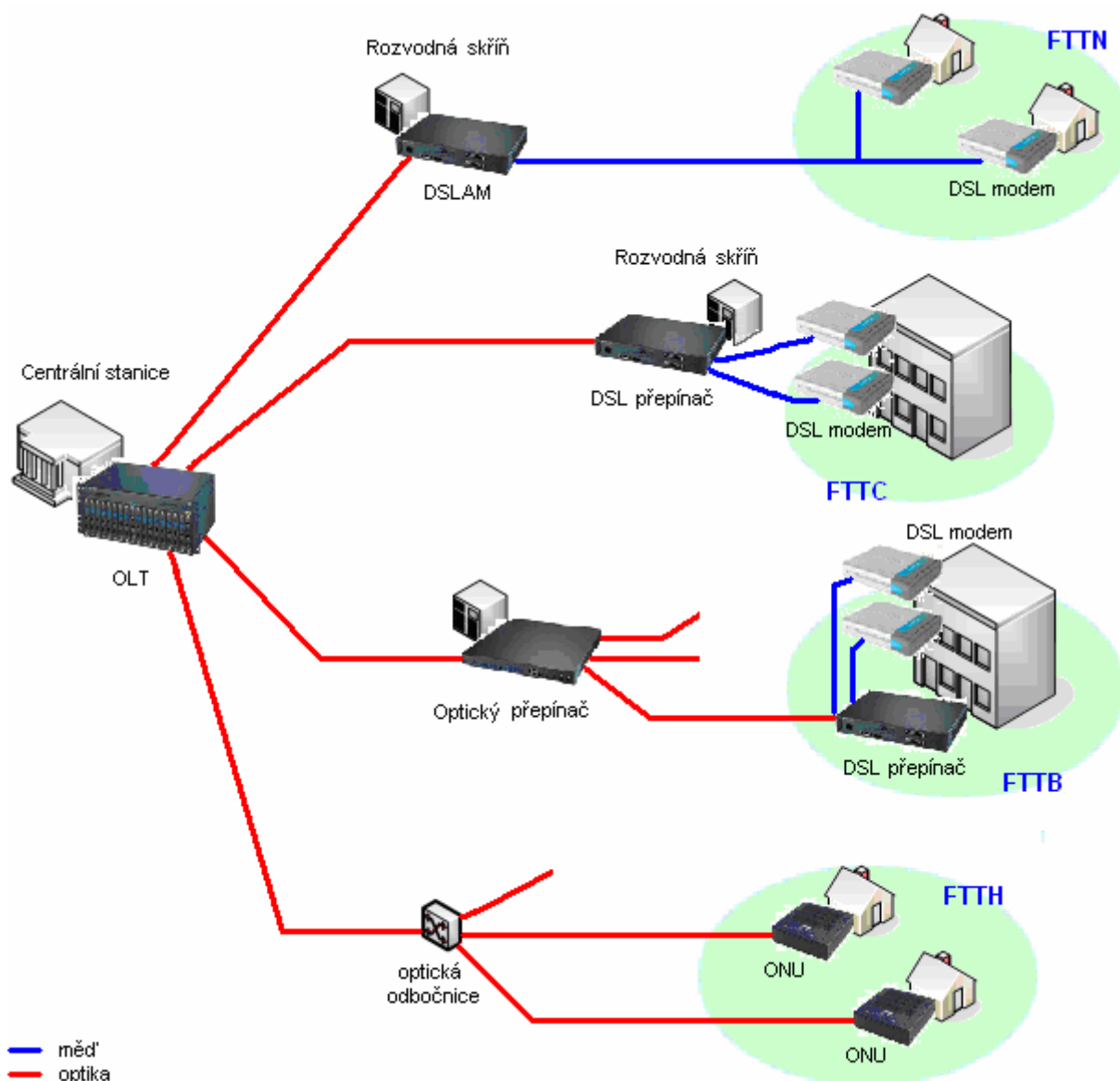
### 3.2 Architektury FTTx

Pojem FTTx zahrnuje mnoho architektur a protokolů. Ve skutečnosti jsou tímto pojmem označovány i DSL a HFC sítě, protože využívají alespoň částečně optická vlákna. Z toho důvodu je vhodné rozdělit sítě FTTx podle hloubky penetrace optického vlákna k uživateli. Při budování optických sítí je cílem přivést optické vlákno co nejbližší ke koncovému zákazníkovi a poskytnout mu tak širokopásmové připojení. Projekty FTTx sítí mají hlavní odlišnost ve fyzické architektuře, proto rozlišujeme sítě typu:

- FTTN (*Fibre To The Node*) - Vlákno do uzlu
- FTTC (*Fibre To The Curb*) - Vlákno k obrubníku
- FTTP (*Fibre To The Premises*) - Vlákno k areálu
- FTTB (*Fibre To The Building*) - Vlákno do budovy
- FTTH (*Fibre To The Home*) - Vlákno do domu

Varianta FTTN bývá také označována jako vlákno do sousedství (neighborhood) nebo vlákno do skříně FTTCab . Jedná se o architekturu, kdy je optické vlákno přivedeno do skříně obsluhující např. celou ulici nebo zástavbu několika domů. Uživatelé jsou ze skříně připojeni klasickou kroucenou dvoulinkou nebo koaxiálním kabelem. Obsluhovaná oblast je většinou do průměru 1,5 km a počítá s připojením stovek koncových účastníků. Optické vlákno do skříně dovoluje přenos širokopásmových služeb. Dále je přenos k uživatelům realizován některou z technik DSL, která určuje výslednou přenosovou rychlost. Taková síť má svoji výhodu především v nízké ceně, ovšem za cenu snížení kvality služeb.

Optické vlákno přivedené k obrubníku FTTC je mírně odlišnou variantou FTTN. Hlavním rozdílem je umístění rozvodné skříň. FTTC umísťuje skříň blíže obrubníku, kdežto FTTN má skříň umístěnou dále od zákazníků. Co se týče použitého vedení, rozdíl zde žádný není, do skříň je přiveden optický kabel a dále k zákazníkům vede kroucená dvoulinka nebo koaxiální kabel. Počet uživatelů připojených k jedné skříni je několik desítek a obsluhovaná oblast má průměr stovky metrů. Grafické porovnání architektur sítí je znázorněné na Obr. 3.2.



Obr. 3.2: Architektury FTTx sítí

### 3.2.1 FTTB – optika k budově

Sítě typu FTTB využívají nejčastěji architektury Bod-Bod a poskytují optické vlákno zvlášť pro každou budovu nebo blok budov. Optické vlákno je ukončeno nejčastěji v domovním rozvaděči, který vyžaduje napájení aktivních zřízení a ochranu proti přístupu. Rozvaděče jsou

proto umístovány do speciálních rozvodných místností, nebo do zamykatelných rozvodných skříní. Jestliže je v budově natažena do každého bytu kabeláž UTP Cat.5, pak se pro připojení využívá síť ELAN (Ethernet local-area Network) poskytující sdílené přenosové pásmo 10 – 100 Mbit/s. Jestliže je k dispozici připojení přes kroucenou dvoulinku, musí být v rozvaděči DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) a poskytuje šířku pásma do 50 Mbit/s. Na území ČR jsou nejčastěji zřizovány sítě tohoto typu, především díky nižším nákladům než u sítí FTTH. Výhodou tohoto řešení je možnost budoucího rozšíření na síť FTTH výměnou lokální části sítě.

### 3.2.2 FTTH – optika do domu

Sítě FTTH využívají pro přenos telekomunikačního signálu optické vlákno od centrální stanice operátora až do domu uživatele. Nahrazují tak stávající metalická a koaxiální vedení. Ukončení je provedeno v terminálu umístěném v každém bytu nebo domu. Koncové zařízení umožňuje připojit několik PC, telefonů a slouží i k distribuci televizního signálu. FTTH je poměrně nová a rychle rozvíjející se metoda poskytování velmi širokého pásma s přenosovou rychlostí 100 Mbit/s v obou směrech. Vlastní bytový rozvod je nejčastěji realizován UTP kabelem, který poskytuje dostatečnou šířku pásma na malou vzdálenost, ovšem nemůže plně nahradit vlastnosti optického vlákna. Snadnější řešení z pohledu instalace poskytuje bezdrátové (Wi-Fi, WiMAX) připojení, které je na druhou stranu nedostatečné pro přenos HDTV videa. Pokud je optické vlákno přivedeno až „na stůl“, mluvíme o síti FTTD (Fibre To The Desk) a FTTO (Fibre To The Office).

Díky vysokorychlostnímu optickému připojení může být současně obsluhováno mnoho uživatelů internetu a několik telefonních hovorů v rámci kanceláře, nebo je možné zároveň sledovat živé televizní vysílání a stahovat nejnovější filmy, a to vše ve vysokém rozlišení HDTV. Někdo si může pomyslet, že nové technologie optických vláken není stále potřeba, když máme různé varianty DSL připojení poskytující dostatečnou šířku pásma. V dnešní době se technologie nezadržitelně řítí kupředu. Stávající metalické připojení postačuje na prohlížení krátkých videí serveru *You Tube*, ale uživatelé začínají sledovat televizní vysílání, zprávy a sportovní pořady na internetu a požadují vysokou kvalitu obrazu. Není důvod tedy k zastavení vývoje u DSL připojení, ale je potřeba implementovat nové technologie. Optické připojení umožňuje nejen stahování množství hudby a oblíbených pořadů, ale také sdílení domácích videí s přáteli, interaktivní domácí studium, sdílení lékařských informací za účelem vzdálených konzultací a vývoje.

Poskytovatelé by měli myslet dopředu a snažit se zavádět nové technologie. K tomu je však nutná značná finanční výpomoc státu, protože malí IPS (Internet Service Provider) nejsou

schopni pokrýt veškeré náklady spojené s vybudováním zcela nové infrastruktury. Dalším problémem mohou být vyšší poplatky za poskytování služeb. V nových domovních zástavbách je zbytečné zavádět technologie, které za pár let budou nedostačující a výměna metalických kabelů za optiku představuje jen další zbytečné náklady. Jako částečné řešení může být položení HDPE trubek pro budoucí zafouknutí optických mikrokabelů.

### 3.3 Topologie optických přístupových sítí

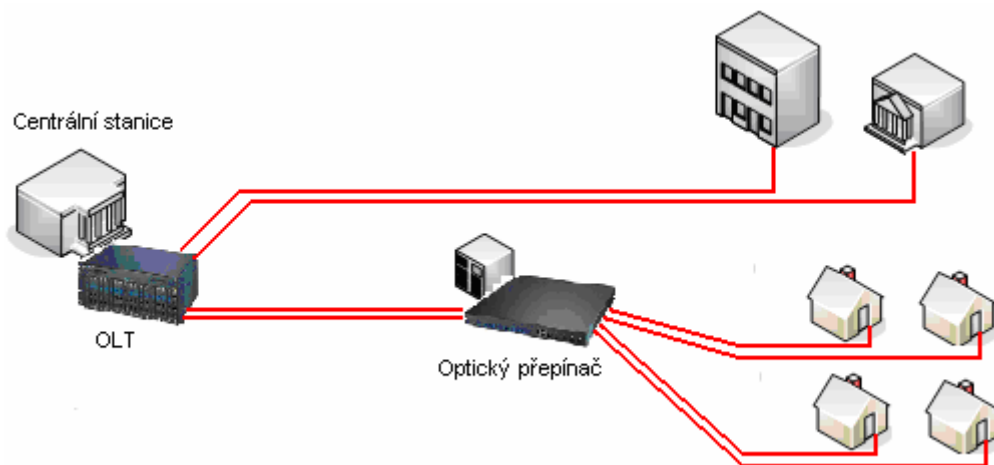
Rozmístění optických vláken v přístupové síti může být dosaženo mnoha způsoby. Existuje mnoho přístupových technologií označovaných jako FTTx, ale jde vždy o nějakou kombinaci optického vlákna, metalického kroceného nebo koaxiálního vedení. Tyto technologie nejsou schopny poskytnout takové vlastnosti jako síť FTTH. Ty jsou v přístupové části kompletně vystavěny na optických vláknech a rozlišují dvě specifická uspořádání. U první je optické vlákno dovedeno ke každému uživateli v přístupové síti. Topologie je označována termíny Bod-Bod nebo AON (Active Optical Network). V druhém případě je jedno optické vlákno z OLT sdíleno několika uživateli ONU/ONT. Rozdělení signálu se realizuje pomocí pasivních odbočnic. Každá topologie má své výhody i nevýhody vztahující se k pořizovacím nákladům, šířce přenosového pásma a použitým zařízením.[7]

#### 3.3.1 Síť Bod-Bod

Sítě typu Bod-Bod (P2P – Point to Point) jsou charakteristické použitím jednoho optického vlákna a jednoho vysílacího laseru pro každého účastníka. Z pohledu návrhu se jedná o nejjednodušší FTTH síť. Několik způsobů připojení je na Obr. 3.3. V centrální stanici je umístěn OLT pro distribuování telekomunikačních služeb, nebo Head End v případě poskytování kabelové televize. Optické vlákno může být vedeno z OLT přímo k uživateli, nebo může být na trase umístěn aktivní optický přepínač, který však musí být nějakým způsobem napájen. Optická vlákna se používají nejčastěji jednovidová dle doporučení ITU-T G.652.D nebo G.657.A, pokud požadujeme lepší mechanické vlastnosti. Mnohovidové vlákno se používá v ojedinělých případech. Pro simplexní přenos z OLT k ONU (dopředný směr) se využívá vlnová délka 1490 nm, pro zpětný směr 1310 nm a televizní signál je distribuován po vlnové délce 1550 nm. Jinou možností je použití duplexní linky a vlnové délky 1310 nm pro oba směry po každém vláknu. Použití samotného optického vlákna pro každého uživatele poskytuje značně široké přenosové pásmo vhodné pro multimediální data.

Pokud jsou na trase použity aktivní prvky pro rozdělování a směrování dat, pak se síť označují jako aktivní. Aktivní sítě mají veškeré prvky elektronické a umožňují připojení

vzdálenějších uživatelů i na vzdálenosti kolem 80 km. Svoje výhody mají aktivní prvky v možnosti vzdálené konfigurace a dohledu. Optické přepínače najdou své uplatnění při poskytování živého vysílání IPTV všem uživatelům. Díky schopnosti multicastového vysílání je možné přenášet do přepínače jeden datový tok a snížit tak přenosovou kapacitu optického vlákna vedeného z centrální stanice. [7]



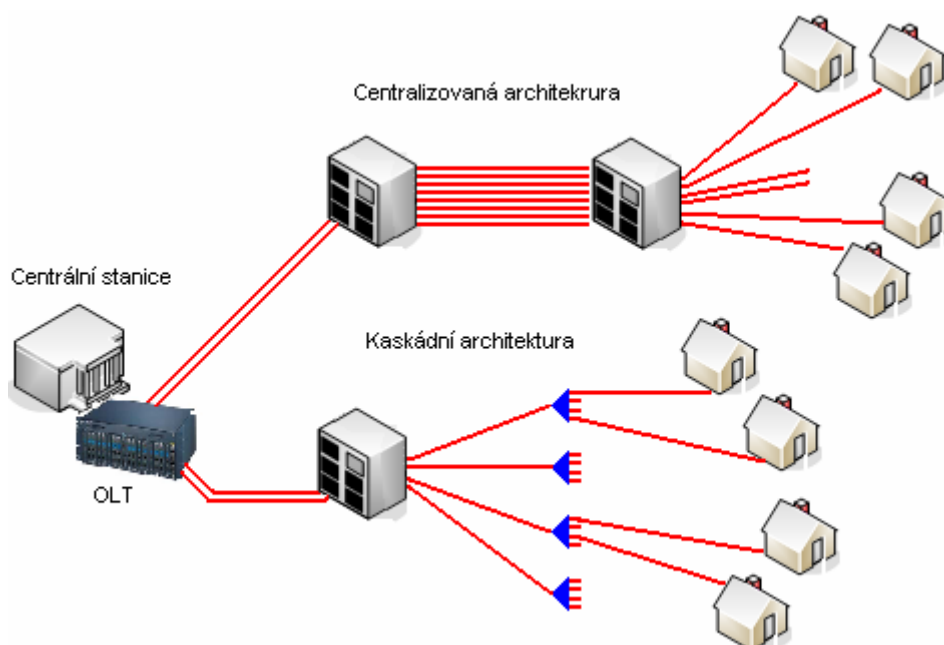
Obr. 3.3: Topologie Bod-Bod

### 3.3.2 Síť Bod-Multibod

Sítě Bod-Multibod (P2MP – Point to Multipoint) jsou charakteristické rozdělováním optického vlákna a sdílením jeho přenosové kapacity mezi několik uživatelů. Optické vlákno je nejčastěji děleno poměrem od 1:16 do 1:32. Z toho plyne, že šířka přenosového pásma optického vlákna jdoucího z centrální stanice je rozdělena mezi skupinu uživatelů. Rozdělování signálu je realizováno pomocí optických odbočnic a přirozeně představuje zvýšení útlumu v síti. Maximální počet odbočení je limitován vysílacím výkonem. Tyto sítě nevyužívají k rozdělování signálu aktivní prvky a jsou označovány jako pasivní optické sítě PON (Passive Optical Network). Pasivní optické sítě mají dosah kolem 20 – 30 km, protože v odbočnicích nedochází k žádnému zesilování signálu, jako tomu je u aktivních prvků. Z pohledu přístupových sítí je však tato vzdálenost dostačující k pokrytí většiny populace. Obr. 3.4 ilustruje možnosti realizace PON sítí. Použité vlnové délky jsou shodné s topologií Bod-Bod, tedy pro dopředný směr je to 1490 nm, pro zpětný směr 1310 nm a pro televizní signál 1550 nm. Optická vlákna jsou výhradně jednovláknová.

Zřizovatelé budující PON sítě mají na výběr různé uspořádání architektury Bod-Multibod. Mohou se rozhodnout mezi centralizovaným a distribuovaným (kaskádním) dělením. Centralizované dělení je charakteristické tím, že jsou všechny hlavní optické odbočnice umístěny

v jedné rozvodné stanici. Cílem je maximalizovat využití portů v OLT využitím optických odbočnic 1:32 pro zvyšování sdílené kapacity vláken tažených do hlavní dělicí stanice. Tím je minimalizován počet vláken mezi centrální stanicí a rozvodnou stanicí. Centralizovaná architektura vykazuje menší hodnoty útlumu a tím se zvyšuje spolehlivost sítě. Jedna optická odbočnice 1:32 má mnohem menší útlum než kaskádní zapojení odbočnic s menším dělicím poměrem. Tím se prodlužuje dosahovaná vzdálenost a snížením počtu optických součástek se přímo úměrně snižuje pravděpodobnost poruchy. Dále centralizovaná architektura minimalizuje počáteční náklady na výstavbu sítě. Díky efektivnímu využití portů v OLT a vysokému dělicímu poměru dochází ke snadnému rozšiřování sítě. Centralizované dělení poskytuje zjednodušení řešení problémů v síti a jejich následné odstranění.



Obr. 3.4: Topologie Bod-Multibod

Kaskádní dělení je charakteristické hlubším pronikáním optických odbočnic do přístupové sítě jak je naznačeno na Obr. 3.4. Tím, že nejsou odbočnice centralizované, jsou redukovány požadavky na rozvodné stanice, nebo mohou být úplně zrušeny a odbočnice se umísťují např. v zemních spojkách. Rozdělení mezi větší počet uživatelů může být dosaženo rozmístěním několika odbočnic po trase za sebou, např. 1:4 následovaný 1:8 na jiném místě v síti. Šířka přenosového pásma je tak rozdělena na 32 uživatelů. Při budování sítě je vhodné nechat dostatečné rezervy. Pokud bychom využili všechny porty odbočnic a chtěli připojit dalšího účastníka, pak výměna součástky způsobí dočasný výpadek sítě. Hloubka začlenění odbočnic vyplývá z postupného rozšiřování sítě, kdy dochází k připojování nových uživatelů. Testování sítě a určování poruchy je složitější než v případě centralizované architektury. Parametry je nutné

měřit na všech odbočnicích v síti, což může být vzhledem k jejich odlišnému umístění problematické. Spolehlivost sítě může být ovlivněna vyšším počtem součástek.

Pasivní optické sítě rapidně snižují počet vláken a tím i náklady na výstavbu. Rozvoj PON sítí je spojen především s budováním FTTH sítí. Užitím optických odbočnic dochází k rychlejší výstavbě sítí, protože nepotřebují žádné napájení a mohou být umístěny kdekoli na trase. Nevýhodou je, že odbočnice neumožňují zesilovat signál, není možné je vzdáleně konfigurovat ani na nich zjistit poruchu. V případě problému je tedy nutné proměřit všechny odbočnice na trase, což je dosti nákladné. [7]

### 3.3.3 Standardy PON

V rámci architektur PON je definováno mnoho standardů a protokolů. Hlavními sdruženími vydávající doporučení jsou ITU-T ve spolupráci s FSAN (Full Services Access Network) a IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Pod hlavičkou ITU-T jsou vydávány standardy BPON (Broadband PON) a GPON (Gigabit-capable PON) a sdružení IEEE standardizuje EPON (Ethernet-based PON). Hlavním rozdílem mezi těmito architekturami jsou v přenosových protokolech, které využívají. U pasivních optických sítí se přenosová kapacita dělí mezi jednotlivé uživatele formou časového multiplexu TDM.

#### 3.3.3.1 BPON

Jde o jednu z nejstarších a stále používaných architektur PON. Standard BPON je definován ITU-T jako doporučení G.983.x, umožňuje přenos různých typů dat, jako jsou hlasové služby, video a IP data. Pro přenos se využívá ATM protokol, který poskytuje transparentní přenos bez ohledu na typ datového rámce. Pro analogové video je vyčleněna vlnová délka 1550 nm. Šířka pásma je buď symetrická nebo asymetrická, kombinující rychlosti 155,52 Mbit/s a 622,08 Mbit/s. Později byla přidána rychlost 1244,16 Mbit/s, ale pouze pro dopředný směr u asymetrického přenosu. Přenosová rychlost je sdílena všemi uživateli připojenými na stejném vláknu. Maximálně doporučený dělicí poměr optických odbočnic je 1:32, to dává pro jednoho uživatele přenosovou rychlost až 38,8 Mbit/s. Vzdálenost mezi OLT a ONU může být nejvýše 20 km. Další parametry jsou uvedeny v Tab. 3.1.

#### 3.3.3.2 GPON

Zdokonalování BPON vedlo ke vzniku nového standardu GPON, který je definován doporučením ITU-T G.984. GPON podporuje na fyzické vrstvě vysoké přenosové rychlosti, větší vzdálenost a větší dělicí poměr odbočnic, než jiné PON topologie. GPON využívá mnoho konceptů z G.983.x a doplňuje je o podporu řízení provozu, administrace, údržby a řízení

kvality služeb. Přenosové rychlosti jsou shodné s BPON a mohou různě kombinovány jak symetricky tak i asymetricky. Přidána byla navíc rychlost 2488,32 Mbit/s, která může být použita současně pro dopředený i zpětný směr. Pokud je potřeba, může být využita metoda dopředné opravy chyb FEC (Forward Error Correction) vzniklých při přenosu.

GPON poskytuje plnou podporu pro veškeré služby včetně přenosu hlasu, Ethernet rámců, ATM a bezdrátových přenosů. K tomu využívá buď ATM nebo GEM (GPON encapsulation method) nebo oba (dual nebo mixed mód).

Dosahovaná vzdálenost je 20 km. Dělicí poměr je obvykle 1:64 a tím jsme schopni dosáhnout přenosové rychlosti až 38,8 Mbit/s na každého uživatele. GPON v porovnání se standardy BPON a EPON poskytuje větší šířku pásma, je mnohem flexibilnější, má lepší podporu pro video služby a je cenově výhodnější. Další parametry jsou uvedeny v Tab. 3.1.

### 3.3.3.3 EPON

Standard EPON je definovaný v rámci sdružení IEEE jako specifikace 802.3ah a je znám jako přístupové sítě EFM (Ethernet in the First Mile). Záměrem u standardu EPON je především jednoduchost, umožňuje paketově orientované přenosy se symetrickou šířkou pásma a přenosovou rychlostí 1250 Mbit/s (efektivní 1000 Mbit/s). Volitelně umožňuje začlenit metodu dopředné opravy chyb FEC pro zvýšení dělicího poměru.

Standard Ethernet předpokládá využití P2P architektury, fyzická P2MP architektura musí být realizována jako soubor P2P připojení na vyšší vrstvě. V případě P2P připojení je požadována duplexní linka, u P2MP vystačí jediné vlákno. EPON využívá přenosový protokol MPCP (Multipoint Control Protocol). Tento protokol je využíván pro řízení přístupu do architektury P2MP a rozlišuje dva standardy: 1000BASE-PX10 pro dosah 10 km a 1000BASE-PX20 pro dosah 20 km. Zvětšení dosahu u 1000BASE-PX20 je dáno použitím lepšího vysílače v ONU (DFB laser má velmi úzké spektrum) a přijímače používajícího APD detektor. Dělicí poměr je nejvýše 1:32, možnost použít dělení 1:64 je podmíněna použitím dopředné opravy chyb FEC. Pro dopředný směr se využívá vlnová délka 1490 nm, pro zpětný směr je to 1310 nm a analogové video je přenášeno na 1550 nm. Další parametry jsou uvedeny v Tab. 3.1.

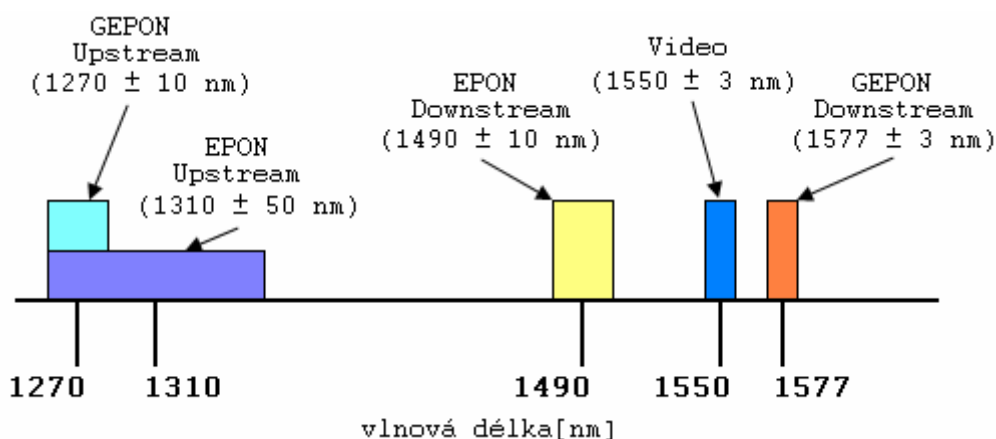
Standard EPON je ve světě velice populární. Celých 65% světových FTTx řešení je založeno na P2P Ethernetu a to jak aktivním, tak pasivním. Příkladem může být japonský operátor NTT nebo italský Fastweb.

### 3.3.3.4 WDM-PON

Definice pasivní sítě WDM-PON je charakteristická tím, že dělení přenosové kapacity mezi více uživateli není realizováno formou časového multiplexu TDM, ale pro každého uživatele je vyčleněna zvláštní vlnová délka. Nejde o konkrétně definovaný standard, který by určoval vlnové délky a další parametry. Pasivní optickou síť WDM-PON vybudovala společnost Novera Optics. Toto řešení předpokládá použití jednotek ONU nezávislých na vlnové délce. Pro dopředný směr se využívá přenosové pásmo L, viz Obr. 1.1 a je v něm přenášeno 32 vlnových délek. V případě sítě FTTH může být přenosová rychlost až 100 Mbps pro každého uživatele a to i při dlouhodobém zatížení. Největší zájem o WDM-PON je ze strany Jižní Koreje, která se nebrání novým technologiím a kde je největší rozmach FTTH. [4]

### 3.3.3.5 GEAPON

Standard GEAPON je definovaný v rámci sdružení IEEE jako specifikace 802.3av. Standard byl vyvinut za účelem rozšíření přenosových rychlostí předchozího standardu EPON z 1 Gbit/s na 10 Gbit/s. Pro dopředný směr je určena přenosová rychlost 10,3125 Gbit/s a pro zpětný směr je podporovaná jak rychlost 1 Gbit/s tak i rychlost 10 Gbit/s. Pro vyšší přenosovou rychlost je používán linkový kód 64B/66B, pro nižší přenosovou rychlost se využívá linkový kód 8B/10B jako u standardu EPON. Data pro oba směry jsou posílána přes jedno vlákno. V případě přenosové rychlosti 10 Gbit/s je pro dopředný směr vyhrazena vlnová délka 1577 nm a pro zpětný směr 1270 nm. Pro video se využívá vlnová délka 1550 nm jako u jiných standardů. U rychlosti 1 Gbit/s se ve zpětném směru využívá vlnová délka 1310 nm.



Obr. 3.5: Používané vlnové délky u standardů EPON a GEAPON

Aby byl možný souběh obou standardů, je nutné mít OLT, které umí pracovat s různými přenosovými rychlostmi. Signály ze zpětných směrů pro různé přenosové rychlosti

se vzájemně překrývají, jak je to vidět na Obr. 3.5, proto není možné použít filtr a jednotlivé signály oddělit. K tomu je potřeba OLT pracující v dvou-rychlostním módu. V OLT jsou rozděleny signály zpětné směry s přenosovou rychlostí 1 Gbit/s a 10 Gbit/s v optické oblasti. K dělení se používá optická odbočnice 1:2, která rozdělí signál do dvou samostatných fotodetektorů. Odbočnice bohužel vnáší do systému útlum 3 dB, proto se doporučuje používat zesilovač před vstupem do každého fotodetektoru. Pokud chceme systém provozovat na vzdálenost 20 km s dělením 1:64 je použití zesilovače povinné.

Ve standardu jsou definovány dělicí poměry 1:64 a volitelně 1:128 s FEC. Dopředná oprava chyb je zajištěna pomocí kódu RS(255,223) aplikovaná na Ethernet rámce. Při jeho použití je efektivní přenosová rychlost systému s přenosovou rychlostí 10 Gbit/s snížena na 8,7 Gbit/s. Výhodou nového standardu je tedy navýšení přenosové rychlosti, kterou můžeme nabídnout koncovým uživatelům. Kromě toho je hlavní výhodou v kompatibilitě s předchozím standardem EPON, čímž umožňuje snadné rozšíření stávajících sítí. [5]

Název	BPON		GPON		EPON		GEPON	
	Broadband PON		Gigabit PON		Ethernet PON		Gigabit Ethernet PON	
Standard	ITU-T G.983		ITU-T G.984		IEEE 802.3ah		IEEE 802.3av	
Přenosová rychlost [Mbit/s]	down	up	down	up	down	up	down	up
	155,52		BPON +		1250		10 312,5	
	622,08	155,52	1244,16				10 312,5	1250
	622,08		2488,32	1244,16	efektivní 1000		efektivní 8 700	
1244,16	622,08	2488,32						
Dělicí poměr	1:16, 1:32		1:32, 1:64		1:32, 1:64 (s FEC)		1:32, 1:64 (s FEC)	
Dosah [km]	20		20		10, 20		10, 20	
Protokol	ATM		ATM / GEM		Ethernet 802.3		Ethernet 802.3	
Typ přenášených rámců	TDM over ATM		Ethernet over GEM TDM over GEM		TDM over Packet		TDM over Packet	
Linkový kód	NRZ <sup>1</sup> + scrambling		NRZ + scrambling		8B/10B <sup>2</sup>		64B/66B <sup>3</sup>	
Šifrování	AES <sup>4</sup>		AES		volitelné		volitelné	
Tx Laser	FP <sup>5</sup>		FP		DFB <sup>6</sup>		DFB	
Rx detektor	PIN <sup>7</sup>		PIN		APD <sup>8</sup>		APD	

Tab. 3.1: Srovnání standardů PON

<sup>1</sup> NRZ – Not Return to Zero<sup>2</sup> 8B/10B – kóduje 8 bitů do 10 symbolů<sup>3</sup> 64B/66B – kóduje 64 bitů do 66 symbolů<sup>4</sup> AES – Advanced Encryption Standard<sup>5</sup> FP – Fabry-Perot<sup>6</sup> DFB – Distributed-Feedback<sup>7</sup> PIN – Positive-Insulator-Negative<sup>8</sup> APD – Avalanche Photodiode

## 4 TELEKOMUNIKAČNÍ SLUŽBY

V současné době se na poli telekomunikací odehrává mnoho změn především v oblasti přenosu signálu k domácím a obchodním zákazníkům. Tyto změny jsou podpořeny především dvěma technologiemi, protokolem IP (Internet Protocol) a optickými vlákny. Dnes jsou technologie schopné poskytovat hlasové služby, video a data přes společný protokol IP.

Datové přenosy se rychle posunují a zvyšují počet služeb poskytovaných uživateli ve společném balíčku zvaném Triple Play. Technologie jako VoIP (Voice Over IP), IPTV a širokopásmová data se ve společnosti stávají samozřejmostí. Tak jak roste počet služeb a vyvíjí se nové technologie, poskytovatelé je nasazují na jejich původní síť navrhované na využití jedné služby. Dochází k jejich přetěžování a v mnoha případech nemohou nabídnout dostatečnou kapacitu pro poskytování více služeb najednou. Triple Play může být poskytováno přes metalické síť (ADSL2+ a VDSL), optiku (FTTH) i bezdrátovou formou (Wi-Fi, UMTS). Právě bezdrátové připojení a mobilní služby jsou označovány pojmem Quadruple Play.

Dnes jsou stávající metalické síť schopny poskytovat přenosové rychlosti 20 Mbit/s, ale za několik let budou potřeba přenosové rychlosti vyšší než 50 Mbit/s. Takové síť pak poskytnou zákazníkům kompletní nabídku služeb jako vysokorychlostní internet, online hraní her, telefonní služby, televizi s vysokým rozlišením HDTV a služby jako video na vyžádání VoD (Video On Demand) a PPV (Pay Per View).

Tyto služby s sebou samozřejmě přináší nutnost velkých investic do přístupových sítí. Na prvním místě těchto investic je snaha přiblížit se optickým vláknem co nejbližší koncovému zákazníkovi. Stále více poskytovatelů buduje síť s optickými vlákny pro budoucí poskytnutí širokopásmových služeb, zvyšování symetričnosti propustné šířky pásma, poskytnutí vyšší spolehlivosti a snížení provozních nákladů.

### 4.1 Datové služby

Standard ATM (Asynchronous Transfer Mode) definuje vysokorychlostní síťovou architekturu s přenosovými rychlostmi 155Mbit/s, 622Mbit/s a 2,5 Gbit/s pro optiku. Protokol umožňuje implementaci QoS (Quality of Service) pro datové a hlasové služby pomocí tříd. Jedná se o spojově orientovaný přenos, kdy je před vlastním přenosem dat vytvořeno mezi koncovými stanicemi spojení. Rozděluje přenášená data do buněk s pevnou délkou. ATM pracuje s přepínáním paketů (buněk) v rámci virtuálních okruhů. ATM se snaží zajistit jednotný síťový standard pro podporu sítí SDH a PDH synchronního typu a pro paketově založené síť jako je IP a Frame Relay.

V přístupové síti se podle standardu GPON využívá vlastní přenosový protokol podobný ATM. Protokol GEM (GPON encapsulation method) zapouzdřuje data do GPON a poskytuje směrově orientovanou komunikaci tak jako ATM. Obecně může být pomocí GEM přenášeny jakékoli paketově orientované služby, včetně Ethernetu a TDM (Time-division Multiplexing). Vlastní způsob zapouzdřování závisí na konkrétních službách. Způsob zapouzdření a formát rámců jsou podobné s metodami využívanými v SONET/SDH. Ethernet rámce s proměnnou délkou nejsou přenášeny pomocí GEM přímo, ale jsou fragmentovány. To umožňuje pevné a periodické generování rámců, takže služby se striktními požadavky mohou být obslouženy a přeneseny v reálném čase. V přijímači musí být Ethernet rámce opět složeny. GPON přenáší Ethernet rámce mnohem efektivněji než EPON, protože má mnohem menší záhlaví rámců.

Pro lokální síť je nejrozšířenější technologií Ethernet. Jde o nespojově orientovaný protokol s mnohonásobným přístupem k médiu a detekcí kolizí CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect). Délka paketu je proměnlivá 64 – 1518 B. Ethernet lze provozovat na různých fyzických médiích, jako je koax, kroucená dvoulinka i po optickém vláknu. Pro optická vlákna platí standard 10BASE-F, který definuje konektor ST a mnohovidová vlákna na vzdálenost do 2 km. Rychlejší variantou je Fast Ethernet ovšem za cenu menších vzdáleností. Pro optiku je definován standard 100BASE-FX se dvěma optickými vlákny, jedním pro přenos dat a druhé slouží pro kolizi a příjem dat. Použité konektory jsou typu SC nebo bajonetové ST a dosahovaná vzdálenost je 400 m. Dalšího zvýšení přenosové rychlosti na 1Gbit/s je dosaženo variantou Gigabit Ethernet. Standard 1000BASE-SX definuje mnohovidové vlákno provozované na vlnové délce 850 nm do vzdálenosti 500 m. Použití jednovidového vlákna na 1310 nm a vzdálenosti 2 km definuje standard 1000BASE-LX. V pasivních optických sítích jsou definovány dva standardy: 1000BASE-PX10 s dosahem 10 km a 1000BASE-PX20 se zvětšeným dosahem na 20 km.

## 4.2 Hlasové služby

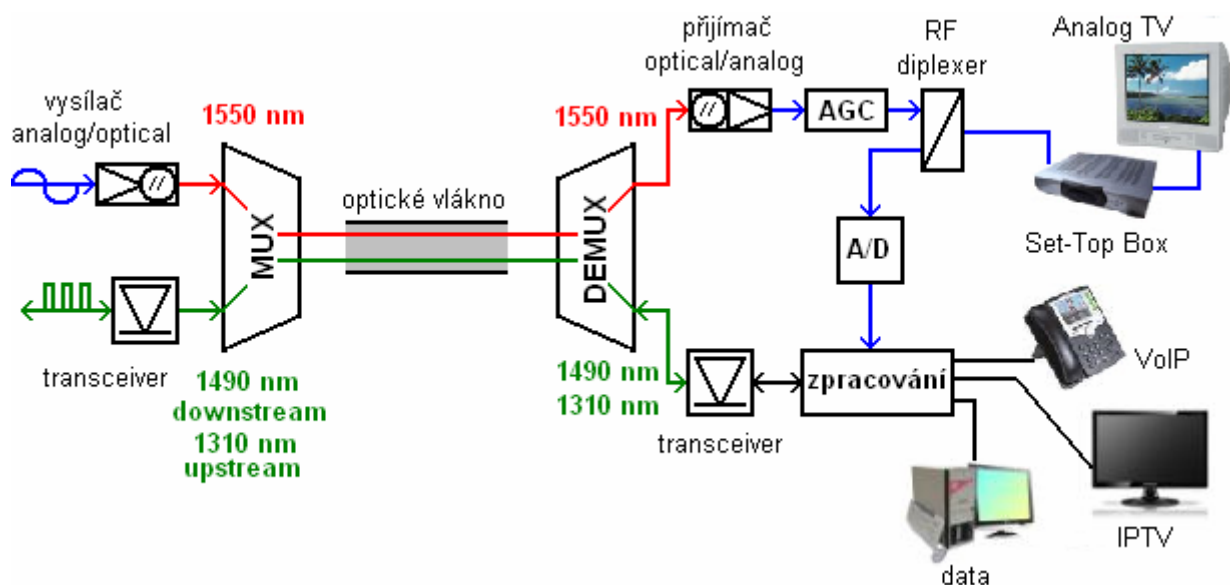
Přenos digitálního hlasu po IP sítích v těle paketů umožňuje technologie VoIP. Telefonní hovor může být uskutečněn v rámci lokální sítě nebo Internetu. Přenos je uskutečňován protokolem IP a UDP. Jde o nespolehlivé datagramové spojení, kde jsou přenášeny vzorky telefonního hovoru kódovány za účelem snížení objemu přenášovaných dat. Problémem u VoIP může být ztráta paketů, zpoždění a kolísání zpoždění. UDP totiž neposkytuje mechanismus pro doručení paketů ve správném pořadí ani garanci kvality služeb QoS. Pro VoIP postačuje šířka pásma do 160 kbit/s, ale zpoždění nesmí být vyšší než 150 ms a kolísání zpoždění musí být do 30 ms, ztráty nesmí přesáhnout 1%. Dalším problémem může být s překonáním firewallů a

překladem adres NAT (Network Address Translation). S tím nemají problémy Skype, který využívá protokol umožňující směřovat hovory přes jiné uzly v síti Skype a SIP (Session Initiation Protocol), což je protokol pro zajištění VoIP spojení. Druhým protokolem využívaným pro VoIP je RTP (Real-Time Transport Protocol) Internetová telefonie poskytuje uživatelům levnější volání, zřizovatelům sdružování služeb do jednoho přenosového média a poskytovatelům služeb nové obchodní možnosti.

### 4.3 Televizní služby

Televizní vysílání přes internetový protokol IP je označováno jako IPTV. Digitální vysílání je přenášeno datovou sítí společně s širokopásmovým připojením, což je hlavní rozdíl proti klasickému plošnému a kabelovému vysílání. K přehrání digitálního vysílání je potřeba mít digitální televizi nebo Set-top Box a analogovou TV, popř. je možné pořady sledovat přímo v PC. IPTV umožňuje sledovat jak živé vysílání, tak i uložené video (VoD). V případě živého vysílání je video přenášeno v MPEG toku přes Multicast IP. Video je vysíláno jen jedinkrát a je možné ho přijímat současně na několika zařízeních. V případě živého vysílání musí být zajištěna požadovaná kvalita QoS. VoD umožňuje prohlížet uložené pořady, ty jsou k vysílání jen k jedinému uživateli přes Unicast IP. Protože nejde o přenos dat v reálném čase, není potřeba implementovat QoS techniky.

V sítích FTTH se přenos analogového televizního signálu a dat uskutečňuje po jednom vlákně, jak ukazuje schéma na Obr. 4.1. Vzhledem k plánovanému ukončení analogového vysílání je budoucnost především v digitální televizi IPTV. V současné době je stále levnější způsob modulace analogového signálu na vlnovou délku 1550 nm.



Obr. 4.1: Distribuce TV signálu v sítích FTTH

Signál televizního vysílání je převeden z analogové formy na digitální (A/D) s vlnovou délkou 1550 nm. Datový signál prochází přes transceiver (kombinace vysílač - přijímač) a je vyslán (Downstream) na vlnové délce 1490 nm, opačný směr (Upstream) probíhá na vlnové délce 1310 nm. Některé systémy využívají vlnovou délku 1310 nm pro oba směry. K datovému signálu je pomocí vlnového multiplexu (WDM – wavelength-division multiplexing) přidán signál televizního vysílání a vše je vysíláno po jenom optickém vláknu. Před vlastním příjmem signálu na straně účastníka dojde k oddělení datového a televizního signálu v demultiplexeru. Televizní signál je převeden opticko-elektrickým přijímačem (D/A) na analogový a podle potřeby je zesílen. RF diplexer (zařízení, které rozděljuje přijatý signál do dvou frekvenčních pásem) se využívá v případě, že chceme směrem ze Set-Top Boxu vysílat signál pro ovládání televize. RF oddělí vysílaný signál ze Set-Top Boxu a směruje ho do A/D převodníku. Po zpracování je signál přenášen opačným směrem na vlnové délce 1310 nm. Datový signál z demultiplexeru prochází přes transceiver do obvodu pro zpracování, který následně rozdělí signál na hlasové (VoIP) a datové služby. Digitální televize IPTV je vysílána jako datová služba. V modemu je poté vyhrazen jeden port pro video signál a k němu je připojen Set-Top Box. [2]

## 5 MĚŘÍCÍ METODY

Hlavním úkolem optických vláken je vysokorychlostní přenos dat s minimální chybovostí. Vhodným měřením během instalace sítě minimalizujeme řešení pozdějších problémů z důvodů špatného svařování vláken, nečistot na konektorech nebo vadných součástek. Takto zřizovatel garantuje kvalitu provedené montáže ještě před spuštěním provozu.

Pro zajištění řádného přenosu dat je důležité kontrolovat, aby útlum trasy nepřesáhl limitní hodnoty, což by vedlo k degradaci nebo ztrátě signálu. Útlum je definován jako poměr mezi vysílaným a detekovaným signálem. Pokud se bavíme o kompletní trase, pak se používá termín vložný útlum IL (Insertion Loss). Zpětný rozptyl udává, kolik světla se odrazí zpět k vysílači. K odrazu dochází na nehomogenitách ve vláknu, v místě svárů a především na konektorech. Minimální hodnota zpětného rozptylu je důležitá především při distribuci analogového videa v pasivních sítích FTTH na vlnové délce 1550 nm, protože vlivem velkého zpětného rozptylu dochází k degradaci kvality přenosu. Při měření se nevyhodnocuje přímo zpětný rozptyl, ale útlum odrazu ORL (Optical Return Loss) a odrazivost (Reflectance). ORL je definovaný jako poměr přijatého výkonu ku odraženému a je měřen nejčastěji pro celou trasu. Obsahuje tedy v sobě dílčí odrazy na nehomogenitách, svárech a konektorech až ke konkrétnímu optickému portu. Na druhou stranu odrazivost je dána poměrem odraženého výkonu ku přijatému a je měřena pro jedno konkrétní rozhraní nebo určitou nehomogenitu ve vláknu.

### 5.1 Přímá metoda

Pro měření transmisní metodou je nutné používat dvě samotná zařízení na každém konci měřeného úseku. Na jedné straně je připojený zdroj záření a na druhém konci měřidlo výkonu. Tato metoda se využívá také pro měření optického výkonu, tak že se ke zdroji záření připojí přímo měřidlo výkonu. Slouží také pro zjištění ohybů ve vláknech a k testu kontinuity vlákna při zjišťování prohození vlákna trasy. Přímá metoda je vhodná pro rychlé určení celkového (end to end) útlumu trasy. Měření se provádí bez provozu a jsou proměřeny všechny používané vlnové délky 1310 nm, 1490 nm a 1550 nm. Přímá metoda umožňuje samozřejmě měření útlumu odrazu a délky trasy. Pro pohodlnější měření je vhodnější měřidlo OLTS (Optical Loss Test Set), které obsahuje samostatné měřidlo ORL.

Protože přenos po optickém vláknech probíhá v obou směrech, je vyžadováno obousměrné měření. Po jednom měření se musí vyměnit přístroje a provést měření z druhého konce. Tento značně nepohodlný způsob je odstraněn použitím univerzálního přístroje OLTS s integrovaným zdrojem záření, měřidlem výkonu a útlumu odrazu. Na obou přístrojích je nutné nastavit

referenční hodnotu útlumu, ale tu je možné změřit na vlastním detektoru přístroje a poslat ji přes měřené vlákno. Tato metoda neposkytuje informace o průběhu útlumu na trase. Přístroje jsou však levné a poskytují potřebné údaje o měřené trase.

## 5.2 Reflektometrická metoda

OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) je další metoda pro měření přenosových charakteristik optických tras. Lze pomocí ní měřit přenosové parametry jak jednotlivých prvků trasy, tak průběh celé trasy. Podstatnou výhodou je možnost přesné lokalizace závady, kterou přímá metoda neumožňuje. Metoda pracuje na principu Rayleighova rozptylu. Do vlákna jsou vysílány krátké pulsy a ty se odráží na nehomogenitách, svárech, konektorech, odbočnicích a koncích vlákna. Výsledkem je křivka zpětného rozptylu v logaritmickém měřítku, ze které můžeme snadno určit vložný útlum trasy i jednotlivých součástí, útlum odrazu a délkové úseky.

Přístroj OTDR je v současné době nejrozšířenějším a nejužitečnějším měřicím nástrojem pro optické sítě. Při měření se vždy zařazuje předřadné vlákno v délce 100 – 3000 m v závislosti na délce impulsu (10 – 20000 ns). S délkou impulsu souvisí také dynamický rozsah (10 – 43 dB). Dynamický rozsah určuje rozdíl mezi navázanou úrovní signálu a úrovní šumu. V přístupových sítích si vystačíme s dynamickým rozsahem 30 dB, v metropolitních a transportních sítích si vystačíme s 35 dB. Dnešní OTDR poskytují až 45 dB, ale to je vykoupeno vyšší pořizovací cenou takového přístroje a ne každý je ochoten za tuto dynamiku platit.

Problém při měření může nastat v případě detekce dvou nehomogenit v těsné blízkosti za sebou. Tzv. mrtvá zóna vzniká u odrazných nehomogenit na trase. Světlo odražené zpět, způsobí saturaci detektoru a jeho částečné oslepení. Nehomogenity, které jsou umístěné bezprostředně za nehomogenitou odraznou, potom nejsou detekovány. V místě připojení vzniká mrtvá zóna, z toho důvodu se používá při měření předřadné vlákno.

OTDR přístroje umožňují měřit jak na vlnových délkách 1310nm, 1490 nm a 1550 nm. Stále častěji jsou kladeny požadavky na schopnost měření na vlnové délce 1625 nm, zejména s požadavky na kvalitu služeb QoS a nasazováním monitorovacích systému pro dohled optické trasy. Dalším důvodem měření na vlnové délce 1625 nm je zavádění hustých vlnových multiplexů DWDM pracujících v C-pásmu a do budoucna i v L-pásmu. Přístroje jsou vyráběny v různých velikostech podle oblasti použití do přenosných, vhodných pro každodenní testování v terénu, až po multifunkční zařízení, schopné měření přenosových protokolů Ethernet, SONET, SDH a dalších. Přístroje neprodělávají v současnosti žádné vývojové změny, protože parametry přístroje jsou dány fyzikálními omezeními a jejich vylepšování by bylo velmi nákladné.

### 5.3 Měření PON sítě

Při měření v přístupových sítích se setkáváme s problémem, jakým způsobem provádět korektní měření vzhledem k použití optických odbočnic, které vykazují při větším počtu odbočení značné útlumy. Během instalace PON sítě jsou požadovány tři hlavní testy:

- Obousměrné měření ORL
- Obousměrné měření IL na všech elementech
- Obousměrná end-to-end charakteristika

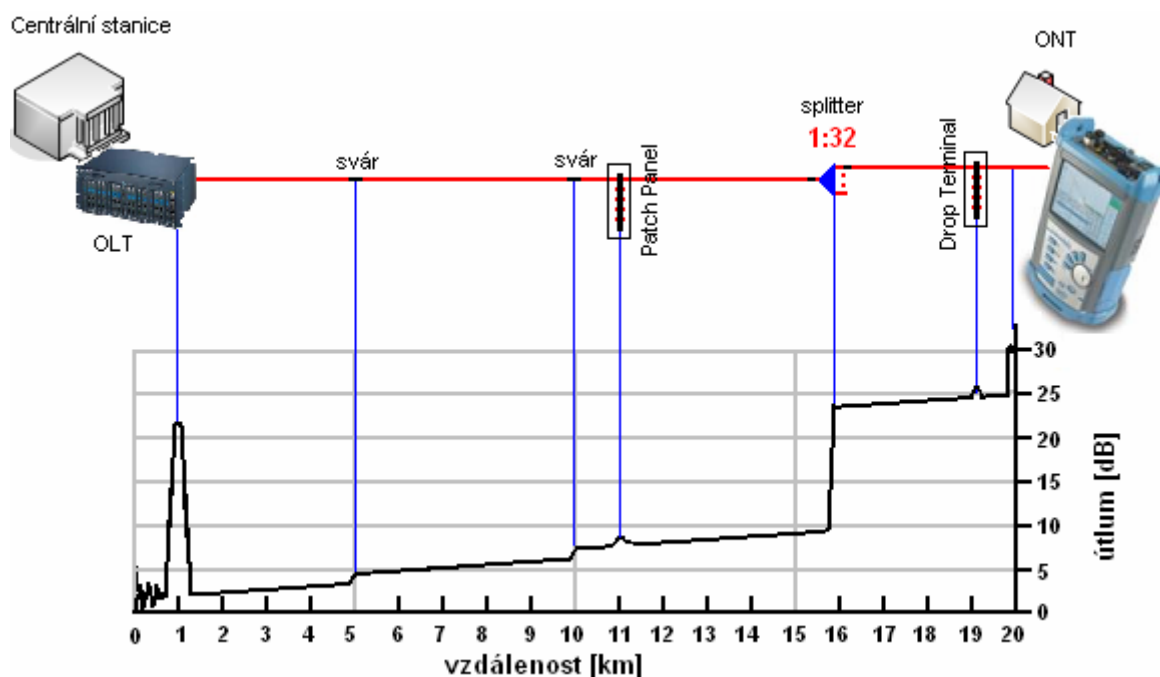
První měření se provádí už při výstavbě trasy. Používá se jak přímá metoda OLTS, tak reflektometrická OTDR. Měří se na všech provozních vlnových délkách a v obou směrech. V případě měření celého úseku trasy od OLT k ONT je problém v tom, co změříme za odbočnicí. Ve změřeném průběhu se za odbočnicí zobrazují všechna zakončení dohromady a jsou zkreslené. Potom nejsme schopni rozpoznat konce u jednotlivých odbočení. Při měření se útlum odbočnice jeví nižší než ve skutečnosti je, konce a prasklá vlákna se projeví jen útlumovými skoky. Útlum sváru a konektorů bude za odbočnicí zdánlivě nižší, čím více větví odbočnice bude dosahovat do dané vzdálenosti a čím vyšší bude na dané větvi útlum. Nejvhodnější je proto měřit trasu po jednotlivých úsecích již při výstavbě. K měření po sekcích nám vystačí i měřidlo OLTS, se kterým proměříme jak trasu do OLT k odbočnici a od odbočnice k ONT, ale také můžeme měřit parametry odbočnic. Pokud je síť realizována kaskádním zapojením, proměříme také úseky mezi odbočnicemi.

Pokud požaduje zákazník kompletní charakteristiku trasy, pak je průkaznější měření směrem od ONT. Při měření celé trasy až k OLT je opět problém s odbočnicemi, které vykazují velký útlum. Pokud nemají přístroje dostatečný dynamický rozsah, nemusíme korektně změřit přístupovou část mezi OLT a odbočnicí. Příklad pro testování zpětného směru na provozní vlnové délce je na Obr. 5.1. V případě distribuce CATV je nutné měřit ORL i ze směru od OLT. Pomocí OTDR jsou hodnoty ORL jednotlivých konektorů na větvích za odbočnicí zkresleny podobně jako při měření IL. Průkaznější je opět měření z ONT.

Nejlépe je měřit každý segment už při výstavbě krátkým impulsem. Krátký impuls = kratší mrtvá zóna, ale menší dynamický rozsah. U PON požadujeme dynamický rozsah 32 dB (= doporučený útlum trasy 24 dB + 8 dB šumová rezerva). Pokud měříme při výstavbě ohyby, musíme brát v úvahu rozdílný útlum na různých vlnových délkách. Nejvhodnější je měřit na vlnové délce 1625 nm, kde je útlum ohybů nejvyšší, tedy nejlépe lokalizovatelný.

Další měření na trase jsou spojena s aktivací služeb. Před zahájením vlastního provozu je nutné proměřit úroveň měřidlem výkonu na OLT pro data dopředný směr 1490 nm a video na 1550 nm a také na všech výstupních portech odbočnic a ve všech odbočovacích bodech (drop terminálech). Ty samé parametry je potřeba změřit i při aktivaci ONT, navíc měříme ještě vysílací úroveň pro data ve zpětném směru 1310 nm. Tohle měření výkonových úrovní je vhodné provádět již při výstavbě, pokud je trasa už svařená, pak máme k dispozici jen dvě měřicí místa, a to v centrální stanici na OLT a u koncového zákazníka v ONT.

V dnešní době stále rostou nároky na kvalitu služeb QoS a proto se začínají nasazovat monitorovací systémy. Měří se na vlnové délce 1625 nm (nebo 1650 nm, podle doporučení by měl být rozestup mezi měřicí a provozní vlnovou délkou alespoň 100 nm) a je potřeba použít filtr, ale se k měření nepřimíchaly provozní vlnové délky. Na živém vlákne tak můžeme lokalizovat zlomení vlákna, ohyby, mikroohyby, špatné sváry a vadné konektory. V případě poruchy u všech účastníků se provádí měření pomocí OTDR ze směru od OLT k účastníkům, pokud je porucha u jednoho účastníka, měří se z ONT.



Obr. 5.1: Měření zpětného směru ze strany ONT

Na každé měření samozřejmě působí řada nepříznivých jevů. Patří mezi ně volba použité měřicí metody, kvalita měřicích šňůr, ohyby na šňůrách, rozdíly mezi typy vláken měřené trasy a měřicích šňůr, možné nečistoty na čele konektorů, kvalita konektorových spojení a další. Především kvalita konektorů je to, co jsme schopni před vlastním měřením ovlivnit. Konektor

---

nejprve očistíme nasucho a poté isopropylalcholem. Pro čištění se dodávají speciální soupravy. Ke kontrole čistoty konektoru je vhodné použít vláknový mikroskop, nebo lépe videoskop, který na monitoru zobrazí detailně čelo vlákna a hned vidíme případné nečistoty. Pokud používáme mikroskop, musíme se přesvědčit, že je vypnutý zdroj záření.

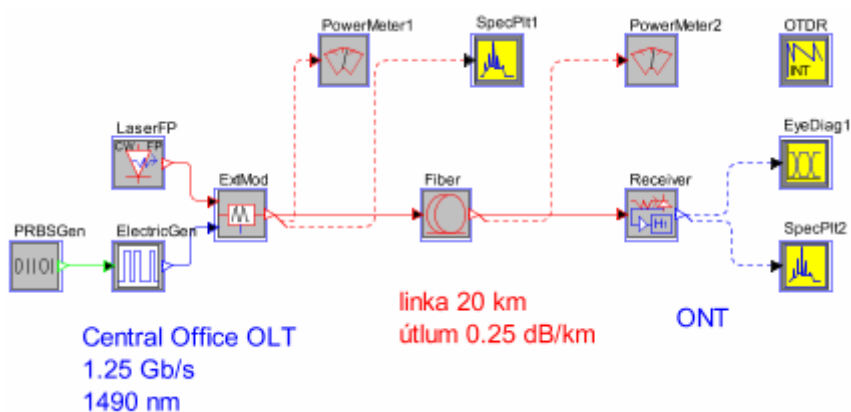
Pro účel testování provozu na vlákně slouží indikátor živého vlákna, který umožňuje měřit orientační hodnotu útlumu i bez nutnosti přerušení a je schopen určit i směr provozu. Pro kontrolu mechanického poškození na kabelu v rozvaděčích můžeme použít přístroj pro vizuální zaměrování poruch s červeným laserem na 635 nm. Uplatnění najde pro měření v optických rozvaděčích, na vnitřní kabeláži a propojovacích šňůrách do vzdáleností 5 km. [4]

## 6 SIMULACE SÍTĚ POMOCÍ PROGRAMU OPTSIM

OptSim je simulační systém pro návrh a analýzu fyzické vrstvy optických sítí. Díky obsáhlé knihovně komponent umožňuje volbu mnoha typů prvků užívaných při budování optických sítí. Umožňuje simulovat např. WDM, TDM, CATV i sítě FTTx. Využití najde především při návrhu rozsáhlejších sítí, kde simulace odhalí případné nedostatky. Za pomoci programu OptSim jsem provedl teoretické porovnání dvou typů optických přístupových sítí.

### 6.1 Porovnání sítí P2P a P2MP

První příklad popisuje topologii P2P, tedy připojení koncového účastníka ONT přímo k OLT. Schéma zapojení je vidět na Obr. 6.1. Přenosový systém se skládá ze tří částí. První část reprezentuje OLT v centrální stanici, druhá část je vlastní přenosová trasa a třetí část představuje ONT.



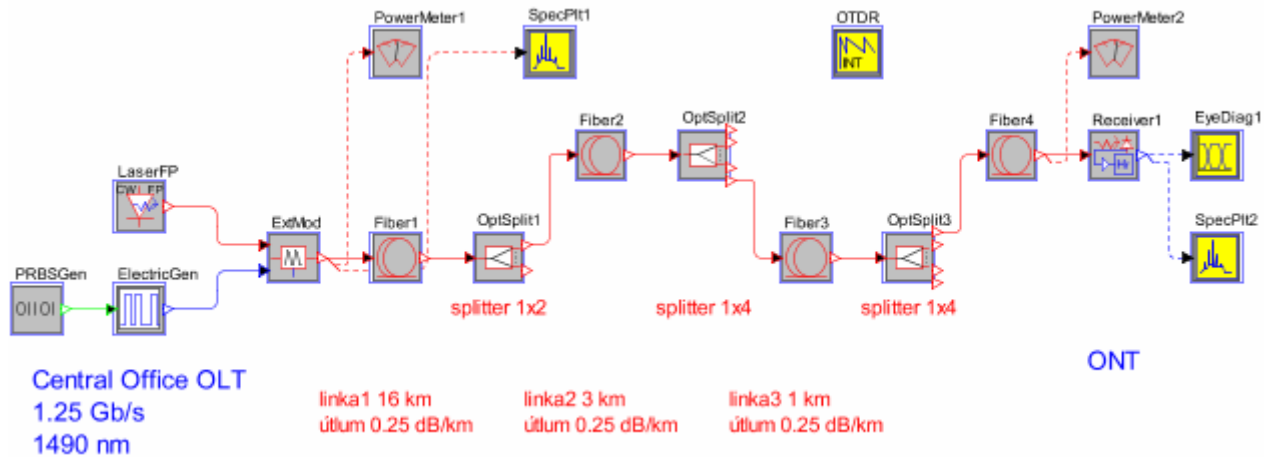
Obr. 6.1: Síť s topologií P2P

Samotná vysílací část OLT je složena z několika bloků. Blok *PRBSGen* slouží ke generování pseudonáhodné posloupnosti dat s rychlostí 1,25 Gb/s. Blok *ElectricGen* vytváří z pseudonáhodné posloupnosti dat napěťový signál i intervalu  $\langle 0; 1 \rangle$  V. Použitá modulace je typu NRZ. Blok *LaserFP* reprezentuje zdroj záření. Jedná se o Fabry-Perot laser s vysílacím výkonem 1 mW a provozovaný na vlnové délce 1490 nm. Jako externí modulátor slouží blok *ExtMod*.

Optická linka je tvořena jednovlákenným vláknem. Útlum vlákna je 0,25 dB/km a nejsou uvažovány disperzní vlivy. Délka vlákna byla zvolena 20 km.

Přijímací část OLT tvoří blok *Receiver*, uvnitř kterého je zapojen PIN fotodetektore, předzesilovač a filtr typu dolní propust.

Druhý příklad slouží k demonstraci topologie P2MP s kaskádním dělením. K jednomu OLT může být připojeno až 32 ONT. Schéma zapojení je vidět na Obr. 6.2. Vysílací a přijímací části systému jsou shodné jako v předchozím příkladu. Vlastní trasa je složena ze tří úseků o vzdálenostech 16, 3 a 1 km. Na trase jsou použity optické odbočnice s dělicími poměry 1:2, 1:4 a 1:4 s celkovým dělením 1:32. Kaskádní dělení bylo zvoleno pro názornou ukázkou průběhu útlumu.

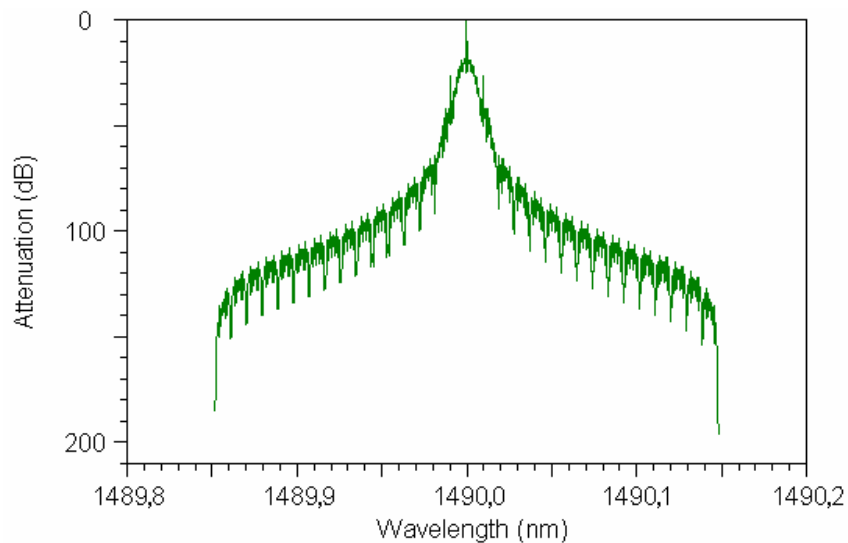


Obr. 6.2: Síť s topologií P2MP

Pro vyhodnocení trasy jsou využity jak bloky pro měření výkonu *PowerMeter*, tak i blok *OTDR*, který umožňuje zobrazit průběh útlumu na trase. Bloky *EyeDiag* a *SpecPlt* slouží pro zobrazení diagramu oka a spektra signálu.

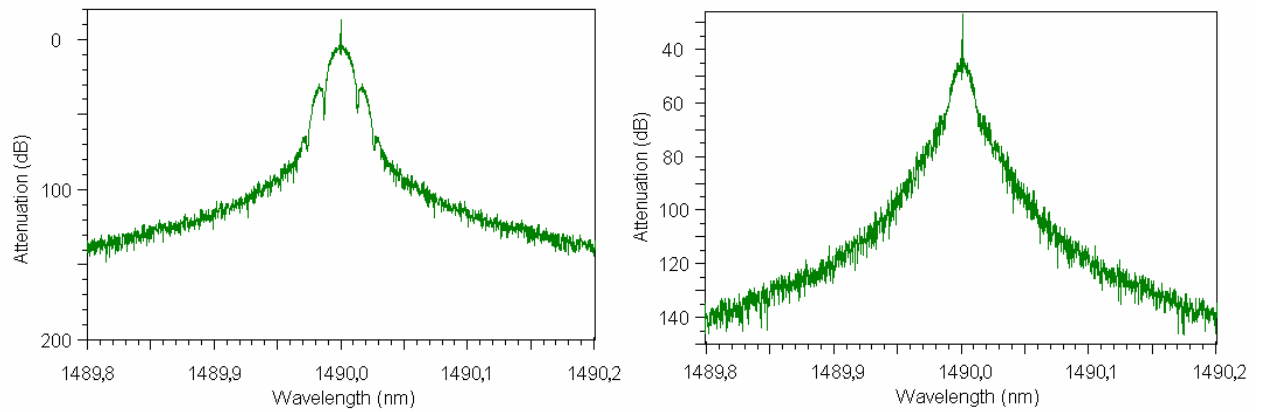
## 6.2 Výsledky simulace

V obou sítích byl použitý stejný zdroj záření, jeho spektrum je uvedeno na Obr. 6.3.



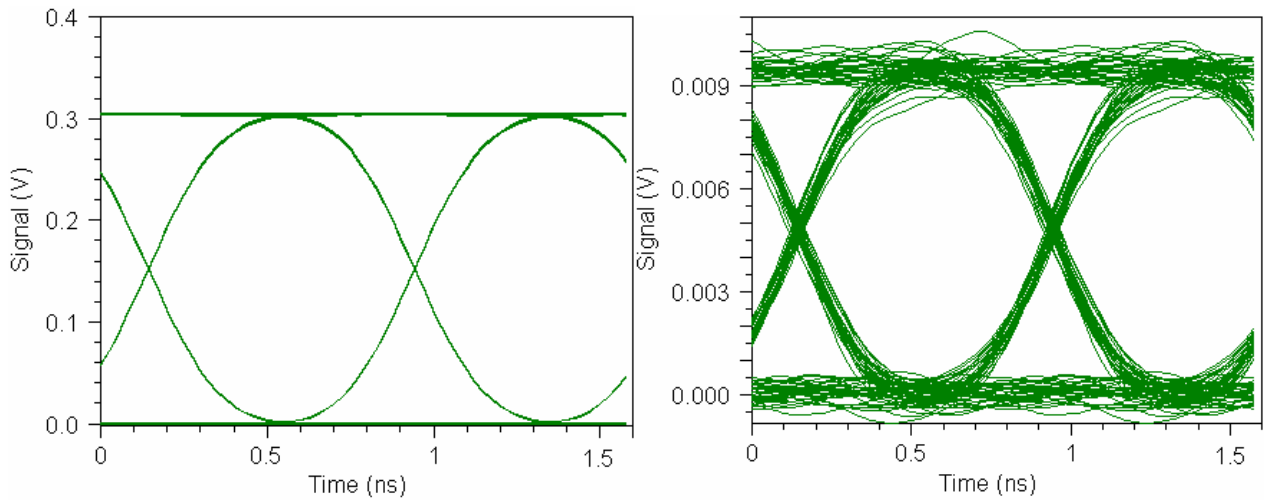
Obr. 6.3: Spektrum vysílače

Porovnání spekter výstupních signálu pro topologie P2P a P2MP ukazuje Obr. 6.4.



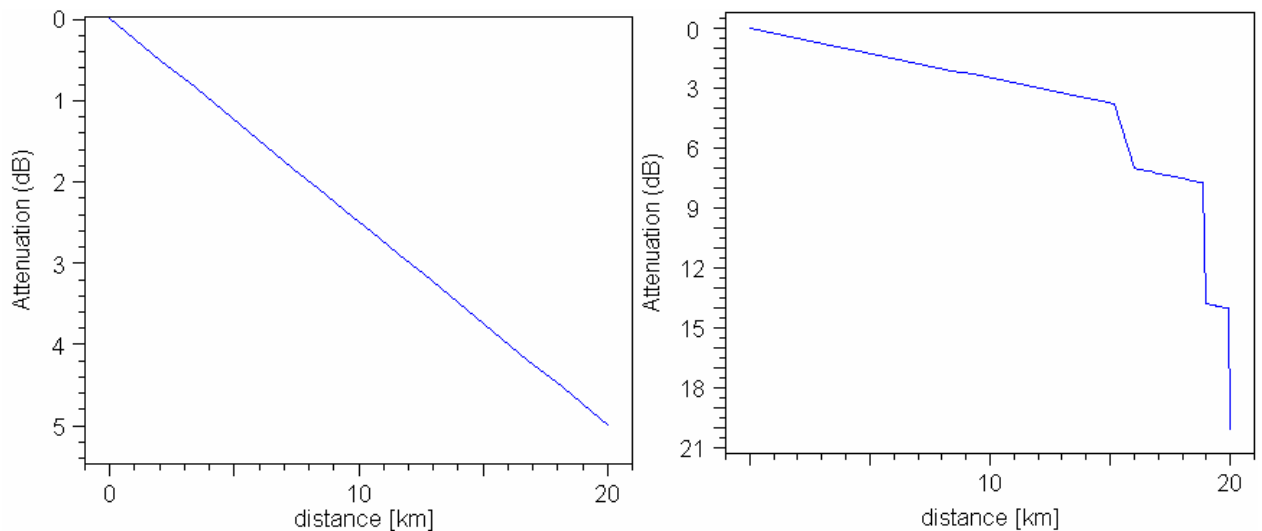
Obr. 6.4: Přijaté spektrum P2P a P2MP

Porovnání diagramů oka výstupních signálu pro topologie P2P a P2MP je na Obr. 6.5.



Obr. 6.5: Diagram oka P2P a P2MP

Porovnání průběhu útlumu na trase pro topologie P2P a P2MP znázorňuje Obr. 6.6.



Obr. 6.6: Průběh útlumu trasy P2P a P2MP

### 6.3 Zhodnocení simulace

Obě trasy měly stejnou vzdálenost, aby bylo možné simulované průběhy vzájemně porovnávat. Obr. 6.3 a Obr. 6.4 zobrazují spektra vysílaného a přijatého signálu. Přijaté spektrum je u obou topologií sice mírně zkreslené, ale i tak je šířka spektra menší než 0,5 nm a to až při útlumu přesahujícím 100 dB. S Fabry-Perotovým vysílačem a APD fotodiodou je možné bez problému provozovat systémy DWDM.

Průběhy diagramů oka na Obr. 6.5 více vypovídají o zkreslení vlivem útlumu na trase. V případě topologie P2P není diagram oka žádným způsobem nezkreslený ani deformovaný. Topologie P2P umožňuje přivést optické vlákno až k 80 km vzdáleným účastníkům, proto při simulaci trasy byla naměřena nulová chybovost systému. U topologie P2MP je diagram oka sice mírně zkreslený, ale na chybovost systému to nemá příliš velký vliv. Průběh není nijakým způsobem deformovaný, takže ke zkreslení došlo vlivem útlumu trasy. Deformaci oka by způsobily až disperzní vlivy a nelinearity vlákna, ale v tomto konkrétním příkladu nebyly uvažovány.

Průběhy útlumu na trase ukazuje Obr. 6.6. Jak se dalo očekávat, tak u topologie P2P je dán útlum trasy pouze útlumem optického vlákna. V tomto případě byl útlum vlákna 0,25 dB/km, a to při vzdálenosti 20 km dává útlum trasy 5dB. V případě topologie P2MP byly optické odbočnice zapojené do kaskády a tak vznikl celkový dělicí poměr 1:32. Z průběhu útlumu trasy je názorně vidět, že odbočnice s dělením 1:2 má útlum 3 dB a odbočnice s dělením 1:4 vykazují útlum 6 dB. Útlum optického vlákna byl zvolen 0,25 dB/km. Celkový útlum 20 km dlouhé trasy je tedy 20 dB.

Topologie P2P umožňuje dosáhnout velkých vzdáleností, ovšem za cenu zvýšení nákladů na výstavbu trasy. Hlavní předností je vysoká přenosová kapacita, kterou přímé spojení nabízí. V případě topologie P2MP je vzdálenost limitována na 20 km. Dle doporučení ITU-T G.984.2 pro standard GPON jsou definovány tři třídy v závislosti na útlumu trasy, viz Tab. 7.2. Navrhnutá síť spadá do první třídy A s útlumem maximálně 20 dB. V této třídě jsou nároky kladené na výkon vysílače a citlivost přijímače nejmenší.

Program je vhodný pro analýzu navrhované trasy ještě před vlastní výstavbou. Umožňuje předem určit výkonovou úroveň vysílače a citlivost fotodetektoru v závislosti na vzdálenosti linky, útlumu a dělicím poměru. Nevýhodou je, že nedokáže simulovat konkrétní provoz na lince, jako jsou datové, VoIP a televizní aplikace a vyhodnocovat vytížení linky. Program slouží především pro stanovení výkonnosti fyzické vrstvy optických sítí.

## 7 PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE

Na konkrétním příkladu zde bude rozebrána studie návrhu přístupové sítě. Bude zpracována kompletní projektová dokumentace, která je potřebná u každého projektu optické sítě. Jako příklad jsem zvolil lokalitu, kde vznikla poptávka na poskytování datových a telekomunikačních služeb. Městské sídliště s 8 bytovými domy bude propojeno optickým kabelem na stávající telekomunikační síť.

Situace bude řešena dvěma rozdílnými přístupy. V první části bude připojení řešeno jako FTTB. Tento způsob je vhodný pro prvotní investici, díky nízkým pořizovacím nákladům. Aktivní technologie bude umístěna v obytných domech v rozvodných skříních a samotný domovní rozvod bude realizován metalickým vedením. V druhém případě půjde o přivedení optického vlákna až ke koncovému uživateli. FTTH připojení bude realizováno jako pasivní optická síť podle standardu GPON. [12]

Ve vybrané lokalitě již existuje původní kabelová síť s možností poskytnout zákazníkům připojení k internetu. Postupem času však vrůstají nároky na kvalitu služeb a současné připojení nedokáže poskytnout přenosovou kapacitu jako optická vlákna. Optickým kabelem budou propojeny domy na ulici Voskovcova a Peškova. V současnosti je optický kabel přiveden do domu Voskovcova 2 a zde je nájemníkům poskytováno FTTB připojení přes metalické vedení. Navrhované řešení si klade za cíl rozšíření stávajícího připojení do ostatních bytových domů s minimálními zřizovacími náklady. Následně bude předveden návrh sítě FTTH pomocí nejmodernějších technologií s cílem poskytnout služby Triple Play. Přehledová situace je naznačena na Obr. 7.1.



Obr. 7.1: Přehledová situace

Bytové domy A-1, A-2 a A-3 jsou 12-ti patrové. V každém patře jsou 4 byty. Bytové domy A-4 a B-1 jsou 4 patrové, v každém patře je 8 bytů. Bytové domy B-2, B-3 a B-4 jsou 5-ti patrové a v každém patře jsou 4 byty. Celkově je v dané lokalitě 8 bytových domů s celkovým počtem 59 pater a 268 koncových účastníků. Při návrhu sítě FTTB nebudou započítána konkrétní koncová zařízení. Bude jen na zákazníkovy zda se rozhodne využívat pouze vysokorychlostní datové připojení k internetu, nebo kompletní nabídku služeb Triple Play. V případě pasivní optické sítě budou vybrána vhodná koncová zařízení, která budou plně kompatibilní s technologií v centrální stanici.

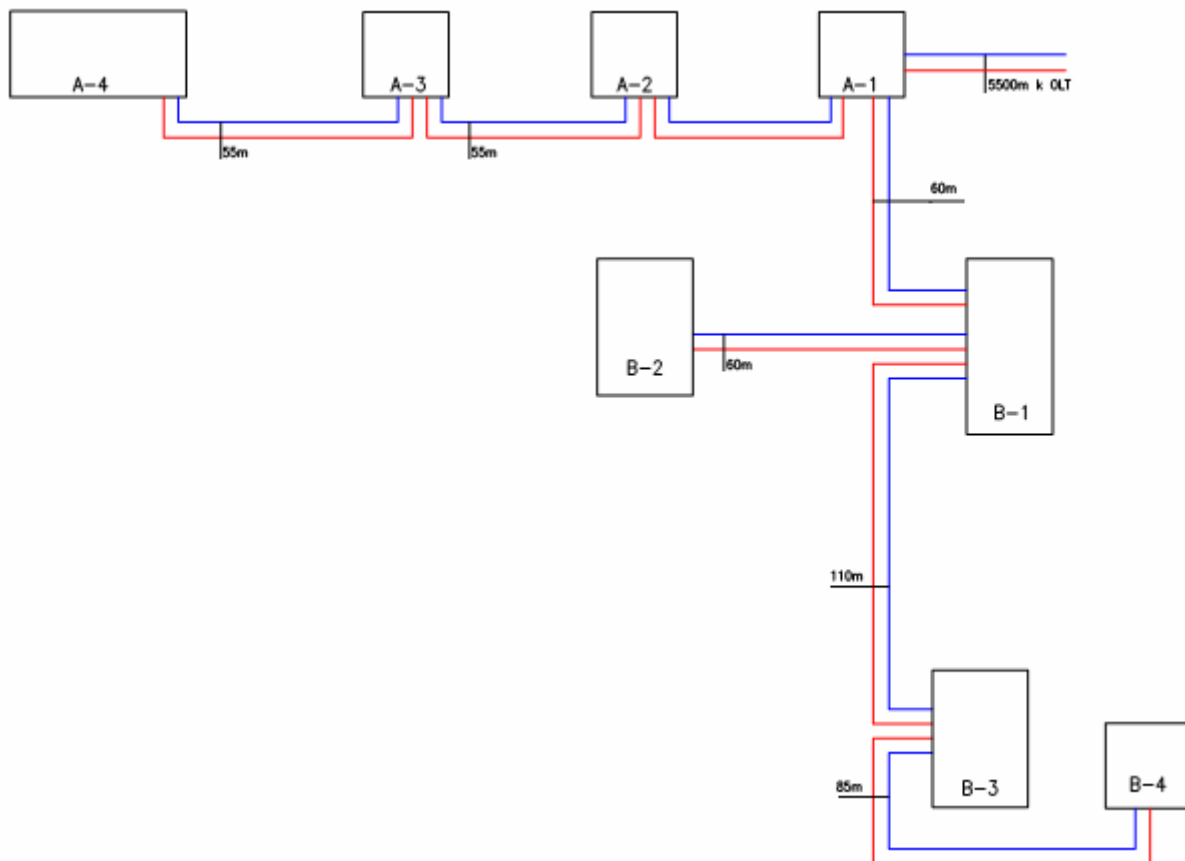
## 7.1 Situace FTTB

V rámci modernizace a zkvalitnění telekomunikačních služeb budou prostřednictvím optických kabelů vybudovány rozvody pro přenos služeb Triple Play. Optické kabely budou zafouknuty do mikrotrubiček v HDPE chrániče uložené ve výkopu. Kabely budou ukončeny v datových skříních a připojeny do přepínače s ethernet porty. V bytových domech bude rozvod realizován kabely UTP Cat5e na základě poptávky konkrétního uživatele. Koncová zařízení budou volena v závislosti na poskytovaných službách.

### 7.1.1 Popis trasy

Optický kabel z centrální stanice je již přiveden do domu A-1. Z tohoto místa bude rozveden do dalších domů v mikrotrubičkách. Trasa A na ulici Voskovcova bude realizována uložením chráničky HDPE 40/33. Výkop se bude provádět souběžně s vedením chodníku v hloubce 80cm. Trasa B na ulici Peškova bude řešena stejným způsobem, tedy uložením podél chodníků. Při přechodu silnice mezi budovami A-1 a B-1 a mezi budovami B-1 a B-2 bude proveden řízený protlak s chráničkou, aby nedošlo k porušení vozovky a omezení povozu. Situace vedení mikrotrubiček je naznačena na Obr. 7.2. V HDPE chrániče budou zafouknuty dvě mikrotrubičky 10/8 barvy modré a červené, přičemž jedna bude sloužit jako rezervní. Podrobný náčrt je umístěn v příloze č.1.

HDPE chráničky budou ukončeny v domech hned za obvodovou zdí. Do bytových domů A-1 a B-1 bude vstupovat 6 mikrotrubiček, do bytových domů A-2, A-3, B-3 budou vstupovat 4 mikrotrubičky a do bytových domů A-4, B-2 a B-4 budou vstupovat 2 mikrotrubičky. Ve vnitřních prostorách budou mikrotrubičky vedeny v liště 40/40 mm až k datové skříně. V bytových domech A-1 a B-1 bude 6 mikrotrubiček vedeno v liště 60/40 mm.



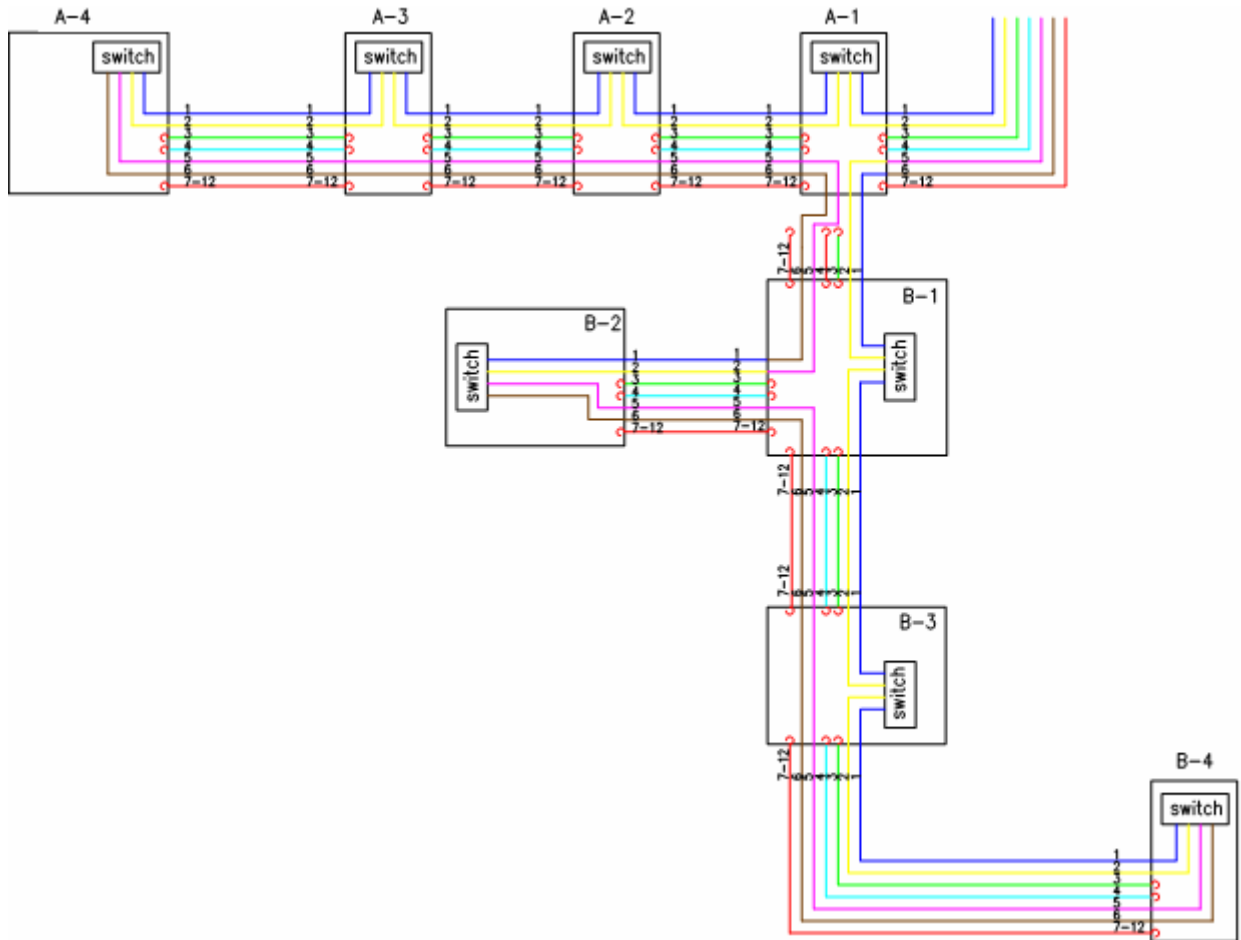
Obr. 7.2: Vedení mikrotrubiček FTTB

### 7.1.2 Technické řešení

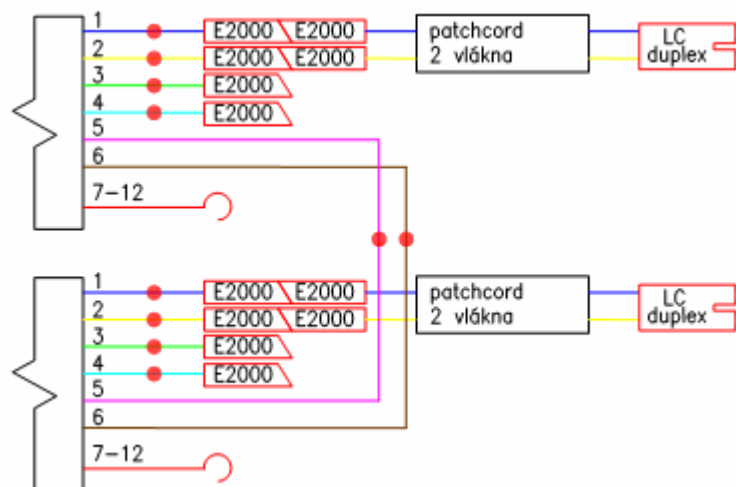
Připojení bude realizováno optickým kabelem typu Ribbon od firmy OFS s 12-ti vlákny G.652.D. Schéma vedení optických vláken je na Obr. 7.3. Optický kabel vedený z centrální stanice bude ukončen v datovém rozvaděči. V úložné polici bude ponechána rezerva kabelů v délce 15m. Aktivní vlákna budou 1 a 2, vlákna 5 a 6 budou zapojena v záložním směru. Přenos bude realizován duplexně na vlnové délce 1310 nm. Pro dopředný směr jsou vyhrazena vlákna 1 a 5, pro zpětný směr slouží vlákna 2 a 6. Vlákna 1-6 budou navařena na pigtaily, uložena v optické vaně a ukončena na propojovacím panelu s konektory E2000/APC. Zbylá vlákna budou sloužit jako rezerva, která bude uložena v přechodové skříni. Zapojení jednotlivých optických vláken je v příloze č.2.

Aktivní prvky budou napojeny na vlákna 1 a 2 v pořadí bytový dům A-1, A-2, A-3, A-4. V bytovém domě A-4 se provede přepojovací smyčka na vlákna 5 a 6, která budou vedena dále do bytového domu B-1, kde budou navařena na vlákna 1 a 2 a povedou do bytového domu B-2. V bytovém domě B-2 se provede přepojovací smyčka na vlákna 5 a 6 a vlákna budou vedena dále do bytového domu B-4. V bytovém domě B-4 se provede přepojovací smyčka na vlákna 1 a

2 a vlákna budou vedena dále do bytových domů B-3, B-1 a A-1. Na Obr. 7.4 je znázorněn způsob ukončení vláken pro bytové domy se čtyřmi mikrotrubičkami A-2, A-3, B-3.



Obr. 7.3: Vedení vláken



Obr. 7.4: Příklad ukončení vláken

V bytovém domu A-1 budou vlákna 1 a 2 navařena na vlákna 5 a 6 z centrální stanice a tím dojde k uzavření kruhové topologie. Všechna vlákna 1-6 budou ukončena v propojovacích panelech a vlákna 7-12 zůstanou v rezervě. Podrobné schéma ukončení vláken pro jednotlivé bytové domy je v příloze č.3. [11]

### 7.1.3 Použité technologie

Mikrotrubičky budou ukončeny v přechodové skříní umístěné pod datovou skříní firmy Micos. Zde také budou uloženy rezervy optických kabelů v délce 15m. V datové skříní bude umístěna aktivní technologie firmy Allied Telesis, konkrétně půjde o přepínač AT-x900-48FE s čtyřmi SFP porty a 48 x RJ45 portem. Jako záložní zdroj napětí pro přepínače bude sloužit modul AT-PWR01-80 od firmy Allied Telesis. Optické vložné transceivery (SFP – Small Form-factor Pluggable) budou osazeny dva od firmy GigaLight pracující na vlnové délce 1310 nm s duplexním LC konektorem. Pasivním prvkem v datové skříní bude optická vana s propojovacím panelem firmy R&M osazená 12-ti konektory E2000/APC. Ke spojení z propojovacího panelu na optický port přepínače použijeme duplexním patchcord s dvěma konektory E2000/APC a duplexním konektorem LC v délce 1m. Rozmístění jednotlivých prvků bude v souladu s dokumentací uvedenou v příloze č.4. Do datové skříně bude přivedeno napájecí napětí 230 V z elektroměrového rozvaděče ze společné spotřeby.

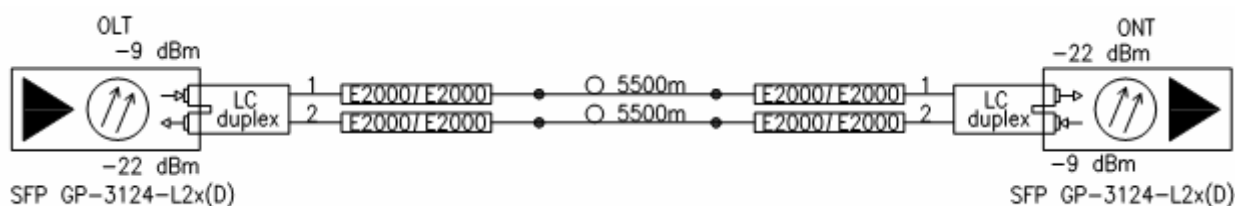
V centrální stanici bude umístěna aktivní technologie od firmy Allied Telesis. Konkrétně půjde o zařízení SwitchBlade x908, které splňuje požadavky na nejnáročnější síť. Výhodou toho zařízení je škálovatelnost, protože nabízí množství modulů osazených jak porty RJ45, tak porty SFP. V našem případě bude postačovat jeden modul AT-XEM-12S s 12-ti 100/1000BASE-X SFP porty. Jednotlivé porty budou osazeny transceivery od firmy GigaLight pracující na vlnové délce 1310 nm s duplexním LC konektorem. Všechna optická vlákna vedoucí z centrální stanice budou navařena na pigtaily s konektory E2000/APC ukončenými na panelu optické vany, do které budou uloženy sváry. Ke spojení z propojovacího panelu na optický port přepínače použijeme duplexním patchcord s dvěma konektory E2000/APC a duplexním konektorem LC v délce 1m. Osazeny budou pouze dva aktivní optické transceivery a spojeny budou s vlákny 1,2 a 5,6. Jako záložní zdroj napětí bude sloužit modul AT-PWR01-80.

V Tab. 7.1 je uveden soupis materiálu potřebný pro všechny bytové domy. Délka optického kabelu a mikrotrubiček je uvedena pouze pro propojení mezi domy. Do výpočtu jsou zahrnuty rezervy kabelů v délce 15 m na každé straně optického kabelu. Položená trasa z centrální stanice do domu A-1 započítána není.

Množství	Název	Výrobce	Typ	Poznámka
<b>Central office - OLT</b>				
1	optický přepínač	Allied	SBx908	modulární přepínač
1	modul 100/1000BASE-X	Allied	XEM-12S	12 SFP portů
1	záložní zdroj	Allied	AT-PWR01	
2	optický transceiver	GigaLight	GP-3124-L2x	1310nm, LC duplex
2	patchcord	R&M	9-E2A/LC-1D	E2000/APC-LC/PC, duplex, 1m
1	optická vana	R&M	R305893	12xE2000/APC 8°, 1U
<b>Pasivní část trasy</b>				
480	chránička optických kabelů	Sitel	HDPE 44/33 mm	barva zelená
2x620m	mikrotrubička do chráničky	Sitel	10/8 mm	barva modrá a červená
700m	optický kabel	OFS	AT-3BE8M4X-012	Ribbon 12/6 vl., G.652.D
<b>Ukončení v jednom domě - ONT</b>				
8	přepínač ethernet	Allied	AT-x900-48FE	4xSFP + 48xRJ45 - 1U
8	záložní zdroj	Allied	AT-PWR01	
16	optický transceiver	GigaLight	GP-3124-L2x	1310nm, LC duplex
8	MNS - nástěnná datová skříň	Micos	8670.00/09A0C1UZ	velikost 500x570 - 9U
8	přechodová skříň	Micos	SOP67	pro mikrotrubičky
32	držáky svárů	Micos	TC-250S-4	4 pozice
8	blok výklopných kazet	Micos	TC-248S-4	Blok 4 kazet
8	police úložná	Micos	8A67.75/0005F	rezervy kabelů, 2U
8	police pro přepínač	Micos	8A29.00/1005F	1U, hloubka 400mm
8	držák nosníků	Micos	8835.00/0000F	přípevnění kazet - 1U
8	optická vana	R&M	R305893	12xE2000/APC 8°, 1U
16	patchcord	R&M	9-E2A/LC-1D	E2000/APC-LC/PC, duplex, 1m

Tab. 7.1: Seznam materiálu FTTB

Použité optické transceivery SFP umožňují nastavit úroveň optického výkonu v rozmezí od -9 dBm do -3 dBm. Citlivost PIN diody je až -22 dBm. Pro náš případ postačí nastavit výkon na nejmenší hodnotu, tedy -9 dBm. Při výpočtu celkového útlumu jsem volil následující hodnoty útlumu pro jednotlivé prvky: konektory LC – 0,4 dB a E2000/APC – 0,3 dB, svár – 0,1 dB, vlákno G.652.D OFS – 0,34 dB/km na vlnové délce 1310 nm. Podrobnější zapojení všech prvků na trase je možné vidět na Obr. 7.5. Celkový útlum trasy z centrální stanice po bytový dům A-1 bude podle výpočtu 3,47 dB. V tomto případě máme dostatečnou rezervu, protože přijímač je schopen detekovat signál zeslabený o 13 dB, což by stačilo na trasu dlouhou až 40 km.



Obr. 7.5: Útlum trasy FTTB

Mezi jednotlivými domy je maximální vzdálenost do 100m. Pokud bychom chtěli snížit pořizovací náklady, bylo by možné mezi domy použít optické transceivery na menší vzdálenost s menším vysílacím výkonem a nižší citlivostí, ale v porovnání s cenou aktivních technologie je to zanedbatelná položka.

Pokud budeme chtít nabízet kompletní služby Triple Play, pak bude mít každý zákazník přivedený kabel UTP Cat5e do brány AT-iMG-634-R2 firmy Allied Telesis. Tato brána umožňuje poskytování širokopásmových IP služeb jako jsou data, VoIP a IPTV. V případě, že zákazník nebude mít zájem o služby digitální televize a telefonu, bude pro připojení do bytu postačovat základní model směrovače. Řešení FTTB je prvním krokem k pronikání optického vlákna až ke koncovému uživateli. Umožňuje poskytovat vysokorychlostní služby při nižších zřizovacích nákladech.

## 7.2 Situace FTTH

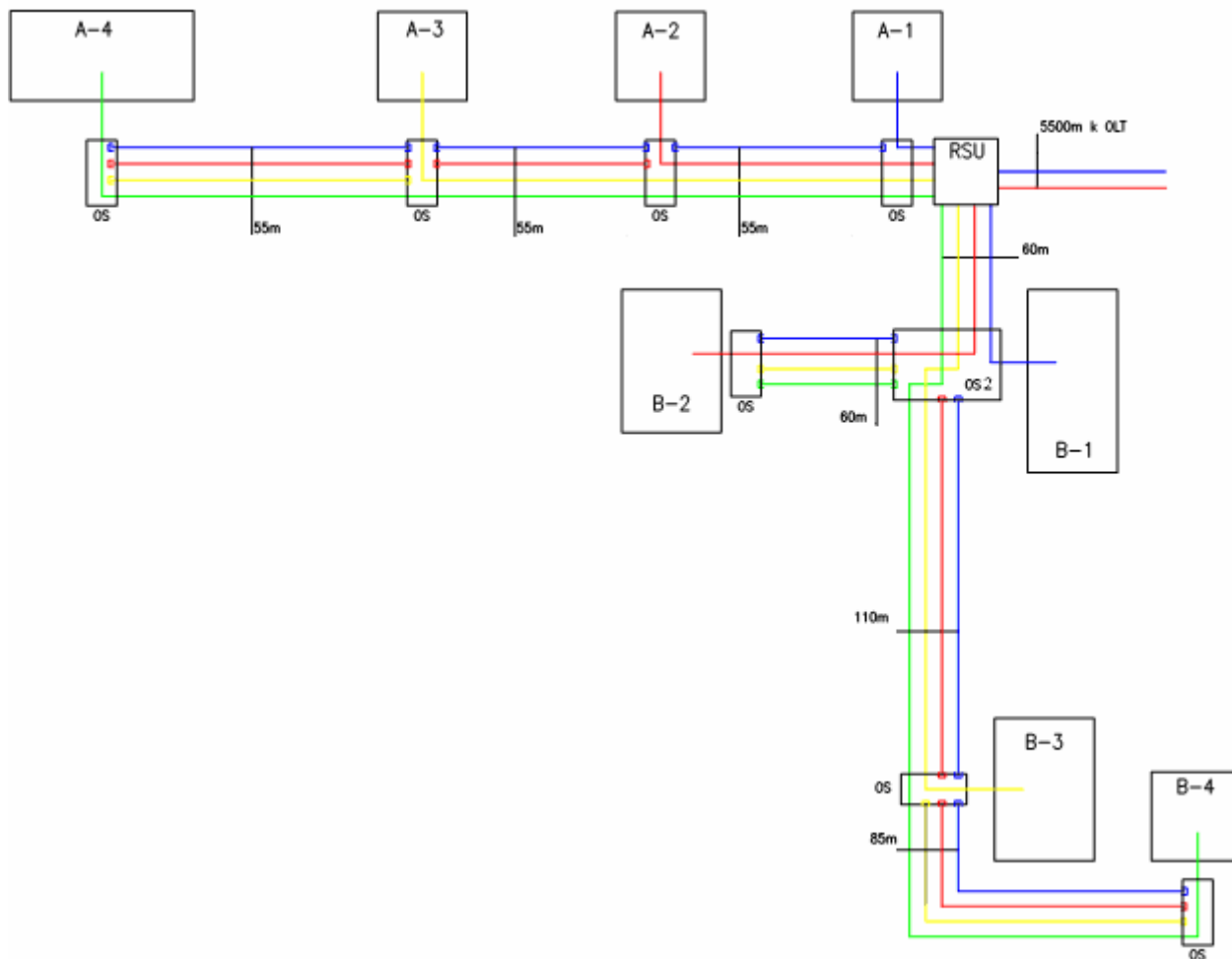
Pro připojení optického vlákna až do bytu bylo zvoleno řešení pasivní optickou sítí podle standardu GPON. Ve standardu jsou definovány přenosové rychlosti 2,5 Gbit/s pro dopředný směr a 1,25 Gbit/s pro zpětný směr. Maximální dělicí poměr je 1:64. Tak jsme schopni poskytnout asymetrické přenosové rychlosti 40/20 Mbit/s pro každého uživatele a možnost využití Triple Play služeb.

### 7.2.1 Popis trasy

Optický kabel z centrální stanice bude ukončen u domu A-1 ve venkovním rozvaděči RSU (Remote Subscriber Unit). Odtud bude uloženo podél chodníku na ulici Voskovcova a Peškova v hloubce 80 cm sedm mikrotrubiček opláštěvaných HDPE fólií. Mikrotrubičky v HDPE fólii nepovedou přímo do jednotlivých bytových domů, ale u každého domu budou rozděleny ve spojce typu T. Nákres vedení trubiček je na Obr. 7.6, pro přehlednost nejsou zakresleny tři rezervní mikrotrubičky, které budou nevyužity. Z optické spojky do domu povedou čtyři silnostěnné mikrotrubičky 10/8 v HDPE fólii. Využita bude pouze jedna mikrotrubička a zbylé tři slouží jako rezerva, ve výkrese nejsou pro přehlednost naznačeny. Při přechodu silnice mezi budovami A-1 a B-1 a mezi budovami B-1 a B-2 bude proveden řízený protlak s chráničkou, aby nedošlo k porušení vozovky a omezení provozu.

Podrobný nákres vedení mikrotrubiček je umístěn v příloze č.5. Na trase budou použity spojky od firmy Sitel. Konkrétně půjde o spojku T MATRIX, která je vodotěsná a slouží k propojení svou HDPE chrániček a jednomu odbočení. Spojka je dostatečně velká pro snadnou manipulaci s mikrotrubičkami. U domu B-1 budou umístěny dvě spojky za sebou, abychom

dosáhli odbočení do domu B-1 svazkem čtyř mikrotrubiček i do domu B-2 svazkem sedmi mikrotrubiček v HDPE fólii. Na Obr. 7.6 je tato situace pro přehlednost naznačena jednou velkou spojkou OS2. Svazky čtyř mikrotrubiček vedoucích z každé spojky budou v domech ukončeny za obvodovou zdí a uvnitř bude optický kabel veden v liště 40/40 mm až do rozvaděče.

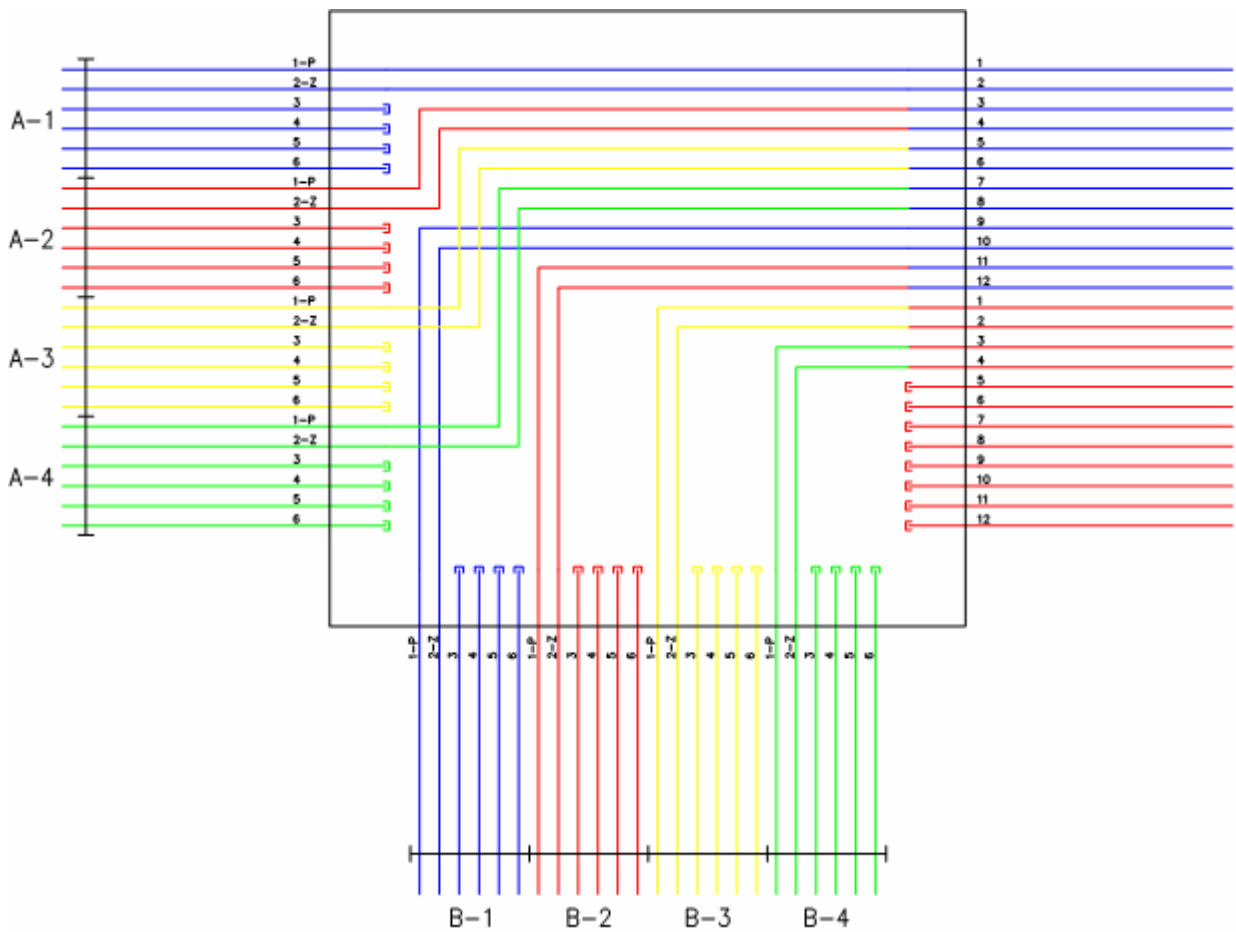


Obr. 7.6: Vedení mikrotrubiček FTTH

### 7.2.2 Technické řešení

Do každého domu povede z RSU samostatný optický kabel typu Ribbon od firmy OFS s šesti vlákny G.652.D. Schéma vedení optických kabelů je v příloze č.6. Propojení vláken z centrální stanice do bytových domů v RSU je naznačeno na Obr. 7.7 a v příloze č.7. Navařena budou vždy vlákna 1 a 2, přičemž vlákno 1 bude aktivní a vlákno 2 bude sloužit jako rezerva. Optický kabel bude v domě ukončen v rozvaděči a v úložné polici bude ponechána rezerva 15 m. Pro simplexní přenos se bude využívat vlnové délky 1490 nm pro dopřerný směr, 1310 nm pro zpětný směr a případně 1550 nm pro distribuci TV signálu. V datovém rozvaděči v bytových

domech A-1, A-2 a A3 bude umístěna optická odbočnice 1:64 s konektory LC od firmy SQS. V ostatních domech bude použita odbočnice 1:32 s konektory LC.



Obr. 7.7: Propojení vláken v RSU

Konektorové optické odbočnice byly zvoleny z důvodu možnosti pozdějšího měření a snadnějšího řešení problémů. Útlum, který do trasy konektory vnáší, je v těchto případech zanedbatelný. Pokud uvažujeme maximální útlum 0,1 dB na svár a 0,4 dB na konektor LC, pak dojde k nárůstu útlumu nejvýše o 0,6 dB. Dle ITU-T se celkový útlum trasy dělí do třech tříd podle Tab. 7.2. Pokud použijeme odbočnici 1:32 s vložitelným útlumem 17 dB, máme stále 3 dB rezervu, aby útlum trasy spadl do třídy A. Pokud použijeme odbočnici 1:64, která má vložitelný útlum 21 dB, spadá útlum trasy nejlépe do třídy B i pokud použijeme odbočnici bez konektorů.

Hodnota [dB]		Třída	ITU-T G.984.2 GPON
útlum odrazu ORL			32
útlum trasy IL	Min / Max	A	5 / 20
		B	10 / 25
		C	15 / 30

Tab. 7.2: Třídy útlumu pro standard GPON

Pro domovní rozvody ve stoupačkách bude použit speciální Riser kabel, který umožňuje snadné vydělování vláken na jednotlivých patrech a následné vedení do bytů bez nutnosti přerušování ostatních vláken. Kompletní řešení přináší společnost Prysmian. Kabel do stoupaček má katalogové označení Scirocco a obsahu vlákna G.652.D ve svazcích po čtyřech. V bytových domech A-1, A-2 a A-3 bude instalován kabel s 96 vlákny, v ostatních domech bude postačovat kabel s 72 vlákny. Kabel je samozřejmě vhodný pro vnitřní použití a má potřebnou protipožární ochranu. V každém patře budou vlákna z kabelu Scirocco ukončena v Riser boxu, který je navržený přímo pro Riser kabel.

Jinou možností je zde vedení samotné mikrotrubičky pro každý byt. Toto řešení přináší výhodu pokud neplánujeme v počátku připojení všech účastníků. Ušetří se náklady za optický kabel ve stoupačce a v případě zájmu o připojení poskytují mikrotrubičky snadnou instalaci mikrokabelu přímo do bytu. Další výhodou je, že mikrokabel je v mikrotrubičce chráněn proti poškození. Problém může nastat s prostorem, který bude svazek mikrotrubiček zabírat jak v datovém rozvaděči, tak ve stoupačce. Z toho důvodu bylo zvoleno řešení s Riser kabelem .

Z Riser boxu povede do bytu kabel společnosti OFS s označením EZ-Bend. Kabel obsahuje dvě jednovidová vlákna G.657.A a je potažen protipožární ochranou. Kabel je vhodný na poslední metry díky vysoké flexibilitě a poloměru ohybu kolem 5 mm. Jedno vlákno bude aktivní, druhé bude sloužit jako rezerva. Svaření dvou typů vláken, G.652.D ze stoupačky a G.657.A do bytu, vnáší do trasy zvýšení útlumu jen 0,05 dB díky vzájemné kompatibilitě obou typů vláken. Na konec bude připojen pigtail s jednovidovým vláknem G.657.A a konektorem SC pro připojení do domácí brány. Napojení pigtailu bude provedeno pomocí rychlospojky Fibrlok. Spojka má sice vyšší útlum než svár, maximálně uvažujeme 0,1 dB, ale bude vhodná pro svoji rychlou instalaci.

### 7.2.3 Použité technologie

V centrální stanici bude umístěna aktivní technologie od firmy Motorola. Konkrétně půjde o zařízení GPON Optical Line Terminal AXS 2200. Zařízení je navrženo pro přenos vysokých rychlostí. Poskytuje flexibilitu a jednoduchou rozšiřitelnost pomocí přídatných slotů a umožňuje poskytování veškerých služeb Triple Play. Data jsou k účastníkovi vysílána na vlnové délce 1490 nm, příjem dat do OLT je na vlnové délce 1310 nm. Samozřejmostí je podpora přenosu analogové televize na vlnové délce 1550 nm. Umožňuje pracovat s vysokými přenosovými rychlostmi až 200 Gbit/s, přičemž tuto rychlost rozděluje rovnoměrně do 20 slotů. Pro aplikační jednotky GPON je vyhrazeno 18 slotů. Na každý slot připadá přenosová rychlost 10 Gbit/s a slot je osazen čtyřmi konektory SC. Na jeden optický výstup tedy připadá rychlost 2,5 Gbit/s, tedy

maximální rychlost definovaná standardem ITU-T G.984. Na jeden optický port je možno připojit odbočnici až 1:64. To nám při počtu čtyři porty na jednotku a 18 aplikačních jednotkách dovolí připojit až 4608 koncových uživatelů. Jako přenosový protokol se využívá GEM a každému účastníkovi poskytuje rychlosti 2,488 Gbit/s pro dopředný směr a 1,244 Gbit/s pro zpětný směr.

Brána v bytě zákazníka bude od firmy Motorola, půjde o koncové zařízení ONT1400. Zařízení je vhodné pro přenos hlasu, videa a vysokorychlostního internetu přes jediné vlákno. Přenos videa je možný jak v digitální formě IPTV, tak i ve formě analogové. Pro příjem analogové televize je vyhrazena vlnová délka 1550 nm. Data z OLT jsou přijímána na vlnové délce 1490 nm a zpět do OLT jsou vysílána na vlnové délce 1310 nm. Zařízení je vybaveno dvěma ethernet porty RJ-45, dvěma porty RJ-11 pro připojení VoIP telefonů a jedním koaxiálním F-konektorem pro připojení analogové televize. Napájení je zajištěno síťovým napětím, které je v případě výpadku nahrazeno záložní baterií s výdrží až 8 hodin.

V Tab. 7.3 je uveden soupis materiálu potřebný pro všechny bytové domy. Délka optického kabelu a mikrotrubiček je uvedena pouze pro propojení mezi domy. V každém domu je uložena rezerva optického kabelu v délce 15 m. Stejná rezerva pro každý optický kabel je i v místě RSU. Položená trasa z centrální stanice do RSU u domu A-1 započítána není. Při výpočtu délky vnitřního optického kabelu s vláknem G.657.A byla zvolena shodná délka 10 m od Riser Boxu do bytu zákazníka.

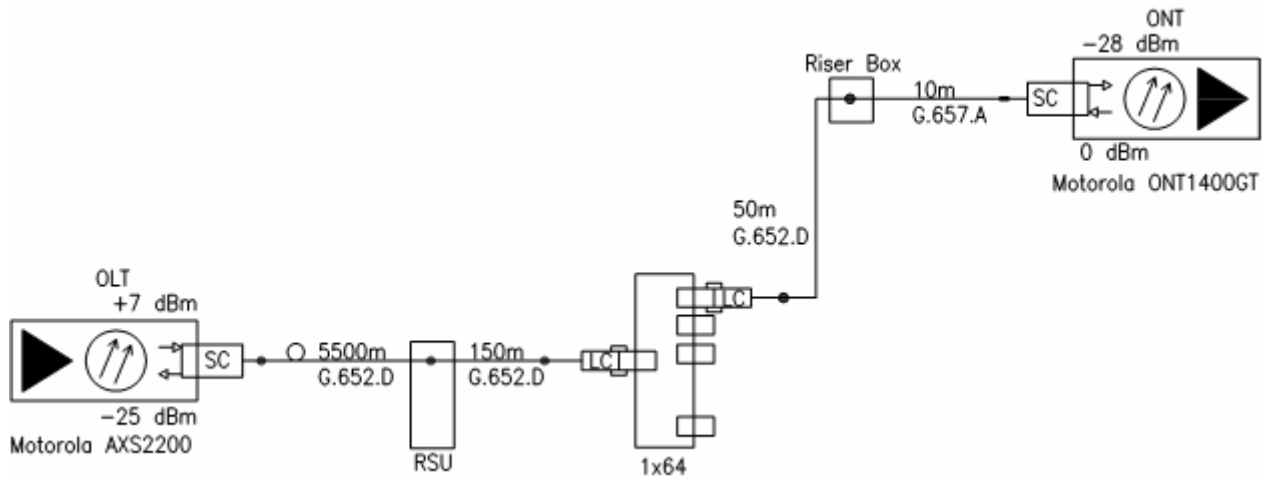
Na Obr. 7.8 jsou naznačeny všechny prvky na trase, které mají vliv na celkový útlum. Pro výpočet byla uvažována vlnová délka 1310 nm, na které mají vlákna největší útlum. Výpočet je proveden pro připojení do domu A-3, protože je to nejvíce vzdálený dům od centrální stanice s optickou odbočnicí 1:64. V OLT a ONT jsou použity konektory SC, jejichž útlum uvažujeme pro výpočet 0,3 dB. Mezi centrální stanicí a RSU jsou vlákna G.652D s útlumem 0,34 dB/km v celkové délce 5500 m. Celkový útlum tohoto úseku je 1,87 dB. V RSU jsou navařena vlákna stejného typu a útlum sváru pro výpočet uvažujeme 0,05 dB. Útlum trasy mezi RSU a odbočnicí v délce 150 m s vlákny G.652.D je 0,05 dB. Celkový útlum odbočnice 1:64 s konektory je 22 dB. Na každé straně odbočnice je třeba ještě započítat útlum svárů 0,05 dB při navařování pigtailů. Útlum 50 m trasy ve stoupačce s vlákny G.652.D je 0,017 dB. Další svár bude umístěn v Riser Boxu. Zde dojde k svaření dvou různých typů vláken, a to G.652.D ze stoupačky a G.657.A vedeného do bytu. Při svařování těchto typů vláken není problém s nárůstem útlumu, protože vlákna jsou vzájemně kompatibilní. Pro výpočet uvažujeme útlum sváru 0,05 dB. Útlum vlákna G.657.A je 0,35 dB/km, to je na vzdálenost 10m z Riser Boxu do bytu celkový útlum 0,004 dB. V bytě zákazníka nebude pigtail s konektorem SC pro připojení domácí brány navařen, ale

z důvodu rychlé montáže u zákazníka bude použita spojka Fibrlok. Její útlum pro výpočet uvažujeme 0,1 dB. Celkový útlum trasy s odbočnicí s dělicím poměrem 1:64 bude 24,891 dB.

Množství	Název	Výrobce	Typ	Poznámka
<b>central office - OLT</b>				
1	optické linkové zakončení	Motorola	AXS 2200	GPON OLT
8	pigtail od OLT	R&M	9-SC-1	Pigtail 9/125, SC
<b>pasivní část trasy</b>				
1	optický rozvaděč ORM 12 SIS	micos	8543.00/SI00FP1	venkovní, pro 12 kazet
1	blok výklopných kazet	micos	TC 248S-12	Blok 12 kazet
12	držáky svárů	micos	TC-250S-4	4 pozice
560	svazek mikrotrubiček	dura-line	duramulti standard	7 mikrotrubiček v rukávu
1275	optický kabel	OFS	AT-3BE8M4X-012	Ribbon 12/6vl., G.652.D
9	optická spojka	Sitel	T - MATRIX	vstupy 40/40/40 mm
9	spojka na mikrotrubičky	Sitel	10 mm	průhledná
<b>ukončení v bytě - ONU</b>				
8	MNS - nástěnná datová skříň	micos	8670.00/09A0C1UZ	velikost 500x570 - 9U
19	blok výklopných kazet	micos	TC 248S-12	Blok 12 kazet
228	držáky svárů	micos	TC-250S-4	4 pozice
8	police úložná	micos	8A67.75/0005F	rezervy kabelů, 2U
8	držák nosníků	micos	8835.00/0000F	pro připevnění bloku kazet - 1U
8	pigtail do odbočnice	R&M	9-LC	Pigtail 9/125, LC, 1m
3	optická odbočnice	SQS	LGX Module Quad	1x64, LC
5	optická odbočnice	SQS	LGX Module Double	1x32, LC
268	pigtail z odbočnice	R&M	9-LC	Pigtail 9/125, LC, 1m
198	optický kabel do stoupačky	Prysmian	VertiCasa Riser Cable	72 vl, 4vl. v jednotce, G.652.D
219	optický kabel do stoupačky	Prysmian	VertiCasa Riser Cable	96 vl, 4vl. v jednotce, G.652.D
59	box na sváry	Prysmian	VertiCasa Riser Box	12vl., v každém patře
2680	optický kabel do bytu	OFS	EZ Bend 4.8	2 vl. G.657.A
268	pigtail do domácí brány	R&M	9-SC-1	Pigtail 9/125, SC
268	fibrlok	3M	3M-80-6107-5589-6	Spojka do bytu
268	domácí brána	Motorola	ONT 1400	GPON ONU

Tab. 7.3: Seznam materiálu FTTH

Na tomto příkladu je vidět, jak je důležité provést výpočet útlumu trasy před vlastní realizací. Pro výpočet byly použity limitní hodnoty, ale ve skutečnosti bude útlum menší. Pokud bychom museli trasu z nějakého důvodu přerušit a znovu svařit, znamenalo by to nežádoucí zvýšení útlumu. Použité aktivní prvky od firmy Motorola jsou schopny pracovat až do celkového útlumu 28 dB. To je dáno maximálním vysílacím výkonem +3 dBm koncového zařízení ONT a citlivostí přijímače v OLT -25 dBm. V opačném směru by problém nenastal, protože vysílací výkon z OLT může být až +9 dBm a citlivost přijímače v ONU je -28 dBm.



Obr. 7.8: Útlum trasy FTTH

### 7.3 Přejít na topologii Bod-Bod

V případě změny topologie sítě je nutné vyměnit aktivní prvky jak na straně účastníka, tak i v centrální stanici. Kromě toho je nutné přivést ke každému zákazníkovi dvě vlákna pro dopředný a zpětný směr. V této části nebudou uvedeny konkrétní typy použitých součástek a materiálu, ale bude pouze naznačen možný způsob rozšíření na aktivní síť.

Pokud bychom chtěli přejít na plně optickou síť s topologií Bod-Bod, bylo by potřeba přivést další optické kabely do bytových domů a provést rozšíření aktivní technologie v centrální stanici. Pokud budeme chtít zřídit aktivní optickou síť, budeme potřebovat dvě vlákna pro každého uživatele. Jelikož v domech je nejvíce 48 bytů, bude potřeba optický kabel minimálně s 96 vlákny. Pro případ rezervy je vhodné natáhnout kabel se 144 vlákny do každého domu. Díky zvolené mikrotrubičkové technologii je snadné přifouknout další optické kabely se 144 vlákny. S výhodou můžeme použít rezervních mikrotrubiček. Na trase z centrální stanice do RSU by musel být zafouknutý do HDPE chráničky např. optický kabel MiDia300 s 300 vlákny, abychom měli dostatečnou rezervu.

V závislosti na navýšení počtu vláken a tím i svárů, bude potřeba vyměnit venkovní skříň RSU za větší. Ve které dojde k navaření vláken z centrální stanice na vlákna do jednotlivých bytů. V domovním rozvaděči by se místo optických odbočnic umístily propojovací panely s konektory LC podle počtu bytových jednotek v domech. K propojovacímu panelu by byla následně připojena všechna optická vlákna vedoucí do kabelu ve stoupačce. Kabel do stoupačky má v každém domu dvojnásobnou kapacitu vláken než je počet bytů, právě pro tento případ přechodu na topologii Bod-Bod. V Riser boxu by došlo k navaření rezervního vlákna vedoucího

do bytu pro zpětný směr. V bytě by byl navařen pigtail s duplexním konektorem pro připojení do domácí brány.

Aktivní prvky v centrální stanici by se zvolily od firmy Allied Telesis. Ta nabízí optické přepínače s 48 SFP porty AT-x900-48FS. Vzhledem k celkovému počtu 268 domácností by muselo být nainstalováno 6 kusů. Veškeré porty by se vybavily SFP moduly pro duplexní přenos. V bytech by došlo k převodu optického signálu na elektrický v media konvertorech. Při takovéto změně topologie sítě, by byly největší náklady vynaloženy na aktivní prvky.

## 8 MĚŘENÍ OPTICKÉ TRASY

Následující část pojednává o nutnosti měření sítě jak při její výstavbě, po kompletní instalaci a následně při provozu. Pro měření fyzické vrstvy sítě se budou používat přístroje pro měření vložného útlumu, útlumu odrazu a optické délky. Pro měření vložného útlumu se použije zdroj záření s měřidlem výkonu, popřípadě souprava pro měření útlumu OLTS. Dále bude použito měřidlo útlumu odrazu a optický reflektometr OTDR pro určení optické délky a grafického znázornění průběhu útlumu na optické trase.

### 8.1 Požadavky na měření sítě FTTB

Pro měření máme k dispozici několik měřících bodů. Prvním ze směru z OLT je propojovací panel v centrální stanici pro připojení transceiveru a optického vlákna osazený konektory E2000/APC. Další propojovací panely jsou v bytových domech, opět s konektory E2000/APC.

Měření v průběhu instalace sítě se bude provádět od propojovacího panelu za OLT po první propojovací panely v bytových domech A-1 a B-1. V bytovém domě A-1 je připojení aktivního okruhu na vlákna 1 a 2 a v bytovém domě je připojení záložního okruhu na vlákna 5 a 6. Trasa mezi bytovými domy je zapojena do kruhu a měřit se budou všechna vlákna v kabelu. Jelikož se na trase mezi domy nepřepokládá přítomnost svárů, bude se pro měření využívat přímá metoda prováděná obousměrně. V případě výskytu svárů na trase musí být dodržena limitní hodnota útlumu 0,05 dB.

### 8.2 Požadavky na měření pro GPON

Při měření vycházíme z předpokladu, že máme k dispozici několik měřících míst. Ve směru od OLT je to konektorové spojení OLT a optického vlákna, dalším místem je RSU, kde budou vlákna navařena. Druhé konektorové spojení bude na optických odbočnicích a to jak na vstupním portu, tak na všech výstupech. Další svár bude uložen v boxu v každém patře domu při odbočení z Riser kabelu. Poslední spojení bude u zákazníka pomocí spojky Fibrllok a ukončení konektorem připojeným do ONU.

Měření během instalace sítě se bude provádět od OLT po výstupní port odbočnice, aby byl zahrnutý útlum odbočnice a konektorového spojení na vstupu odbočnice. Na trase se budou vyskytovat pouze sváry, které musí splňovat maximální útlum 0,05 dB. Měření se bude provádět reflektometrem s předřadným vláknem. Měřit se bude na všech provozních vlnových délkách 1310 nm, 1490 nm a 1550 nm. Měření se bude provádět jednostranně a to ve směru od OLT.

Měření od odbočnice k zákazníkovi se bude provádět mezi konektorem LC pro připojení do odbočnice a konektorem SC pro připojení k ONU. Pro měření se použije přímá metoda. Limitní hodnoty útlumu svárů jsou 0,05 dB, maximální hodnota útlumu spojky je 0,1 dB. Měření se bude provádět obousměrně.

Po kompletní instalaci sítě se budou provádět další měření. Při měření celkového útlumu se využije přímá metoda. Měřit se bude útlum celé trasy mezi konektory pro připojení do OLT a ONU. Měřit se bude na všech provozních vlnových délkách 1310 nm, 1490 nm a 1550 nm. Změřený útlum trasy musí být menší než vypočtený. Pro výpočet budou použity hodnoty uvedené v Tab. 8.1. Celkový útlum trasy s odbočnicí 1:32 by neměl přesáhnout dle doporučení ITU-T G.984 hodnotu 20 dB (Třída A), v případě použití odbočnice 1:64 musí být celkový útlum trasy do 25 dB (Třída B).

útlum	[dB]
svár	0,05
spojka	0,10
optická odbočnice 1x32 s konektory	18,00
optická odbočnice 1x64 s konektory	22,00
útlum vlákna	[dB/km]
G.652.D - 1310 nm	0,34
G.652.D - 1490 nm	0,24
G.652.D - 1550 nm	0,21
G.657.A - 1310 nm	0,35
G.657.A - 1490 nm	0,24
G.657.A - 1550 nm	0,21

Tab. 8.1: Hodnoty pro výpočet útlumu

Měření útlumu odrazu ORL se bude provádět pro celou trasu přímou metodou na konektorech pro připojení k OLT a ONU. Vyhodnocovat se bude na všech provozních vlnových délkách 1310 nm, 1490 nm a 1550 nm. Průměrná hodnota ORL musí být dle doporučení ITU-T G.984 vyšší než 32 dB.

Měření pomocí OTDR a vyhodnocení nehomogenit je v PON sítích velmi specifické. Pokud bychom prováděli měření po instalaci ze strany OLT, nebyli bychom schopni správně vyhodnotit nehomogenity na jednotlivých větvích za odbočnicí. Z toho důvodu byla zvolena odbočnice s konektory. Měření pomocí OTDR se bude provádět na úsecích mezi OLT a vstupem odbočnice a mezi výstupem odbočnice a ONU na všech větvích. Toto měření je možné provádět po kompletní instalaci před uvedením sítě do provozu. Další měření pomocí OTDR se bude provádět od ONU ve směru k OLT pro kontrolu útlumu odbočnice. Měření se bude provádět pro každou odbočnici vždy na 1. výstupním portu. Pokud se nebude jednat o živou síť, bude se

měření provádět na vlnových délkách 1310 nm a 1550 nm. Pokud půjde o živou síť, bude měření prováděno na filtrované vlnové délce 1625 nm nebo 1650 nm. Jako mikroohyb bude vyhodnocený svár, pokud rozdíl mezi útlumem na vlnové délce 1310 nm a 1550 nm bude větší než 0,03 dB. Při měření musí být dodržena homogenita průběhu optického vlákna podél celé trasy a nesmí být překročena hodnota útlumu odbočnicí s konektory, jak je uvedeno v Tab. 8.1.

Pomocí OTDR se bude měřit optická délka trasy mezi konektory pro připojení OLT a ONU. Měření se bude provádět na všech provozních vlnových délkách 1310 nm, 1490 nm a 1550 nm. Optická délka trasy daná ITU-T G.984 nesmí přesáhnout 20 km.

Po instalaci OLT a ONU je potřeba kontrolovat garantované parametry optického rozhraní dle doporučení ITU-T G.984. Je vyžadováno měření přijímaného signálu z OLT během vnitřní instalace ONU u zákazníka. Maximální hodnota úrovně signálu měřeného na vstupu do ONU nesmí přesáhnout -26 dBm.

### 8.3 Praktická část měření

V dané lokalitě je zatím přiveden optický kabel jen k domu A-1. Jelikož je připojení již aktivní, byla jediná možnost měření optického výkonu. Pro měření přímou metodou bylo použito měřidlo výkonu FPM-300 od firmy EXFO. Aktivní byly dvě trasy se dvěma vlákny, každé pro jeden směr. Pro dopředný směr se využívala vlnová délka 1310 nm a pro zpětný směr vlnová délka 1550 nm. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 8.2.

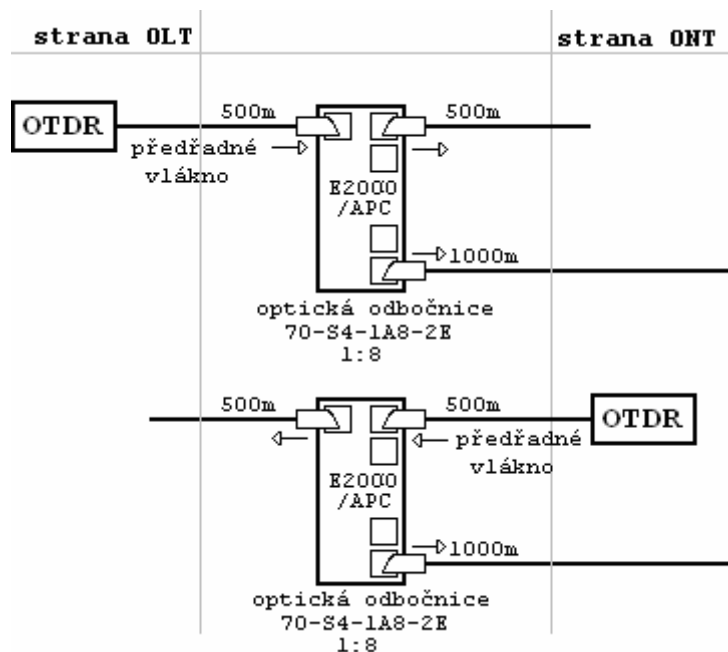
trasa	směr	vlnová délka [nm]	vysílací výkon [dBm]	detekovaný výkon [dBm]	Ztráta [dB]	útlum vlákna [dB/km]
1	OLT - ONT	1310	2,421	0,042	2,379	0,433
	ONT -OLT	1550	-0,128	-2,395	2,267	0,412
2	OLT - ONT	1310	2,450	0,047	2,403	0,437
	ONT -OLT	1550	1,213	-1,208	2,421	0,440

Tab. 8.2: Naměřené hodnoty přímou metodou

Na trase je položen kabel s vlákny G.652.D a na trase jsou celkem 2 sváry, jejichž útlum budeme uvažovat 0,05 dB pro každý. Ty byly nutné pro připojení pigtailů na konce vláken. Na straně OLT je konektor E2000/APC a na straně ONT je konektor SC/APC. Trasa měla délku 5500 m. Útlum vláken v kabelu byl kolem 0,42 dB/km, což je vyšší hodnota než předpokládaných 0,35 dB/km u tohoto typu vlákna. Prakticky se však toto zvýšení útlumu na přenosových vlastnostech nijak neprojeví. Toto měření ověřilo možnost rozšíření stávající optické sítě a propojit tak optickými vlákny ostatní domy domu dle návrhu sítě FTTB.

Navrhovaná optická síť GPON umožňuje dělení optického signálu pomocí odbočnic 1:64. V laboratorních podmínkách jsem provedl měření na dostupné odbočnici s dělicím poměrem 1:8. Pro měření byl využit optický reflektometr FTB-200 od firmy EXFO. Přístroj je díky svým rozměrům vhodný pro měření v terénu. Cílem měření bylo ukázat problémy při měření pasivních optických sítí s odbočnicemi. Jak bylo zmíněno dříve, při měření PON sítě pomocí OTDR, je potřeba měřit vždy ze strany koncového zákazníka směrem k centrální stanici. Pouze v tomto případě jsme schopni naměřit reálné výsledky. Pokud bychom měřili trasu ze strany OLT, dostali bychom za odbočnicí součet útlumu všech tras připojených na výstup.

Měření bylo prováděno v konfiguraci zobrazené na Obr. 8.1. Veškerá použitá vlákna byla jednovidová dle doporučení G.652.D. K optickému reflektometru bylo připojeno předřadné vlákno v délce 500m zakončené konektorem ST. Pro připojení do odbočnice byl použit patchcord s konektory ST a E2000/APC v délce 1m. Měřená odbočnice 1:8 byla osazena konektory E2000/APC a dodala ji firma SQS. Podle katalogových údajů by měla mít vložený útlum 9,8 dB bez konektorů, tedy nejvýše 10,4 dB i s konektory, pro které se uvažuje útlum 0,3 dB. Pro simulaci připojené trasy na výstupy odbočnice byla použita dvě vlákna v délce 500 m a 1000 m. Vlákno v délce 500 m bylo připojeno na výstupní port č.1 a vlákno v délce 1000 m bylo připojeno na výstupní port č.8.

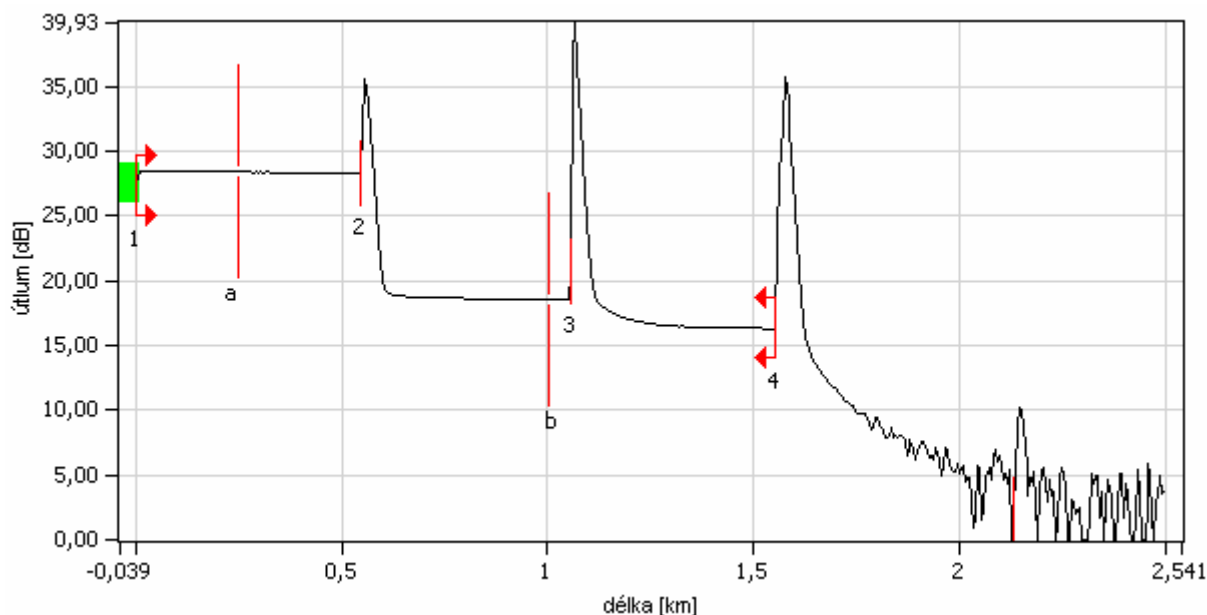


Obr. 8.1: Konfigurace při měření optické odbočnice

První měření byla provedena při zapojeném optickém reflektometru na vstup odbočnice, tedy ze strany OLT. Předřadné vlákno v délce 500 m simulovalo trasu z OLT. Na výstupu byly

připojeny dvě trasy a cílem bylo změřit útlum každé z nich. Na Obr. 8.2 je vidět průběh křivky zpětného rozptylu pro vlnovou délku 1310 nm. Pro porovnání vlivu vlnové délky, byla provedena měření na další provozní vlnové délce 1550 nm a také na vlnové délce 1625 nm určené pro měření na vlákne za provozu. Všechny naměřené hodnoty jsou uvedeny v Tab. 8.3.

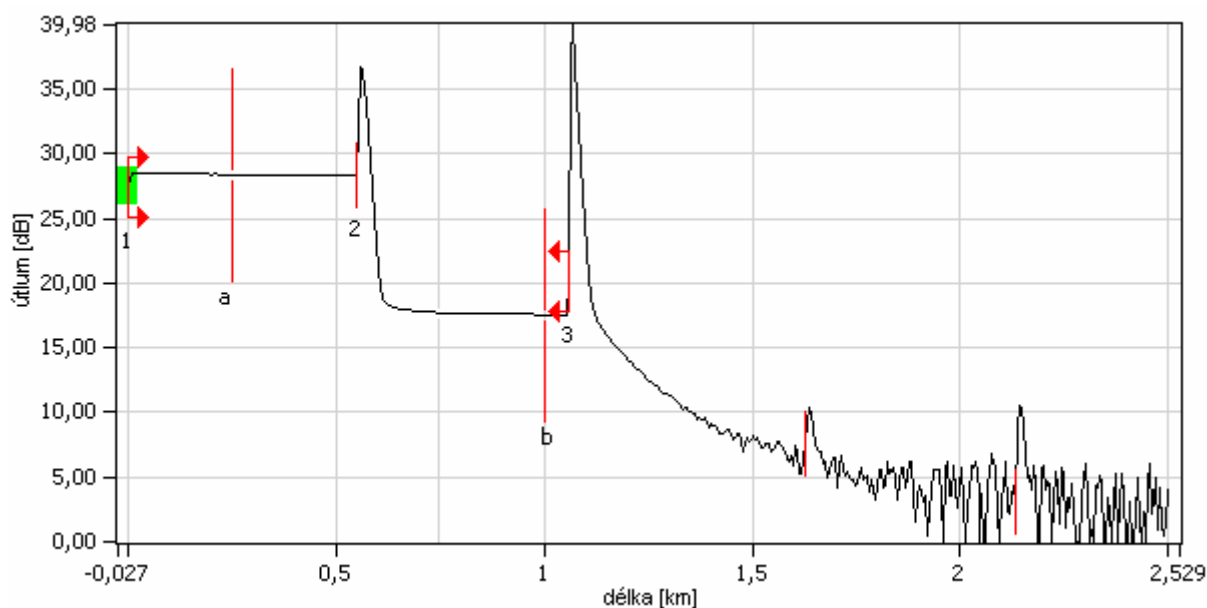
Z průběhů naměřených hodnot ze strany centrální stanice OLT Obr. 8.2 je vidět problém, který nastane, pokud máme na výstupní porty odbočnice připojeno více tras. *Sekce 1-2* značí útlum vlákna mezi OLT a odbočnicí, který odpovídal předřadnému vláknu v délce 500 m. *Událost 2* označuje útlum odbočnice, ten byl 9,43 dB i s konektory, což je dokonce menší hodnota, než bychom čekali. Odbočnice byla nová a užívaná pouze pro měření, takže konektory měli minimální útlum. *Sekce 2-3* označuje útlum korektně změřené trasy na portu č. 1 a *událost 3* označuje konec 500 m trasy. První trasa v délce 500 m je tedy změřena bez vlivu druhé trasy. Na konec průběhu první trasy navazuje průběh druhé trasy v délce 1000 m, ale změřený útlum se v grafu jeví vyšší, než ve skutečnosti je. *Událost 4* má oproti *událost 3* vyšší útlum asi o 1,4 dB. Pokud uvážíme, že druhá trasa je delší o 500 m oproti první a útlum vlákna je 0,35 dB/km, měl by být útlum zvýšený nejvýše o 0,17 dB.



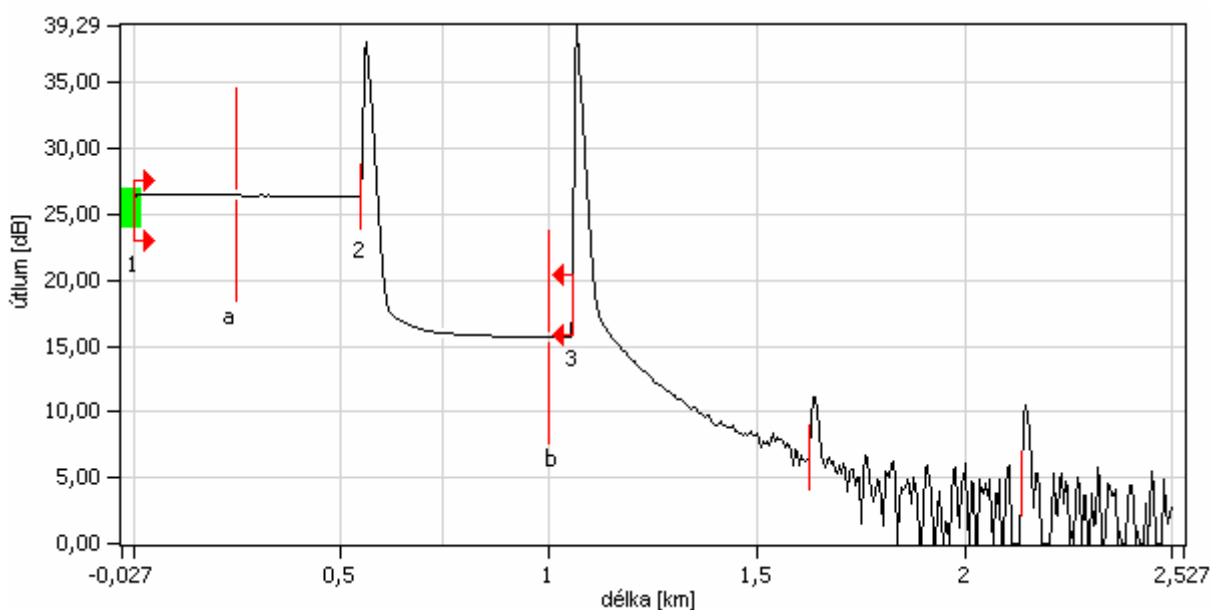
Obr. 8.2: Měření OLT -> ONT – 1310 nm

Tady vidíme problém při měření ze strany OLT. Pokud budeme mít odbočnici s dělicím poměrem 1:32, pak nejsme schopni korektně určit útlum jednotlivých tras ani případné sváry, konektory či nehomogenity na trase. Budou-li mít trasy připojené na výstupu odbočnice podobnou vzdálenost, nebudeme schopni určit ani přesné délky jednotlivých tras.

Z náměru optického reflektometru ze strany OLT jsme schopni určit, jaký je její skutečný útlum na trase OLT – odbočnice. Tohle měření je vhodné v případě poruchy, kdy hlásí poruchu všichni uživatelé připojeni k dané odbočnici. V tom případě předpokládáme poruchu někde na trase z OLT a pokud nemáme odbočnici s konektory, je to nejpohodlnější způsob měření. Z náměru jsem schopni lokalizovat poruchu a začít s její nápravou. Pokud nastane případ, kdy poruchu hlásí jediný uživatel připojený na odbočnici bez konektorů a ostatní jsou funkční, nezbyvá nám jiná možnost měření, než ze strany účastníka. Příklady měření ze strany OLT ukazují Obr. 8.3 – Obr. 8.5.

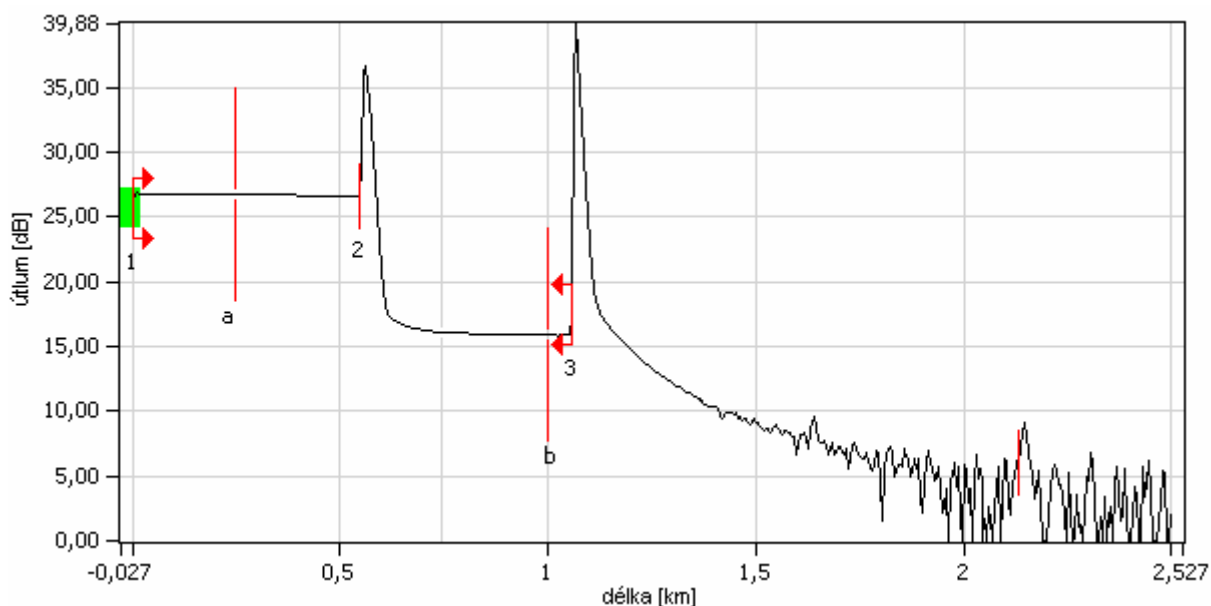


Obr. 8.3: Měření OLT -&gt; OLT – 1310 nm



Obr. 8.4: Měření OLT -&gt; OLT – 1550 nm

Při druhém měření byl optický reflektometr připojen na výstupní port odbočnice č.1, tedy měření za strany ONT. Předřadné vlákno představovalo trasu z odbočnice do ONT. Na vstup odbočnice bylo připojeno vlákno v délce 500 m reprezentující trasu OLT - odbočnice. Na výstupním portu odbočnice č.8 zůstalo připojeno vlákno v délce 1000 m. Měření bylo provedeno pro provozní vlnové délky 1310 (Obr. 8.3) a 1550 nm (Obr. 8.4) a pro vlnovou délku 1625 nm (Obr. 8.5) určenou pro diagnostiku.



Obr. 8.5: Měření ONT -&gt; OLT – 1625 nm

		OLT - ONT				ONT - OLT			
		1310	1550	1625	průměr	1310	1550	1625	průměr
Sekce 1-2	Délka [km]	0,5499	0,5500	0,5498	0,5499	0,5499	0,5500	0,5498	0,5499
	Ztráta [dB]	0,191	0,107	0,11	0,136	0,187	0,102	0,109	0,133
	Útlum [dB/km]	0,348	0,195	0,199	0,247	0,34	0,185	0,198	0,241
Událost 2	Ztráta [dB]	9,524	9,374	9,374	9,424	10,461	10,357	10,377	10,398
	Odras [dB]	-44,3	-45,4	-45,7	-45,1	-41,3	-37,8	-41,5	-40,2
Sekce 2-3	Délka [km]	0,5103	0,5101	0,5103	0,5102	0,5103	0,5101	0,5103	0,5102
	Ztráta [dB]	0,273	0,225	0,248	0,249	0,354	0,557	0,531	0,481
	Útlum [dB/km]	0,536	0,441	0,486	0,488	0,693	1,093	1,04	0,942
Událost 3	Ztráta [dB]	1,75	1,363	1,196	1,436				0,000
	Odras [dB]	-16,1	-16,4	-16,4	-16,3	-14,0	-13,9	-13,8	-13,9
Sekce 3-4	Délka [km]	0,4947	0,4945	0,4947	0,4946				
	Ztráta [dB]	0,663	0,742	0,907	0,771				
	Útlum [dB/km]	1,339	1,5	1,833	1,557				
Událost 4	Odras [dB]	-19,6	-22	-24,6	-22,1				

Tab. 8.3: Naměřené hodnoty z OTDR

Z průběhů naměřených hodnot ze strany centrální stanice OLT (Obr. 8.3 – Obr. 8.5) je vidět, že jsme schopni změřit korektně jak trasu z ONT do odbočnice, tak trasu z odbočnice do OLT. V tomto případě značí *sekce 1-2* útlum trasy odbočnice – ONT a *sekce 2-3* ukazuje útlum trasy OLT – odbočnice. *Událost 2* zde značí útlum odbočnice, který je vyšší než při měření ze strany OLT. Velikost útlumu byla 10,4 dB i s konektory, což je stále nižší hodnota než je katalogová. Kvalitu odbočnice dokazuje i vysoký útlum dorazu 40,2 dB. U nekvalitních odbočnic s poškozeným vstupním konektorem se může stát, že při měření ze strany OLT se část měřicího signálu odrazí a potom změříme i jinou trasu připojenou na výstupu. To ovšem nebyl případ v tohoto měření. Trasa v délce 1000 m připojená na poslední port odbočnice měření žádným způsobem neovlivňuje. *Událost 3* označuje konec vlákna, tedy ukončení v OLT. Jedinou nevýhodou tohoto způsobu měření je nutnost navštívit každého uživatele zvlášť a provést několik samostatných naměření.

### 8.3.1 Monitorování sítě

Proč vlastně sledovat vlastnosti vláken? Jedním z důvodů může být stárnutí trasy, ať už se jedná o vlákna samotná, nebo o sváry a konektorová spojení. Dalším důvodem jsou vnější vlivy počasí. Pro podzemní kabely je největším problémem zemětřesení, což však není případ v našich lokalitách. Problém může nastat např. u nadzemního vedení, které může být porušeno povětrnostními vlivy, nebo přímo spadlými stromy. V hustě osídlených městech může nastat problém při výstavě dalších podzemních sítí, ať už optických, nebo obecně veškerých inženýrských sítí. V případě porušení zemního kabelu, který je připojený k monitorovacímu systému, jsme schopni tuto situaci okamžitě řešit. Jako další důvod pro monitoring sítí jsou stále rostoucí požadavky na kvalitu služeb a s tím souvisí zajištění dostupnosti těchto služeb. Aktivní monitoring sleduje stav sítě a okamžitě informuje o degradaci přenosových parametrů. Zaměřuje se na měření kvalitativních parametrů ovlivňujících jakost optické sítě. Pro monitoring se využívá volného vlákna v kabelu. Tento způsob poskytuje informace o závažných chybách na kabelu v podobě přerušení nebo ohybové nehomogenity. Dalším způsobem dohledu sítí s provozem je využití vlnové délky mimo spektrum vlnových délek využívaných pro přenos dat. Abychom mohli provádět takový dohled, musíme do trasy zařadit vlnové multiplexy a filtry, aby nedošlo k vzájemnému ovlivňování datového přenosu s monitorovacím signálem. V praxi je pro dohled využívaná vlnová délka 1625 nm. Tato vlnová délka je zvolena především z toho důvodu, že citlivost optického vlákna na mechanické změny výrazně roste s rostoucí vlnovou délkou. Systém je tedy schopen detekovat prvotní změny kvality vlákna mnohem dříve, než jsou těmito změnami ovlivněny provozní vlnové délky.

Pro monitoring sítě máme na výběr ze dvou metod. První z nich je přímá (transmisní), kdy máme na jedné straně vysílač a na druhé straně přijímač. Systém kontroluje odchylky úrovně signálu od nastavení referenční hodnoty. Metoda poskytuje kontinuální dohled s vysokou citlivostí a rychlou odezvou na poruchy. V případě poruchy musíme pro lokalizaci poruchy použít druhou metodu. Ta je založena na monitorování sítě optickým reflektometrem OTDR. V systému se provádí kontrola odchylky útlumové charakteristiky od referenčního náměru. Oproti přímé metodě je tato metoda pomalejší z toho důvodu, že jednou měřicí kartou většinou sledujeme větší množství tras. Nejde však o nijak závažně zpoždění, protože pokud uvažujeme např. 15 měřených tras a každou vyhodnocujeme minutu, pak máme trasu měřenou jednou za čtvrt hodiny a jsme stále schopni dostatečně rychle reagovat na dlouhodobé poruchy. V případě výskytu krátkodobé poruchy v řádech několika sekund je vhodnější transmisní metoda. Ve spolupráci s vhodným softwarem můžeme určit přesné místo poruchy. Systém je také schopen nás o poruše informovat ihned krátkou sms zprávou a následně kompletními informacemi o poruše ve formě emailu. Při kombinaci obou metod, můžeme trasu sledovat přímou metodou, která nám poskytuje rychlou odezvu na poruchy a v případě poruchy použít reflektometr pro přesnou lokalizaci. [1]

## 9 ZÁVĚR

Úkolem diplomové práce bylo zvážit možnosti návrhu optických přístupových sítí FTTx. Návrh sítě začíná na fyzické vrstvě, která má největší vliv na celý komunikační systém. Špatně vybudovanou fyzickou architekturu nezachrání nasazení sebelepších přenosových protokolů na vyšších vrstvách modelu ISO/OSI. Pokud se zaměříme na připojení „poslední míle“, pak máme stále volbu mezi optickým vláknem a metalickým vedením. Jinou možnost pohledu na řešení poslední míle nabízí bezdrátová řešení. Těmi mohou být jednak rádiové spoje, ale také stále populárnější bezdrátové optické spoje. U bezdrátového řešení je stále limitujícím faktorem vliv klimatických podmínek na provoz. Sítě FTTH získávají na popularitě stále více, ale cena je tu limitujícím faktorem. Metalická vedení z přístupových sítí samozřejmě hned tak nezmizí, ale při budování nových sítí musíme zvážit nesporné výhody optických vláken. Patří mezi ně velká šířka přenosového pásma, nízký útlum, možnost přenosu na velké vzdálenosti, odolnost proti odposlechu a elektromagnetickému rušení.

U optických sítích rozlišujeme dvě základní topologie. Bod-Bod nebo-li aktivní optická síť poskytující vysokou přenosovou kapacitu na velké vzdálenosti. V celé své trase využívá aktivní prvky, které však potřebují vlastní napájení, ale poskytují možnosti vzdálené konfigurace a správy. Topologie Bod-Multibod se označuje jako pasivní optická síť. Je charakteristická dělením optického signálu mezi několik účastníků. Pro PON sítě je definováno několik standardů. V rámci ITU-T to jsou to BPON a GPON, sdružení IEEE definuje EPON a nově GePON.

Nejde konkrétně určit, který způsob ukončení optického vlákna, topologie a standard jsou nejlepší. Vše závisí na konkrétních podmínkách, kde je optická síť zřizována. V technologicky pokročilejších zemích jako je USA, Japonsko a Severní Korea jsou budovány sítě typu FTTH a roční nárůst nových připojení přesahuje 150%. Naproti tomu v evropských zemích se především z ekonomických důvodů budují především FTTB sítě.

Před vlastním návrhem optické přístupové sítě jsem provedl názornou simulaci v programu OptSim. Provedená simulace pomohla prostudovat přenosové vlastnosti optických sítí v závislosti na fyzické architektuře. Pro připojení několika uživatelů ve velké vzdálenosti je vhodnější použít topologii Bod-Bod. Optický kabel je jednak levnější než optické odbočnice a síť poskytuje větší přenosovou kapacitu. Pokud by se jednalo o lokalitu s velkým počtem uživatelů ve vzdálenosti do 20 km od centrální stanice, je vhodnější vystavět pasivní optickou síť. I přes

větší útlum trasy kvůli optickým odbočnicím je možné poskytovat přenosové rychlosti postačující pro provoz vysokorychlostních datových služeb.

Pro návrh optické sítě byla vybrána lokalita s několika bytovými domy a cílem návrhu bylo ukázat různé možnosti připojení v rámci jedné lokality. V dané lokalitě se jednalo o připojení velkého počtu koncových uživatelů u kterých nebyl kladen požadavek vysokých přenosových rychlostí v řádech stovek Mbit. Z toho důvodu byla pro návrh zvolena síť FTTB, kterou jsme schopni vystavět za relativně nízké náklady a umožňuje poskytovat přenosové rychlosti pro datové i televizní služby. Druhou variantou návrhu byla pasivní optická síť dle standardu GPON. Tento standard byl vybrán z důvodu vysokého dělícího poměru a vysoké přenosové rychlosti. Dovoluje dělení až pro 64 koncových uživatelů a každému může poskytovat asymetrickou (dopředný/zpětný směr) přenosovou rychlost až 39/18 Mbit/s.

Pro obě řešení byl vypracován kompletní návrh dle ITU-T i s podrobnou výkresovou dokumentací. Součástí návrhu je i seznam použitého materiálu od aktivních technologií, přes prvky optického charakteru až po datové skříně. Kromě příslušných optických vláken byly vybrány i kabelové svazky vhodné pro umístění jak ve venkovních, tak i ve vnitřních prostorech. Pro pokládku byla zvolena mikrotrubičková technologie, u které bylo počítáno i s budoucím rozšiřováním sítě a proto byla ponechána dostatečná rezervní kapacita. Pro návrh byli vybrány moderní technologie bez ohledu na koncovou cenu, abych ukázal možnost návrhu optické sítě, která bude splňovat vysoké požadavky na datové přenosy po dobu několika let.

Ve vybrané lokalitě bylo provedeno měření stávající optické sítě za účelem ověření možnosti rozšíření současného řešení. Pro ukázkou problematiky měření jsem provedl pomocí optického reflektometru několik náměrů přes optickou odbočnici s cílem dokázat nutnost měření již při výstavbě. Laboratorní měření ukázalo problémy při dohledu pasivních optických sítí, protože pro správné hodnoty je nutno měřit ze strany zákazníka. Otázka dohledu optických sítí je stále na úrovni metropolitních a transportních sítí, kde jsou přenášeny vysoké objemy dat.

V praxi neexistuje všeobecná metodika pro návrh optických přístupových sítí. Je to dáno různými potřebami provozovatelů a rozličným množstvím možných technologií. Obecně lze říci, že pro návrh vysokokapacitních sítí pro velké firmy bude vhodnější aktivní topologie, která poskytuje díky vlnovým multiplexům přenosovou kapacitu v řádech Tbit. Pro připojení v nově vznikajících městských zástavbách s velkým množstvím samostatných domů, kde nejsou kladeny vysoké požadavky na přenosové rychlosti, je vhodnější využití pasivní topologie.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BLAŽEK, V; ŠVITORKA, Z. *Monitorovací systémy jako součást moderních přenosových sítí* ve sborníku *Optické komunikace 2006*. Praha, 2006, s. 1-10
- [2] FARMER, J. *Optimizing Video Delivery*. Wave7 Optics Inc., Georgia, USA, 2004
- [3] FILKA, M. *Přenosová média*. Skripta VUT FEKT, Brno 1989
- [4] GIRARD, A. *FTTx PON Technology and Testing*. EXFO Electro-Engineering Inc., Quebec City, Canada, 2005
- [5] GORCHE, S; MANDIN, J. *Introduction to IEEE 802.3av 10Gbit/s Ethernet Passive Optical Networks*. PMC-Sierra, Burnaby, Canada, 2009
- [6] ITU-T RECOMMENDATION G.657. *Characteristics of a bending loss insensitive single mode optical fibre and cable for the access network*
- [7] KUNIGONIS, M. *FTTH Explained: Delivering Efficient Customer Bandwidth and Enhanced Services*. Corning Cable Systems, 2006
- [8] *Optická vlákna a telekomunikace*, Elcom Education, Praha 1993
- [9] SCHLITTER, P. *Mikrokabeláží systémy*. Praha, 2004. FEL ČVUT.
- [10] TEJKAL, Vladimír. *Multimediální optické přenosy*. Brno, 2007. 59 s. VUT FEKT. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miloslav Filka, CSc.
- [11] TITZ, O. *Nové technologie – nové typy optických rozváděčů* ve sborníku *Optické komunikace 2006*. Praha, 2006, s. 107-111
- [12] VANDENBROECK, J. *FTTx – Impact on the passive infrastructure* ve sborníku *Optické komunikace 2004*. Praha, 2004, s. 181-186

**SEZNAM ZKRATEK**

AON	Active Optical Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BPON	Broadband PON
CATV	Cable TV
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
EFM	Ethernet in the First Mile
EPON	Ethernet PON
FEC	Forward Error Correction
FTTB	Fiber to the Building
FTTH	Fiber to the Home
GEM	GPON Encapsulation Method
GPON	Gigabit PON
GePON	Gigabit Ethernet PON
HFC	Hybrid Fiber Coax
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IL	Insertion Loss
ITU-T	International Telecommunication Union
MCS	Micro Cabling Système
OLT	Optical Line Terminal
OND	Optical Distribution Network
ONT	Optical Network Terminal
ONU	Optical Network Unit
P2MP	Point to Multipoint
P2P	Point to Point
PLC	Planar Lightwave Circuits
PON	Passive Optical Network
QoS	Quality of Service
RL	Return Loss
RSU	Remote Subscriber Unit
VoIP	Voice Over IP
WDM	Wavelength Division Multiplexing

## **SEZNAM VÝKRESOVÉ DOKUMENTACE**

Příloha č.1: FTTB – Rozvody mikrotrubiček

Příloha č.2: FTTB – Schéma optických vláken

Příloha č.3: FTTB – Ukončení vláken v rozvaděčích

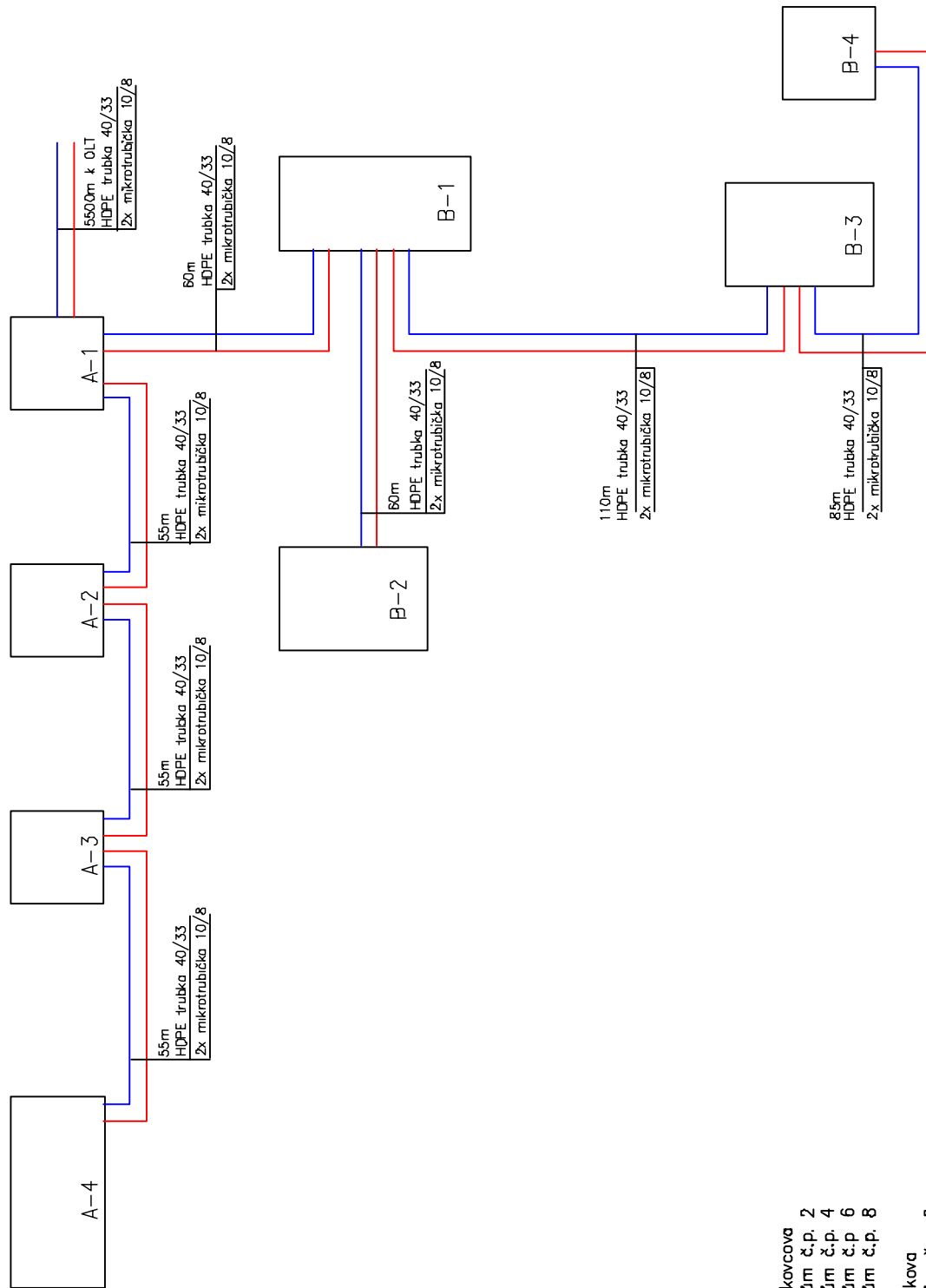
Příloha č.4: FTTB – Rozmístění technologie v rozvaděči

Příloha č.5: FTTH – Rozvody mikrotrubiček

Příloha č.6: FTTH – Rozvody optických kabelů

Příloha č.7: FTTH – Propojení vláken v RSU

Příloha č.1  
FTTB – Rozvody mikrotrubiček



**WŠVĚTLIVKY:**

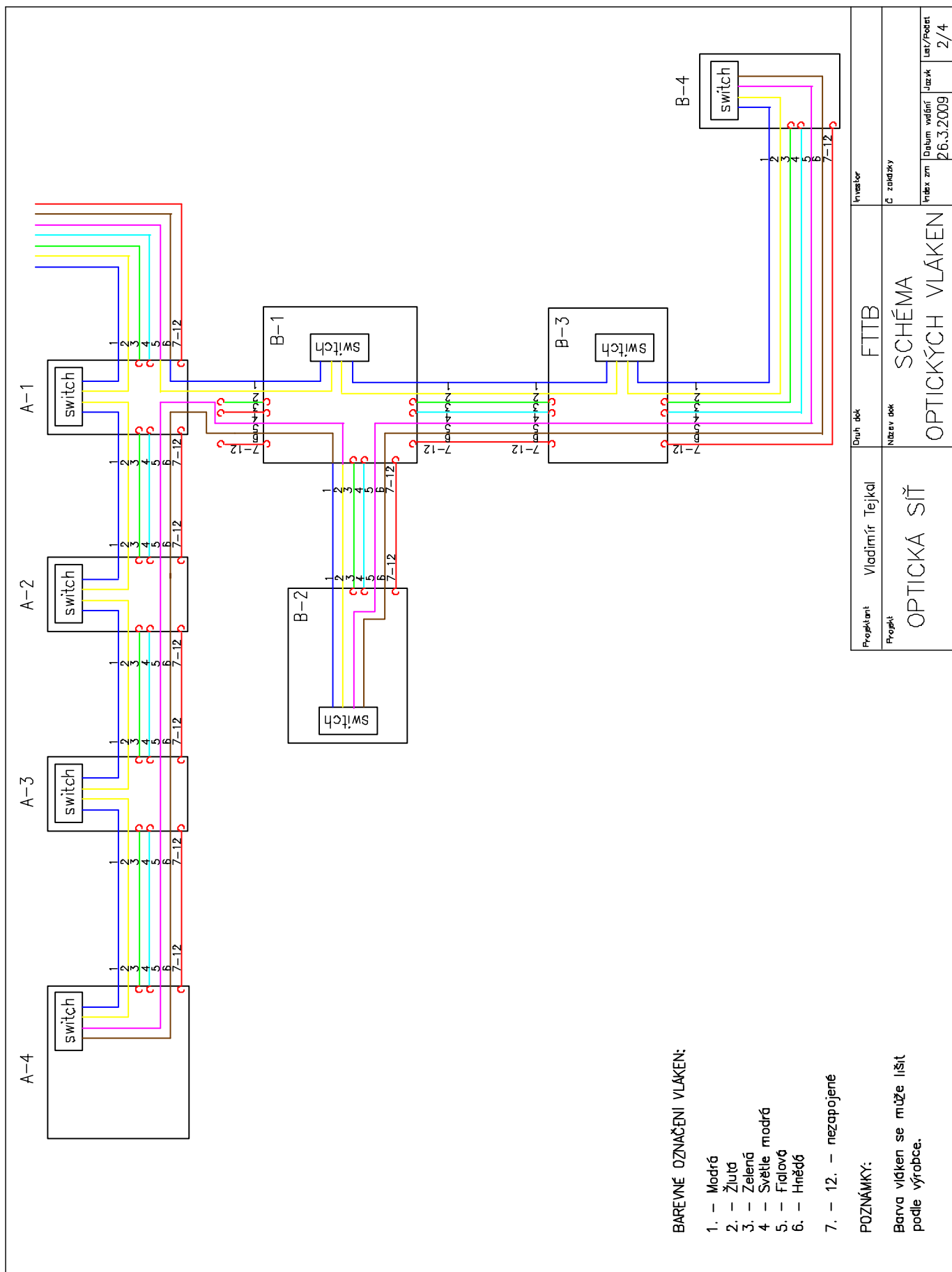
- A-x ulice Voskovicova
- A-1 bytový dům č.p. 2
- A-2 bytový dům č.p. 4
- A-3 bytový dům č.p. 6
- A-4 bytový dům č.p. 8
- B-x ulice Peškova
- B-1 bytový dům č.p. 2
- B-2 bytový dům č.p. 3
- B-3 bytový dům č.p. 4
- B-4 bytový dům č.p. 6

**POZNÁMKY:**

Barva trubiček se může lišit podle výrobce.

Projektant	Vladimír Tejkal	Druh sítě	FTTB	Invačíslo	
Projekt	OPTICKÁ SÍŤ	Název sítě	ROZVODY MIKROTRUBIČEK	Č. zářezky	
				Index, zm.	26.3.2009
				Účastník	1/4

Příloha č.2  
FTTB – Schéma optických vláken



**BAREVNÉ OZNAČENÍ VLÁKEN:**

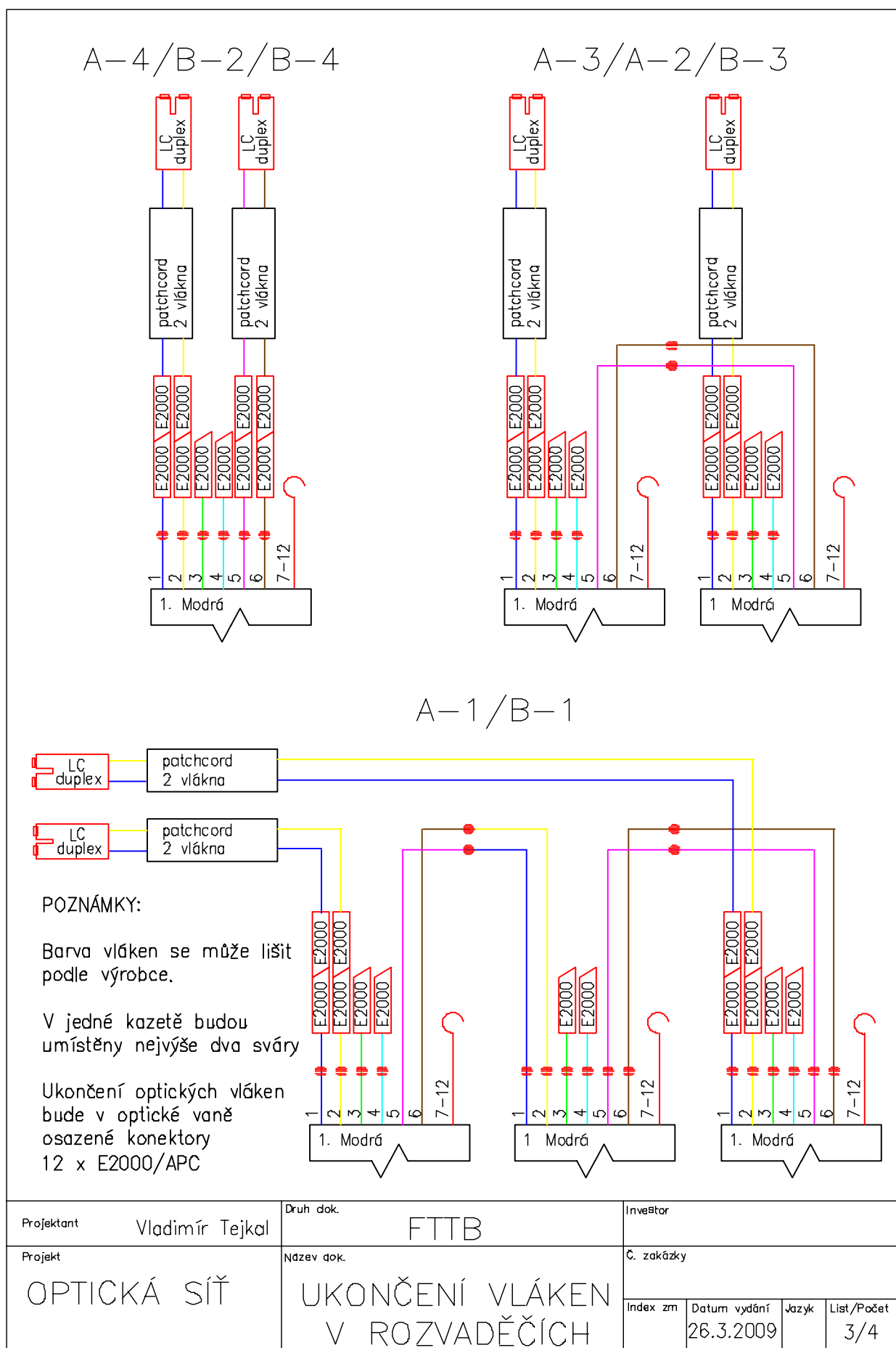
- 1. – Modrá
- 2. – Žlutá
- 3. – Zelená
- 4. – Světle modrá
- 5. – Červená
- 6. – Fialová
- 7. – Hnědá

7. – 12. – nezapojené

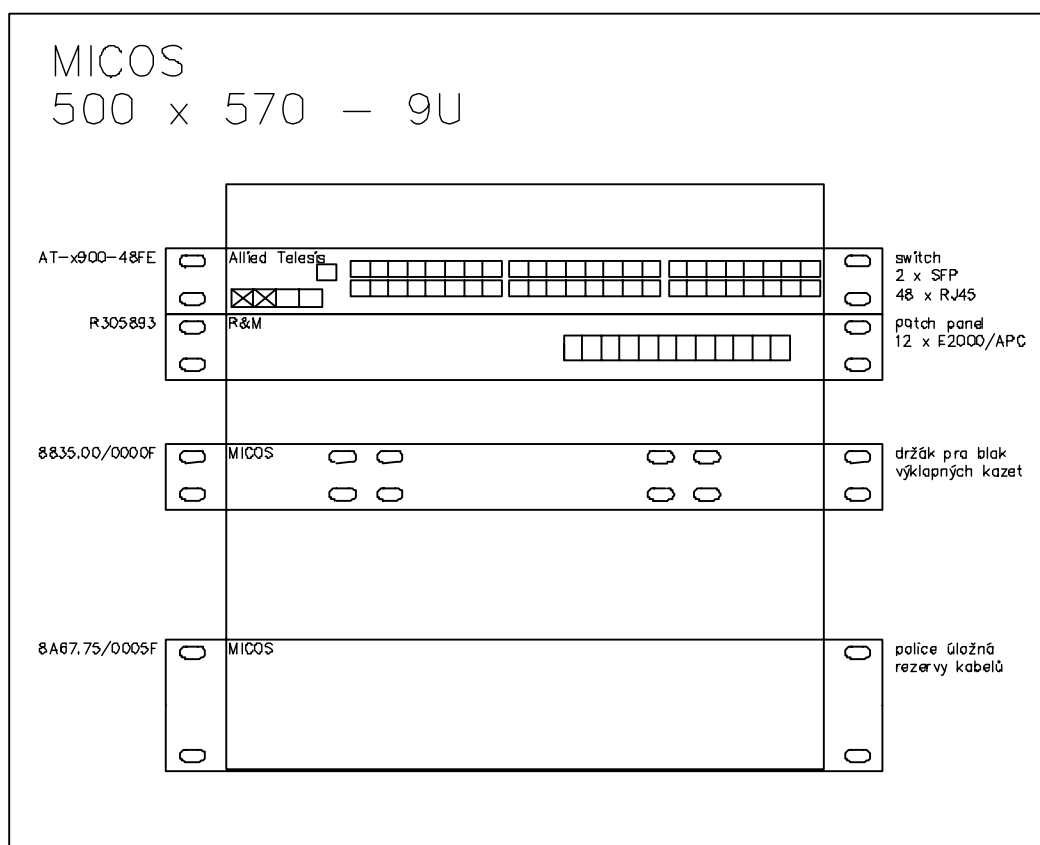
**POZNÁMKY:**

Barva vláken se může lišit podle výrobce.

Projektant	Vladimír Tejkal	Druh dok.	FTTB	Inventar	
Projekt	OPTICKÁ SÍŤ	Název dok.	SCHÉMA OPTICKÝCH VLÁKEN	Č. zadávk.	
				Průběh zm.	2/4
				Datum vydání	26.3.2009



Příloha č.4  
FTTB – Rozmístění technologie v rozvaděči

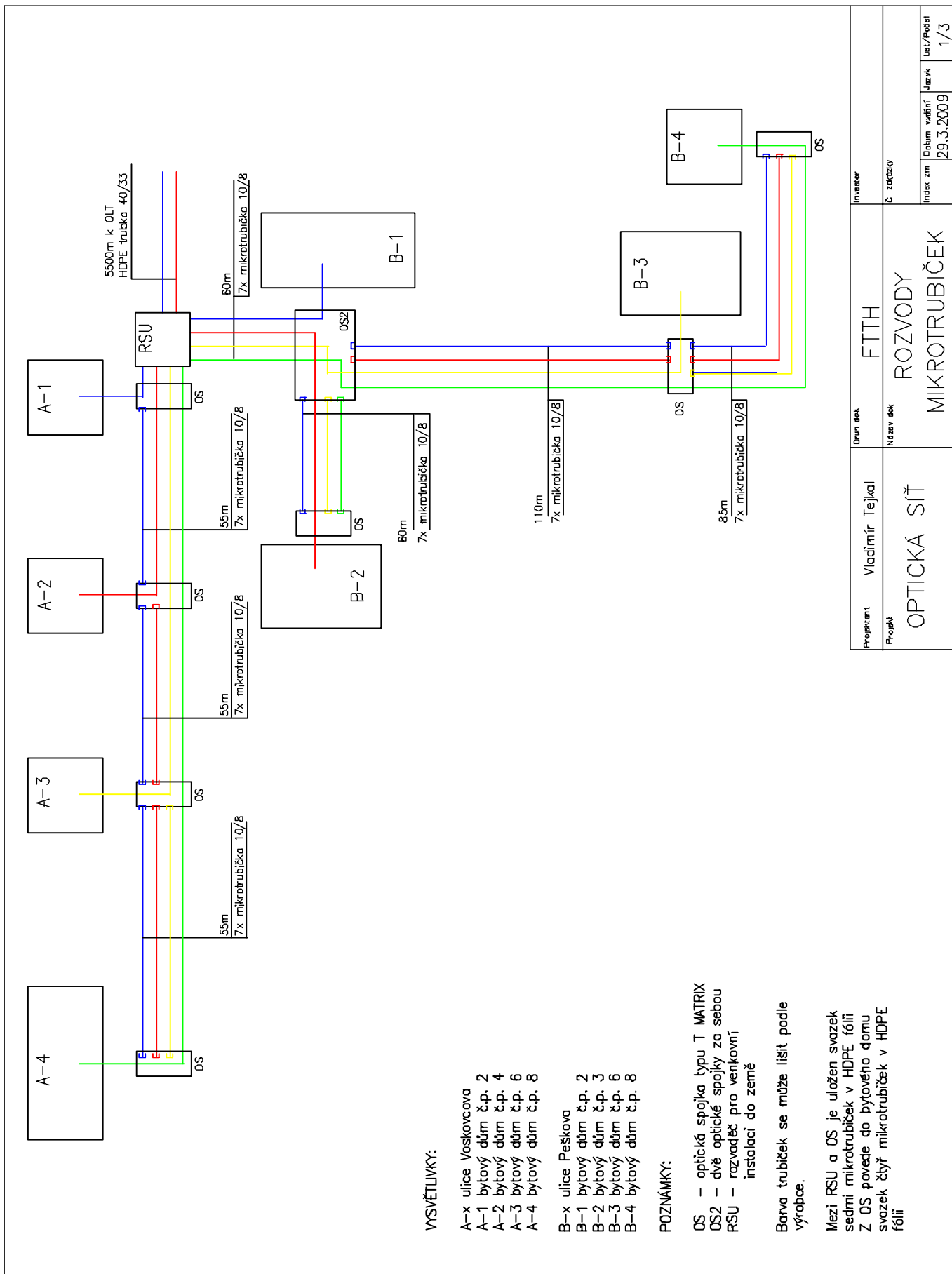


POZNÁMKY:

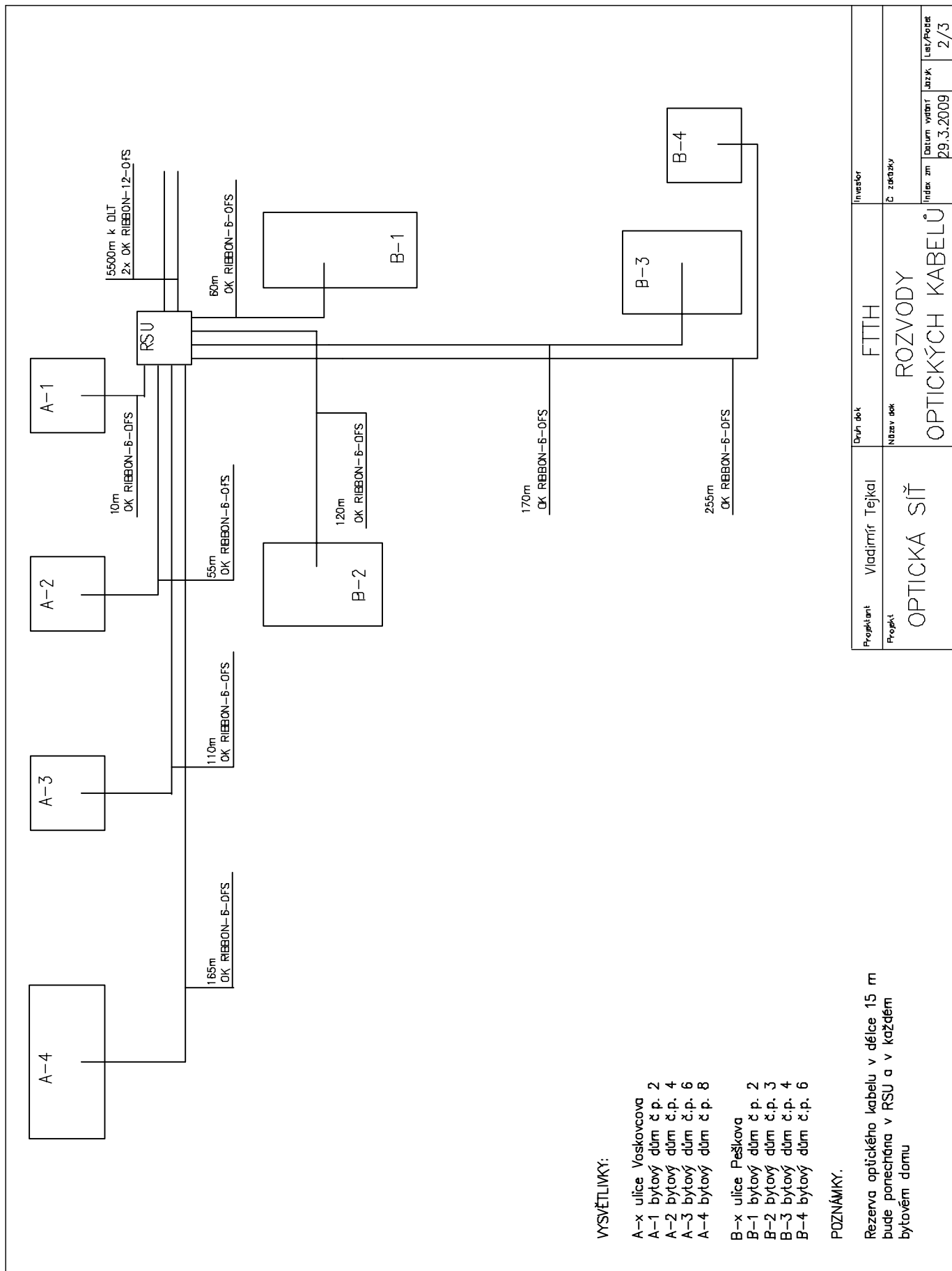
Rozmístění je pouze schematické  
a může se lišit  
Aktivní technologie bude umístěna  
v polici 8A29.00/1005F

Projektant Vladimír Tejkal	Druh dok. FTTB	Investor		
Projekt OPTICKÁ SÍŤ	Název dok. ROZMÍSTĚNÍ TECHNOLOGIE V ROZVADĚČI	Č. zakázky		
		Index zm.	Datum vydání 26.3.2009	Jazyk List/Počet 4/4

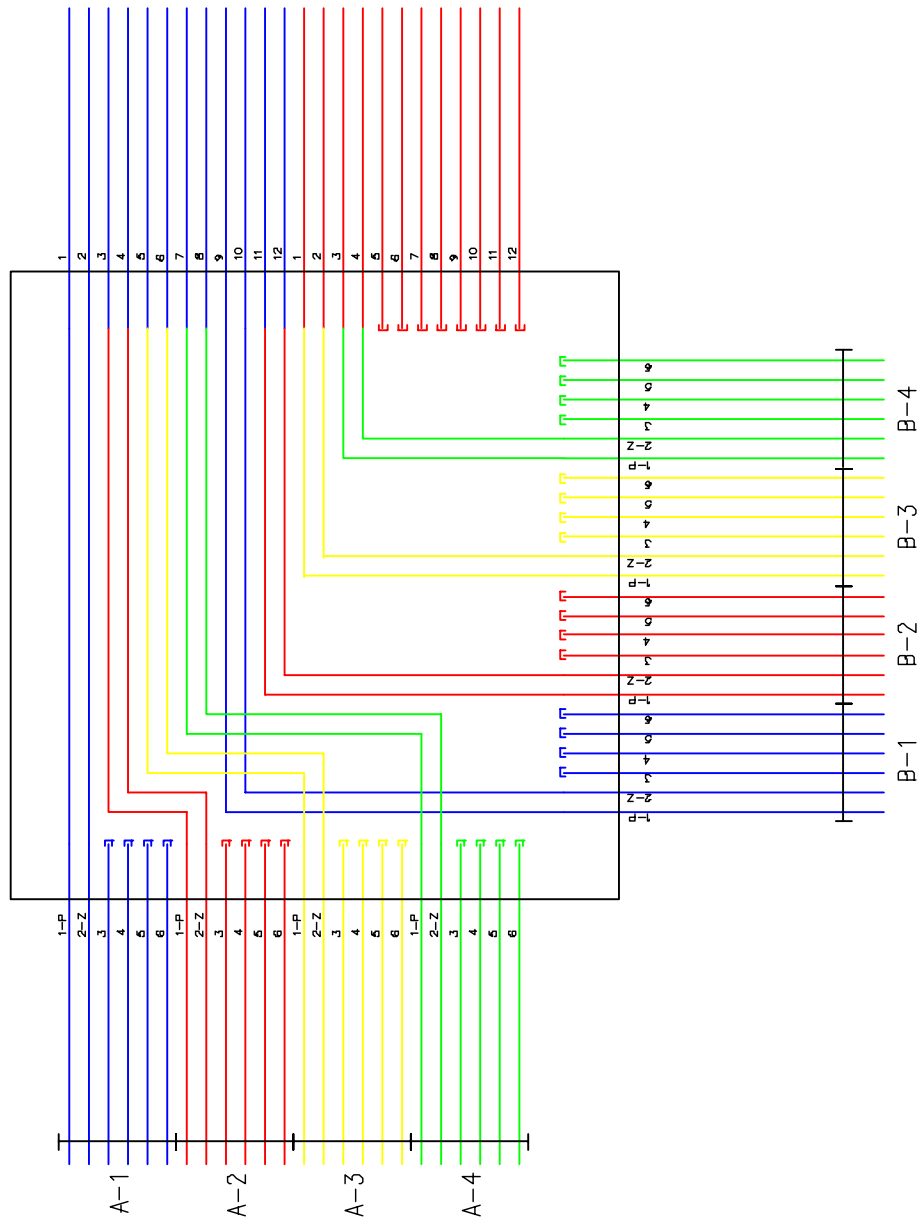
Příloha č.5  
FTTH – Rozvody mikrotrubiček



Příloha č.6  
FTTH – Rozvody optických kabelů



Projektant	Vladimír Tejkal	Druh dok.	FTTH	Investor	
Projekt	OPTICKÁ SÍŤ	Název dok.	ROZVODY OPTICKÝCH KABELŮ	Č. zprávy	
				Index zm.	2/3
				Datum vyhot.	29.3.2009
				Jazyk	Lat/Polat



**VYSVĚTLIVKY:**

- A-x ulice Voskovicova
- A-1 bytový dům č.p. 2
- A-2 bytový dům č.p. 4
- A-3 bytový dům č.p. 6
- A-4 bytový dům č.p. 8
- B-x ulice Peškova
- B-1 bytový dům č.p. 14
- B-2 bytový dům č.p. 15
- B-3 bytový dům č.p. 16
- B-4 bytový dům č.p. 18

**OZNAČENÍ VLÁKEN:**

- x-P provozní vlákno
- x-Z záložní vlákno
- nezapojené v OLT

Projektant	Vladimír Tejkal	Druh dok.	FTTH	Investor	
Projekt	OPTICKÁ SÍŤ	Název dok.	PROPOJENÍ VLÁKEN V RSU	Č. zakázky	
				Index zm.	29.3.2009
				Jazda	3/3
				Let/Posed	