



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

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

## **OPTICKÉ KABELÁŽE - SROVNÁNÍ**

FIBER OPTIC CABLING – A COMPARISON

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. VLASTA ZELINKOVÁ**

**VEDOUČÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**PROF. ING. MILOSLAV FILKA, CSC.**

BRNO 2012



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Telekomunikační a informační technika**

**Studentka:** Bc. Vlasta Zelinková

**ID:** 106277

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2011/2012

**NÁZEV TÉMATU:**

## Optické kabeláže - srovnání

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Analyzujte způsoby montáží a pokládek optických tras. Navrhněte projekt optické trasy s využitím odstaveného potrubního vedení TUV. Proveďte měření na takto realizované síti. Porovnejte výhody a nevýhody jednotlivých způsobů pokládek optických kabelů.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

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

**Termín zadání:** 6.2.2012

**Termín odevzdání:** 24.5.2012

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

**Konzultanti diplomové práce:**

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**

*Předseda oborové rady*

### UPOZORNĚNÍ:

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

## **ANOTACE**

Diplomová práce je zaměřena na analýzu způsobů montáží a pokládek optických tras. V první kapitole je proveden rozbor porovnání parametrů optické a metalické kabeláže, a to hlavně z pohledu přístupových sítí. Tato část práce specifikuje jednotlivá přenosová média a přístupové sítě, které jsou na nich provozované. Pozornost je soustředěna na přenosovou rychlost sítě, její možný dosah, poskytovanou kapacitu a další důležité hodnoty. Zmíněna je také náročnost údržby nebo servisu případných poruch na trasách těchto sítí. V druhé kapitole bylo vytvořeno několik návrhů sítí, které poskytují pohled na možná řešení při vzniku nových sítí a také při inovaci stávajících sítí, a to s využitím jak vedení a prvků optických, tak metalických, nebo i jejich kombinací. Uvedení informací z odborných a ověřených zdrojů směřuje celou práci k ujasnění budoucnosti a dalšího eventuálního rozvoje jednotlivých technologií. Nejvíce dalšího prostoru a potenciálu nabízí technologie optického charakteru, a proto je třetí kapitola již plně věnována pouze tomuto přenosovému médiu. V úvodu této kapitoly je prezentován teoretický rozbor možných způsobů pokládek optických kabeláží s porovnáním výhod a nevýhod. Nejstabilnější je podzemní montáž, ta je však ve standardních případech nákladná. V návaznosti na tento fakt se jako možné řešení nabízí podzemní montáž s využitím odstaveného potrubí TUV. Byla tedy navržena optická trasa a zrealizována pokládka optického kabelu. V závěrečné části práce jsou uvedena kontrolní měření a také vyhodnocení nákladů v porovnání s dalšími způsoby montáží optického kabelu.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Přístupové sítě, optické technologie, metalické technologie, přenosová rychlost, kabeláž, návrh, realizace, podzemní montáž, potrubí TUV.

## **ABSTRACT**

The thesis is focused on an analysis of mounting and cable laying fiber optic lines. The first chapter includes an analysis is made comparing parameters fiber and copper cabling, mainly in terms of access networks. This part specifies the various transmission media and access networks that are operated on them. Attention is focused on the transmission rate and its possible impact, provided the capacity and other important values. This section also demands site maintenance, service, or any failure on the routes of these networks. With this goal in the second chapter was created several designs networks that provide insight into possible solutions to the situation for emerging networks, and for upgrading existing networks, using both management and elements of optical and copper, or combinations thereof. Provide information from expert sources and verified directs the work of the future and to clarify further the eventual development of individual technologies. Most other space and offers the potential of optical technology, nature, and therefore the third chapter is fully devoted to only the transmission medium. At the beginning of this section is a theoretical analysis of possible ways of cable laying fiber optic cabling with a comparison of advantages and disadvantages. The most stable is an underground installation, which is costly in standard cases. As a result of these factors proved to be a possible solution using the underground installation of water pipeline shutdown. Therefore, the optical path designed, organized and implemented laying of fiber optic cable. By completing the inspection measurement and evaluation of the cost compared with other ways of installing fiber optic cable.

## **KEYWORDS**

The access network, optical technology, metallic technologies, data rate, wiring, design, implementation, installation, piping HOT.

ZELINKOVÁ, V. *Optické kabeláže – srovnání*. Brno: FEKT VUT v Brně 2012. Ústav telekomunikací, 2012. 76 s., přílohy 17 s. diplomová práce. Vedoucí práce: prof. Ing. Miloslav Filka, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Optické kabeláže - srovnání jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu práce prof. Ing. Miloslavu Filkovi, CSc. za cenné rady, metodickou, odbornou a trpělivou pomoc při zpracování diplomové práce.

# OBSAH

<b>Seznam obrázků</b>	<b>viii</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>ix</b>
<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Topologie a technologie sítí</b>	<b>3</b>
1.1 Sítě s optickou kabeláží .....	4
1.1.1 Optické vlákno .....	4
1.1.2 Optické přístupové sítě .....	7
1.2 Sítě s metalickou kabeláží.....	11
1.2.1 Charakteristika metalického vedení.....	12
1.2.2 Rozdělení metalických vedení .....	13
1.2.3 Představitelé symetrického metalického vedení.....	13
1.2.4 Kroucená dvojlínka.....	14
1.2.5 Metalické přístupové sítě kroucené dvojlínky.....	15
1.2.6 Strukturovaná kabeláž.....	19
1.2.7 Představitelé asymetrického vedení.....	23
1.2.8 Koaxiální vedení – koaxiální pár .....	24
1.2.9 Metalické přístupové sítě s koaxiálním kabelem.....	24
1.2.10 Další standardní představitelé metalického vedení.....	25
1.3 Hybridní sítě .....	26
1.3.1 Řešení kombinovaných hybridních kabelů.....	26
<b>2 Tvorba sítí</b>	<b>27</b>
2.1 Síť s optickou kabeláží.....	27
2.1.1 Síť s metalickou kabeláží.....	29
2.1.2 Síť hybridní.....	30
<b>3 Montáž optických tras</b>	<b>34</b>
3.1 Rozdělení způsobů montáže optických tras.....	34
3.2 Nadzemní vedení optických tras.....	34
3.2.1 Formy nadzemních montáží optických tras .....	35
3.2.2 Výhody a nevýhody nadzemních optických tras .....	35

3.3	Podzemní optické trasy .....	35
3.3.1	Formy a metody podzemních montáží optických tras .....	36
3.3.2	Výhody a nevýhody podzemních montáží optických tras .....	39
3.4	Realizace výstavby optické trasy .....	40
3.4.1	Předmět a charakter výstavby .....	40
3.4.2	Vstupní analýza výstavby .....	43
3.4.3	Vlastní realizace výstavby .....	44
3.4.4	Vyhodnocení realizace výstavby .....	53
<b>4</b>	<b>Závěr</b>	<b>56</b>
	<b>Literatura</b>	<b>57</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>59</b>
	<b>Seznam příloh</b>	<b>61</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1: Přístupová optická pasivní síť .....	28
Obr. 2.2: Přístupová optická aktivní síť .....	29
Obr. 2.3: Přístupová metalická síť .....	30
Obr. 2.4: Přístupová hybridní síť .....	31
Obr. 2.5: Přístupová hybridní síť .....	32
Obr. 3.1: Topologické schéma rozvodů pro dodávku ÚT a TUV .....	41
Obr. 3.2: Systém dodávky tepla: původní čtyřtrubní systém.....	42
Obr. 3.3: Systém dodávky tepla po přechodu na dvoutrubní systém .....	42
Obr. 3.4: První fáze - protahování pomocného lanka .....	46
Obr. 3.5: Detail střely v průřezu potrubí.....	47
Obr. 3.6: Druhá fáze - protahování optického kabelu.....	48
Obr. 3.7: Schéma vedení optických tras .....	51

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1: Přehled parametrů sítě xDSL [5].....	18
Tab. 1.2: Přehled parametrů sítě xDSL [5].....	19
Tab. 1.3: Přehled parametrů pro Ethernet.....	23
Tab. 3.1: Popis použitého zařízení.....	49
Tab. 3.2: Popis vlastních optických tras .....	50
Tab. 3.3: Výsledky kontrolního měření .....	52
Tab. 3.4: Cenový výpočet jednotlivých provedení optických tras .....	54

# ÚVOD

Komunikace byla, je a bude jedním z nejpodstatnějších jevů ve společnosti. K předání informací v dnešní době slouží celá řada nástrojů. V první řadě jde o docílení co největší rychlosti a kvality výsledných dat, v neposlední řadě také o ekonomickou stránku, jež doprovází každou takovou realizaci.

Ve světě informačních technologií existuje mnoho prostředí, která umožňují přenos dat. Pro valnou většinu je základem síť, v níž donedávna hrála hlavní úlohu struktura tvořená metalickou kabeláží. Ta byla postupně vytlačována kabeláží optickou, a to zejména díky vlastnostem optického vlákna. I když má každý z uvedených typů sítí svůj význam, je nepopíratelné, že síť tvořená optickými kabely nahrazuje ve většině případů síť s metalickou kabeláží. Stále jsou ale služby, které řeší technologie metalické, jako jsou např. xDSL, tzv. „Poslední míle“, některé z typů Ethernetu aj. Naproti tomu síť tvořená technologií optickou je ponejvíce realizována u dálkových přenosů, rozsáhlých metropolitních sítí, ale dnes již také v běžných strukturách sítí typu LAN, a to až ke koncovému uživateli, tedy i na zmíněné „Poslední míli“.

Tvorba sítí nebo jejich inovace by měla být založena na plánu, který obsahuje poznatky z měření uvedených technologií, tak aby bylo možné správně zvážit a vybrat řešení dané lokality. Protože dnes obě technologie mnohdy prolínají do sebe, je vhodné se zaměřit na jejich vlastnosti, srovnat možnosti a na základě těchto výsledků vytvořit přehled, jenž by uživateli poskytl možnost snadněji se rozhodnout při řešení konkrétní situace.

Vedle srovnání parametrů sítí metalických i optických je zde ještě další důležitý krok, a tím je samotné provedení prací, které se k takovému dílu váže. Jednou z nejrozsáhlejších prací je položení kabelu. Protože ve valné většině případů, jak už bylo předesláno, dochází k položení optického kabelu, bude další část věnována především této problematice. V uplynulých letech docházelo k výstavbě sítí či rozšíření stávajících sítí tak, jak to bylo možné v dané situaci, způsoby, které se momentálně nabízely. Je popsáno několik typů standardních provedení položení optického kabelu a většinu z nich doprovází další práce, bez nichž není možné je uskutečnit. Je proto namístě hledat řešení, jež dokáže využít stávající zdroje, které mohly v minulosti sloužit k úplně jiným účelům.

Jednu z možných alternativ by mohla nabídnout realizace popsaná v této práci. Hlavním pilířem se stává využití odstaveného potrubí TUV. To bylo možné uskutečnit v důsledku modernizace technologií ve sféře regulace a měření tepla a teplé vody. Díky uvedení domovních předávacích stanic a dalších společných prvků do praxe mohlo být potrubí TUV zredukováno. Bylo by neefektivní a zbytečné toto již nepotřebné potrubí odstraňovat z podzemí, navíc se ukázalo, že může mít další velmi prospěšné upotřebení, protože by se mohlo použít k montážím a pokládkám nejrůznějšího materiálu, u kterého je třeba zajistit ochranu a stabilitu. Nejenom tento důvod byl podnětem pro myšlenku využít odstaveného potrubí TUV pro pokládku optického kabelu.

Cílem diplomové práce je rozbor způsobů montáží a pokládek optických tras, popsání praktické výstavby optické sítě včetně vstupní analýzy, popisu, kontrol a zhodnocení. Nejprve je pozornost věnována vytvoření přehledu shrnujícího dlouhodobě známé a ověřené poznatky, následuje zdůvodnění výběru technologií dle aplikace a návrhy příslušných sítí včetně koncepce sítě hybridní, což v důsledku vede k úvaze o tom, které z prostředků zvolit při výstavbě či rekonstrukci a inovaci sítě. Po vyhodnocení výhod a nevýhod optické a metalické kabeláže je v dalším pokračování zastoupena pouze optická technologie, a to hlavně s přihlédnutím k jejím vlastnostem. Ve třetí části následuje samotný návrh optické trasy a její realizace. Hlavní důraz je kladen právě na využití odstaveného potrubí TUV. V závěru práce

je prezentováno kontrolní měření a také vyhodnocení nákladů ve srovnání s dalšími uvedenými metodami.

# 1 TOPOLOGIE A TECHNOLOGIE SÍTÍ

Problematika sítí je velmi rozsáhlá, a proto je tato práce zaměřena pouze na určité její dílčí části. Jednou z nich je rozdělení typů sítí dle použitých technologií. Právě použitá technologie je základem, z něhož se odvíjejí rozdílné topologie sítí. Primárně rozlišujeme mezi topologií fyzickou, logickou a signálovou. Fyzická topologie je vztažena k reálné části sítě, to znamená, že se jedná o použitý hardware, včetně instalovaných kabelů a všech zapojených zařízení. Fyzická topologie se dále dělí dle samotné konstrukce sítě. Logická topologie popisuje přenos dat v síti, tj. jakým způsobem jsou data modifikována při svém toku. Není podmínkou, aby logická topologie byla kopií topologie fyzické. Signálová topologie charakterizuje chování průchodu signálu sledováním způsobů skutečného propojení uzlů. V některých případech je tato topologie nesprávně zahrnuta do topologie logické [1, 6].

Jak již bylo řečeno, v případě fyzické topologie je sledováno sestavení sítě a podle toho, jakým způsobem byla síť vytvořena, můžeme odlišit mezi variantou z dvoubodových a ze sdílených spojů.

**Dvoubodový spoj** je propojení mezi dvěma koncovými body, jedná se o nejjednodušší provedení topologie, k nimž lze zařadit konstrukce druhu kruh, hvězda, strom.

- **Kruh** je takové spojení, v němž propojení v uzlu jedné stanice s dalšími dvěma tvoří kruh. Výsledkem je přenos jednoduchého bezkolizního charakteru, spojený v porovnání např. s hvězdicovou topologií s poměrně nízkými náklady. Nevýhodou je však nutnost průchodu dat všemi existujícími uzly mezi odesílatelem a příjemcem, což má za následek kolaps celé sítě při nefunkčnosti jediného uzlu z celkového počtu.
- **Hvězda** je nejpoužívanějším druhem propojení stanic v počítačové síti. Nejdůležitějším bodem je prvek, který má středový charakter, např. rozbočovač nebo přepínač, k němuž jsou připojeny všechny koncové body. U tohoto typu sítě je stavba nákladnější než v případě kruhové sítě. Vzhledem k tomu, že mezi středovým a koncovým zařízením existuje vždy pouze jen jediná cesta, je funkčnost sítě zachována i ve chvíli výpadku některého z uzlů. V okamžiku selhání středového prvku je nefunkční celá síť.
- **Strom** je způsob propojení stanic vhodný pro počítačové síť většího charakteru. Jsou zde již přítomny aktivní prvky, které tvoří podobně jako u sítě typu hvězda centrální bod sítě, avšak u této topologie jsou právě síťové aktivní prvky vzájemně propojeny. Při nefunkčnosti některého ze síťových prvků dojde ke zhroucení sítě, která spadá pod daný prvek, zbývající části celkové sítě jsou i nadále provozuschopné [1, 6].

**Vícebodový spoj** – kromě dvoubodových spojů existují i spoje sdílené, ke kterým patří stavebně topologie sběrnice, s centrálním vysílačem.

- **Sběrnice** představuje způsob propojení stanic, ve kterém přenos dat obstarává právě společné přenosové médium (sběrnice), které je sdíleno vícero prvky sítě. Tato konstrukce sice vyžaduje jen velmi nízké náklady, ale její nevýhodou je, že začnou-li při komunikaci dvě stanice vysílat ve stejný okamžik, dojde ke střetu. Tyto situace se dají ošetřit ochrannými postupy proti vzniku takových kolizí, které musí mít systémy předem nadefinované. S cílem předejít kolizím je také využíváno cest náhodného přístupu CSMA (Carrier Sense Multiple Access). Z uvedených důvodů je schůdné topologie typu sběrnice využívat pro spojení, která mají menší nebo dočasný charakter.

- **Hvězda** je rovněž typem topologie sítě sloužícím k realizaci vícebodových spojů. Stejně jako u spoje dvoubodového i v tomto případě tvoří základ hlavní (centrální) jednotka, přičemž se může jednat také o rozbočovač, prepínač nebo přístupový bod [1, 6].

## 1.1 Síť s optickou kabeláží

Základním stavebním prvkem je optické vlákno, které se vyrábí ze skla, nebo z plastu. Každý druh má své uplatnění, skleněné vlákno může být použito ve všech směrech a částech optických sítí, plastové vlákno má mnohem omezenější využití. Je to dáno vlastnostmi, které každou z výrobních surovin doprovázejí. Optická vlákna ze skla jsou díky čistotě zpracování stabilní a odolná proti přeslechům, šumu a elektromagnetickému rušení. Signály jsou přenášeny s minimální ztrátou, a proto jsou optická vlákna ze skla vhodná především pro přenos na velké vzdálenosti, neboť prokazují velmi malou úroveň útlumu. Lze je použít i na kratší vzdálenosti, ale je nutné vzít v úvahu přirozené vlastnosti skla, jako jsou jeho křehkost a snížená odolnost proti ohybům a dalším mechanickým vlivům, a proto je zde vhodné nahradit skleněná vlákna plastovými optickými vlákny, která mají i nižší pořizovací náklady [1, 3, 21].

### 1.1.1 Optické vlákno

#### a) Vlastnosti optických vláken

Optické vlákno je možné také nazývat světlovod nebo vlnovod, protože se v něm ve směru osy vlákna uskutečňuje šíření elektromagnetických vln (světla, infračerveného záření) a dochází zde k tzv. totálnímu odrazu na rozhraní dvou prostředí s rozdílným indexem lomu. Optické vlákno se skládá ze tří základních částí: jádra, jeho pláště a primární ochrany, kdy index lomu jádra musí být vyšší než index lomu pláště. Optické vlákno může mít různé velikosti průměrů jádra, způsobující rozdíl ve vstupu paprsku (vidu) a jeho dalším šíření. Rozlišujeme několik druhů optických vláken, majících specifické vlastnosti, které určují charakter jejich použití [1, 3, 20].

#### Index lomu

Index lomu vyjadřuje změnu rychlosti šíření světla, když prochází mezi různými prostředími, je to v podstatě podíl rychlosti světla ve vakuu a v jiném prostředí. Princip fungování optického vlákna je založen na jevu, který je nazýván totální reflexe. Tento jev nastává při průchodu světla z opticky hustšího do opticky řidšího prostředí za podmínky, že procházející světlo dosáhne rozhraní mezi těmito prostředími pod úhlem menším než kritickým. Velikost kritického úhlu je pak závislá na poměru indexu lomů, kdy index lomu skla je vyšší než vzduch, tzn. hustší. Hodnota indexu lomu jádra optického vlákna je poněkud vyšší než u jeho pláště, a to způsobuje záření, které je šířeno podél osy vlákna. Na základě vývoje indexu lomu jádra a pláště a také průměru samotného jádra optického vlákna se liší způsoby šíření optického signálu vláknem. Index lomu je bezrozměrná veličina, která je větší než 1 [1, 3, 20].

#### Totální odraz

Pro správné pochopení totálního odrazu je důležitý Schnellův zákon, ze kterého plyne, že při šíření záření z opticky řidšího do opticky hustšího prostředí se paprsky lámou směrem ke kolmici. Při šíření záření z opticky hustšího do opticky řidšího prostředí se paprsky lámou směrem od kolmice. Označením prostředí jako opticky hustšího a řidšího je míněno prostředí s vyšším nebo nižším indexem lomu.

Je-li prostředí hůře proniknutelné (tj. husté), pak světlo, které se v něm pohybuje a dopadá na rozhraní dvou prostředí pod šikmým úhlem, bude totálně odraženo.

Aby se optický signál vedl pouze ve vláknu, je využito tzv. totálního odrazu vycházejícího ze Snellova zákona lomu [1, 3, 20].

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2, \quad (1.1)$$

kde je:

$n_1$  index lomu prvního prostředí,  
 $\alpha_1$  úhel paprsku v prvním prostředí,  
 $n_2$  index lomu druhého prostředí,  
 $\alpha_2$  úhel paprsku v druhém prostředí.

## b) Parametry optických vláken

### Útlum

Útlum je jedním z parametrů, který nejvíce ovlivňuje optická vlákna. Útlum může být způsoben různými příčinami, jako je znečištění materiálu, ze kterého se optické vlákno vyrábí, vliv okolního prostředí (mechanické nebo teplotní působení), eventuálně špatně zvolené komponenty, ze kterých je optická síť tvořena. V důsledku těchto jevů nastanou ztráty, přičemž se může jednat o absorpci, vyzařování nebo rozptyl [1, 3, 20].

Základní rovnice pro výpočet útlumu:

$$A = \frac{P_{out}}{P_{in}}, \quad (1.2)$$

kde je:

$A$  útlum signálu,  
 $P_{out}$  výstupní úroveň signálu,  
 $P_{in}$  vstupní úroveň signálu.

Průběh útlumové charakteristiky na optickém vlákně je popsán tzv. přenosovými okny. Jsou to místa s nejnižším útlumem, která jsou pro daný typ světlovodu charakteristická.

Okno 1.: (850 nm) pro mnohavidové šíření. Vhodné pro kratší vzdálenosti.

Okno 2.: (1280–1335 nm) první plně dispoziční přenosové okno pro jednovidové šíření (vlákno o průměru 9/125  $\mu\text{m}$ ). Využitelné pro dálkové přenosy s hodnotou měrného útlumu do 0,35 dB/km-1.

Okno 3.: (1530–1565 nm) hodnota měrného útlumu 0,19–0,22 dB/km-1. Také využitelné pro dálkové přenosy, typicky transportní a globální sítě.

Okno 4.: (1565–1625 nm) obdoba okna třetího, hodnoty měrného útlumu jsou za minimum. Největší posun přinesl WDM (Wavelength Division Multiplexing) a optické zesilovače, umožňující při dálkovém přenosu a spojeném spektru oken 3. a 4. dosáhnout až dvojnásobné přenosové schopnosti.

Okno 5.: (1335–1530 nm) k jeho využití došlo až ke konci 90. let, protože nejprve bylo třeba dosáhnout při výrobě optického vlákna vyloučení příměsí OH, které byly také příčinou útlumu. Spojením oken 2. – 5. dochází k vytvoření plynulého přenosového kanálu s šířkou pásma

dosahující až 50 THz.

V dnešní době je při použití jednovidového vlákna přenos uskutečňován nejvíce prostřednictvím oken 2., 3., 4. a 5. [1, 6, 21].

### Disperze

Dalším velmi důležitým parametrem pro optické vlákno je disperze, přičemž podle jejího charakteru rozlišujeme různé druhy disperzí. Optické vlákno je disperzní prostředí, dochází v něm k rozptýlení – disperzi světla, což přináší negativa v podobě zkreslení přenášeného signálu. Disperze je popsána jako rozdíl šířky impulsu v polovině výšky na konci a na začátku vlákna.

#### Druhy disperze:

- vidová – příčina omezení šířky přenášeného pásma u mnohavidových vláken, kdy lze obecně říci, že různé vidy (paprsky) mají různé rychlosti šířením vláknem;
- chromatická – je tvořena disperzí materiálovou a vlnovodnou, kdy různé spektrální složky se šíří různou rychlostí;
- vlnovodná – má menší hodnoty než disperze vidová, způsobuje rozšiřování impulzů, které jsou přenášeny světlovodem [1, 20].

Výpočet normální disperze, vyjádřený pomocí Cauchyova disperzního vzorce[20]:

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \dots, \quad (1.3)$$

kde je:

$A, B, C$       materiálové konstanty,  
 $A$               vlnová délka.

### Numerická apertura (NA)

Numerická apertura popisuje, jakou má optické vlákno schopnost navázat z okolí do svého jádra optický výkon. Jedná se o bezrozměrnou veličinu. Dle toho jak NA roste nebo klesá, lze určit velikost schopnosti vlákna přijmout vstupní signál. NA způsobuje jednu z možných ztrát a to mezi dvěma vlákny, konkrétně mezi vláknem a zdrojem světelného toku, nebo se projevuje při konektorovém propojování optických vláken [1, 20].

Výpočet numerické apertury:

$$NA = n_0 \cdot \sin \alpha, \quad (1.4)$$

kde je:

$NA$       numerická apertura,  
 $n_0$       index lomu prostředí, ze kterého vstupuje paprsek do materiálu jádra,  
 $\alpha$       úhel, pod kterým paprsek dopadá na čelo materiálu jádra – vzhledem k optické ose.

### Nelineární jevy

Při WDM přenosu se ukázala skutečnost, že uvnitř vlákna existuje několik signálů na frekvencích, jež jsou velmi blízké, a proto na sebe vzájemně reagují, čímž dochází ke vzniku tzv. nelineárních jevů, kterých je nespočet. Jsou děleny buď dle své charakteristiky, která vychází ze tří-vlnného a čtyř-vlnného směšování, nebo nesou název podle toho, kdo je objevil a popsal. Princip všech nelineárních jevů vychází ze stejného základu, a to že

elektromagnetické pole je ovlivňováno hmotou, v níž se nachází, a tím vzniká systém, který sám na sebe působí [1, 20].

Nejznámější jsou popsány jako:

- Ramanův rozptyl,
- Brillouinův rozptyl,
- optický Kerrův jev.

c) Rozdělení optických vláken:

**Mnohovidové vlákno MM** (Multimode) – je vlákno nazývané také vícevidové, má průměr jádra větší než 15  $\mu\text{m}$  a přesnější hodnoty se odvíjejí od charakteru indexu lomu. Vlákno mnohovidové s konstantním indexem lomu a skokovou změnou indexu lomu pláště má průměr jádra/pláště 50–200/ 120–300  $\mu\text{m}$  a je využíváno především na malé vzdálenosti, např. lokální sítě či automatizační účely.

**Jednovidové vlákno SM** (Singlemode) – je vlákno, které má průměr jádra/pláště do 7–9/125  $\mu\text{m}$ . Index lomu jádra je konstantní a se skokovou změnou indexu lomu mezi jádrem a pláštěm. Jak vyplývá již z názvu, šíří se zde ve směru osy vlákna pouze jeden vid. Vlákna jednovidová se pro své vlastnosti, jako jsou malá disperze, velmi malý útlum a vysoká přenosová kapacita, používají především pro dálkové přenosy.

**Gradientní vlákno GI** (Graded Index) – je mnohovidové vlákno, v němž dochází k proměnné, lépe řečeno plynulé (gradientní) změně indexu lomu v příčném řezu vlákna. Díky tomu, že průběh světelného paprsku má tvar sinusové křivky, dochází ke snížení vidové disperze, její eliminace pak přináší úbytek zkreslení, kdy ve výsledku jednotlivé vidy dorazí na konec vlákna téměř ve stejném časovém momentu. Vlákno má průměr jádra 50/125  $\mu\text{m}$  a je nasazováno většinou v datových sítích, opět na kratší vzdálenosti.

Optický přenos lze uskutečnit nejen po optickém vlákně, ale také i přenosem volným prostorem – atmosférou, kde hlavní úlohu mají optické směrové (laserové) spoje. Řešení přenosu po optickém vlákně je však jednoznačně upřednostňováno především u velkých tras a vysokých rychlostí, ty se pohybují v řádech stovek Mbit/s či jednotek Gbit/s. Zmíněné dva způsoby je možné využít při tvoření optických přístupových sítí OAN (Optical Access Network), a tím zajistit potřebnou šířku pásma pro koncového uživatele, který má stále větší požadavky, a to hlavně na rychlost přenosu [1, 3].

### 1.1.2 Optické přístupové sítě

V dřívějších dobách byly optické technologie využívány zejména pro páteřní sítě. Dnes jsou již běžně aplikovány do sítí přístupových až ke koncovému uživateli a jsou mnohdy realizovány i v tzv. „poslední míli“ [1, 7].

Způsob přenosu signálu

Stejně jako u každé sítě jsou i zde charakterizovány architektury, které ukazují způsob přenosu:

- **PP** (Point-to-point) – spojení bod–bod, tedy přímé spojení, kde je pro uživatele vyhrazeno optické vlákno, jehož šířka pásma není sdílána dalšími uživateli. Pro připojení více uživatelů do jednoho uzlu je vhodné provést rozdělení území do částí, ve kterých je určený počet klientů, a teprve tyto části pak připojovat metodou bod–bod. To ovšem bude zvyšovat náklady vzhledem k počtu uživatelů, a tím i síťových prostředků.
- **PMP** (Point-to-Multipoint) – spojení bod – více bodů, toto řešení poskytuje více účastníkům sdílenou šířku pásma jednoho optického vlákna. Tím dochází k možnosti snížení počtu vláken v uzlu a ve výsledku tedy i ke snížení nákladů. Šířka pásma může

být sdílána až do té míry, dokud bude dostačovat kapacita samotného vlákna [1, 4, 11].

#### a) Druhy optických přístupových sítí dle jejich zakončení

Optické přístupové sítě jsou dále rozlišovány na základě dalšího parametru, a to je způsob zakončení optického vlákna a umístění zakončovací jednotky ONU (Optical Network Unit) v síti. Tato skupina je vedena pod označením FTTx (Fibre to the x), kdy poslední písmeno je nahrazeno tím, které naznačuje typ optické přístupové sítě OAN:

- **FTTEx** (Fibre to the Exchange) – optické vlákno je vedeno do prostor telefonní ústředny, kde je zakončeno a kde je také umístěn účastnický multiplexer DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer). Účastníci jsou dále připojeni pomocí metalického vedení a přípojek typu ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line), SHDSL (Single pair High speed Digital Subscriber Line) atd.
- **FTTC** (Fibre to the Curb) – optické vlákno je vedeno až k účastnickému rozvaděči. Z rozvaděče ke koncovým bodům sítě vede metalická kabeláž.
- **FTTB** (Fibre to the Building) – optické vlákno je vedeno až do staveb koncových uživatelů a ti jsou připojeni lokálním účastnickým rozvodem.
- **FTTO** (Fibre to the Office) – optické vlákno je vedeno až do koncových stanic, tj. až na rozhraní firemní LAN sítě.
- **FTTH** (Fibre to the Home) – optické vlákno je vedeno až ke koncovému uživateli, tj. až do zásuvky účastníka.
- **FTTCab** (Fibre to the Cabinet) – optické vlákno je vedeno až do místa koncového uživatele, který zpravidla mívá vysoké nároky na kvalitu úrovně a rychlosti přenosu.

Výčet přístupových sítí typu FTTx není z daleka konečný, ale v praxi se nejčastěji vyskytují výše popsané druhy [1, 6, 8].

#### b) Rozdělení optických přístupových sítí

Na celkové kompozici přístupové sítě, tedy i na způsobu přenosu, se podílí hlavně volba optických síťových prvků. Ty mohou být aktivní nebo pasivní, a to právě ovlivňuje výslednou podobu přístupové sítě:

- **AON** (Active Optical Network) – je aktivní optická síť. Právě tento typ sítě přednostně využívá řešení plně obousměrného provozu na vyhrazeném jednotlivém kanálu pro každého uživatele, tedy způsob spojení a přenosu bod–bod, a proto se výsledná síť často nazývá úplně stejně. Dalším podstatným bodem je maximální vzdálenost od CO (Central Office), pro AON je to zhruba 80 km, přičemž je nutno vzít v úvahu počet koncových uživatelů. Jak napovídá název sítě, jsou na trase použity aktivní prvky s možností správy a žádné pasivní síťové prvky.
- **PON** (Passive Optical Network) – je pasivní optická síť, která je podobná síti aktivní, ale ve srovnání s ní vykazuje několik zásadních rozdílů. V tomto případě se jedná o síť sdílenou, proto se i tady dá použít stejné označení jako pro tento způsob spojení a přenosu, tj. bod – více bodů. Na trase této sítě jsou použity pasivní síťové prostředky bez možnosti správy a bez nutnosti napájení. Maximální hranice vzdálenosti mezi koncovými uživateli, kteří sdílejí přenosovou kapacitu vlákna, je zhruba 10–20 km [1, 7, 12].

Pro optické přístupové sítě jsou základními stavebními celky:

- **OLT** (Optical Line Termination) – optické linkové zakončení, které je nezbytné pro podporu funkčnosti síťového rozhraní mezi sítí telekomunikačních služeb a přístupovou sítí. Zajišťuje funkčnost sítě, vycházející z modelu ISO/OSI

(International Organization for Standardization / Open Systems Interconnection), konkrétně z vrstev první (fyzické), druhé (spojové) a třetí (síťové). Jeho význam spočívá především v multiplexování/demultiplexování signálu, který je přenášen po optickém vlákně.

- **ONU** (Optical Network Unit) – optická zakončovací jednotka, která je nutná pro převod signálu ze strany přístupové sítě pro koncového zákazníka (lokální síť).
- **ONT** (Optical Network Terminal) – optický síťový zakončovač je specifický druh ONU, který obstarává služby pro jednoho zákazníka.
- **ODN** (Optical Distribution Network) – je optická distribuční síť, která zahrnuje všechny přenosové nástroje (síťové prvky, opt. vlákna) mezi síťovými zakončeními, tedy jednotkami OLT a ONU.
- **OTL** (Optical Trunk Line) – jedná se o část v optické přístupové síti, která je první částí ve směru od jednotky OLT, přičemž přívodem je jedno optické vlákno, zvané feeder cable. Za OTL následuje umístění mezilehlého optického zesilovače, či generátoru signálu, a na něj dále navazuje ODN.
- **Splitter** – optický rozbočovač, který není napájen a řeší sdílení přenosové šířky jednoho optického vlákna více uživateli. Jedná se o typického představitele prvku pasivní optické přístupové sítě. Nevýhodou je, že přítomnost každého rozbočovače má za následek zvýšení vloženého útlumu na trase [1, 7, 12].

#### c) Rozdělení pasivních optických přístupových sítí

Pasivní optické sítě lze dále rozdělit podle použité technologie, přenosových rychlostí a šíře přenosového pásma:

- **APON** (ATM Based PON) – vymezení G.983.1 dle schválení organizací ITU-T v roce 1998. Jde o pasivní optickou síť, v níž je nosným prvkem buňka ATM (Asynchronous Transfer Mode). Zahrnutý jsou dvě služby: asymetrická a symetrická. U asymetrické služby je rozdíl v přenosových rychlostech mezi downstreamem a upstreamem [1, 7, 12].
- **BPON** (Broadband PON) – vymezení G.983.3 je rozšířením standardu G.983.1, přenosové rychlosti jsou stejné. Je zde využito dvou optických vláken, a pokud je použito jen jedno vlákno, tak obousměrnou komunikaci zajišťuje vlnové dělení [1, 7, 12].
- **GPON** (Gigabit Capable PON) – vymezení G.984.1 dle schválení organizací ITU-T v roce 2003, výchozí bylo vymezení G.983.X, nejvíce však G.983.1, a to z hlediska rychlosti při dodržení širokopásmového přístupu. Kromě ATM buňky je zde také použit způsob přenosu GEM (GPON Encapsulation Method), u něhož se na rozdíl od ATM prostřednictvím GEM přenášejí GPON rámce, které mají proměnlivou délku. Přenos všech uvedených částí – ATM, GEM či jejich částí – je uskutečňován v rámci s pevně danou délkou 125  $\mu$ s. Díky tomu je možné použití služeb Ethernet nebo IP protokol. Pro přenosové rychlosti lze uvést, že jsou opět ve dvou obměnách, a to v asymetrické a symetrické podobě, přičemž u asymetrických je rozdíl mezi downstreamem a upstreamem [1, 10].
- **RE GPON** (Reach Extended GPON) – je vymezení G.984.6 z roku 2008 a G.984.7 z roku 2010. Jedná se o síť GPON s prodlouženým dosahem a jde především o vložení či rozšíření útlumových tříd. Specifikace G.984.6 je se svými požadavky na řešení na fyzické vrstvě, specifikace G.984.7 modifikuje u koncových jednotek protokolové přenosové kapacity. Uplatnění nachází především tam, kde je nutné pokrytí území větší rozlohy, nebo kde se koncoví uživatelé nacházejí vzájemně ve větší vzdálenosti od sebe.

V současnosti jsou pro tuto variantu v komerční sféře prakticky používány optické zesilovače či optické regenerátory OEO (opticko-elektricko-optické), které jsou i celkově určeny pro síť typu GPON [1, 10].

- **EPON** (Ethernet Based PON) – tato specifikace byla zavedena do provozu přijetím standardu IEEE 802.3ah organizací IEEE, což přivedlo Ethernet k uživateli, a tím došlo i k snadnějšímu navazování lokálních sítí. U přenosu v obou směrech je využito rámců s pevnou délkou 2 ms. Síť je navržena na mnohabodové řešení a se sdíleným přenosovým médiem. Modifikovat lze i přenos bod–bod. Standardem IEEE 802.3a jsou definována dvě definovaná rozhraní: 1000 Base-PX 10 (Base Post Exchange) je stanoveno pro použití na vzdálenosti do 10 km, 1000 Base-PX 20 do 20 km. U obou je vzato v úvahu maximální rozbočení. Přenos je symetrický [1, 14, 15].
- **GEPON** (Gigabit Ethernet PON) – je pasivní optická síť, která vychází ze sítě typu EPON a je tedy plně v souladu se standardem IEEE 802.3ah. Tyto sítě mohou poskytovat služby QoS (Quality of Service) a přenosová rychlost dosahuje až 1,25 Gbit/s. Velmi často jsou nasazovány při řešení sítí FTTH [1, 14, 15].
- **10GEPON** (10 Gigabit Ethernet PON) – je standard dle IEEE 802.3a pro 10 Gbit/s pasivní optickou přístupovou síť. Tento typ přístupové sítě vznikl díky velké oblibě sítí EPON/GEPON, u kterých byly kladeny stále větší nároky na rychlost přenosu a zajištění kvality služeb. Proto je kompatibilní s předešlým standardem 802.3ah-EPON a zároveň s následujícími WDM-PON technologiemi. Tato skutečnost umožňuje nejen plynulý přechod na nové specifikace, ale také lze využít již vybudované sítě, což vede k návratnosti určitých procent nákladů. Provoz je možný v symetrickém i asymetrickém režimu [1, 10, 13].

#### d) Způsoby přenosu signálu v optických sítích

Přístupové sítě zajišťují především přenos signálu v duplexním režimu. Ten lze poskytnout několika způsoby, které v podstatě umožní zvýšení přenosové rychlosti, a to díky efektivnějšímu využití přenosové kapacity optického vlákna:

- **SDM** (Space Division Multiplex) – simplexně s dělením, tzn., že přenos signálu probíhá po vždy po jednom optickém vlákne v každém směru.
- **WDM** (Wavelength Division Multiplex) – duplexně s vlnovým dělením, tzn., že přenos signálu se děje po jednom optickém vlákne, kdy používá pro sestupný směr (downstream) vlnovou délku 1550 nm a pro vzestupný směr (upstream) vlnovou délku 1310 nm. Někdy se používá označení FDM (Frequency Division Multiplex).
- **WWDM** (Wide WDM) – přenos probíhá na čtyřech vlnových délkách pro MM vlákna v oblastech 850, 1300 a 1310 nm a pro SM vlákna v oblastech 1300 a 1310 nm. V současnosti nasazován převážně již v lokálních sítích.
- **DWDM** (Dense WDM) – charakteristický minimálními odstupy mezi jednotlivými kanály, a to umožňuje pracovat až s desítkami vlnových délek, proto je tento typ multiplexu nasazován i v páteřních sítích. Na základě doporučení ITU T G.694.1 DWDM frequency grid je specifikován přenos v jednotlivých kanálech v oblastech vlnových délek 1490–1620 nm (pásmo S, C, L). Pro dosažení popsáných výsledků je třeba dalších optických komponentů v podobě zesilovače EDFA, kompenzátorů disperze aj.
- **CWDM** (Coarse WDM) – je varianta odvozena od DWDM, ale s širšími rozestupy mezi kanály, které činí 8 nm pro vlnovou délku 1550 nm. Jedná se v podstatě o levnější variantu DWDM, specifikovanou doporučením ITU-T G.694.2, a proto mohou být použity jako zdroje záření laserové diody bez nároku na chlazení. Jednotlivé vlnové délky této technologie jsou popsány v oblastech 1270–1610 nm se vzájemným odstupem 20 nm [1, 3, 15].

## e) Výhody a nevýhody optických přístupových sítí

### Výhody

Optické technologie jsou na velmi vysoké úrovni kvality. Uživatelům dokážou nabídnout takovou šířku pásma, která je v danou chvíli potřebná. Kombinací správných prvků, kabeláže i optických celků vznikají sítě, jež poskytují širokou škálu služeb, jsou stabilní a vzhledem k vysoké životnosti mají i dobrou návratnost investice. K dalším přednostem optického vlákna coby dielektrika patří jeho odolnost proti rušení elektromagnetickým polem, vůči odposlechům a celkově je jako přenosové médium vysoce stabilní. Oproti jiným technologiím má mnohem nižší váhu, která sama o sobě vyplývá již z možného použití menších průměrů vláken, a to i v sítích na velké vzdálenosti. Nutno zmínit také bezpečnost provozu optických sítí: jsou nejen snadno udržovatelné, ale také bezpečné, co se týká rizikových míst, protože optické vlákno nebude podnětem k vyvolání jiskry. Pro určená místa jsou také vyráběna s nehořlavou úpravou, kdy se na tvorbě nepodílí nebezpečné plyny. V neposlední řadě je třeba připisat k výčtu kladů také mechanickou i chemickou odolnost optického kabelu, jeho správný výběr s přihlédnutím k lokalitě umožní vytvoření spolehlivě fungující sítě. Co se týká dosažitelnosti vzdáleností pro přenos, nejsou problémem malé ani velké vzdálenosti. Závěrem ještě zbývá dodat, že v současnosti přispívá ke kladnému hodnocení optických technologií i jejich stále dostupnější cena.

### Nevýhody

Optické technologie mají velmi málo nevýhod a problémy, které optické sítě doprovázely v minulosti, se daří postupem času odstraňovat. Jejich obrovskou devizou je neustále klesající cena, která zpřístupňuje tyto technologie stále širší veřejnosti, přesto jsou stále pořizovací náklady vyšší než u metalických technologií. Dále nelze opomenout, že ve srovnání s metalickým vedením je pro optická vlákna i v dnešní době charakteristický určitý stupeň křehkosti, který se sice daří stále snižovat, ale je s ním nutno počítat při instalaci, zvláště pak v domovních rozvodech. Mimo uvedených nevýhod je třeba podotknout, že pokud jde o instalaci, zakončení či napojení optiky, diagnostiku stavů nebo parametrů sítě, jsou tyto otázky i v současnosti stále ještě složitější u optické kabeláže než u metalické.

Ukazuje se, že rezervy optických technologií ještě zdaleka nejsou vyčerpány a že i nadále rozhodně budou v komunikacích hrát velmi důležitou úlohu.

## 1.2 Sítě s metalickou kabeláží

Pro sítě s metalickým vedením je výchozím stavebním prvkem drátový vodič – telekomunikační vedení, to bylo dlouhou dobu využíváno pro přenos hovorového (nizkofrekvenčního) signálu v pásmu 300–3400 Hz (jedná se o klasický telefon). Avšak co se týká šířky pásma přenášeného signálu, jsou jeho možnosti daleko širší. To se také ukazovalo s vývojem telefonních přístrojů, kdy bylo potřeba přenášet více hovorů po jednom telefonním kanále [2].

Ke slovu přišly analogové modemy, které však dosahovaly nízkých přenosových hodnot (56 kbit/s) a také neumožňovaly přenos dat a uskutečnění telefonního hovoru zároveň. Sítě s metalickou kabeláží mají ve světě telekomunikací stále své místo. Nejrozšířenější skupinou v této oblasti jsou technologie s jednotným označením xDSL (Digital Subscriber Line), přinášející efektivní vysokorychlostní datový přenos, a to hlavně v oblastech, kde není k dispozici pevná datová síť (LAN – Local Area Network, WAN – Wide Area Network), připojení kabelové televize či chybí právě standardní telefonní přípojka. Dále jsou součástí tzv. hybridních sítí, ale ty budou podrobněji popsány v další samostatné kapitole. Pokud jde o metalické přístupové sítě, můžeme se setkat s několika nejběžněji užívanými typy. Jako první bude zmíněna kroucená dvoulinka, neboli také kroucený pár (nazýván také twisted pair,

zkráceně pak „twist“), která je využívána v telekomunikacích a počítačových sítích. Charakteristickým znakem tohoto vedení je pravidelné kroucení vodičů, následně i těchto párů, což vede k dosažení lepších elektrických vlastností kabelu, snížení přeslechů a omezení vyzařování elektromagnetického záření do okolí i jeho příjmu z něj. Řadí se mezi tzv. symetrická vedení a nejčastěji je kroucený pár volen pro tvorbu dvoubodových spojů. Na tomto vedení však nelze tvořit odbočky a existuje zde omezení dosahu vzdálenosti. Lze uvést příklad řešení Ethernet/LAN, kde je maximální vzdálenost 100 m. Pro způsob provedení xDSL je to podstatně více, např. pro ADSL 5 km [2,18, 22].

To jsou také jedny z největších rozdílů mezi krouceným párem a koaxiálním kabelem, který je další velmi často používanou přístupovou metalickou technologií, a to i v současné době. Díky tomu, že je koaxiální kabel rozdělen na vnější a vnitřní vodič, je jeho typickou vlastností přenášení stejnosměrného proudu, odrušení či stínění nízkofrekvenčních signálů. Nejčastější využití je při přenosu elektromagnetického vlnění s vysokým kmitočtem (cca do 50 GHz), šířeného v koaxiálním kabelu obdobným způsobem jako zmíněný stejnosměrný proud. V praxi se s koaxiálním kabelem lze nejčastěji setkat při napájení vysílacích nebo přijímacích antén, u svodů od TV antény, v oblasti přístupových sítí pak v TV rozvodech nebo u kabelové TV, u počítačové sítě a telefonie [2, 21, 26].

### 1.2.1 Charakteristika metalického vedení

Obecně vzato lze říci, že se dá pokládat za vedení označované jako homogenní se stejnoměrným rozložením elektrických parametrů, tedy ve všech svých částech má stejné elektrické vlastnosti. Stejně jako u optických sítí i zde existuje rozdělení dle charakteristických vlastností. V první řadě je třeba uvést, na základě jakých hodnot je vedení charakterizováno.

Primární parametry vedení:

Měrný odpor  $R$  [ $\Omega/\text{km}$ ]

Měrná indukčnost  $L$  [ $\text{mH}/\text{km}$ ]

Měrná kapacita  $C$  [ $\text{nF}/\text{km}$ ]

Měrný svod  $G$  [ $\mu\text{S}/\text{km}$ ]

Uvedené hodnoty jsou konstantní, jedná-li se o určený typ vedení a frekvenci [2,21].

Sekundární parametry vedení:

Charakteristická (vlnová) impedance –  $Z_c$

Je dána poměrem napětí a proudu. V libovolné části homogenního vedení je konstantní a je vyjádřena v komplexním tvaru jako  $Z_c$ .

$$Z_c = \frac{U}{I} = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = |Z_c| \cdot e^{j\phi_c},$$

(1.5)

kde je:

$|Z_c|$  modul  $Z_c$ ,

$e^{j\phi_c}$  argument  $Z_c$ .

$|Z_c|$  v každém bodě homogenního vedení vyjadřuje poměr velikosti napěťové a proudové vlny.

$\phi_c$  v každé části homogenního vedení vyjadřuje rozdíl mezi fází napěťové a proudové vlny [2, 21].

Měrná vlnová míra přenosu –  $\gamma$ : jedná se o relativní změnu napětí a proudu v libovolné části vedení, vztažená na jednotkovou délku je konstantní.

$$\gamma = \frac{\Delta U}{U \cdot \Delta x} = \frac{\Delta I}{I \cdot \Delta x} = \sqrt{(R + j\omega L)(G + j\omega C)} = \alpha + j\beta, \quad (1.6)$$

kde je:

- $\alpha$  měrný útlum [dB/km],
- $j\beta$  měrný fázový posun [rad/km].

$\beta$  – vyjadřuje hodnotu zpoždění fáze šířící se vlny vztažené k jednotce délky.

Hodnota rychlosti šířící se fáze postupující harmonické vlny je dána fázovou rychlostí šíření  $v_f$  [km/s] [2, 21].

## 1.2.2 Rozdělení metalických vedení

Metalická telekomunikační vedení se dle svého umístění dělí na:

- úložná – jedná se o vedení zemní, která jsou uložena v zemi (cca 80 cm pod povrchem země), zde bývají uložena do tzv. kynety, což je jakási písková forma v kabelovém úložišti, nebo se jedná o vedení místní, což bývá domovní instalace. Tato vedení jsou chráněna proti klimatickým vlivům a v případě krouceného vodiče také částečně i proti elmag. rušení.
- závěsná nebo nadzemní vedení – tato vedení nejsou chráněna proti klimatickým vlivům, nebo jen v nízkém procentu. Vedení jsou dost často zavěšována na podpěry různého charakteru – kolektory či tunely metra aj. [5, 18].

Metalická telekomunikační vedení se dále dle svých konstrukcí dělí na:

- symetrická vedení – symetrický pár
  - dvojice spirálově stočených vodičů
  - dvojice paralelních vodičů zavěšených na izolátorech
- asymetrická vedení – asymetrický pár
  - sousedé vodiče

## 1.2.3 Představitelé symetrického metalického vedení

Tato vedení jsou tvořena párem paralelních vodičů. Jejich název se odvíjí od skutečnosti, že jejich impedance je vůči zemi shodná – symetrická. Vodič má měděné jádro s průměry 0,4–0,9 mm a izolaci, která vyráběna z polyetyleny PE, PVC nebo z papíru. Jádro s izolací tvoří tzv. žílu. Výsledný kabelový prvek vznikne tak, že je několik takových žil stočeno a dle délky skrutu je pak rozlišováno několik typů. Prvním typem je křížová čtyřka X, kde se jedná o čtyři žíly stočené se stejnou délkou skrutu. Rozříznutím kabelu křížové čtyřky vznikne obraz kříže. Druhým typem je DM (Dieselhorst-Martin) čtyřka, kde jsou dvě žíly stočeny v pár s určitou délkou skrutu L1 a další dvě žíly v pár s jinou délkou skrutu L2 a oba tyto páry jsou stočeny opět s jinou délkou skrutu L3. Kabelové prvky, které jsou stáčeny do párů nebo do čtyřek, tvoří kabelovou duši. Stáčení může být buď koncentrické, kdy se prvky stáčí v protisměrných vrstvách, nebo skupinové, kdy jedna skupina je nejčastěji tvořena 25, 50, 100 páry. Mohou být také vytvářeny skupiny pro digitální systémy, které jsou stíněné – např. po 7 párech. Kabelová duše je chráněna pláštěm, který je nejčastěji olovený či hliníkový, a proti vlhkosti je použit bitumen nebo plast [2, 19, 21, 26].

a) Vlastnosti a použití symetrického vedení:

Symetrické vedení je využíváno v několika oblastech, a to jako signální, místní telefonní kabely a dálkové telefonní kabely.

Pro kabely symetrického vedení je velmi důležité jejich značení, kde je třeba znát posloupnost jednotlivých písmen, která vždy zastupují danou sledovanou skupinu. Dle tohoto označení je možné se dozvědět o vedení všechny potřebné informace.

Např. TCEKEZE 50P 0,5 – sdělovací kabel místní (TK), s měděnými jádry (C), PE (polyetylen) izolací jader (E), pláštěm z PE (E), pancířem z hliníkových drátů (Z) a ochranným obalem PE (E), s 50 páry (50p) a jmenovitým průměrem jader 0,5 mm [2, 21].

### 1.2.4 Kroucená dvojlínka

Název pro symetrické vedení, jinak také nazývané jako kroucené či zkroucené páry, se odvozuje od anglického výrazu „twisted pair“. Pravidelným zkroucením vodičů je výrazně ovlivněno jejich chování. Je známým faktem, že pokud je prostřednictvím souběžně vedoucích vodičů přenášen střídavý signál, vyzařují pak tyto vodiče elektromagnetické vlny do svého okolí, kdy se lze setkat s efektem tzv. „vyzařující antény“. Nutno brát ohled na další vlivy, jako jsou frekvence signálu či samotné provedení vodičů.

Jak již bylo řečeno, už pravidelným kroucením je podstatně sníženo možné vyzařování elektromagnetických vln. Rozlišujeme dva základní typy kroucené dvojlínky, umožňující docílení ještě lepšího výsledku [2, 21]:

- **STP** kabel (Shielded Twisted Pair) – jedná se o stíněný pár, který vychází ze standardu EIA/TIA (Electronics Industries Association / Telecommunications Industry Association) 568, TSB 36 a 40. Provedení je pro dvou párový STP kabel s impedancí 150  $\Omega$ , poskytující díky svým vlastnostem velmi spolehlivý základ pro síť. Dva hlavní vodiče v tomto provedení mají vodivý obal, který však neslouží k přenosu užitečného signálu, ale k lepšímu odrušení – odstínění vodičů od vlivů vnějšího okolí.
- **UTP** kabel (Unshielded Twisted pair) – nestíněná kroucená dvojlínka, která je nejen finančně, ale také instalačně méně náročná než STP. Proto je také UTP více používána. Lze říci, že čím delší kabel bude, tím větší bude i útlum, a je-li útlum vysoký, může být pro přijímač problém přijatá data správně dekodovat. Mezi páry je hodnota – charakteristický přeslech (pair-to-pair crosstalk) – na jednom páru je signál ovlivňován jinými sousedními páry. Hodnota míry ovlivnění signálu na jednom páru vodičů, které způsobily signály na všech zbývajících párech daného kabelu, jde o vícenásobný koncový přeslech (Multiple Distuber Far-End Crosstalk). Koncový proto, že je měřen na konci kabelu při použití zdroje rušení signálu u čtyřech párových kabelů.

Kabely obou typů z důvodu omezení přeslechů na vysokých kmitočtech většinou obsahují čtyři páry s délkou skrutu menší, než bývá obvyklé pro telefonní přípojky. Izolace párů bývá z polyetylenu PE pro docílení menší měrné kapacity a tím i menšího útlumu, než by tomu bylo při použití polyvinylchloridu PVC [2, 21, 26].

a) Parametry kabelů kroucené dvojlínky

Výsledkem působení vnějších vlivů jsou hodnoty, které určitým způsobem ovlivňují přenášený signál.

- Útlum – výsledná hodnota útlumu (decibely dB) se odvíjí od délky vedení a kvality použitých prvků. Obecně řečeno, čím větší délka vedení a vyšší frekvence, tím vyšší hodnota útlumu může být.
- Impedance – je jednou z hlavních příčin útlumu, a to jak impedance přenosového média, tak nekvalitních konektorů.
- Přeslech – je další ze zdrojů rušení, který může snižovat propustnost symetrického

vedení. Jsou popsány dva typy přeslechů:

- NEXE přeslech na blízkém konci (Near End Cross Talk) – vzniká přenosem signálů z vysílače na ostatní páry ve stejném kabelu s více páry přes induktivní a kapacitní vazby na vstup přijímače na stejném konci vedení.
- FEXT přeslech na vzdáleném konci (Far End Cross Talk) – vzniká tak, že signály z vysílače na jiných párech ve stejném kabelu procházejí na vstup přijímače na opačném konci vedení [2, 21, 22, 26].

#### b) Jednotlivé typy kroucené dvojlinky

- **Místní telefonní kabely** – při použití papírové nebo plastové izolace jsou používány pro přenos hovorových signálů. Kabelové prvky tvoří páry nebo čtyřky stáčené buď do vrstev, nebo skupin (kabely UNIT). Průměr žil je 0,4–0,8 mm a jejich počet v kabelu se pohybuje od 4 do 2 400. Symetrické vedení pro vnitřní instalace: první skupina FTP (Foiled Twisted Pair), STP (Shielded Twisted Pair) a další kombinace předchozích, druhá skupina UTP (Unshielded Twisted Pair). Strukturovaná kabeláž, což je specifické provedení kabeláže pro LAN sítě, je rozdělena do několika kategorií – kategorie 5e (CAT5e – do 100 MHz), kategorie 6 (CAT6 – do 250 MHz), kategorie 6A (CAT6 – do 500 MHz) a kategorie 7 (CAT7 – do 600 MHz).
- **Dálkové telefonní kabely** – mají použití buď pro nízkofrekvenční provoz (DM čtyřka), nebo vysokofrekvenční provoz (křížová čtyřka).
- **Signální kabely** – při použití gumové, plastové, či papírové izolace jsou používány k přenosu signálu pro účely telemetrie nebo dálkové správy. Kabelové prvky tvoří buď samotné žíly, nebo křížové čtyřky. Mezi žilami s průměrem 1–1,2 mm je provozní napětí 360 V.

V přístupových sítích, v nichž jsou použity digitální přípojky technologií xDSL, jsou většinou právě symetrická vedení [2, 21, 26].

### 1.2.5 Metalické přístupové sítě kroucené dvojlinky

#### a) Síť typu xDSL

Přístupové sítě v dnešní době stále více prostupuje optická technologie, což je důsledek její stále větší cenové dostupnosti. Přesto však ještě stále zauímají podstatné místo sítě typu xDSL.

Do nástupu xDSL byla celosvětově nejrozšířenější telefonní vedení, a proto bylo také usilováno o jejich využití ve smyslu nasazování novějších technologií.

Prvním úspěšným bodem bylo uvedení do provozu ISDN (Integrated Services Digital Network), kde se jedná o umožnění přenosu telefonních hovorů, dat a faxových služeb s rozšířením pro přenos širokopásmových služeb B-ISDN (Broadband – ISDN), to vše prostřednictvím tzv. integrovaných digitálních služeb. Jako další přicházejí přenosy s využitím nových modulačních technik – CAP/QAM (Carrierless Amplitude Phase Modulation/Quadrature Amplitude Modulation), DMT (Discrete Multitone) aj., které umožňují stálý přístup a jedná se o nové širokopásmové služby a o rozšíření o možnost provozu datových služeb POTS (Plain Old Telephone Service). Provozovány jsou na standardních účastnických vedeních se značením xDSL [2, 5, 18, 27].

Jako první byla využívána asymetrická řešení typu xDSL, ve kterých je ve směru k uživateli poskytnuta vyšší kapacita než v opačném směru, jak je později charakterizováno jednotlivě pro každý způsob zvlášť. Je to z důvodu využití (např. práce s internetem), kdy uživatel je tou stranou, která více odebírá a méně nabízí (downstream), než na straně internetu, který více nabízí, než přijímá (upstream). Pak ale přicházejí nové aplikace jako videokonference, web-hosting, sdílení aplikací a způsob práce peer-to-peer, které si žádají, aby kapacita byla na obou

stranách pokud možno vyrovnaná, a proto se stále více rozšiřuje provoz xDSL symetrický [5, 18].

Rozdělení skupiny xDSL dle technického řešení, modulací, maximálních vzdáleností účastníků od ústředny, přenosových rychlostí a také vhodně vybraného prostředí je následující:

#### b) Asymetrické xDSL

- **ADSL** (Asymmetric Digital Subscriber Line) – technologie provozována na účastnickém vedení s dosahem až 6 km. Přenosová rychlost dosahuje maxima 8 Mbit/s pro dopředný kanál (downstream) do vzdálenosti 3 km a 640 kbit/s pro zpětný kanál (upstream). Je to vhodná technologie pro provoz internetu a širokopásmových služeb, protože přístup ke službám je umožněn bez sestavení spojení.
- **ADSL2** (Asymmetric Digital Subscriber Line 2) – tato technologie vychází ze standardu ADSL, k tomu byl dále schválen také standard ADSL2 druhé generace. Největší změna se odehrála v podobě zavedení flexibilní struktury rámce bez pevné délky. Výsledkem je, že přenosová rychlost ve směru downstream už není ohraničená hodnotou 8 Mbit/s. Vysílací výkon ve směru downstream je snižován během provozu, tak aby byla data přenášena požadovanou přenosovou rychlostí, která může být nejvyšší jen v případě potřeby. Ve směru downstream lze dosáhnout přenosové rychlosti přes 10 Mbit/s, ve směru upstream 1,5 Mbit/s [5, 17].
- **ADSL2+** (Asymmetric Digital Subscriber Line 2++) – jak už název napovídá, jedná se o technologii, která rozšiřuje možnosti ADSL2. Pro dosažení vyšší přenosové rychlosti zde bylo rozšířené kmitočtové pásmo. Horní kmitočtové pásmo dosahuje hodnoty 2,208 MHz. Ve směru downstream lze dosáhnout přenosové rychlosti přes 25 Mbit/s, ve směru upstream 1,5 Mbit/s. Dalším nástupcem ADS2+ bude ADSL2++, kde by mělo být dosaženo přenosové rychlosti až 40 Mbit/s [5, 17].
- **RADSL** (Rate-Adaptive DSL) – velmi podobný ADSL, podstatným rozdílem je, že při tomto způsobu řešení se přenosová rychlost vyvíjí dle stavu komunikačního vedení, které je neustále sledováno a vyhodnocováno. Výsledná úroveň přenosu je závislá na délce telefonního vedení od uživatele k ústředně. Změna přenosové rychlosti nastává v případě navazování spojení, nebo v průběhu přenosu vzhledem k signálu z ústředny [5, 17, 18].

#### c) Symetrické xDSL

- **SDSL** (Symetric DSL) – tato technologie je obdobou ADSL v symetrickém provedení. Spolu s SDSL může být na jednom vedení s analogovou přípojkou, pouze však do vzdálenosti 6 km. Maximální přenosová rychlost dosahuje hodnot E1 (2 Mbit/s), což uživateli přináší možnost pořízení počáteční přenosové rychlosti 144 kbit/s a při navyšování požadavku na šířku pásma lze rychlost zvyšovat bez toho, aby bylo nutné zároveň zvyšovat úroveň hardwaru [5, 18].
- **HDSL** (High-bit-rate DSL) – jedná se o způsob řešení se symetrickým využitím přenosového pásma s maximální přenosovou rychlostí do 2,048 Mbit/s (E1), realizovaný po dvou nebo třech párech do vzdálenosti 4 km. Při použití opakovačů je možné vzdálenost ještě navýšit [5, 18, 19].
- **HDSL-2** je verze technologie, která vychází z SDSL a pracuje s jedním párem telefonních vodičů se stále stejnými parametry přenosu, jako je tomu u HDSL.
- **SHDSL** (Single pair High speed Digital Subscriber Line) – je pokračováním technologie HDSL a byla vyvinuta pro duplexní provoz po jednopárovém symetrickém vedení. Dále nabízí navýšení přenosové rychlosti od 64 do 2 048 kbit/s. Je zde podpora QoS v datové síti, podpora real time – VoIP (Voice over Internet Protocol), video a poskytnutí

- symetrické rychlosti pro směr upstream a downstream [5, 19].
- **VDSL** – (Very-high-bit-rate DSL) technologie, která je specifikována standardem G.993.1 a umožňuje nejvyšší přenosové rychlosti ze skupiny xDSL. Je provozována při využití jednoho páru metalické smyčky, kdy již při této konstrukci dosahuje těch nejlepších výkonnostních hodnot. Standardně jsou uváděny rychlosti, které dosahují několik desítek Mbit/s, ovšem při vzdálenosti dosahu do 1,5 km. Proti řešení ADSL má tu výhodu, že při kratší vzdálenosti dosahu se přenosová rychlost rychle zvyšuje k maximu 52 Mbit/s. Další výhodou VDSL je možná volba mezi symetrickým (v obou směrech je použita šířka pásma stejná mezi účastníkem a sítí) a asymetrickým způsobem přenosu. VDSL asymetrický provoz – v dopředném směru jsou podporovány následující rychlosti: 12,96 Mbit/s do 1,5 km, 26 Mbit/s do 1 km a 51,94 Mbit/s do 300 m. Pro zpětný směr to potom jsou přenosové rychlosti: 1,6 Mbit/s do 1,5 km, 3,2 Mbit/s do 1 km a 6,4 Mbit/s do 300 m. VDSL symetrický provoz (plně duplexní) – je uváděn dosah VDSL do 3 km, kde poskytované přenosové rychlosti vztažené k vzdálenosti jsou: 2,3 Mbit/s do 3,5 km, 4,3 Mbit/s do 2,5 km, 6,5 Mbit/s do 1,5 km, 13 Mbit/s do 1 km a 26 Mbit/s do 300 m. Pro oba způsoby přenosu je použit kmitočtový duplex (FDD – Frequency Division Duplex) a modulace QAM (Quadrature Amplitude Modulation), nebo DMT (Discrete MultiTone). Dalším rozdílem proti ADSL je, že VDSL je provozováno v širším pásmu od 138 kHz do 30 MHz. PTM-TC VDSL (Plesiochronous Transfer Mode-Transmission VDSL) je možné také nazvat jako Ethernet přes VDSL. VDSL bylo dále rozvíjeno za podpory technologických společností. Nejdůležitějším úkolem bylo navýšení přenosové rychlosti a toho bylo docíleno čipovou sadou, která v závislosti na výrobci navyšuje různou měrou přenosovou rychlost v obou směrech. VDSL dosáhlo již takových přenosových rychlostí s velmi dobrou kvalitou, že mnohdy může konkurovat i optickým přípojkám, které i přes klesající cenu jednotlivých komponent stále vykazují vysoké náklady spojené s pokládkou a dotažením optických technologií (výkopové práce, vyřizování povolení a samotná pokládka kabelů) [5, 16, 18].
  - **IDSL** (ISDN DSL) – toto provedení je symetrické a vychází ze způsobu řešení ISDN, je zde však k dispozici plně duplexní kanál s přenosovou rychlostí 144 kbit/s, přičemž se v podstatě jedná o sečtení řídicího kanálu D s kapacitou 16 kbit/s a dvou datových kanálů B s přenosovou rychlostí 64 kbit/s. Se základem ISDN se shoduje v modulaci 2B1Q (2 Binary 1 Quaternary), s tím rozdílem, že není nutné vytáčení, a proto v ústředně není nutné navazování spojení. Díky těmto skutečnostem je IDSL charakterizována jako širokopásmová přípojka, která poskytuje trvalé připojení zvané *always on*. Modemy IDSL jsou připojeny jedním párem vodičů s rozhraním ISDN BRI (Basic Rate Interface), není však možné přenášet data a hlasové služby vedle sebe. Provoz je možný na vzdálenost 6 km, při použití opakovačů ISDN pro U-smyčku lze dosáhnout i větších vzdáleností [5, 18].

## Souhrnný přehled parametrů sítí xDSL

Přípojka	Přenosová rychlost zpětně [Mbit/s]	Přenosová rychlost dopředně [Mbit/s]	Šířka pásma zpětně [kHz]	Šířka pásma dopředně [kHz]
ADSL	do 1	do 8	25–138	138–1104
ADSL2	až 1,5	více jak 10	25–138	1100 (256 subkanálů)
ADSL2+	až 1,5	až 25	25–138	do 2200 (512 subkanálů)
G.lite	do 1	do 1,5	25–138	138–552
RADSL	do 1	do 8	25–138	25–1104
IDSL	symetricky 0,144	symetricky 0,144	0–50	0–50
HDSL	symetricky 1,544 nebo 2	symetricky 1,544 nebo 2	0–392 (2B1Q) 10–175 (CAP)	0–392 (2B1Q) 10–175 (CAP)
HDSL 2	symetricky 1,544 nebo 2, (po dvou párech 4)	symetricky 1,544 nebo 2, (po dvou párech 4)	0–392 (2B1Q) 10–175 (CAP)	0–392 (2B1Q) 10–175 (CAP)
SDSL	symetricky do 2,32	symetricky do 2,32	0–700	0–700
SHDSL	symetricky do 2,3 – jeden pár a do 4,6 – dva páry	symetricky do 2,3 – jeden pár a do 4,6 – dva páry	0–385	0–385
VDSL	do 26 (do 36 symetricky)	do 52 (do 36 symetricky)	25–30 000	25–30 000

Tab. 1.1: Přehled parametrů sítí xDSL [5]

## Souhrnný přehled parametrů sítí xDSL

Přípojka	Provoz	Standard	Počet párů	Modulace	Dosah [km]
ADSL	asymetrická DSL	ANSI T1.413, ITU G.992.1	jeden	DMT s QAM	2 – 5
ADSL2	asymetrická DSL	ITU T G.992.3, G.992.4	jeden	DMT	1 při plné rychlosti
ADSL2+	asymetrická DSL	ITU T G.992.5	jeden	DMT	1,5 při plné rychlosti
G.lite	ADSL bez rozdělovače	ANSI T1.419, ITU G.992.2	jeden	DMT, CAP	5,5
RADSL	DSL – adaptivní přenos. rychlost	ANSI T1.TR.59	jeden	CAP	
IDSL	ISDN DSL	ITU.ETSI	jeden (2B + 1D)	2B1Q	10,7
HDSL	rychlá DSL	ANSI T1.TR.28, ITU G.991.1, ETI TS 101 135	dva	2B1Q (CAP)	4
HDSL 2	rychlá DSL – jeden pár	ANSI T1.418, ITU 991.2	jeden	2B1Q nebo CAP	3,5 nebo 4 – po dvou párech
SDSL	symetrická SDL		jeden	2B1Q	3 – 6
SHDSL	symetrická rychlá DSL	ITU G.991.2, ETSI TS 101 524	jeden, dva	PAM – 16 úrovní s TC kód	2 nebo 4
VDSL	nejrychlejší DSL	ANSI T1.424, ITU G.VDSL, ETSI TS 101 270	jeden	DMT, nebo QAM	0,3 – 1,35

Tab. 1.2: Přehled parametrů sítí xDSL [5]

### 1.2.6 Strukturovaná kabeláž

Jako strukturovanou kabeláž označujeme systém, který zahrnuje metalické, ale dnes již i optické síťové prvky. Nyní bude pozornost zaměřena na metalickou kabeláž. Díky tomuto systému je možné vytvoření datové nebo hlasové sítě a tím propojení koncových uživatelů. Cílem byla možnost zvýšení přenosové rychlosti, proto byl vyvinut kabel s přesnými

vlastnostmi, se speciální architekturou krouceného páru. Základem tohoto kabelu je měď, s novějším postupem výroby, který přinesl záruku stejné vzdálenosti vodičů a také pozorné sledování skrutů a izolace vodičů, bylo docíleno minimálních rozdílů v útlumech, impedancích, ve zpětném odrazu, v hodnotách přeslechu na blízkém a vzdáleném konci a naopak bylo docíleno optimální kapacitní rovnováhy [2, 22, 28].

#### a) Charakteristika a typy jednotlivých kabelů

Podle popsaných vlastností lze usuzovat, že ve strukturované kabeláži bude převládat koaxiální kabel, kterému se budeme podrobněji věnovat v další části této práce. Koaxiální kabel byl používán v počátcích strukturované kabeláže, ale v dnešní době je již strukturovaná kabeláž tvořena výhradně kroucenou dvojlínkou – „twisted pair“.

Je obecně známým faktem, že právě kroucená dvojlínka neumožňuje tvořit odbočky a přenosová cesta bude mít dvoubodový charakter. Pro případ možného rozbočení je nutné zvolit elektronickou cestu prostřednictvím určitých rozbočovačů. Na druhé straně právě skutečnost, že na kroucené dvojlince jsou v základu realizovatelné spoje dvoubodové, může přinést efektivnější provoz než při využití koaxiálního kabelu. Rozdíl může nastat v momentu poruchy provozu, kdy u přenosového média kroucené dvojlínky může být nefunkční pouze jeden koncový uzel, a to právě díky charakteru dvoubodového spoje. S tím také souvisí i přesnost lokalizace poruchy, kdy porucha sice bude vypovídat o celé určité části sítě, ale opět díky dvoubodovému charakteru bude obsah popisu daleko podrobnější [2, 22, 24].

Základním přenosovým médiem pro strukturovanou kabeláž je čtyřpárová kroucená dvojlínka s nominální hodnotou impedance 100 Ω. Kroucená dvojlínka byla popsána v předešlé části práce. Vzhledem k požadované přenosové rychlosti a dalším parametrům budoucí sítě jsou pak voleny i její další prvky, jako zásuvky, propojovací panely, opakovače aj.

Například pro kategorii 3 se používají nestíněné, klasické telefonní kabely. Pro kategorie 4 a 5 jsou pak kladeny už větší nároky, a to z důvodu provedení na větší vzdálenosti – řádově až 150 m. Jako propojovací prvky jsou poté používány panely a jako zakončovací prvky konektory RJ45 (Registered Jack), kde opět dle volby můžeme mít 8 nebo 50 vývodů. Celkovou správu usnadňuje tzv. patch panel, umožňující přidávat a odebírat přípojná místa opět na základě volby účastníka. V tomto výčtu by bylo možno pokračovat dále, protože počet charakteristických vlastností prvků je opravdu rozsáhlý [22, 24].

Čtyřpárová kroucená dvojlínka je vyráběna v několika třídách kvality, které se liší především dosahovanou maximální přenosovou rychlostí. U strukturované kabeláže je důležité, jaké parametry nabízí celá přenosová trasa (ne jen samotná kabeláž). Dle úrovně přenosové cesty se kanály dělí do následujících tříd:

třída A	do 100 kHz,
třída B	do 1 MHz,
třída C	do 16 MHz,
třída D	do 100 MHz,
třída E	do 250 MHz,
třída F	do 600 MHz.

#### b) Vlastní strukturovanou kabeláž lze dělit dle výkonnosti do několika kategorií:

- Kategorie 1,2 – určená pro telefonní provoz.
- Kategorie 3 (CAT 3) – pro data, přenosová rychlost 10 Mbit/s, např. ISDN.
- Kategorie 4 (CAT 4) – pro data, přenosová rychlost 16 Mbit/s, např. Token Ring Ethernet).
- Kategorie 5 (CAT 5) – pro data, přenosová rychlost 100–300 Mbit/s, např. ATM, Ethernet.
- Kategorie 5E (CAT 5E) – výchozí je kategorie 5 se stejnou šířkou pásma – tedy

100 MHz. Protože je i velmi cenově příznivá, je ještě pořád velmi rozšířená, a to i z důvodu možnosti přenosu Gigabit Ethernetu v protokolu 1000BaseT. Rychlost 1 Gbit/s je však maximum pro tuto kategorii.

- Kategorie 6 (CAT 6) – pracuje s šířkou pásma až 250 MHz, proto přináší i větší spolehlivost při přenosu Gigabit Ethernetu, a to i včetně podpory dalších protokolů, tedy kromě 1000Base-T také 1000Base-TX a částečně i 10GBase-T.
- Kategorie 6A (CAT 6A) – oproti kategorii 6 je zde možnost práce s dvojnásobnou šířkou pásma – 500 MHz, a to přináší opět vyšší kvalitu přenosu a přenosovou rychlost. Jedná se o schválený standard nasazovaný běžně v LAN sítích.
- Kategorie 7 (CAT 7) – tato kategorie je specifikována hlavně pro kabel, nikoli pro spojovací prvky. Pracuje s šířkou pásma 600 MHz.
- Kategorie 7A (CAT 7A) – je nejnovější normou pro strukturovanou kabeláž. Nynější kategorie 7 se nachází příliš blízko šířky pásma 6A (500 MHz, 600 MHz), a proto je specifikována jako kategorie s dvojnásobnou šířkou pásma (1 000 MHz) [2, 22, 24, 28].

### c) Metalické přístupové sítě strukturované kabeláže

#### Sítě typu Ethernet

Jedná se o označení technologií, které jsou velmi často používány pro výstavbu sítí. Jejich nejčastější využití je v síti typu LAN (Local Network Area). Název Ethernet, jehož autorem je tým vedený p. Robertem Metcalfem, má napovídat, že cílem bylo a je všesměrové šíření signálu „éterem“ po sdíleném přenosovém médiu. Verzi Ethernetu je několik, dle toho jak vznikaly. Postupně byly standardizovány verze IEEE 802.3 (Institut of Electrical and Electronic Engineers), Ethernet II. Verze Ethernetu II. se od prvního standardu liší hlavně ve formátu linkových rámců. Obě verze jsou stále používány v praxi, to znamená, že v hlavičce rámce IEEE 802.3. je nesen údaj o celkové délce rámce a v hlavičce rámce Ethernetu II. je údaj s informací, o jaký druh obsahu se jedná (Ether type). Protože číselná hodnota Ether typu je vždy větší než maximální délka Ethernetového rámce (1 500 bytů), lze vždy oba typy rámce od sebe rozpoznat [22, 23].

Důležitým parametrem Ethernetu je přístupová metoda CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), kde se především jedná o způsob přístupu uzlů k přenosovému sdílenému médiu, které neumožňuje vysílání více uzlů najednou. Díky této vlastnosti se často mluví o Ethernetu jako sítích pracujících na platformě přístupové metody CSMA/CD. Další vývoj probíhal oficiálně pod vedením IEEE. Bylo to hlavně z důvodu vlastnictví patentu Ethernetu společností Xerox, proto samotný název Ethernet nebyl zcela oficiálně zpřístupněn, neformálně je však používán i nadále [22, 23, 24].

V počátcích byl v souvislosti s Ethernetem zvažován koaxiální kabel o průměru zhruba 1 cm, který byl díky jeho tehdy typické žluté barvě nazýván jako žlutý kabel, nebo také tlustý kabel. Pro jeho špatné mechanické vlastnosti, především nízkou ohebnost, byl nahrazen tenčím koaxiálním kabelem. V době přechodu na tenčí koaxiální kabel byl Ethernet také masově rozšířen. Daleko efektivnějším přenosovým médiem se však ukázala být kroucená dvojlinka, která je stále ještě i dnes nejrozšířenějším druhem kabeláže pro Ethernet. S dalším vývojem technologií a zvyšováním požadavků (hlavně na přenosovou rychlost) byly definovány verze Ethernetu i pro optickou kabeláž [22, 24].

#### Jednotlivé verze Ethernetu

- Ethernet – prvotní forma technologie s dosahem přenosové rychlosti 10 Mbit/s. Specifikace jsou pro koaxiální kabel, kroucenou dvojlinku i optické vlákno.
- Fast Ethernet – technologie doporučená standardem IEEE 802.3u s dosahem přenosové rychlosti 100 Mbit/s. Je to obdoba prvotní formy této technologie a pro urychlení dalšího vývoje si nese i dále charakteristické prvky, jako jsou formát rámce, přístupová metoda CSMA/CD aj. Specifikována je již jen pro kroucenou dvojlinku a optické vlákno a v současné době se o této formě hovoří jako o základní variantě Ethernetu.
- Gigabitový Ethernet – přenosová rychlost byla zvýšena na 1 Gbit/s, jak vyplývá již

z názvu. V základu se opět vyšlo z předešlé verze (metoda CSMA/CD), ale co se týká praktického použití, je tato varianta Ethernetu prováděna pouze přepínaně a s plným duplexem, formát rámce zůstal stejný. Specifikována byla nejprve pro optické vlákno s označením IEEE 802.3z a později i pro kroucenou dvojlinku s označením IEEE 802.3ab. Dosah na optickém vlákne činí až 80 km.

- Desetigigabitový Ethernet – je varianta, která byla standardizována v roce 2003 s označením IEEE 802.3ae, kde se přenosová rychlost zvýšila 10 Gbit/s a hlavním přenosovým médiem jsou optická vlákna. V roce 2008 byla dokončena specifikace pro kroucenou dvojlinku s označením IEEE 802.3an. Provoz této varianty je znovu plně duplexní, formát rámce je také stejný, ale není již používána metoda CSMA/CD. Dosah je až 40 km. Předpokladem je nasazení už i v páteřních sítích.
- Stogigabitový Ethernet – v roce 2010 byla schválena nejnovější norma či doplněk k poslední ucelené formě Ethernetu IEEE 802.3 z roku 2008, která nabídla přenosové rychlosti 40 i 100 Gbit/s. Specifikace byla určena jak pro optické vlákno, tak pro metalickou kabeláž. Jedná se nyní o zatím nejvyšší podporovanou přenosovou rychlost. Využití nachází hlavně v rozlehlých sítích WAN (Wide Area Network) [22, 23, 24, 25].

### Souhrnný přehled parametrů pro Ethernet

Typy Ethernetu	Přenosová rychlost [Mbit/s]	Přenosové médium
<b>10Base 5</b>	10	koaxiální kabel o impedanci 50 Ω
<b>10Base 2</b>	10	koaxiální kabel o impedanci 50 Ω
<b>10Base-T</b>	10	strukturovaná kabeláž - kroucená dvoulinka
<b>10Base-F</b>	10	optické vlákno
<b>100Base-TX</b>	100	dva páry UTP, nebo STP, kategorie CAT 5
<b>100Base-T2</b>	100	dva páry UTP, kategorie CAT 3, 4, 5
<b>100Base-T4</b>	100	dva páry UTP, kategorie CAT 3, 4, 5
<b>100Base-FX</b>	100	dvě optická vlákna
<b>1000Base-T</b>	1000	4 páry UTP, kategorie CAT 5e, definován do vzdálenosti 100 m
<b>1000Base-CX</b>	1000	metalické vodiče na krátké vzdálenosti
<b>1000Base-SX</b>	1000	optické mnohavidové vlákno určené do vzdáleností několik set metrů
<b>1000Base-LX</b>	1000	optické jednovidové vlákno, větší vzdálenosti, až několik desítek km
<b>10GBase-T</b>	10000	kabeláž UTP kategorie CAT 6 - 55 m, CAT 6a - 100 m, optické vlákno
<b>40GBase a 100GBase</b>	40000 a 100000	optické vlákno, nebo metalická kabeláž - délka do 10 m

Tab. 1.3: Přehled parametrů pro Ethernet

#### 1.2.7 Představitelé asymetrického vedení

Jedná se o kabely, které se vyznačují určitou nesymetrií, spočívající zejména v provedení a konstrukci kabelu, kde největší rozdíl je v uložení jednotlivých vodičů. U symetrických kabelů se jedná o párové provedení vodičů, které jsou skrouceny v pravidelných skrutech. U asymetrických kabelů jde o dvojici sousých vodičů, vnějšího a vnitřního. Podrobnější popis parametrů bude uveden dále [2, 18, 26].

## 1.2.8 Koaxiální vedení – koaxiální pár

Výhodou koaxiálních kabelů je, že nevzniká vzájemné ovlivňování souběžných párů, protože se jedná o asymetrické vedení – dvojici sousedících vodičů. Uspořádání vodičů jednoho páru je soustředěné a tvoří tak koaxiální trubku s vodičem uprostřed. Při vysokých kmitočtech prochází proud jen povrchem vnitřního vodiče a vnitřním povrchem trubky, při nižších kmitočtech je ale stínění vnějším vodičem nedostatečné, proto je třeba pro tyto situace stínění posílit pomocí dvou poměděných pásků, které jsou vinuté na vnější trubku a zároveň takto vnější vodič i zpevňují. Sám vnější vodič je většinou vyroben z měděného svinutého plechu, který je obepnut kolem izolačních kroužků z PE (polyetylen), jež jsou nasazeny na vnitřním vodiči ve vzdálenosti 20–25 mm. Vzájemná izolace mezi vodiči může být také provedena alternativním způsobem formou pěnové vrstvy PE nebo balónkovou izolací, která je vytvořena z trubičky PE namačkané v malých vzdálenostech k vnitřnímu vodiči. Vnější trubka je potom spojená prostřednictvím zoubků nebo vroubkováním ve švu nebo se mohou okraje pouze přitisknout. V profilu kabelu jsou trubky složeny a není přitom pohlíženo na směr přenosu s tím, že se provádí kombinace se symetrickými čtyřkami, popřípadě radiopáry a páry [2, 22, 26].

### a) Charakteristika a typy jednotlivých kabelů

Dle konstrukce se koaxiální kabely dělí na tři typy:

- Střední koaxiální pár – je provedení kabelu s průměrem vnější trubky 9,4 mm a průměrem vnitřního vodiče 2,6 mm. Jeho použití je do 60 MHz a přenosová rychlost je více než 140 Mbit/s.
- Malý koaxiální pár – je provedení kabelu s průměrem vnější trubky 4,4 mm a průměrem vnitřního vodiče 1,2 mm. Jeho použití je do 18 MHz a maximální přenosová rychlost do 140 Mbit/s.
- Mikrokoaxiální pár – je provedení kabelu s průměrem vnější trubky 2,8 mm a průměrem vnitřního vodiče 0,65 mm. Jeho použití je do 5 MHz a maximální přenosová rychlost 34 Mbit/s.

Poměr vnitřní a vnější trubky se odvíjí od použité izolace a charakteristické impedance. Optimální poměr, zajišťující vznik minimálního útlumu při vzduchovém dielektriku a použití měděného vodiče, je  $D/d = 3,6$  [2, 26].

## 1.2.9 Metalické přístupové sítě s koaxiálním kabelem

### Sítě typu DOCSIS

Možnosti využití koaxiálního kabelu v přístupových sítích lze nalézt ve standardu zvaném DOCSIS (Data Over Cable Interface Specification). Jedná se o mezinárodní standard nebo soubor pravidel, jenž vymezuje podmínky, za kterých je možné provozovat obousměrný, širokopásmový přenos dat s využitím stávajícího kabelového televizního rozvodu (TKR). Je podporován širokou odbornou veřejností a většina operátorů či poskytovatelů využívá tento způsob připojení uživatele k datové síti, nejčastěji pak prostřednictvím hybridní HFC (Hybrid fibre-coaxial) sítě. Počátky první specifikace se datují do roku 1997, s rozšířením o požadavek na služby v reálném čase v roce 1999 (obdobně jako IP telefonie). Dalšími řešenými požadavky bylo zvýšení přenosové rychlosti upstreamu a podpora QoS (Quality of Service), příslušná verze byla vydána v roce 2002 a další až v srpnu 2006. Jako mezinárodní standard byly přijaty dvě varianty DOCSIS, první DOCSIS 1.1 od ITU-T doporučení J.112 a další DOCSIS 2.0 jako ITU-T doporučení J.122 se zpětnou kompatibilitou s předchozí variantou.

V ČR, potažmo v Evropě, je používána verze s názvem EuroDocsis z roku 1998, a to kvůli odlišnosti šířky kanálu (EU 7 nebo 8 MHz) proti verzi používané v USA (6 MHz). Díky větší šířce přenosového kanálu je větší i přenosová rychlost, ale protože někde byl z počátku využíván jen DOCSIS, bude nutná výměna zařízení, pokud uživatel nedisponuje takovým, které podporuje oba standardy. V budoucnu by měly v praxi umět existovat jak DOCSIS, tak

EuroDOCSIS, aniž by byla jednoznačná převaha některého z nich. Jediná změna, která by pak mohla nastat, je aktualizace použitého SW.

DOCSIS a EuroDOCSIS vytváří a popisuje podmínky pro obousměrný transparentní přenos IP mezi kabelovým modemem a CMTS (Cable Modem Termination System). Na jedné straně je toto zařízení připojeno k metalické či optické síti, na straně druhé na HFC síť, která je potom vedena až do jednotlivých domů a dále ke každému kabelovému modemu. Kabelový modem je navržen a konstruován tak, aby nebylo nutné ho ze strany uživatele konfigurovat, protože aktuální a povolené hodnoty či stavy parametrů potřebné k činnosti si modem stahuje přímo ze sítě prostřednictvím protokolu TFTP (Trivial File Transfer Protocol). Stejný postup je prováděn i při aktualizacích softwaru.

IP adresa je přidělována DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) serverem a správa může vycházet ze SNMP (Simple Network Management Protocol). Je cílem a snahou, aby spojová vrstva pracovala vůči síťové (zmiňované IP adresy) obdobně jako Ethernet, ze kterého vychází hodně myšlenek a podnětů pro tvorbu DOCSISu a kterému se pak stal sám DOCSIS největším konkurentem v dnešní době. Proto některé činnosti probíhají stejně jako u Ethernetu, jako například přidělování MAC adres. Tak jako síťová karta u Ethernetu, dostane každý kabelový modem již ve výrobním procesu svou unikátní MAC adresu, která slouží nejen k adresaci, ale také pro identifikaci a autorizaci zařízení v síti. Adresace není jedinou procedurou dopředného kanálu, kromě toho je zde možný ještě broadcast, kde se jedná o informace vysílané z jednoho zdroje několika adresátům, a multicast, což je způsob odeslání jedné zprávy vybrané skupině stanic [26, 30].

## 1.2.10 Další standardní představitelé metalického vedení

### Speciální kabely

- Rozhlasové kabely – jejich provedení je vlastní radiopár o průměru 1,3–1,4 mm, stíněný metalizovaným papírem, případně hliníkovou folií, ovinutý měděným drátem 0,3 mm. Využití – spojení mezi rozhlasovými studií, s vysílači, přenos modulačního signálu.
- Samonosné kabely – jednou z jejich výhod je, že s nosným kabelem tvoří celek, dají se zavěsit, a to i na staré existující tratě. Vhodné pro rychlou montáž.
- Závěsný kabel – je opatřen závěsem a tím se zavěšuje na ocelová lana.
- Telekomunikační vlnovody – jejich konstrukce jsou ve tvaru trubek, které mohou mít kruhový nebo obdélníkový průřez. Po vlnovodu je uskutečněn přenos elektromagnetické energie podobným způsobem jako v atmosféře, ale s ohraničeným směrem a s omezenou frekvencí. Frekvenční omezení se odvíjí od kritické délky vlny a je závislé na konstrukci vlnovodu. Samotné provedení je pak v podobě ocelové trubky s tenkou vrstvou mědi a dodatečným lakováním a povrchovým pláštěm. Provoz byl vyzkoušen na trati 10–30 km s útlumem 2 dB/km s přenosem pro 100–200 000 telefonních kanálů.
- Telekomunikační supravodiče – provedení vychází hlavně z faktu, že hodnota odporu klesá při teplotách jdoucích k absolutní nule. Proti běžným vodičům je potom tato hodnota až čtyřikrát menší, a proto je možný přenos signálu na velké vzdálenosti bez použití zesilovačů. Jejich konstrukce je velmi podobná koaxiálnímu kabelu, s tím rozdílem, že zde může být jedna a více trubek z materiálu tantal, olovo, a navíc jsou opatřeny povrchovou vrstvou s obsahem dusíku či hélia právě proto, aby se staly vodiče odolnými při nízkých teplotách. Jejich nevýhodou jsou velmi nákladná čistící zařízení, která bývají umístěna ve vzdálenostech 10–20 km [2, 25, 29].

### Shrnutí

I když tyto technologie fungovaly a vyvíjely se po mnoho let, nyní jsou neodmyslitelně na ústupu – neznamená to však jejich definitivní konec. Ještě dlouho budou existovat provozy, ve

kterých volba metalické kabeláže bude tou nejvhodnější.

Je třeba říci, že metalické technologie nelze souhrnně hodnotit, protože jsou mezi nimi podstatné rozdíly. V případě kroucené dvojlinky je kapacita už téměř vyčerpána, ale například koaxiální kabel ještě má jisté rezervy, avšak v porovnání s optickými vlákny nemají ani zdaleka takové možnosti. Je to dáno především již popsány vlastnostmi obou technologií, které dosahují jednotlivě svých kvalit, ale optická vlákna jsou a budou stále lepší a také je třeba mít na paměti jejich snižující se cenu.

## 1.3 Hybridní síť

Tento typ sítí sdružuje řešení předešlých sítí s ohledem na použité technologie, což se odvíjí v podstatě podle dispozice uživatele nebo úlohy, kterou má tato síť plnit. Kombinací tvořících sítí hybridního typu může být nespočet. Z pohledu použité technologie by zde došlo pouze k zopakování již popsané kabeláže a prvků z předešlých kapitol. Lze snad dodat, že hybridní síť vznikají v důsledku inovací stávajících sítí, kdy ve většině případů byly použity technologie metalické, a ty jsou postupně doplňovány či obměněny za technologie optické.

V oblasti hybridních sítí není typický představitel kabeláže či prvků. Je možné však zmínit termín HFC (Hybrid Fiber Coax), což je název pro hybridní síť, kde je použité optické vlákno a koaxiální kabel. Je to velmi častá kombinace, proto má i svůj ustálený název. V otázkách řešení hybridních sítí není ale kombinací poslední, spíše by se dalo říci, že sortiment zahrnující kombinace různých technologií bude teprve vznikat. Hlavním důvodem pro to je, že přechod z jedné technologie na druhou bývá postupný, a proto vždy po určitý časový úsek vyžaduje provoz sítě kombinaci použitých ICT prostředků. Stává se však, že hybridní síť je ve své podstatě tvořena od samého počátku vzniku sítě, protože k tomu vedou místní nebo ekonomické důvody [12, 30, 31].

### 1.3.1 Řešení kombinovaných hybridních kabelů

Provedení HFC kabelu vychází právě ze dvou uvedených – optického a koaxiálního kabelu. Z hlediska konstrukce hybridního kombinovaného kabelu je v něm obsaženo jak optické vlákno, tak koaxiální kabel, který je pevný a tím poskytuje pevnost celému výslednému kabelu. Výhody tohoto přenosového média plynou jednak z ověřených zkušeností, jednak z jeho budoucích možností. Po provedeném položení, které bývá dnes nákladnější než samotný kabel, je možné dle potřeby a požadavků používat pouze koaxiální kabel. Později, když je potřeba navýšit přenosovou kapacitu nebo změnit celkovou koncepci provozu sítě, je možné přejít na optické vlákno bez nutnosti dalšího zásahu do země.

Otázky tvorby sítí jsou čím dál náročnější hlavně z hlediska pokládky a celkového fyzického provedení. Především je ale třeba vytvořit správný návrh budoucí sítě [30, 31].

V následující kapitole bude toto téma pojednáno podrobněji.

## 2 TVORBA SÍTÍ

### Návrh sítě

Před samotnou výstavbou či inovací již stávající sítě je třeba v první řadě vytvořit její návrh, který bude zpracován na základě všech informací o dané lokalitě. Z poskytnutých technických dat je vyvozeno použití jak jednotlivých komponentů, tak celkově použité technologie.

V této části jsou představeny tři typy sítí. Každá z nich je technicky zcela odlišně řešená, jak bylo zmíněno v první části práce. Návrhy jsou zpracovány z pohledu přístupové sítě. Výsledkem je srovnání přenosových parametrů každé z jednotlivých sítí a tím i snadnější volba technologií při možných projektech obdobného charakteru.

Řešení je zaměřeno na koncového uživatele a služby, které jsou standardní pro komerční i privátní sféru. V mnoha případech se tyto dvě oblasti i vzájemně prolínají, tzn., že je možné nalézt síť, která je schopná jak přenášet data technického rázu, tak i poskytovat zcela běžné uživatelské služby, přičemž přenosy jsou od sebe zcela striktně odděleny a chráněny. Z pohledu běžného uživatele jsou nejvíce vyhledávány služby datové, hlasové a video. Výběr služeb pro další uživatele, jako jsou organizace, společnosti nebo podniky, záleží na charakteru jejich činnosti.

### 2.1 Síť s optickou kabeláží

První návrh bude založen na optických technologiích. V této oblasti je známé využití tzv. triple play – jedná se o sjednocení tří služeb v jednom balíčku. Jsou to právě již zmíněná data, hlas a TV. Síť, které zde budou popsány, reálně neexistují.

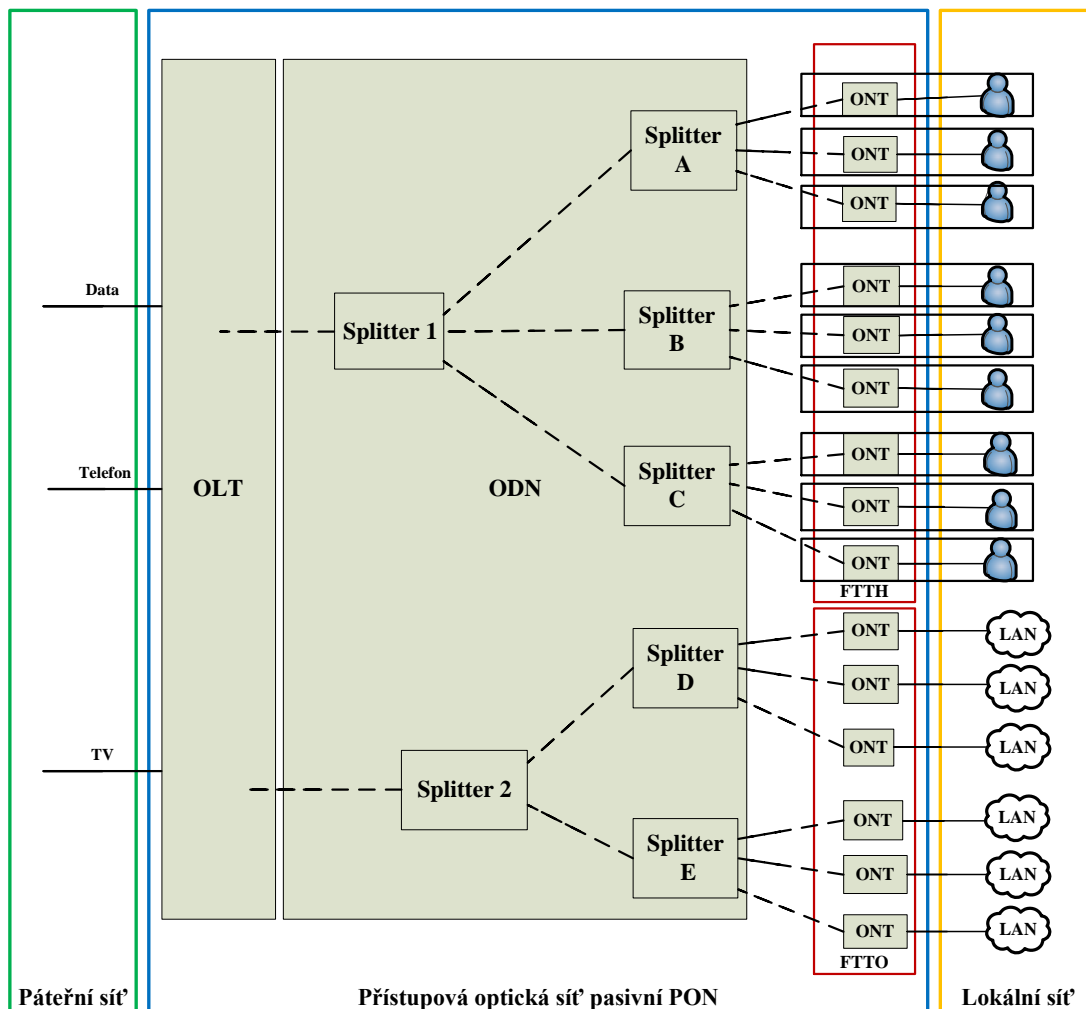
Na obrázku 2.1 je znázorněna optická pasivní síť, u níž přesný typ sítě PON lze definovat na základě konkrétně použitých prvků a prostředků. Řádově může svému koncovému uživateli poskytnout přenosovou rychlost až Gbit/s na velmi silných přenosových médiích se stabilním výkonem.

Oblast sítě je dělena na několik částí, které jsou podrobně popsány v kapitole o optických sítích. Nachází se zde OLT, optické linkové zakončení, jež i zde plní úlohu síťového zakončení přístupové sítě a sítě páteří. Dále oblast ODN, kde se jedná o optickou distribuční síť, která obsahuje pasivní rozbočovače, vlákna, konektory a další pasivní prvky. Poslední je ONT: jde o optické síťové zakončení, zařízení na straně koncového uživatele, které umožňuje adaptaci protokolů mezi optickou přístupovou sítí a síťovým rozhraním, popř. lokální sítí na straně účastníka. Z OLT je veden optický kabel do ODN a dále až do ONT.

Parametry sítě jsou zde navrženy pro lokalitu, která obsahuje několik splitterů, optických rozbočovačů, typických pro pasivní síť. Rozbočovače č. 1 a 2 naznačují rozdělení optického vlákna postupně na další tři (A, B, C) a dva (D, E) rozbočovače, kdy každý z nich je určen pro jednu ulici. Umístění optického síťového zakončení je z rozbočovačů (A, B, C) např. v rodinném domě a z (D, E) v budovách s větším počtem uživatelů. Dle umístění optického síťového zakončení je možné definovat např. tyto dva typy přístupové sítě FTTH, kdy je optické vlákno buď vedeno až do účastnické zásuvky, nebo FTTO, kdy je optické vlákno vedeno až do prostor kanceláře, popř. může být až do PC [1, 6].

V návrhu pasivní sítě je využito sedm splitterů, tj. optických rozbočovačů umožňujících sdílení přenosového média vícero koncovými uživateli. Tyto prvky nevyžadují napájení ani software, proto nepotřebují aktualizace, nehrozí zde porucha zdroje, a to přináší vysokou provozní spolehlivost. Z ekonomického hlediska pak právě tyto prvky snižují náklady na vytvoření pasivní optické sítě, nikoli však za cenu ovlivnění její celkové kvality. Jistou nevýhodou může být skutečnost, že z důvodu zmíněné pasivity nelze tyto prvky nijak vzdáleně spravovat, proto dojde-li k poruše, je složitější lokalizovat její místo v této síti. Naproti tomu např. ve chvíli nutnosti provedení sváru vlákna se počet oproti aktivní síti minimalizuje. Dále je

také nutné počítat se vznikem útlumu při opakovaném použití rozbočovačů na trase optické sítě a tím i s limitovanou maximální délkou ODN. Pasivní sítě mohou pokrývat oblast, v níž je nejvzdálenější uživatel ve vzdálenosti 10–20 km. Obvyklý počet koncových uživatelů pro jeden optický rozbočovač je 1:4/16/32/64/i více, záleží tedy na jejich konečném součtu [1, 6, 10].



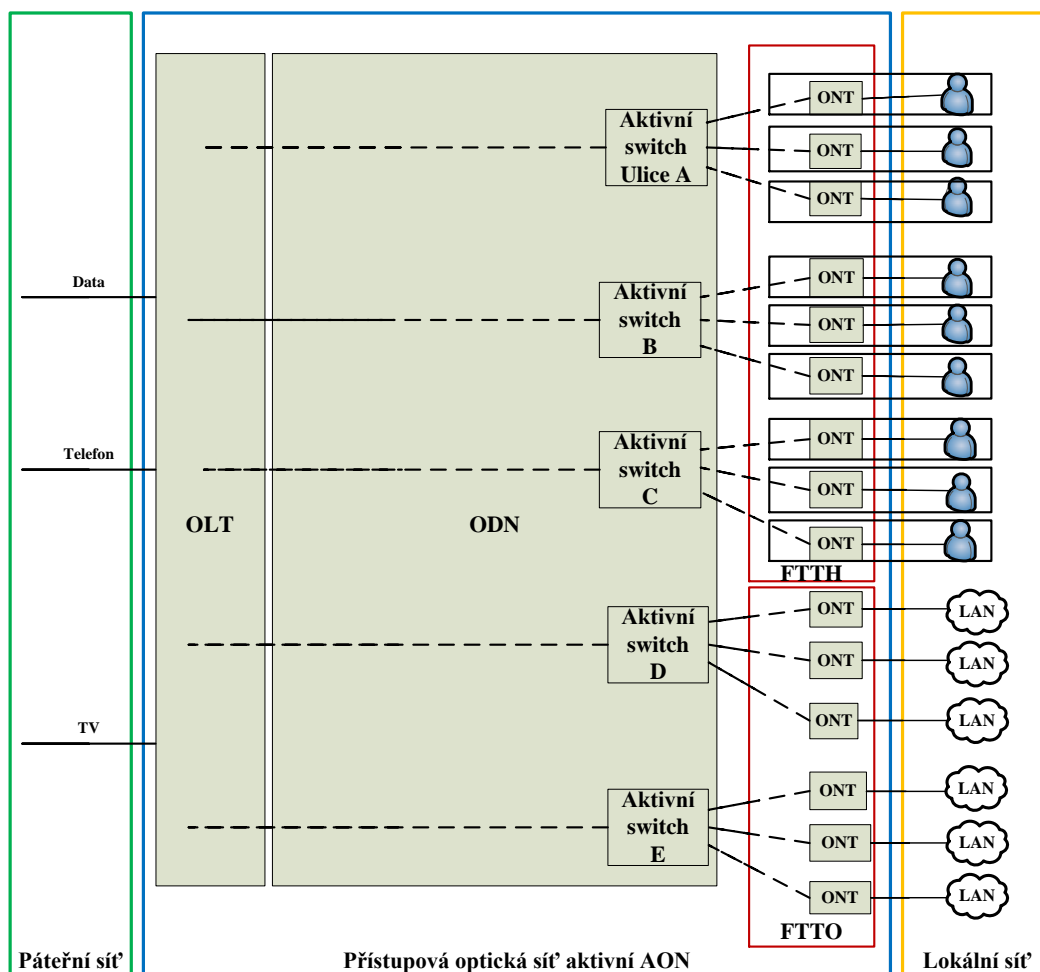
Obr. 2.1: Přístupová optická pasivní síť

Obrázek 2.2 je znázorněním sítě, která je v mnohém velmi podobná síti pasivní. Největším rozdílem je ale použití optických aktivních přepínačů – switch, které zcela mění charakter sítě. Jedná se o aktivní prvky, které dle požadované náročnosti budou obsahovat zdroje napájení, softwarovou platformu, možnost vzdálené správy a k tomu se budou vázat i následné aktualizace prvku nebo celé sítě. To sebou přináší možnost případného selhání právě zmíněného zdroje napájení či nefunkčnost jiné části tohoto prvku.

Do aktivního přepínače se předpokládá zavedení vícevláknového optického kabelu a následně jeho rozdělení po jednotlivých vláknech pro koncové uživatele, což přináší možnost vyhrazení plně obousměrného kanálu každému uživateli. Už tento fakt však zvyšuje finanční náklady sítě aktivní proti pasivní síti. Na druhou stranu lze díky možnosti sledování sítě prostřednictvím aktivních prvků rychleji zjistit místo případné poruchy.

I v tomto návrhu je síť dělena na další funkční části, které jsou vlastnostmi podobné částem z pasivní sítě, přičemž např. část ODN obsahuje aktivní prvky (přepínač). Kromě něj jsou i zde také pasivní prvky (vlákna, sváry, konektory) stejně jako v síti pasivní.

Aktivní sítě mohou pokrýt dosah až 80 km s přihlédnutím k použitým prostředkům a také počtu koncových uživatelů [1, 6, 29].



Obr. 2.2: Přístupová optická aktivní síť

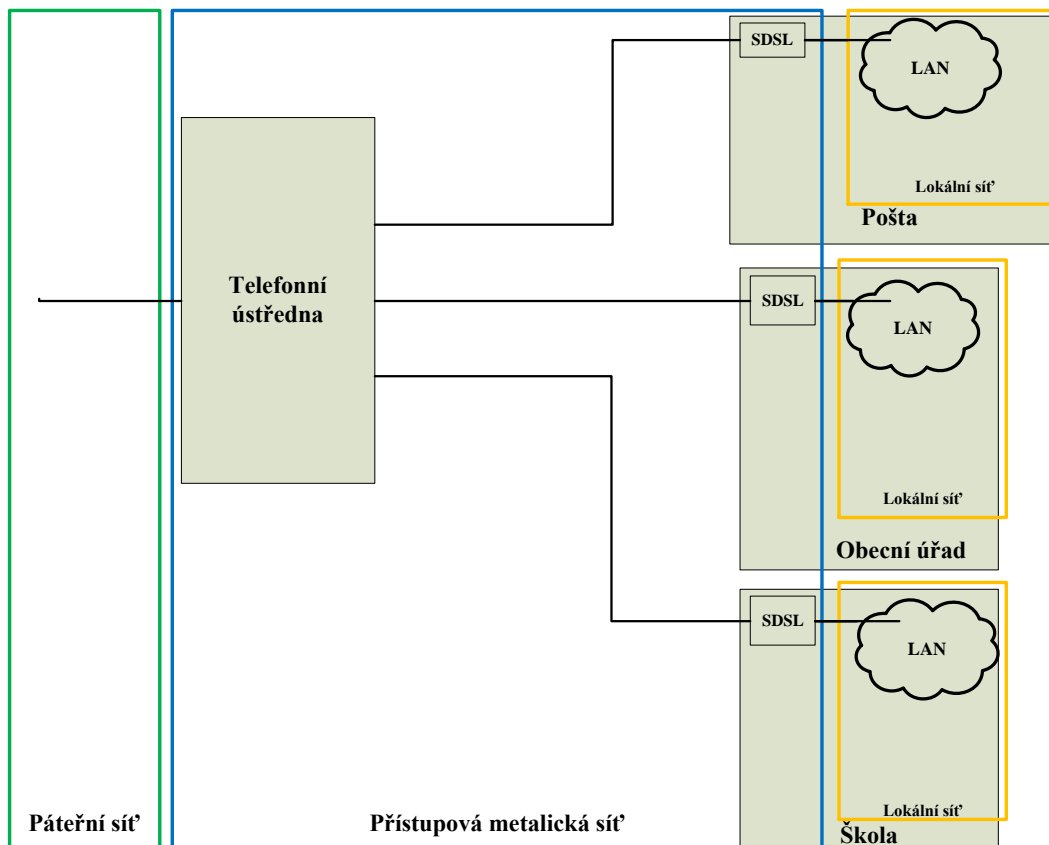
### 2.1.1 Síť s metalickou kabeláží

Od sítí s čistě metalickou kabeláží je postupně upouštěno, a to z důvodu nemožnosti propustnosti sítě a krátké přenosové vzdálenosti k uživateli nebo od něj. Tam, kde v dřívějších dobách sítě s čistě metalickou kabeláží existovaly, jsou na základě vzrůstajících požadavků uživatelů ohledně přenosové kapacity postupně rozšiřovány, ve většině případů pak prvky a kabeláží optickou.

Na obrázku 2.3 je zachycen návrh sítě, která je čistě metalická. Mohlo by se jednat o případ malé obce, která má na svém území telefonní ústřednu a rozvod, který byl v minulosti využíván pouze k poskytování telefonních služeb. Častým případem bylo, že se stávající rozvody využily k dopravení dalších služeb k uživateli (např. dat, TV aj). Do původního rozvodu byly přidány na rozhraní přístupové a lokální sítě či k samotnému uživateli pouze prvky, které umožnily uvedené služby – což může být například některý z typů modemu xDSL. V tomto případě se jedná o typ modemu SDSL. Přenosová rychlost může dosahovat až 2,32 Mbit/s s pokrytím

vzdálenosti 3–6 km [5, 29].

I tyto sítě mohou poskytovat další možnosti, které zde sice nejsou zobrazeny, ale lze si představit další šíření služeb mezi obyvatele. Způsobů existuje celá řada, např. prostřednictvím závěsného metalického kabelu či jinou volbou přenosového média a pak nasazením dalších prvků dle požadavků koncového uživatele.



Obr. 2.3: Přístupová metalická síť

### 2.1.2 Síť hybridní

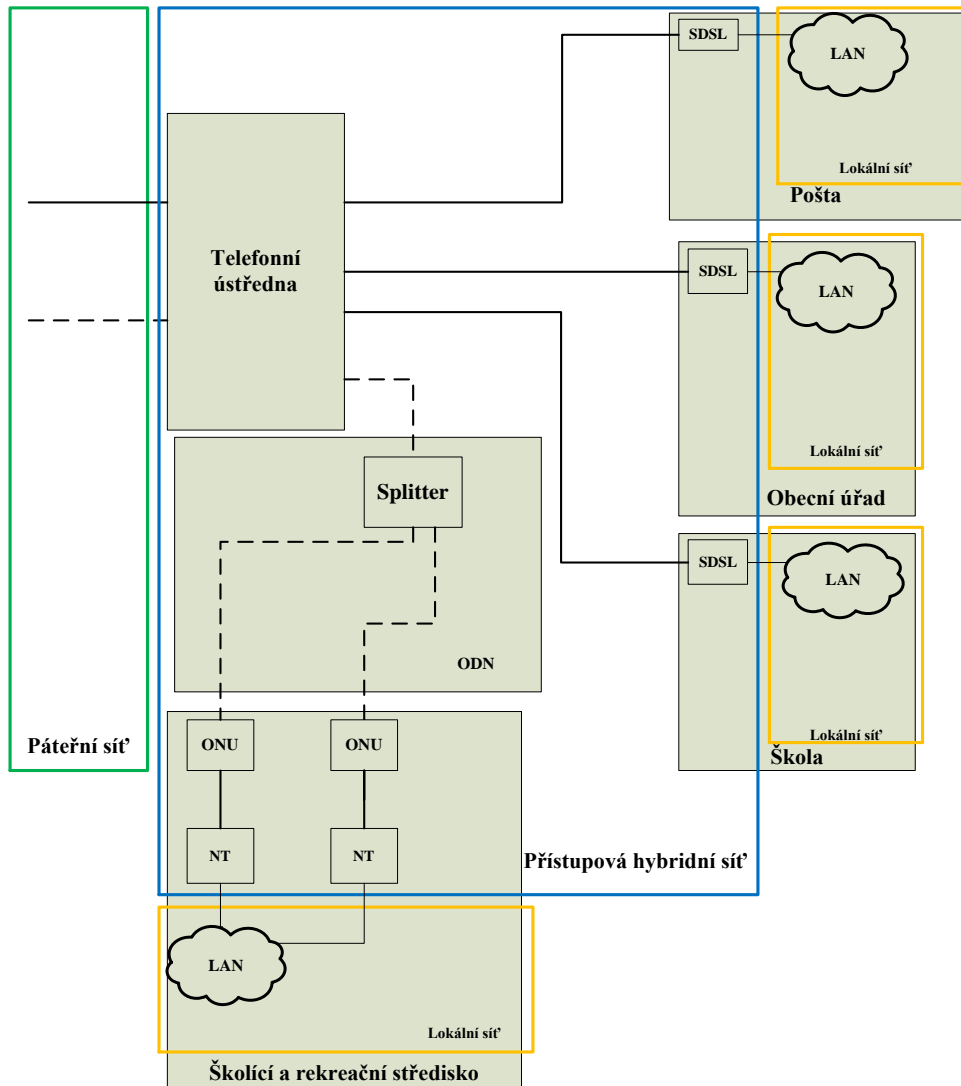
Posledními návrhy sítí jsou dva návrhy hybridního typu sítě. S rozvojem místní infrastruktury přišly i další požadavky na rozšíření stávající sítě. Ve prospěch výběru optických technologií svědčí nejen jejich kvalita, stabilita, odolnost proti rušení a odposlechu, ale také fakt, že se jejich pořizovací náklady za poslední roky výrazně snížily. Proto je nyní možné jejich použití i v místech, kde to dříve převážně z finančního hlediska nebylo myslitelné.

Na obrázku 2.4 je prezentována první z těchto dvou sítí. Výchozí síť měla původně metalickou kabeláž. Opět se tedy jedná o obec s původním telefonním rozvodem a ústřednou, jejichž prostřednictvím jsou zde již zavedené další služby jako data, TV a telefon.

Část sítě, která se skládá z metalické kabeláže, byla popsána u obrázku 2.3, tato zůstala stejná. Rozšíření sítě bylo provedeno zavedením optického kabelu, který je v přístupové síti, části distribuční sítě ODN, doplněn optickým pasivním rozbočovačem, aby vzrostla možnost připojení dalších případných účastníků. Dále se v části přístupové sítě, avšak již v prostoru samotného objektu, nachází optická ukončovací jednotka ONU, která na rozdíl od ONT realizuje připojení koncového uživatele prostřednictvím navazující metalické nebo také bezdrátové sítě. Lze tak dále využít kombinací xDSL, Ethernet a Wifi (Wireless Fidelity)

technologií. Mezi přístupovou sítí a rozhraním na straně účastníka se navíc nachází síťové zakončení NT. Jedná se o zařízení, které v praxi může představovat např. Ethernet switch, to ale záleží na charakteru lokální sítě a ten se odvíjí od požadavků koncového uživatele. S nasazením optické technologie dochází k podstatnému navýšení přenosové rychlosti, jež se může pohybovat až v jednotkách Gbit/s, i možného dosahu, který z řádově několika kilometrů může vzrůst až na několik desítek kilometrů. Ani v tomto stádiu nemusí být uvedené hodnoty pro přenosovou rychlost a možný dosah konečné, protože jsou zde ještě rezervy pro navyšování. Rozdíl v síti původní – čistě metalické a nyníjší – hybridní je více než patrný [5, 22, 31].

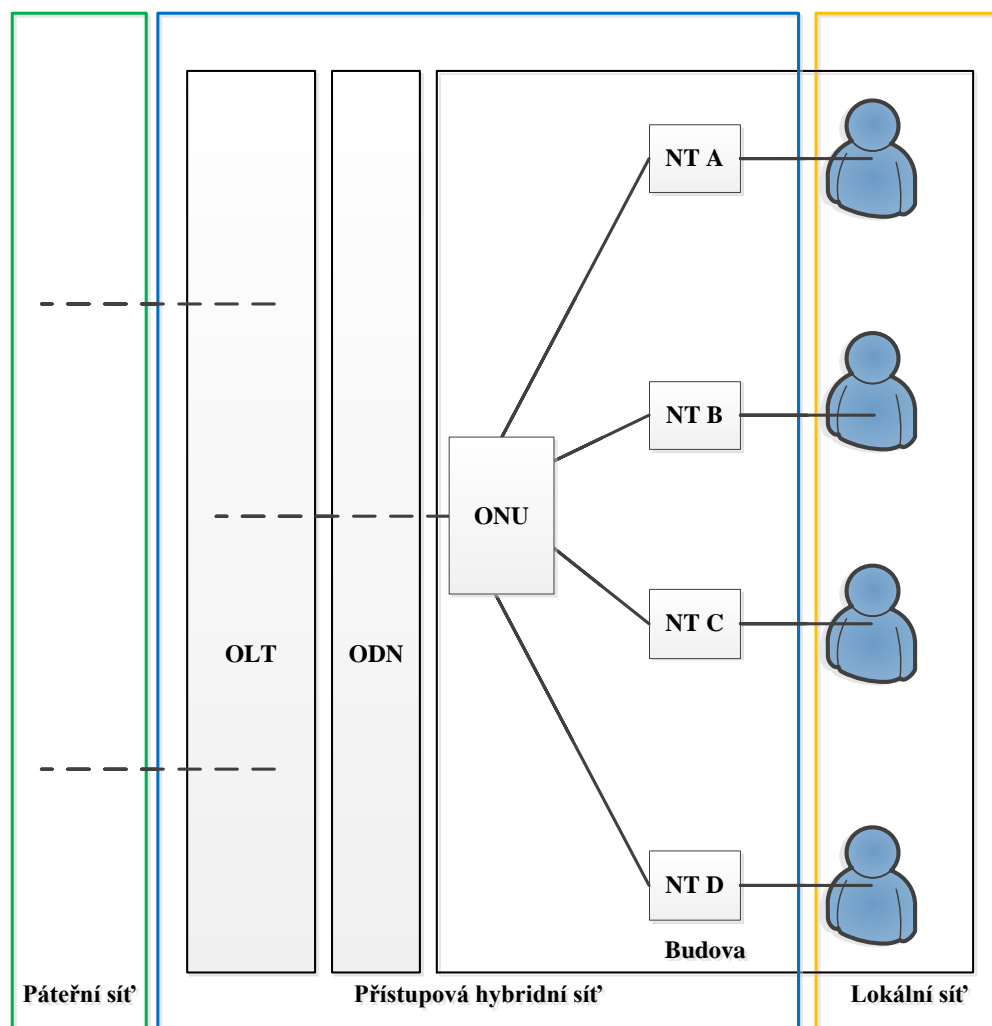
Díky dalšímu rozšíření sítě lze poměrně jednoduše dále navyšovat počty koncových uživatelů, a to i s možným zavedením optického kabelu přímo až k zákazníkovi.



Obr. 2.4: Přístupová hybridní síť

Obrázek 2.5. zachycuje poslední návrh sítě, jde rovněž o hybridní přístupovou síť. Návrh by mohl představovat lokalitu jedné budovy, ve které se nacházejí čtyři bytové jednotky. Optické linkové zakončení a optická distribuční síť jsou ukončeny na hraně budovy a uvnitř se

nachází metalická síťová jednotka. Do OLT, přes ODN a dále do ONU je veden optický kabel. Po budově už pak navazuje metalické vedení. Rozvody mohou být realizovány např. strukturovanou kabeláží kategorie CAT 5E, která je lety prověřená a doposud jedna z nejrozšířenějších. S tímto typem řešení poskytování datových služeb se lze v praxi setkat velmi často. V minulosti byly rozvody po budovách většinou realizovány metalickou technologií a nutno říci, že se tomu tak děje ještě dnes. Ve výsledku pak, při kombinaci optického vlákna a následujícího rozvodu s metalickou kabeláží, dostává koncový uživatel k využití síť s poměrně vysokým komfortem. I zde se nabízejí přenosové rychlosti řádově v Gbit/s, které nebudou na konci svých možností. V budoucnu lze pomýšlet na možné nasazení plastických optických vláken, která jsou pro svoji mechanickou odolnost do prostor domácností či kanceláří vhodnější než skleněná optická vlákna. Může se tedy stát, že hybridní síť změní svůj charakter na síť s čistě optickou technologií [1, 5, 29].



Obr. 2.5: Přístupová hybridní síť

## Shrnutí

V této kapitole bylo představeno pět návrhů přístupových sítí různého charakteru. Jsou v nich využity čistě optické nebo metalické technologie, popř. kombinace obojího (pak je

výsledná síť označována jako hybridní).

Pokud jde o optické sítě, vznikají spíše tam, kde je síť realizována od samého začátku – novostavby či první zavedení do určitých míst, ve kterých předtím žádná jiná přenosová technologie nebyla. Jen zřídka je síť optického charakteru tam, kde předtím byla již realizována síť metalická. Síť s čistě metalickou technologií je skutečně na ústupu a v praxi se s její novou výstavbou lze setkat čím dál méně. Častěji se vyskytují právě hybridní sítě, jež umožňují plynulý přechod z technologií metalických na optické, přičemž není nutné provádět větší zásahy do konstrukce sítě, ale jde spíše o její doplnění či výměnu určitých částí nebo jen prvků. Z dlouhodobé perspektivy jsou hybridní sítě dočasným řešením, protože v porovnání s nimi je provozování optické technologie efektivnější. Ve prospěch optické kabeláže hovoří její stabilita, odolnost proti přeslechům, návratnost pořizovacích nákladů a nyní také jejich stále příznivější cena. Nevýhodou optické kabeláže přesto i v současnosti zůstává křehkost optických vláken, složitější pokládka i provádění údržby.

## 3 MONTÁŽ OPTICKÝCH TRAS

Tvorba optických sítí je založena na uvážlivém prvotním návrhu, jehož součástí je důkladné promyšlení způsobu položení optického kabelu, přičemž je nutné vzít v úvahu nejextrémnější podmínky pro optický kabel tak, aby zůstaly zachovány stabilní přenosové parametry v době provozu. I zde záleží na lokalitě, klimatických podmínkách, předpokladu mechanického zatížení a také na možnostech samotného zadavatele. Existuje několik způsobů položení optického kabelu, které se liší v samotném pojetí realizace.

### 3.1 Rozdělení způsobů montáže optických tras

- Vnitřní a vnější montáž

V první řadě je pokládka optického kabelu dělena na vnitřní a venkovní. Vnitřní montáž, označovaná také jako instalace, spíše obsahuje řešení konečné lokální sítě. Nelze opomenout, že hranice mezi pátevní, přístupovou a lokální sítí je dost často již v budovách konečného uživatele, proto i návrh pokládky musí vzít v úvahu přizpůsobení přechodu z venkovní montáže na vnitřní instalaci. Nicméně i v těchto případech je nutné dbát na dodržení všech podmínek, protože i zde je kabel vystavován různým vlivům, nejčastěji pak mechanickým, a již při samotném provedení mělo být zamezeno zbytečným ohybům kabelu, potažmo vláknem. Dále je také třeba čelit případnému výskytu vlhkosti, parného prostředí, chemických látek v různých skupenstvích, neodborným zásahům ze strany uživatele aj. Proti uvedeným vlivům a působení jsou optická vlákna opatřena několikerou ochranou ve formě primární a sekundární vrstvy, dále se na základě výběru určitého kabelu mohou lišit jednak povrchovým obalem kabelu, jednak jeho případnou náplní. [1, 20]

- Nadzemní a podzemní montáž

V této práci bude pozornost věnována převážně pokládce optického kabelu ve venkovním prostředí, a to hlavně se zaměřením na přístupové sítě. Pátevní a lokální sítě budou popisovány pouze okrajově. Pokud jde o rozdělení na montáž nadzemní a podzemní, vychází se zde především z možností daného prostředí. V uvedených řešeních je optický kabel vystavován okolním vlivům ještě ve větší míře, než je tomu u vnitřní instalace. Zde je možné rozdělit vlivy na přírodní, které zpravidla zahrnují možné poškození vlivem teplotních změn a celkových povětrnostních podmínek (vítr, mráz sních aj.), dále poškození v důsledku napadení různými živočichy (u nadzemní montáže např. ptactvo, hmyz, u podzemní montáže např. hlodavci, mravenci aj.). Kromě toho u podzemní formy montáže ještě přichází v úvahu vlivy nepřírodní, které jsou až na výjimky způsobené člověkem: jedná se jak o samotnou provozní činnost (např. stavební činnost, dopad automobilové dopravy), tak i o nevhodné chování (vandalismus). K vlivům okolí lze přiřadit i působení ohně, kouře, ropy a páry. Optické kabely jsou proto opatřeny ochranným obalem a náplní dle způsobu použití, v každém případě je u optického vlákna primární a sekundární ochrana. [1, 32]

### 3.2 Nadzemní vedení optických tras

Toto řešení je voleno v lokalitách, v nichž by položení optického kabelu do země vyžadovalo ještě vyšší náklady než ve standardních případech, a to hlavně z důvodu potřebných výkopových prací, nebo v místech, ve kterých výkopové práce není možné vůbec provádět (většinou z bezpečnostních důvodů). Dalším důvodem může být také nutnost vybudovat optickou síť v co nejkratším čase.

### 3.2.1 Formy nadzemních montáží optických tras

#### a) Optické kabely pro nadzemní montáž

Optické kabely určené pro závěsnou instalaci jsou závěsné a samonosné. Rozdíl mezi uvedenými typy optických kabelů je v jejich konstrukci.

- Samonosný kabel již obsahuje nosnou část, např. lanko, které je s optickým kabelem uloženo ve speciálním obalu. Existuje i typ samonosného optického kabelu, který je nazýván „osmičkový“, kde je kolem lanka ovinut optický kabel. Tento typ kabelu je však jen málo používán, a to z důvodu malé odolnosti proti mechanickým, či klimatickým vlivům.
- Závěsný optický kabel se od samonosného liší tím, že v případě jeho užití je nosná část, např. lanko, doplněna k optickému kabelu tak, aby mohl být použit k výstavbě vzdušných optických sítí. Cílem je dosažení co nejmenšího ohybu optického kabelu, a proto je vhodné kabel instalovat na závěsné lanko již předem napnutý.[1]

Použití obou typů optických kabelů určených pro závěsnou instalaci je však téměř stejné: jsou voleny tehdy, když je třeba vést optický kabel vzduchem, na základě existujících možných opor je potom dále vybrán buď kabel samonosný, či závěsný. Samonosný kabel má hlavní význam v lokalitách, kde opory téměř neexistují, např. je-li třeba kabel vést přes dálnici, vodu aj., nebo v místech, v nichž nejsou vhodné či přípustné žádné opory, ale je přesto nutné, aby kabel splňoval všechny podmínky stability, odolnosti a životnosti, které jsou na optický kabel kladeny.

Vzdušná optická trasa musí splňovat několik podmínek, aby byla zachována její dlouhá životnost spolu s kvalitními přenosovými vlastnostmi. Samotná montáž je realizována prostřednictvím sloupů, na které jsou optické kabely instalovány. Doporučené umístění je horní třetina sloupů, protože se tak zabrání přinejmenším napadení živočichy, kteří se pohybují po zemi. Další velmi podstatnou skutečností je vhodně zvolená délka rozestupů mezi sloupy, které musí být taková, aby nedocházelo k překročení limitu tahu kabelu a tím i jeho poškození. Dále je kladen velký důraz na vysokou stabilitu trati, především fixaci sloupů, aby se předešlo jejich nechtěnému pohybu.[1]

### 3.2.2 Výhody a nevýhody nadzemních optických tras

Výhodou nadzemních optických tras je jejich celková menší finanční náročnost, snadný přístup při provádění údržby a možnost zpozorování určitých poruch pouhým pohledem, např. přerušení optického kabelu.

Nevýhodou je pak kvůli zmíněnému snadnému přístupu i větší náchylnost k působení poškozujících vlivů ve formě teplotních změn, před kterými by byla sice možná se efektivně chránit, ale od určitého stupně ochrany by se pak ztratila výhoda nízkých nákladů. Z důvodu snadné přístupnosti může být vedení lehce dostupné pro neodborné zásahy či utrpět projevy vandalizmu.

## 3.3 Podzemní optické trasy

Podzemní optické trasy mají několik variant. V první řadě je důležité dbát na zachování kvality optického kabelu, proto je třeba dodržovat podmínky montáže. Kabel nesmí být vystavován většímu tahu, než je nutné při jeho instalaci. Je také nežádoucí, aby byl kabel zkracován řezáním, proto je třeba trasy skutečně pečlivě promýšlet, aby mohla být využita pokud možno jeho celá výrobní délka. [1, 33]

### 3.3.1 Formy a metody podzemních montáží optických tras

Na metodě pokládky velmi záleží, odvíjejí se od ní nejen konkrétně použité přístroje, ale i typ optického kabelu.

Velmi často používanou metodou je tzv. zafukování optických kabelů. Zde je využit tlak vzduchu, jehož prostřednictvím je kabel zaveden do ochranných trubek HDPE (High Density Polyethylene). Je tak docíleno výrazného zlepšení ochrany proti vnějším vlivům různého charakteru a také možnosti snadnějšího přístupu při nutnosti provedení údržby či případné opravy.

S používáním trubky HDPE souvisejí různá řešení, která mají přinést další zefektivnění náročnosti provedení pokládky a tím i snížení nákladů. Jde například o tzv. kabelovody, které se používají mimo jiné při pokládce optického kabelu do výkopu u chodníku. U každého zásahu do země je snahou ho znovu neprovádět. Je-li využit kabelovod, lze snížit předpoklad opakovaného výkopu na stejném místě. Kabelovod představuje trubkové systémy v několika variantách, kdy do těchto trubek je zatažena trubka HDPE a do ní pak optický kabel. Jedna z možných variant kabelovodu je tzv. multikanál, který obsahuje čtyři, šest nebo devět cest, do kterých se dle požadavků ukládají jakékoliv typy optických kabelů. Otvory cest u multikanálu jsou tvarovány do čtverce, což poskytuje daleko komfortnější instalaci optického kabelu. Konstrukce multikanálu má stavebnicový charakter a jeho spoje jsou řešeny gumovým těsněním se zajištěním pomocí čtyř ocelových spon: instalace je poměrně rychlá a snadná. Nespornou výhodou tohoto řešení je možnost použití vyššího počtu optických kabelů na malém místě bez opakovaných zásahů, dále také vysoká kvalita a stabilita použitého materiálu a tím i odolnost vůči působení vnějších vlivů. [1]

V dnešní době existuje již celá řada dalších metod pokládky, které jsou úspěšně nasazovány v praxi.

#### a) Metoda MCS (Micro cabling System)

V základu se jedná o mikrokabelážní systém vhodný pro výstavbu nových přístupových sítí, který je jinou variantou pokládky optického kabelu a optických spojek. Řešení MCS (Micro Cabling System) jsou dále ještě specifikována podle materiálu a lokality použití.

#### Mikrokabelážní systém MCS-Road

Tento systém je využíván pro položení optického kabelu do vozovek nebo podél chodníků. Jedná se speciální mikrokabely, mající uvnitř měděnou trubičku, která je chráněna PE obalem (polyetylén) a obsahuje optická vlákna. Vnější průměr samotného mikrokabelu se odvíjí od počtu optických vláken uvnitř měděné trubičky. Při obsahu max. 60 optických vláken je průměr mikrokabelu 7 mm, při obsahu 120 optických vláken pak 9,6 mm. Optická vlákna se pohybují v počtech 2, 24, 36, 48, 60 a 144 a jsou jednotlivě barevně odlišena. Pro zajištění správné funkčnosti celého systému je nutné dbát na dodržení stejných pravidel jako v předešlých řešeních, tedy nepřekročit výrobcem popsanou minimální míru poloměru ohybu (asi 70 mm) a maximální sílu tahu (1000 N). Protože se jedná o specifický systém, byly pro jeho ucelení vyvinuty spojky, které jsou vodotěsné a určeny do podzemí. Je to druh spojek U-60 a U-144, spojky mají válcovitý tvar a jsou z nerezové oceli. Umožňují tak nejen hladké spojení optických mikrokabelů se schopností pojmout počet vláken dle příslušné spojky, ale také jejich vysokou odolnost. Před samotnou instalací optického mikrokabelu je v určeném místě vytvořena drážka o hloubce 60–120 mm. Po vyčištění a vysušení této drážky je do ní položen optický mikrokabel, jenž je přitlačným kotoučem upevněn na její dno. Jako ochrana se nad takto zafixovaný mikrokabel položí výplň ve formě provazu z pěnového PE a na to ještě ve stejném provedení z mechové pryže. Obě vrstvy ochrany se upevní stejným způsobem jako optický mikrokabel. Na závěr je drážka doplněna k tomu určenou tekutou hmotou. Tím je drážka zcela vyplněna a je tak docíleno předpokladu, že nebude docházet k žádnému pohybu optického mikrokabelu.

Tento systém je patentován firmou Siemens. Byl vyvinut a určen pro vozovky předepsané kvality a pro objekty pokrývající velkou plochu. Tímto způsobem lze položit až 1 km kabelu za den, a to bez nutnosti výkopových prací. [32, 33]

## Mikrokabelážní systém MCS-Drain

I v tomto případě se jedná o mikrokabelážní systém s rozdílem použitého materiálu z důvodu určené lokality. Tento optický mikrokabel je tvořen trubičkou se silnou stěnou z hliníku, která obsahuje optická vlákna. Hliníková trubička má ochranu ve formě armování ocelovými dráty, jde o ochranu proti vnějším vlivům, převážně proti hlodavcům. Standardní ochranný obal z PE se nachází až nad ocelovými dráty. Průměr hliníkové trubičky se pohybuje přibližně okolo 6 mm a průměr celého kabelu i s ochranou PE činí ca 10,6 mm. Opět je nutné dodržet minimální míru ohybu (ca 100 mm) a maximální sílu tahu (1500 N), jež jsou dány výrobcem. Tyto systémy jsou určeny pro pokládku optického mikrokabelu do kanalizačního potrubí. Pokládka však musí probíhat na základě určité postupu, kdy se nejprve potrubí pročistí vodou s využitím vysokého tlaku vody. Poté je do potrubí tažen optický mikrokabel, přičemž je žádoucí, aby tažení bylo plynulé. Na závěr se mikrokabel upevní v horní části potrubí, tak aby byl vytvořen předpoklad menší dosažitelnosti pro hlodavce i vystavování protékající hmotě. [32, 33]

### b) Mikrotrubičkování

Jak už název sám napovídá, bude se jednat o systém, který nemá příliš velkou kapacitu optických vláken. Jde o způsob, který začal uplatňovat až v posledních letech, a to při výstavbě optických sítí typu FTTH, tedy vedení optického kabelu až k účastníkovi do domu. Z tohoto důvodu je až do konečných prostor vedena trubička PE a do ní jsou prostřednictvím metody zafukování přivedena jedno až dvě optická vlákna s délkou 2–6 km. I pro tento systém jsou speciální spojky, ať už pro samotné trubičky, nebo určené k rozbočení. Instalace spočívá ve správném uložení optických vláken do trubiček PE a jejich následném spojení. To je prováděno standardními metodami, cílem je zacelení pláště kabelu a ochrana optického vlákna před působením vnějších vlivů. Toho lze dosáhnout za předpokladu, že materiál pláště bude slučitelný s materiálem objímky, a to včetně teploty určené pro jejich spojování. Dále zvolené postupy musí poskytovat možnost uložení spojky do země, a to ne vždy jen a pouze do pevné země (např. mokřiny, bažiny apod.), nebo zde musí existovat alespoň eventualita uložení do tzv. kabelové komory, která bude přístupná. Stejně tak je požadavkem na určené postupy, aby byly použitelné v extrémních teplotách i při celkových změnách počasí. V neposlední řadě musí být pamatováno na přístupnost systému, tj. možnost opakovaného otevření i uzavření samotné spojky bez přerušení okruhů v provozu. Samozřejmostí je odolnost spojek proti působení vnějších vlivů. Při volbě spojky musí být pamatováno na její kapacitu vláken a také na organizaci vláken, aby vznikla dostatečná rezerva vláken v době opravy uvnitř spojky. Tyto skutečnosti je třeba sledovat již při montáži, kdy je spojka dostupná. Nutno však dodat, že téměř všechny uvedené podmínky se odvíjejí od finančních a materiálních kritérií zadavatele. [1, 32]

Uvnitř spojky musí být vlákna správně uspořádána, a to včetně rezervy pro případné poruchy. Je třeba také počítat s tím, že spojení vlákna při montáži se mnohdy musí opakovat, a to z důvodu dosažení stanoveného útlumu spoje. Vlákna jsou pak ukládána do dutiny spojky takovým způsobem, který je vhodný vzhledem k typu spojky a k počtu vláken. Pro spojování plášťů optických kabelů je využíváno termoplastových smršťovacích materiálů, přičemž spojovací objímka může být také z tohoto materiálu nebo ve formě trubky či pásku. Pro objímku lze vytvořit vodotěsný uzávěr, pokud bude na její vnitřní plochu použit za horka tající materiál. [1]

Spojka musí splňovat určité předpoklady kvality, jež jsou ověřovány zkouškami simulujícími reálné prostředí. Tyto zkoušky se dle jejich charakteru dělí na tři skupiny:

- Mechanické – odolnost proti tlaku, nárazu, tahu, ohybu v krčku spojky, proti vibracím.
- Elektrické – odolnost proti indukovaným (zkratovým) napětím; elektrická kapacita.

- Vlivy prostředí – teplotní změny, odolnost proti chemickým látkám, houbám, plísním, proti přetlaku ve spojce a stabilita při potopení do vody.

Tyto zkoušky musí být provedeny pro všechny velikosti a typy spojek, které jsou na trhu k dispozici.

Při návrhu a vytvoření trasy je cílem dodržení přenosových parametrů. Ty se odvíjejí od vlastností použitých prvků a také kabelových částí, které jsou nabízeny pouze v určitých výrobních délkách. Útlum kabelové části je tvořen několika složkami. Výsledný útlum je pak dán jejich součtem dle vztahu [1]:

$$a = \sum_{n=1}^m \alpha_n + L_n + a_s \cdot x + a_c \cdot y, \quad (1.7)$$

kde je:

$\alpha_n$	koeficient útlumu n-tého vlákna,
$L_n$	délka n-tého vlákna,
$m$	celkový počet vláken,
$a_s$	průměrný útlum spojky,
$x$	počet spojek v sekci,
$a_c$	průměrný útlum konektorů
$y$	počet konektorů.

[1]

Pro vytvoření základních kabelových částí si lze zvolit mezi dvěma způsoby:

- vybrat vlákna z jedné kategorie a uvažovat její nejvyšší hodnotu útlumu,
- vybrat vlákna z různých kategorií, ale za podmínky, že vytvořená základní kabelová část nepřesáhne stanovenou hodnotu útlumu.

U obou možných postupů je třeba počítat s jistou útlumovou rezervou, protože téměř všechny trasy a sítě podléhají jak vývoji situace v jejich okolí, tak i času. Hodnota útlumu se pak může zvyšovat z důvodu stárnutí kterékoliv části trasy, může dojít k jejímu případnému rozšíření prostřednictvím dalších spojek či odboček, mohou nastat ztráty na základě teplotních změn.[1, 32]

Všechny vytvořené trasy, sítě a jejich části musejí být při výstavbě, montáži a před samotným uvedením do provozu správně proměřeny. Měření se provádí na základě stanovených technických podmínek příslušných doporučení ITU-T vždy pro jednotlivé části nebo celek. Jen tak je možná prokazatelnost výsledků měření, na kterých se dále spočívá spolehlivost celého projektu. [1, 32]

Měřením lze získat celou řadu údajů a hodnot o trasách; k nejsledovanějším parametrům patří měření útlumu, chybovosti, šířky pásma a citlivosti optických přijímačů.

### c) Pokládka pod vodou

Jedná se o další způsob uložení optického kabelu, při kterém je pokládka realizována pod vodou. Může se jednat o dva způsoby položení, a to buď pod dno, nebo na dno vodních toků a nádrží, ať již uměle vytvořených či přírodně vzniklých, pokud to dovolují podmínky. Potoky, řeky, jezera atd. mohou mít různé hloubky, může se tedy jednat i vody mělké. Na základě těchto skutečností je pak zvolen způsob položení optického kabelu, a to buď volně do výkopu nebo trubky, či z lodi. Ochrana kabelů je realizována mechanickým pokrytím, kabely jsou také opatřeny armováním a vodotěsnosti kabelu je dosaženo jeho vyplněním k tomu určeným

materiálem. V lokalitách určených k rybolovu je případně položený optický kabel chráněn dvojitým armováním.[1]

### Vyhledávání optických kabelů u podzemních tras

Díky charakteru tohoto způsobu položení se může zdát složitější přístup k požadované části trasy, protože ji nelze spatřit pouhým okem. Z tohoto důvodu mohou mít optické kabely uvnitř svého pláště (duše) instalován metalický pár, aby bylo možné měření izolačního stavu kabelu nebo vyhledávání úložného kabelu.

Pokud se však jedná o celkově dielektrické kabely, výše zmíněný způsob by nepřinesl žádné výsledky. Proto se při použití takových kabelů k nim přikládají značkovače (markery), které lze snadno lokalizovat a tím pádem i přesně stanovit místo kabelu a také hloubku, ve které je uložen. [1, 32]

### 3.3.2 Výhody a nevýhody podzemních montáží optických tras

Výhodou podzemních montáží optických tras je jednoznačně vyšší odolnost celého systému. I když se v těchto podmínkách také vyskytuje mnoho faktorů, které na optické kabely negativně působí, lze je zabezpečit mnohem efektivněji, než tomu je u nadzemních instalací. Další skutečností je, že podzemní pokládka není téměř vůbec vystavována žádnému pohybu a tím je zajištěna daleko vyšší stabilita trasy. I v tomto případě vyvstává myšlenka týkající se působení různých přírodních vlivů, jako jsou otřesy půdy, sesuvy, vlhkost, změny teploty a v jejich důsledku i změny stavu země, avšak proti uvedeným vlivům se lze bránit daleko lépe, než je tomu u nadzemních tras. Nevýhodou zatím stále ještě může zůstat přetrvávající časově i finančně náročnější realizace, a to hlavně z důvodu nutnosti provedení výkopů při pokládce. Výkopové práce nejsou náročné jen při samotném uskutečňování, kdy je třeba zohlednit ve větší míře lidský faktor a speciální přístroje, ale také již při návrhu může být projektování trasy komplikováno nutností zjišťovat stav půdy nebo případné uložení jiných vedení v daných místech, což obnáší minimálně nezbytnost kontaktovat příslušné úřady a osoby.

### Shrnutí

Účelem této části diplomové práce bylo vytvořit přehled možností a způsobů montáží optických tras. V závěru části o nadzemním i podzemním postupu jsou uvedeny výhody a nevýhody každé z metod.

Optické technologie mají skutečně velké možnosti, vysokou kvalitu a největší perspektivu z přenosových medií v současnosti, proto je cílem poskytnout jejich užívání široké veřejnosti. Z uvedených vlastností obou montáží vyplývá, že nadzemní instalace je sice snadněji a rychleji realizovatelná, ale zdaleka ne tak stabilní a odolná jako podzemní. Je proto snahou uvádět do praxe způsoby, které nejen budou ve větším měřítku poskytovat služby prostřednictvím optických technologií dalším uživatelům, ale také budou umožňovat budování sítí právě způsobem podzemní montáže.

Samotná realizace optické trasy je do značné míry závislá na lokalitě a také na finančních možnostech zadavatele. Příčinou toho, proč podzemní montáž zůstává oproti nadzemní stále ještě v pozadí, je to, že uživatel není buď schopen pokrýt náklady spojené s realizací, hlavně pak výkopové práce a vše s nimi spojené, nebo není v jeho silách ovlivnit situaci v žádané lokalitě (nedostupnost podzemní z důvodu bezpečnosti či obsazenosti jiným vedením). Je proto cílem nalézat řešení, která by poskytla možnost vytvoření optické sítě i na územích a v místech, kde to v minulosti bylo nepřijatelné.

## 3.4 Realizace výstavby optické trasy

V předešlých kapitolách byly popsány a vyhodnoceny některé současné komunikační možnosti přenosu datových informací. Největší pozornost byla věnována optickým technologiím. V následující kapitole bude prezentována praktická ukázka realizace výstavby optické trasy, která byla při vlastní vstupní analýze doporučena jako nejvhodnější volba pro vytvoření komunikační sítě v níže specifikovaném místě. Na základě rozboru byla navržena optimální varianta pokládky optické trasy a byl stanoven její technologický postup, včetně kontrol a měření.

### 3.4.1 Předmět a charakter výstavby

#### a) Zadání výstavby

Výstavba sdělovací kabeláže vychází z požadavku podniku tepelného zásobování ve městě Brně. Základním předmětem je výstavba komunikační sítě pro on-line přenos informací v oblasti automatizačních systémů řízení technologických procesů souvisejících s výrobou a distribucí tepelné energie.

Účelem je zajištění obousměrného a on-line přenosu z regulačních a měřicích zařízení, která jsou umístěna v domech odběratelů tepla. Jedná se o informace ze zabezpečovacího zařízení (havarijní stavy, zaplavení, přehřátí atd.), z regulačního zařízení (sledování parametrů, dálkové ovládání armatur atd.) a z měřicích zařízení (data z měřičů tepla atd.).

Výměňíková stanice tepelné energie v tomto případě představuje informační sběrný bod, který je dále napojen na navazující metropolitní síť podniku tepelného zásobování. Přes tuto metropolitní síť jsou přenášeny potřebné údaje ke sledování a dalšímu zpracování na centrální dispečinku teplárenské společnosti.

Vedle primárního účelu (přenos technologických dat) požaduje investor (teplárenská společnost) vysokou kapacitu přenosu pro budoucí zajištění doplňujících služeb na bázi webových aplikací. K hlavním požadavkům investora patří: vysoká kapacita a kvalita přenosu, maximální využití stávajícího zařízení v majetku investora, ekonomicky nenáročná řešení, nedlouhý a nekomplikovaný termín realizace a minimalizace spojů na kabeláži.

#### b) Charakteristika trasy

Oblast, v níž bude provedeno zasíťování sdělovací kabeláží, se nachází v městské části Brno – Líšeň. Oblast je vymezena samostatně stojící výměňíkovou stanicí VS2 Synkova v majetku investora, ze které je dodávána podnikem tepelného zásobování tepelná energie do okolních sídlištních domů, postavených na ulicích Synkova a Zikova.

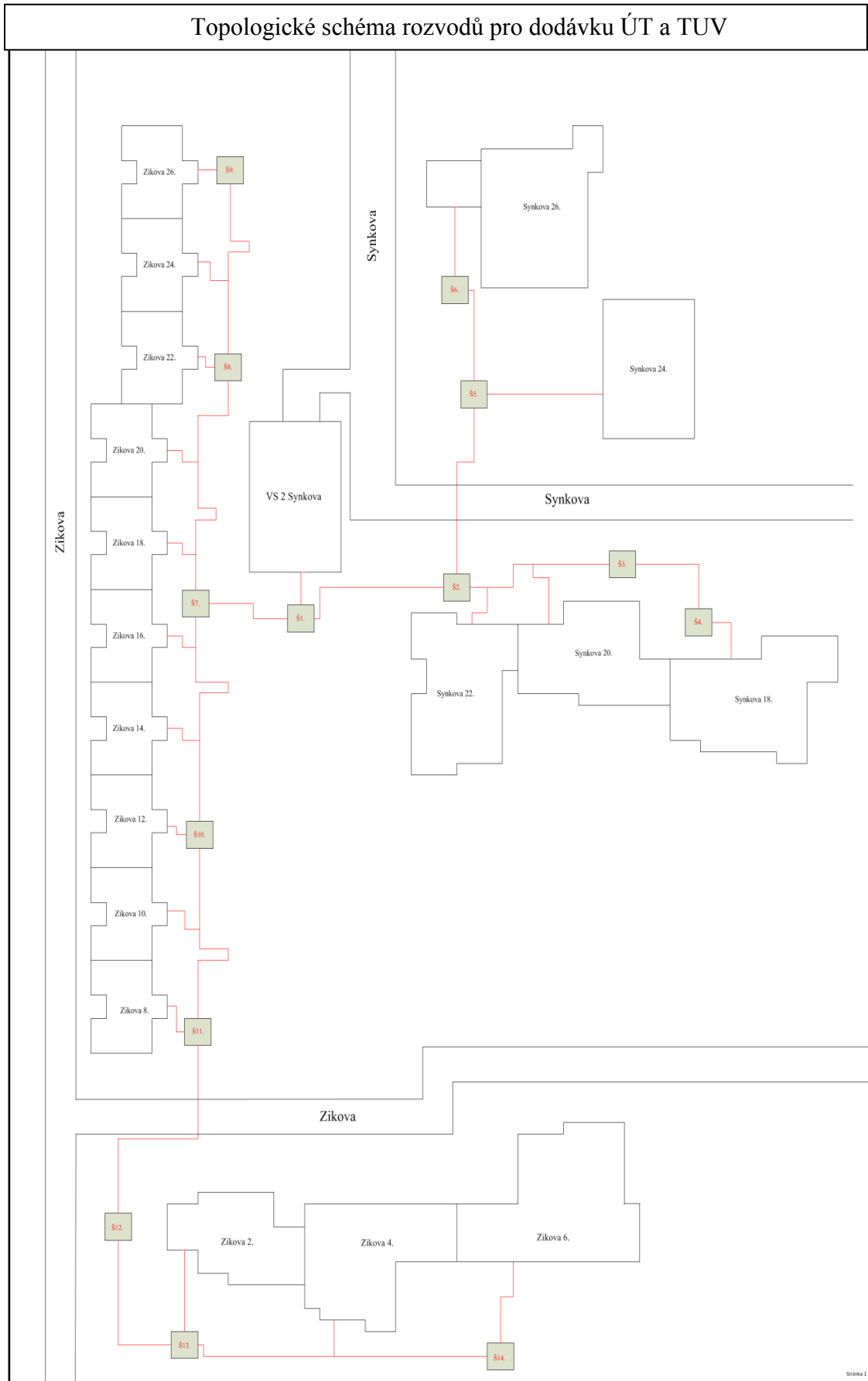
Na ulici Zikova jsou dva sídlištní bytové domy (deseti-vchodový blok a tří-vchodový blok). Na ulici Synkova stojí jeden sídlištní bytový dům (tří-vchodový blok) a další dvě samostatně stojící budovy občanské vybavenosti (základní škola a mateřská škola).

Při umístění kabelových tras je důležité zohlednit systém vytápění sídlištních domů, přičemž klíčová je změna způsobu jejich vytápění.

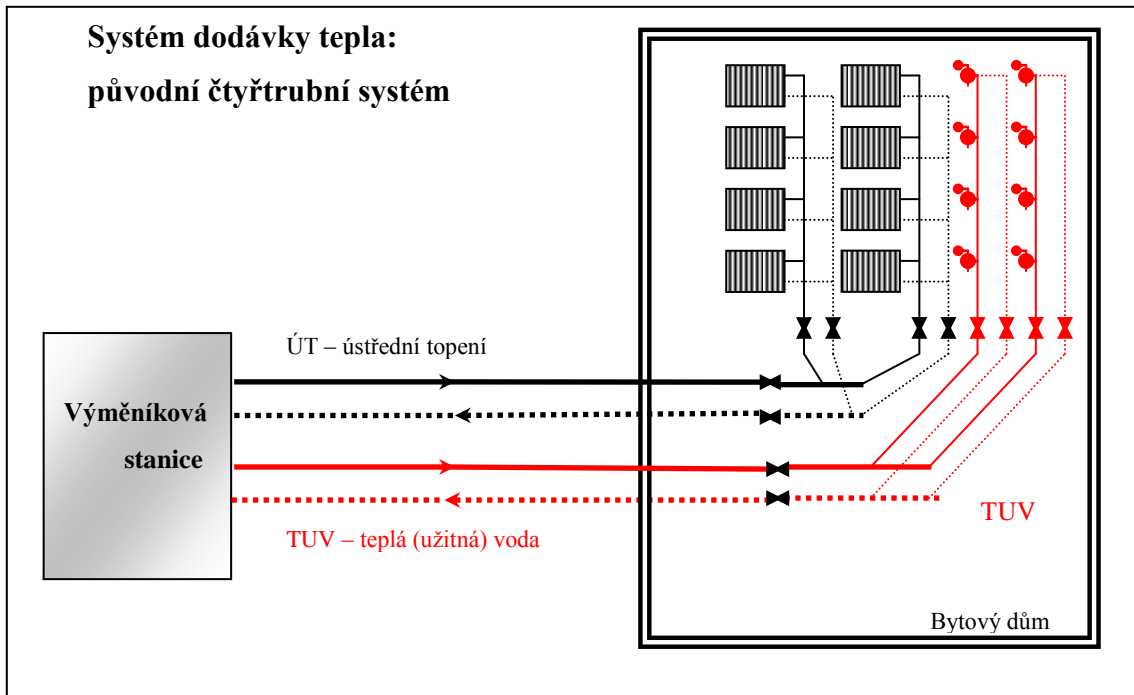
Dodávka tepla pro sídlištní domy, respektive pro jednotlivé vchody, je realizována pomocí teplovodní podzemní potrubní sítě v majetku investora. Dodávka tepla je zajišťována z výměňíkové stanice, která je napojena na rozsáhlou městskou síť horkovodů. V horko/teplovodních výměňících umístěných ve výměňíkové stanici dochází k ohřevu vody, ta je pomocí čerpadel distribuována dále a díky přívodnímu a vratnému potrubí dochází k její neustálé cirkulaci.

Před změnou systému vytápění byly sídlištní domy vytápěny tzv. čtyř-trubním systémem (viz schéma), který zahrnuje přívodní a vratné potrubí pro ústřední vytápění a přívodní a vratné potrubí teplé vody (dříve teplé užitné vody).

# Topologické schéma rozvodů pro dodávku ÚT a TUV

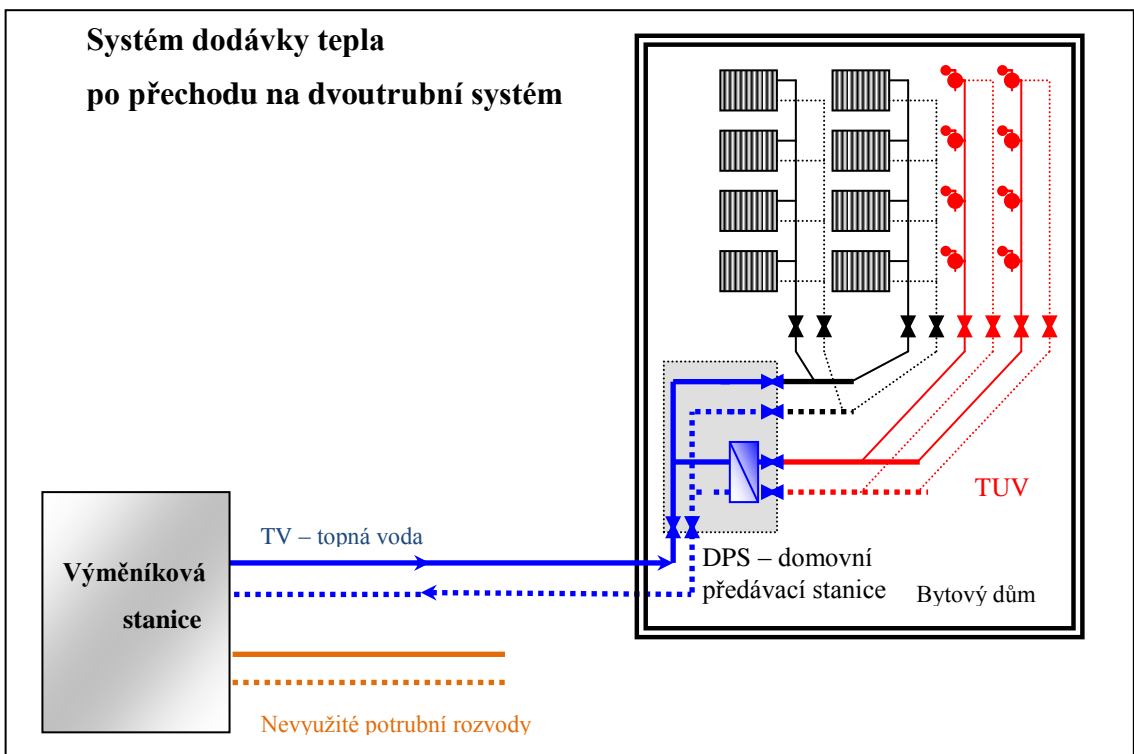


Obr. 3.1: Topologické schéma rozvodů pro dodávku ÚT a TUV



Obr. 3.2: Systém dodávky tepla: původní čtyřtrubní systém

Probíhající modernizace a optimalizace v teplerenském sektoru si postupně vynutila efektivnější způsob dodávky, a to tzv. dvoutrubním systémem (viz Obr. 3.3), který zahrnuje dodávku tepla k sídlištním domům pomocí jediného přívodního a vratného potrubí topné vody. Při tomto způsobu dodávky jsou u odběratelů umísťovány domovní předávací stanice, jež jsou vybaveny potřebnou technologií (výměníky, čerpadla) a automatikou (snímacími, měřicími a regulačními prvky), které zabezpečují dodávku tepla ústředního topení a teplé vody.



Obr. 3.3: Systém dodávky tepla po přechodu na dvoutrubní systém

Po ukončení přechodu z čtyřtrubního systému vytápění na dvoutrubní jsou přírodní a vratné podzemní potrubní trasy teplé užitkové vody odpojeny od dřívějšího systému vytápění.

Potrubní rozvody jsou standardně vedeny přes šachty, které se nacházejí po celé délce trasy, vždy s odstupem řádově několika desítek metrů od sebe. Účelem šachet je umožnění snadnějšího přístupu k potrubí v jeho určitých částech. Celková délka tras měří v našem případě okolo 1000 m. Potrubní trasy jsou tvořeny páteřními rozvody o větší jmenovité světlosti DN 80 (Diameter Nominal), DN 65, ze kterých vedou odbočky k jednotlivým domům DN 50.

### 3.4.2 Vstupní analýza výstavby

#### a) Zhodnocení možností způsobů realizace

Na základě předmětu, účelu a lokalizace oblasti díla se nabízí několik variant výstavby komunikační sítě:

- Bezdrátové řešení – podotýkáme, že existuje i několik desítek způsobů bezdrátového spojení (rádiové, mikrovlnné, wifi apod.). Tento způsob spojení byl investorem zamítnut, zejména kvůli omezené kapacitě přenosu a snížené bezpečnosti a kvalitě spojení.
- Metalické kabelové trasy – představují možnou variantu řešení, ale tento druh řešení byl investorem odmítnut, zejména kvůli požadované vysoké kapacitě přenosu (hlavně s ohledem na budoucí rozvoj) a zajištění doplňujících služeb vlastním odběratelům tepla na bázi webových aplikací.
- Optické kabelové trasy – tento druh řešení plně splňuje požadavky investora.

#### b) Rozbor metod montáží optických tras

V předešlých podkapitolách byla podrobně popsána montáž optických tras. Vyplývá z ní, že se nabízí několik způsobů řešení vedení optických tras:

- Nadzemní montáž – příslušná část sídliště pro výstavbu optické trasy umožňuje nadzemní propojení kabelů, a to lze uskutečnit propojí mezi střechami jednotlivých domů a tažením kabeláže po rovných pochůzných střeších na pomocných stojanech s konečným propojem vedoucím na střechu výměňkové stanice. Propoj mezi střechou a domovní předávací stanicí by byl veden kabelovou šachtou domu. Vedle nevýhod uváděných v předešlých podkapitolách, které nadzemní montáž detailně představují, nebyla tato metoda doporučena kvůli nedostatečnému využití majetku investora, tj. prázdným potrubním trasám, a kvůli zdlouhavému řešení a nejasnému schvalování výstavby při její verifikaci u organizací městské části a u majitelů (správců) domů.
- Podzemní montáž – výběr podzemní montáže optických tras byl již v minulých kapitolách pro své nepopíratelné klady (vysoká stabilita, odolnost a životnost) vyhodnocen jako jeden z nejlepších způsobů tvorby sítí, přesto je nutno zmínit, že podzemní montáže kvůli složitému plánování a projektování výkopových tras (úřední povolení, pozemková vlastnictví a práva, ochranná pásma ostatních inženýrských sítí atd.) a kvůli zdlouhavému a náročnému provádění výkopových prací patří k investičně nejnáročnějším dílům. Pokud ale pro podzemní montáže využijeme odstavené rozvody teplé užitkové vody, nabízí se nám několik výhod: dojde k maximálnímu využití stávajícího majetku (potrubních tras) investora, odpadá zdlouhavé a složité obstarávání úředních povolení a v konečném důsledku vzniká značná úspora finančních prostředků, které by bylo potřeba uvolnit na výkopové práce, protože stávající rozvody jsou v dobrém technickém stavu a poskytují pro kabelové rozvody vysoký stupeň ochrany proti nepřízní teplotních změn, proti hlodavcům a vandalismu. Pro výstavbu optických tras byla tedy vybrána podzemní montáž s využitím trubní rozvodů po teplé užitné vodě. Důležité je rovněž to, že investor (vlastník rozvodů) má přístup do všech uvedených

domovních předávacích stanic, do výměňkové stanice a do všech šachet. Další nespornou výhodou je skutečnost, že rozvody jsou řádně zmapovány a vedeny v aktualizované technické dokumentaci.

Při podzemní montáži se nabízí několik způsobů provedení pokládky kabelů:

- Metoda zafukování – vzhledem k charakteru vedení trubních tras nelze tuto metodu využít, a to z důvodu existujících odboček a dilatačních smyček. Zde by pak při průchodu vzduchu místem rozvodu, v němž jsou trubky zalomeny do pravého úhlu, ztratil přetlak vzduchu svou sílu a nedošlo by k protažení optického kabelu na určené místo. Tato metoda je vhodná především u vodorovných tras patřičného průměru bez velkého množství odboček a dilatačních smyček. Metoda zafukování se používá pro zafukování do ochranných trubíc HDP, ve kterých je hladké vnitřní prostředí snižující tření při posunu kabeláže. Vzhledem k tomu, že v našem případě mají potrubní rozvody na vnitřní stěně kovové inkrusty, tj. ostré zkorodované kovové a minerální výstupky, nelze do těchto rozvodů ochranné trubice HDP zatáhnout, navíc by se jednalo o neekonomický a zbytečný doplněk, protože ochranné krytí kabelu je již zabezpečeno kovovou trubkou.
- Zatažení kabelu pomocí tlaku vody – nelze realizovat ze stejných důvodů, jako je tomu u metody zafukování. Tuto metodu lze praktikovat např. při tažení optického kabelu kanalizačním potrubím, které má velký průměr a jeho spádovost je zcela rozdílná od stávajících rozvodů.
- Zatažení kabelu pomocí protahovacího pera – jedná se o pokládku kabelu pomocí pera, které je využíváno zejména u elektroinstalačních prací. Vzhledem k již zmíněným inkrustám nelze montážní pero protáhnout. Taktéž množství odboček, dilatačních smyček a větší vzdálenost montážních tras zcela znemožňuje užití této metody.
- Zatažení kabelu pomocí sacího podtlaku – jedná se o metodu, při níž silným podtlakem na jedné straně uvádíme do přibližujícího se pohybu střelu opatřenou pomocným lankem. Po ukončení sání a kompletním zatažení lanka připevníme ke konci lanka pokládaný kabel a tažením lanka zpět optický kabel zatáhneme. Tento způsob pokládky kabelů se osvědčil při výstavbě optické kabeláže v trubních rozvodech po teplé vodě, a proto je vybrán pro realizaci.

#### c) Stanovení rizik

Na základě výše uvedeného vstupního rozboru a seznámení se s charakterem trasy lze konstatovat, že vybraná metoda nepřináší žádné výraznější překážky pro vlastní realizaci. Jako určité malé riziko se může jevit eventuální nemožnost protažení střely potrubní trasou, především kvůli existenci inkrust, a to zvláště v ohybech. Pro tento případ se používají střely z různých alternativních materiálů, aby byl vnitřní prostor co nejvíce vytěsněn, ale střela přitom byla lehká a elastická. Pokud se nepodaří docílit protažení, lze poměrně přesně (pomocí délky zataženého lanka) lokalizovat místo kolize a v tomto místě pak naplánovat ohraničené výkopové práce a opravy potrubní trasy.

I když je v požadavcích investora minimalizovat kabelové spoje, může dojít při realizaci ke kolizím, které se vynutí použitím spojek. V tomto případě se provede svařováním a pomocí spojek běžný spoj optických kabelů.

### 3.4.3 Vlastní realizace výstavby

#### a) Vstupní požadavky a podmínky pro realizaci

Při realizaci výstavby optické trasy je nutné splnit následující hlavní podmínky a požadavky:

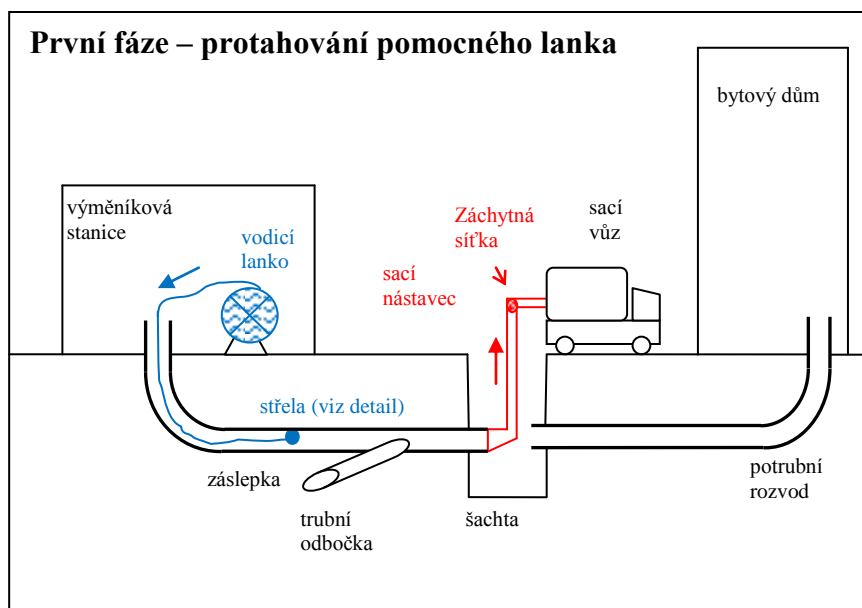
- Postupovat v souladu se schváleným prováděcím projektem. V případě změny pozastavit práce a vyvolat jednání zúčastněných stran.

- Veškeré nasazené stroje, přístroje, pomůcky a přípravky musí být homologované pro použití v ČR.
- U použitého vyhrazeného technického zařízení musejí být splněny podmínky užití a provozu, provedeny patřičné zkoušky, technické kontroly, atesty, revize atd.
- Musejí být dodrženy předpisy bezpečnosti a ochrany zdraví a požární ochrany. Zejména při práci v šachtách musí být provedeno bezpečnostní značení a okolí šachty musí být řádně ohraničeno, a to nejméně 3 m okolo šachty.
- Pracovníci provádějící montáž musí být řádně proškoleni a poučeni, musí používat ochranné prostředky a pomůcky.
- Pracovníci musí dodržovat montážní, přepravní, skladovací a ostatní podmínky a pokyny jednotlivých výrobců používaného zařízení.
- Pracovníků musí být dostatečný počet, zejména při práci v šachtách je nutný dohled vně šachty. Při zatahování je zapotřebí mít pracovníky na obou stranách potrubní trasy. Důležité je zejména nedotýkat se odvíjejícího se lanka a nezasahovat do strojů při sání střely. Zejména při zatahování pomocného lanka je důležité využívat vysílačky a pravidelně informovat o všech skutečnostech souvisejících s prací na obou stranách trubní trasy.
- V některých případech je nutné přístup k zařízení a do objektů třetích osob, je nutný souhlas (smluvní vztah, dohoda atd.) s majiteli nebo správcí těchto objektů.
- Demontované a nevyužitelné zařízení řádně uložit a zlikvidovat (sběrna surovin, ekologický dvůr atd.). Dbát pořádku, čistoty a nízké prašnosti na pracovišti, zabránit ekologickým škodám, dodržovat dopravní předpisy a zbytečně nenarušovat dopravní obslužnost.

#### b) Technologický postup

##### Přípravná fáze:

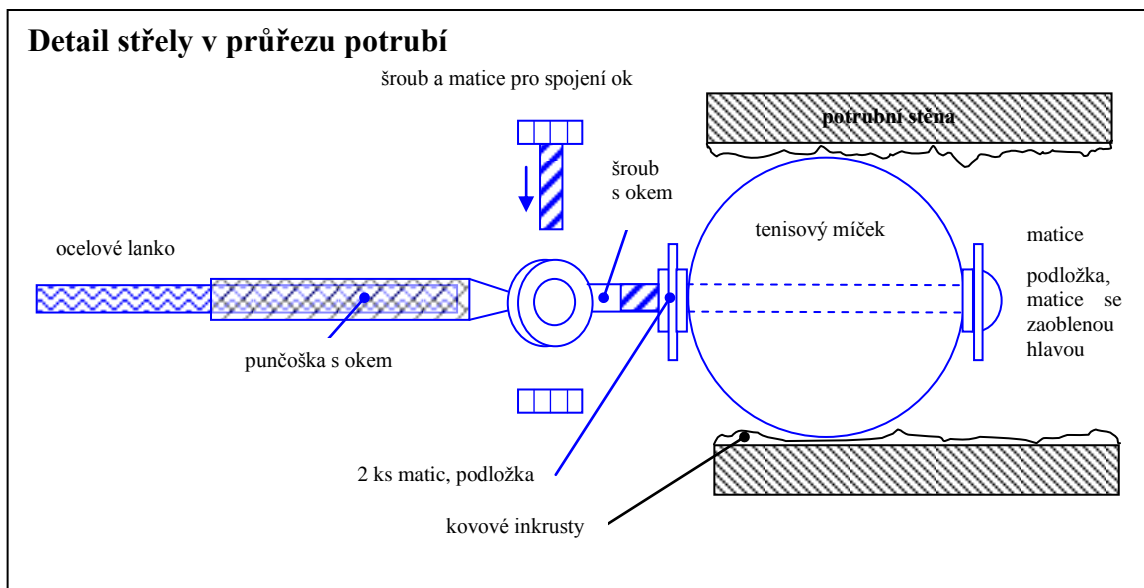
- Zmapování jednotlivých úseků potrubních rozvodů teplé vody, kontrola projektu a ostatní dokumentace vedení potrubních tras.
- Lokalizace šachet (jejich otevření, případné vyčištění, zajištění přístupu pro provedení montážních operací).
- Vyřezání potrubí teplé vody v šachtách (pro výstavbu optické kabeláže je nutné vyřezat v šachtách trubní díly). Vyřezání je prováděno řezací soupravou acetylen – kyslík, po ukončení řezání a vytažení vyřezaných částí jsou trubní konce začištěny úhlovou bruskou.
- Určení směru protahování pomocných lanek a optických kabelů.
- Odmotání patřičných délek optických kabelů dle jednotlivých tras s rezervou pro odříznutí a napojení.
- Příprava strojů, přístrojů, pomůcek, přípravků a ostatních bezpečnostních prvků.



Obr. 3.4: První fáze - protahování pomocného lanka

První fáze – zavedení pomocného lanka:

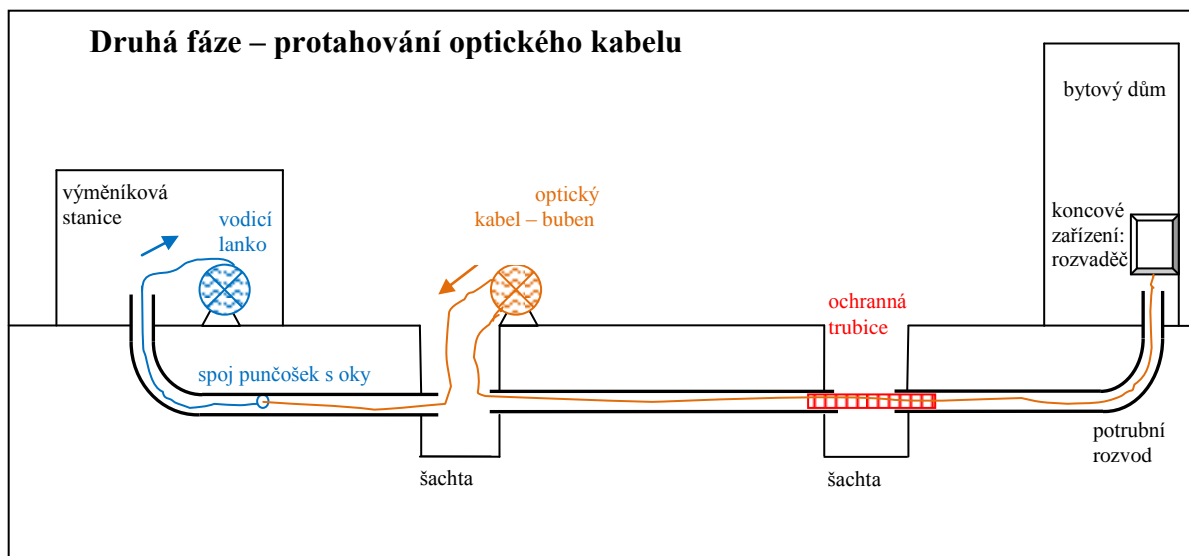
- Připevnění sacího nástavce – ve zvolené šachtě je pomocí vyrobeného závitu uchycen k trubnímu konci sací nástavec, který je na druhém konci připevněn pomocí uzávěru k sacímu vozu.
- Příprava chlazení sacího vozu – vzhledem k možnosti přehřívání vývěvy při sání je k sacímu vozu připojen pomocný ventilátor, který vzduchem ochlazuje vývěvu.
- Zaslepení odboček – závitovými uzávěry nebo svarovými poklopy uzavřeme konce odboček, které jsou napojeny na zvolenou trasu.
- Zhotovení střely – z tenisového míčku (dle dimenze potrubí lze použít molitanové míčky a koule různých velikostí), sady spojovacího materiálu a punčošky s okem, kterou navlékneme na pomocné lanko, vytvoříme rozebíratelnou střelu, již vsuneme do opačného konce potrubí proti sacímu nástavci.
- Kontrola a příprava pomocného lanka, kontrola vhodné délky a uložení, ukotvení odvíjecího stojanu. Kontrola dodržení podmínek bezpečnosti práce.
- Zavedení pomocného lanka – spuštěním sání (otevřením podtlakového ventilu) je podtlakem vzduchu střela nasávána do potrubního rozvodu. Střela za sebou táhne pomocné vodící lanko. Při sání je obsluhou kontrolováno odvíjení pomocného lanka a stav sacího vozu (přehřívání a plynulost chodu). V případě nedostatků je sání zastaveno.
- Ukončení zavedení – vytažení je zakončeno v sací hadici vozu, na jejímž konci je umístěna tzv. záchytná nádoba (sítko), která zabrání střele pokračovat dále do útroby sacího vozu. Úspěšné zakončení vytažení lanka je signalizováno akusticky i světelně, a sice rozsvícením LED (Light Emitting Diode) diody na straně vozu. Po zatažení lanka je demontován sací nástavec a střela.



Obr. 3.5: Detail střely v průřezu potrubí

#### Druhá fáze – protahování optického kabelu:

- Nastavení metráže – zjištěná délka optické trasy je převinutím a zkrácením přenesena na optický kabel, včetně rezervních délek (2 m až 10 m dle vlastní délky trasy). Pokud je do trubního prostoru zapotřebí zavést více kabelů, jsou připraveny i další kabely. Navázání optického kabelu – ke konci pomocného lanka, který je opatřen punčoškou s okem, je optický kabel připojen pomocí další punčošky s okem. Oka jsou propojena pomocí šroubu a matice. V případě zavedení většího počtu optických kabelů spojíme větší množství punčošek s oky.
- Lubrikace optického kabelu – v některých případech se při pokládání optického kabelu používají různé lubrikační materiály, které usnadňují průchod kabelu. Vzhledem ke stávajícím průměrům a k porézности vnitřního prostředí potrubí se od použití lubrikantů upustilo, protože lubrikant se kvůli nehladkému vnitřnímu prostředí nerozprostře po celé délce.
- Zatahování optického kabelu probíhá ručně. Po vytažení kabelu je provedena kontrola poškození pláště kabelu, poškozená (odřená) část kabelu (obvykle 2–5 m) je odříznuta.
- Protahování šachtou – při protahování přes šachtu se optický kabel navléká do ochranné trubice, která je na obou trubních koncích v šachtě zasunuta v délce 20–50 cm do potrubí.



Obr. 3.6: Druhá fáze - protahování optického kabelu

Třetí fáze – připojení na koncová zařízení:

- Natažení kabeláže do koncového zařízení – kabeláž na obou koncích vychází z potrubí (průchodkou – víčkem s otvorem pro kabel) a je v objektech vedena do rozvaděčů pomocí kabelových lišt umístěných na stěnách objektů nebo pomocí kabelových lávek, které se nacházejí v prostoru výměňkové stanice.
- V rozvaděčích je umístěna optická kazeta, ve které je optický kabel zakončen.
- Z optické kazety jsou optické dráty pomocí optického konektoru připojeny do optického převodníku, v němž je přenos pomocí optiky ukončen.

c) Popis zařízení

V následující tabulce jsou uvedena veškerá použitá zařízení, nástroje, přístroje včetně stručné charakteristiky a uvedení výrobce.

Zařízení	Název zařízení	Popis zařízení
Optický kabel (požadavek investora)	Belden CDT OPTICS 9/125ITU G. 655 GUSN 724	Optický kabel, výrobce spol. Belden – univerzální kabel pro vnitřní i vnější užití s 24 vlákny. Příloha – technický list výrobce.
Koncové zařízení (požadavek investora)	Rozvaděč ZAMAT	Nástěnný plechový rozvaděč 800 x 600 mm.
	Kazeta na 12 svarů – WH – Huber + Suhner	Optická kazeta (včetně víčka, hřebinků a ochranné sváru), sloužící k zakončení optického kabelu pigtaily pomocí optické svářečky. (ostatní vlákna jsou uložena v kazetě bez zakončení).
	Konektor Huber + Suhner SC singlemode	Konektor pro rychlou montáž Quick Assembly optického kabelu.
	Optický konektor SIGNAMAX	Optický konektor 10/100 Base FX (065-1120 series).
Strojní zařízení pro montáž koncových zařízení	Svářečka optických vláken KEYMAN S1	Svářečka opt. vláken pro napojení konektoru včetně příslušenství (ochrana a mikroochrana sváru, stripovací kleště, lámačka optických vláken /CI-03/, čistič optických vláken).
Zařízení pro zavádění pomocného lanka	Vůz Praga V3S	Sací (fekální) vůz
	Ventilátor Škoda Octavia	Ventilátor pro chladiče aut – pomocný ventilátor pro chlazení vývěvy sacího vozu.
	Sací nástavec	Vysokotlaká hadice odolná vůči implozi, pomocí šroubení připevněná k sacímu ventilu vozu.
	Záchytná síť	Sítka (betonářská ocel $\varnothing$ 5 mm s oky 15 x 15 mm), umístěná jako mezikus mezi ventilem vozu a nástavcem pro připojení sacího nástavce.
	Vodící lanko	Ocelové lanko balené v PVC: - průřez 1,25 mm <sup>2</sup> pro užití do 50 m délky trasy, - průřez 2,5 mm <sup>2</sup> pro vzdálenosti od 50 m délky trasy.
	Odvíjecí buben	Odvíjecí buben na vodící lanko s brzdícím mechanismem.
	Záslepky	Závitové záslepky pro montovaná spojení u trubních odboček nebo víčka pro svarové zaslepovací spoje.
	Punčoška RUBBLE MASTER	Kabelové zatahovací punčošky s jedním okem.
	Spojovací materiál FERONA	Šroub s okem $\varnothing$ 10 mm, matice, šrouby a podložky M10.
Zařízení pro zavádění optického kabelu	Punčoška RUBBLE MASTER	Kabelové zatahovací punčošky s jedním okem.
	Lubrikant zn. IDEAL	Lubrikant pro snadnější zatahování kabelů.
	Odvíjecí buben	Odvíjecí buben na optické kabely.
	Ochranná trubice KOPOS Kolín (KOPOFLEX)	Ochranná trubice při průchodu šachtou v místech, kde bylo vyřezáno potrubí.
	Víčka KOPOS Kolín	Víčka na potrubí s průchodem pro kabel.
Pomocné stroje a nářadí	Řezací souprava acetylén–kyslík	Pro demontáž (řezání) trubních rozvodů.
	Úhlová bruska NAREX	Pro úpravu trubních konců.
	Vysílačky MOTOROLA	Pro dorozumívání při zavádění lanka.

Tab. 3.1: Popis použitého zařízení

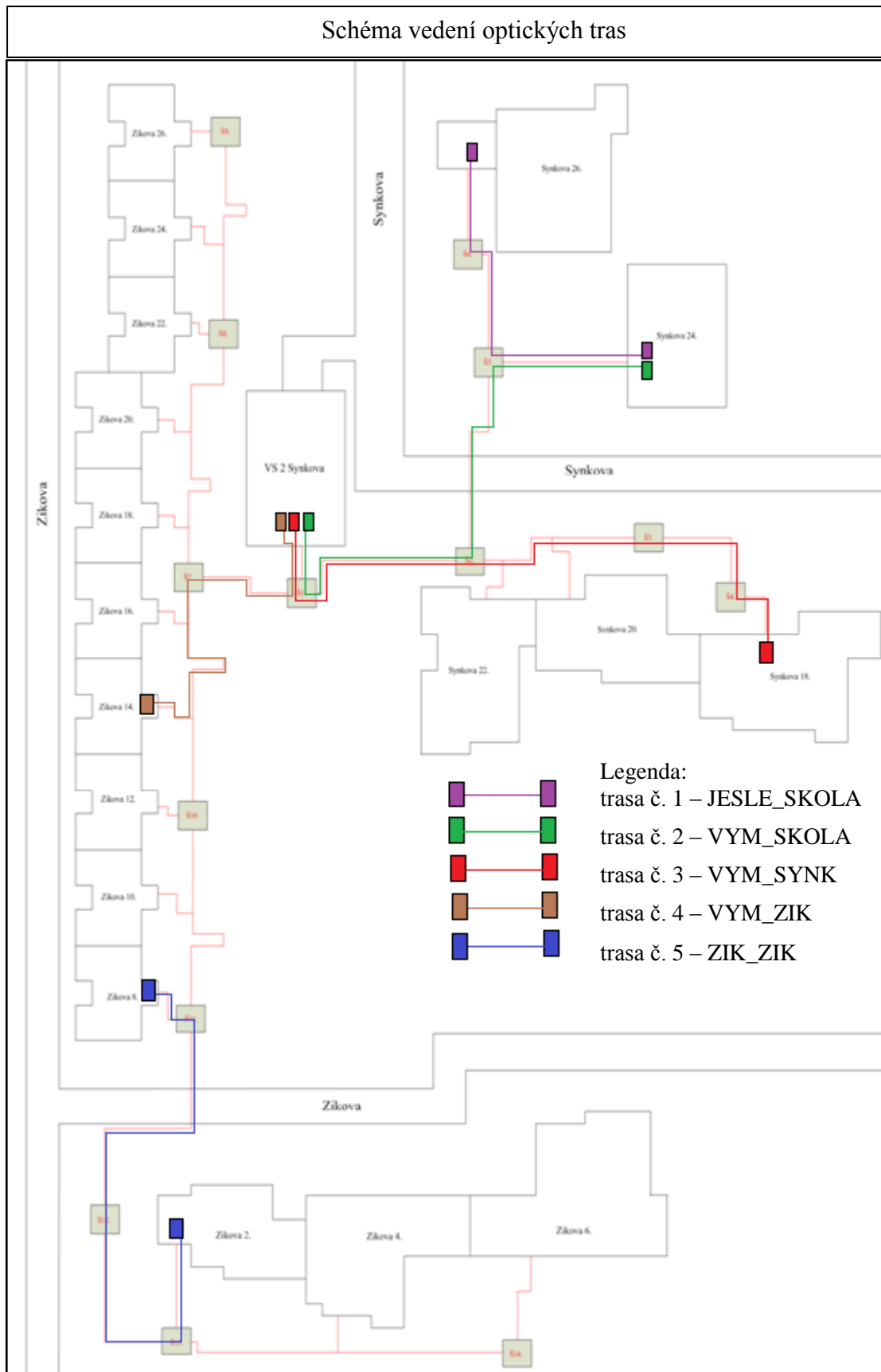
d) Popis vlastních optických tras

Podle požadavků investora byly pro realizaci optických tras vybrány následující optické trasy – viz tabulka s popisem a schéma vedení optických tras:

Trasa číslo	Označení trasy	Popis trubní trasy (trubní vedení a šachty)	Délka trasy (m)
1	JESLE_S KOLA	Koncové zařízení (KZ), výměňiková stanice (VS) – přívod teplé užitkové vody (TUV), jmenovitá trubní světlost 80 mm (DN 80) – šachta před VS – přívod TUV, DN 80 – šachta před Synkovou 22 – přívod TUV, DN 60 – šachta před mateřská školou (Synkova 24) – přívod TUV, DN 60 – KZ, mateřská škola (Synkova 24).	111,5
2	VYM_ SKOLA	KZ, mateřská škola (Synkova 24) – vrat TUV, DN 60 – šachta před mateřskou školou (Synkova 24) – přívod TUV, DN 50 – šachta před jeslemi (Synkova 26), nebyla využita – přívod TUV, DN 50 – KZ, jesle (Synkova 22).	176,7
3	VYM_ SYNK	KZ VS – vrat TUV, DN 80 – šachta před VS – vrat TUV, DN 80 – šachta před Synkovou 22, nebyla využita – vrat TUV, DN 80 – šachta před Synkovou 20 – vrat TUV, DN 65 – šachta před Synkovou 18, nebyla využita – vrat TUV, DN 50 – KZ, Synkova 18.	350,2
4	VYM_ ZIK	KZ VS – vrat TUV, DN 80 – šachta před VS – vrat TUV, DN 80 – šachta před Zikovou 16 – vrat TUV, DN 80/50 – KZ, Zikova 14.	345,6
5	ZIK_ ZIK	KZ, Zikova 8 – přívod TUV, DN 50 – šachta před Zikovou 8 – přívod TUV, DN 80 – šachta u Zikovy 2 – přívod TUV, DN 80/50 – KZ, Zikova 2.	114,6

Tab. 3.2: Popis vlastních optických tras

## Schéma vedení optických tras



*Obr. 3.7: Schéma vedení optických tras*

e) Kontrolní postup a měření

Kontrolní postup po realizaci optické sítě byl stanoven ze strany investora a lze jej rozdělit do dvou částí:

- Pomontážní kontroly – předávací kontroly zahrnující vizuální kontroly, kontroly kompletnosti díla, kontroly správnosti uložení a uchycení, kontroly čistoty a správnosti zapojení. Výsledek těchto kontrol byl označen jako vyhovující.
- Předávací a závěrečné kontroly měřením – pro kontrolu optických kabelových tras byla investorem jako dostačující zvolena obousměrná měřicí metoda OLTS (Optical Loss Test Set), měřící celkový útlum jednotlivých kabelových tras na vlnových délkách 1310 nm a 1550 nm.

Obousměrná měřicí metoda OLTS – přímá metoda měření spočívající v měření vloženého útlumu, pro užití této metody je zapotřebí na jednom konci kabelové trasy vysílač (specifický zdroj světla), na druhém konci kabelové trasy přijímač (power meter). V našem případě bylo provedeno dvojí měření, a to měření A v jednom směru a měření B v druhém, čili opačném směru.

K měření byl použit přístroj FLUKE Networks Model DTX-1800, Main Adapter: DTX-SFM2, Main S/N (Serial Number): 1219013, Remote Adapter: DTX-SFM2, Remote S/N: 1219014, viz příloha C.

(přístroj umožňuje automatické ukládání dat a při propojení s počítačem, včetně vystavení jednotlivých protokolů: viz příloha B).

Výsledky měření

Trasa číslo	Značení trasy	(A/B) měření	Datum měření	Změřený útlum, vlnová délka 1310 nm	Změřený útlum, vlnová délka 1550 nm	Limitní velikost útlumu [dB]	Výsledek měření
1	JESLE_ SKOLA	A	25.04.12	0,28 dB	1,24 dB	2,81	Vyhovující
		B	25.04.12	0,49 dB	0,25 dB	2,81	Vyhovující
2	VYM_ SKOLA	A	25.04.12	0,55 dB	0,38 dB	2,88	Vyhovující
		B	25.04.12	0,87 dB	0,38 dB	2,88	Vyhovující
3	VYM_ SYNK	A	16.04.12	1,88 dB	2,01 dB	2,45	Vyhovující
		B	16.04.12	1,62 dB	1,67 dB	2,45	Vyhovující
4	VYM_ ZIK	A	16.04.12	0,60 dB	0,92 dB	2,55	Vyhovující
		B	16.04.12	1,06 dB	0,92 dB	2,55	Vyhovující
5	ZIK_ ZIK	A	16.04.12	0,70 dB	0,57 dB	2,21	Vyhovující
		B	16.04.12	0,92 dB	0,63 dB	2,21	Vyhovující

Tab. 3.3: Výsledky kontrolního měření

### 3.4.4 Vyhodnocení realizace výstavby

Pro komplexní vyhodnocení realizace výstavby byla na základě vstupních požadavků a podmínek sestavena skupina hodnotících kritérií.

- Kritérium č. 1 – vysoká kapacita přenosu: je dána vlastním výběrem optické trasy a optického kabelu, kdy je na základě technických hodnot vysoká kapacita zaručena.
- Kritérium č. 2 – vysoká kvalita přenosu: byly provedeny kontroly a testy měřením, které byly v rámci nastavených limitů vyhovující.
- Kritérium č. 3 – maximální využití stávajícího zařízení v majetku investora: vzhledem k tomu, že vedení kabeláže se podařilo po celé délce uložit v potrubních trasách v majetku investora, lze konstatovat, že tento požadavek byl splněn.
- Kritérium č. 4 – ekonomicky nenáročné řešení: pro vyhodnocení tohoto požadavku se nabízí srovnání s kompletní podzemní montáží, která zahrnuje výkopové práce, montáž průchodek a průvlaků, instalaci ochranné trubice HDP, zásypové, úklidové a ostatní kompletační práce, a s kompletní nadzemní montáží, která zahrnuje vedení kabeláže kabelovými šachtami, výstavbu průchodek a stožárových konstrukcí, zavěšení pomocí nosného vodícího kabelu nebo lana, napojení a kompletaci.

Pro ekonomický výpočet byla jako měrná jednotka využita celková délka trasy (CD = zaokrouhloeno na 1 100 m) a průměry z ceníku organizace provádějící podzemní a nadzemní montáže kabelových tras.

Varianta	Celková délka	Cenový výpočet	Celkový cenový odhad (Kč bez DPH)
Stávající: vedení trubní trasou	CD=1100 m	Cena za kabeláž: CD x 1,2 x (cena/m) = 1584 m x 16,40 Kč= 25 977,00 Kč Cena za montáž: počet člověkodnů x denní sazba = 20 x 2500Kč = 50 000,00 Kč  Cena za koordinaci a ostatní materiál, zařízení a pronájmy a kompletaci: = 65 000,00 Kč	175 977,-
Podzemní vedení výkopy	CD=1100 m	Cena za kabeláž a HDPE: CD x 1,1 x (cena/m) = 1452 m x 47,40 Kč= 68 825,00 Kč  Kompletní cena za výkopové práce (prioritně v zeleném pásmu): 1320 m x (prům.cena/m) = 1320 m x 600 Kč = 792 000,00 Kč  Cena za montáž: počet člověkodnů x denní sazba = 15 x 2500 Kč = 37 500,00 Kč  Cena za koordinaci a kompletaci (projekt): 10 % z kompletní ceny za výkopové práce = 79 200,00 Kč	977 525,-
Nadzemní vedení: převěsy	CD x 1,3 = 1430 m	Cena za kabeláž a vodičí kabely: = CD x 1,3 x 1,1 x (cena/m) = 1887 m x 78 Kč = 147 186,00 Kč Cena za konstrukci: = počet stožárů x cena = 14 ks x 8700 Kč = 121 800,00 Kč Cena za montáž: počet člověkodnů x denní sazba = 18 x 2500 Kč = 45 000,00 Kč Cena za koordinaci a kompletaci (projekt): = 25 000,00 Kč	338 986,-

Tab. 3.4: Cenový výpočet jednotlivých provedení optických tras

Z tabulky je patrné, že zvolená varianta vedení kabelové trasy byla nejvýhodnější, a to 5,5 krát levnější než varianta podzemní s výkopy a dvakrát levnější než nadzemní varianta s převěsy.

- Kritérium č. 5 – nedlouhý a nekomplikovaný termín realizace: vzhledem k tomu, že nebyl prováděn zásah do cizího soukromého nebo veřejného majetku a pokládka i napojení optických kabelů bylo uskutečněno ve stávajícím prostoru a majetku investora, nemuselo být přistoupeno k tvorbě úřední dokumentace a k úřednímu schvalování, což výrazně zkrátilo termín realizace. Taktéž nedocházelo ke kolizím například s majiteli jiných sítí (vodovod, plynovod atd.). Celková doba výstavby od prvotní inicializace až po závěrečné kontroly a předání byla 15 pracovních dnů, což naplnilo původní očekávání.
- Kritérium č. 6 – minimalizace spojů na kabeláži: díky dobré propustnosti trubních tras nebyla mezi koncovými zařízeními narušena celistvost kabelu, což plně splnilo požadavek.
- Kritérium č. 7 – požadavky a podmínky pro realizaci dle čl. 3.3.3.1: v průběhu výstavby nedošlo k žádnému ohrožení bezpečnosti, zranění nebo porušení předpisů či legislativy ani k jiným negativním incidentům, proto lze konstatovat, že požadavky na realizaci byly také splněny.

## Shrnutí

Lze zhodnotit, že volba realizovat výstavbu optické kabeláže v jinak nevyužitém potrubním rozvodu byla velice efektivní a splnila veškerá očekávání a požadavky, jak po stránce technické, tak po stránce ekonomické i časové. Tento způsob pokládky optické kabeláže má omezené obecné možnosti aplikace, neboť je postaven právě na existenci již nevyužívaných potrubních podzemních tras. Avšak pokud jsou nevyužívané potrubní trasy u teplotních, plynárenských nebo vodárenských společností k dispozici, je zcela na místě zvolit tento způsob pokládky, a to právě pro jeho výhodnost v širokém spektru posuzovaných oborů a oblastí.

Popis uvedený v kapitole 3.4 vychází z reálného, v současnosti již provozovaného díla, přičemž je třeba vzít v potaz, že z důvodu ochrany informací důvěrného charakteru nebyly ze strany investora a realizátora výstavby optické trasy poskytnuty všechny informace a některé informační detaily.

## 4 ZÁVĚR

Cílem této práce, byl zejména popis specifického způsobu podzemní montáže optických kabelů za využití odstaveného potrubí TUV. Tato montáž přinesla především velkou úsporu nákladů.

Nejprve však bylo provedeno srovnání parametrů sítí s optickou a s metalickou kabeláží. Jednalo se především o parametry, jako jsou přenosová rychlost sítě, její vlastnosti, výhody i nevýhody a celková kapacita umožňující přenos signálu. Použitá teorie a data pocházejí z odborných zdrojů nebo ověřených praktických zkušeností. Sítě, které byly v rámci této práce navrženy, jsou spíše ilustrativního charakteru a jejich účelem bylo zobrazení toho, jak by mohly být sítě jednotlivých technologií provozovány.

Metalická kabeláž je technologie s velmi dlouhou historií, jež se stala základem mnohých řešení. Metalické sítě jsou dosud velmi výkonné a i tato technologie prochází stálým vývojem, který sice už není zdaleka tak dynamický jako dříve, přesto však také není zanedbatelný.

Optická kabeláž už rovněž prošla četnými změnami, na rozdíl od kabeláže metalické je zde ale ještě předpoklad velkých rezerv, a to je jedna z výhod, která staví optické technologie na pomyslné první místo, jeden z hlavních důvodů, proč další záměry, které povedou k praktické činnosti, budou směřovány k optickým technologiím. V této práci byly několikrát popsány kapacita, stabilita a výkon optických technologií, které jsou v podstatě nedostižitelné. Bylo také ale řečeno, že v porovnání s metalickou kabeláží dosud optickou kabeláž znevýhodňuje její poněkud náročnější realizace. Proto existuje snaha vyvíjet ještě jednodušší, méně nákladné a celkově časově méně náročné postupy umožňující vytvoření optické sítě, a to i s přihlédnutím k možnosti využít stávající prostředky, rozvody a prostory.

V další části diplomové práce byl podán přehled dlouhodobě známých a ověřených poznatků a bylo objasněno zdůvodnění výběru technologií dle aplikace a dle příslušných návrhů sítí. Neméně podstatná část práce byla věnována formám, metodám a rozdělení sítí z hlediska vlastní výstavby a realizace sítě.

Nosnou částí třetího oddílu je již zmíněná reálná praktická ukázka výstavby optické sítě, včetně vstupní analýzy, popisu, kontrol a zhodnocení. Popsána je výstavba optické kabeláže v jinak nevyužitém potrubním rozvodu, v závěrečném posouzení byla tato ojedinělá metoda vyhodnocena jako vysoce efektivní.

V současné době je velmi důležité vážit každý zásah do životního prostředí, zároveň však neustále stoupá potřeba dostupnosti informací. Popsaná metoda tak může být přijatelným kompromisem mezi dosažením vysoce komfortní přenosové sítě s poměrně rychlou návratností nákladů a šetrným přístupem k okolí při její realizaci.

# LITERATURA

- [1] FILKA, M.: *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. 1. vydání CENTA, Brno 2009. 369 s. ISBN 978-80-86765-14-1.
- [2] FILKA, M.: *Přenosová média*. Skripta VUT Brno.
- [3] FILKA, M.: *Optoelektronika*. Skripta VUT Brno.
- [4] KUCHARSKI, M., DUBSKÝ, P.: *Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras*. Mikrokom, Praha 2001.
- [5] PUŽMANOVÁ, R.: *Rodina xDSL ve zkratce*, Telekomunikace [online] 7. 6. 2004. Dostupné z URL: <<http://www.dsl.cz/clanek/5-rodina-xdsl-ve-zkratce>>.
- [6] VODRÁŽKA, J.: *Základy FTTx* [online]. 22. 5. 2006. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=zakladyfttx&cisloclanku=2006051702>>.
- [7] SCHLITTER, P.: *Optické přístupové sítě* [online]. 28. 7. 2004. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=opticke-pristupove-site&cisloclanku=2004072807>>.
- [8] VACULÍN J., *Aktivní FTTx sítě na produktech Maipu*, INTELEK Brno [online]. 14. 10. 2010. Dostupné z URL: <[http://www.intelek.cz/art\\_doc-8C1D561D9DD04703C12577A70025DD93.html](http://www.intelek.cz/art_doc-8C1D561D9DD04703C12577A70025DD93.html)>.
- [9] VODRÁŽKA, J., *Rozšiřování pásma u přípojky VDSL*. [online]. 3. 12. 2004. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004120302>>.
- [10] ARVAI L., *PON (Passive Optical Network)*. NetGuru [online]. 3. 5. 2011. Dostupné z URL: <<http://www.netguru.cz/odborne-clanky/pon-passive-optical-network.html>>.
- [11] CHLEBOUN J., *Metodika měření páteřní sítě*, diplomová práce. VUT Brno 26. 5. 2010.
- [12] AMBROŽ J., *Návrh, výstavba a měření optických přístupových tras*, diplomová práce VUT 26. 5. 2011.
- [13] LAFATA, P.: *Pasivní optické sítě s rychlostí 10Gbit/s* [online]. 10. 3. 2011. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/rservice.php?akce=tisk&cisloclanku=2005093001>>.
- [14] LAFATA, P.: *Pasivní optická přístupová síť EPON* [online]. 23. 5. 2009. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050003>>.
- [15] VODRÁŽKA, J.: *Optické přístupové sítě EPON a CWDM* [online]. 27. 7. 2005. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005070401>>.
- [16] VODRÁŽKA, J.: *Druhá generace VDSL2* [online]. 30. 11. 2005. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005093001>>.
- [17] VODRÁŽKA, J.: *Nové varianty přípojek ADSL* [online]. 3. 12. 2004. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004120301>>.
- [18] HÁJEK, J.: *Vývoj standardů pro kabelové modemy* [online]. 4. 12. 2005. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005112001>>.
- [19] Odborný článek: *Datové služby a Internet SHDSL/G.SHDSL.bis*, Radiokomunikace [online] 2010. Dostupné z URL: <<http://www.radiokomunikace.cz/korporatni-sluzby/pristupove-technologie/metalicka-vedeni/shdsl-g.shdsl.bis.html>>.

- [20] MARŠÁLEK, L.: *Optická vlákna, verze 2.1.3 VŠB – technická univerzita Ostrava* [online] 2006. Dostupné z URL: <<http://goro.czweb.org/download/interest/vlakna.pdf>>.
- [21] VODRÁŽKA, J.: *Přístupové sítě, ČVUT - FEL* [online]. 2010. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/>>.
- [22] PETERKA, J.: *Ethernet I. (Počítačová encyklopedie)*, týdeník CHIPweek 28/29 [online]. 15. 6 1998. Dostupné z URL: <<http://www.earchiv.cz/a98/a828k180.php3>>.
- [23] PETERKA, J.: *Báječný svět počítačových sítí, Část XXI.: Stomegabitový Ethernet*, týdeník PC World [online]. 1/2007. Dostupné z URL: <<http://www.earchiv.cz/b07/b0100001.php3>>.
- [24] PETERKA, J.: *Ethernet III. (Počítačová encyklopedie)*, týdeník CHIPweek 29 [online]. 11. 8 1998. Dostupné z URL: <<http://www.earchiv.cz/a98/a832k180.php3>>.
- [25] PETERKA, J.: *Počítačové sítě 3.5, přednáška, lekce č. 16*, [online]. 2011. Dostupné z URL: <<http://www.earchiv.cz/l222/slide.php3>>.
- [26] PETERKA, J.: *Koaxiální kabel a kroucená dvoulinka*, týdeník Computerworld č. 7/92, [online]. 1992. Dostupné z URL: <<http://www.earchiv.cz/a92/a207c110.php3>>.
- [27] PETERKA, J.: *Kroucená dvoulinka*, týdeník CHIPweek č. 44/96, [online]. 29. 10. 1996. Dostupné z URL: <<http://www.earchiv.cz/a96/a644k150.php3>>.
- [28] PETERKA, J.: *Strukturovaná kabeláž*, týdeník CHIPweek č. 46/96, [online]. 12. 11. 1996. Dostupné z URL: <<http://www.earchiv.cz/a96/a646k150.php3>>.
- [29] PETERKA, J.: *Počítačové sítě, v 3.2, část II. Univerzita Karlova Praha*, [online]. 2007. Dostupné z URL: <<http://www.earchiv.cz/l216/gifs/s3221.pdf>>.
- [30] PETERKA, J.: *Karneval digitalizuje a zavádí triple play*, Lupa.cz, [online]. 16. 12. 2005. Dostupné z URL: <<http://www.lupa.cz/clanky/karneval-digitalizuje-a-zavadi-triple-play>>.
- [31] PETERKA, J.: *Počítačové sítě, v 3.5 (přednáška, lekce č. 21)* [online]. 2011. Dostupné z URL: <<http://www.earchiv.cz/l222/slide.php3>>.
- [32] MARTÍNEK, M.: *Programové řešení dokumentace optických kabelů VUT* [online] 2. 6. 2009. Dostupné z URL: <[http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=16306](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=16306)>.
- [33] SCHLITTER, P.: *Mikrokabelážní systémy* [online]. 28. 7. 2004. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cislocclanku=2004072806>>.

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

2B1Q	2 Binary 1 Quaternary (modulace)
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AN	Access Node
AON	Active Optical Network
APON	Asynchronous Passive Optical Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
B-ISDN	Broadband Integrated Services Digital Network
BPON	Broadband Passive Optical Network
CAP	Carrierless Amplitude Phase Modulation
CATV	Cable Television
CMTS	Cable Modem Termination System
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DM	Dieselhorst-Martin
DMT	Discrete Multitone
DN	Diameter Nominal
DOCSIS	Data Over Cable Interface Specification
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
EIA/TIA	Electronics Industries Association/Telecommunications Industry Association
EPON	Ethernet Passive Optical Networks
FDD	Frequency Division Duplex
FEXT	Far end Crosstalk
FTP	Foiled Twisted Pair
FTTB	Fibre To The Building
FTTC	Fibre To The Curb
FTTCab	Fibre To The Cabinet
FTTEx	Fibre To The Exchange
FTTH	Fibre To The Home
FTTO	Fibre To The Office
FTTx	Fibre To The . . .
GEAPON	Gigabit Ethernet PON
GI	Graded Index
GPON	Gigabit PON
HDPE	High Density Polyethylene
HDSL	High-bit-rate Digital Subscriber Line
HFC	Hybrid fibre-coaxial
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISDN BRI	ISDN Basic Rate Interface
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISO/OSI	International Organization for Standardization/Open Systems Interconnection
ITU-T	International Telecommunication Union - Standardization
KZ	Koncové zařízení
LAN	Local Area Network
LED	Light Emitting Diode
MCS	Micro Cabling System
MM	Multimode

NA	numerická apertura
NEXT	Near end CrossTalk
OAN	Optical Access Network
OAN	Optical Access Network
ODN	Optical Distribution Network
OLT	Optical Line Terminal
OLTS	Optical Loss Test Set
ONT	Optical Network Termination
ONU	Optical Network Unit
OTN	Optical T
OTN	Optical Trunk Network
PE	Polyethylen
PE	PolyEthylene
PMP	Point To MultiPoint
PON	Passive Optical Network
POTS	Plain Old Telephone Service
PP	Point To Point
PTM-TC VDSL	Plesiochronous Transfer Mode-Transmission VDSL
PVC	Polyvinylchlorid
QAM	Quadrature Amlitude Modulation
QoS	Quality of Service
RADSL	Rate-Adaptive Digital Subscribe Line
REGPON	Reach Extended Gigabit Pasive Optical network
RJ45	Registered Jack 45
S/N	Serial Number
SDM	Space Division Multiplex
SDSL	Symetric Digital Subscribe Line
SM	Singlemode
SNMP	Simple Network Management Protocol
STP	Shielded Twisted Pair
TDM	Time Division Multiplex
TFTP	Trivial File Transfer Protocol
TUV	Teplá Užitková Voda
TV	Television
UTP	Unshied Twist Pair
VDSL	Very-high-bit-rate Digital Subscribe Line
VoIP	Voice over Internet Protocol
VoIP	Voice over IP
VS	Výměňíková Stanice
WAN	Wide Area Network
WDM	Wavelenght Division Multiplex
Wifi	Wireless Fidelity
WWDM	Wide Wavelength Division Multiplex
xDSL	x Digital Subscriber Line

# SEZNAM PŘÍLOH

- A Snímky z průběhu realizace výstavby optické trasy
1. Snímek č. 1: Příprava šachty – sestup
  2. Snímek č. 2: Vedení potrubí před odříznutím
  3. Snímek č. 3: Vedení potrubí po odříznutí
  4. Snímek č. 4: Vedení potrubí po odříznutí
  5. Snímek č. 5: Vedení potrubí po odříznutí
  6. Snímek č. 6: Protážení opt. kabelu – ochranná trubice
  7. Snímek č. 7: Rozříznuté potrubí – detail inkoust
  8. Snímek č. 8: Vytažení opt. kabelu v DPS, zaslepení druhého potrubí
  9. Snímek č. 9: Koncový rozvaděč v DPS
  10. Snímek č. 10: Vyvedení opt. kabelu v prostorách VS2
  11. Snímek č. 11: vedení opt. kabelu v prostorách VS2
- B Protokoly z průběhu měření
1. Protokol JESLE\_SKOLA\_A
  2. Protokol JESLE\_SKOLA\_B
  3. Protokol VYM\_SKOLA\_A
  4. Protokol VYM\_SKOLA\_B
  5. Protokol VYM\_SYNK\_A
  6. Protokol VYM\_SYNK\_B
  7. Protokol VYM\_ZIK\_A
  8. Protokol VYM\_ZIK\_B
  9. Protokol ZIK\_ZIK\_A
  10. Protokol ZIK\_ZIK\_B
- C Podkladové materiály - měřicí přístroj Fluke Network DTX-1800
1. Data Sheet Fluke Network DTX Model 1800, 1200, LT
  2. Prohlášení o shodě Fluke Network DTX-1800, 1200, LT
- D Data Sheet – optický kabel GUSN, společnost Belden
- E Příložené CD – obsah
1. Vlastní dokument diplomové práce
  2. Přílohy A, B, C, D

A Snímky z průběhu realizace výstavby optické trasy



*Snímek č. 1: Příprava šachty - sestup*



*Snímek č. 2: Vedení potrubí před odříznutím*



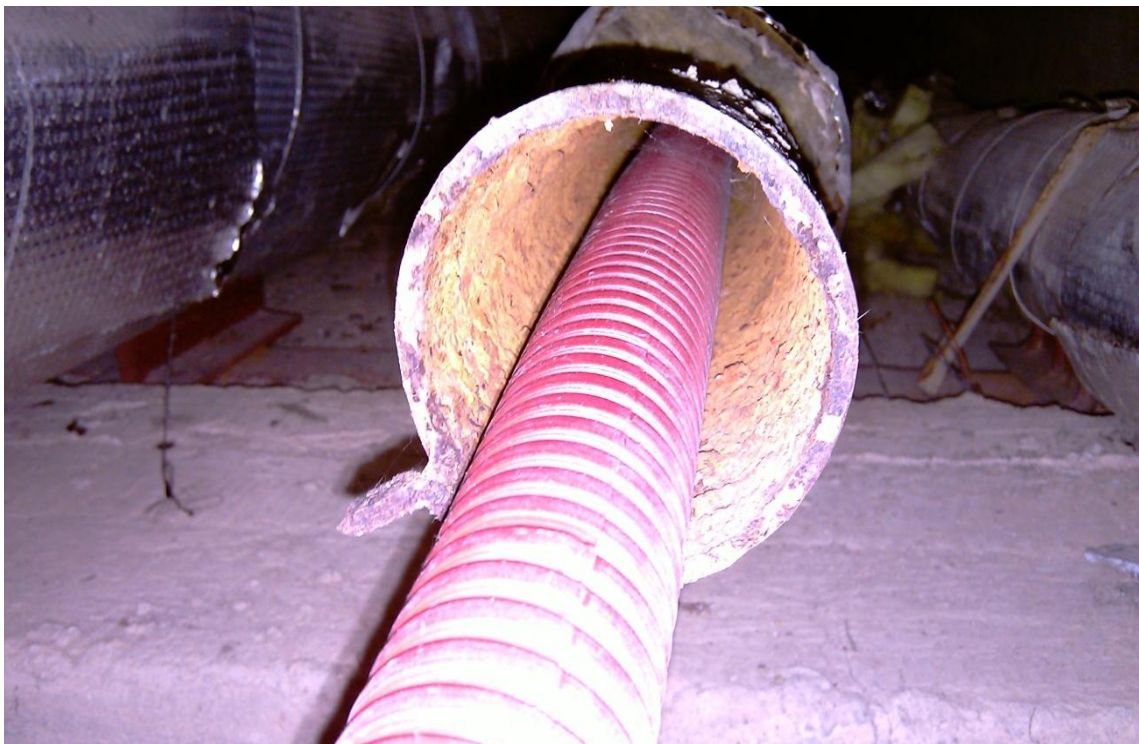
*Snímek č. 3: Vedení potrubí po odříznutí*



*Snímek č. 4: Vedení potrubí po odříznutí*



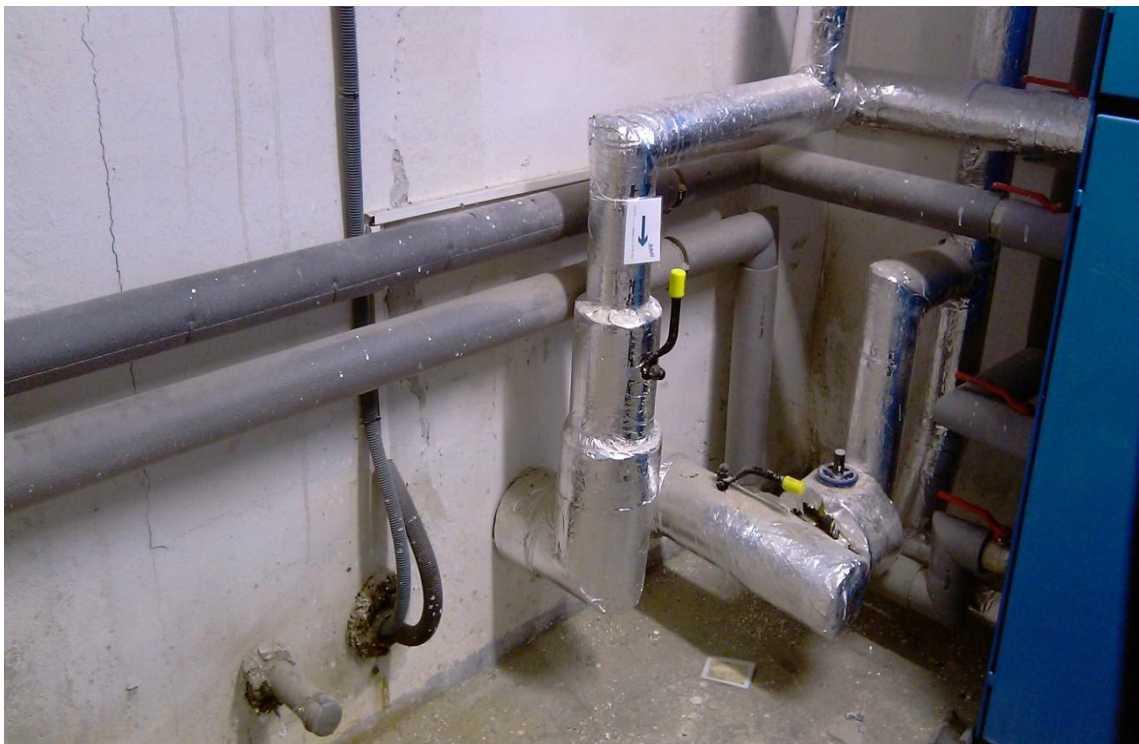
*Snímek č. 5: Vedení potrubí po odříznutí*



*Snímek č. 6: Protážení opického. kabelu – ochranná trubice*



*Snímek č. 7: Rozříznuté potrubí – detail inkrust*



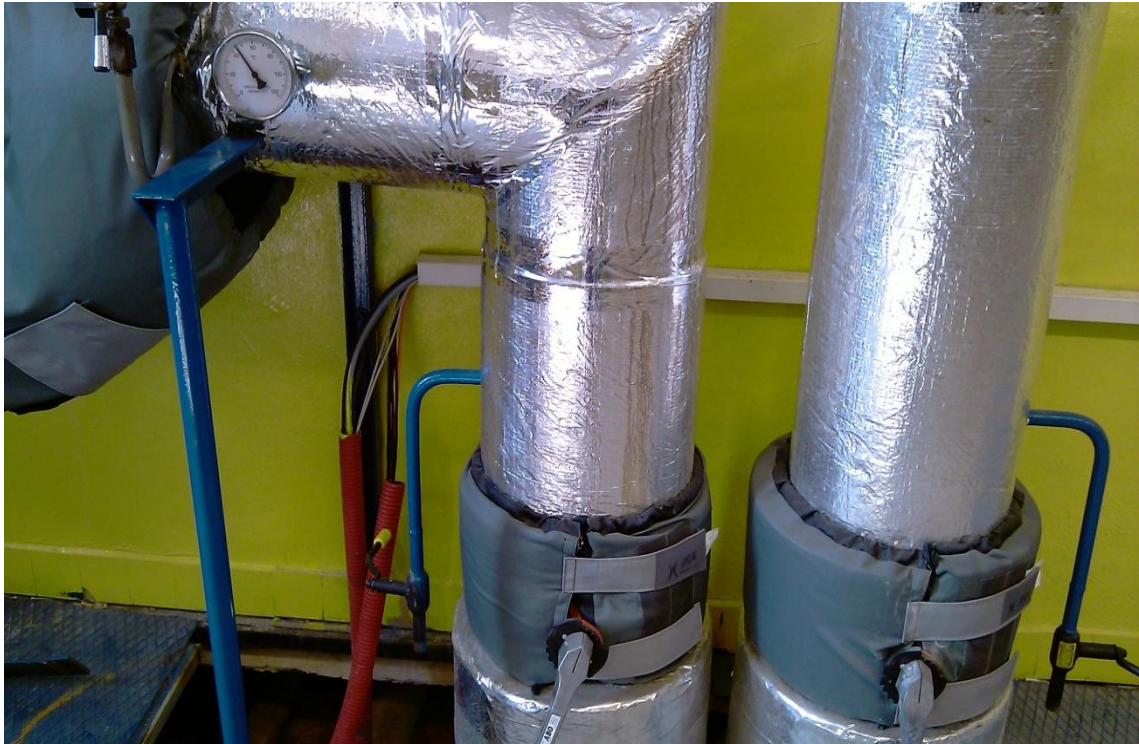
*Snímek č. 8: Vytažení optického kabelu v DPS, zaslepení druhého potrubí*



*Snímek č. 9: Koncový rozvaděč v DPS*



*Snímek č. 10: Vyvedení opt. kabelu v prostorách VS2*



*Snímek č. 11: vedení opt. kabelu v prostorách VS2*