



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA PODNIKATELSKÁ

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT

## ÚSTAV INFORMATIKY

INSTITUTE OF INFORMATICS

# MODERNIZACE ČÁSTI METROPOLITNÍ OPTICKÉ SÍŤOVÉ INFRASTRUKTURY

PARTIAL RENOVATION OF METROPOLITAN OPTICAL NETWORK INFRASTRUCTURE

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Cichra

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.

BRNO 2019

## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav informatiky  
Student: **Petr Cichra**  
Studijní program: Systémové inženýrství a informatika  
Studijní obor: Manažerská informatika  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně zadává bakalářskou práci s názvem:

### **Modernizace části metropolitní optické síťové infrastruktury**

#### **Charakteristika problematiky úkolu:**

Úvod  
Cíle práce, metody a postupy zpracování  
Teoretické podklady práce  
Analýza současného stavu a požadavků  
Rozbor možných řešení a výběr optimálního z nich  
Vlastní návrh řešení  
Závěrečné zhodnocení výsledků  
Seznam použité literatury  
Přílohy

#### **Cíle, kterých má být dosaženo:**

Cílem bakalářské práce je seznámení se s problematikou metropolitních optických datových sítí. Na základě požadavků zadavatele proveďte analýzu, rozbor aktuálního stavu a možností řešení zadání, výběr vlastního řešení a ekonomickou rozvahu. Práci doplňte teoretickou průpravou a završte ji projektovou dokumentací.

#### **Základní literární prameny:**

HORÁK, J. a M. KERŠLÁGER. Počítačové sítě pro začínající správce. 5., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3176-3.

JORDÁN, V. a V. ONDRÁK. Infrastruktura komunikačních systémů I: univerzální kabelážní systémy. 2. rozšíř. vyd. Brno: CERM, Akademické nakladatelství, 2015. ISBN 978-80-214-5115-5.

KUROSE, J. F. a K. W. ROSS. Počítačové sítě. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-2513--25-0.

LAFATA, P. a J. VODRÁŽKA. Optické přístupové sítě a přípojky FTTx. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05463-5.

PUŽMANOVÁ, R. TCP/IP v kostce. 2., upr. a rozš. vyd. České Budějovice: Kopp, 2009. ISBN 978-8-7232-388-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně dne 28.2.2019

L. S.

---

doc. RNDr. Bedřich Půža, CSc.  
ředitel

---

doc. Ing. et Ing. Stanislav Škapa, Ph.D.  
děkan

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je zaměřena na přestavbu aktivní metalicko-optické sítě v lokalitě Brno – Zábrdovice, konkrétně v ulicích Šámalova, Kuldova a Krokova na čistě pasivní optickou síť vybudovanou na bázi xPON technologií s možností dalšího nenákladného rozšiřování kapacity. Dílčím cílem je důkladná analýza současného stavu a hlavním pak návrh řešení modernizace stávající síťové infrastruktury do podoby xPON a následně tento návrh realizovat. V teoretické části bakalářské práce budou popsány problémy spjaté s těmito technologiemi s ohledem na současné a budoucí trendy ve výstavbě optických sítí. Dále bude orientačně vyhodnocena ekonomická náročnost investice do této přestavby.

## **Klíčová slova**

Počítačová síť, optické kabely, aktivní a pasivní prvky, PON, GPON, FTTH, pasivní optická síť, přístupová optická síť

## **Abstract**

This bachelor thesis is focused on rebuilding of active metallic-optical network in locality Brno – Zábrdovice, in the streets Šámalova, Kuldova a Krokova on purely passive optical network based on xPON technology with possibility of further expansion of capacity. The partial goal is a thorough analysis of the current state and the main proposal is the solution of modernization of the existing network infrastructure into xPON and then implement this proposal. The theoretical part of the bachelor thesis describes the problems associated with these technologies with regard to current and future trends in the construction of optical networks. Furthermore, the economic intensity of the investment in this reconstruction will be evaluated.

## **Key words**

Computer network, optical cables, active and pasive elements, PON, GPON, FTTH, pasive optical network, optical access network

### **Bibliografická citace**

CICHRA, Petr. *Modernizace části metropolitní optické síťové infrastruktury* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119909>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, Ústav informatiky. Vedoucí práce Vít Novotný.

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 10. 5. 2019

.....

podpis studenta

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Vítu Novotnému Ph.D. za velmi odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi byly z jeho strany poskytnuty při zpracovávání této práce. Dále bych chtěl poděkovat svému oponentovi panu Mgr. Otakaru Lávičkovi, který mi poskytl velmi cenné rady z praxe.

## OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>CÍLE PRÁCE, METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ</b> .....	<b>12</b>
<b>1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE</b> .....	<b>13</b>
<b>1.1 Datová síť</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2 Vrstvový model ISO/OSI</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3 Způsoby přenosu informace fyzickou vrstvou</b> .....	<b>16</b>
1.3.1 Metalické kabely .....	16
1.3.2 Optická vlákna .....	18
1.3.3 Optické kabely .....	25
<b>1.4 Optická přístupová síť</b> .....	<b>28</b>
1.4.1 Hlavní funkce přístupové sítě .....	29
1.4.2 Základní funkční celky optické přístupové sítě .....	29
<b>1.5 Aktivní optická síť AON</b> .....	<b>33</b>
<b>1.6 Pasivní optické sítě PON</b> .....	<b>34</b>
1.6.1 Uspořádání podle umístění ONT .....	35
1.6.2 Topologie pasivních optických sítí .....	38
1.6.3 APON.....	39
1.6.4 BPON.....	40
1.6.5 GPON.....	40
1.6.6 EPON .....	44
1.6.7 Srovnání technologie GPON a EPON .....	45
<b>1.7 Služby Triple-play</b> .....	<b>46</b>
<b>1.8 SWOT ANALÝZA</b> .....	<b>46</b>
<b>2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU</b> .....	<b>48</b>
<b>2.1 Současný stav sítě</b> .....	<b>48</b>
2.1.1 Popis jednotlivých optických tras .....	50
2.1.2 Vedení a ukončení optických vláken .....	52

2.2	Použitá technologie .....	56
2.3	Požadavky ISP.....	61
2.4	Možnosti připojení k internetu .....	62
2.5	SWOT .....	62
3	NÁVRHY ŘEŠENÍ.....	63
3.1	Přenosová kapacita .....	63
3.2	Srovnání s ostatními výrobci .....	63
3.3	OLT .....	64
3.4	ONT.....	64
3.5	Návrh tras optických kabelů.....	65
3.5.1	Varianta s konektory .....	65
3.5.2	Varianta bez konektorů .....	65
4	VÝBĚR ŘEŠENÍ.....	67
4.1	Výběr typu pasivní sítě .....	67
4.2	Výběr optické trasy .....	68
4.2.1	Obecné schémata dělení splitterů .....	69
4.2.2	Trasa K17 – K7 – K1 – KR30 .....	72
4.2.3	Trasa K17 – Š90 .....	74
4.2.4	Trasa Š90 – Kr32 .....	75
4.2.5	Trasa K18 – Z22 .....	76
4.2.6	Trasa K28 – Š100 – Z16 .....	77
4.2.7	Návrh na nové vybudování tras .....	78
4.3	Výběr a umístění OLT jednotky.....	80
4.4	Výběr způsobu zakončení ONT jednotek.....	80
4.5	Materiálová kniha .....	80
4.6	Ekonomické zhodnocení projektu .....	83
4.6.1	Náklady .....	84
4.6.2	Výnosy .....	84

4.6.3 Doba návratnosti nákladů .....	85
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>86</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>I</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>IV</b>
<b>SEZNAM TABULEK .....</b>	<b>VI</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>VII</b>

## ÚVOD

Současná doba klade vysoké nároky na kvalitní přenos dat tzv. Triple Play služeb, které vyžadují stále vyšší požadavky na přenosovou rychlost. Nahrává tomu i současný trend nově vznikajících průmyslových odvětví, která vyžadují vyšší nároky na real-time řízení společnosti. V budoucnosti je pravděpodobné, že se můžeme setkat s živým přenosem virtuální reality. Proto i důvod výběru tématu „Modernizace části metropolitní optické síťové infrastruktury“ byl zcela zřejmý, a to všeobecný zájem o informační technologie spjaté hlavně s počítačovými sítěmi a jejich realizací. Významnou roli hrálo mé momentální zaměstnání, ve kterém mi bylo umožněno psát bakalářskou práci právě na téma optické sítě. Reálnost projektu a jeho uplatnění v letošním roce mě přivedlo k myšlence zpracovat tento projekt jako téma bakalářské práce. Optická kabeláž je již dnes velkým trendem v řešení výstavby telekomunikačních sítích, protože pokrývá nároky multimediálních služeb na přenosovou kapacitu. Volba pasivního řešení oproti aktivnímu je z ekonomického hlediska rozumnější a přijatelnější. Další důvod byl i ten, že investor se chtěl právě aktivních prvků v trase zbavit.

## **CÍLE PRÁCE, METODY A POSTUPY ZPRACOVÁNÍ**

Cílem práce je na základě analýzy současného stavu navrhnout modernizaci části metropolitní síťové infrastruktury v lokalitě Brno – Zábrdovice, zejména optických tras až na úroveň jednotlivých vláken. Modernizace síťové infrastruktury zahrnuje převedení aktivní opticko-metalické sítě na čistě pasivní optickou síť s maximálním využitím stávajících tras. Nezbytnou součástí navrhovaných řešení a následné realizace je podrobná analýza současného stavu síťové infrastruktury. Nutné bude řádně vše zdokumentovat, dále se zorientovat v xPON technologiích, srovnat je mezi sebou a vybrat nejvhodnější volbu. Dílčím cílem je orientační vyhodnocení ekonomické náročnosti této investice.

Pro analýzu stávajícího stavu síťové infrastruktury bylo nezbytně nutné fyzicky projít a zdokumentovat trasy optické kabeláže a zjistit propojení a zakončení jednotlivých optických vláken. Na základě této analytické dokumentace byl vypracován návrh, jak přejít na vyspělejší – GPON technologii s minimálními zásahy do původních tras kabelů. Pro vyhodnocení silných a slabých stránek, příležitostí a hrozeb byla použita metoda SWOT. Pro ekonomické zhodnocení projektu posloužila materiálová kniha s orientačními počty kusů, běžnými metry kabeláže a k nim příslušnými tržními cenami bez DPH.

# 1 TEORETICKÁ VÝCHODISKA PRÁCE

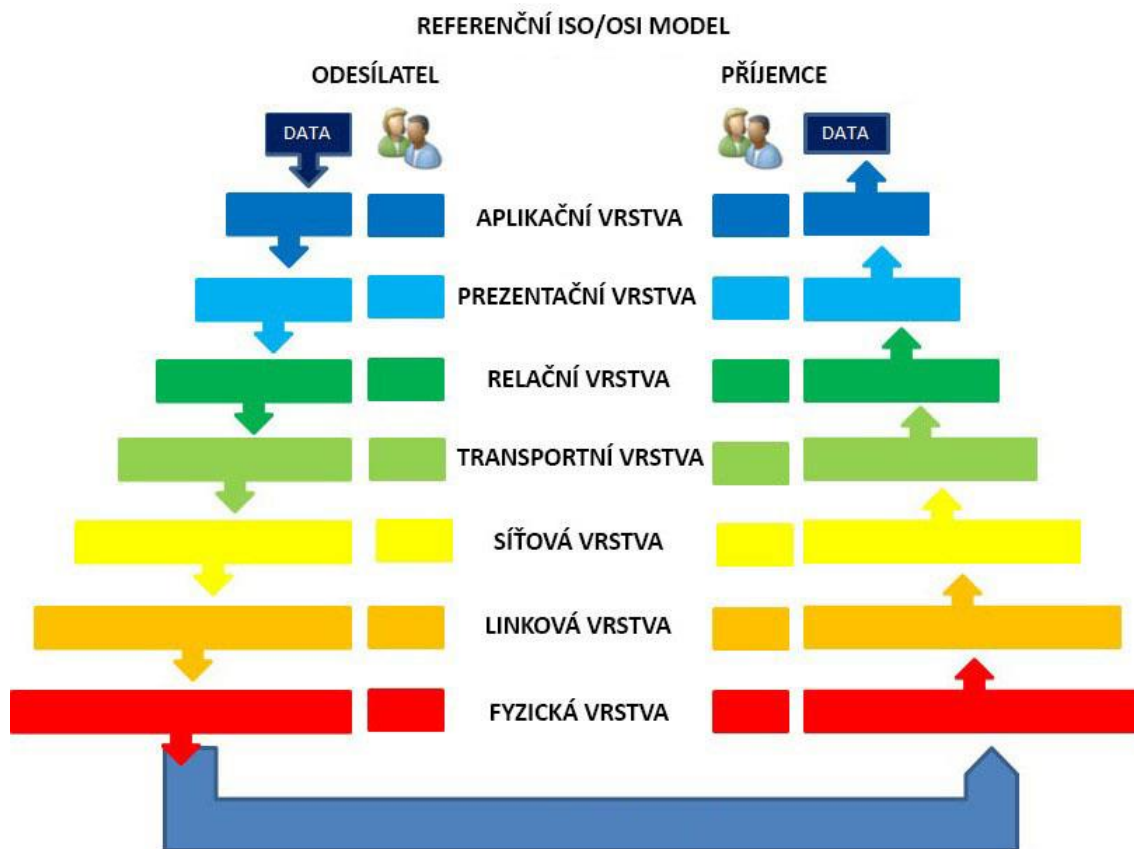
Následující teoretická část obsahuje úvod do problematiky počítačových sítí, popisuje referenční model ISO/OSI a jak se přenáší informace fyzickou vrstvou. Dále se zabývá metalickou a optickou kabeláží a optickými vlákny. Nejrozsáhlejší část je však věnována optickým přístupovým sítím. Tzn. seznámit čtenáře, co to optická přístupová síť je, z jakých částí se skládá, a jaké technologie a prvky se v ní používají. Dále teoretická část popisuje a porovnává xPON technologie.

## 1.1 Datová síť

Datová (počítačová) síť je spojení dvou a více výpočetních zařízení (počítačů) tak, aby spolu mohly vzájemně komunikovat. Počítačová síť může být realizována pomocí kabelů (například kabelem, telefonní linkou, optickým vláknem), bezdrátovým způsobem (např. Wi-Fi) nebo jejich kombinací. Počítačovou síť tvoří celá řada síťových prvků, které zajišťují a realizují spojení a výměnu dat mezi připojenými zařízeními. Počítačová síť umožňuje propojení jednotlivých zařízení a umožňuje uživatelům sdílení a využívání různých zařízení (například tiskáren, serverů). Sdílení dat pomocí sítě je jedním z klíčových přínosů pro obor. Z technického hlediska se počítačová síť skládá z aktivních a pasivních prvků a provoz na ní je realizován v několika vrstvách. Architekturu referenčního modelu ISO/OSI a praktické použití TCP/IP si vysvětlíme v následující kapitole. [1]

## 1.2 Vrstvový model ISO/OSI

Sedmivrstvý referenční ISO/OSI model definuje síťovou komunikaci, tedy mezi každým zařízením, které je schopno se připojit do sítě. Celkem sedm vrstev se dělí na část aplikační, která zahrnuje aplikační, prezenční, relační, a část zaměřenou na přenos, do které spadají zbylé čtyři vrstvy, tzn. transportní, síťová, linková a fyzická. Každá vrstva může fyzicky komunikovat pouze se sousedními vrstvami, logicky však komunikuje vždy s protilehlou vrstvou. Z důvodu velké rozsáhlosti a těžkopádnosti ISO/OSI modelu se v dnešní době nepraktikuje, ale plní roli referenčního modelu, tzn. vychází se z jeho logiky a architektury. [5]



Obrázek 1: Referenční model ISO/OSI

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [9])

Základem kvalitní sítě je kabeláž, která je zahrnuta ve fyzické vrstvě. Mít spolehlivou kabeláž je nutným a základním předpokladem dobré funkčnosti celého systému. Pokud vezmeme v potaz, že příliš velký ohyb kabelu nebo špatně přidělaný konektor sníží přenosové parametry celého kabelážního systému, vyvodíme závěry, že kabeláž je velice důležitá část počítačové sítě. [2]

### Fyzická vrstva

Jedinou vrstvou, která podporuje fyzickou komunikaci dat mezi systémy, je nejnižší vrstva a to fyzická. Zajišťuje nadřazené vrstvě (linkové) přenos jednotlivých bitů mezi odesílatelem a příjemcem prostřednictvím fyzického média, přičemž nepoužívá žádnou adresaci. [2]

### **Linková vrstva**

Linková neboli spojovaná vrstva plní své funkce vždy mezi dvěma přímo sousedícími komunikujícími systémy, řeší přenos bloků dat nazvaných rámce v jedné síti. K adresaci je používána lokální adresace. [2]

### **Síťová vrstva**

Účelem síťové vrstvy je poskytnout síťové spojení otevřeným systémům, které spolu chtějí komunikovat, a přitom spolu nemusí přímo sousedit. Síťová vrstva hledá vhodnou cestu a obstarává přenos paketu k libovolnému uzlu na světě. Pro adresaci využívá globální adresaci. [2]

### **Transportní vrstva**

Transportní vrstva zajišťuje transparentní, spolehlivý a cenově dostupný přenos s požadovanou kvalitou a optimalizuje nejrůznější síťové služby. Jednotkou přenosu je datagram a adresace probíhá pomocí čísel portů, díky kterým se data donesou ke konkrétní aplikaci. [2]

### **Relační vrstva**

Relační vrstva je nejméně vytíženou vrstvou. Jednotkou přenosu je relace, tedy spojení. Jedná se například o udržování přihlášení na webové stránce. [2]

### **Prezentační vrstva**

Prezentační vrstva zajišťuje transparentní přenos zpráv mezi koncovými uživateli a zabývá se jen strukturou zpráv, a nikoliv jejich významem., který je znám pouze na aplikační vrstvě. [2]

### **Aplikační vrstva**

Aplikační vrstva poskytuje aplikacím přístup ke komunikačnímu systému a tím umožní jejich vzájemnou spolupráci. Příkladem síťových aplikací mohou být například elektronická pošta (FTP nebo TFTP), přenos souborů (TELNET), vzdálený přístup, komunikace mezi servery a klienty nebo management sítí (SNMP). [2]

## 1.3 Způsoby přenosu informace fyzickou vrstvou

Pro přenos dat se používají primárně tři přenosová média:

- **Metalické kabely** – přenos uskutečněn pomocí elektronického potenciálu
- **Optické kabely** – přenos prováděn pomocí světla
- **Volný prostor** – bezdrátová komunikace přenášena za pomoci mikrovln, rádiových vln nebo infračerveného světla. [3]

### 1.3.1 Metalické kabely

Metalický kabel je znám především pro svou relativně nízkou nákladnost a menší náchylnost k poškození, to dokazuje například poloměr ohybu 2-3 cm. Běžné standardy povolují maximální délku kanálu 100 metrů. Kanál je tvořen z linky, která propojuje konektor v přepojovacím panelu s konektorem v datové zásuvce a má maximální délku 90 metrů, a pracovním vedením, pod které spadá propojovací kabel zařízení a připojovací kabel pracoviště. Výhodou je bezesporu napájení po datovém kabelu PoE (Power over Ethernet). Naopak metalický kabel vykazuje velkou náchylnost na elektromagnetické rušení, i když se provádí různé stínění kabelu. Rychlosti jsou dnes běžně do 10Gbps. [3]

#### Dělení metalického kabelu dle stínění:

- Nestíněné = UTP (Unshielded Twisted Pair)
- Stíněné opletením = STP (Shielded Twisted Pair)
- Stíněné fólií = FTP (Foiled Twisted Pair)
- Stíněné fólií a opletením (Shielded Foiled Twisted Pair) [3]

#### Dělení metalického kabelu dle materiálu:

- PVC (polyvinylchlorid)
- NH materiály (non halogen)
  - LSOH (Low Smoke Zero Halogen)
  - FRNC (Flame Retardant Non-Corrosive)
- PE (polyetylén)
- PUR (polyuretan) [3]

Tabulka 1: Přehled prvků konstrukce nestíněných kabelů

Kategorie	Frekvenční rozsah	Prvek pro snížení přeslechů mezi páry v kabelu	Prvek pro snížení přeslechů mezi páry sousedních kabelů
5	100MHz	Ne	Ne
6	250MHz	Ano	Ne
6A	500MHz	Ano	Ano
7	600MHz	V UTP provedení není	
7A	1000MHz		

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [3], str. 47)

Tabulka 2: Přehled prvků konstrukce stíněných kabelů

Kategorie	Varianta	Frekvenční rozsah	Prvek pro snížení přeslechů mezi páry v kabelu	Individuální stínění páru kabelu	Celkové stínění kabelu
5		100MHz	Ne	Ne	Ano
6		250MHz	Ano	Ne	Ano
6A	1	500MHz	Ano	Ne	Ano
6A	2	500MHz	Ne	Ano	Ne
6A	3	500MHz	Ne	Ano	Ano
7		600MHz	Ne	Ano	Ano
7A		1000MHz	Nne	Ano	Ano

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [3], str. 47)

**Impedance vedení**, respektive podélná stabilita impedance vedení, je základním parametrem, který ovlivňuje kvalitu přenosu a sekundárně působí na téměř všechny ostatní přenosové parametry. Rozhodujícím faktorem je bezpochyby konstantní

vzdálenost os obou vodičů. Nekvalitní symetrie páru způsobí špatnou podélnou stabilitu impedance vedení a ta následně zvyšuje míru výskytu odrazů signálu a vytváří šumy a přeslechy. [3]

### 1.3.2 Optická vlákna

#### Princip šíření informace optickým vláknem

Ve srovnání s metalickým vedením, kde je informace přenášena pomocí elektrického signálu, je v optickém vlákně tato informace přenášena pomocí nosného světelného paprsku. Optické vlákno oproti metalickému vedení neřeší problémy typu rušení, indukce, zemnění atd. Výhodou světla je dosažení vysoké přenosové rychlosti, která může dosahovat až desítky Gbit/s. V neposlední řadě umožňuje přenos na velké vzdálenosti, které dosahují až stovky kilometrů. [3]

V PON sítích je signál posílán pomocí splitterů, česky rozbočovačů, které dokáží pracovat v obou směrech komunikace. Takže jejich funkce spočívá v rozdělování signálu na dílčí dopředné směry bez provádění jakýkoliv úprav, včetně zesílení signálu. Naopak směrem k OLT zase signály slučuje. [6]

Obousměrný přenos je realizován dvěma způsoby. První z nich je přenos samostatnými vlákny, ale tento způsob se příliš často nevyskytuje. Druhá možnost, která se v dnešní době hojně používá, je vlnové dělení WDM (Wavelength Division Multiplex). Přenos je uskutečněn na jednom vlákně, ale na různých vlnových délkách. Pro downstream se používá vlnová délka 1490 nm a pro upstream 1310 nm. [6]

#### Rozlišovací kritéria světla

Ve srovnání s elektrickým signálem, kde je hlavní rozlišovací kritérium frekvence neboli kmitočet, je základním rozlišovacím kritériem použitelné šířky pásma pro přenos optickým vláknem parametr vlnová délka světla. [3]

Vztah mezi kmitočtem a vlnovou délkou definujeme následujícím vzorcem:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

kde:

$\lambda$  – vlnová délka

$v$  – fázová rychlost šíření vlnění (rychlost světla)

f – frekvence vlnění

Výsledek je uváděn v nanometrech (nm).

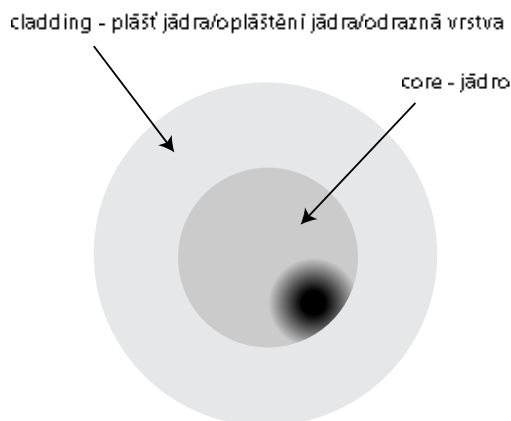
Světlo můžeme rozdělit do několika skupin:

- Barevné: například slunce, oheň nebo žárovka
- Monochromatické: tzv. jednobarevné světlo, které získáme pomocí filtru, jedná se například o LED
- Koherentní: jedna konstantní vlnová délka a konstantní fáze, bavit se můžeme o laseru [3]

Pro MultiMode (MM) vlákna se obvykle používají světlo s vlnovou délkou 850nm a 1300nm a u SingleMode (SM) vlákna se setkáme nejčastěji s 1310nm a 1550nm. V praxi se však setkáme s různými kombinacemi vlnových délek, například u SM vlákna některá zařízení používají vlnovou délku 1490nm nebo 1590nm. [3]

### Struktura optického vlákna

Skleněné optické vlákno (FO – Fiber Optic) tvoří dvě základní části. První z nich v ose vlákna se nachází jádro – anglicky core, které je tvořeno z křemičitého sklad dopovaného germaniem. Na jádru je neoddělitelná vrstva plášť jádra – anglicky cladding, který je z čistého skla a tvoří odraznou vrstvu. [3]

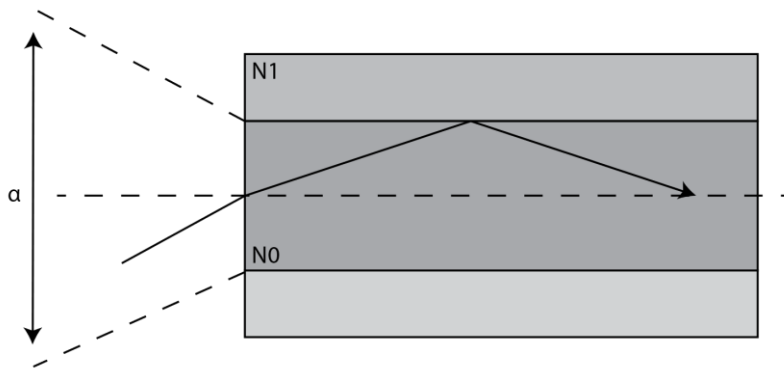


Obrázek 2: Struktura optického vlákna

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [3], str. 113)

Důležitým faktorem je úhel, který svírá jádro a odrazná vrstva, protože vstupní paprsek může být odražen v závislosti na tomto úhlu. Kritický úhel je dán poměrem indexu lomu

světla pro jádro a odraznou vrstvu. Paprsek musí dopadat v rozmezí úhlu  $\alpha$ , aby byl veden vláknem. Schopnost vlákna navázat z okolního prostředí do svého do svého jádra optický výkon se nazývá numerická aparatura (NA), přičemž  $NA < 1$ . [3]



Obrázek 3: Přenos paprsku vláknem

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [3], str 114)

$$NA = \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$$

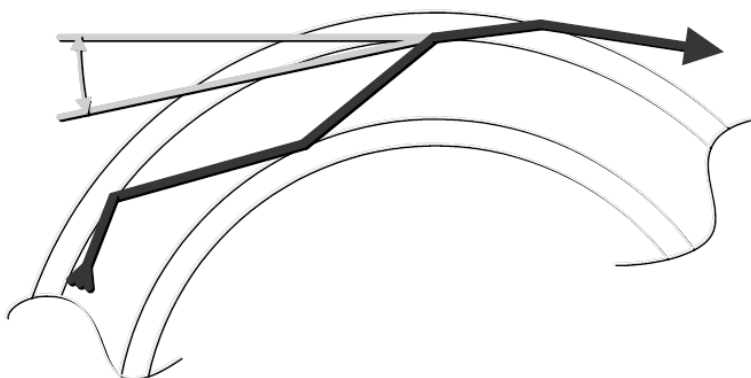
$$NA = (n_0^2 - n_1^2)^{\frac{1}{2}}$$

kde:

$n_0$  – index lomu jádra

$n_1$  – index lomu odrazné vrstvy

Numerická aparatura je pro MM FO 50/125 0,2 nebo 0,23 a pro MM FO 62,5/125 je 0,275.



Obrázek 4: Kritický úhel

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [3])

Překročením kritického úhlu se paprsek neodrazí o rozhraní jádra a odrazné vrstvy, ale lomí se, tudíž přes odraznou vrstvu je směřován mimo vlákno. [3]

### Dělení optických vláken

#### Podle materiálu:

- skleněná
- plastová
- kombinovaná

Se skleněnými vlákny se setkáme především v infrastruktuře komunikačních systémů, s plastovými spíše v přístrojové technice, na krátké vzdálenosti v přenosové technice, A/V zařízeních, automobilem, lodích, letadlech nebo automatizační technice. [3]

#### Podle průměru indexu lomu:

- Step Index – SI, skoková změna indexu lomu
- Multi Step Index – MI, skoková změna indexu lomu s více stupni
- Gradient Index – GI, plynulá změna indexu lomu

#### Podle přenosového módu:

- SM – Single Mode, jednovidový
- MM – Multi Mode, mnohovidový

SM a MM je označení pro přenosový režim. Například pokud posvítíme zkušební baterkou VFL (Visual Fault Locator) se světlem 650nm do SM vlákna, bude toto vlákno přenášet světlo v MM režimu. [3]

#### Podle průměru jádra:

Tabulka 3: Dělení podle průměru jádra

Průměr jádra	Režim přenosu	Index lomu	Materiál
8 nebo 9 $\mu\text{m}$	SM	Jádro SI	Skleněné FO
50 a 62,5 $\mu\text{m}$	MM	Jádro GI	Skleněné FO
100 $\mu\text{m}$	MM	Jádro SI	Skleněné FO
900 $\mu\text{m}$	MM	Jádra SI, MI, GI	Plastové FO

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [3], str. 115)

Zmínit můžeme i pokusy se 7 a 10  $\mu\text{m}$  jádry, ale neuchytily se. Za nejstarší dnes však již nepoužívaný průměr jádra považujeme 100  $\mu\text{m}$ . U plastových vláken se zkouší i jiné průměry jádra. Přestože se v dnešní době příliš nevyskytují v komunikačních systémech, lze očekávat, že se jejich vývoj posune dál a plastová vlákna proniknout i do tohoto segmentu. [3]

#### **Podle průměru pláště:**

Průměr pláště jádra optického vlákna přesně pasuje na otvor ferule optického konektoru.

Tabulka 4: Průměry odrazné vrstvy

Průměr pláště	Materiál	Průměr jádra
125 $\mu\text{m}$	Skleněné FO	8, 9, 50, 62,5 $\mu\text{m}$
140 $\mu\text{m}$	Skleněné FO	100 $\mu\text{m}$ (nepoužívá se)
1000 $\mu\text{m}$	Plastové FO	-

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [3], str. 116)

#### **Podle ochrany vlákna:**

- **Primární**

- Na optickém vlákně je nanese speciální vrstva laku, která chrání FO proti vlhkosti a chemickým vlivům. Průměr bývá většinou 250  $\mu\text{m}$ , avšak někteří výrobci zkouší i 200  $\mu\text{m}$ . Na skleněném vlákně tento lak najdeme vždy. [3]

- **Těsná sekundární**

- Těsná sekundární ochrana je plastová bužírka o průměru 900  $\mu\text{m}$ , která je aplikovaná na primární ochranu. Chrání tak vlákno mechanicky a zajišťuje mu potřebnou pevnost pro manipulaci a instalaci optického konektoru. [3]

- **Volná sekundární**

- Princip volné sekundární ochrana spočívá v uložení volným způsobem několika optických vláken s primární ochranou do trubičky, ve které je volný prostor vyplněn gelem. Průměr trubičky je závislý na počtu vložených optických vláken. Tento způsob není doporučen pro instalaci optického konektoru, jelikož vlákna nejsou dostatečně mechanicky odolná a konektor by je mohl svou vahou zlomit. [3]

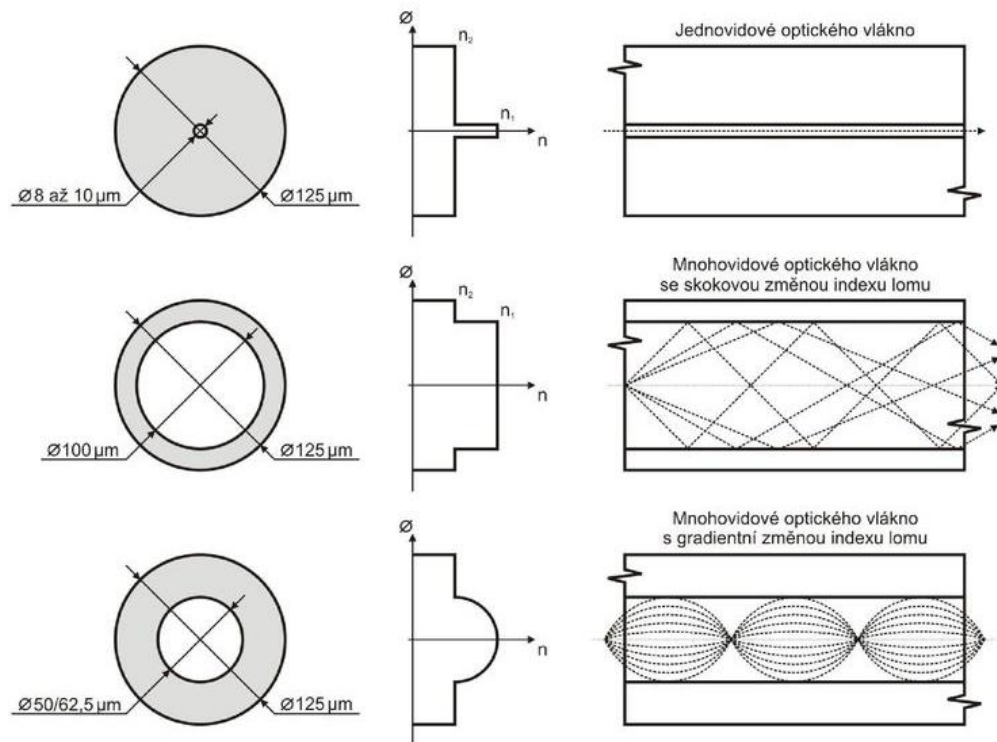
## Způsob značení vláken

Značení vláken je tvořeno trojčíslicím odděleno lomítky – XX/YYYY/ZZ, kde X = průměr jádra, Y = průměr opláštění jádra a Z = průměr ochrany, která je přímo a samostatně na každém z vláken. [3]

Příklady:

1. 9/125/250 – SM, jádro 9  $\mu\text{m}$ , FO s volnou sekundární ochranou
2. 50/125/900 – MM GI, jádro 50  $\mu\text{m}$ , FO s těsnou sekundární ochranou
3. 62,5/125/250 – MM GI, jádro 62,5  $\mu\text{m}$ , FO s volnou sekundární ochranou
4. 100/140/900 – MM SI, jádro 100  $\mu\text{m}$ , FO s těsnou sekundární ochranou [3]

## Průběh indexu lomu



Obrázek 5: Průběh indexu lomu

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [10])

Paprsky mnohovidového optického vlákna se skokovou změnou indexu lomu se pouze odrážejí o rozhraní jádra a odrazné vrstvy. Naopak paprsky u gradientního průběhu indexu lomu se navíc díky plynulé změně indexu lomu ohýbají. Singlemode vlákno má skokový index lomu a aby mohlo pracovat SM režimu, musíme použít takovou vlnovou

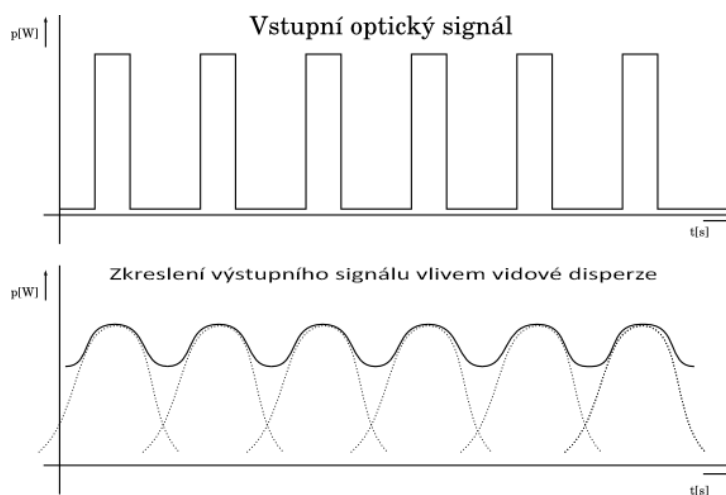
délku světla, že se do průměru jádra vejde pouze jediný vid. Ten se potom šíří v ose jádra a odráží se pouze při ohybech kabelu. [3]

### **Průměr vidového pole (MFD – Mode Field Diameter)**

Průměr vidového pole označuje průměr pole potřebný pro jeden vid při dané vidové délce. Například pro Single Mode režim platí, že MFD musí odpovídat přibližně průměru jádra. Pro vlnovou délku 1310nm je průměr pole na 8,9-9,5  $\mu\text{m}$ . [3]

### **Vidová disperze MM vláken**

Disperze omezuje přenosovou rychlost a šířku pásma MM optických vláken. Výrazná vidová disperze se nachází u MM Step Index, o něco méně se projevuje i u GI vláken. [3]



Obrázek 6: Vidová disperze u MM

(Zdroj: [11])

Příčina tohoto jevu je způsobena právě MM režimem, kdy se vláknem šíří více vidů stejnou a konstantní rychlostí, avšak jednotlivé vidy se liší délkou dráhy. Na konec trasy dorazí v rozdílném čase, čemuž se říká diferenciální vidové zpoždění (DMD-Differential Mode Delay) a rozšiřují vyslaný impulz. To při překročení stanovených limitů způsobí chybu přenosu. [3]

### **Disperzní jevy u SM vláken**

U Single Mode optických vláknech se vyskytuje chromatická disperze CD (Chromatic Dispersion) a polarizační vidová disperze PMD (Polarization Mode Dispersion). [3]

### Chromatická disperze u SM vláken

Chromatická disperze u SM vláken je zapříčiněna tím, že v současné době ještě není k sehnání malý a levný prvek (laser – dioda) emitující čistě koherentní světlo (to zvládají pouze velké lasery). Emitované světlo tedy má různé spektrální složky, které se vláknem šíří rozdílnou rychlostí. Výsledek je obdobný jako u vidové disperze Multi Mode režimu, avšak po výrazně větší vzdálenosti. [3]

### Polarizační vidová disperze PMD

*„Polarizační vidová disperze je způsobena anizotropními vlastnostmi materiálu optického vlákna, tedy že index lomu a jeho profil není konstantní ve všech směrech a oblastech vlákna.“* [4]

Vysílané světlo má dvě polarizační roviny, které ve dvou osách svírají pravý úhel. V jádru optického asymetrického vlákna (nemá přesný kruhový průřez) světlo prochází podél jedné polarizační roviny jinou rychlostí než světlo druhé polarizační roviny. Tento efekt může natolik rozšířit impulzy, že se překrývají s dalšími, ba dokonce může dojít k deformaci tvaru tak, že nebude detekovatelný v přijímači. K deformaci jádra dochází především na základě výrobních tolerancí, nepřesností, mechanickým opotřebením a nevhodnou instalací. [3]

## 1.3.3 Optické kabely

### Základní přehled konstrukcí optických kabelů

- **Kabely s těsnou sekundární ochranou**
  - **BREAKOUT**
    - **Simplex** – Vláknem má primární ochranu a těsnou sekundární ochranu, přičemž pevnostní výplň a plášť se vztahuje pouze k tomuto jedinému vláknem. [3]



Obrázek 7: Breakout Simplex

(Zdroj: 3, str. 124)

- **Duplex** – Jedná se o dva simplexní kabely, jejichž pláště jsou svařeny k sobě do dvoulinky. [3]



Obrázek 8: Breakout Duplex

(Zdroj: [3], str. 124)

- **Breakout kabel** – Potřebný počet segmentů je k sobě stažen nylonovou nebo polyesterovou páskou, přes kterou je vyroben vnější plášť. Obvykle bývá v ose kabelu centrální tahový prvek. Počet segmentů se pohybuje v rozmezí 2-24. [3]



Obrázek 9: Breakout

(Zdroj: [3])

- **OPDS** – Potřebný počet vláken, které nemají svůj vlastní plášť, v těsné sekundární ochraně je omotán aramidovou výplní a přes ní je vyroben vnější plášť. Počet vláken se odvíjí od potřeby v rozmezí 2-24. [3]



Obrázek 10: OPDS kabel

(Zdroj: [3], str. 124)

- **INTEX** – Konstrukce je velmi podobná jako u předchozí varianty OPDS, s tím rozdílem, že aramidová výplň je nahrazena speciální páskou. V případě narušení pláště při styku s vlhkostí tato páska nabobtná a utěsní trhlinu v plášti. [3]



Obrázek 11: OPDS INTEX kabel

(Zdroj: [3], str. 124)

- **Kabely s volnou sekundární ochranou**

- **MFPT CT** – Tento typ konstrukce obsahuje pouze jednu trubičku pro uložení vláken. Počet vložených vláken se odvíjí od průměru trubičky, kolem které se nachází tahová výplň dle variant OPDS nebo INTEX. [3]



Obrázek 12: MFPT Central Tube

(Zdroj: [3], str. 125)

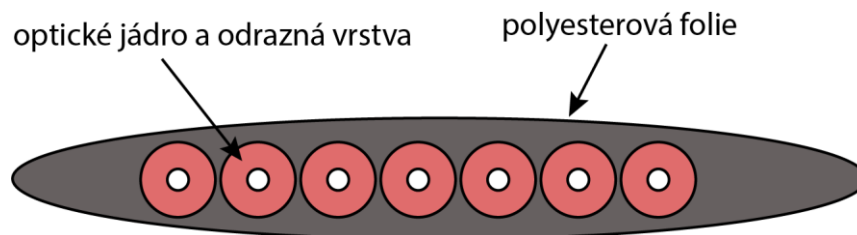
- **MFPT MT** – Oproti předchozí variantě obsahuje více trubiček pro uložení vláken. Dle průměru trubičky je kapacita 12-24 vláken, celkový počet vláken může být až 144 vláken. [3]



Obrázek 13: MFPT Multi Tube

(Zdroj: [3], str. 125)

- **RIBBON** – Základním konstrukčním prvkem je pásek, který nejčastěji obsahuje 2–12 vláken, které mají primární ochranu a jsou uloženy mezi dvě polyesterové folie tvořící tělo pásku a tím i sekundární ochranu. [3]



Obrázek 14: RIBBON kabel

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [3], str. 124)

- **Závěsné kabely**

- Závěsné kabely se vyznačují tím, že mají zvýšenou odolnost vůči vnějším vlivům. Samotný vnější plášť je vyroben z LSOH materiálu, tudíž je při vznícení bezhalogenní a produkuje málo dýmu. Důležitými parametry je tahová odolnost 1000 N a vysoká ohebnost.

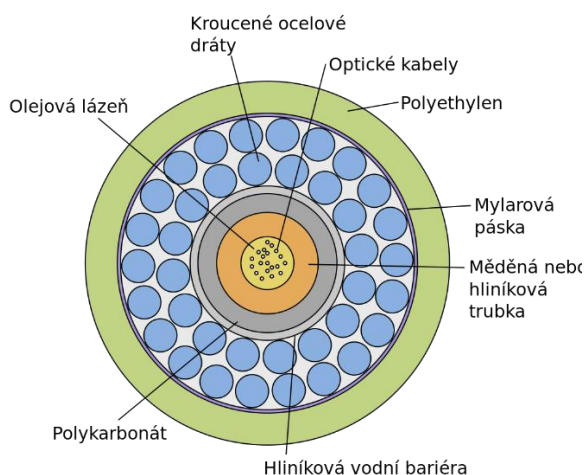


Obrázek 15: Závěsný optický kabel PoweGuide® TTH

(Zdroj: [19])

- **Podmořský kabel**

- Podmořský kabel je velice komplexní, protože musí splnit několik předpokladů: možnost opravy, napájení opakovacích prvků, ochranu při instalaci i opravě, ochranu proti zvířatům a tlaku. Jejich hlavním úkolem je spojit různé části světa, přičemž na takových infrastrukturách stojí globální internet. [5]



Obrázek 16: Struktura podmořské kabelu

(Zdroj: [20])

## 1.4 Optická přístupová síť

Síť OAN (Optical Access Network) neboli optická přístupová síť se jeví jako jedna z reálných možností pro přístup k telekomunikačním službám a vyhovuje i požadavku na vysokou přenosovou rychlost, která se například u větších firem pohybuje až v řádech stovek Mbit/s. [12]

OAN představuje síťovou infrastrukturu, která propojuje jednotlivé koncové body, obvykle byty, domy a kancelářské budovy, se síťovým distribučním bodem. Takové sítě jsou určeny převážně pro nasazení systémů FTTx (Fiber To The X), kde x zastává několik způsobů ukončení přístupové sítě, a to Home, Building, Curb nebo Office. Při navrhování

optických přístupových sítí je nutné klást důraz na nízké instalační a provozní náklady. Taková síť se poté si ideálně realizuje pro větší plochy území, obec nebo městskou část. K plánování přístupové sítě je vhodné přistupovat systematicky a používat jednotné komponenty a technologie, což významně ovlivní náklady, a nakonec i na celkový provoz a údržbu sítě. [12]

*„Ačkoli optická technologie byla výsadou páteřních sítí a metropolitních sítí, již teď je zřejmé, že se z dlouhodobého hlediska stane standardem i sítí přístupových. Optické vlákno se tak rozšíří z páteřních sítí až ke koncovému uživateli. Jedná se o pronikání optického vlákna do tzv. „poslední míle““. [[6], str. 49]*

### **1.4.1 Hlavní funkce přístupové sítě**

Celkový charakter přístupové sítě určuje typ přenosového traktu využívaný v distribuční části. Rozlišujeme dva typy:

#### **P2P (Point-To-Point)**

Prvním z nich je bod-bod, u kterého můžeme zmínit přímé spojení mezi OLT a ONT.

Tato optická distribuční architektura se považuje za jednu nejjednodušších, přičemž její princip spočívá v tom, že každé vlákno vede z centrály k právě jednomu zákazníkovi. Výhodou je nezpochybnitelně velká šířka pásma, protože každý uživatel má pro sebe vlastní vlákno. Nevýhodou je především vysoká cena kvůli množství materiálu potřebného k výstavbě sítě a kvůli technické náročnosti. [4]

#### **P2M (Point-To-Multipoint)**

Druhý typ je mnohabodový, například pasivní optická síť nebo aktivní optická síť. Hlavní myšlenkou této architektury je sdílení kapacity jednoho vlákna s více koncovými uživateli. [4]

### **1.4.2 Základní funkční celky optické přístupové sítě**

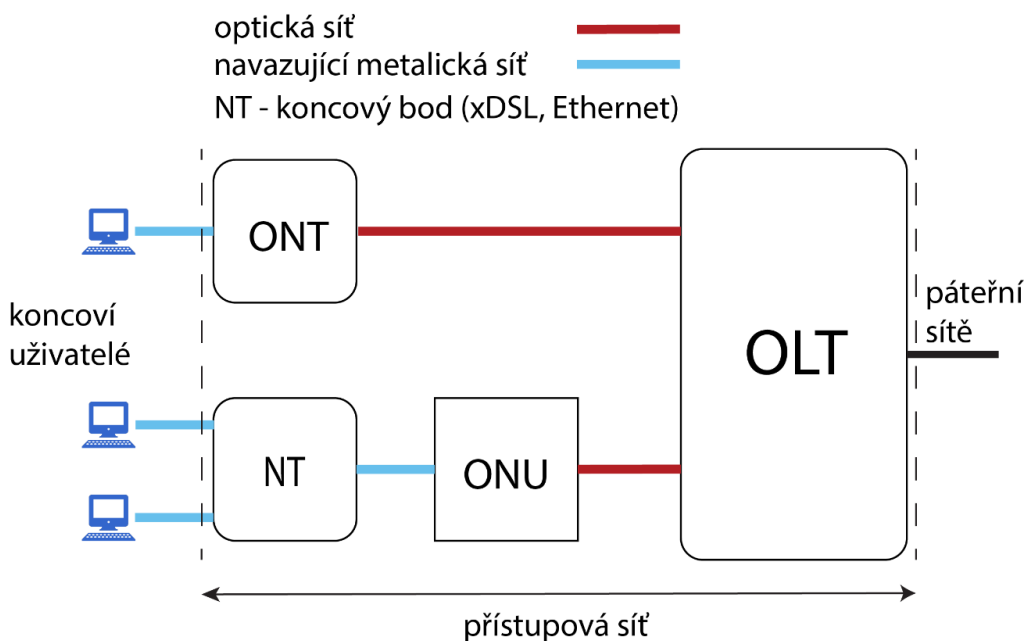
**Optická distribuční síť ODN** (Optical Distribution Network) zahrnuje veškeré přenosové prostředky a prvky na trase mezi OLT a ONU. V Případě pasivní optické sítě neobsahuje žádné aktivní prvky, které by potřebovaly napájení, řízení a vzdálený dohled (výjimku však tvoří PON síť s prodlouženým dosahem. Nejčastěji mezi optické prvky

patří optické vlákno, splittery, optické konektory, sváry, spojky, vlnové filtry a rozvaděče či optické panely. Obvyklá topologie je strom nebo hvězda. [4]

**Optické linkové zakončení OLT (Optical Line Termination)** zajišťuje funkce síťového rozhraní mezi přístupovou sítí a sítí zajišťující telekomunikační služby. Centrální jednotka, která ukončuje distribuční síť na straně majitele sítě PON, obvykle poskytovatele internetu. OLT slouží především na řízení, správu a dohled nad všemi ONT/ONU jednotkami, které se nacházejí na opačné straně ODN. Druhou nejvýznamnější funkcí je konverze mezi protokoly páteřní sítě a PON sítě. [4]

**Optické ukončující jednotky ONT (Optical Network Termination)** zastávají funkce účastnického rozhraní mezi koncovým zařízením účastníků a přístupovou sítí (VoIP, video, data). Slouží tedy jako opticko-metalický konvertor pro připojení uživatelského zařízení s rozhraním Ethernet. [4]

**Optické ukončující jednotky ONU (Optical Network Unit)** zprostředkovávají funkce rozhraní mezi optickou a metalickou částí přístupové sítě. Zajišťuje stejné funkce jako předchozí jednotka ONT, avšak na rozdíl od něho realizuje připojení uživatele prostřednictvím navazující metalické či bezdrátové kabeláže a používá se při nejrůznějších variant hybridních přípojek FTTx (kombinace s DSL, Wi-Fi nebo metalická kabeláž). [4]



Obrázek 17: Model uspořádání PON sítě s ONT a ONU jednotkou

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [4], str. 66)

## Pasivní optický rozbočovač – splitter

Jedním z nejdůležitějších prvků v optické pasivní síti je optický rozbočovač, který má za úkol vytvořit z jednoho vstupu vícero výstupů, zpravidla to bývají mocniny čísla 2 (2, 4, 8, 16, 32, 64, 128). V sestupném směru splitter rozdělí vstupní optický signál vysílaný z OLT jednotky do všech odchozích směrů ke koncovým ONT, ONU jednotkám. Ve vzestupném směru splitter naopak signály vysílané z ONT, ONU jednotek slučuje do jednoho společného signálu směřující do centrální jednotky. [4]

Existují dva typy splitterů:

### Fúzní splitter FTB (Fused Biconic Taper)

Fúzní splitter nebo někdy označován jako vláknový splitter se vyvinul jako první ze dvou variant, které dokáží rozdělit optický signál. Při výrobě fúzního splitteru se prvně odstraní veškeré ochrany a částečně i plášť, poté se zataví při vysoké teplotě. Pomocí kaskádního spojení základních vláknových Y-článků dostaneme požadovaný rozbočovací poměr. Tento způsob je výrobně náročnější, protože délka sváru ovlivňuje poměr, v jakém se optický výkon na vstupu rozloží do jader obou vláken. [4]

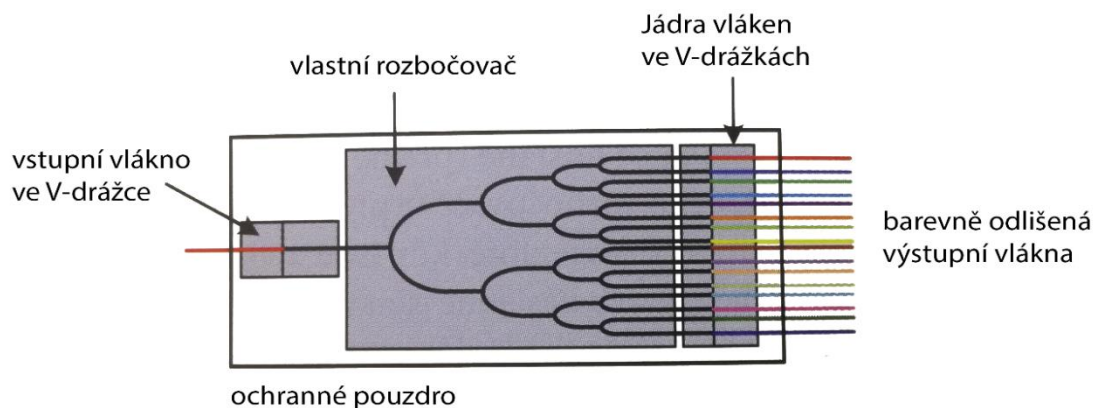


Obrázek 18: Výroba fúzního splitteru

(Zdroj: [4], str. 69)

### Planární PLC splitter (Planar Lightwave Circuit)

Novější způsob výroby rozbočovače, který se v dnešní době používá mnohem častěji. PLC splitter vzniká nařezáním destiček z křemenného skla  $\text{SiO}_2$ , na které jsou pomocí litografických metod vytvořeny masky s vyznačenou strukturou. Destička s maskou jsou pak ponořeny do speciálních roztoků a díky difúzi molekul stříbra a vodíku se vytvoří jádro vlnovodu. V neposlední řadě se vytvoří skleněné destičky s V-drážkami, do kterých se přesně založí jádra optických vláken. Nakonec se sestaví celý rozbočovač a zataví do pevného pouzdra. [4]



Obrázek 19: Vnitřní struktura planárního PLC splitteru

(Zdroj: [4], str. 70)

Tabulka 5: Typické parametry PLC rozbočovače

Rozbočovací poměr	1:2	1:3	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64	1:128
Dělicí poměr	symetrický							
Maximální útlum [dB]	3,9	6,2	7,4	10,8	14,1	17,3	21,0	25,3
Typický útlum [dB]	3,5	5,8	6,9	9,8	13,5	16,5	20,0	23,5
Uniformita maximální [dB]	0,5	0,6	0,6	1,0	1,3	1,6	2,0	2,8
Polarizační ztráty [dB]	$\leq 0,15$				$\leq 0,2$			
Směrovost [dB]	$\leq 55$							
Útlum odrazu [dB]	$\leq 55$							
Pásmo vlnových délek [nm]	1260-1650							
Provozní teplota [°C]	-40 až 85							

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [4], str. 71)

### **Rozbočovací poměr**

Rozbočovací poměr je matematické vyjádření poměru počtu výstupů rozbočovače. Nejčastěji označováno 1:N, kde za N lze dosadit tyto čísla: 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128. [4]

### **Dělicí poměr**

Jedná se o poměr, v jakém jsou vůči sobě výkony optických signálů na výstupech rozbočovače. Rozlišujeme symetrické splittery, u nichž jsou výkony z hlediska dělení výkonu stejné, a asymetrické splittery, které mají odlišné optické výkony na jednotlivých výstupech. [4]

### **Vložný útlum**

Vložený útlum u rozbočovače hraje významnou roli v distribučních sítích ODN, protože proces pasivního rozdělování vstupního optického signálu do několika výstupů představuje výrazný vložný útlum. Velikost vložného útlumu závisí na počtu výstupů samotného splitteru. [4]

### **Uniformita**

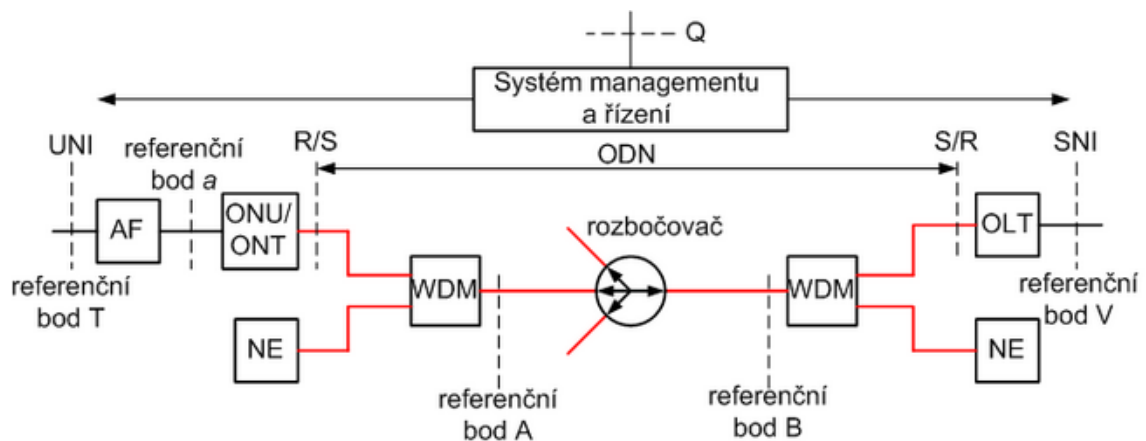
Uniformita rozbočovače představuje odchylky útlumu mezi vstupem a jednotlivými jeho výstupy od ideálního stavu. Vlivem výrobních technologií, jejich nepřesností a tolerancí vznikají pak tyto odchylky, které pak způsobují další vložný útlum v síti. [4]

## **1.5 Aktivní optická síť AON**

Aktivní optická síť využívá k propojení jednotky OLT s ONU aktivní síťové prvky, zejména se bavíme o digitálních zařízeních. AON bývá realizována technologií SDH (Synchronous Digital Hierarchy) s kruhovou topologií. S AON se setkáme nejčastěji u hybridních sítí, ve kterých tvoří AON základní infrastrukturu, na kterou se dále připojují další technologie. Hlavní výhodou aktivní optické sítě je bezesporu realizace větších vzdáleností mezi OLT a ONU, respektive díky zesilovačům, rozbočovačům a muldexům lehce překlene vzdálenost, než je ustanovená u pasivní optické sítě. Dále poskytují možnost použití větších dělicích poměrů v distribučních bodech. AON však se sebou nese značnou nevýhodu, a to nutnost napájení aktivních prvků. [4]

## 1.6 Pasivní optické sítě PON

Podle vlastností optických prvků a jednotek, které použijeme při distribuci optického vlákna, dělíme optickou přístupovou síť do dvou základních skupin: Aktivní optická síť, jež využívá aktivních prvků jako jsou zesilovače nebo aktivní rozbočovače, a pasivní optickou síť, která neobsahuje žádný aktivní prvek na trase mezi OLT a ONT. Pasivní optickou síť charakterizuje především výrazné snížení nákladů na realizaci komunikace, dokonce i na uživatelské přípojky, přičemž se zachovají veškeré výhody optické komunikace. Dobré je zmínit trend pronikání optiky do tzv. „poslední míle“, což vede k používání technologie FTTH. V pasivní optické síti najdeme nejčastěji P2MP provedení, kdy přenosový kanál sdílí několik uživatelů. Tento způsob je méně nákladný pro provozovatele sítě i pro koncového uživatele. Nevýhodou je zmiňované sdílení kanálu. Pokud klient potřebuje velkou šířku pásma, volí se způsob spojení P2P. Metoda je však nákladnější než P2MP, jelikož nedochází k rozdělení nákladů mezi více zákazníků. [6]



Obrázek 20: Referenční model PON sítě

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [4], str. 68)

- **UNI:** rozhraní User Network Interface vymezuje přechod mezi vlastní přístupovou sítí a lokální sítí koncových uživatelů.
- **SNI:** Service Node Interface označuje hranici mezi přístupovou sítí a navazujícími páteřními systémy.
- **Q:** Dohledové rozhraní celé PON sítě TMN (Telecommunication Management Network).

- **Bod S:** S představuje bod (konektor, spojka, svár) na optickém vlákne umístěný těsně před jednotkou ONT nebo ONU.
- **Bod R:** R představuje rozhraní směrem k jednotce OLT či ONT, ONU.
- **WDM:** Pasivní vlnový filtr slouží pro oddělení vlnových délek jiného optického systému v distribuční síti ODN, než je síť PON ohraničená referenčními body A a B. Pokud však nechceme využívat distribuční síť pro jiné vlnové délky, modul WDM a jednotky NE (Network Element) a referenční body A a B nejsou potřeba.
- **NE (Network Element):** Obecné síťové zařízení.
- **Referenční bod T:** V ONT, ONU jednotkách bývá implementována funkce, která přizpůsobuje rozhraní a protokoly v lokální síti potřebám PON sítě.
- **Referenční bod V:** Za centrální jednotkou OLT je bod, který vymezuje hranici mezi přístupovou a páteřní sítí. [4]

### 1.6.1 Uspořádání podle umístění ONT

Optické přístupové sítě se dělí z pohledu jejich provedení, tj. podle toho, kde v síti je optické vlákno ukončeno.

#### **FTTD (Fiber To The Desk) a FTТУ (Fiber To The User)**

Tyto dvě varianty představují optické přípojky zapojené nejbližší konkrétnímu uživateli. FTTD požaduje, aby optické vlákno bylo přivedeno až do síťové zásuvky, která se nachází v kanceláři v blízkosti pracovního stolu. Odtud se díky media-konvertoru (jednotka ONT, ONU) a pomocí krátkého metalického kabelu provede propojení koncového zařízení (PC, router). FTТУ je potom možnost, ve které je optické vlákno přivedeno až do konkrétního pracovní stanice. [4]

#### **FTTH (Fiber To The Home)**

Optické vlákno u FTTH se přivádí přímo do objektu koncového uživatele, a protože se jedná o čistě optickou variantu, umožňuje nabídnout společně s variantami FTTD a FTTO nejvyšší přenosové rychlosti (dnes typicky 50 až 100 Mbit/s). FTTH je určeno především do residenční sektorů s přihlédnutím k náročným multimediálním službám (Tripple Play služby), přičemž se zde využívá nesymetrický režim z pohledu přenosových rychlostí (sestupný směr je vyšší než vzestupný). Stinnou stránkou jsou však vysoké náklady na

stavbu optické sítě vzhledem k tomu, že se optické vlákno musí zavést až k jednotlivým zákazníkům. [4]

### **FTTO (Fiber To The Office)**

FTTO je velmi podobný předchozí variantě, avšak s rozdílem, že optické vlákno se zavádí převážně do kancelářských budov, firemního a průmyslového sektoru, úřadů, škol a nemocnic. Tento typ se používá při požadavku na velkou přenosovou kapacitu na vzestupném směru, proto je FTTO uvažováno v symetrickém režimu přenosových rychlostí, dále jsou kladeny vyšší nároky na spolehlivost a ochranu proti výpadkům pomocí redundantních sítí a zvýšené požadavky na rychlost odezvy. [4]

### **FTTP (Fiber To The Premises)**

Tato zkratka označuje souhrnný název pro dvě výše zmíněné varianty FTTH a FTTO, někdy toto značení je použito jako kombinace FTTH a FTTC. [4]

### **FTTB (Fiber To The Building)**

Jedná se o první možnou kombinaci optické sítě a navazující metalické sítě. Tento typ sítě využijeme především pro připojení velkých budov (panelový dům nebo obytné komplexy). Optické vlákno se obvykle přivede do suterénu, sklepu nebo na půdu, kde je umístěna optická síťová jednotka ONU nebo jednotka síťového zakončení ONT a zde je typická optická část sítě zakončena. Na jednotku ONU/ONT je připojen metalickým kabelem centrální switch nebo je jednotka ONU/ONT již implementována ve switchi. Jednotliví uživatelé jsou pak připojeni na lokální síť realizovanou strukturovanou kabeláží a standardních kabelů typu UTP. Výhodou řešení FTTB je úspora nákladů na stavbu sítě díky využití stávajících metalických rozvodů. Do budoucna se uvažuje použití plastových optických vláken POF (Plastic Optical Fiber) pro lokální rozvody. [4]

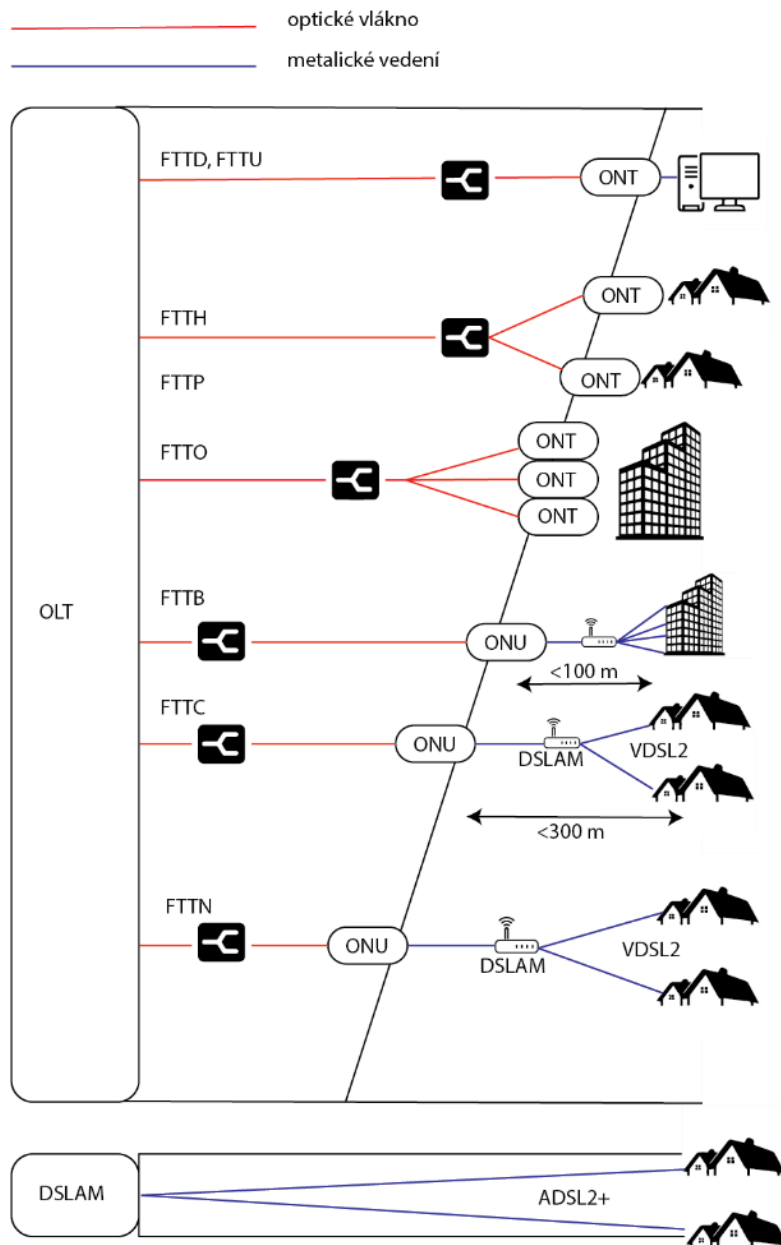
### **FTTC (Fiber To The Curb)**

V tomto případě se vzdálenost mezi optickým zakončením a koncovým uživatelem zvyšuje a dosahuje délky 100–300 metrů. Potom lze optickou jednotku ukončit ve venkovním rozvaděči či ve volně stojícím sloupku poblíž skupiny budov. Zařízení FTTC jsou navrhována pro volné prostranství, což vyžaduje zvýšenou odolnost vůči klimatickým jevům. V případě připojení koncových uživatelů se používají digitální přípojky typu xDSL, zejména varianta VDSL2 s implementovanou modulací CDMT pro dosažení nejvyšších možných přenosových rychlostí. Do společného rozvaděče se k jednotce ONU

připojí digitální multiplexor DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) a jsou využity místní metalické rozvody pro připojení koncových zákazníků. Tímto se dosahuje značné úspory nákladů v budování optické trasy. S prodlužující se vzdáleností koncového bodu optické sítě od koncového uživatele se snižuje efektivita celého řešení, protože digitální přípojky xDSL vykazují velkou závislost na vzdálenosti. [4]

### **FTTN (Fiber To The Node)**

FTTN vychází ze stejného principu jako FTTC s tím rozdílem, že překlenuje větší vzdálenost (>300 m) mezi optickým zakončením a koncovým uživatelem. Obdobně se využívají venkovní rozvaděče či sloupky, ve kterých se nachází optická jednotka ONU i digitální multiplexor DSLAM pro navazující přípojky xDSL. Pro překonání větších vzdáleností lze využít technologie VDSL2 i ADSL2+, avšak za cenu snížení přenosové rychlosti. [4]



Obrázek 21: FTTX varianty

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [4], str. 38)

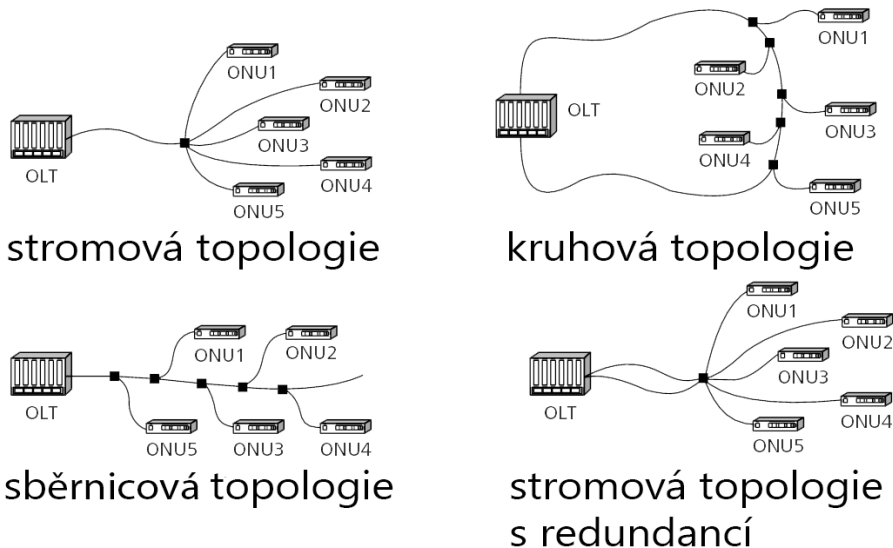
## 1.6.2 Topologie pasivních optických sítí

### Výhody topologií PON sítí

- Snížení množství použitého optického vlákna
- Eliminace instalovat aktivní prvky
- Jednodušší distribuce multimediálních služeb

## Nevýhody topologií PON sítí

- Překlenovací útlum a vzdálenost mezi ONT a OLT (max. 20 km)
- Poměrně drahé optické splitterly
- Poměrně drahé OLT a ONT
- Z ekonomického hlediska je lepší stavět v lokalitách s vysokou penetrací zákazníků [7]



Obrázek 22: Topologie PON sítí

(Zdroj: [13])

### 1.6.3 APON

Pasivní optická síť APON (ATM PON) je první standardizovanou sítí PON, která najdeme v doporučení ITU-T G.983 z let 1998. Základním cílem této sítě je přenos dat prostřednictvím ATM technologie. Z pohledu sdílené přenosové rychlosti se zde setkáme prakticky se dvěma možnostmi. [4]

1. Symetrickou s rychlostmi ve vzestupném i sestupném směru 155,52 Mbit/s
2. Asymetrickou s rychlostmi ve vzestupném 155,52 Mbit/s a sestupném 622,08 Mbit/s

Maximální počet koncových jednotek ONT nebo ONU byl stanoven na 32, ačkoliv OLT umožňuje fyzicky adresovat až 64 jednotek v rámci jedné sítě.

Pásmo vlnových délek v sestupném směru [nm]: 1480-1580.

Pásmo vlnových délek ve vzestupném směru [nm]: 1260-1360.

Útlumové třídy optické distribuční sítě:

- Třída B: 10-25 dB
- Třída C: 15-30 dB [4]

#### **1.6.4 BPON**

Označení pasivní sítě Broadband PON dle normy ITU-T se objevilo v roce 2001 a jednalo se spíše o doplněk k předchozímu doporučení ITU-T G.683.1 z roku 1998. Zpočátku byla navýšena přenosová rychlost ve vzestupném směru na 622,08 Mbit/s a doplnily se potřebné parametry na fyzické vrstvě. V roce 2003 byl vydán druhý doplněk, který přinesl navýšení rychlosti v sestupném směru 1244,16 Mbit/s a upravoval některé původní parametry. Nakonec v roce 2005 došlo ke kompletnímu přepracování původní normy ITU-T 983.1, která již obsahovala pouze specifikace BPON. [4]

Pásmo vlnových délek v sestupném směru [nm]: 1480-1580, 1480,1500.

Pásmo vlnových délek ve vzestupném směru [nm]: 1260-1360, 1280-1350, 1288-1338.

Útlumové třídy optické distribuční sítě:

- Třída A: 5-20 dB
- Třída B: 10-25 dB
- Třída C: 15-30 dB [4]

#### **1.6.5 GPON**

GPON (Gigabit Passive Optical Network) standard vzešel v platnost v roce 2003 a stal se z jedním z nejrozšířenějších v Evropě. Současná verze doporučení ITU-T G.984 pochází z roku 2008, která s sebou přináší návrh na gigabitovou přípojku, která dokáže zprovoznit tzv. služby Tripple Play, tedy hlas, video a data. Důvod, proč vznikl GPON byl takový, že velikost, záhlaví a způsobu zapouzdření ATM buňky nejsou pro přenos Ethernetu a obecněji IP paketů vhodné. Musel se tak vymyslet nový protokol, který by nabízel flexibilnější způsob přenosu libovolných uživatelských formátů a zachoval kvalitu služeb (QoS – Quality of Service) pro přenos hlasu a videa v reálném čase. [4]

Tabulka 6: Základní parametry GPON

Přenosový protokol	GEM i ATM
Přenosová rychlost v sestupném směru	2488,35 Mbit/s
Přenosová rychlost ve vzestupném směru	1244,16 Mbit/s
Maximální počet koncových uživatelů	64 / 128
Pásmo vlnových délek ve vzestupném směru [nm]	1260-1360
Pásmo vlnových délek v sestupném směru [nm]	1480-1500
Maximální fyzický/logický dosah	20 / 60 km
Maximální střední doba šíření optického signálu	1,5 ms

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [4], str. 107)

Útlumové třídy optické distribuční sítě:

- Třída A: 5-20 dB
- Třída B: 10-25 dB
- Třída B+: 13-28 dB
- Třída C: 15-30 dB
- Třída C+: 17-32 dB

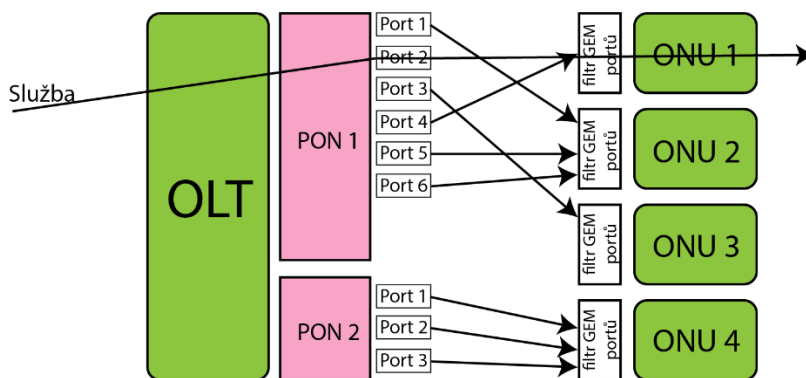
Nový přenosový protokol se označuje jako GEM (GPON Encapsulation Method) a ačkoliv GPON dokáže pracovat i s ATM buňkami, používají se výhradně pro přenos některých služebních zpráv a odpovědí formou PLOAM buněk. V prvním doporučení se maximální počet připojených koncových jednotek ONT, ONU stanovil na 64, později v roce 2008 došlo k rozšíření rozbočovacího poměru na 128 jednotek. Standardní verze GPON počítá s maximálním logickým dosahem 60 km a fyzickým 20 km, ale tzv. GPON sítě s prodlouženým dosahem umožňují fyzicky překlenout 40–60 km a byly pro ně vytvořeny útlumové třídy B+ a C+. [4]

### **Způsob komunikace v GPON sítích**

Komunikace v sestupném směru má díky použití rozbočovačů všesměrový charakter (broadcast) a tudíž síť PON pracuje v mnohabodovém režimu. Centrální jednotka OLT kontinuálně vysílá datové multirámce, které se šíří do všech větví a dostanou se ke každé ONT/ONU jednotce. Multirámce v sestupném směru jsou tvořeny dle technologie TDM

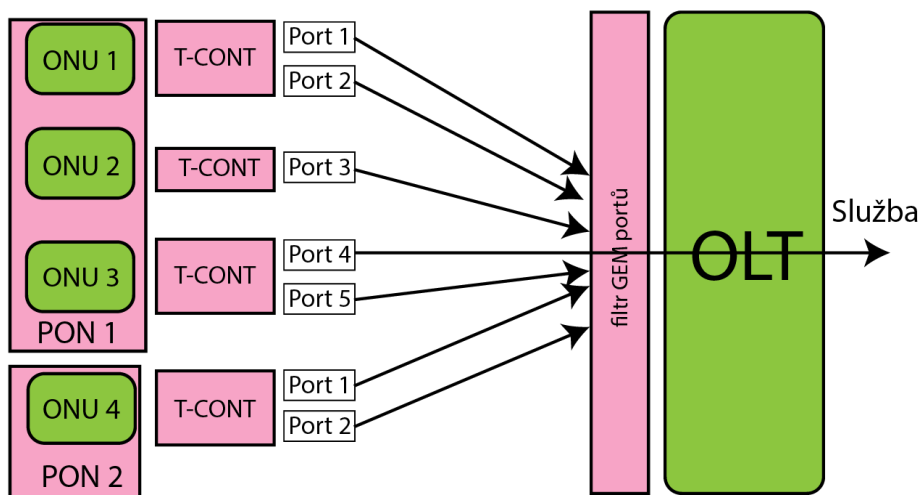
(Time Division Multiplex) tak, že obsahují časově oddělené datové bloky určené ke konkrétním koncovým jednotkám. Každý odeslaný datový blok má svoje identifikační číslo, které je určené konkrétní jednotce, tudíž si každá koncová jednotka vezme pouze data určené pro ni. [4]

„Komunikace ve vzestupném i sestupném směru je v sítích GPON realizována pomocí souboru logických spojení, kdy každý logický spoj představuje ve své podstatě komunikaci pro potřeby jedné konkrétní služby mezi centrální jednotkou OLT a koncovou ONU, ONT. Identifikátorem konkrétní služby (spoje) v obou směrech je tzv. Port. Ve směru vzestupném jsou data od koncových jednotek označena jako rámce T-CONT a každý obsahuje komunikaci všech aktivních služeb (portů) dané jednotky ONU, ONT.“ [4]



Obrázek 23: Způsob komunikace pomocí portů ve směru sestupném

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [4], str. 110)



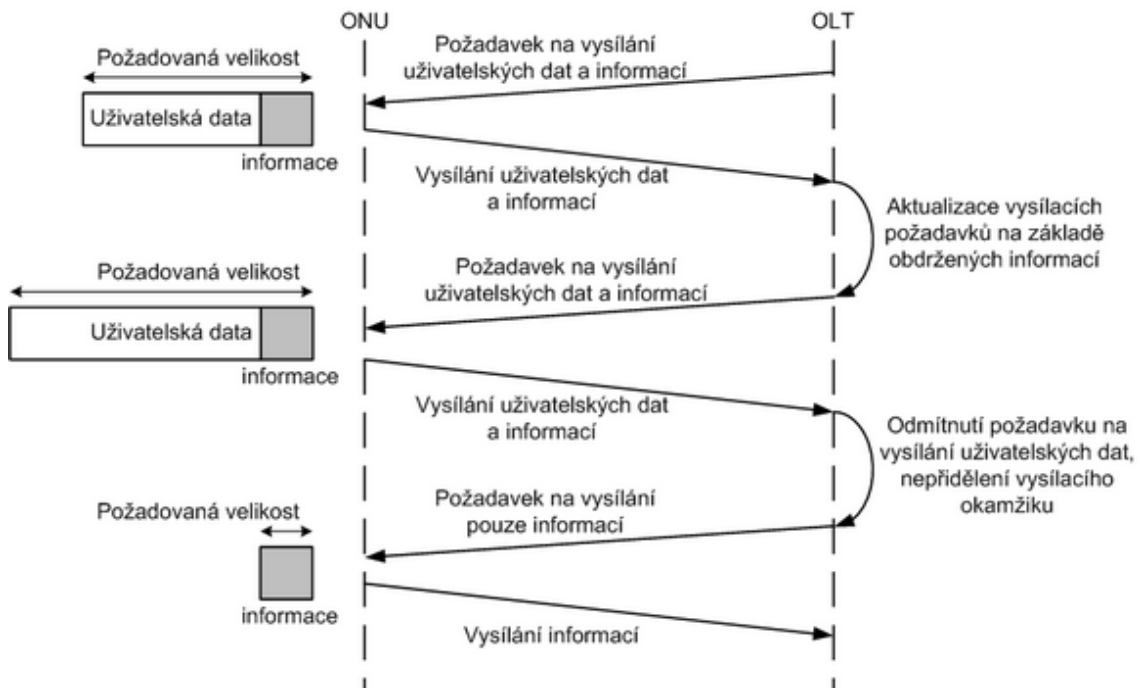
Obrázek 24: Schéma přenosu prostřednictvím portů a rámců T-CONT

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [4])

## Dynamická alokace přenosové kapacity ve vzestupném směru

„Přístup ke sdílené přenosové kapacitě (Media Access Control, MAC) je zajišťován procedurou DBA (Dynamic Bandwidth Assignment). Jedná se o dynamický způsob přidělování časových intervalů jednotlivým koncovým jednotkám ONU/ONT v přenosovém rámci ve vzestupném směru. Tento mechanismus zajišťuje ve spolupráci s ochranným intervalem, že nedojde ke kolizi dat vysílaných různými jednotkami.“ [21]

„Koncové jednotky ONU/ONT na základě potřeby vysílání uživatelských dat ve vzestupném směru (podle aktuálního zaplnění své vnitřní vyrovnávací paměti) zasílají své požadavky jednotce OLT v rámci služebních buněk PLOAM. V těchto požadavcích specifikují počet požadovaných časových okamžiků pro přenos ATM buněk, nebo délku bloků při přenosu pomocí GEM.“ [21]



Obrázek 25: Princip podávání žádostí a vysílání uživatelských dat

(Zdroj: [4])

Komunikace ve vzestupném směru má charakter Bod-Bod (P2P) a uskutečňuje se pouze mezi konkrétním ONT a OLT, proto koncová zařízení ONT/ONU nemůžou mezi sebou komunikovat. Pro zabránění vzniku kolizí mezi optickými signály vysílanými jednotkami ONT je potřeba řídit časové intervaly, ve kterých můžou koncové jednotky vysílat – časově dělený přístup TDMA. O toto řízení se stará centrální jednotka OLT. [4]

### 1.6.6 EPON

Ethernet PON dle normy IEEE 802.3ah je přímou konkurencí unie ITU-T a jejich variant APON, BPON a GPON a byla světu představena v roce 2004. Někdy je dodatečně označována jako GEPON, a to z důvodu marketingové snahy připomenout lidem, že i tato varianta dosahuje přenosové rychlosti 1 Gbit/s. Základní koncepce využití pasivních rozbočovačů a sdíleného optického média je totožný jako u GPON, hlavním rozdílem je jiný přenosový protokol (Ethernet) použitý na druhé vrstvě referenčního modelu OSI (linková vrstva) a dále některé specifické parametry na fyzické a spojové vrstvě. Ve standardu IEEE 802.3ah najdeme dva typy EPON, které se označují jako 1000BASE-PX10 (Typ 1) a 1000BASE-PX20 (Typ 2). Rozdíly mezi těmito variantami jsou především v překlenutelná vzdálenost, rozbočovací poměr a rozsah překlenutého útlumu. Pro obousměrný přenos po jednom vlákně se využívá technologie vlnový multiplex WDM (Wavelength Division Multiplexing). [4]

Maximální počet koncových uživatelů u EPON Typ 1: 16.

Maximální počet koncových uživatelů u EPON Typ 2: 32.

- Díky aplikaci FEC kódování a zkrácení překlenutelné vzdálenosti se v praxi objevil i poměr 1:64.

Rozsah překlenutého útlumu u EPON Typ 1: 5-20 dB.

Rozsah překlenutého útlumu u EPON Typ 2: 10-24 dB.

Pásmo vlnových délek v sestupném směru [nm]: 1480-1500.

Pásmo vlnových délek ve vzestupném směru [nm]: 1260-1360.

Velká výhoda je ta, že technologie Ethernet se již zažila do lokálních sítí a postupně proniká do přístupových a páteřních. Proto není potřeba provádět složité konverze protokolů a zapouzdřování uživatelských dat pro jejich přenos pasivní optickou sítí. Tím se tak ušetří finanční prostředky na návrh a realizaci koncových jednotek ONT, ONU a centrální jednotky OLT. [4]

Z negativních vlastností zmíníme orientaci na jednoduché datové přenosy a oproti standartním telekomunikačním protokolům nenabízí žádné možnosti pro zajištění kvality služeb, synchronizace, garance zpoždění a jeho kolísání apod., což se výrazně projevuje

při vysílání multimediálních signálů v reálném čase. Postupem času však došlo k implementaci některých z výše uvedených mechanismů. [4]

### **1.6.7 Srovnání technologie GPON a EPON**

V dnešní době dvě nejpoužívanější varianty sítě PON, kde na jedné straně stojí institut ITU-T a na druhé unie IEEE, mají obdobné technické parametry, ale v jiných se významně odlišují.

Co se týče přenosové rychlosti u GPON technologie, ta nabízí až 2,5 Gbit/s v sestupném směru a 1,25 Gbit/s v směru vzestupném oproti variantě EPON, u které je pouze jedna možnost a to 1,25 Gbit/s v obou směrech. [4]

U GPON technologie má rámec GEM relativně malou velikost záhlaví, čímž zajišťuje vysoký poměr mezi vlastním informačním obsahem a služební komunikací. Navíc tento protokol nabízí všestranný způsob přenosu téměř libovolných datových formátů a nabízí QoS, možnost prioritizace, různé dělení služeb dle nároků na přenosovou rychlost, zpoždění či ztrátovost. Na druhé straně EPON používá modifikovaný Ethernet rámec a má kvůli překódování 8b/10b sníženou přenosovou rychlost o 20 % mezi fyzickou a linkovou vrstvou komunikace. Výhodou tohoto upraveného rámce je snadnost a transparentnost, protože Ethernet technologie se používá v drtivé většině domácností. [4] Z pohledu řízení komunikace nabízejí obě technologie stejné metody pro dynamickou alokaci kapacity ve směru vzestupném i detekci a registraci koncových jednotek. [4]

Další vlastností je rozbočovací poměr, který u GPON byl zpočátku 1:64, ale později se navýšil na 1:128. Zatímco EPON typ 1 nabízí pouze 1:16 a EPON typ 2 o něco vyšší poměr 1:32. Nutno podotknout, že EPON nespecifikuje přesně daný rozbočovací poměr a pomocí technologie FEC (Forward Error Correction) lze tento poměr navýšit při snížení překlenutelné vzdálenosti na 1:64. Parametr překlenutelná vzdálenost se u GPON a EPON typ 2 rovnají 20 km. Ovšem GPON s prodlouženým dosahem překlene vzdálenost 20 nebo 60 km. [4]

#### **Rozšiřitelnost GPON**

Především díky rychlému rozvoji multimediálních služeb, které jsou náročné na přenosové rychlosti, se vyvinula technologie XG-PON, která nabízí 10gigabitovou a 40gigabitovou verzi. První zmíněná navyšuje rychlost ve směru sestupném na 10 Gbit/s

a ve směru vzestupném na 2,5 Gbit/s, čehož dosáhla díky vlnovému multiplexu. 10GPON je zpětně kompatibilní s klasickým GPON, tudíž je v budoucnu rozšiřitelnost této technologie zajištěna, která je řešena oddělením vlnových délek pomocí WDM. [4]

## 1.7 Služby Triple-play

Triple play služby v optických sítích představují komplexní nabídku služeb určenou pro běžné uživatele. Triple play zahrnuje telefonii (VoIP), vysokorychlostní přenos dat a distribuci videa (IPTV). Tyto služby nejsou závislé na použité technologii a způsobu realizace přístupové sítě, ale mají vysoké nároky na přenosové rychlosti. V dnešní době Triple play služby lze poskytovat za pomoci VDSL2 přípojek, sítě kabelové televize CATV a optické přístupové sítě ve variantách P2P nebo P2MP. [4]

Pro zajištění kombinace různých druhů služeb jednou sítí musí se určit pravidla pro nakládání s toky různého typu tzv. QoS (Quality of Services) neboli kvalitu služeb, například přenos v reálném čase, stahování souborů nebo prohlížení webových stránek. Vedle dostupnosti se dále sledují parametry: přenosová rychlost (propustnost), zpoždění při přenosu, kolísání zpoždění a ztrátovost. [4]

Pasivní optické sítě nabízí pro přenos videa v sestupném směru vyhrazené pásmo vlnových délek 1550–1560 nm, které se obvykle označuje jako tzv. video-overlay. Toto vyhrazené pásmo se postupně objevilo ve variantách BPON, GPON a EPON a nadále je zachováno i pro 10 gigabitové PON sítě. [4]

## 1.8 SWOT ANALÝZA

SWOT (Strengths – Silné stránky, Weaknesses – Slabé stránky, Opportunities – Příležitosti, Threats – Hrozby) analýza má za úkol identifikovat to, do jaké míry jsou současná strategie firmy a její specifická silná a slabá místa relevantní a schopná se vyrovnat se změnami, které nastávají v prostředí. [8]

Doporučuje se začít analýzou OT, která přichází z vnějšího prostředí firmy, což zahrnuje makroprostředí (politicko-právní, ekonomické, sociální a technologické faktory) a mikroprostředí (zákazníci, dodavatelé, odběratelé, konkurence a veřejnost). Po provedení OT analýze následuje analýza SW, která se týká vnitřního prostředí firmy (cíle, systémy,

procedury, firemní zdroje, materiální prostředí, firemní kultura, mezilidské vztahy, organizační struktura, kvalita managementu aj.). [8]



Obrázek 26: SWOT analýza

(Zdroj: [14] )

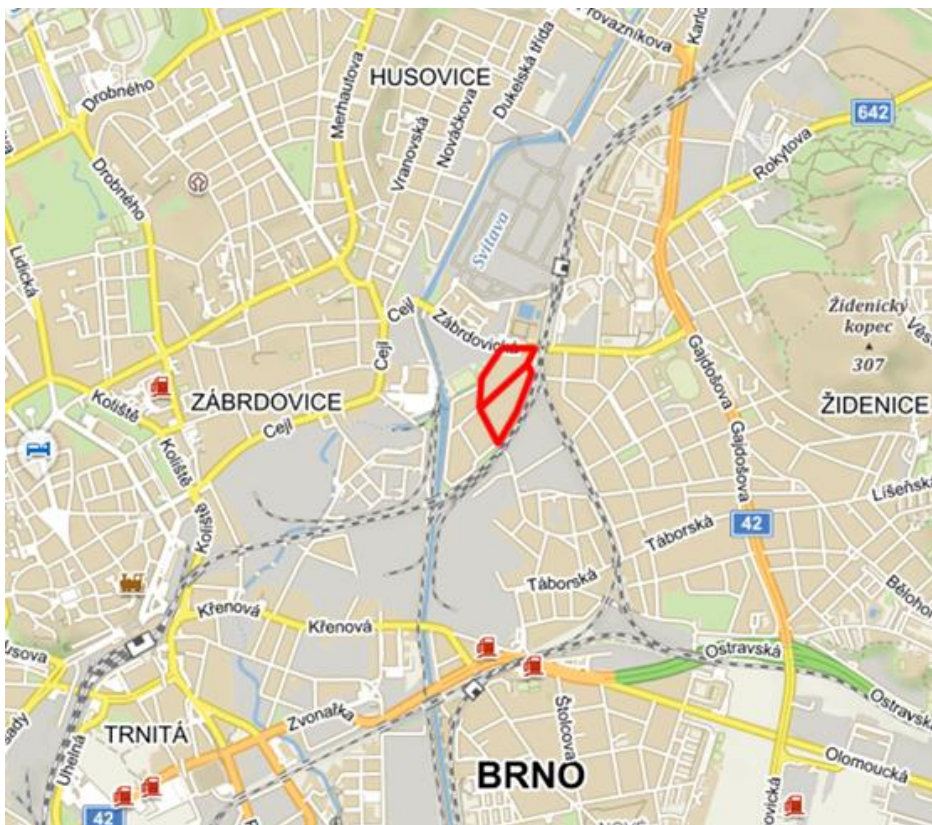
V políčku silné stránky se zaznamenávají skutečnosti, které přinášejí výhody jak zákazníkům, tak firmě. U slabých stránek najdeme věci, které firma nedělá dobře, nebo ve kterých si konkurence vede lépe. V příležitostech najdeme možnosti, které mohou zvýšit poptávku nebo mohou lépe uspokojit zákazníky a přinést firmě úspěch. Hrozby jsou opakem příležitostí, jedná se totiž o skutečnosti, které mohou snížit poptávku nebo zapříčinit nespokojenost zákazníků. Silné a slabé stránky se určují podle vnitropodnikových analýz a hodnotících systémů. SWOT analýza se může využít k nalezení dalších možností využití unikátních zdrojů nebo klíčových kompetencí firmy. [8]

## 2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU

Tato část práce se zabývá určením lokality síťové infrastruktury, popisem kabeláže a optických vláken a použité technologie. Dále rozebírá požadavky poskytovatele internetu, jaké jsou momentální možnosti připojení k internetu v dané lokalitě, a nakonec vyhodnotí analýzu SWOT.

### 2.1 Současný stav sítě

Analyzovaná infrastruktura sítě místního poskytovatele připojení do internetu se nachází v Brně v Zábřdovicích, kde se rozléhá po domech v ulicích Šámalova, Kuldova, Krokova a Zábřdovická. Firma má pouze hrubé náčrty současného stavu sítě, přičemž nemá elektronicky zpracovanou dokumentaci a spousta důležitých věcí je napsáno buď v místech, kde se nachází hlavní body na trase, nebo jsou v paměti vedoucích techniků.



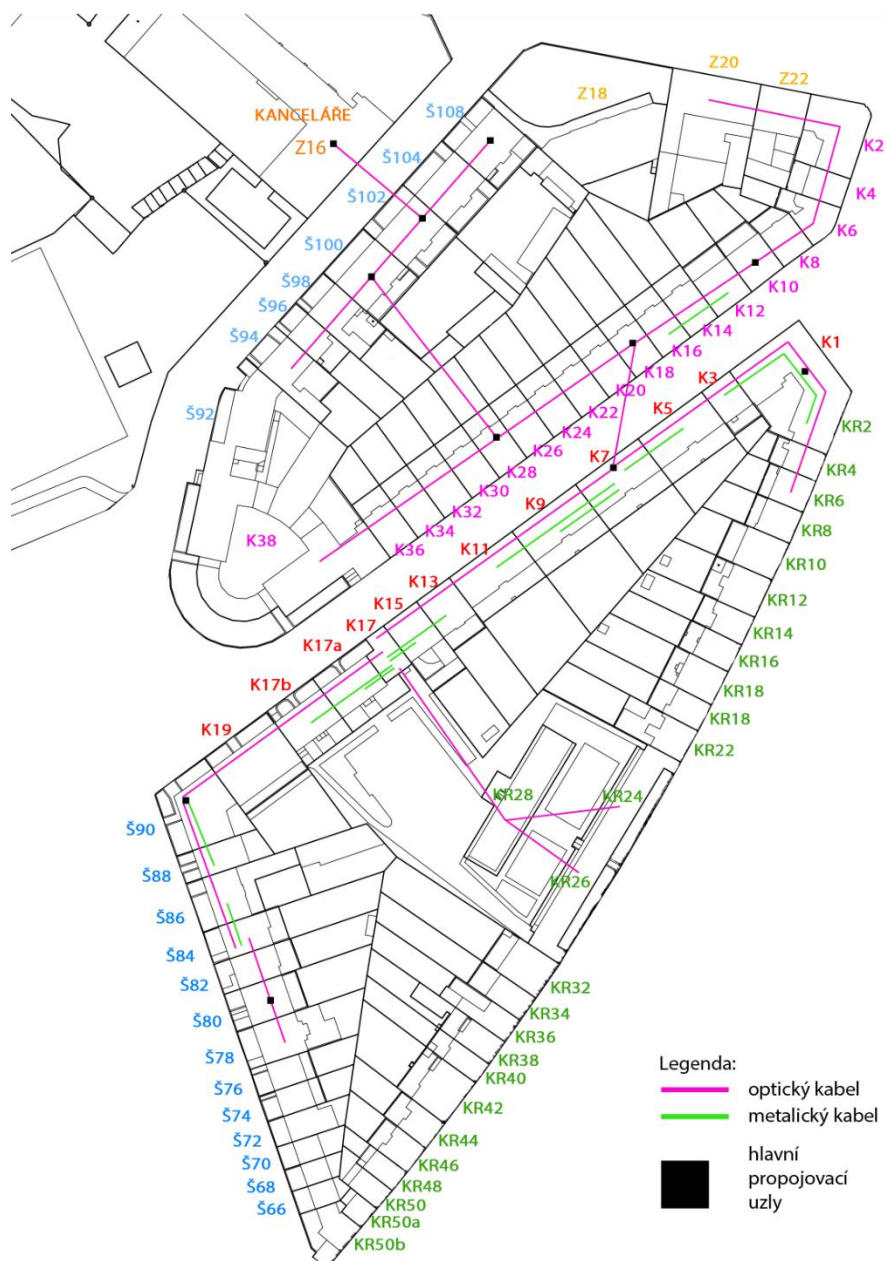
Obrázek 27: Brno – Zábřdovice

(Zdroj: mapy.cz)

Stav momentální sítě se nachází sice ve funkčním stavu, ale obsahuje spoustu nedostatků, pro které by se našlo lepší řešení. Jako první výtku v téhle síti vidím v nedostatku aktivních vláken na celou oblast. V současnosti můžeme vidět různé kombinace svařování a spojování tras, ke které chybí dokumentace a vyzná se v tom pouze zasvěcený technik. Například nejsou detailně zapsané optické trasy na úrovni vláken. V tomto případě nalezneme pouze náčrtky kabelových vedení z bodu A do B.

Celá místní síť je postavena v provedení FTTB, tedy optika do budovy, ve které se nachází rozvody s metalickými kabely, přičemž v některých domech není optické vlákno dovedeno vůbec skrz nedostatečný počet vláken. Je tak využito jedno optické vlákno pro více domů, které jsou následně propojeny stíněnými metalickými kabely, které mají nevhodné délky linek.

Tím, že jsou rozvody dělané v nestíněných kroucených kabelech přibývá další problém s nastavením a správou switchů, hledáním napájení, nízké stability a dostupnosti připojení. Pasivní síť nepočítá s žádným aktivním prvkem na trase, tudíž bychom se vyhnuli spoustě problémů jako například výpadku elektrické energie v domě, platbu za energii a nasazení optického převodníku. Nemalé problémy by odpadly při vyjednávání o spotřebě se správci domů.



Obrázek 28: Optické a metalické trasy

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Na obrázku 28 vidíme fialově zaznačené optické trasy a zelenou barvou metalické trasy. Pro pokrytí celé oblasti bude potřeba vybudovat nové trasy.

### 2.1.1 Popis jednotlivých optických tras

Označení ulic a čísla domů:

- Šámalova – Šx (př.: Šámalova 90 = Š90)

- Zábrdovická – Zx (př.: Zábrdovická 20 = Z20)
- Kuldova – Kx (př.: Kuldova 7 = K7)
- Krokova – Krx (př.: Krokova 6 = Kr6)

### **Centrální bod Kuldova 17 (K17)**

V domě Kuldova 17 se nachází centrální bod, ze kterého vychází všechny trasy. V posledním patře se nachází rack, ve kterém najdeme hlavní optický switch a vyvazovací patch panely.

### **Trasa K17 – Š90**

Z půdy K17 je vyvedena korugovaná trubka s 12vláknovým optickým kabelem na střechu, ten je odtud převěšený přes K17a a K17b a je ukončen na K19. Dále je trasa zavedena na půdu K19 a v HDPE trubkách vede až na rohový dům Šámalova 90 (Š90).

### **Trasa Š90 – Š78**

Z domu Š90 je opět natáhnutý převěš, který je nad domy Š88 a Š86 a je ukončen na stožáru na Š84. Odtud vede 12vláknový optický kabel v korugované trubce do sousedního sklepa Š82, kde dále vede HDPE trubkami na Š80. V Š80 je trasa vyvedena opět v HDPE trubkách na půdu posledního zapojeného do Š78.

### **Trasa: K17 – K7**

Z půdy je vyvedena korugovaná trubka na střechu, který se dále táhne přes střechy domů K15, K13, K11, K9 až na půdu domu K7. Korugované chráničky jsou řádně připevněny a zajištěny. Trasou je nataženo 24vláknové vlákno. Na K7 se nachází bod, ze kterého se trasa dělí na trasy K7 – K18 a K7 – Kr6.

### **Trasa K7 – Kr6**

Z domu K7 je vytvořena trasa z HDPE trubek, ve kterých je nataženo 12vláknový optický kabel. Celá trasa je vedena sklepními prostory až do domu na ulici Krokova (Kr6).

### **Trasa K7 – K18**

24vláknový optický kabel je v krku protažen do sklepu, ze kterého je vyveden do HDPE trubek, které jsou uloženy pod silnicí ulice Kuldova a vedou do suterénu v domě K18.

### **Trasa K18 – Z20**

Z K18 vede sklepními prostory optický kabel, který je uschován do HDPE trubek, přičemž ohyby jsou řešeny chráničkami. Takto je trasa vybodována až po dům K2, kde je dále trasa na půdu, odkud se táhne opět v HDPE trubkách a korugovaných chráničkách.

### **Trasa K18 – K38**

Z K18 vede sklepními prostory optický kabel, který je zaveden do HDPE trubek, přičemž ohyby jsou řešeny korugovanými trubkami. Takto je trasa vybodována až po dům K38.

### **Trasa K28 – Š100**

Trasa z K28 na Š100 je zakopána přes zahradu a dovedena do sklepních prostorů. Ze sklepa je pak vyvedena na půdu, odkud vede v HDPE trubkách až na konec ulice na Š108

### **Trasa Š100 – Š104**

Ze sklepa na Š100 se trasa dělí a vede pod silnicí do budovy Z16, kde je kabel vyveden na půdu do rozvaděče.

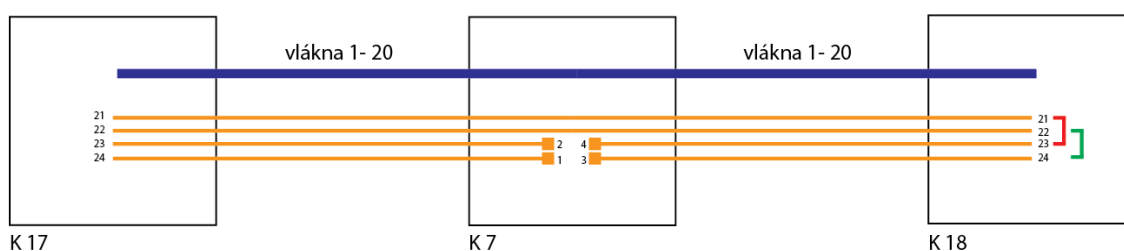
### **K17 – Kr28-Kr26-Kr24**

Z domu K17 je natažen převěs optického kabelu na Kr28 a odtud vedou další převěsy na Kr24 a Kr26.

## **2.1.2 Vedení a ukončení optických vláken**

V této části se práce zabývá vedením a ukončením jednotlivých vláken.

### **Trasa z K17 – přes uzel K7 – do K18**



Obrázek 29: Optická vlákna K17 – K7 – K18

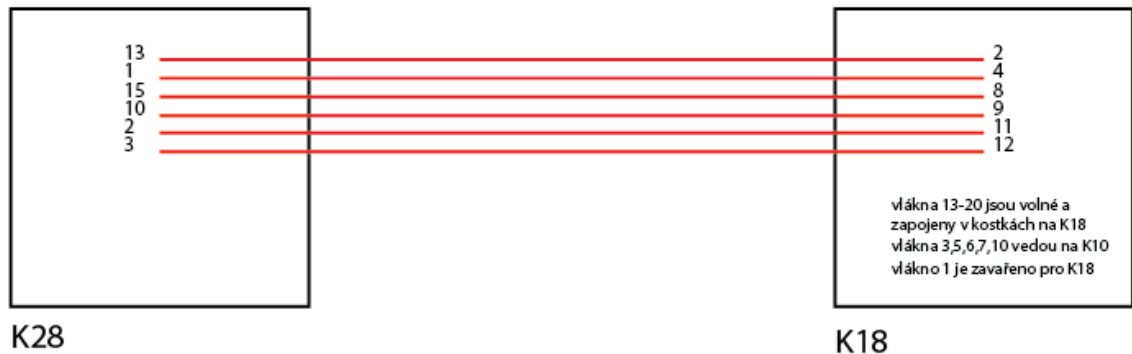
(Zdroj: Vlastní zpracování)

Na obrázku 24 vidíme, že vlákna 1-20 vedou z K17 až do K18, respektive jsou provařena ve spojovacím bodě na K7. Dále pak vlákna 21 a 22 vedou až na K18, kde jsou ovšem

mezi sebou propojena a vrací se zpět na K7. Vlákna 23 a 24 jsou ukončena na K7, tudíž nám celkem končí 4 vlákna v domě K7.

### Trasy K18 – K28 a K18 – K10

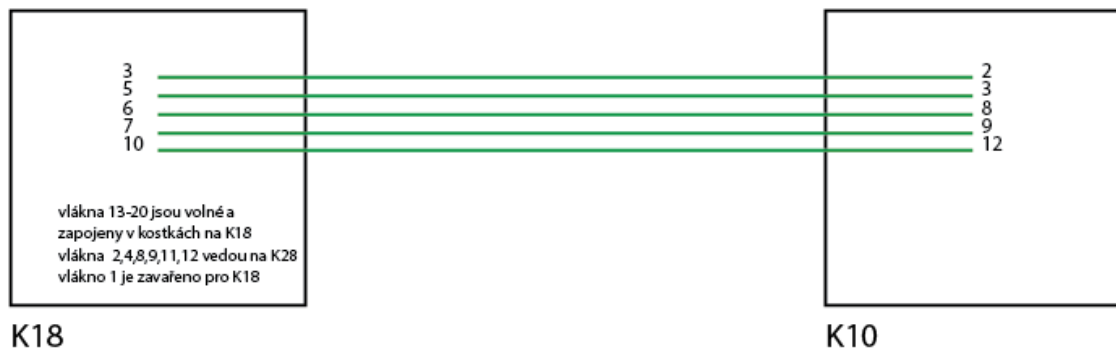
V následujícím obrázku vidíme, že optický kabel se 24 vlákny, který je veden z K7 na K18, je prostřednictvím jumperů různě napojen na další optická vlákna vedoucí do směrem do K28.



Obrázek 30: Optická vlákna K18 – K28

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Vlákno s číslem 1 je ukončeno a použito pro dům K18. Optická vlákna s čísly 2, 4, 8, 9, 11, 12 jsou propojeny na druhý 24vláknový kabel, který vede do domu K28 a z kterého jsou použita vlákna s čísly 13, 11, 15, 10, 2 a 3.



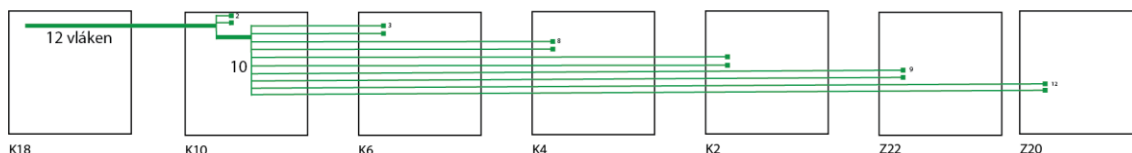
Obrázek 31: Optická vlákna K18-K10

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Optická vlákna kabelu vedoucího z K7 na K18 s čísly 3, 5, 6, 7 a 10 jsou opět propojena na další optický kabel s 24 vlákny, který vede do domu K10. Zbylá vlákna kabelu na trase K7-K18 s označením 13-20 jsou volná a zakončená v optické vaně v domě K18. Vlákna 20-24 jsou propojeny mezi sebou viz. obrázek 24.

### Trasa K18 – Z20

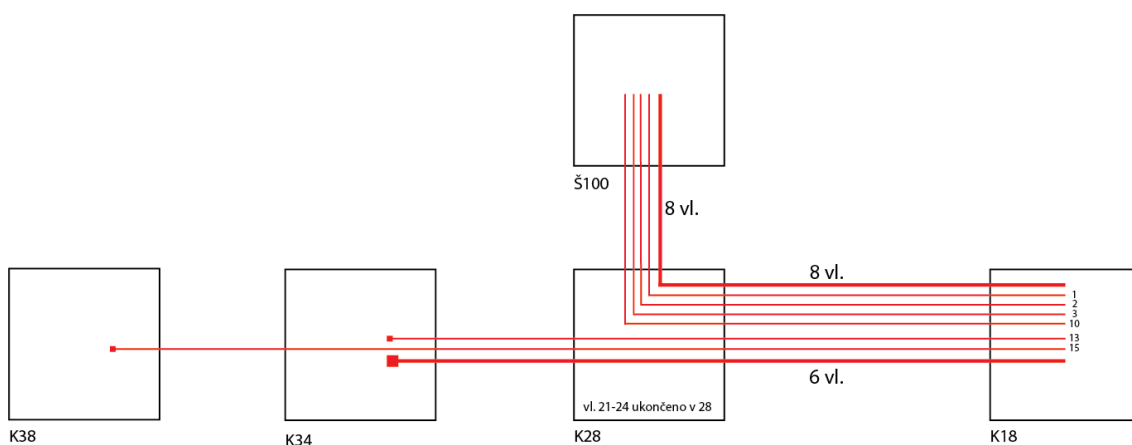
Z K18 vede sklepními prostory optický kabel s 24 vlákny přes K16, K14, K12 do K10, kde se nachází důležitý spojovací bod. Dvě vlákna tohoto kabelu jsou zakončena v konektorech v K10, na dalších 10 vláknech jsou navařeny další optické kabely (1x 12 vláknový a 2x 8vláknový) mířící na K6, K4 a K2. Z K10 na K12 a K8 vedou samostatné 12vláknové kabely, přičemž na každé straně jsou zakončené dvě vlákna v podobě konektoru.



Obrázek 32: Trasa optických vláken K18-Z20

(Zdroj: Vlastní zpracování)

### Trasa K18 – Š100 – K38



Obrázek 33: K18 – Š100 – K38

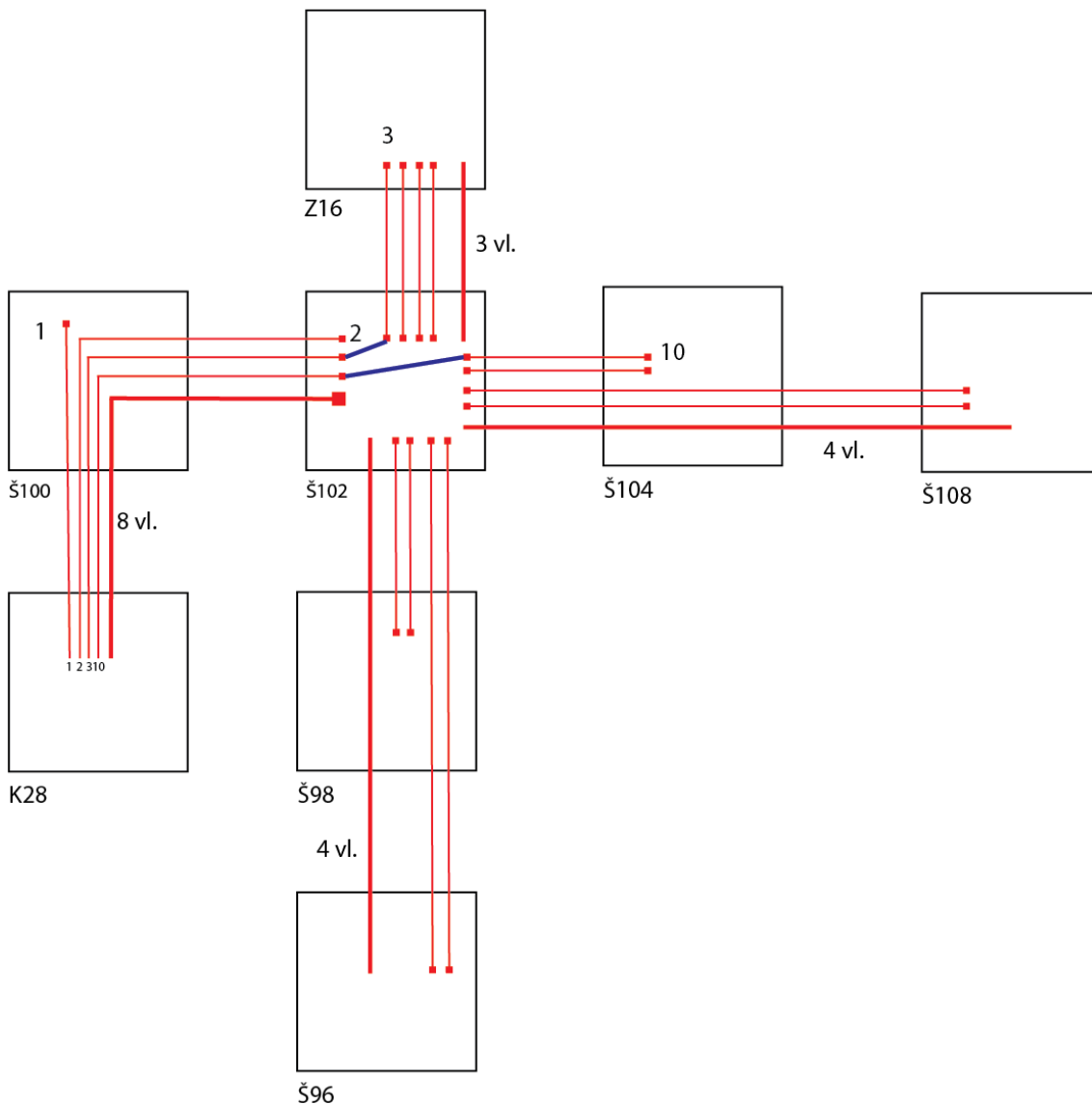
(Zdroj: Vlastní zpracování)

### Trasa Š100 – Z16 – Š108

Optické kabely jsou uloženy do HDPE a korugovaných trubkách, které vedou sklepením z domu K18 až do posledního řadového domu K38. U domu K28 je optický kabel zaveden do HDPE chrániček, které jsou zakopány do zemi a vedou do domu Š100.

### Trasa K28 – Z16 – Š108

Z K28 vede 12 vláken, z toho jsou 4 aktivní a postupně jsou zakončeny a připojeny v domech Š100, Š102, Z16 a Š104. Zbylá vlákna jsou dotažena do domů 96, 98, 108, avšak nejsou připojena.



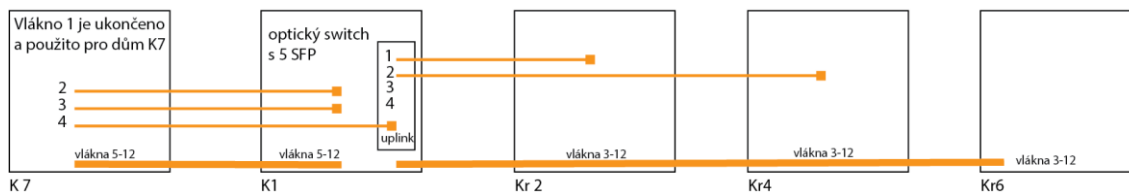
Obrázek 34: Š100-Z16-Š108

(Zdroj: Vlastní zpracování)

### Trasa K7 – Kr6

Z obrázku 24 víme, že na uzlu K7 končí 4 vlákna, z toho jedno je použito pro zmíněný uzel. Vlákna 2, 3 a 4 vede na K1, kde jsou všechna ukončena, přičemž vlákno číslo 4 vede do uplink portu optického switchu, který nabízí další 4 SFP moduly. Z K1 vede

sklepením 12vláknový optický kabel až do domu Kr6. První dvě vlákna jsou připojena do switchu a jsou ukončena v Kr6 a Kr4. Dále vedou neaktivní vlákna.



Obrázek 35: Optická vlákna K7 – Kr6

(Zdroj: Vlastní zpracování)

## 2.2 Použitá technologie

V lokalitě je částečně rozpracovaná trasa s optickými kabely a z důvodu nedostatku optických vláken jsou použity metalické rozvody pro propojení více bytových domů vedle sebe. Pro firmu je nadále nemožné rozšiřovat síť, protože má k dispozici pouze omezený počet optických vláken. Pro komunikaci se využívá technologie SFP, která funguje na principu WDM a umožňuje tak přenos dat po jednom optickém vlákne.

### Optický switch

Hlavní centrální jednotky, které jsou umístěny na K17, jsou optický switch Ubiquiti EdgeSwitch Fiber s 12 SFP moduly a Mikrotik CRS212 s 10 SFP moduly.



Obrázek 36: Ubiquiti EdgeSwitch Fiber a MikroTik CRS212

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [15],[16])

Dále se na trase v ulici Krokova nachází menší optický switch od firmy Mikrotik s 5 SFP moduly.



Obrázek 37: Mikrotik CRS106

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [17])

### **SFP modul**

SFP moduly od firmy Ubiquiti jsou určeny pro Single Mode vlákna, přičemž vlnová délka TX/TR je stanovena na 1310 nm a 1550 nm. Tento model SFP používá technologii WDM, která umožňuje použít jedno vlákno pro komunikaci v obou směrech. Přenosová rychlost dosahuje až 10 Gbit/s ve sestupném směru a maximální délka trasy činí 10 km. Oba SFP moduly jsou zakončeny LC konektory.



Obrázek 38: SFP modul

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [18])

### **Drop kabel pro přípojky FTTx**

Single Mode optický kabel určený pro pasivní síť typu FTTx obsahuje dvě vlákna 9/125, G657A2, které chrání bílý LSZH plášť.

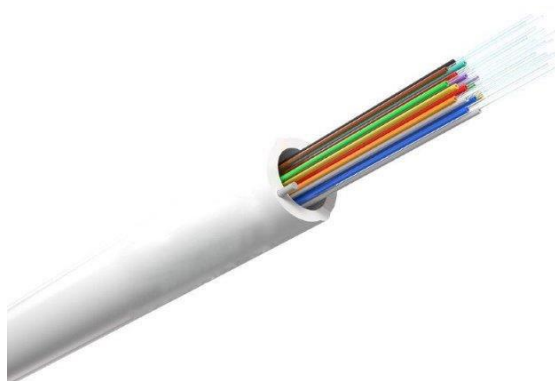


Obrázek 39: Flat Drop kabel, SM

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [23])

Plášť Riser kabelu je konstruován z LZSH materiálu a jednotlivá vlákna se sekundární ochranou jsou v něm volně položena. Snazší manipulace s kabelem urychluje instalaci přípojky u koncového zákazníka.

### **Riser**

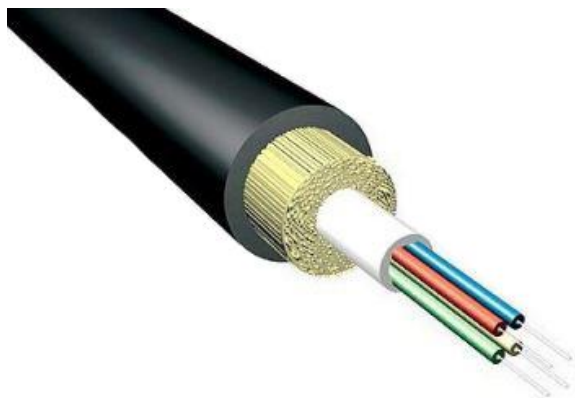


Obrázek 40: Riser kabel Optix

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [23][22])

### **Univerzální kabel**

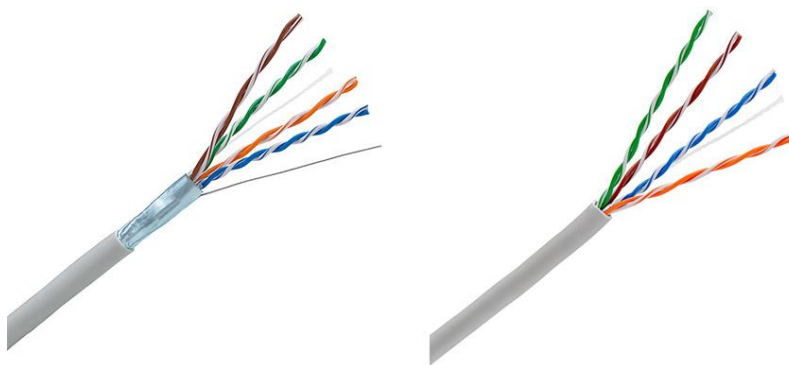
Univerzální optický kabel MFTP-CT je možné použít ve vnitřním i vnějším prostředí. Používá se především pro uložení v trubkách, krcích nebo nosných žlabech. Provozní teplota se pohybuje v rozmezí teplot  $-30^{\circ}\text{C}$  do  $+70^{\circ}\text{C}$ .



Obrázek 41: Univerzální optický kabel G657A

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [22])

### UTP a FTP kabely



Obrázek 42: UTP kategorie 5e a FTP kategorie 5e

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [3], str. 52,53)

### Trubky a krky



Obrázek 43: HDPE trubka a korugovaná trubka pro realizaci tras

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [3], str 279)

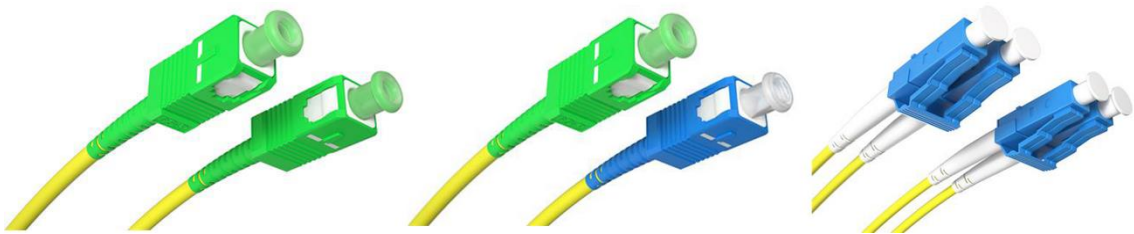
## Mikrotrubička



Obrázek 44: Mikrotrubičky

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [22])

## Patchcordy



Obrázek 45: Patchcordy SC/APC – SC/APC, SC/APC – SC/PC, LC/PC – LC/PC

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [23])

## Pigtaily



Obrázek 46: Pigtaily SC/AP, LC/PC

(Zdroj: Vlastní zpracování dle [23])

## 2.3 Požadavky ISP

Prvním požadavkem poskytovatele internetu je provedení analýzy současného stavu síťové infrastruktury až na úroveň optických vláken. Následně chce společnost navrhnout modernizaci sítě v podobě přechodu z aktivní opticko-metalické sítě na čistě pasivní optickou síť, což sebou nese úkol zbavení se veškerých aktivních prvků v ODN.

Důvodem proč navrhnout pasivní optickou síť v této lokalitě je momentálně příliš mnoho aktivních prvků, které vyžadují napájení a vzdálenou správu a způsobují časté výpadky sítě. Další problém nastává v nedostačujícím počtu optických vláken, který nepokryje zadanou oblast.

Současná přenosová rychlost mezi domy je 1 Gbit/s a v bytech je k dispozici 100 Mbit/s. Nyní v každém větším domě je zakončeno jedno optické vlákno, které je připojeno ke switchi. Toto zařízení je určeno buď pro celý dům, který má více bytových jednotek, nebo pod něj spadají i přilehlé menší domy. Ve výsledku jedno gigabitové vlákno pokryje 25 přípojek, avšak ne vždy jsou tyto přípojky aktivní, a nabídne 40 vyhrazených Mbit/s pro každého koncového uživatele.

Shrnutí požadavků:

- Pokrytí zadané lokality s možností na rozšíření na další část Zábrdovic
- Modernizace sítě a přechod na pasivní optickou síť
- Stejná nebo vyšší vyhrazená rychlost pro koncového zákazníka
- Zvýšení bezpečnosti optické trasy
- Spolehlivost, dostupnost
- Pasivní optická síť
  - žádné aktivní prvky na trase
  - ukončení vlákna až u koncového uživatele
- Co nejméně nákladné řešení

Co se týče realizace projektu, je již vše v pohybu a analyzuje se současná situace infrastruktury, trasy v dané lokalitě se spravují a chystají se k přechodu na lepší technologii, tedy xPON. S pracovníky ISP vše projednávám, chtějí danou problematiku řešit, umožnili mi přístup k síti a rádi mi budou nápomocni.

## 2.4 Možnosti připojení k internetu

V dané lokalitě Brno – Zábřdovice, konkrétně v ulicích Šámalova, Zábřdovická, Krokova a Kuldova, se nachází společnost O2, která nabízí DSL a LTE připojení a je největším konkurentem. Jiní poskytovatelé internetu se v oblasti nenachází, avšak propagace firmy Netbox je okolí velice výrazná.

## 2.5 SWOT

### Silné stránky

- Přátelská a přívětivá komunikace se zákazníky.
- Rychlá pohotovost v případě problému se sítí.
- Kvalitní dodavatelé síťových prvků a kabeláže.
- Propracovaný vlastní zákaznický systém.
- Přívětivé webové stránky, které jsou v souladu s moderním vzhledem.

### Slabé stránky

- Zákaznický systém není přizpůsoben pro ovládání přes mobilní zařízení.
- Žádná prezentace firmy na sociálních sítích.
- Některé páteřní trasy jsou ve špatném stavu.

### Příležitosti

- Možnost pokrýt celou oblast v okolí ulic Kuldova, Šámalova a Krokova.
- Poskytnutí nové spolehlivé technologie – pasivní optickou sítí GPON.
- Poskytnutí vysokorychlostního internetu pomocí optického vlákna ukončeného až v bytě.

### Hrozby

- Konkurence, která taky staví optické trasy.
- Konkurence, která si zakládá na dobrém jméně a propracované marketingové strategii.
- Korporátní poskytovatelé poskytující až 100 Mb/s přes telefonní linku či přes 5G mobilní síť.
- Málo oslovených koncových uživatelů.

### 3 NÁVRHY ŘEŠENÍ

Tato část se zabývá možnými řešeními, která by měla vyhovět všem požadavkům investora – poskytovatele internetu. Dále pojednává o přenosové kapacitě, srovnává výrobce OLT a ONT jednotek, a nakonec porovnává dvě možnosti, jak pokrýt oblast a jakým způsobem připojit koncové zákazníky.

#### 3.1 Přenosová kapacita

GPON technologie nabízí 2,5 Gbit/s v sestupném směru a umožňuje dělicí poměr 1:128. Budeme-li vycházet ze statistik investora, tak běžná penetrace se pohybuje okolo 30 %, výjimečně 50 %. Při dosažení 50procentního zapojení koncových uživatelů na jeden GPON port, což je 64 přípojek, bude vyhrazená rychlost 39 Mbit/s. Po připojení 30 % uživatelů na port dosáhne vyhrazená rychlost 83 Mbit/s. Takto se splní požadavek na zachování přenosové kapacity pro jednoho zákazníka.

Ovšem jeden z požadavků investora je pokrytí celé oblasti, tudíž návrh bude počítat se s teoretickou 100% penetrací, přičemž každý byt bude mít k dispozici po rozbočení optické trasy vyhrazené jedno vlákno.

#### 3.2 Srovnání s ostatními výrobci

Mezi další výrobce můžeme zařadit společnosti jako DASAN, Ubiquiti, SIXPON, Raisecom nebo NETIS. Největší konkurencí Huawei, která je na trhu nejsilnějším hráčem, je DASAN. Nabízí levnější OLT jednotky, ale nedodávají k nim veškeré příslušenství jako jsou například napájení nebo SFP moduly. Velkou výhodou je nízká spotřeba energie oproti Huawei. Další výrobce, který stojí za srovnání, je Ubiquiti. To přichází s vlastním webovým managementem OLT a ONT jednotek. Nutno podotknout, že tato správa není z jejich strany zcela vyladěna. Zbylé zmíněné značky jsou na trhu s GPON prvky spíše začínající společnosti, které nemají dostatečně vyvinutý software.

Z hlediska ceny je nejvýhodnější společnost Huawei, což je i jeden z požadavků investora. Dále Huawei nabízí širší sortiment, co se týče koncových a centrálních jednotek.

### 3.3 OLT

#### Huawei MA5608T

Centrální jednotka Huawei MA5608T v 2U provedení má zabudované dvě uplink karty s 4GE porty, dále nabízí GPON kartu GPFD s 8 porty a kartu s 8 porty pro SFP C+. OLT poskytuje zálohované napájení 2x DC 48 V. Maximální počet zákazníků na jeden port je 128, tudíž lze připojit až 1024 koncových jednotek. Podporuje WDM a dosahuje rychlostí 2,488 Gbit/s ve směru sestupném a 1,244 Gbit/s ve směru vzestupném.



Obrázek 47: OLT Huawei MA5608T

(Zdroj: [23])

### 3.4 ONT

#### Huawei HG8010H



Obrázek 48: ONT Huawei HG8010H

(Zdroj: [23])

Klasický optický převodník Huawei HG90120H nabízí vstup pro optický konektor typu SC/PC a jeden gigabitový ethernetový port.

### **Huawei HG8247H**



Obrázek 49: ONT Huawei HG8247H

(Zdroj: [23])

Lepší a dražší varianta od Huawei je model HG8247H, která slouží jako převodník a zároveň jako router. Je vybaven vstupem pro optický konektor SC/PC, dále pak nabízí čtyři gigabitové porty pro ethernet a jeden vstup pro USB. Zařízení nabízí pochopitelně bezdrátové připojení Wi-Fi. Výhodou jednotky je podpora VoIP, kterou ISP poskytuje.

## **3.5 Návrh tras optických kabelů**

### **3.5.1 Varianta s konektory**

První varianta nabízí řešení, kdy optické vlákno je dovedeno do hlavního uzlu a na něj je navařen splitter v rozbočovacím poměru 1:32 až 1:128. Na jednotlivé vlákna splitteru jsou navařeny konektory, na které se následně připojují koncoví uživatelé. Tento model přináší větší přehlednost, který byt je připojen, flexibilitu a možnost lepší správy a opravy optického vlákna mezi ONT a splitterem. Na druhou stranu přináší další vložený útlum, který při výstavbě GPON sítě omezuje. Tato varianta nemusí počítat se 100% penetrací, avšak je více variabilnější.

### **3.5.2 Varianta bez konektorů**

Druhá varianta nepočítá s žádnými konektory v cestě, pouze s konektorem u koncové jednotky ONT. Tudíž v principu se jedná o podobný návrh jako výše zmínění s tím

rozdílem, že se nepoužijí konektory pro splitter a oblast bude pokryta na 100 %, přičemž dle statistik bude penetrace 30-50 %. V budoucnu je pak možné přejít na technologii 10GPON, která je se standartní GPON variantou kompatibilní. Ve výsledku se budou moci připojit všichni uživatelé v zadané oblasti s dostatečnou rychlostí.

### **První fáze projektu**

V první fázi projektu se zrealizuje optická trasa, které pokryje požadovanou oblast, přičemž optická vlákna budou končit v jednotlivých domech. Využijí se stávající optická vlákna, která jsou různě provařena a zakončena v jednotlivých domech. Na tyto vlákna se navrhne trasa optických splitterů.

### **Druhá fáze projektu**

Ve druhé fázi projektu se postupně vymění metalické rozvody za optické a přivede se optické vlákno do bytu zákazníka. Výměna metalické kabeláže spočívá ve využití stávajících rozvodů v domech, přičemž se použijí Riser kabely (Breakout kably), ze kterých se lehce vyvede vlákno v mikrotrubičce až do bytu zákazníka. V bytě se zřídí optická zásuvka, do které po objednávce služby lze zapojit ONT jednotku.

## 4 VÝBĚR ŘEŠENÍ

Z teoretického podkladu jsem se rozhodl pro technologii GPON typu FTTH a z možných variant rozvržení a zapojení optických splitterů vybírám variantu bez konektorů se 100% pokrytím oblasti. Důvodem výběru varianty bez konektorů je menší vložný útlum, neboť koncová jednotka ONT zvládne rozeznat informace, které odesílá centrální jednotka OLT, v útlumu od -14 do -28 Db. Dalším důvodem varianty bez konektorů je ušetření času při instalaci/připojení koncového zákazníka. Jediné, co budou technici řešit, je optická zásuvka u zákazníka a o trasu se nestarají. 100% pokrytí oblasti jsem zvolil z důvodu dostatku přípojek pro všechny možné zákazníky i za cenu snížení vyhrazené přenosové kapacity, protože v budoucnu lze GPON zkombinovat s další generací 10GPON.

### 4.1 Výběr typu pasivní sítě

#### FTTH

##### Návrh sítě

Navržená modernizace optické přístupové sítě bude realizována technologií GPON, konkrétně se bude jednat o typ FTTH – Fiber To The Home. Přenos bude uskutečněn pomocí jednoho Single Mode vlákna 9/125  $\mu\text{m}$  s použitím technologie WDM – vlnový multiplex. Použitá technologie naznačuje, že se bude jednat o topologii typu P2MP – Point to Multipoint, přičemž útlumová bilance navrhované sítě musí splňovat požadavky útlumové třídy B+.

Pro přenos budou použity tyto vlnové délky:

- 1310 nm pro vzestupný směr
- 1490 nm pro sestupný směr

## 4.2 Výběr optické trasy

Dle tabulek vidíme, že celkový počet domů je 80 a celkový počet bytů je 604.

Tabulka 7: Počet bytů v lokalitě

ulice	Krokova	ulice	Kuldova	ulice	Šámalova
č. domu	p. bytů	č. domu	p. bytů	č. domu	p. bytů
4	3	1 (i KR2)	15	66	2
6	3	3	10	68	2
8	2	5	15	70	2
10	5	7	15	72	2
12	3	9	15	74	1
14	2	11	15	76	2
16	2	13	5	78	8
18	3	15	15	80	8
20	3	17	8	82	3
22	3	17a	15	84	11
24-26	22	17b	15	86	6
		19	24	88	8
28-30	22	21 (i Š90)	24	92	1
		2	11	94	3
32	2	4	2	96	4
34	1	6	8	98	3
36	2	8	5	100	8
38	3	10	8	102	8
40	2	12	7	104	8
42	6	14	6	108	8
44	2	16	7	ulice	Zábrdovická
46	2	18	6	číslo domu	p. bytů
48	3	20	8	16	50
50	3	22	8	18	1
50a	3	24	7	20	18
50b	7	26	7	22	9
		28	7		
		30	7		
		32	7		
		34	8		
		36	8		
		8	1		

(Zdroj: Vlastní zpracování)

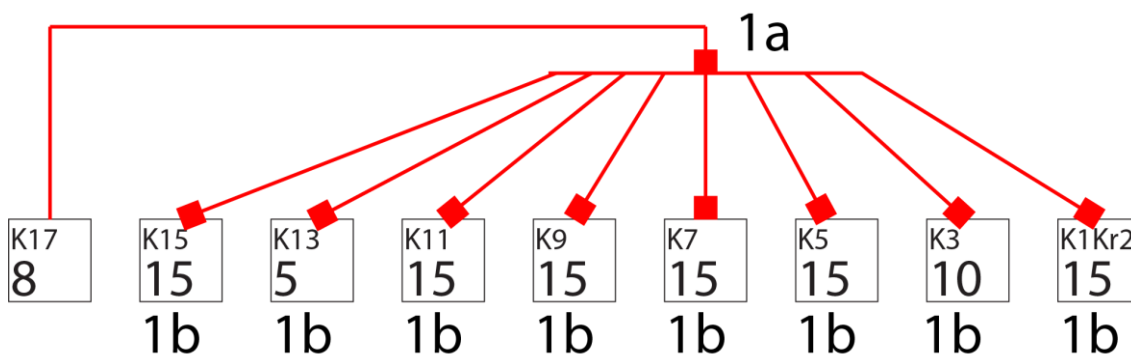
### 4.2.1 Obecné schémata dělení splitterů

V této části navrhuji dělení splitterů pro ulice Kuldova, Krokova, Šámalova a Zábrdovická. Následující tabulka ukazuje, jak jsou splitters děleny. Zvolil jsem maximálně dvě úrovně splitterů, aby se předešlo mnoha svaření optických vláken, a abych splňoval útlumovou třídu B+.

Tabulka 8: Rozdělení rozbočovacího poměru

GPON port	1	2	3	4	5	6
Poměr a	1:8	1:8	1:16	1:8	1:16	1:8
Poměr b	1:16	1:16	1:8	1:16	1:8	1:16

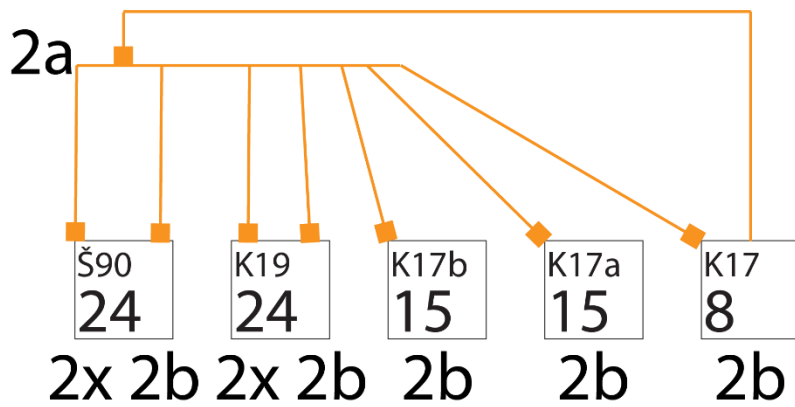
(Zdroj: Vlastní zpracování)



Obrázek 50: Schéma pro splitter 1a

(Zdroj: Vlastní zpracování)

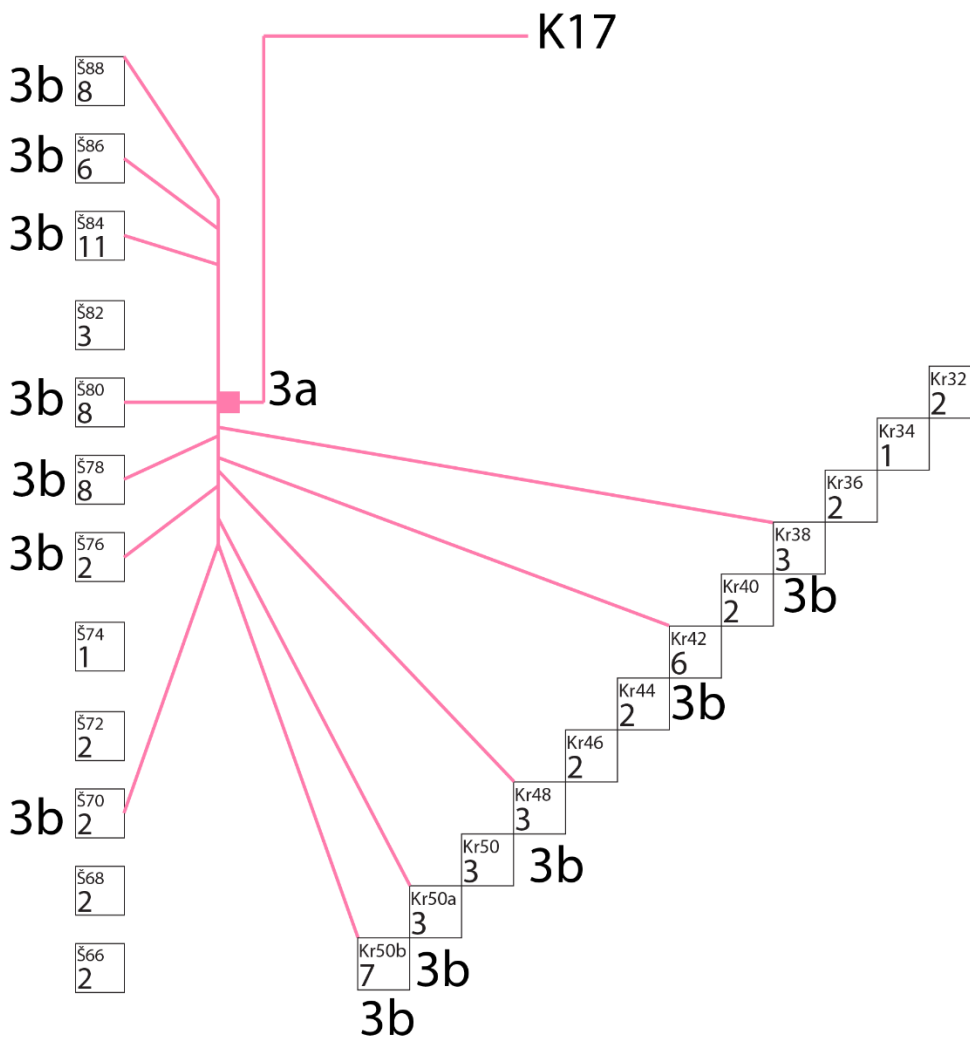
Splitter 1a je uložen na uzlu K7, odkud připojuje jednotlivé domy. Tento centrální bod jsem zvolil ze strategických důvodů, protože v tomto místě je hlavní spoj na protější stranu ulice a je zde mnoho vláken.



Obrázek 51: Schema 2a

(Zdroj: Vlastní zpracování)

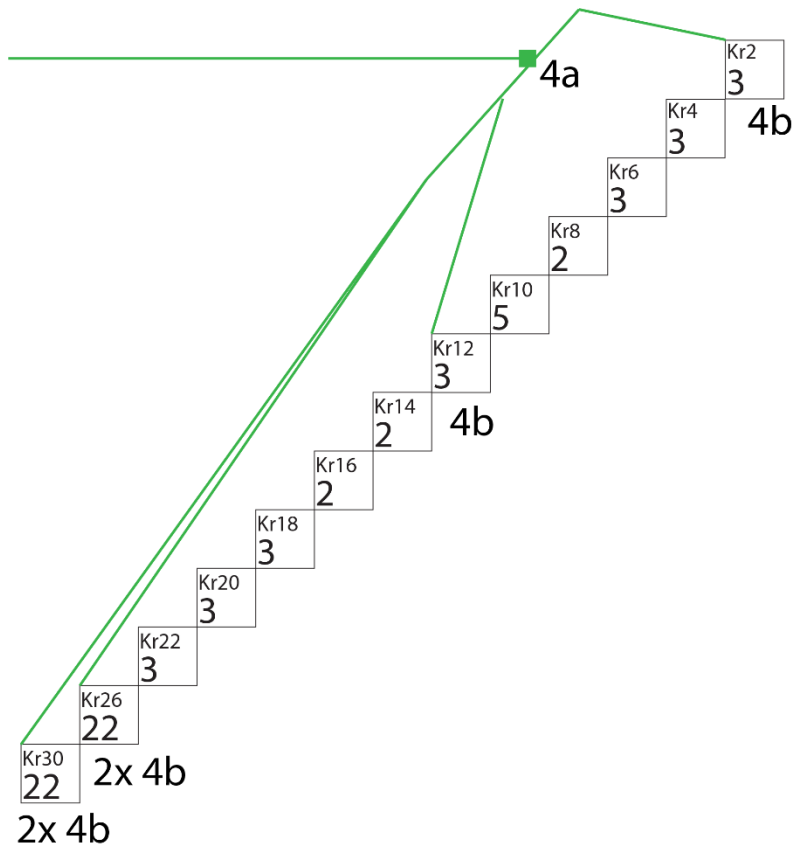
Hlavním bod pro splitter 2a jsem zvolil Šámalovu 90, protože se zde schází a zakončuje nejvíce vláken.



Obrázek 52: Schema splitteru 3a

(Zdroj: Vlastní zpracování)

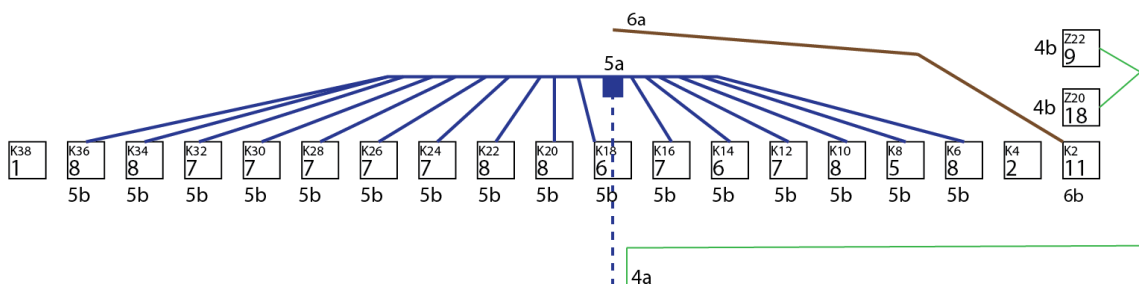
Splitter 3a je uložen v uzlu Š80, odkud připojuje okolní domy a přechází na ulici Krokova, kterou pokryje po dům 32.



Obrázek 53: Schema splitteru 4a

(Zdroj: Vlastní zpracování)

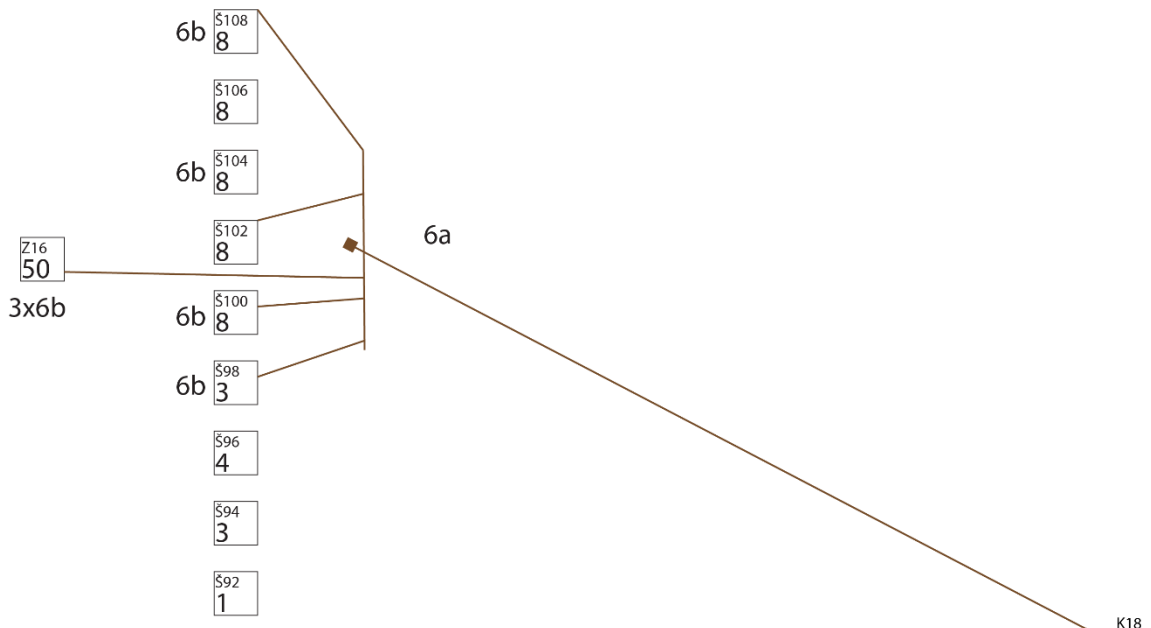
Splitter 4a má centrální bod na uzlu K1, odkud připojí dva nejvíce obydlené domy KR26 a KR30, dále připojuje dům KR2 a KR12, přičemž dělicí poměr vystačí i pro přilehlé domy. Nakonec se dvě vlákna tohoto splitteru vrací a jsou dotažena do domů Z20 a Z22.



Obrázek 54: Schema splitteru 5a

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Splitter 5a s rozbočovací poměrem 1:16 pokryje celou jednu stranu ulice Kuldova.



Obrázek 55: Schema splitteru 6a

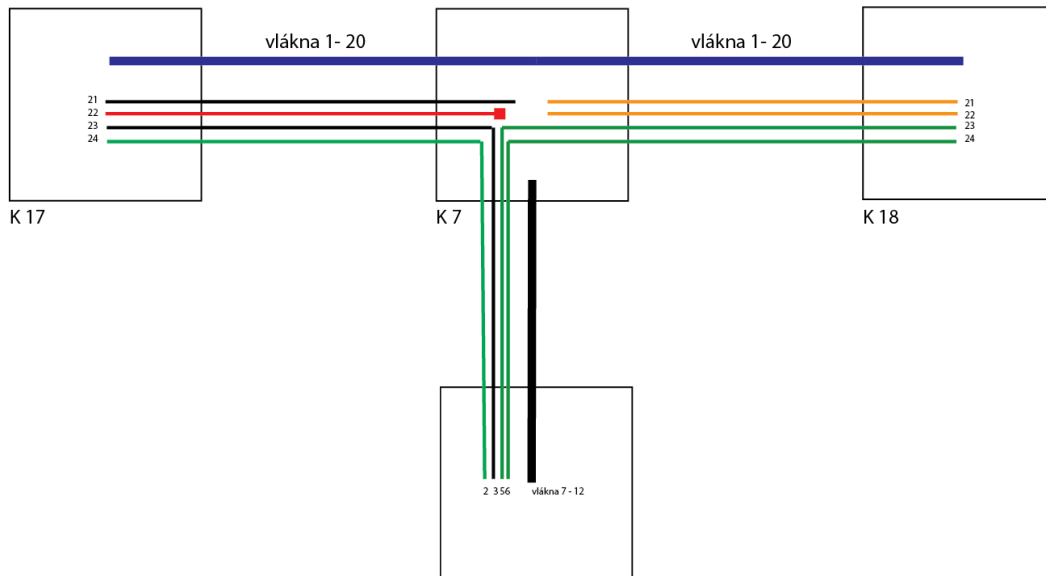
(Zdroj: Vlastní zpracování)

Poslední splitter 6a zpočátku vrací jedno vlákno, aby připojil K2, ale poté pokrývá celou ulici Šámalova a velkou budovu s 50 přípojnými místy.

#### 4.2.2 Trasa K17 – K7 – K1 – KR30

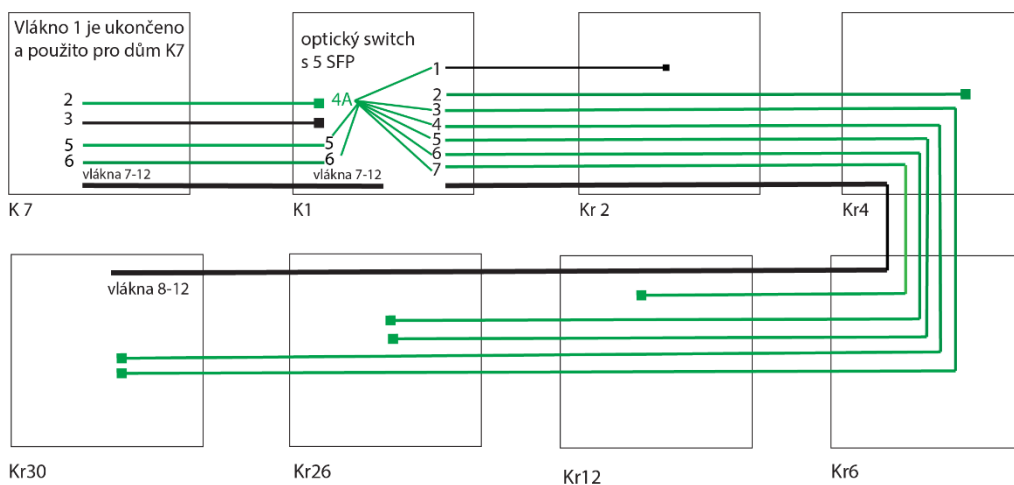
Vlákno č. 21 a 22 se v uzlu K7 rozpojí. Budeme mít tak 4 optická vlákna ukončená na K7. Na vlákno č. 22 se navaří splitter 1a. Vlákno č. 24 je svařeno s vláknem č. 2 a končí na uzlu K1, kde na vlákno navaříme splitter 4a. Na splitter 4a se navaří první vlákno, které je momentálně zapojené do optického switchu, a které je ukončeno v domě KR4. Poté je nutné vybudovat trasu až po dům KR30, přičemž v HDPE trubkách povede 12vláknový optický kabel, který se napojí na optický kabel s 12 vlákny ukončený na KR6. Z analýzy víme, že jsou volná vlákna 3-12. Na uzlu KR12 zakončíme vlákno č. 3 a bude tak další vlákno, které se zavaří na splitter na K1. Dále je potřeba dovést dvě vlákna do uzlu KR26 a dvě vlákna do KR30, využijeme vláken 4,5,6,7, které se zavaří na splitter a zakončí ve zmíněných uzlech.

Dále se na splitter 4a navaří poslední dvě vlákna, která povedou z K1 na K7, konkrétně vlákna číslo 5 a 6, která se navaří na optický kabel jdoucí na K18, konkrétně na vlákna 23 a 24.



Obrázek 56: Návrh optických tras K17 – K1 – KR30

(Zdroj: Vlastní zpracování)

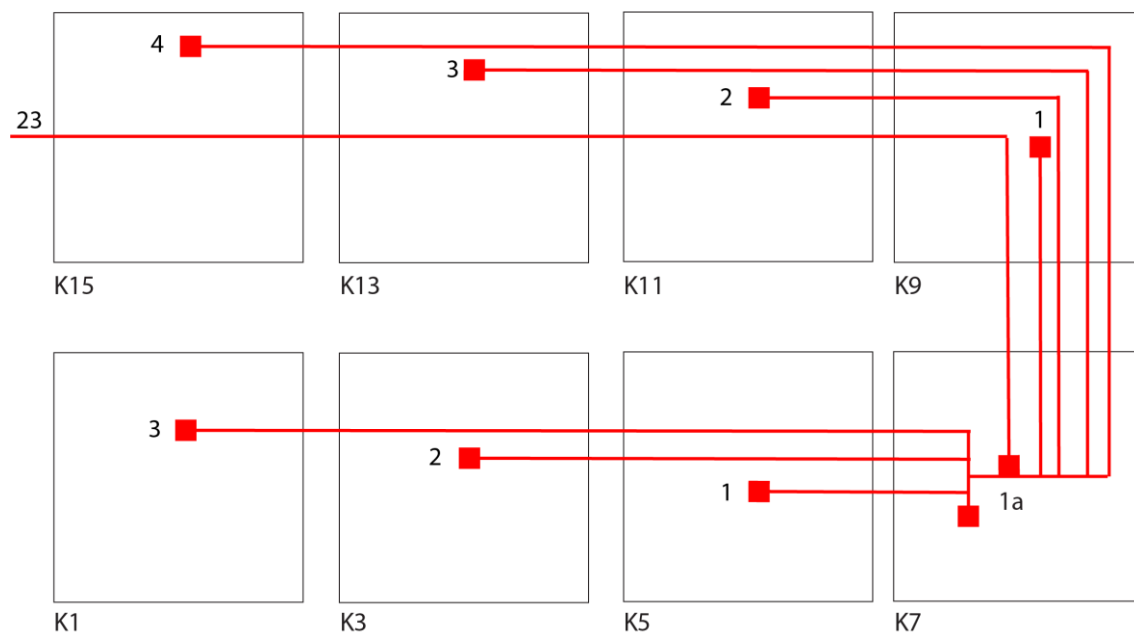


Obrázek 57: Návrh optických tras pro ulici Krokova

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Z uzlu KR4 se musí vést nový optický kabel s 12 vlákny, která budou navařena na splitter 4b. 3 vlákna se ukončí na KR6, 2 vlákna se ukončí na KR8 a 5 vláken se ukončí na KR10.

Z KR12 je potřeba vést nový optický kabel s 16 vlákny, která budou navařena na splitter 4b. 2 vlákna se ukončí na KR14, 2 vlákna na KR16, a po třech vláknech na KR18, KR20 a KR22.



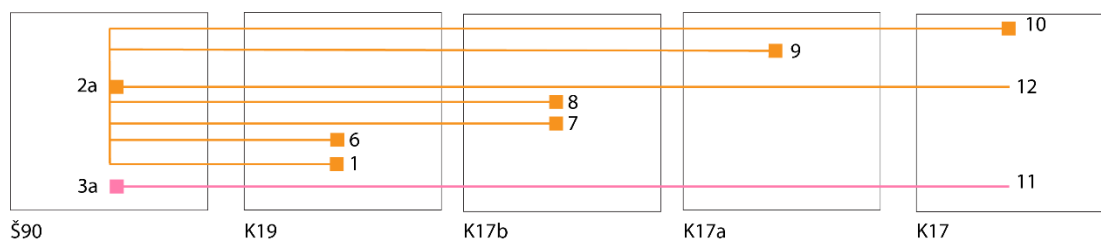
Obrázek 58: Návrh splitteru 1a

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Na splitter 1a, který je zakončen na K7, se navaří dva kabely se 4 vlákny a ukončí se v jednotlivých domech, jak je zobrazeno na obrázku č. 52.

### 4.2.3 Trasa K17 – Š90

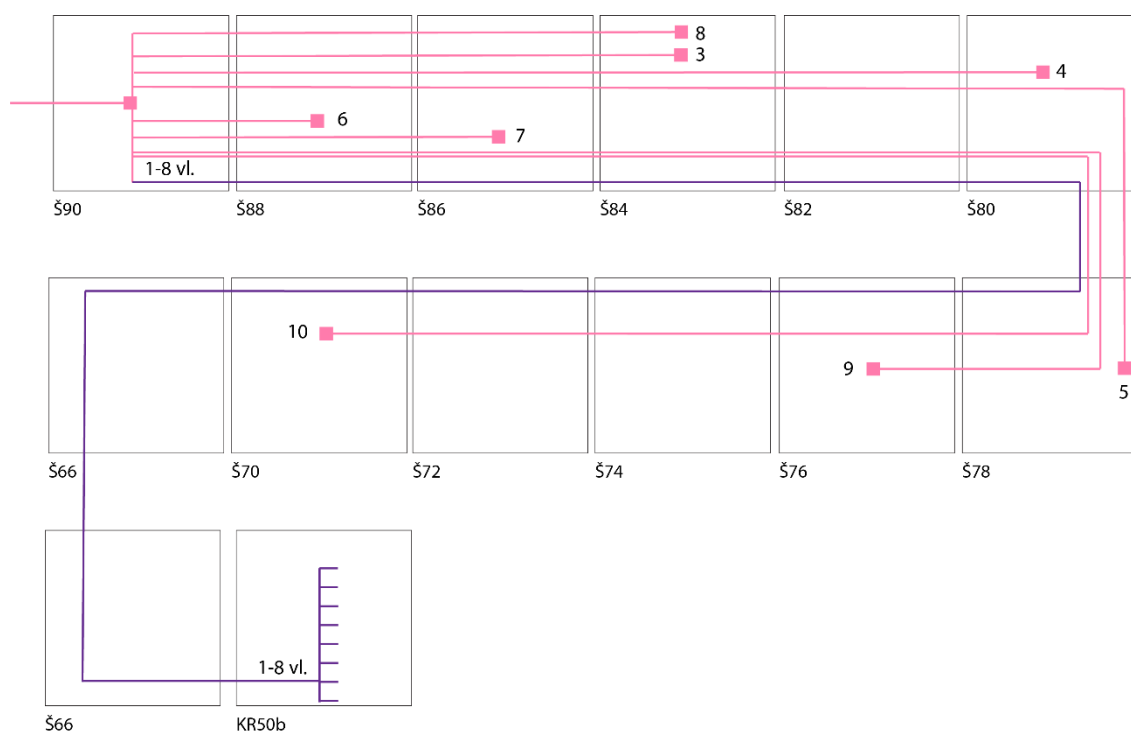
Na této trase je potřeba počítat s výstavbou nové trasy, která je popsána v kapitole 4.2.3. Ze schématu vidíme využití optického kabelu s 12 vlákny. Na vlákno č. 12, které bude napřímo svařeno až na Š90, kde se na něj navaří optický splitter 2a. Na tento splitter se navaří na vlákna ze zmíněného 12vláknového kabelu, tudíž se nemusí vést nové kabely jako v případě předchozí trasy. Na splitter 2a se navaří vlákna s čísly 10, 9, 8, 7, 6 a 1.



Obrázek 59: Návrh trasy K17 – Š90

#### 4.2.4 Trasa Š90 – Kr32

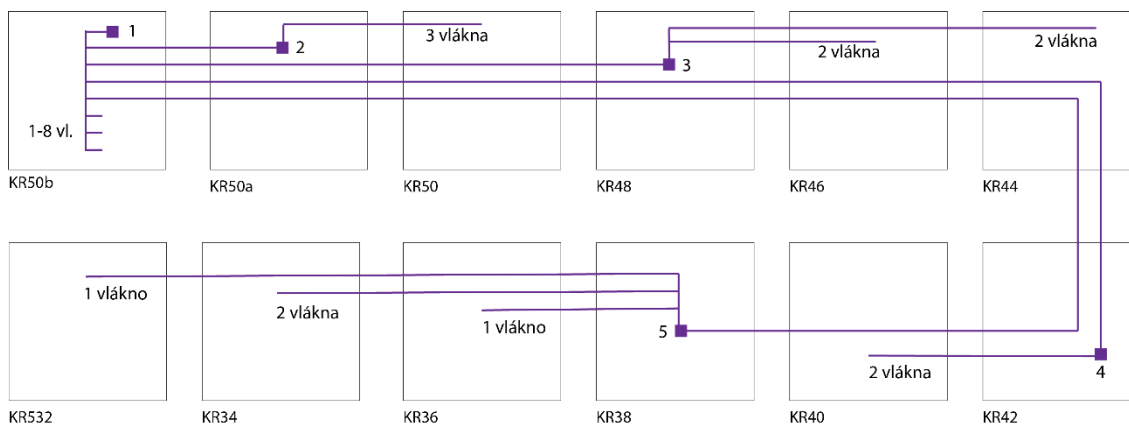
Na vlákno číslo 11 optického kabelu vedoucího z K17 na Š90 se navaří splitter s označením 3a. Jedná se o splitter 1:16. Na trase Š90 až Š78 je již vedený optický kabel s 12 vlákny. U této trasy je potřeba postavit novou trasu jdoucí z Š88 do Š84, přičemž se optický kabel musí přemístit do této nově zbudované trasy. Po svaření a propojení kabelů víme, že některá vlákna tohoto kabelu jsou již ukončena na potřebných místech. Jedná se o vlákna 3, 4, 5 a 6. Vlákna s čísly 6, 7, 8, 9 a 10 se musí provařit a ukončit na vyznačených místech na obrázku 54. Dále se z Š90 musí táhnout nový optický kabel s 8 vlákny, na který je potřeba navařit splitter 3a a dovést do budov KR50b, KR50a, KR48, KR42 a KR38



Obrázek 60: Návrh splitteru 3a

Nutno dodat, že z bodu Š84 je potřeba vést 4vláknový optický kabel, který bude navařený na splitter 3b, a zakončit ho v Š82. Dále z uzlu Š76 povede 4vláknový optický kabel do Š74, kde se zakončí 2 vlákna, a do Š72, kde se také zakončí dvě vlákna. Nakonec na splitter v uzlu Š70 navaříme opět optický kabel se 4 vlákny a povedeme ho do Š68 a Š66, přičemž v každém uzlu budou zakončena dvě optická vlákna.

Na obrázku 55 vidíme, jak pokračuje 8 vláken ze splitteru 3a. Na prvních 5 vláknech navaříme optická vlákna z nově vedeného 8vláknového kabelu. Postupně se ukončí v domech KR50a, KR50b, KR48, KR44, KR42 a KR38.



Obrázek 61: Pokračování návrhu splitteru 3a

Pro připojení vedlejších domů je potřeba vést opět nový optický kabel. Z uzlu KR50a se povede 4vláknový optický kabel do vedlejšího KR50. Z KR48 se povede optický kabel se 4 vlákny, přičemž dvě se zakončí na KR46 a dvě na KR44. Z uzlu KR42 se povede optický kabel se 2 vlákny a ukončí se v KR40. Z uzlu KR38 se povede optický kabel se 4 vlákny. Z těchto 4 vláken se 1 vlákno ukončí na KR36 a KR32 a 2 vlákna se zakončí na KR34.

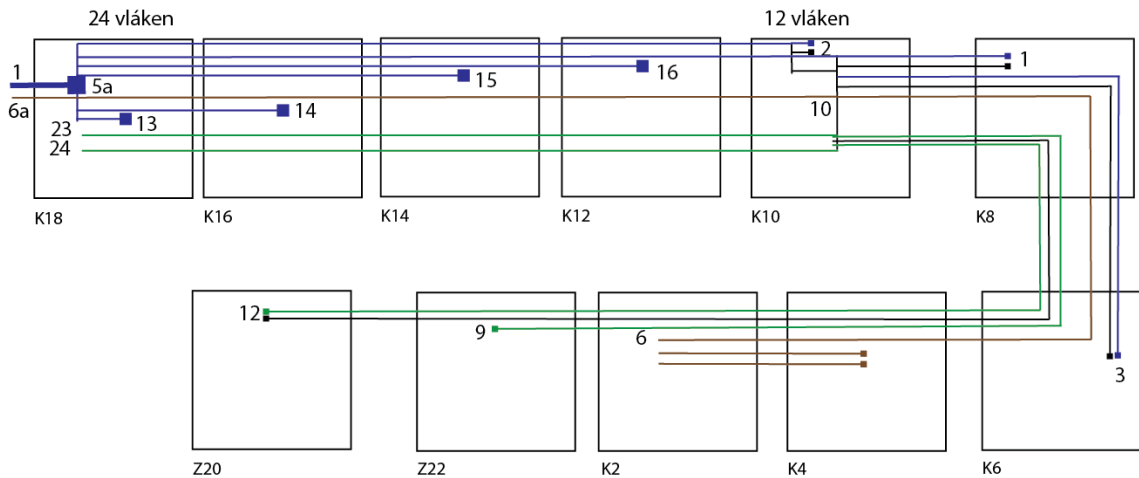
#### 4.2.5 Trasa K18 – Z22

Dvě vlákna s čísly 23 a 24, které jsou napojeny na splitter 4a, jsou provařeny do uzlu Z22 a Z20. Z uzlu Z22 je potřeba dovést ze splitru 4b dvě vlákna do Z20, to realizujeme dvouvláknovým optickým kabelem.

Z 20 vláken, které vedou z K7 do K18 a jsou zde zakončeny, si vezmeme vlákno č. 1 a navaříme na něj splitter 5a, který se podle obrázku níže napojí na stávající optický kabel s 12 vlákny. Z uzlu K2, který je připojen na optický splitter 6a, se dále musí vrátit dvě vlákna pro uzel K4. To je realizováno tak, že vlákno končící původně v Z22 se ukončí v K2. Vzniknou nám dvě volná vlákna, která připojíme na splitter 6b a vyvedeme je na K4.

Do K8 vede samostatný optický kabel s 8 vlákny a první dvě jsou již zakončena, proto je využijeme a připojíme na jedno z nich splitter 5a. Pro uzly K12, K14, K16 a K18 se využije optický kabel s 24 vlákny, který již je veden z K18 do K10. U tohoto kabelu jsou

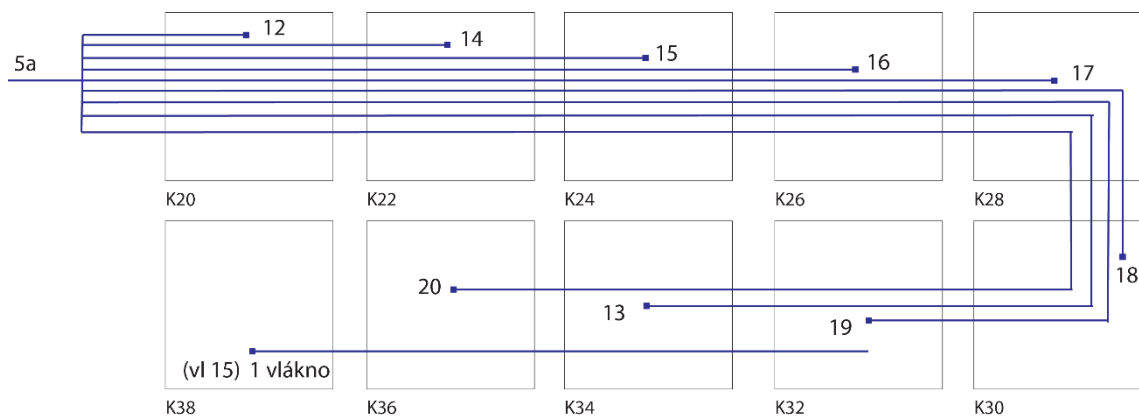
volná vlákna v rozmezí 13-24, proto využijeme vlákna s čísly 13-16 a zakončíme je v uzlech K12, K14, K16 a K18.



Obrázek 62: Návrh tras pro splitter 4a, 5a, 6a

(Zdroj: Vlastní zpracování)

Z K18 směrem na K38 máme k dispozici vlákna s čísly 12-20, využijeme je následujícím způsobem. Z uzlu K32 je nutno ze splitteru 5b jedno vlákno navařit na vlákno s č. 15 a dovést ho do uzlu K38.



Obrázek 63: Návrh na splitter 5a (pokračování)

(Zdroj: Vlastní zpracování)

#### 4.2.6 Trasa K28 – Š100 – Z16

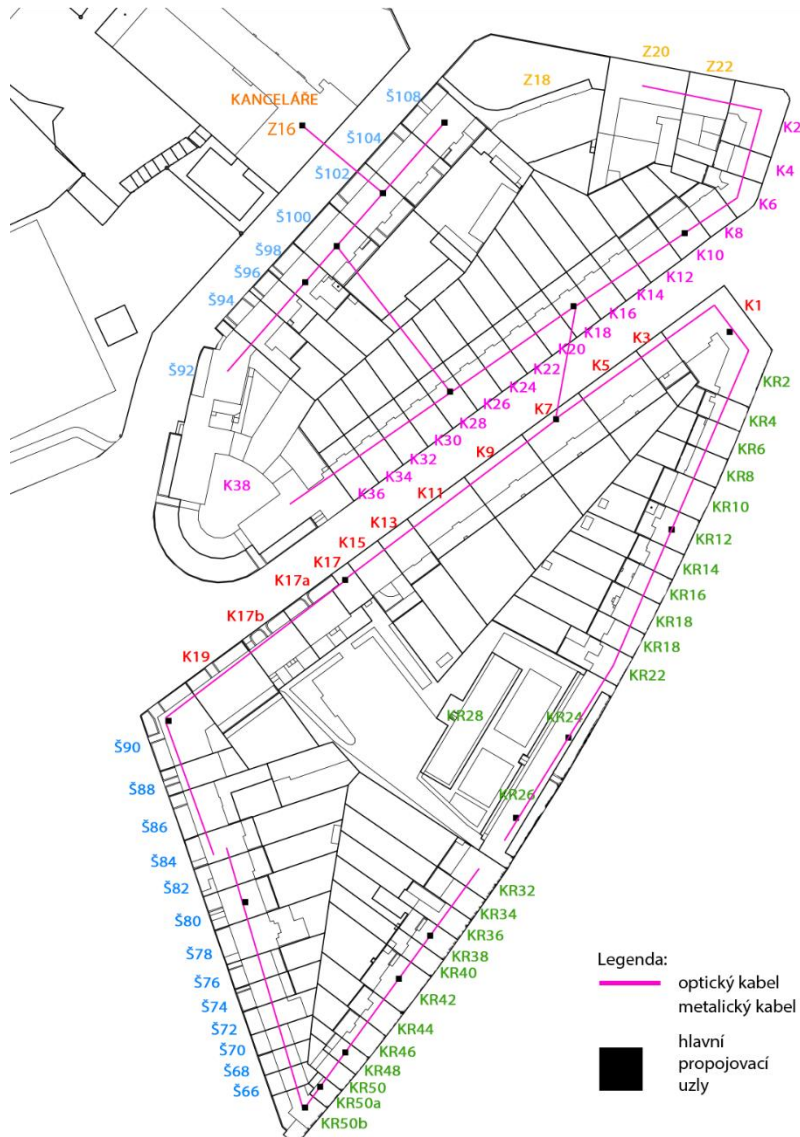
Vlákno číslo 11 jdoucí z K17 přes K7 a je dovedeno do K18, kde je spojeno s vláknem č. 2 optického kabelu směřující na K28, si určíme jako hlavní vlákno pro poslední splitter 6a. Vlákno dále vede a je ukončeno v uzlu Š102. Zde bude i zmíněný splitter 6a.



trasu. Pro dokončení a připojení zákazníků v této části sítě se musí vyhotovit kompletní trasa od domu Š78 po dům na ulici Krokova 32, přičemž doporučuji ji stavět v půdních prostorách, kde se umístí i propojovací skříně, které poslouží pro uschování optických kabelů, svařených vláken a optických splitterů.

### Trasa K17 směrem na Kr30

V této části je nutné propojit trasu z K17 do K7 opět HDPE trubkami a korugovanými trubkami. Poté dokončit trasu ve sklepních prostorech od domu Kr6 až po dům Kr30.



Obrázek 65: Stávající i nové FO trasy

(Zdroj: Vlastní zpracování)

### 4.3 Výběr a umístění OLT jednotky

Na výběr bylo z několika možných míst, kde umístit hlavní centrální jednotku OLT, avšak se rozhodlo, že se centrální bod nechá na stejném místě tedy v budově K17, protože se v ní nachází připravený rack a dobře chlazená místnost pro nasazení OLT. Po rozhodování, kterého výrobce zvolit, jsme se s investorem dohodli, že se vybere společnost Huawei, protože s ním již mají zkušenosti a nabízí přijatelné a levné řešení pro síť GPON.

### 4.4 Výběr způsobu zakončení ONT jednotek

Koncové jednotky ONT se budou nacházet přímo v bytě zákazníka. Na výběr jsou dvě různé jednotky ONT – Huawei HG8010H a Huawei HG8247H. První zmíněný obsahuje jeden gigabitový port pro zákazníka a jeden GPON port. Druhá varianta ONT se použije v tom případě, kdy bude chtít zákazník převodník a router v jednom zařízení.

### 4.5 Materiálová kniha

#### Optická zásuvka

Optickou zásuvku použijeme při druhé fázi projektu, a to při výměně metalických rozvodů. Tuto zásuvku připevníme u koncového zákazníka v bytě a zároveň v této zásuvce bude ukončeno optické vlákno.



Obrázek 66: Optická zásuvka

(Zdroj: [22])

### **Riser vývodní skříň**

Vývodní skříň se připevní na Riser kabel, ze kterého se vyvedou dvě vlákna. Tato skříň se kombinuje s mikrotrubičkami, které povedou do bytů zákazníků.



Obrázek 67: Riser vývodní skříň

(Zdroj: [22])

### **Skříň pro propojení optických kabelů a uschování splitterů**

Skříň pro propojení optických kabelů bude převážně v uzlech nově zbudovaných tras na ulici Krokova. Do skříně se uloží optická kazety se sváry, které spojují optické kabely.



Obrázek 68: Skříň

(Zdroj: [22])

## **Optická kazeta**

Optická kazeta slouží pro uložení a zabezpečení optických svárů.



Obrázek 69: Optická kazeta

(Zdroj: [22])

## **PLC splitter**

Bezkonektorový PLC splitter slouží k dělení optického signálu.



Obrázek 70: PLC splitter

(Zdroj: [22])

## **Přichytka HDPE trubek a korugovaných trubek**



Obrázek 71: Přichytka

(Zdroj: [22])

Drop kabel viz obr. 41

Flat drop kabel viz obr. 39

HDPE trubka a korugovaná trubka viz obr. 43

Riser kabel viz obr. 40

Mikrotrubička viz obr. 44

Pigtail SC viz obr. 46

OLT viz obr. 47

ONT viz obr. 48 a 49

Odhadované náklady na projekt jsou 213 866 korun.

Tabulka 9: Materiálová kniha

Produkt	cena/1ks bez DPH	počet	celková cena
Optická zásuvka	38,0 Kč	604	22 952,0 Kč
Optický nástěnný box	639,0 Kč	30	19 170,0 Kč
Optický box FTTH	20,0 Kč	350	7 000,0 Kč
Optická kazeta	125,0 Kč	90	11 250,0 Kč
Optický kabel Riser	16,0 Kč	800	12 800,0 Kč
OLT Huawei MA5608T	67 058,0 Kč	1	67 058,0 Kč
HUAWEI HG8010H	549,0 Kč	20	10 980,0 Kč
HUAWEI HG8247H	1 334,0 Kč	20	26 680,0 Kč
Splitter 1:8 PLC	150,0 Kč	36	5 400,0 Kč
Splitter 1:16 PLC	300,0 Kč	33	9 900,0 Kč
Pigtail SC/APC 9/125 2m	3,8 Kč	100	380,0 Kč
Mikrotrubička Mikrohard 7/5.5	3,6 Kč	1000	3 600,0 Kč
HDPE trubka 20/13	23,0 Kč	320	7 360,0 Kč
Korugovaná trubka 20/13	15,0 Kč	50	750,0 Kč
Příchytky trubek	6,0 Kč	640	3 840,0 Kč
optický kabel 8 vláken	9,8 Kč	50	490,0 Kč
optický kabel 4 vlákna	5,8 Kč	320	1 856,0 Kč
Optický kabel drop FTTH, 12 vláken	12,0 Kč	200	2 400,0 Kč

(Zdroj: Vlastní zpracování)

## 4.6 Ekonomické zhodnocení projektu

V této části práce stanovím orientační náklady na realizaci projektu. Spolu s náklady spočítám výnosy a dobu návratnosti spojené s vybudováním této pasivní optické sítě.

### 4.6.1 Náklady

Celkové náklady za projekt:

- Náklady za materiál: 213 866,-
- Náklady za konektivitu: 23 000,-/měsíc
- Náklady za práci dvou pracovníků: 50 000,-/měsíc
- PHM: 4 200,-
- Režie: 10 300,-
- Přesun hmot: 5 000,-

Celkové náklady na projekt činí 306 366,-.

Měsíční náklady na provoz sítě po dokončení: 28 500,-.

### 4.6.2 Výnosy

Vezmeme-li v potaz, že momentálně je připojeno 200 lidí, a díky správné propagaci a nasazení nové technologie počítáme s nárůstem 150 nových přípojek. Nejběžnější tarif této firmy je Internet Klasik s rychlostí 50 Mbit/s za 315,- korun. Počítáme, že 60 % zákazníků bude mít tuto službu, 25 % nejlevnější Internet Pohoda a 15% Internet Super. Celkové výnosy za měsíc =  $(210 * 315) + (88 * 225) + (52 * 450) = 66\,150 + 19\,800 + 23\,400 = 109\,350$  korun za měsíc.

Tabulka 10: Ceník tarifů

Tarif	Rychlost	Cena
Internet Pohoda	10 Mbit/s	225 Kč
Internet Klasik	50 Mbit/s	315 Kč
Internet Super	100 Mbit/s	450 Kč
Internet Super 200	200 Mbit/s	585 Kč
Internet Super 400	400 Mbit/s	899 Kč

(Zdroj: Vlastní zpracování)

### 4.6.3 Doba návratnosti nákladů

Čisté měsíční tržby:  $109\,315 - 28\,500 = 80\,815$ , - Kč.

Měsíční náklady na provoz sítě: 28 500,-.

Počáteční investice: 306 366,-.

Při předpokládaných celkových nákladech na projekt 306 366,- korun je doba návratnosti 4 měsíce.

Tabulka 11: Doba návratnosti investice

p. měsíců	příjem	investice
0	0	-306 366
1	80 815	-225 551
2	80 815	-144 736
3	80 815	-63 921
4	80 815	16 894
5	80 815	97 709

(Zdroj: Vlastní zpracování)

## ZÁVĚR

V návrhu řešení se podařilo, v rámci hlavního cíle bakalářské práce, zrealizovat pasivní optickou síť, která splňuje dnešní i budoucí neustále náročnější požadavky na přenosovou šířku pásma. Modernizace zahrnuje přechod z aktivní metalicko-optické sítě na čistě pasivní optickou síť, kterou lze upgradovat na rychlejší 10GPON technologii, která poskytuje 4x vyšší přenosovou rychlost v sestupném směru, a lze využívat služby Triple Play tak, aby byl využit celkový potenciál sítě. Díky technologii FTTH, tedy optické vlákno přivedené přímo ke koncovému zákazníkovi, se zajistilo kvalitní a velice spolehlivé připojení k internetu v lokalitě Brno – Zábřovice v ulicích Kuldova, Krokova, Šámalova a Zábřovická.

Při využití kombinace tří tarifů byla doba návratnosti stanovena na 4 měsíce. Jelikož konkurence nemá v dané lokalitě dostatečné zastoupení a marketingovou propagaci, je možné očekávat při správně zvolené komunikaci se zákazníky zvyšující se zájem o nabízené služby.

Jednoznačné přínosy pro firmu jsou eliminace závislosti na elektrické energii a odstranění aktivních prvků (optické a metalické switche) mezi centrálním a koncovým zařízením, protože časté výpadky způsobovaly nedostupnost služeb, což se projevovalo na image firmy. **Realizací převodu aktivní opticko-metalické sítě na čistě pasivní optickou síť s maximálním využitím stávajících tras byl splněn hlavní cíl bakalářské práce.** Nesporným přínosem realizace cílů bakalářské práce bylo odstranění nedostatku optických vláken, a z tohoto důvodu již není potřeba využívat metalickou kabeláž. Jednoznačně vzrostla rychlost, spolehlivost sítě a dostupnost služeb. Pro celou lokalitu se využilo celkem šest GPON portů a dva zbyly jako rezerva, která se v budoucnu dá použít na další rozšíření sítě do dalších ulic této městské části.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HORÁK, Jaroslav a Milan KERŠLÁGER. *Počítačové sítě pro začínající správce*. 5., aktualizované. vyd. Brno: Computer Press, 2011. ISBN 978-80-251-3176-3.
- [2] PUŽMANOVÁ, Rita. *TCP/IP v kostce*. 2., upr. a rozš. vyd. České Budějovice: Kopp, 2009. ISBN 978-80-7232-388-3.
- [3] JORDÁN, Vilém a Viktor ONDRÁK. *Infrastruktura komunikačních systémů I: univerzální kabelážní systémy*. Druhé, rozšířené vydání. Brno: CERM, Akademické nakladatelství, 2015. ISBN 978-80-214-5115-5.
- [4] LAFATA, Pavel a Jiří VODRÁŽKA. *Optické přístupové sítě a přípojky FTTx*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05463-5.
- [5] KUROSE, James F. a Keith W. ROSS. *Počítačové sítě*. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3825-0.
- [6] FILKA, CSC., Prof. Ing. Miloslav. *Optické přenosy informací pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO*. Brno, Technická 12: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. ISBN 978-80-214-5064-6.
- [7] BUBNÍK, Ing. Lukáš a Ing. Jiří KLAJBL. *Optoelektrotechnika* [online]. Brno: Code Creator, 2015 [cit. 2019-03-21]. ISBN 978-80-88058-20-5. Dostupné z: <https://publi.cz/books/185/Cover.html>
- [8] JAKUBÍKOVÁ, Dagmar. *Strategický marketing*. Praha: Grada, 2008. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-2690-8.
- [9] JUGA a Beca. *Kegunaan Model OSI*. In: Edutalk.id. *Barvy: Vlnové délky* [online]. 2019 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: [https://edutalk.id/tech/jaringan/kegunaan-model-osi.html?fbclid=IwAR3GPsa7GtLbs\\_GOTyXBCbE\\_2Kr0e4nPYWSGyPvXCgsjfKXKxfQyT2SUuok](https://edutalk.id/tech/jaringan/kegunaan-model-osi.html?fbclid=IwAR3GPsa7GtLbs_GOTyXBCbE_2Kr0e4nPYWSGyPvXCgsjfKXKxfQyT2SUuok)
- [10] PRAVDA, Ing. Bc. Ivan. *Optické přenosové prostředky (WDM)*. In: *Docplayer: Představujeme Vám pohodlné a bezplatné nástroje pro publikování a sdílení informací*. [online]. 2016 [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/6041133-Ednaska-ing-bc-ivan-pravda.html>



- [19] Závěsný optický kabel PoweGuide® TTH. In: *OFAcom* [online]. OFA, c2015 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: [https://www.ofacom.cz/ofa-pedie/galerie/galerie\\_kabely/galerie\\_kabely\\_zavesne/](https://www.ofacom.cz/ofa-pedie/galerie/galerie_kabely/galerie_kabely_zavesne/)
- [20] KUCINA, Oldrich. Příčný řez podmořským optickým kabelem. In: *Commons Wikimedia* [online]. Commons Wikimedia, 2007 [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Submarine\\_cable\\_cross-section\\_cs.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Submarine_cable_cross-section_cs.svg)
- [21] LAFATA, P. a J. VODRÁŽKA. Pasivní optická síť GPON: Přidělování přenosové kapacity. *Access Server* [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, FEL, 2009 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050002>
- [22] Ma-Fia s.r.o. Optické sítě: Materiál pro optické sítě. In: *Ma-Fia s.r.o., Specializovaný obchod s materiálem pro datové sítě*. [online]. Brno: Ma-Fia, c2017 [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.ma-fia.cz>
- [23] Cybersoft s.r.o. Optické sítě: Aktvní prvky pro PON. In: *TES-SLOVAKIA s.r.o.* [online]. Žilina: TES-SLOVAKIA [cit. 2019-05-02]. Dostupné z: <https://www.tesshop.sk/default.asp>

## **SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK**

TCP/IP – Transmission Control Protocol/Internet Protocol

FTP – File Transfer Protocol

TFTP – Trivial File Transfer Protocol

DSLAM – Digital Subscriber Line Access Multiplexer

SNMP – Simple Network Management Protocol

UTP – Unfielded Twisted Pair

FTP – Fielded Twisted Pair

PVC – Polyvinylchlorid

NH – Non Halogen

PE – Polyethylen

PUR – Polyuretan

WDM – Wavelength Division Multiplexing

FO – Fiber Optic

SM – Single Mode

MM – Multi mode

SI – Step Index

GI – Gradient Index

VFL – Visual Fault Locator

MFD – Mode Field Diameter

CD – Chromatic Dispersion

PDM – Polarization Mode Dispersion

OAN – Optical Access Network

ODN – Optical Distribution Network

P2P – Point To Point

P2M – Point To Multipoint

OLT – Optical Line Termination

ONT – Optical Network Termination

ONU – Optical Network Unit  
FTB – Fused Bionic Taper  
PLC – Planar Lightwave Circuit  
AON – Active Optical Network  
PON – Pasive Optical Network  
FTTD – Fiber To The Desk  
FTTH – Fiber To The Home  
FTTO – Fiber To The Office  
FTTP – Fiber To The Premises  
FTTB – Fiber To The Building  
FTTC – Fiber To The Curb  
FTTN – Fiber To The Node  
APON – ATM PON  
BPON – Broadband PON  
GPON – Gigabit PON  
QoS – Quality Of Service  
TDM – Time Division Multiplex  
DBA – Dynamic Bandwidth Assignment  
MAC – Media Access Control  
GEM – GPON Encapsulated Method  
EPON – Ethernet PON

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Přehled prvků konstrukce nestíněných kabelů .....	17
Tabulka 2: Přehled prvků konstrukce stíněných kabelů .....	17
Tabulka 3: Dělení podle průměru jádra .....	21
Tabulka 4: Průměry odrazné vrstvy .....	22
Tabulka 5: Typické parametry PLC rozbočovače .....	32
Tabulka 6: Základní parametry GPON .....	41
Tabulka 7: Počet bytů v lokalitě .....	68
Tabulka 8: Rozdělení rozbočovacího poměru .....	69
Tabulka 9: Materiálová kniha .....	83
Tabulka 10: Ceník tarifů .....	84
Tabulka 11: Doba návratnosti investice .....	85

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Referenční model ISO/OSI .....	14
Obrázek 2: Struktura optického vlákna .....	19
Obrázek 3: Přenos paprsku vláknem .....	20
Obrázek 4: Kritický úhel.....	20
Obrázek 5: Průběh indexu lomu .....	23
Obrázek 6: Vidová disperze u MM.....	24
Obrázek 7: Breakout Simplex.....	25
Obrázek 8: Breakout Duplex .....	26
Obrázek 9: Breakout .....	26
Obrázek 10: OPDS kabel.....	26
Obrázek 11: OPDS INTEX kabel.....	26
Obrázek 12: MFTP Central Tube .....	27
Obrázek 13: MFPT Multi Tube .....	27
Obrázek 14: RIBBON kabel.....	27
Obrázek 15: Závěsný optický kabel PoweGuide® TTH .....	28
Obrázek 16: Struktura podmořské kabelu .....	28
Obrázek 17: Model uspořádání PON sítě s ONT a ONU jednotkou .....	30
Obrázek 18: Výroba fúzního splitteru .....	31
Obrázek 19: Vnitřní struktura planárního PLC splitteru .....	32
Obrázek 20: Referenční model PON sítě.....	34
Obrázek 21: FTTX varianty.....	38
Obrázek 22: Topologie PON sítě .....	39
Obrázek 23: Způsob komunikace pomocí portů ve směru sestupném .....	42
Obrázek 24: Schéma přenosu prostřednictvím portů a rámců T-CONT .....	42
Obrázek 25: Princip podávání žádostí a vysílání uživatelských dat.....	43
Obrázek 26: SWOT analýza .....	47
Obrázek 27: Brno – Zábrdovice.....	48

Obrázek 28: Optické a metalické trasy .....	50
Obrázek 29: Optická vlákna K17 – K7 – K18.....	52
Obrázek 30: Optická vlákna K18 – K28.....	53
Obrázek 31: Optická vlákna K18-K10 .....	53
Obrázek 32: Trasa optických vláken K18-Z20.....	54
Obrázek 33: K18 – Š100 – K38.....	54
Obrázek 34: Š100-Z16-Š108 .....	55
Obrázek 35: Optická vlákna K7 – Kr6 .....	56
Obrázek 36: Ubiquiti EdgeSwitch Fiber a MikroTik CRS212.....	56
Obrázek 37: Mikrotik CRS106 .....	57
Obrázek 38: SFP modul.....	57
Obrázek 39: Flat Drop kabel, SM.....	58
Obrázek 40: Riser kabel Optix.....	58
Obrázek 41: Univerzální optický kabel G657A .....	59
Obrázek 42: UTP kategorie 5e a FTP kategorie 5e .....	59
Obrázek 43: HDPE trubka a korugovaná trubka pro realizaci tras.....	59
Obrázek 44: Mikrotrubičky .....	60
Obrázek 45: Patchcordy SC/APC – SC/APC, SC/APC – SC/PC, LC/PC – LC/PC .....	60
Obrázek 46: Pigtaily SC/AP, LC/PC .....	60
Obrázek 47: OLT Huawei MA5608T.....	64
Obrázek 48: ONT Huawei HG8010H .....	64
Obrázek 49: ONT Huawei HG8247H .....	65
Obrázek 50: Schéma pro splitter 1a.....	69
Obrázek 51: Schema 2a .....	70
Obrázek 52: Schema splitteru 3a .....	70
Obrázek 53: Schema splitteru 4a .....	71
Obrázek 54: Schema splitteru 5a .....	71
Obrázek 55: Schema splitteru 6a .....	72

Obrázek 56: Návrh optických tras K17 – K1 – KR30.....	73
Obrázek 57: Návrh optických tras pro ulici Krokova.....	73
Obrázek 58: Návrh splitteru 1a .....	74
Obrázek 59: Návrh trasy K17 – Š90.....	74
Obrázek 60: Návrh splitteru 3a .....	75
Obrázek 61: Pokračování návrhu splitteru 3a.....	76
Obrázek 62: Návrh tras pro splitter 4a, 5a, 6a .....	77
Obrázek 63: Návrh na splitter 5a (pokračování).....	77
Obrázek 64: Návrh trasy K28 – Š102 – Z16 .....	78
Obrázek 65: Stávající i nové FO trasy .....	79
Obrázek 66: Optická zásuvka .....	80
Obrázek 67: Riser vývodní skříň .....	81
Obrázek 68: Skříň .....	81
Obrázek 69: Optická kazeta.....	82
Obrázek 70: PLC splitter .....	82
Obrázek 71: Přichytka .....	82