

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií



Diplomová práce

Návrh optické sítě RD na venkově

Bc. Jiří Prek

© 2017 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jiří Prek

Informatika

Název práce

Návrh optické sítě RD na venkově

Název anglicky

Draft of optical network in country house

Cíle práce

Diplomová práce je tématicky zaměřena na problematiku optických přístupových sítí, které se stále více používají v domácnostech.

Hlavním cílem práce je navrhnout řešení optické přístupové sítě do vybraného rodinného domu na venkově a subjektivně posoudit správnost řešení tak, aby splňovalo potřeby koncového zákazníka(domácnosti).

Dílní cíle diplomové práce jsou:

implementace zvoleného řešení do vybrané domácnosti v co nejkratším termínu

-konfigurace koncových zařízení ve vybrané domácnosti tak, aby mohla bezproblémově využívat služeb internetového připojení.

-dohled na funkčnost nově zavedené optické sítě

Metodika

Metodika řešení problematiky diplomové práce je založena zejména na analýze literárních zdrojů a osobní spolupráci s firmou ELDATA pražská s.r.o. s jejíž pomocí bude návrh vyhotoven a schválen.

Vlastní řešení práce je realizováno formou návrhu, doporučení a následného postupného vyhotovení řešení v předem určeném harmonogramu. Na základě tohoto vyhotovení a poznatků vlastního řešení bude sestaven a formulován závěr diplomové práce.

Doporučený rozsah práce

60-80 stran

Klíčová slova

Optická přístupová síť, světlo, jednovidový, mnohovidový, optické vlákno, optické kabely, koncovka, ochranná vlákna, konektor, FTTx

Doporučené zdroje informací

BOHÁČ, Leoš – LUCKI, Michal. Optické komunikační systémy. 1. vydání. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2010 165 s. ISBN 978-80-01-04484-1.

FILKA, Miloslav, Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku, PROFiber, 2009, 369s., ISBN 978-80-86785-14-1

LAFATA Pavel- Optické přístupové sítě a přípojky FTTx, CVUT Praha, 2014, 294s., ISBN 978-80-01-05463-5

PUŤMANOVÁ, Rita. Širokopásmový Internet: Přístupové a domácí sítě. 1. vydání. Brno: Computer Press, 2004. 377 s. ISBN 80-251-0139-8.

SOSINSKY, Barrie, Mistrovství – počítačové sítě, Computer Press, 2013, 840s., ISBN 978-80-251-3363-7

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Martin Havránek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 21. 10. 2016

Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 10. 2016

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 13. 03. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Návrh optické sítě RD na venkově" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 31.3.2017

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Martinovi Havránkovi, Ph.D. za spolupráci, vzorné vedení a cenné rady při vyhotovení diplomové práce a také firmě ELDATA pražská s.r.o. za poskytnutí interních materiálů a odborný dohled.

Návrh optické sítě RD na venkově

Souhrn

Práce se zabývá návrhem a realizací přípojky optické sítě rodinného domu na venkově. Tyto technologie se dostávají více do popředí pro svoje charakteristické vlastnosti. Objekt byl doposud připojen pomocí bezdrátové sítě Wi-Fi a majitel s tímto způsobem připojení nebyl spokojen. Bylo tedy nutné vykonstruovat a následně realizovat návrh pro tohoto zákazníka, aby mohl využívat efektivně rychlé internetové připojení i přes fakt, že se nachází na malé vesnici. Po úspěšné implementaci návrhu byla provedena finální konfigurace optických prvků a důkladně otestována funkčnost spoje.

Při konstrukci byl kladen důraz na jednoduchost a efektivitu řešení a současně na promyšlené uložení a uschování kabelů tak, aby překážely zákazníkovi co nejméně. Na závěr zákazník konfrontoval firmu, aby informovalo o funkčnosti sítě po určité době používání.

Klíčová slova: Optická přístupová síť, světlo, jednovidový, mnohovidový, optické vlákno, optické kabely, koncovka, ochrana vlákna, konektor, FTTx

Draft of optical network in country house

Summary

This work is focused on suggestion and realization of an optical connection in a country house. These technologies are getting more and more to foreground due to its typical quality. The object was connected by wireless fidelity network (Wi-Fi) until now and owner was not satisfied with such a kind of connection. It was really necessary to construct and then realize some special suggestion for this customer to provide him fast internet connection even though he lives in a small village. After successful implementation of suggestion there was made final configuration of optical elements and carefully tested functionality of connection.

During construction was taken emphasis on simplicity and efficiency of solution and thoughtful putting and hiding cables at the same time, so the customer almost didn't know about it. In the final part, customer informed a company about the functionality of a network after some time of using.

Keywords: Optical access network , light, single-mode, multi-mode, optical fiber, optical cables, ending ,fiber protection, connector, FTTx

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce a metodika	2
3	Teoretická východiska	3
3.1	Optická vlákna a šíření světla	3
3.1.1	Šíření světla	3
3.1.2	Druhy optických vláken	8
3.1.3	Parametry optických vláken	10
3.2	Pasivní a aktivní optické sítě	13
3.2.1	Pasivní optické sítě.....	13
3.2.2	Struktura pasivních optických sítí.....	15
3.2.3	Rozbočování optických spojů.....	16
3.2.4	Zabezpečení PON a možná rizika	20
3.2.5	Aktivní optická síť	22
3.3	Standardy pro pasivní optické sítě	24
3.3.1	APON	24
3.3.2	BPON	25
3.3.3	GPON	25
3.3.4	EPON	26
3.3.5	10G-EPON.....	26
3.3.6	XG-PON.....	27
3.3.7	NG-PON2.....	28
3.4	Optické přípojky a FTTx hybridní spoje	28
3.4.1	FTTx síť	28
3.4.2	Ethernet v první míli	35
3.4.3	Triple play služby.....	37
3.5	Kabely optických sítí a spojování	40
3.5.1	Optické kabely	40
3.5.2	Optické konektory.....	44
3.5.3	Spojování optických vláken.....	47
3.6	Měření optických vláken	50
3.6.1	Metoda měření útlumu	50

3.6.2	Metoda OTDR	52
4	Vlastní práce.....	55
4.1	Původní stav sítě	55
4.1.1	Firma Eldata pražská s.r.o.	57
4.1.2	Popis zapojení	57
4.1.3	Test rychlosti připojení.....	58
4.2	Počáteční legislativa	60
4.3	Geodetické vytyčení sítí	62
4.3.1	Napojovací uzly a optický rozvaděč	63
4.4	Struktura sítě v cílovém objektu	64
4.4.1	Návrh hybridního spoje a standardu pro připojení	64
4.4.2	Schématické znázornění optické sítě	65
4.4.3	Vedení sítě uvnitř objektu	66
4.4.4	Použité prvky	67
4.5	Finanční plán výstavby sítě	69
4.5.1	Ceník a nabízené služby	69
4.5.2	Seznam jednotlivých položek	70
4.5.3	Rozložení materiálu a práce.....	71
4.6	Časový harmonogram výstavby optické sítě	72
4.6.1	Seznam jednotlivých činností	72
4.6.2	Ganttův diagram.....	72
4.7	Průběh stavby.....	74
4.7.1	Hrubé základy sítě.....	74
4.7.2	Napojení sítě vně objektu na páteřní síť	75
4.7.3	Napojení sítě do nejbližší rozvodné skříňky.....	76
4.7.4	Napojení sítě uvnitř objektu	77
4.7.5	Vytváření hybridního spoje	78
4.7.6	Vedení kabelu UTP do směrovače a PC	80
4.7.7	Koncová konfigurace	81
4.8	Testování spoje	83
4.8.1	Přímá metoda	83
4.8.2	Metoda OTDR	84

4.8.3	Rychlost připojení	86
5	Výsledky a diskuze	87
6	Závěr.....	89
7	Seznam použitých zdrojů	90

Seznam obrázků

Obr.1-	Názorné schéma zpracování signálu z vysílače do přijímače.....	5
Obr.2-	Průřez jednotlivými vlákny a porovnání jejich jádra a pláště.....	8
Obr.3-	Ukázka vedení signálu mnohovidovým vláknem s gradientním indexem lomu	9
Obr.4-	Ukázka vedení signálu jednovidovým vláknem	10
Obr.5-	Ilustrační schéma využití PON	13
Obr.6-	Ilustrační schéma optického rozbočovače. V tomto případě dělí vstupní signál do 3 ONU jednotek	17
Obr.7-	Znázornění jednotlivých FTTx přípojek v praxi.....	30
Obr.8-	Ukázka připojení způsobem FTTH.....	31
Obr.9-	Ukázka použití typu FTTH- do jednotlivých pater je využito lokálních sítí.....	33
Obr.10-	Znázornění koncepce EFM- První míle	35
Obr.11-	Znázornující 3 hlavní způsoby připojení k překlenutí první (poslední) míle	37
Obr.12 a 13-	Ukázka rozličných typů optických kabelů pro nejrůznější účely	41
Obr.14-	Znázornění primární a sekundární ochrany u SM a MM vláken	42
Obr.16-	Ukázka nejčastěji používaných konektorů	46
Obr.17-	Ukázka speciálního zařízení na svařování optických vláken	48
Obr.18-	Ukázka spojování vláken pomocí optických konektorů.....	49
Obr.19-	Princip umístění měřicího přístroje při měření přímou metodou.....	50
Obr.20-	Princip OTDR metody zachycující rozptýlené záření.....	52
Obr.21-	Znázornění Rayleighova rozptylu a zpětného šíření záření.....	53
Obr.22-	Snímek objektu, který byl napojen na optickou síť	55
Obr.23-	Zakreslení komunikace mezi vysílačem a přijímačem na vzdálenost 378m.....	56
Obr.24-	struktura 1. a 2. nadzemního podlaží vybrané domácnosti.....	57
Obr.25-	Výsledek testu měření rychlosti pomocí připojení Wi-Fi	59
Obr.26-	Ukázka vydaného územního rozhodnutí	60
Obr.27-	Ukázka velkého počtu dotčených parcel	60

Obr.28- Ukázka velkého počtu dotčených objektů	61
Obr.29- Ukázka plánovaných optických sítí obce Jinočany	62
Obr.30- Ukázka vedení optických kabelů od rozvaděče až k poslednímu uzlu před objektem	63
Obr.31- Schématické znázornění optické trasy ve sledovaném objektu	65
Obr.32- Rozložení prvků v objektu v 1.nadzemním podlaží	66
Obr.33- Rozložení prvků v objektu v 2.nadzemním podlaží	67
Obr.34- Optický media konvertor BDCOM použitý při stavbě	67
Obr.35- Router TP-Link použitý při výstavbě	68
Obr.36- 12 vláknový optický kabel Airblown	68
Obr.37- 4 vláknový optický kabel Airblown	68
Obr.38- Pigtail s SC konektorem	69
Obr.39- UTP síťový kabel	69
Obr.40- Výkop pro veřejné osvětlení v ulici Lidická v Jinočanech	74
Obr.41- Optická rozvodná skříň v ulici Lidická v Jinočanech.	76
Obr.42- malý rozvaděč v ulici Lidická v Jinočanech.	77
Obr.43- 4 vláknový kabel s ochranou vstupuje do objektu.	77
Obr.44- Technik ukazuje spojku dvou ochranných trubiček.	78
Obr.45- Použitá svářečka Swift S5 - Přístroj provádí proces svařování	79
Obr.46- Teplem smrštitelná bužírka	79
Obr.48- Uložení ONU jednotky. Zde dochází k transformování signálu	80
Obr.49- Vedení UTP kabelu pod prahem dveří do rohové lišty	81
Obr.50- Administrační prostředí routeru TP-Link po přihlášení.	82
Obr.51- Visual fault locator- přístroj pro jednoduché přímé měření.	83
Obr.52- Přístroj pro měření OTDR metodou	84
Obr.53- Výsledek testu měření rychlosti připojení pomocí optické sítě	86

Seznam tabulek

Tabulka 1- Parametry symetrických PLC rozbočovačů	19
Tabulka 2- Porovnání jednotlivých tarifů a aktivačních cen.	56
Tabulka 3- Porovnání jednotlivých tarifů a aktivačních cen optické sítě.	69
Tabulka 4- Podrobný výpis jednotlivých položek použitých při stavbě.	70
Tabulka 5- Rozpis jednotlivých úkonů potřebných k realizaci projektu.....	72

Seznam grafů

Graf 1- Porovnání 2 složek potřebných k vybudování optické sítě	71
Graf 2- Ganttův diagram projektu instalace optické sítě v Jinočanech.	73
Graf 3- Graf, který je výstupem z měřicího přístroje OTDR	85
Graf 4- Porovnání rychlostí download a upload	87

1 Úvod

Počítačové sítě jsou beze sporu doména 21. století. V současné době však uživatelům přestává stačit přenosová kapacita pro pouhé procházení a načítání internetových stránek a firmy na to reagují tak, že se snaží dostávat do popředí optické technologie. Technologie, které jsou schopny zákazníkům nabídnout takovou přenosovou rychlost, aby uspokojily i ty nejnáročnější požadavky, jako sledování videa ve full hd rozlišení online, či přenos živých vstupů, sledování TV ve vysokém rozlišení, apod.

V budoucnu se předpokládá pokrytí na většině území České republiky, avšak prozatím je tato technologie implementována zejména ve větších městech, typicky pak v panelových domech.

Existují ovšem i případy, kdy firma využije rozvodů velkých poskytovatelů a napojí se k ní. Tím je prakticky schopna připojit i menší aglomerace jako vesnice.

2 Cíl práce a metodika

Cílem této práce bylo navrhnout řešení zapojení optické sítě do rodinného domu a následně tento návrh implementovat a otestovat funkčnost připojení. Dále průběžně kontrolovat připojení, zda vše funguje, jak má. Bylo nutné nahradit původní připojení, které bylo nedostačující za moderní optické připojení. Obě připojení obstarává firma Eldata pražská s.r.o., která zajistila veškeré potřebné komponenty, kabelové spoje i techniku pro svařování. Objekt se nachází v malé obci **Jinočany** u Prahy na Praze-západ, která má 1293 obyvatel. Konkrétně v ulici **Lidická**. Číslo popisné je **264**. Jeho majitelem je pan Votava, který se rozhodl investovat a nechat si vybudovat připojení přes optický kabel. Objekt je velký zhruba 100 m² a má 1 nadzemní podlaží.

Současně je vhodné nalézt takové řešení, které bude co možná nejméně nákladné pro výstavbu a zapojení tak, aby to bylo výhodné jak pro pana Votavu, tak pro firmu Eldata.

Metodika řešené problematiky diplomové práce je založena zejména na analýze literárních zdrojů a osobní spolupráci s firmou ELDATA pražská s.r.o. s jejíž pomocí bude návrh vyhotoven a schválen.

Vlastní řešení práce je realizováno formou návrhu, doporučení a následného postupného vyhotovení řešení v předem určeném harmonogramu. Na základě tohoto vyhotovení a poznatků vlastního řešení bude sestaven a formulován závěr diplomové práce.

3 Teoretická východiska

3.1 Optická vlákna a šíření světla

Stále větší trend moderních technologií přináší běžným uživatelům využití širokopásmových optických sítí, které jsou dnes čím dál více dostupnější a to zejména ve větších městech a aglomeracích. Poskytovatelé služeb nepochybuji o potenciálu optických sítí a tak je dnes již možné pořídit za velmi příznivé ceny velmi rychlé připojení pomocí optických spojů. Sledování videa v UHD kvalitě a televize v HD kvalitě vyžaduje velmi rychlé připojení, co nejmenší odezvu a tyto požadavky se optickým sítí daří velmi dobře uspokojovat.

Nastává nová generace internetové komunikace. Metalické spoje se pomalu ale jistě dostávají do pozadí, i když stále převažují nad optickými spoji- ty se pomalu, ale jistě stávají více využívané. V budoucnu se očekává plné nahrazení za metalické spoje.

Pomocí světla lze totiž markantně překonat rychlosti metalických spojů- jejich limit je někde okolo 10Gb/s. Také lze světlem překonat daleko větší vzdálenosti, nedochází k tak velkým útlumům během přenosu. Světlo je zkrátka ve všech ohledech technologicky vyspělejší. **(Doleček, 2005)**

3.1.1 Šíření světla

Optické vlákno je vlastně dielektrický vlnovod, ve kterém se šíří elektromagnetické vlny s využitím principu totálního rozsahu na rozhraní dvou prostředí s rozdílným indexem lomu. Uvnitř vlákna se nachází jádro, okolo je opláštění a na něm primární ochrana. Kvůli navázání optického signálu na jádro musí být index lomu jádra vyšší než má obal. Rozměry jádra jsou nejčastěji udávány v mikrometrech. Používají se buď mnohavidová vlákna o průměrech 50/125 μm nebo 62,5/125 μm . V telekomunikačních sítích se pak používají pouze jednovidová vlákna o průměru 9/125 μm .

Index lomu

Udává jak se změní rychlost šíření světla během změny prostředí, ve kterém se šíří. Nejrychleji se světlo pohybuje ve vakuu, kde rychlost je odhadována na 300 000 km za sekundu. Index lomu se vypočítá jako **rychlost světla ve vakuu / rychlost světla ve**

hmotném prostředí. Plášť optického vlákna vykazuje obvykle hodnoty 1,46 indexu lomu a jádro 1,48. Čím je index lomu větší, tím hůře se světlo v daném prostředí pohybuje.

Totální odraz

V případě, že se světlo pohybuje v hustém prostředí a dopadá na rozhraní pod určitým úhlem, světlo se kompletně odrazí. Pomocí tohoto principu se světlo udržuje uvnitř jádra v optických vláknech. Je potřeba, aby světlo narazilo na dopadovou plochu pod úhlem větším než je kritický úhel. Pouze světlo, které dopadne na plochu v určitém rozsahu úhlu, se může dál šířit bez propuštění. Tento rozsah se nazývá vstupní kužel vlákna. Velikost tohoto kužele vyjadřuje funkce indexu lomu a rozdíl mezi jádrem vlákna a obložením.

Princip šíření

V souvislosti s optickou sítí je vhodné zmínit, že k šíření světla vláknem je potřeba vysílače, optického kabelu a přijímače.

Optický vysílač

Jeho úkolem je převádět elektrický signál na optický a provádí tak modulaci signálu. Podle požadavků na zdroj (nejčastěji luminiscenční nebo laserová dioda) pak odpovídá následná modulace signálu. Když je intenzita modulace vysoká, není nutné dodržovat striktně požadavky na spektrální vlastnosti jako tomu je např. u fázové či frekvenční modulaci. Ovšem při stále větších požadavcích na přenosovou rychlost se taktéž zvyšují nároky i na spektrální modulaci. Tím je myšlena síla výstupního signálu, tak je kladen důraz i na další části přenosové soustavy, zejména pak na samotný optický kabel. Podle potřeby přenosové rychlosti jsou kladeny požadavky na dynamické vlastnosti vysílače. Všechny části na sebe navazují a není možné je řešit nezávisle na sobě.

Jako zdroj světla se nejčastěji používají luminiscenční a laserové diody. Výhody laserové diody jsou vysoký emitovaný výkon, vysoká přenosová rychlost a malá šířka spektra. Tyto diody se vyrábějí pro vlnové délky 870 nm, 1310 nm a 1550 nm.

Optický kabel

Jeho využití v principu spočívá v propojení celé trasy, tedy tvoří spojnicí mezi vysílače a přijímačem optického signálu. Tato trasa se samozřejmě může různě větvit. Optický kabel

přenáší optický signál. Z toho důvodu jsou na něj kladeny velké požadavky, hlavně co se týče minimálního útlumu a minimálního zkreslení optického signálu při zvolené modulaci. To jaké optické vlákno je zvoleno závisí na konkrétním použití v přenosové síti. Z hlediska počtu přenášených vidů se optická vlákna dělí na mnohavidová a jednovidová. Mnohavidová mají skokový nebo gradientní index lomu a jejich vlnová délka činí obvykle 870 nm a potřebují dobré zdroje i detektory. Používají se převážně v lokálních sítích, spíše malého rozsahu, kde budou potřeba menší přenosové rychlosti. Na větší vzdálenosti a při větších přenosových rychlostech se používají jednovidová optická vlákna na vlnových délkách 1310 nm a 1550 nm. Útlum zde činí 0,3 dB/km u 1310 nm vlnové délky a 0,2 dB/km u 1550 nm- to je téměř hranice útlumu, kterého je možno dosáhnout podle Rayleighova rozptylu. V praxi útlum ovlivňuje spíše počet ohybu, konektorů, spojů atd.

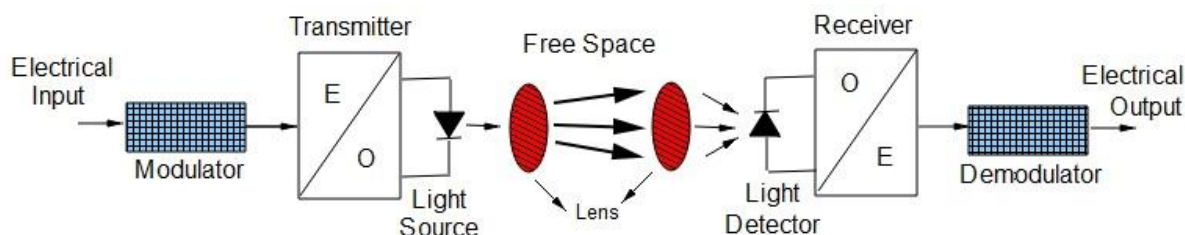
Existuje mnoho druhů optických kabelů, se stovkami vláken, různou intenzitou chránění v různém uložení.

Trasa vedená pomocí optického kabelu je v každém případě zakončena vždy na obou koncích optickým konektorem na optickém rozvaděči, ke kterému se připojuje pomocí optických šňůr a jiných systémů.

(Ing. Lukáš Bubník, 2015)

Optický přijímač

Hlavní komponentou optického přijímače je fotodiody typu PIN nebo lavinová. Materiál fotodiody určuje spektrální závislost citlivosti. Z pohledu frekvenčního pásma je pak důležitá rychlost odezvy fotodiody a následně zesilovače. Tu ovlivňuje několik faktorů. Jednak závisí na době přenosu nosičů náboje přes ochuzenou oblast, odezvě elektrického obvodu tvořeného kapacitní a odporovou složkou fotodiody, příspěvků nosičů vygenerovaných vně ochuzené vrstvy. K tomu se obvykle přidá vstupní odpor a kapacita následného zesilovače, který zpracuje signál fotodiody.



Obr.1- Názorné schéma zpracování signálu z vysílače do přijímače.
Zdroj: <http://www.intechopen.com/source/html/47585/media/image5.jpeg>

Výhody optický spojů obecně

Jak již bylo nastíněno výše, optické spoje jsou značně vyspělejší technologií, než je tomu u metalických spojů. Mezi ty nejdůležitější patří:

- **Šířka přenosového pásma-** Šířka pásma optické nosné soustavy se rovná rozsahu od 10^{13} do 10^{16} Hz, šířka pásma tedy dosahuje řádově THz.
- **Malé rozměry a hmotnost-** Montáž je díky menším rozměrům jednodušší, přehlednější a celkově zabírá méně místa v rozvaděčích, než je tomu u metalických spojů.
- **Izolovanost-** Protože optická vlákna se vyrábějí ze skla, nebo plastových polymerů, jsou dokonale izolovány od okolního elektrického ruchu. Je možné je nasadit do potenciálně nebezpečných míst kde hrozí přítomnost elektřiny a výbušných plynů, protože při jejich manipulaci nemůže vzniknout žádná jiskra, zkrat, nebo něco obdobného.
- **Imunní vůči přeslechům-** Optický signál procházející vláknem není rušen elektromagnetickým vlněním z různých zdrojů v jeho okolí. Energie se přenáší výhradně jádrem optického vlákna, nikoliv mimo něj, natož pak mimo plášť. Tím odpadá možnost přeslechu mezi jednotlivými vlákny.
- **Bezpečnost-** Světlo prochází optickým vláknem a nedochází k jeho úniku ven z pláště. To znamená, že je možnost odposlechu výrazně menší, než je tomu u metalických spojů, kde se nachází elektrická energie, která je rozprostřena v okolí páru a je ji možné pomoci specifických metod odposlouchávat.
- **Velmi nízké ztráty-** optická vlákna mají útlum okolo 0,2 dB/km při vlnové délce 1550 nm. To umožňuje navrhovat vedení s delšími úseky bez nutnosti zesilovat signál, což výrazně ušetří na nákladech, složitost systému vedení trasy a zvýšení spolehlivosti.
- **Menší náklady na výrobu-** Sklo, které je vůbec nejčastější materiál při výrobě optických vláken, není závislé na základní surovině, ale na tom, jak moc je nákladné čištění skleněného materiálu. Čistota, která je požadována odpovídá 10^{-9} až 10^{-10} , což znamená že 10^9 až 10^{10} molekul SiO_2 může připadat jedna molekula nečistoty.

(Jiráček, 1990), (Plexo, 2008)

Nevýhody optických spojů obecně

I přes nesporné výhody těchto spojů lze spatřit i patrné nevýhody, tak jako u každé technologie. Mezi ně například patří:

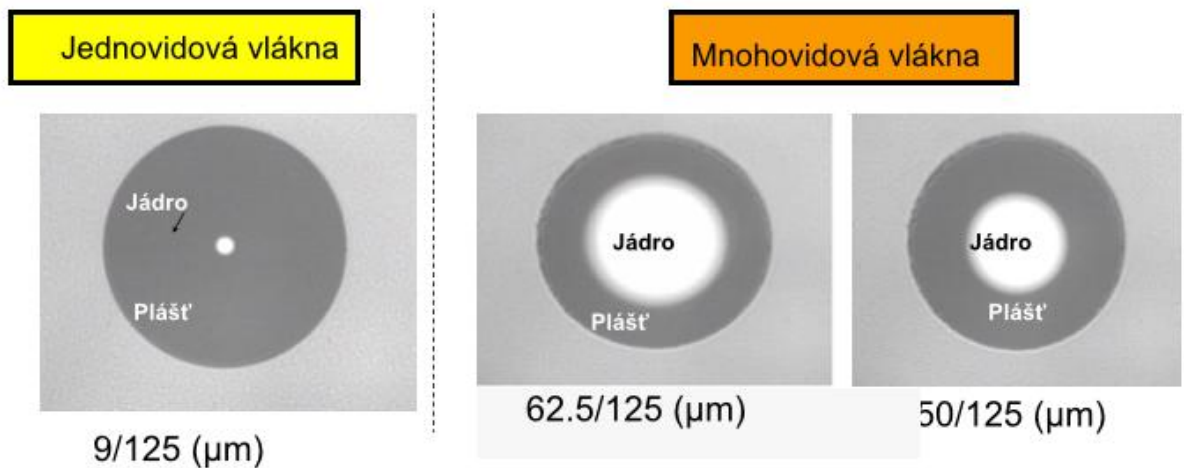
- **Síla optického vlákna a odolnost-** Optické vlákno je velmi jemné a křehké. Proto je nutné dbát na opatrnost při jeho manipulaci. Na rozdíl od metalického kabelu je náchylné na ohyb. Při větším ohybu dojde k úniku světla z vlákna směrem ven do pláště. Také není pevné v tahu jako klasický metalický kabel, takže není výjimkou, když se kabel přetrhne.

Dále je náchylnější na poškození, což může být problém. Většina těchto kabelů je vedeno zemí, kde dochází ke stárnutí ochrany a zpuchření. Také je vždy možnost nechtěného překopnutí, či přerušení kabelu při výkopových pracích. V určitých případech mohou kabel poškodit i domácí zvířata.

- **Náklady na výstavbu-** Výstavba optické sítě trvá zpravidla od několika dní až po několik týdnů či měsíců. Od toho si také odvíjí náklady na výstavbu této sítě. Je třeba najmout profesionální firmu, je třeba vyhloubit výkop pro uložení kabelu, sehnat potřebná opatření a povolení, což u metalické sítě není pravidlem.
- **Náklady na instalaci-** Instalace samotná je velice nákladná, pokud je prováděna velice zřídka. Firma je nucena používat specializované vybavení, které je určeno výhradně pro práci s optickou soustavou, jako např. zařízení pro zafukování, měřicí OTDR přístroj, svářečka optických vláken, atd. Tato zařízení stojí řádově statisíce.
- **Drahé komponenty-** K provozu optické sítě je nutné pořídit speciální zařízení, která jsou schopna transformovat optický signál na metalický. Jedná se o optické media konvertory. Také samotné kabely a jejich koncovky jsou velmi drahé. Z pohledu dlouhodobého užívání může jít o dobrou investici firmy, avšak v krátkodobém měřítku je nákup všech potřebných součástí velmi nákladný, oproti metalickým sítím, či bezdrátovým sítím. (Myartve, 2017)

3.1.2 Druhy optických vláken

V současné době se používají 3 typy optických vláken, se kterými je možné se setkat v optických ifrastrukturách. Poloměr jádra a index lomu rozhodují o výsledné kvalitě vlákna a o výsledném množství vidů. Souvislost s poloměrem jádra má také numerická apertura vlákna a navázání optického výkonu z vysílače, což je například laserová dioda.

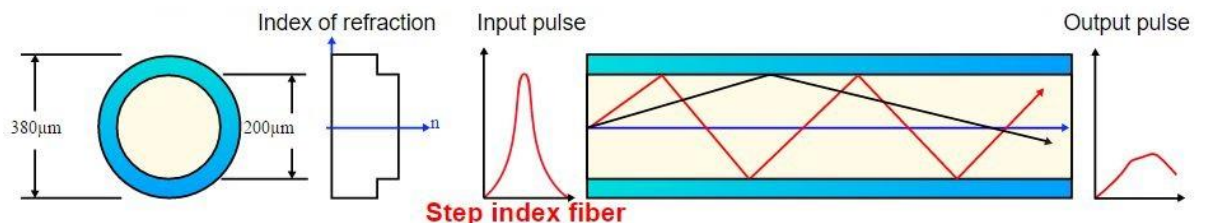


Obr.2- Průřez jednotlivými vlákny a porovnání jejich jádra a pláště
Zdroj: <https://publi.cz/books/185/05.html>

Mnohovidová vlákna se skokovou změnou indexu lomu (MMF SI)

Jedná se o vlákno se skokovou změnou indexu lomu. Průměr jádra u tohoto typu vlákna je 50/125 μm, 62,5/125 μm s numerickou aperturou NA v rozmezí 0,3 – 0,6.

Šíří se za pomoci úplného odrazu na rozhraní jádro- plášť ($n_1 > n_2$). Vlnová délka je $\lambda_0 = 0,85 \mu\text{m}$. Celoskleněné vlákno může být nahrazeno pláštěm a podpůrnou strukturou plastového povlaku s $n < n_1$, čímž se vytvoří vlákno PCS. Průměr jádra je potom 100 až 150 μm. Jako výhoda je určitě větší numerická apertura a nižší cena vlákna. Mezi nevýhody pak patří zejména stárnutí pláště a s tím spojené větší ztráty a nižší teplotní odolnost.

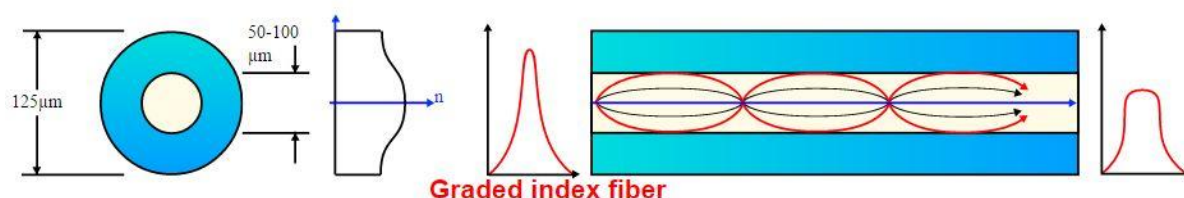


Obr. Č.2- Ukázka vedení signálu mnohovidovým vláknem se skokovým indexem lomu

Zdroj: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0e/Optical_fiber_types.svg/1280px-Optical_fiber_types.svg.png

Mnohovidová vlákna s gradientním průběhem indexu lomu

Tato vlákna mají specifický profil průběhu lomu jádra. Často se používá průměr jádra $50\ \mu\text{m}$ (je možnost používat rovněž průměr $62,5\ \mu\text{m}$), numerická apertura = $0,18 + 0,24$. Pro toto vlákno se nejčastěji využívají vlnové délky 850 a $1300\ \text{nm}$. Mnohovidová vlákna se využívají spíše pro komunikaci na kratší vzdálenosti, jako jsou třeba vnitřní prostory budov a areálů. Mnohovidová vlákna mají přenosovou rychlost od $10\ \text{Mbit/s}$ až po $10\ \text{Gbit/s}$ a to do vzdálenosti až 600m , což pro menší prostory je obvykle dostačující.

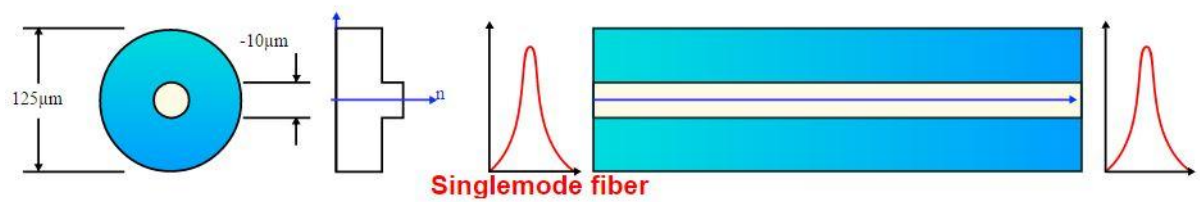


Obr.3- Ukázka vedení signálu mnohovidovým vláknem s gradientním indexem lomu

Zdroj: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0e/Optical_fiber_types.svg/1280px-Optical_fiber_types.svg.png

1. Jednovidová vlákna

Jedná se o vlákno s malým poloměrem jádra, kde proudí pouze jeden jediný vid. Průměry těchto vláken mají hodnotu $5-10/125\ \mu\text{m}$, a numerická apertura se nachází v rozsahu $0,08-0,15$. Kvůli NA a problémům s navázáním výkonu na jádro, bývá poloměr jádra obvykle vyšší- $8\ \mu\text{m}$. Vnitřek jádra jednovidového vlákna je tak těsný, že zde není prostor pro výskyt dalších vidů. Tato vlákna se používají spíše na větší vzdálenosti (města, státy i kontinenty). Jejich pořizovací cena je tudíž vyšší, než u mnohovidového vlákna s gradientním nebo skokovým lomem. Používá se pro vysokorychlostní přenosy v internetu.



Obr.4- Ukázka vedení signálu jednovídným vláknem

Zdroj: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/0e/Optical_fiber_types.svg/1280px-Optical_fiber_types.svg.png

3.1.3 Parametry optických vláken

Jednovídná vlákna mají určitou mezní vlnovou délku. Tato délka udává nejkratší délku, při které se ještě jedná o jednovídné vlákno. Jestliže je tato mezní délka překročena, stane se z jednovídného vlákna mnohovídné vlákno. To znamená že jednovídná vlákna se odvíjejí od vlnové délky. U optických vláken je možno rozlišovat několik základních parametrů, mezi kterými jsou:

Šířka pásma

Tento parametr se udává v Mhz a znamená nejvyšší kmitočet signálu, který je možno přenést na vzdálenost 1 km mnohovídným vláknem bez zkreslení působením disperze, např. díky přítomnosti více vidů ve vlákně.

Je závislá na konstrukci vlákna, materiálu optického vlákna a na vlnové délce optického signálu. Zcela zásadní vliv na šířku pásma má právě vlnová délka. Pro lepší pochopení vlákno, které má vlnovou délku 850 nm, nabízí šířku pásma 160 MHz /km. Při vlnové délce 1300 nm má potom šířku pásma 500 MHz/km. Různá vlnová délka záření má za následek různý útlum vlákna.

Numerická apertura

Jedná se o největší úhel, pod kterým ještě paprsek vstoupí do optického vlákna tak, aby ho vlákno dokázalo přenést. Paprsky, které dopadnou pod větším úhlem vlákno jež nepřenesou. V podstatě se dá říci, že charakterizuje schopnost vlákna přijmout do svého jádra určitý optický výkon. Aby světlo procházelo světlovodem korektně, je nutné dbát na dosažení úplného odrazu paprsku v pomezí jádro-plášť. Pokud je mezní úhel překročen, dojde k lomu světla, paprsek se neodrazí, ale pronikne do pláště a dále ven.

Podmínka pro fungování optického přenosu je, aby index lomu jádra byl větší, než index lomu pláště. Z výše uvedeného vyplývá, že čím je numerická apertura NA (její hodnota) větší, tím je navázání signálu na jádro lepší a účinnější a nejsou tím pádem kladeny tak vysoké nároky na vyzářovací zdroj. S většími úhly také přichází větší zkreslení signálu. Světlovod s větší aperturou má tím pádem menší šířku přeneseného kmitočtového pásma. Ztráty obvykle vznikají při napojování zdroje světla na vlákno. Důležitý je také poměr velikost zdroje a průřezu vlákna. Čím je větší plocha zdroje než průřez jádra, tím méně světla je převedeno. **(Maršálek, 2006)**

Disperze

Díky disperzi dochází ke zkreslení signálu. Rozlišují se 3 druhy disperze-**Vidová, chromatická a polarizační**

- **Vidová disperze**-Uplatňuje se zejména u mnohovidových vláken. Každý paprsek dorazí na konec vlákna v jiný okamžik vlivem rozdílné délky drah. Každý impuls se liší tvarem i amplitudou. Tento jev je možné pozorovat hlavně u vzdáleností větších než 1 km. Po této vzdálenosti již dochází ke zkreslení signálu, protože paprsky na takovou vzdálenost dorazí v různou dobu. Díky tomu je ve výsledku ovlivněna mezní šířka pásma, či přenosová rychlost. Disperzi lze často zmírnit pomocí uspořádání vlákna a také použitím vlákna s gradientním indexem lomu.
- **Chromatická disperze**-Je založena na principu šíření světla v určitém barevném spektru. Světelné zdroje nejsou monochromatické. Tím pádem podle barevného spektra dorazí paprsek v jinou dobu, protože má každý jinou vlnovou délku a to znamená jiný index lomu a tudíž jinou rychlost šíření. Tento typ disperze ovlivňuje šířku kmitočtového pásma a tím i vzdálenost na jakou je možno paprsek vyslat. U jednovidových vláken je tato disperze při vlnové délce 1310 nm nulová a u 1550 nm už může ovlivnit přenosovou rychlost i vzdálenost použití.
- **Polarizační vidová disperze**-Projevuje se zejména u jednovidových vláken. Vid se šíří v prostředí dvou vzájemně kolmých rovinách. Pokud se ve vlákně nachází určitá nesymetrie, např. ohyb, dochází k šíření obou polarizací odlišnou rychlostí a dojde posléze ke zkreslení analogového signálu. Tento parametr je důležitý

zejména při rychlostech nad 2,5 Gb/s a může ovlivňovat i analogové přenosy, jako jsou třeba signály kabelové TV.

Útlum

Jako u klasických metalických spojů, i optická vlákna mají po určité vzdálenosti útlum šířícího se signálu. Udává se v dB/km. Je to nejdůležitější měřítko ztrát signálu v optickém vlákně. Příčina vzniku útlumu je absorpce světla a jeho rozptyl. Ztráty je možné najít jak přímo ve vlákně, tak na jeho rozhraní, při spojování a při ohybech vlákna. V místech ohybu vzniká útlum. Čím je ohyb větší, tím větší je útlum. Také v místě ohybu je vlákno náchylnější na poškození.

Ztráty na makroskopických neregularitách

Jsou to v podstatě miniaturní nečistoty, vzduchové bublinky, trhliny, poruchy tvaru a rozměrů rozhraní mezi jádrem a pláštěm vlákna. Tyto ztráty je možné do jisté míry eliminovat tím, že se použije pouze kvalitní technologie na výrobu vláken. Všechny výše zmíněné ztráty jsou dopředu zvažovány a z toho důvodu je vždy výrobce vlákna uvádí. K těmto ztrátám se navíc přidávají ztráty z „nedokonalé“ geometrie, která vzniká při praktické manipulaci s vláknem.

Minimální poloměr ohybu

Jedná se o nejmenší možný ohyb vlákna, který je pro danou instalaci možný použít. Odvíjí se od průměru vlákna nebo celého kabelu a také od materiálu, ze kterého je vlákno vyrobeno. Čím tlustší je vlákno, tím je větší minimální poloměr ohybu. Obecně lze říci, že plastová vlákna mají při stejném průměru menší minimální poloměr ohybu než ta skleněná. Praxe říká, že krátkodobě se vlákno může ohýbat tak, aby jeho poloměr ohybu nebyl menší než stonásobek poloměru skleněného vlákna. Při dlouhodobějším využití by poloměr ohybu neměl být menší než 200-600 násobek poloměru skleněného vlákna.

Obsah OH

Občas se stane, že při výrobě vznikne ve vlákně zbytková vlhkost v podobě iontů OH-, která nepříznivě ovlivňuje útlum na určitých vlnových délkách. Proto jsou vyráběny různé druhy vláken podle obsahu OH- (často označované jako „low OH“ se využívají zejména pro blízké infračervené oblasti). Tvoří méně skupin. Vlákna s vyšším obsahem OH-

(označují se jako „high OH“ a využívají se pro různé aplikace). Ty se vyrábějí pro více skupin.

Parametr MFD¹ (pouze u jednovidových vláken)

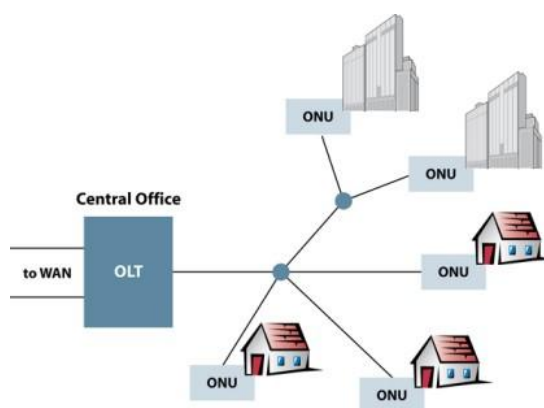
Tento parametr se uvádí pouze pro jednovidová vlákna. Ve vláknu se záření šíří většinou v jádru ale z části i v plášti, z toho důvodu se uvádí MFD místo průměru jádra. Jedná se o konstantu, která sděluje šířku, kde intenzita záření je větší nebo rovna 0,135 z maximální intenzity. Vidový průměr se odvíjí od vlnové délky, takže čím je vlnová délka kratší, tím je menší vidový průměr a MFD spolu s ním. MFD je využíváno také pro výpočet útlumu vlákna při jejich spojování, protože často mají stejný průměr, ale rozdílné MFD.

(Intelek, 2008), (Ing. Lukáš Bubník, 2015)

3.2 Pasivní a aktivní optické sítě

3.2.1 Pasivní optické sítě

Ve zkratce PON jsou mnohobodové optické sítě, které používají pouze pasivní distribuční síť ODN². Jejich cíl je v celku prostý. Snaží se připojit co nejvíce koncových zařízení v dané oblasti a z toho vyplývá, že při tom často potřebuje překonat vzdálenost až kilometry dlouhou. Aby tato zařízení mohla sdílet přístup k optickému vláknu, používá se často tzv. časové multiplexování TDM. Přenosová rychlost se tedy sdílí všemi uživateli, kteří jsou právě aktivní.



Obr.5- Ilustrační schéma využití PON

Zdroj: <http://i.cmpnet.com/pldesignline/2008/03/alt-gpon-01.jpg>

¹ **MFD**- (Mode Field Diameter)- Model vyjadřující rozložení intezity optického záření je velmi často Gaussova křivka

² **ODN**- Optical distribution network- optická distribuční síť

Jedná se o jeden z nejvíce významných způsobů, jak vybudovat optickou přístupovou síť. Význam pasivní je vysvětlen absencí aktivního napájení síťových prvků, co se týká propojení ústředny a koncového uživatele. Oproti aktivním optickým sítím, které budou rozebrány později, jsou PON výhodnější z hlediska nižším nákladů na zbudování a i následný provoz. Taktéž u PON dochází k úspoře co do počtu natažených optických vláken (výše zmiňované sdílení vlákna). I vybavení potřebné k provozování takové sítě, je méně nákladné. (Síťové prvky jsou jednodušší).

Jak funguje přenos PON

Topologie pasivní optické sítě PON může být tzv. P2P³ a využívá obvykle architekturu FTTH (vlákno až do domu zákazníka). Je dáno jediné optické vlákno s přenosovou kapacitou, které vede z ústředny operátora. Pomocí optických prvků jako jsou např. splittery, dojde k rozdělení signálu a následné distribuci přenosové kapacity, která se rozdělí mezi koncové zákazníky, čímž vzniká P2MP⁴. Těch je možno připojit 16 až 128 a to do vzdálenosti až 20km podle toho, jaká je v dané situaci použita norma a revize.

Data se směrem k zákazníkům přenáší zásadně v šifrované podobě a to po jednom vlákně z důvodu vyšší bezpečnosti. Tím se dá velice dobře předejít nechtěnému odposlouchávání jinými účastníky sítě. Směrem od zákazníka ven se používá specifická forma TDM časového multiplexu. Protože v tomto směru dochází k napojení vlákna k ostatním vláknům, je třeba zajistit bezpečný chod tak, aby v daný moment proudila data vždy od jednoho uživatele, jinak by docházelo ke kolizím a degradaci signálu.

Optická síťová jednotka ONU se nachází mezi OLT (optické linkové zakončení) a zákazníkem v různých vzdálenostech, takže přenos z ONU do OLT trvá různě dlouhou dobu, což OLT monitoruje a získává tak informace o zpožděních různých tras vedoucích k ONU. Tyto informace si ukládá do registru, který si sám vytváří. Poté již může OLT jednotlivým ONU rozesílat tzv. granty. Tento grant umožňuje používat vyměřený časový interval pro přenos dat na upstreamu (přenos ve směru od klienta na ústřednu). Zajímavé na tom je, že tabulka grantů se přepočítává každých pár milisekund podle potřeb pásma jednotlivých ONU.

³ **P2P**- Point to point- propojení bod- bod

⁴ **P2MP**- Point to multipoint- propojení bod- více bodů

I když je možné použít odděleně jedno vlákno pro upstream a jedno vlákno pro downstream (přenos ve směru z ústředny ke klientovi), pravidlem bývá přenos po jednom vlákně a data se multiplexují pomocí vlnového multiplexu. Data tekoucí směrem k uživateli využívají nejčastěji vlnové délky 1490 nm a pro data tekoucí směrem od uživatele, čili upstream se používá nejčastěji vlnová délka 1310 nm. Televizní vysílání pak funguje na vlnové délce 1550 nm (je to z důvodu nejnižšího útlumu, který je právě na 1550 nm a dochází tak k nejmenšímu rušení analogového signálu, na kterém dříve běželi všechny televize). (Filka, 2009)(Pužmanová, 2004)

3.2.2 Struktura pasivních optických sítí

Strukturu pasivních optických sítí tvoří několik základních prvků, mezi něž například patří:

- **ODN-** (Optical Distribution Network- optická distribuční síť)- Distribuční síť je souhrn všech optických prvků a prostředků nacházejících se na trase mezi koncovými optickými jednotkami. ODN je v případě pasivní optické sítě čistě pasivní síť, a v jejím vedení tedy nelze nalézt žádný aktivní prvek, který by ke svému chodu vyžadoval napájení, vzdálenou kontrolu, či ovládání. V ODN jsou typicky zakomponována optická vlákna, rozbočovače- splittery, optické konektory a spoje, svary, vlnové filtry a optické panely. ODN využívají povětšinou stromové rozvržení a nebo také rozvržení typu hvězda.
- **OAN-** (Optical Access Network- optická přístubová síť)- Jsou jednotlivé distribuční sítě ODN vedoucí do jednoho uceleného centrálního uzlu.
- **OLT-** (Optical Line Termination- optické linkové zakončení)- V souvislosti s pasivní optickou sítí se velmi často staví do pozice poskytovatele služeb. Jedná se o centrální prvek v optické síti, kde končí distribuční síť na straně operátora PON. Tento prvek vykonává velmi důležité operace související se správou, údržbou a kontrolou všech připojených koncových jednotek na opačné straně sítě (uživatelé). Také funguje jako konvertor mezi protokoly, které se používají v PON a protokoly, které se používají u páteřní telekomunikační sítě. Dalo by se říci, že tento prvek je vůbec první, který zajišťuje připojení k páteřní síti (viz. Obrázek výše). Ty mohou být tvořeny pomocí SDH, OTH, Ethernetu.

- **ONT-** (Optical Network Termination- optické síťové zakončení)- Jedná se o koncový optický prvek na straně klienta, který má na starosti přizpůsobení komunikace mezi pasivní optickou sítí PON a prostředím klienta, tzn. většinou koncové zařízení (nebo lokální síť). Zjednodušeně řečeno jedná se o malý konvertor mezi optickým a metalickým vedením sítě a připojuje zařízení koncového uživatele k rozhraní Ethernet.
- **ONU-** (Optical Network Unit- optická síťová jednotka)- V tomto případě jde o obecný název koncového zařízení pasivní optické sítě, nacházející se na straně uživatele. Tento prvek zajišťuje v podstatě stejné funkce jako výše uvedený ONT. Rozdíl je však v tom, že tento optický prvek se používá často k připojování koncových uživatelů prostřednictvím navazující metalické či bezdrátové sítě. Jeho typické využití je zejména v různých modifikacích hybridních přípojek FTTx. Může vhodně kombinovat technologie jako xDSL, Wi-Fi a Ethernet. Tím umožní připojit větší množství koncových zařízení a přitom stále figuruje v roli konvertoru opticko- metalického spoje. Často se však v praxi setkat s tím, že pojmy ONT a ONU splývají v jeden pojem a tyto prvky se považují za totéž.

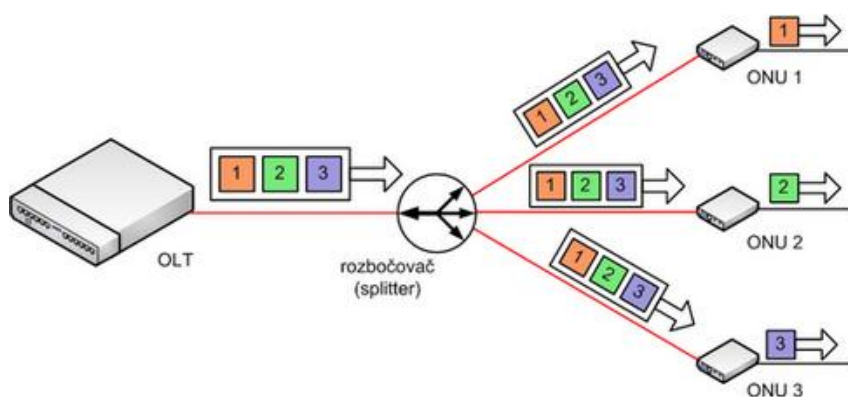
3.2.3 Rozbočování optických spojů

Prvky zajišťující rozbočování optických spojů se nazývají splittery. Jsou velmi důležitými prvky v pasivních optických sítích. Je to v podstatě pasivní optický článek, který má jeden vstup ale N možných výstupů. Nutno podotknout že N obvykle znamená N tou mocninu čísla 2, ale není to podmínka, protože se v praxi lze setkat i se 3 nebo 6 výstupy. Jeho hlavní funkce je rozdělit vstupní signál jdoucí z OLT do všech koncových jednotek ONU/ONT. To platí samozřejmě i pro opačný vzestupný směr. Tedy dochází ve splitteru ke slučování jednotlivých signálů vyslaných z ONU/OLT a pod jedním signálem je posílá zpět do hlavní jednotky OLT.

Optický rozbočovač může pracovat buď v určitém rozsahu šířky pásma (od 1260 do 1650 nm) nebo v jeho celé šíři. Použitím optického rozbočovače vzniká na trase útlum, který se odvíjí od počtu výstupních portů. Hodnoty útlumu se udávají v dB. V závislosti na

topologii sítě je možné splityry různě řadit, ale přitom by se mělo vycházet z doporučení ITU-T⁵, které se starají o úpravy útlumu vzniklého v optické trase.

Vnitřní stavba splitteru je složena z Y-článků, které jsou seřazeny tak, aby se dosáhlo požadovaného počtu výstupních signálů. Jediný článek Y se tak stává nejmenším prvkem splitteru, který se zaslouhuje o rozdělení signálu z jednoho vstupu na dva výstupy. Jeho rozbočovací poměr je tedy 1:2. U splitterů je v současné době možno rozlišovat 2 hlavní postupy pro jejich realizaci.



Obr.6- Ilustrační schéma optického rozbočovače. V tomto případě dělí vstupní signál do 3 ONU jednotek
Zdroj: http://access.feld.cvut.cz/storage/200905240013_rozbocovac.png

- 1. FBT rozbočovače (fúzní)**- Jedná se o starší výrobní metodu. Často bývá označován jako vláknový rozbočovač. Princip je takový, že pokud se k sobě dostanou 2 vlákna do těsné blízkosti, tak se určitá část svazku navázaného do jednoho jádra dostane i do jádra druhého. S tím se počítá už při výrobě samotného splitteru. Vlákna jsou k sobě svařována tak, že je jim odstraněna veškerá ochrana a částečně i plášť a tyto vlákna jsou posléze zatavena. Tímto způsobem se pomocí určité posloupnosti Y článků dá sestavit požadovaný počet výstupů, ovšem je to náročný proces vyžadující velkou přesnost při výrobě, protože délka svaru významně ovlivňuje poměr, jakým se výkon rozdělovat do jednotlivých jader. Tyto rozbočovače mají navíc vysokou uniformitu, která závisí na vlnové délce. Dalším negativním faktem je, že se obvykle vyrábí s menším počtem výstupů (např. 8), což je nežádoucí vzhledem k nákladnosti výroby a potřebě připojit více koncových zařízení.

⁵ ITU-T- International telecommunication union- telecommunication sector- mezinárodní telekomunikační úřad

2. PLC rozbočovače (planární)- Jedná se již o moderní způsob rozbočování. Při výrobě se používají destičky nařezané z křemenného skla, na kterých jsou podle určitých metod předpřipravená maska s požadovanou strukturou. Takto připravené destičky se ponoří do několika speciálních lázní. Díky různým teplotním přechodům se pomalu vytvoří jádro vlnovodu a plášť poté tvoří samotná destička. V poslední fázi je nutné vyrobit tytéž destičky pro vstupní a výstupní vlákna. Do destiček se vyříznou tzv. V drážky, do kterých se vloží jádra optických vláken. Poté se již může smontovat celý rozbočovač. Je zde tedy destička se vstupním vláknem, destička se strukturou a maskou a destička s výstupními vlákny. Tento proces je opět velmi nákladný a vyžaduje velkou přesnost. Pro dosažení vyšší ochrany jsou tyto destičky ještě zataveny do ochranného pouzdra. Na rozdíl od FBT rozbočovačů mají PLC mnohem vyšší počet výstupů (např. 128). V dnešní době umožňuje technologie jejich poměrně přesnou výrobu. **(HAVLIŠ, 2012)**

Parametry optických rozbočovačů

U optických rozbočovačů můžeme rozlišovat několik hlavních kritérií:

Rozbočovací poměr

Rozbočovací poměr se nejčastěji udává hodnotou 1:N, kde 1 představuje vstup a N představuje počet požadovaných výstupů. Samotné rozbočování potom probíhá pomocí Y-článků. Jedná se o čistě pasivní způsob rozbočování. Je vhodné zdůraznit, že jeden Y-článek má rozbočovací poměr 1:2. Pomocí kaskádního seřazení těchto článků potom lze dostat různé poměry. V současné době se využívají zejména poměry 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64 a v některých specifických případech lze použít i poměr 1:128.

Dělicí poměr

Jedná se o poměr výkonu signálu, který je přiřazen jednotlivým výstupům rozbočovače. Jsou známy 2 typy rozbočovačů podle dělicího poměru. Jednak jsou to symetrické rozbočovače a dále asymetrické rozbočovače. V prvním zmiňovaném případě se výkon dělí symetricky a tak je na každém výstupu stejný. U asymetrických rozbočovačů výkony na všech výstupech nejsou stejné. Tento dělicí poměr se obvykle udává v procentech jako poměrná část výkonu náležícího danému výstupu, např. 50% - 50% (2 výstupy u

symetrického rozbočovače s poměrem 1:2). V současnosti se nejčastěji využívají symetrické rozbočovače, které mají uplatnění zejména v PON. Asymetrické mají také svoje využití a výhody- např. u distribuční sítě. **(Pavel Lafata, 2010)**

Vložený útlum

Jedná se v podstatě o ztrátu optického signálu, která vzniká při průchodu nějakým optickým prvkem, v tomto případě rozbočovačem. Vložený útlum se poté počítá jako součet všech útlumů všech prvků, které jsou zahrnuty v optické infrastruktuře. Těmi je myšleno např. konektor, rozbočovač, optické vlákno, atd. Vložený útlum také závisí na počtu výstupů rozbočovače. Tento útlum je pak vhodné měřit, např. pomocí tzv. „přímé metody“. **(Filka, 2009)**

Uniformita rozbočovače

Tato charakteristika souvisí s vloženým útlumem rozbočovače. Vyjadřuje různé odchylky útlumu u jednotlivých výstupů symetrického rozbočovače. U asymetrického rozbočovače se vyjadřují odchylky útlumu od udávaného (ideálního) stavu. Díky jemným nepřesnostem a tolerancím vznikají odchylky od ideálního útlumu reálného rozbočovače. Tyto odchylky jsou vlastně dodatečné vložené útlumy, se kterými je vhodné předem počítat. Často se lze v praxi setkat s termínem „průměrná uniformita“ či „maximální možná uniformita“. Ta zaručuje nepřekročení této běžné odchylky. Dražší rozbočovače potom nabízejí nižší hodnotu uniformity, než je obecně běžné u daných rozbočovačů. Vše je tedy otázka financí a nároků na daný splitter. **(Pavel Lafata, 2014)**

Rozbočovací poměr	1:2	1:3	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64	1:128
Dělicí poměr (typ)	symetrický							
Vložený útlum maximální [dB]	3,9	6,2	7,4	10,8	14,1	17,3	21	25,3
Vložený útlum typický [dB]	3,5	5,8	6,9	9,8	13,5	16,5	20	23,5
Uniformita maximální [dB]	0,5	0,6	0,6	1,0	1,3	1,6	2	2,8
Polarizační ztráty [dB]	≤ 0,15						≤ 0,2	
Směrovost [dB]	≥ 55							
Útlum odrazu [dB]	≥ 55							
Garantované pásmo vlnových délek [nm]	1260 - 1650							
Garantovaný rozsah provozních teplot [°C]	-40 až +85							

Tabulka 1- Parametry symetrických PLC rozbočovačů
Zdroj: Lafata, Pavel: Optické přístupové sítě a přípojky FTTx, ČVUT,04/2014

3.2.4 Zabezpečení PON a možná rizika

Každá komunikace skrze síť by měl vykazovat jistou úroveň zabezpečení, aby nedocházelo k nechtěnému odposlouchávání. K těmto účelům se využívá šifrování. V souvislosti s pasivní optickou sítí je nejčastěji uváděna bloková šifra AES. Záhlaví a další služební informace v rámci TDM⁶ se nejčastěji posílá nešifrované. Toto opatření je nastaveno z toho důvodu, aby koncová zařízení ONU/ONT, která jsou nově připojena, mohla okamžitě přijímat informace, servisní zprávy, aktuální stav sítě PON, atd.

Šifra AES mívá obvykle délku 128, 192 nebo 256 bitů. Ovšem v souvislosti s PON je nejčastěji využívána právě 128 bitová šifra. Sled událostí pro chráněnou komunikaci je následující. Jednotka OLT vyzve koncové zařízení ONU k vygenerování klíče a nešifrovanou zprávou ji posílá zpět OLT a to několikrát pro větší jistotu, že bezchybně dorazí. Pokud ji jednotka OLT přijme, uloží klíč do svého registru a vyhradí určitý počet rámců (náhodně) pro komunikaci s ONU. Pokud ji nepřijme, vyzve znovu jednotku ONU k vygenerování nového klíče. V okamžiku, kdy dorazí klíč k OLT a uloží ho do registru, probíhá již komunikace šifrovaně za pomoci aktuálního klíče, ale pouze do doby, než dojde počet přidělených rámců. Poté se celý proces opakuje a musí opět OLT zažádat o nový klíč.

V opačném- vzestupném směru není komunikace nijak šifrována, protože se předpokládá pouze jednosměrná komunikace mezi koncovým ONU a řídicí jednotkou OLT. Zde dochází k velkým útlumům.

Určité bezpečnostní riziko představují koncové jednotky ONU/ONT, které se nacházejí přímo v prostorách u zákazníka a je tak možné, že dojde k neoprávněnému vniknutí do zařízení, zatímco centrální jednotka OLT je bezpečna chráněna v prostorách budov nejčastěji u poskytovatele daných služeb. Určité další riziko je možno spatřit u nechráněných a nezakončených výstupů optických rozbočovačů.

(Boháč, 2010) (Sosinsky, 2013)

⁶ **TDM**- Time division multiplex- časové dělení (multiplex)

Hlavní rizika PON

- **DoS útok**
- **Odposlech služebních zpráv**
- **Odposlech dat ve vzestupném směru**
- **Maskování v souvislosti s odposlechem v sestupném směru**

Útok typu DoS

V podstatě tento typ útoku přímo neohrožuje uživatelská data, ale pouze zneprůstupňuje služby. Princip je takový, že koncová jednotka ONU začne vysílat signál v okamžiku, kdy nemá přidělen svůj rámec a naruší tak uspořádaný chod ostatních koncových zařízení. Následkem toho dojde ke kolizi a začnou postupně vypadávat ostatní koncová zařízení nebo rovnou celá PON. V podstatě k tomuto útoku stačí aby koncová jednotka vysílala po určitou dobu nepřetržitě a dojde ke stejné kolizi. Tento typ útoku je zákeřný také v tom, že se obtížně dohledává koncové zařízení, které výpadek způsobilo a tak správci musí odpojovat postupně jednotlivé okruhy.

Odposlech služebních zpráv

Princip odposlechu v sestupném směru spočívá v tom, že OLT sice posílá uživatelská data v šifrované podobě (AES), ale zprávy a záhlaví, informace jsou nezašifrované. Sice koncová jednotka ONU provádí filtraci multirámce, ale pokud by tento proces útočník dokázal obejít, mohl by získat přístup nejen k uživatelským datům, ale i k identifikátorům, díky kterým by měl přehled o aktuálním stavu a počtu koncových jednotek v síti. V důsledku toho by mohl získat přístup a adresám a uživatelským datům všech koncových zařízení, protože identifikátory mu umožní vytvořit si ucelenou představu o provozu celé sítě, což je asi nejzávažnější problém.

Odposlech ve vzestupném směru

Jak bylo výše řečeno ve vzestupném směru se vychází z předpokladu, že komunikace v ideálním případě probíhá pouze mezi ONU/ONT a OLT. Při toku signálu dochází k odrazům (odchylkám) díky nedostatečně přizpůsobenému rozhraní (konektory) nebo u neukončených výstupů optických rozbočovačů. Tyto odchylky se po odrazu vrací v sestupném směru zpět ke koncové jednotce ONU. V závislosti na místě odrazu a

topologii sítě, mohou být signály dostatečně silné, aby je útočník mohl zachytit a číst z nich informace.

Maskování v sestupném směru

V předchozím případě bylo naznačeno že pokud se útočník dostane k identifikátorům jednotlivých zasílaných zpráv je možné, že získá informace o koncové stanici. Díky tomu se může maskovat a vydávat se za falešnou koncovou stanici ONU v té stejné síti a mít tak přístup k datům směřujícím k poškozenému uživateli.

(Pavel Lafata, 2014)

3.2.5 Aktivní optická síť

Jedná se o poměrně novou technologii pro širokopásmový přístup. Zatím méně využívaná než předchozí PON. Podstatou této technologie je, že na trase mezi OLT a ONU se nenachází jediný pasivní prvek, mimo optické vlákno. Je tedy nutné dbát předem na infrastrukturu sítě kvůli potřebě dodatečného napájení jednotlivých prvků.

Každý koncový zákazník využívá vlastní vyhrazené optické vlákno, popř. dvojitě vlákno- tím se rozumí mezi switchem a koncovou jednotkou ONU. Veškerá zařízení pracují na optické bázi, čímž je možné skloubit různá zařízení od různých výrobců. Šířka pásma není zde nikým sdílena, takže připojení nepodléhá agregaci jako je tomu u PON. Jedná se o plně symetrický kanál jak pro downstream i upstream. Na rozdíl od PON dokáže aktivní optické sítě překlenout vzdálenost ke koncovému zákazníkovi až 80km. Při větším počtu zákazníků se provádí tzv. segmentace, kdy je přidáván rozvaděč, do kterého se přidávají aktivní prvky. Počet klientů v takové síti je vázán pouze na počet takových aktivních prvků.

(Communications, 2015)

Aktivní optická síť využívá optickou strukturu P2P, případně P2MP, což znamená, že může koncovým uživatelům nabídnout přenosovou rychlost v obou směrech až 1Gb/s díky aktivnímu přepínači (switch). AON je považována taktéž z obchodního hlediska jako lepší strategie pro podporu služeb s otevřeným přístupem, který více odpovídá profilu různých komunit a podniků.

Otevřeným přístupem se rozumí, že větší množství providerů dostane přístup k velkoobchodu v místní síti, takže připojení ke koncovému zákazníkovi může probíhat pomocí stávajících sítí a nemusí tak instalovat novou.

První AON

První realizovaná aktivní optická síť byla postavena na architektuře P2P a figuroval v ní aktivní prvek- switch. Tato konfigurace běžela na standardu IEEE 802.3ah v r. 2004. Tomuto standardu se také někdy přezdívá EFMF (Ethernet in the First Mile), což znamená ethernet v první míli po optickém vedení. Poskytuje rychlost připojení od 100 do 1000 Mb/s symetricky. Downstream a upstream kanál využívá samostatných vláken nebo za použití vlnového dělení na společných.

10G Ethernet

Na rozdíl od předchozího případu nevyužívá metodu CSMA/CD, která identifikuje kolize v síti, ale využívá plně duplexního propojení OLT a ONT/ONU. Stejně jako v předchozím případě je realizována na nativní podpoře Ethernetu. Tento způsob propojení definuje standard IEEE 802.3ae z r. 2002. Tentokrát nabízí přenosovou rychlost až 10 Gb/s. Downstream a upstream mají vyhrazeny každý svoje optické vlákno. Dosah této technologie je závislý na použité konfiguraci, ale obecně je to v rozmezí od 10 do 80km po jednovidovém vlákne.

100G Ethernet

Opět jako přechodí případ nevyužívá metodu CSMA/CD a využívá nativní podpory Ethernetu. 100G Ethernet běží na standardu IEEE 802.3ba z r. 2010. Jeho rychlost je stanovena na 40 nebo 100 Mb/s. Této rychlosti je dosaženo za pomoci hrubého vlnového dělení CWDM nebo hustým dělením DWDM, kde je využito několika virtuálních kanálů pro každý směr. Tento standard se v optických sítích FTTH zatím nevyužívá, protože by jeho rychlost byla pro koncové uživatele zatím nevyužitelná. Jako výhodné využití je spíše pro větší organizace jako např. univerzity (je zde mnoho koncových stanic) nebo pro páteřní a metropolitní sítě.

Budoucnost Ethernetu

Pokrok a poptávka po stále rychlejším připojení přinese nový standard IEEE 802.3, který by měl podporovat 200G nebo 400G Ethernet s rychlostmi 200 Gb/s a 400 Gb/s. Vývoj nového standardu započal v r. 2013 Ethernet vývojovým týmem a první výsledky studie zprostředkovali již 27. března 2014. Finální řešení se očekává koncem roku 2017 v provozu na některých linkách až dojde ke specifikacím fyzické vrstvy.

Mluví se i o technologii 1000Gb Ethernet (1Tb Ethernet), která není dosud specifikována, očekává se ale, že bude muset fungovat na kompletně odlišné technologii. Zatím není ani ve vývoji. Rychlosti od 400Gb výše jsou uvažovány až po roce 2020. Prozatímní cíl tedy zůstává 400G Ethernet, který je dosažitelný současnou používanou technologií.

(McAllister, 2012), (400 Gb/s Ethernet Study Group, 2014)

Výhody aktivní optické sítě:

- Možnost spravovat aktivní prvky Ethernetu
- Agregace v poměru 1:1
- Downstream i upstream pracují symetricky
- Dokáže překonat větší vzdálenosti
- Fyzicky odděluje zákazníky
- Snadněji se upgraduje

Nevýhody aktivní optické sítě:

- Nutnost napájet optické prvky
- Je zde větší množství konektorů, svarů, spojek apod.
- Je zde větší množství optických vláken
- Je energeticky náročnější
- Zabírá větší prostory centrální ústředny
- Je finančně nákladnější na vybudování (pokud není využito stávající síťové infrastruktury)

3.3 Standardy pro pasivní optické sítě

Pasivní optické sítě prošli od svého prvního nasazení výraznými změnami. Od svého počátku v 90. letech bylo definováno několik standardů specifikující způsob fungování. Od začátku byl zamýšlen jak synchronní tak asynchronní přenos. O tyto specifikace se starají organizace ITU-T a IEEE.

3.3.1 APON

Je to síť realizovaná na časově děleném multiplexu WDM. Tento v podstatě první standard, který byl schválen organizací ITU v r. 1998 jako specifikace G.983.1. Tato síť je

založena na ATM⁷ módu a k přenosu informací využívá ATM buňky. Podporuje telekomunikační služby a služby QoS (quality of service), které je nutné využívat, pokud se jedná o síť realizovanou na WDM. K jednomu OLT může být přes optický splitter připojeno až 32 koncových jednotek. Dříve sloužila zejména k připojování business sektoru a připojování větších zakázek. Tento standard nabízel dva režimy přenosu- symetrický a asymetrický. Symetrický režim dokázal přenášet data rychlostí až 155,52 Mbit/s oběma směry a asymetrický rychlostí až 622,08 Mbit/s pro downstream a až 155,52 Mbit/s pro upstream. Novější verze standardu nabízeli až 1244,16 Mb/s pro downstream. Zejména kvůli službám Triple play byl vytvořen nahrazující standard BPON.

3.3.2 BPON

Broadband PON (zkráceně BPON) je standard vyspecifikován roku 2001 opět organizací ITU s označením G.983.3. Navazuje na standard APON, který dále vylepšuje. Přenosové rychlosti jsou stejné jako u APON, ale BPON je navíc obohacen o podporu vlnového multiplexu a dynamickou alokaci pásma pro upstream. Tento standard podporuje také vysílání CATV. Data jsou přenášena na vlnové délce 1260-1360 nm pro upstream a 1480-1500 nm pro downstream. Televizní signál je pak přenášen na vlnové délce 1550 nm.

3.3.3 GPON

První gigabitová optická síť (GPON) se vyvinula ze standardu sítě BPON v roce 2003 pod označením G.984.1. Je zpětně kompatibilní se staršími standardy APON a BPON. Zvyšuje zejména přenosové rychlosti, vylepšuje systém zabezpečení a umožňuje výběr protokolu, na kterém bude pracovat druhá vrstva (např. ATM, Ethernet, GEM). Symetrický režim nabízí přenosové rychlosti 1244,16 Mbit/s a 2488,32 Mbit/s. Asymetrický režim pak nabízí pro downstream přenosovou rychlost 1244,16 Mbit/s a 2488,32 Mbit/s, pro upstream pak 155,52 Mbit/s, 622,08 Mbit/s a 1244,16 Mbit/s. Jedná se o velmi jednoduchý standard, který využívá jen minimum přenosové kapacity, přesněji řečeno 7%. Standard APON oproti tomu spotřebuje až 33% a EPON dokonce až 50%. **(HORNÍČEK, 2011)**

Tento standard také umožňuje realizovat záložní trasu pro případ poruchy. Je možné si vybrat, zda se bude zdvojovat pouze samotné optické vlákno nebo všechna zařízení na síti. V případě, že nastane porucha, síť automaticky přejde na záložní okruh. Také je novinkou ošetření vysílání po upstream kanálu, aby se předešlo kolizi ve chvíli, kdy se dva koncový

⁷ ATM- Asynchronous transfer mode- asynchronní přenosový mód

uživatelé rozhodnou vysílat současně. Můžou nastat 2 situace. První funguje tak, že ONT/ONU vyrozumí OLT ohledně požadavku pro přidělení přenosové kapacity. V druhém případě OLT automaticky vyhradí určitou přenosovou kapacitu jednotlivým koncovým jednotkám ONT/ONU. ATM a GEM se při přenosu rozdělí do bloků o délce přenosu 125 μ s, což je obdobné jako paketové přenosy známé ze sítě Ethernet, resp. IP protokolu, což většina služeb pozitivně přijímá. Teoreticky je možno připojit až 128 koncových jednotek ONU k jednomu OLT. Obvyklý počet koncových jednotek je 32.

3.3.4 EPON

Nejvíce rozšířené optické sítě na světě jsou sítě založené na standardu Ethernet PON (EPON), někdy také označován jako GPON. Na rozdíl od APON, BPON a GPON, které standardizovala společnost ITU, EPON využívá standardy navržené organizací IEEE. Konkrétně IEEE 802.3ah. Úspěšnost staví především na použití Ethernetu na druhé vrstvě sítě. Jedná se o jednu z nejlepších možností připojení pro poskytovatele internetových služeb. V současnosti je často využíváno sjednocování sítí od transportních až po domácí.

V tomto případě je možná pouze symetrická varianta přenosu s přenosovou rychlostí 1244,16 Mbit/s v obou směrech, přičemž pro downstream využívá vlnovou délku 1490 nm a pro upstream 1310 nm. Ovšem je nabízena ve 2 variantách rozhraní, které se liší dynamikou a optickým výkonem. První rozhraní 1000BASE-PX10 nabízí rozbočovací poměr 1:16 a maximální vzdálenost mezi OLT a ONU/ONT je 10 km. Druhý typ rozhraní 1000BASE-PX20 nabízí rozbočovací poměr 1:32 a vzdálenost OLT-ONU/ONT je až 20 km.

Data se zde rozdělují do rámců s pevnou délkou 2 ms. EPON je primárně navržen pro sítě P2MP, je ale schopný na vyšších vrstvách emulovat spojení P2P resp. P2PE. Podpora CATV v sítích EPON není definována, přesto se toto vysílání realizuje na vlnové délce 1550 nm. (itu.int, 2005)

3.3.5 10G-EPON

Tento standard IEEE 802.3av byl vyvinut v roce 2009 a je to v podstatě další pokrok a navázání na předchozí EPON IEEE 802.3ah. Opět zde dochází k navyšování přenosové rychlosti a samozřejmě zde zůstává kompatibilita s předchozím standardem 802.3ah, protože dochází ke změnám pouze na fyzické vrstvě.

Zásadní rozdíl přichází v možnosti symetrického i asymetrického přenosu signálu na rozdíl od předchozí verze. Symetrická varianta nabízí až 10,3125 Gbit/s pro downstream i upstream. Stejnou rychlost nabízí pro downstream i asymetrická varianta, ovšem upstream zůstává 1244,16 Mbit/s, tedy stejně jako v předchozím standardu 802.3ah. Nabízí široké možnosti kompatibility. Umožňuje například současný provoz 10G a 1G verze na jednom vlákně. Využije se přitom vlnového dělení, kde se oddělí jeden kanál pro downstream s rychlostí 10,3125 Gbit/s (1575-1580 nm) a druhý pro downstream s rychlostí 1244,16 Mbit/s (vlnová délka 1490 nm). Pro upstream je definována nová vlnová délka 1270 nm s rychlostí 10,3125 Gbit/s (v případě 1310 nm zůstává 1244,16 Mbit). Zde je vhodné podotknout, že není možné využít vlnového dělení, protože délka 1310 nm si vyhrazuje celé pásmo 1260 – 1360 nm, kde 1310 je střední délka a vlnění zde může kolísat. Vlnová délka 1270 nm využívá rozsah pásma 1260 – 1280 nm. Pásma se tedy neustále překrývají a je nutné využívat časový multiplex.

Varianta upstreamu s rychlostí 10,3125 Gbit/s je zatím rozšířena velmi omezeně kvůli nákladnosti výroby koncových zařízení, která tuto rychlost zvládají přenášet. Podle specifikací fyzické vrstvy je možné k OLT připojit 16-32 koncových zařízení ONU/ONT. Dosah sítě je 10-20km. Pro CATV je rezervována vlnová délka 1550-1560 nm. 10G-EPON a EPON patří mezi nejvíce rozšířené sítě. Odhadem pokrývají až 65% všech sítí FTTH.

(Filka, 2009)

(ieee.org, 2002)

3.3.6 XG-PON

Dalším specifikovaným standardem je XG-PON (taktéž nazývaný 10G-PON). Stanovila ho firma ITU v roce 2010 pod označením G.987.1. Opět zde dochází k navyšování přenosové rychlosti, ovšem kompatibilita zůstává zachována. Podobně jako je tomu u předchozích 2 standardů GPON a 10G-EPON, XG-PON umožňuje fungovat na stejné ODN spolu s GPON. V podstatě stačí změnit jednotku OLT a zákazník pak změní koncovou jednotku ONU a pohodlně tak přejde na rychlejší standard, přitom ale ostatní účastníci mohou beze změny využívat stávající GPON.

Další významné plus je kompatibilita se standardem IEEE – 802.3av a jeho prvky. To umožní používat stejné prvky jako u 10G-EPON, což výrazně snižuje náklady na vývoj těchto prvků, jejich výrobu a tím pádem i koncovou cenu.

(HORNÍČEK, 2011)

XG-PON umožňuje rozdělit společné vlákno až na 128 koncových uživatelů. Stejně jako předchozí verze umožňuje přenos asymetrickým i symetrickým způsobem. Asymetrická varianta přenosu nabízí přenosovou rychlost až 10 Gbit/s pro downstream a 2,5 Gbit/s pro upstream (9,985328 Gbit/s a 2,48832 Gbit/s). Symetrická varianta přenáší rychlostí 10 Gbit/s v obou směrech. **(Filka, 2009) (Pužmanová, 2004)**

Dochází ke změnám i u vlnových délek. Upstream zabírá délku 1270 nm. Stále však se překrývá s pásmem 1260-1360 nm standardu GPON, takže je nutné použít časového multiplexu. Downstream pak zabírá vlnovou délku 1577 nm. Může tak vzniknout na jediném vlákne vlnový multiplex, který používá 4 různé vlnové délky, které v sobě zahrnují GPON i XG-PON, také upstream a downstream upravený časovým multiplexem pro služby různého typu. **(LÁSKO, 2012)**

Využití těchto sítí se předpokládá na 20-30 let. Dosah sítě je přibližně 20km.

3.3.7 NG-PON2

Jedná se zatím o poslední definovaný standard v roce 2015 firmou ITU. Nese kódové označení G989.3 a celková propustnost sítě je 40 Gbit/s. Downstream i upstream mají přenosovou rychlost pro jedno vlákno shodně 10Gb/s symetricky. NG-PON2 je zpětně kompatibilní s předchozí verzí XG-PON a update je možno opět provést pouhou výměnou OLT a ONU prvků. Novinka pro tento standard je možnost využití obou aktivních filtrů a možnost ladění laserů v ONU.

Pásmo vlnových délek pro upstream je v rozmezí od 1524 do 1544 nm a pro downstream v rozmezí od 1596 nm do 1602 nm. Tento standard využívá jak časových, tak vlnových multiplexů (TWDM). Jsou zde i některé vlnové délky rezervované pro potenciální P2P aplikace. **(400GbE Adopted Timeline, 2015)**

3.4 Optické přípojky a FTTx hybridní spoje

3.4.1 FTTx sítě

Označení FTTx⁸ je v obecném chápání rozdělení optických přístupových sítí z hlediska způsobu realizace připojení koncového uživatele, kde písmenko x je chápáno jako rozlišení, kde má být vlastně umístěn koncový bod pro připojení přístupové sítě. Optická

⁸ **FTTX**- Fiber to the- vlákno do x (kde x značí způsob připojení-home, node, premises,atd.)

přípojka jde vybudovat tzv. čistě optickým způsobem, takže optická přístupová síť vede až ke koncovému uživateli. V takovém případě se ONU⁹ nachází přímo v prostorách koncového uživatele. V ostatních případech se přípojky realizují pomocí dalších FTTx sítí, jako je např. FTTN. Do určité oblasti vede vybudovaná optická přístupová síť, ze které je na ni navázáno metalickým spojem či bezdrátovým přenosem. Tyto navazující prvky jsou pak nejčastěji řešeny pomocí digitálních koaxiálních spojů, nebo digitální přípojky typu xDSL¹⁰ (např. VDSL2, ADSL2+), dále pak pomocí lokálních sítí LAN¹¹ či bezdrátových sítí typu Wi-Fi nebo Wi-Max. Takový způsob připojení je typicky označován jako hybridní, jelikož zde dochází k použití jak optické přístupové sítě, tak i klasické sítě vedené metalickými spoji.

Tyto přípojky si kladou za cíl zejména co nejvíce snížit náklady na vybudování optické distribuční sítě tím, že není přivedena až k samotnému uživateli. Díky tomu je možné využít stávajících metalických sítí zákazníka nebo rovnou sdružovat skupiny koncových zákazníků ve stejné lokalitě (typicky panelové domy), čímž dojde k výraznému snížení celkových nákladů.

Právě díky cenovému poklesu na vybudování optické přípojky se stává její použití více oblíbené a atraktivní. Stále více se také optické přípojky objevují na vesnicích. Vstupují tak na trh i ti nejmenší poskytovatelé internetu, kteří nabízejí služby Triple play (Telefon, televize, internet). Takže v současnosti je možno najít vybudovanou optickou síť u domácností, kanceláří, malých a středně velkých firem, ale také u velkých institucí jako jsou banky a vzdělávací centra. (Pužmanová, 2007)

Šířka pásma

FTTx sítě využívající telekomunikační optická vlákna mají obvykle šířku pásma několik Terabitů za sekundu podle toho, jaké přenosové zařízení je použito. Tyto přípojky zpravidla nabízejí více než 10 000 x větší přenosovou kapacitu, než je tomu u běžné metalické přípojky- ta nabízí 1 Gbit/s. Z toho důvodu je optické vlákno umístěné v přístupové síti velmi lukrativní médium, které představuje solidní rezervu do budoucna a je tedy vhodné pro budoucí investice firem podnikajících v oblasti ICT. Zde stojí za

⁹ ONU- Optical network unit- optická síťová jednotka

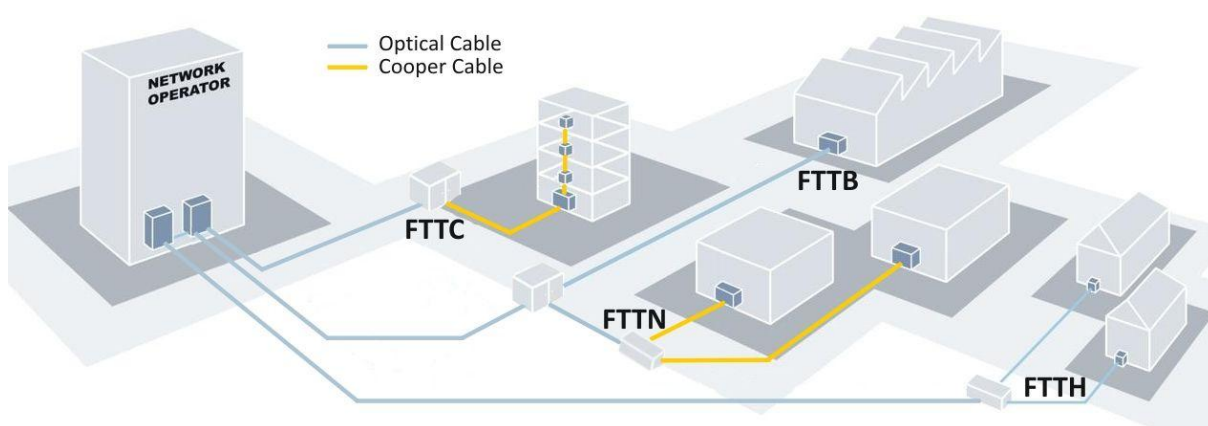
¹⁰ xDSL- Digital subscriber line- skupina digitálních přípojek

¹¹ LAN- Local area network- místní síť

zmínku myšlenka, že všechny firmy by měli do 10 let vyměnit stávající metalické infrastruktury za optické. Po tomto období budou metalické spoje již považovány za zastaralé a nepoužitelné pro moderní informační a komunikační služby. Bude to tedy podobný proces, jako když došlo v minulosti k elektrifikaci.

Rozdělení FTTx sítí

Rozdělení FTTx přípojek není tak jednoznačné, jak by se na první pohled mohlo zdát. Často se používá mnoha označení pro specifické výstavby a účely. Ty nejběžnější jsou znázorněny na následujícím schématu.



Obr. 7- Znázornění jednotlivých FTTx přípojek v praxi

Zdroj: <http://www.intechopen.com/source/html/16745/media/image3.jpg>

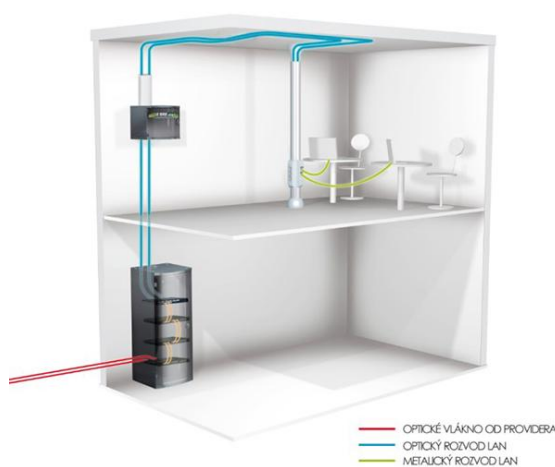
Obecně by se přípojky daly rozdělit na čistě optické (např. FTTH, FTTO), tedy tam, kde je optické vlákno vedeno až ke koncovému zákazníkovi, a na opticko- metalické či opticko- radiové (s využitím Wi-Fi). FTTx nerozlišuje o jaký typ optické, či navazující metalické sítě jde, pouze informuje o charakteru, jakým je optická přípojka realizována. Běžně se ale využívají v optické části přípojky některé z variant PON¹² (ITU-T, IEEE), což jsou mnohobodové sítě typu P2MP nebo optické sítě typu bod-bod (P2P), které se realizují pomocí optického Ethernetu.

Jak již bylo zmíněno výše je možné rozlišit několik druhů optických přípojek dle umístění koncového bodu optické části.

¹² PON- Passive optical network- pasivní optická síť

1) **FTTD** (Fiber To The Desk) a **FTTU** (Fiber To The User)

Tyto varianty představují nejbližší zakončení optické sítě- přímo až u zákazníka. Toto řešení je koncipováno jako představa ukončení optické přípojky až u konkrétního uživatele v síťové zásuvce (kancelář nebo domácnost) těsně u pracovního stolu. Pro převod signálu mezi optickým a metalickým spojem se využívá Switch. Odtud se díky jednotce ONU a pomocí krátkého metalického kabelu připojí ke koncovému zařízení. Varianta FTTU je ještě o něco blíže zákazníkovi, protože předpokládá využití optické přípojky přímo až do koncového zařízení (pracovní stanice), tedy bez využití metalického spoje.



Obr.8- Ukázka připojení způsobem FTTD

Zdroj: <http://www.legrand.cz/sites/default/files/userfiles/images/fttd.jpg>

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

Zde je optické vlákno vyvedené přímo do objektu koncového zákazníka, tedy např. do rodinného domu, jak je uvedeno ve schématu výše. Protože se zde jedná o čistě optický spoj, nabízí spolu s FTTD a FTTO dosud nejvyšší přenosové rychlosti (dnes běžně 50-300 Mbit). Kvůli budování čistě optického spoje je zase ze všech variant finančně nejnáročnější. Je totiž nutné optické spoje vyvést přímo do objektu koncového zákazníka a tím pádem využít nejdelší optický spoj ze všech variant. Využití se zamýšlí zejména v sektoru residenčním s využitím náročných multimediálních služeb, jako je online streamování videa ve vysokém rozlišení. Většinou se provozuje v nesymetrickém režimu z pohledu přenosových rychlostí. Na rozdíl od varianty výše je ještě nutné pomocí

metalického spoje přivést signál až ke koncovému zařízení. To může být realizováno například pomocí koaxiálního kabelu nebo bezdrátově.

3) FTTO (Fiber To The Office)

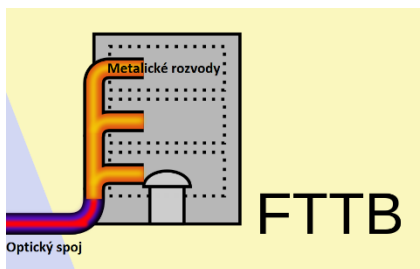
Je obdobné připojení jako výše zmiňované FTTH. Optická přípojka je zde také vyvedena až do objektu koncového uživatele. Jak název napovídá je určena na rozdíl od FTTH spíše pro kancelářské prostředí firemního a průmyslového využití, a úřadech, ve školách, nemocnicích atp. Díky tomu je zde kladen důraz na odlišné přenosové vlastnosti. Kvůli požadavku na zvýšený objem odesílaných dat ve vzestupném směru, je varianta FTTO předpokládána v symetrickém režimu přenosových rychlostí. Dále se předpokládá vyšší spolehlivost, méně časté výpadky, okolní rušení, zálohování sítě kvůli výpadkům. Také je zde kladen větší důraz na rychlosti odezvy. **(Legrand, 2010)**

4) FTTP (Fiber To The Premises)

Jedná se spíše o kombinaci dvou výše zmiňovaných (FTTH a FTTO, někdy také FTTH a FTTC), nebo o kombinaci dvou variant zapojení, než o samostatnou variantu. V případě kombinace FTTH a FTTO je optické vlákno vedeno od providera až k areálu zákazníka. Pokud je řeč o kombinaci FTTH + FTTC, optické vlákno zde nekončí u areálu, ale je zde vyvedeno na nějaký vyvýšený bod, např. stožár. **(McCullough, 2005)**

5) FTTB (Fiber To The Building)

V tomto případě se jedná o ideální kombinaci použití optického a metalického spoje. Jak vyplývá z názvu je určeno k připojení do větších budov nebo obytných komplexů. Typicky je do rozvodné skříně (ONU nebo jednotka síťového zakončení ONT) v suterénu



panelových domů přiveden optický spoj. Navazující metalická část je řešena Ethernetu 1 Gbit/s, ke kterému je připojen centrální switch nebo směrovač. Občas jsou implementovány přímo v ONU. Uživatelé jednotlivých bytů, jsou v rámci jednoho domu připojeni k přepínači lokální sítě s využitím

standardních kabelů typu UTP s délkou nepřekračující 100 m v jednom úseku. V případě moderních aglomerací a velký měst je navazující spoj řešen formou rozvodů kabelové televize CATV. Výhoda FTTB je značná úspora nákladů na vybudování optické přípojky

po celém komplexu díky využití stávající metalické kabeláže. V budoucnu je v plánu také využití plastických optických vláken POF pro rozvody mezi jednotlivými budovami.

Obr.9- Ukázka použití typu FTTB- do jednotlivých pater je využito lokálních sítí

Zdroj: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/9e/FTTX.svg/2000px-FTTX.svg.png>

6) FTTC (Fiber To The Curb) nebo FTTCab (Fiber To The Cabinet)

FTTC se uplatňuje v případě potřeby zakončovat optický spoj ve větší vzdálenosti od budovy, tzn. kolem 100 – 300 m. Tam se spoj zakončí v rozvodné skříni. Řešení FTTC a FTTB jsou rozdílná v tom, že FTTC potřebuje překonat větší vzdálenost než FTTB (zde se skříň nachází v suterénu budovy). Rozdíl je zde také v provedení skříně. V případě FTTC je nutné brát ohledy na vnější vlivy působící na skříň. Tyto zařízení jsou navrhována pro venkovní použití. Zařízení FTTB i FTTC lze zkombinovat v rámci jedné sítě. Kvůli nutnosti překlenout delší vzdálenost než u FTTB se nevyužívá pro navázání spoje lokálních sítí LAN, ale používají se digitální přípojky typu xDSL, obzvláště pak VDSL¹³ s implementovanou modulací VDMT, aby se dosáhlo co největší přenosové rychlosti. Do rozvaděče je k optické jednotce zaveden digitální multiplexor DSLAM. Pro připojení se využívají místní metalické rozvody. Díky tomu lze snížit finanční náklady na vybudování kratší optických tras. S prodlužující se vzdáleností mezi koncovým bodem optické sítě a koncových zákazníkem se však snižuje efektivita celého zapojení a dochází tak ke ztrátám. Zejména přípojky typu VDSL a VDSL2 vykazují značnou závislost přenosové rychlosti na vzdálenosti mezi koncovým bodem optické přípojky a koncovým zákazníkem. Kombinace optického vlákna a symetrického režimu v případě xDSL se velmi využívá návaznost optických spojů s koaxiálními rozvody kabelových televizí CATV2 v provedení HFC¹⁴. Zejména ve větších městech je toto provedení velmi využíváno.

7) FTTN (Fiber To The Node)

V tomto způsobu zapojení se opět posouvá koncový bod optické přípojky o něco dál od koncového zákazníka jak je patrné z obrázku č.1. Hraniční vzdálenost mezi koncovým bodem optické přípojky a koncovým zákazníkem je pro variantu FTTC přibližně 300 m, poté se již jedná o FTTN. Stejně jako je tomu u FTTC i zde se jedná o venkovní instalaci,

¹³ **VDSL2**- Very High Speed Digital Subscriber Line 2- vysokorychlostní účastnická přípojka 2. generace

¹⁴ **HFC**- Hybrid Fiber Coax- Hybridní přístupové sítě využívající optická vlákna a koaxiální kabely

jen vzdálenost se opět prodlužuje od několika set metrů až po kilometr. Překonání této vzdálenosti se opět řeší pomocí digitálního multiplexoru DSLAM pro navazující přípojky typu xDSL. V tomto případě lze využít kromě předchozího VDSL i ADSL2+, což bude mít za následek snížení maximální přenosové rychlosti.

Zákazníci mohou také využít pro připojení ke koncovému uzlu (rozvodná skříň) např. koaxiálního kabelu nebo kroucené dvoulinky. Připojení k této síti se předpokládá na stovky zákazníků. Šířka přenosového pásma je zde výrazně menší oproti FTTB. Z hlediska potřeb zákazníků se jedná pouze o dočasné řešení optického připojení, protože tato varianta nedokáže dlouhodobě uspokojovat jejich potřeby. Při použití VDSL2 je maximální přenosová rychlost 50Mbit/s na velmi krátkou vzdálenost, což z této varianty činí lehce nadprůměrné připojení přes xDSL (s rozdílem využití optické technologie).

8) FTTE_x (Fiber To The Exchange)

Jedná se v podstatě už o variantu, která hraničí s klasickými metalickými spoji. Optické vlákno v tomto případě vede pouze do místní ústředny, ve které je DSLAM pro převod signálu. Odtud se k zákazníkovi dostane již pomocí klasických metalických spojů pomocí technologie např. ADSL2+.

Všechny tyto varianty jsou běžně používané, ale nejsou zdaleka všechny vyjmenované. Ve specifických podmínkách je možné zahlédnout i FTTE (Fiber To The Enclosure) nebo FTTZ (Fiber To The Zone), které se používají např. k připojení koncových počítačů v rámci jednoho patra budovy. Verze FTFA (Fiber To The Amplifier) se zase využívá k ukončování optického vlákna v traťovém zesilovači.

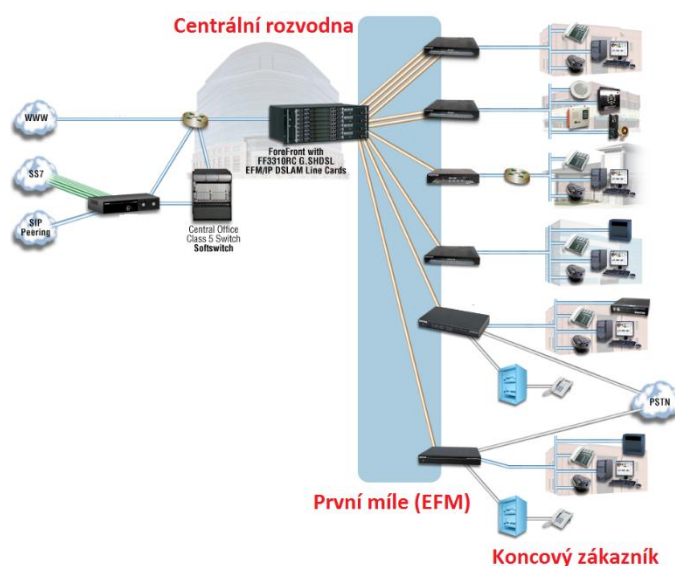
Všechny tyto varianty využívaly kombinaci optického vlákna a již zavedených metalických spojů (LAN, xDSL). Je také ale možné využít kombinace optického vlákna a bezdrátových spojů jako jsou bezdrátové sítě Wi-Fi nebo rádiové sítě. Tyto přípojky mají označení FTFA (Fiber To The Antenna) nebo FTTR (Fiber To The Radio). Jejich hlavní nasazení je u stanic typu BTS¹⁵, mobilních sítí nebo přístupových bodů AP (Access point).

**(Pavel Lafata, 2014), (MÜNSTER, 2010)
(RLC, 2014)**

¹⁵ **BTS**- Base Transceiver Station- Základnová stanice u mobilních sítí

3.4.2 Ethernet v první míli

V praxi je možné se setkat se zkratkou EFM (Ethernet in first mile), což označuje finální úsek, kde dochází k připojení uživatele do sítě. Z pohledu poskytovatele služeb se jedná sice o poslední míli (last mile), ale naopak pro zákazníka se jedná o první míli. Hlavním úkolem Ethernetu v první míli je připojit koncového zákazníka k nejbližšímu uzlu, což může být rozvodná skříň, centrála, telefonní ústředna, multiplexor, atp. s co nejmenšími ztrátami na přenosové rychlosti. Tento proces je často označován jako překlenutí poslední míle a jeho způsob je pak technologie pro překlenutí poslední míle, viz. FTTx sítě výše.



Obr.10- Znárodnění koncepce EFM- První míle

Zdroj: http://www.patton.com/images/products/EFM_App.png

Mezi tyto technologie je pak možné zařadit např. xDSL, Wi-Fi, ADSL2+, CATV, PON a další. Průměrná délka účastnické přípojky v ČR je okolo 1,5km. Tato vzdálenost je brána napříč všemi přípojkami jako průměr.

Původní myšlenka Ethernetu byla propojit stanice v lokálních sítích. Díky jeho jednoduchosti a transparentnosti však postupně začal vytlačovat klasické do té doby standardní ATM, X.25¹⁶ protokoly a jeho obliba začala rychle stoupat. Začal se více prosazovat v síťových odvětvích a v dnešní době se již dá považovat za standard v přístupových a telekomunikačních sítích.

(Pužmanová, 2003)

¹⁶ ATM- Asynchronous transfer mode- asynchronní přenosový mód, X.25- Protokol pro přepojování paketů

Je třeba zmínit, že Ethernet v první míli (EFM) byl navržen pro 3 různé datové provedení a každé z nich se mělo vzájemně doplňovat. Tyto infrastruktury jsou:

- a) Běžné metalické kabely
- b) Dvoubodový optický spoj
- c) Pasivní optická síť (PON)

Pro klasické metalické spoje je nabízena symetrická služba, díky níž je možno dosáhnout přenosovou rychlost až 10 Mbit/s do vzdálenosti 750 m od uzlu běžným UTP kabelem kategorie 3.

Další možností je výše zmiňovaný dvoubodový optický spoj (P2P- po jednovidovém optickém vlákně) nabízející přenosovou rychlost až 1 Gbit/s. Stejně tak třetí zmiňovaná možnost přenos přes pasivní optickou síť v rámci mnohobodového spoje (P2MP) nabízí rychlost 1 Gbit/s.

Cílem první míle je nabídnout zákazníkovi co nejkvalitnější a nejbezpečnější řešení, aby mohl využívat služeb Ethernetu a mohl zapojit vybrané zařízení přímo do zásuvky. Klade se tak důraz na snadnou instalaci, širokou škálu použitelnosti a flexibilitu. EFM nabízí různé širokopásmové služby jako je např. VoIP, TV vysílání ve vysoké kvalitě nebo VOD¹⁷. Samozřejmostí je také přístup k datům prostřednictvím internetu, on-line hry, různé videokonference a připojení účastníků pracujících z domova k podnikovým sítím skrze virtuální privátní síť VPN.

Norma, která podporuje tyto 3 typy řešení se nazývá **IEEE 802.3ah**.

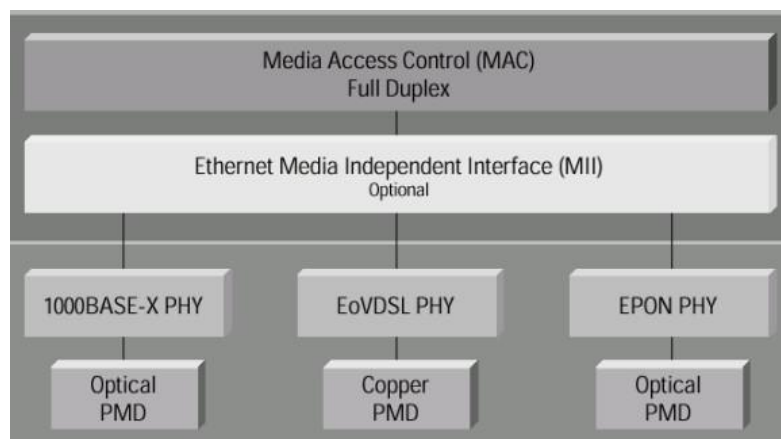
Úkolem tohoto standardu bylo vytvořit návrhy a další navazující standardy pro řešení vysokorychlostního přístupu k internetu na bázi Ethernetu. S touto koncepcí jsou řešeny souběžně různé vývojové směry a větve, kde nejvíce důležitá je EFMF (EFM Fiber), která je založena na výše zmiňovaném systému P2P a dále mnohobodové pasivní optické síti P2MP (G)PON a 10EPON. Připojení pomocí metalického přenosového média se také někdy označuje jako EFMC (EFM Coper).

(Ing. Jan Brouček, 2010)

(Pužmanová, 2003)

¹⁷ **VOD**- Video on Demand- Video na vyžádání

Norma IEEE 802.3ah byla potvrzena ve stejnou dobu, kdy bylo vydána první testovací verze technologie na Chicagské výstavě Supercomm. Tato norma představuje mezinárodně uznávané řešení, které umožňuje odstranit nastávající problémy s připojením a vzájemnou spoluprací mezi produkty od různých výrobců. **(Ing. Rita Pužmanová, 2004)**



Obr.11- Znárodnující 3 hlavní způsoby připojení k překlenutí první (poslední) míle
Zdroj: <http://www.dsl.cz/clanky/20-ethernet-v-prvni-mili>

3.4.3 Triple play služby

Pod pojmem Triple play si lze představit komplexní balík služeb určený pro běžné potřeby moderních domácností, která zahrnuje zcela běžně používané služby. Tím je myšleno Internet (vysokorychlostní přenos dat například v podobě videa ve vysokém rozlišení), televize a volání (VoIP).

Tato koncepce sice není závislá na použité technologii a způsobu připojení, avšak je velmi žádoucí, aby přípojka vykazovala co největší přenosové rychlosti právě kvůli požadavkům zákazníků na stahování a přehrávání videí ve vysoké kvalitě. Totéž platí o sledování televize. V současnosti lze tedy k uspokojení potřeb zákazníka využívat přípojky VDSL2 a sítě kabelové televize CATV (HFC) a také P2P a P2MP sítě. Pro jednotné fungování služeb Triple play se čím dál častěji využívá protokolu IP a Ethernetu, což má ale určitá rizika a omezení.

Aby mohla různá kombinace služeb Triple play fungovat správně, je nutné nastavit pravidla pro nakládání s toky různého typu (stahování souborů, přenos dat v reálném čase, prohlížení webu, atd.). Obecně se tato opatření nazývají QoS (Quality of service). Je třeba sledovat několik důležitých parametrů. Nejdůležitější z nich je dostupnost té které služby.

Přenosová rychlost

Je jedním z nejdůležitějších parametrů co se služeb Triple play týká. Má totiž naprosto zásadní vliv na přenos signálu v reálném čase a tím zajišťuje plynulost služeb. Zajišťuje také dodatečný a snadný přístup k datovým zdrojům

Zpoždění při přenosu

Zpoždění, nebo také odezva velmi důležité měřítko kvality přenosového signálu v reálném čase. Například pro telefonování je maximální přípustná hodnota kolem 150 ms, zatímco pro hraní online her je optimální jen pár desítek ms. Běžně se tato hodnota pohybuje okolo 30 - 40 ms.

Kolísání zpoždění

Maximální hodnoty proměnlivé složky zpoždění se přičítě k průměrným hodnotám zpoždění, takže se zde usiluje o to, aby se hodnoty držely dostatečně nízko a dosáhlo se tak co nejnižší hodnoty.

Ztrátovost paketů

Čím větší je ztrátovost paketů, tím více se snižuje kvalita hovorů a video přenosů. Dochází zde také k výraznému snížení efektivity služeb, to proto, že pakety, které se během odesílání ztratily je nutno odeslat znovu. Tím se celý proces zpomalí.

V praxi je možné se setkat se dvěma protokoly – TCP¹⁸ a UDP¹⁹. Oba protokoly se nacházejí na transportní vrstvě. Zatímco TCP protokol funguje spolehlivě, tzn., že průběžně přijímá zprávy od příjemce, jeho odezva je pomalejší. UDP protokol funguje na principu nespolehlivého přenosu dat, což znamená, že nepřijímá žádné zprávy od příjemce, ale zase disponuje rychlejší odezvou.

Pasivní optické sítě PON jsou založeny na jednotném způsobu přenosu skrze IP protokol a k distribuci videa využívá pro sebe vyhrazené pásmo vlnových délek 1550 – 1560 nm, které se obvykle nazývá jako video- overlay. Ačkoliv jeho praktické využití není příliš

¹⁸ **TCP**- Transmission Control Protocol- přenosový protokol na transportní vrstvě

¹⁹ **UDP**- User Data Protocol- také se jedná o přenosový protokol na transportní vrstvě

oblíbené a spíše klesá, lze ho najít i ve variantách pasivních optických sítí jako je GPON, EPON či BPON. Zatím zůstalo i pro 10 GB verze PON sítě.

Původně se jednalo o transparentní optický kanál spíše využívaný pro analogový přenos TV signálu, avšak nyní je nezávislý na způsobu řešení vlastní optické sítě. Jeho charakteristika se podobá CATV s distribucí TV signálu VoD pomocí PON sítí. Pro přenášení zpětných odpovědí a reakcí uživatelů na multimediální obsah, slouží klasický vzestupný směr komunikace na bázi PON sítě.

Ačkoliv z výše uvedeného vyplývá, že se jedná o velmi lukrativní služby, které nabízí ne jeden poskytovatel služeb, je třeba dbát zvýšené pozornosti, protože rozšíření, které původně vzniklo z klasické datové služby www na multimediální hlasové (VoIP) a video (IPTV/RF), může být za určitých okolností problematické.

Jak již bylo řečeno, výslednou kvalitu služeb ovlivňuje ztrátovost paketů. A proto, že služby VoIP a IPTV/RF fungují na protokolu UDP, který značí nespolehlivý přenos, může se občas stát, že dojde k výpadku a ztrátě dat (v praxi např. výpadky při hovoru). Data (pakety) se při ztrátě nenahrazují novými, jako je tomu u TCP protokolu. To sice s sebou přináší výhodu v podobě menšího zpoždění, způsobeného čekáním na zaslání nových paketů, ale na druhou stranu může do značné míry ovlivnit výslednou kvalitu služeb.

Dalším parametrem, který se u těchto služeb sleduje, je tzv. OoS (Out of Sequence), který specifikuje přijetí dat mimo pořadí, kde pořadí přijatých dat neodpovídá pořadí dat odeslaných. Tento případ nastává ve chvíli, když data v síti proudí různými cestami.

Testování služeb

U těchto služeb je kladen velký důraz na kvalitu mnohem více, než je tomu u prosté distribuce dat. Z toho důvodu je nutné celou infrastrukturu testovat, aby došlo co nejdříve k odhalení nedostatků. Prvním možným způsobem je testování metodou pokus-omyl, což může v některých případech vést ke ztrátě zákazníků. Dalším možným způsobem, jak testovat kvalitu služeb je použití speciálního softwaru, který může částečně odhalit problém. Poslední možností je využití dedikovaného hardware, který může odhalit slabá místa infrastruktury a otestovat její výkon.

Do nedávna všechny ruční platformy i robustní testery využívaly pro testování nástroje RFC2544 jako je propustnost, ztrátovost, zpoždění a zatížitelnost. Později přibylo i kolísání zpoždění. Tyto testery vykazují velmi přesné výsledky ohledně výkonosti distribuované infrastruktury. Původně bylo RFC2544 vyvinuto pro laboratorní účely. V sítích Triple Play se distribuuji najednou 3 datové toky a každý tok vyžaduje specifické podmínky, což by znamenalo v případě nasazení RFC2544 spuštění hned 3x, přičemž test jedné této služby může v závislosti na náročnosti trvat až 4 hodiny. Časová náročnost těchto testů ale není jediná nevýhoda. RFC2544 neobsahuje nástroje pro testování real-time služeb, jako je Packet Jitter, OoS, QoS.

Tímto problémem se zabývala organizace ITU, která přišla s návrhem na normu ITU-T Y.156sam. Tento standard obsahuje všechny nezbytné nástroje ke spolehlivému a rychlému otestování distribuční soustavy

EXFO je novým standardem, který dostal jméno podle kanadské společnosti, která ho vynalezla. Tato společnost ho poprvé zařadila do svých testerů a nabízí tak podporu RFC2544 a ITU-T Y.156sam. Na trhu ho nabízí ve svých testerech zdarma a nazývá ho EtherSAM. Hlavní výhodou tohoto standardu je již zmiňované testování parametrů real-time služeb během jediného testu. Další výhodou je pak testování až 10 datových toků souběžně. V první fázi testování je prověřována správná konfigurace každé služby a při té druhé dochází k prověřování výkonnosti distribuce. EtherSAM umožňuje okamžitý přehled o výkonnosti a stabilitě celé distribuce. Díky časové nenáročnosti výrazně snižuje i provozní náklady. (Pavel Lafata, 2014)

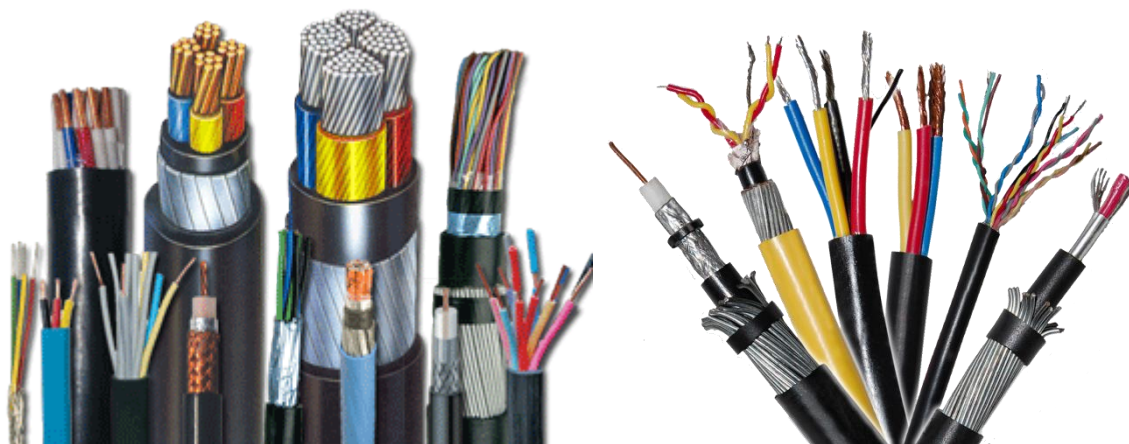
3.5 Kabely optických sítí a spojování

Optická kabeláž je spolu s metalickou již standardem v optických sítích. Spolu s nimi se používají nejrůznější konektory, spojky, propojky apod. Optická vlákna je možno také spojovat a nastavovat.

3.5.1 Optické kabely

Primárně slouží jako ochrana optických vláken před vnějšími vlivy. Optické kabely jsou dnes používány v různých variantách a provedeních od velice jednoduchých duplexních propojovacích kabelů až po kabely se stovkami vláken do náročných instalací, případně podmorské kabely s několikanásobnou ochranou proti vnějším vlivům s odolností vůči

mechanickému poškození. Samotné vlákno je obvykle uloženo v primární a sekundární ochraně, kolem které se nacházejí tahové prvky a plášť kabelu.



Obr.12 a 13- Ukázka rozličných typů optických kabelů pro nejrůznější účely

Zdroj: http://petracable.com/wp-content/uploads/2016/06/wire_family1.gif

Zdroj: <http://contentinjection.com/wp-content/uploads/2014/04/difference-between-copper-and-fiber-optic-cable.png>

Konstrukce optických kabelů

Tažný prvek-bývá z kevlaru, což je aramidová příze, případně ze skelné příze nebo ocelové struny.

Plášť kabelu- ten se skládá z více vrstev materiálu a to podle požadavků s odolností proti UV, tlaku, teplotě. Měl by být také odolný vůči požáru, chemikáliím. Je dobré zohlednit i způsob uložení kabelu. Materiál pláště bývá obvykle PVC, polyethylen, LSZH, ocel, hliník.

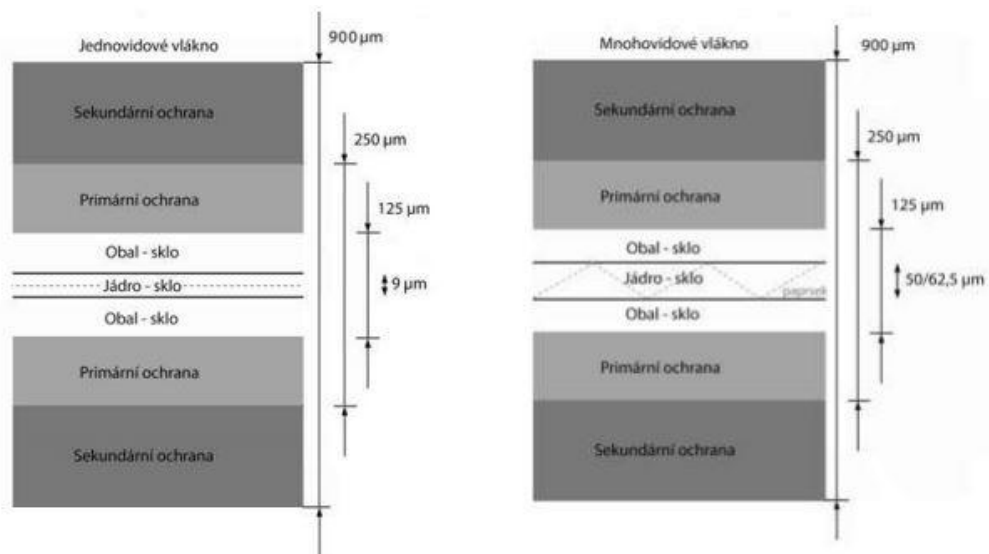
Rozdělení podle ochrany

a) Primární ochrana

Na plášť se nanese speciální lak, většinou akrylát, který má za účel chránit vlákno před vlhkostí a dodává vláknu celkově větší pevnost. Také se s vláknem mnohem lépe manipuluje. Tato ochrana má průměr 250 μm . Vlákno má průměr 125 μm

b) Sekundární ochrana

Slouží taktéž k ochraně vlákna, zejména však chrání vlákno proti mechanickému poškození a namáhání. Tato ochrana má průměr 900 μm .



Obr. 14- Znázornění primární a sekundární ochrany u SM a MM vláken
 Zdroj: http://www.variant.cz/soubory-ve-skladu/Karty/Spol_Zarazene/01-MANU%C3%81LY%20CS/SKS%20prirucka%20optika%20-%20man-a4.pdf

Rozdělení podle prostředí využití

a) Instalace uvnitř budovy

Tento typ kabelu nevyžaduje tak robustní ochranu jako je tomu u kabelů ve venkovním prostředí. Nepůsobí zde vnější vlivy jako je déšť, mráz, vítr a celkově dochází k pomalejšímu opotřebení kabelu.

b) Breakout kabely

Mají sekundární těsnou ochranu s pláštěm, který se nachází na každém jednotlivém vlákně, který je dostatečná ochrana proti mechanickému poškození

c) Zip-cord kabely

Je to v podstatě duplexní, tedy dvouvláknový kabel, který se často používá na propojovací kabely, tzv. Patch-cordy.

d) Pro venkovní použití

Kabely, které se používají ve vnějším prostředí se instalují zejména do země do různých typů chráničků (podzemních trubek), případně se zavěšují. Na rozdíl od kabelů pro vnitřní použití jsou tyto kabely vystaveny měnící se teplotě, větru, vlhkosti nebo slunečnímu záření, či dalším vlivům nepříznivě ovlivňující stav kabelu. Tyto vlivy je potřeba brát na vědomí při jeho výběru.

U venkovních instalací se z pravidla používají vlákna o průměru 250 μm s volnou sekundární ochranou. Tento typ ochrany se používá zejména tam, kde se často mění teplota. V případě použití těsné sekundární ochrany hrozí poškození vlákna vlivem změny teploty okolního prostředí. Také kvůli většímu mechanickému namáhání není vhodná těsná sekundární ochrana.

Při instalacích přímo do země se používají ocelové kabely, která zajistí dostatečnou ochranu před mechanickým namáháním a slouží i jako ochrana před hlodavci. Na zavěšení se využívají kabely s vysokou pevností v tahu nebo popřípadě s nosným ocelovým prvkem.

e) Podmořské kabely

Jejich účelem je propojovat jednotlivé páteřní sítě mezi kontinenty. Transkontinentální kabely mají mnohem větší průměr než běžné pro propojování firem a domácností. Mají několikanásobnou ochranu s ocelovým výpletem, aby odolaly teplotám a tlakům panujícím na mořském dně. Na mořské dno je pokládá speciálně upravená loď. Jejich životnost se odhaduje na 30 let. Jen mezi Evropou a Amerikou je jich celkem 13. Celkově se předpokládá že je pod mořem nataženo 300 000 km těchto kabelů.



Obr.15- Ukázka podmořského kabelu- je zde patrná velmi masivní ochrana

Zdroj: <http://21stoleti.cz/wp-content/images/1134490697.jpg>

Rozdělení podle způsobu uložení vlákna

a) S volnou sekundární ochranou (Loose tube)

Zde je vysvětlení poměrně snadné. Jedná se o typ kabelu, kde jsou vlákna volně uložena v trubičce bez přítomnosti sekundární ochrany. V tomto typu bývá usazeno 1, 4, 6, 8 nebo 12 vláken. Existují i tzv. gelové výplně, kde je trubičky s vlákny vyplněna gelem, který posléze vytvrdne. Tím se docílí větší odolnosti vůči mechanickému poškození. Dále může být výplň suchá.

b) S těsnou sekundární ochranou (Tight buffer)

Zde kromě primární ochrany figuruje ještě ochrana sekundární, která je nabalena na té primární. Lze nabalit více vrstev najednou. Toto vlákno má průměr 900 μm . Použití často pro Pigtail. Lze ho přímo na místě osadit konektorem. Používá se zejména pro kratší vzdálenosti a nebo pro vertikální rozvody (zavěšení)

(ahr, 2011) (Burns, 2010) (VARIANT) (Šíma, 2008)

3.5.2 Optické konektory

Konektorů k optickým kabelům je opravdu hodně, ale v současnosti se používají hlavně konektory typu SC a LC, případně FC pro sítě LAN a WAN. Je zde možné se také setkat s konektory typu ST. Konektory typu SC se používají hodně v media konvertorech. Zvláštními typy konektorů jsou pak MT-RJ, VF-45 a E-2000.

LC konektory mají menší rozměry a často se vyskytují v MiniGBIC modulech. Konektory mohou být buď samostatné jako simplexní, nebo potom v páru jako duplexní. Konektor se skládá z několika prvků jako je ohebná **tahová objímka**, **ferule**, **aretační prvek** sloužící ke správné orientaci konektoru a často **zajišťovací prvek** a samozřejmě tělo konektoru samotného (plast, kov).

Ferule

Jedná se o malý váleček miniaturních rozměrů, obvykle 2,5 mm nebo 1,25mm. Je to nejdůležitější část konektoru a podle ní se odvíjí parametry konektoru. Dříve byl jejich materiál zejména kov, dnes se vyrábějí z keramiky nebo zirkonia nebo kompozitů. Ty nejlacinější pak z plastu. Uprostřed ferule je průchod pro vlákno. To je uchyceno pomocí lepidla a následně zbrušeno.

Simplexní / Duplexní konektor

V počátcích vývoje se vždy jednalo o jednotlivá vlákna a každé mělo svůj konektor- tedy simplex. Toto vlákno obstarávalo současně příjem i vysílání signálu. Později se ale prokázalo, že je výhodnější použít pro jeden konektor 2 vlákna. Nemusí se tak zjišťovat, které obstarává příjem signálu a které odesílání- to je podstata duplexních konektorů. Některé konektory jsou pouze simplexní (např. ST) a některé naopak výhradně duplexní (SC nebo E2000). Pro operátorské účely se zavedly konektory s více než dvěma vlákny.

a) Konektor typu SC

Používá se pro jednovidová i mnohovidová vlákna. Je to jeden z nejpoužívanějších konektorů za posledních 10 let pro MM. Je to nejrozšířenější konektor pro fast Ethernet. Prakticky všechna zařízení ho podporovala. Příchodem Gbit prvků s SFP moduly mini GBIC se začíná více používat konektor typu LC.

b) Konektor typu FC

Tento konektor používá kovový závit k přichycení spojky. Na počátku 90. let se jednalo o velmi populární konektor zejména pro instalaci Single mode vláken. Postupně se však přestal využívat a v posledních 10 letech je využíván jen velmi zřídka.

c) Konektor typu LC

Vyvinula společnost AT&T jako druh SFF konektoru. Dostává se stále více do popředí díky příchodu Gbit prvků a také kvůli významné podpoře firmy Cisco. Oproti SC konektoru je jeho velikost poloviční, takže do SC formátu lze umístit duplexní modul. Existuje i dvojitá duplexní spojka, čili 4 vlákna, která má stejný formát jako SC duplexní spojka. Jeho ferule má průměr 1,25 mm.

d) Konektor typu ST

Tento typ konektoru má bajonetový tvar s dlouhou ferulí a byl vyvinut společností AT&T. Jednalo se o nejvíce používaný typ konektoru koncem devadesátých let u nás. Zejména pro technologii 10Base-FL a 100Base-Fx. Konektor je tak trochu problematický díky pružině, která tlačí vnitřní část koncovky ven, nedá se nikdy na jistotu říct, že konektor je ve spojce správně usazen. Dnes se již používá mnohem méně.

e) Konektor VF-45

Tento konektor v sobě neobsahuje feruli. Jméno pravděpodobně vychází z celosvětově známého RJ-45. Cena za konektor je přijatelně nízká a jeho uplatnění se mělo týkat zejména FTTx sítí. Díky absenci ferule neobsahuje zástrčka standardní vlákno, ale vlákno typu GGP a je umístěno do konektoru pod úhlem. Vlákna jsou vedena tak, že se po zastrčení dotýkají i bez ferule.

f) Konektor typu MT-RJ

Jedná se o velmi malý a čistě duplexní konektor. Vyrábí ho firma AMP Netconnect. Tento kvalitní konektor obsahuje kompozitní feruli pro obě vlákna. Taktéž jeho cena je příznivě nízká oproti ostatním konektorům.

g) Konektor E-2000

Toto je špička v oblasti optických konektorů. Bohužel i cenou. Tento konektor byl vyvinut švýcarskou firmou Diamond, která poskytla licenci na výrobu pouhým 2 firmám. Před ferulí se nachází krytka, která slouží jako ochrana ferule před poškrábáním a prachem. Automaticky při zasunutí konektoru se krytka otevře a při vysunutí zavře. Cenově nejméně výhodný konektor. (VARIANT) (Opticon, 2012) (Šíma, 2008) (Petrášek, 2011)



Obr.16- Ukázka nejčastěji používaných konektorů

3.5.3 Spojování optických vláken

Optické vlákno může být dlouho 2,5 – 5 km. Pokud je nutné využívat větší vzdálenosti, musí se vlákna vzájemně spojovat jako je tomu u metalických spojů. Je potřeba, aby technologie vůbec umožňovala tato vlákna napojovat. Čím je vlákno tenčí, tím je kladen větší důraz na přesnost této technologie. Pro všechny spoje optických vláken platí, že čela vláken musí být kolmá k ose vlákna. V praxi se potom vlákno nařízne a přetrhne v určitém tahu pomocí speciálního přístroje. Požadavky na jednotlivé spoje jsou pak v zásadě podobné jako u klasických spojů, takže je kladen důraz na pevnost, odolnost proti mechanickému poškození, odolnost proti různým teplotám, elektrická stálost spoje, nízký útlum a pokud je spoj rozebíratelný, tak i snadná demontáž.

Na dlouhých úsecích jsou používány pevné nerozebíratelné spoje, zatímco u spojování konektorů se zařízeními se používají rozebíratelné spoje.

Spojování optických vláken můžeme dělit na:

Trvalá spojení

Tato spojení se ještě mohou z hlediska rozebíratelnosti dělit na rozebíratelné a nerozebíratelné spoje.

a) Tavné svařování

Jedná se o nejkvalitnější spoj z hlediska útlumu a životnosti. Vlákná se svařují elektrickým obloukem. Tento proces je obtížný, protože vlákna jsou velmi tenká a náchylná k poškozování. Zda svar je kvalitní, či nikoliv se hodnotí podle optického útlumu a mechanické pevnosti. Nejkvalitnější svar je v případě svařování obou konců vlákná. Poté co se vyrovnají do osy se za pomoci laseru, či elektrického oblouku svaří. Práce je tak detailní, že musí být prováděna pod mikroskopem. Nejvíce se pro svařování používá elektrický oblouk, který zajistí spoj s útlumem 0,2 dB i méně.

Ke svařování se používají speciální přístroje.



*Obr.17- Ukázka speciálního zařízení na svařování optických vláken
Zdroj: <http://www.lcgroup.cz/wp-content/uploads/2012/05/FSM-18S.jpg>*

Podmínka pro úspěšný svar je čistota svařovaného vlákna a přesná kolmost zalomení vlákna. Pro zalomení se používá lamačka. Nejvyšší povolená odchylka je 1° , což pomocí vhodné lamačky lze dodržet. Výsledný svar se kontroluje pod mikroskopem. Při 50 násobném zvětšení se kontroluje konec vlákna.

b) Mechanické spojování

Jsou to v podstatě rozebíratelné spoje jako jsou konektory. Tyto spoje požadují, aby se mechanické spoje nedotýkaly. Důvodem bývá opotřebení ploch a tím se sníží kvalita spoje. Současně ale nesmí mezera být příliš velká, jinak dochází ke ztrátám vlivem rozptylu světelného svazku. Jestliže útlum nemá přesahovat 0,2 dB, nesmí být vzdálenost větší než 10% průměru optického vlákna, čili jsou na tyto spoje kladeny poměrně velké nároky.

Jejich hlavní využití se předpokládá zejména tam, kde bude potřeba vlákna spojovat a znovu rozpojovat. Zejména to bývá u spojení vlákna a optického prvku (zařízení). Jedná se o jednoduché nebo dvojité kabely (patch cordy). Důležitá je také mechanická odolnost při zachování jednoduché výroby a údržby.

Kvalitu konektoru určuje jeho kontaktní člen. Existuje několik spojovacích typů z čehož tzv. Čočkový systém umožňuje nejvíce spojení a rozpojení, protože zde nedochází k přímému kontaktu spojovaných vláken. Zápor pro tento typ je však

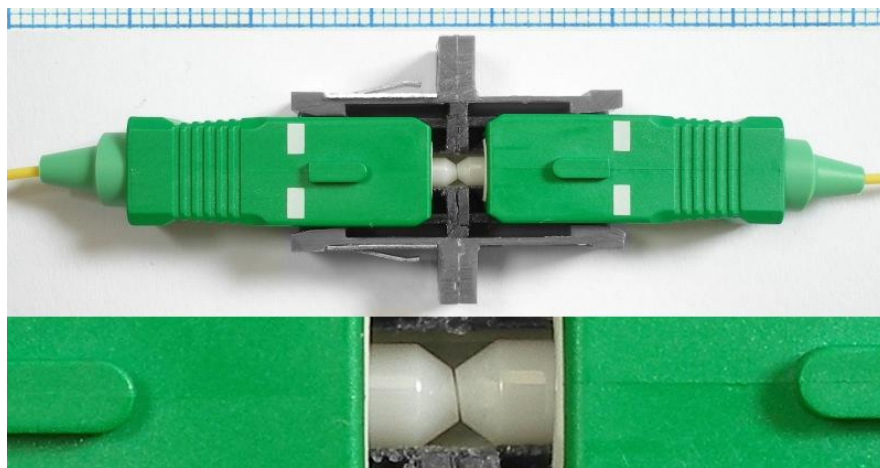
poměrně drahá výroba díky přesné konstrukci čočky. Proto se tento typ používá jen velmi zřídka.

Další skupina využívá tzv. „V“ drážek, nebo vodičích kolíků a trubky. Typické ztráty pro toto spojení jsou do 1 dB. Konektory pro spojování využívají také specifické vybavení, a proto je to také poměrně komplikovaný proces. Od konektorů se očekává snadná manipulace, opakovatelnost spojení bez snížení účinnosti.

Nejpoužívanější jsou konektory s rovinným kontaktem-FC a bodovým kontaktem- PC. Dalším typem, který se také používá je APC. Ten má feruli ze zirkoniové keramiky a čelo je zabroušené pod úhlem 8° .

Částečně-trvalá spojení

Trvalé nebo částečně rozebíratelné spoje jsou realizovány pomocí optovláknových spojek s vodičí V-drážkou pro vyrovnání vláken a s plastovou konstrukcí a s požadavkem na malý útlum. Tyto spojky jsou určeny pro optická vlákna s průměrem pláště do 125 μm a primární ochranou od 250 do 900 μm . Jejich útlum je obvykle do 0,1 dB. Útlum zpětného odrazu je 35 dB a více. **(Filka, 2009)**



*Obr.18- Ukázka spojování vláken pomocí optických konektorů
Zdroj: <http://staff.cesnet.cz/~michal/vms/APC/APC-APC.jpg>*

Jedna z dalších metod pevného spojování je tzv. Fibrlock. Oba konce vláken se zde zavedou do předem připravené kalibrované válcové trubičky. Trubička má na obou koncích rozšíření. K zafixování se konce trubičky zasouvají do pláště nebo se někdy

zamáčkne stavěcí kroužek kolem pláště. Pokud je trubička před zavedením vyplněna silikonem, spoj má vložený útlum do 0,3 dB. **(Plexo, 2008)**

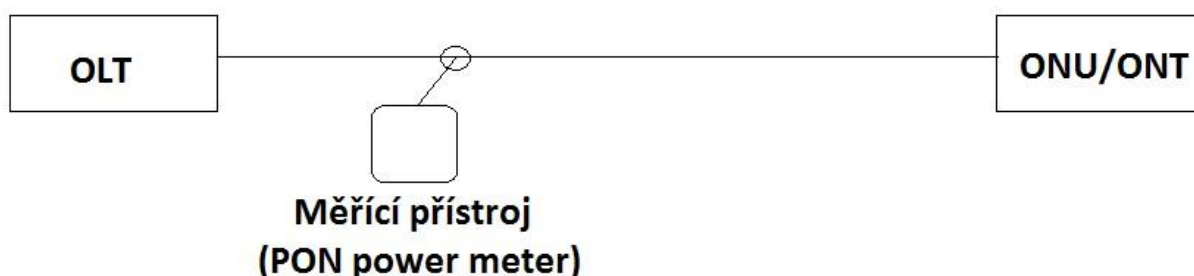
3.6 Měření optických vláken

Optická síť je vytvořena a nyní již zbývá provést nezbytnou kontrolu a měření dané sítě, abychom zajistili bezproblémový chod. Před uvedením sítě do ostrého provozu je proto vhodné provést sérii měření a kontrol optických tras a jejich parametrů. Podobně je tomu i u detekování chyb. Slouží tedy také k tomu, aby byla chyba odhalena co nejrychleji díky její lokalizaci pomocí měření. Testy, které je možno provádět, je velké množství, ale nejdůležitější jsou tzv. **Přímá metoda** (metoda měření útlumu) a **metoda OTDR**.

3.6.1 Metoda měření útlumu

Přímá metoda, nebo také metoda měření útlumu je nejzákladnější metodou pro měření optických tras. Měření probíhá pomocí přímého měření optického signálu a jeho následném vyhodnocení dle přípustných limitů, které se určují dle použitého standardu zvolené varianty PON (GPON, 10G-EPON, atd.). Obvykle probíhá tak, že se měří trasa mezi OLT a koncovou jednotkou ONU za běžného nebo testovacího provozu. Měření probíhá na všech známých vlnových délkách, tzn. 1260 – 1360 nm, 1260 – 1280 nm a 1290 – 1330 nm pro vzestupný směr a 1480 – 1500 nm a 1575 – 1580 nm pro sestupný směr.

Do zvoleného bodu optické trasy se následně vloží měřicí prvek, zpravidla někde mezi OLT a ONU/ONT. Tento prvek musí být bezpodmínečně oboustranně průchozí a nesmí v žádném případě narušovat plynulost provozu sítě.



*Obr.19- Princip umístění měřicího přístroje při měření přímou metodou
Zdroj: vlastní tvorba- inspirace kniha Optické přístupové sítě a přípojky FTTx*

Pro měření je možné použít kterýkoliv dostupný měřič úrovně útlumu s použitím příslušných filtrů pro vlnové délky. Ovšem ve vzestupném směru v pasivních optických sítích provoz probíhá v tzv. dávkovém režimu, což může některým zařízením činit potíže. Je proto v těchto případech lepší využívat specializované přístroje určené pro měření pasivních optických sítí- PON power meter. Tento přístroj umožňuje současně měřit na více vlnových délkách a má v sobě implementované jejich filtry.

Existují i modulární měřiče, kde stačí vyměnit modul pro příslušnou síť PON a nebo univerzální měřiče, které na displeji zobrazují aktuální optický výkon, útlum v dB atd. To je pak možné porovnat s doporučením IEEE, popř. ITU a určit, zda je vyhovující, či nikoliv.

Teoreticky lze „napíchnout“ trasu v kterémkoliv bodě trasy, ovšem v praxi se obvykle umísťuje hned za jednotku OLT, či před jednotku ONU/ONT. Je proto nutné brát výše uvedený obrázek jako ilustrační. Je to z toho důvodu, že trasa v sobě často zahrnuje nerozebíratelné spoje jako svary nebo mechanické spojky (Fibrlock). Z toho důvodu se zařízení umísťuje tak, kde spoj rozebrat lze, kde bývají konektory- tedy těsně za OLT a těsně před ONU/ONT.

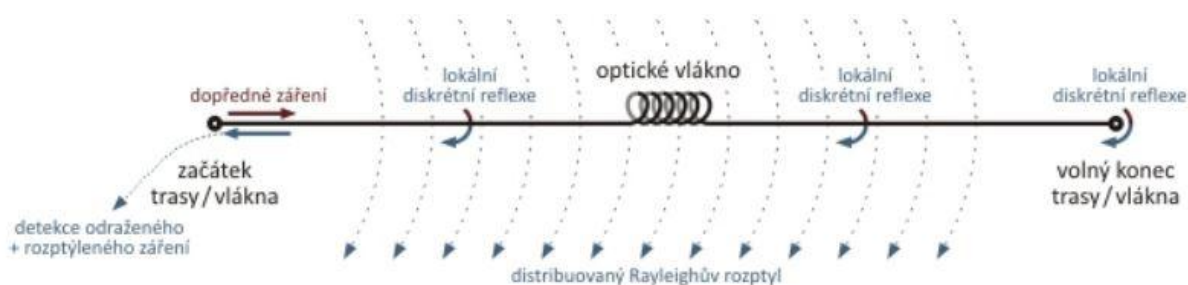
Tento typ měření se využívá zejména po dokončení výstavby sítě jako prvotní krok k testování funkcionality sítě. Také se používá jako prvotní krok pro lokalizaci chyby v síti. Její nespornou výhodou je, že uživatelé prakticky neztrácejí konektivitu během měření chyb, protože dojde k výpadku pouze po dobu připojování přístroje. Mezi nevýhody tohoto typu měření patří nutnost provádět měření za provozu a také fakt, že slouží pouze k orientačnímu, nepřesnému zaměření (lokalizaci) poruchy. Také je nevýhoda je připojením měřiče do sítě se vkládá částečný útlum, což je vhodné následně korigovat nastavením přístroje.

Také je vhodné vyhnout se situaci, kdy se měřicí přístroj napojí za několik koncových jednotek ONU/ONT. Ty pak vykazují každá jinou hodnotu útlumu a přístroj vlastně vyhodnocuje všechny hodnoty naráz. Tím zobrazí buď průměr těchto hodnot, nebo hodnotu koncové jednotky, která v daný okamžik vysílá. Toto lze ošetřit pomocí kalibrace přístroje.

3.6.2 Metoda OTDR

Metoda OTDR²⁰ je sofistikovanější a pokročilejší metodou pro měření optických tras. Nachází uplatnění nejen v laboratořích, ale i jiných aplikacích a je založena na metodě optické reflektometrie. Umožňuje měření optické trasy v celé její délce a hlavně umožňuje měřit průběh optického útlumu měnící se v závislosti na délce trasy. V tomto bodě je vyspělejší než předchozí metoda přímého měření, která v podstatě poskytuje integrovanou hodnotu měrného útlumu v celé délce vlákna od začátku až na konec. Pokud se informace o útlumu trasy mění v závislosti na délce trasy, není metoda přímého měření dostačující. Metoda OTDR umožňuje získat mnohem detailnější a ucelenější pohled na měřené informace. Získává nejen informace o útlumových poměrech, ale také o odrazových poměrech. Tím je možné odhalit různé lokální defekty způsobující útlum či odraz jako jsou konektory, svary nebo odlišné geometrické poměry vláken. OTDR metoda využívá detekování zlomku zpětně odraženého záření, které se vrací zpět při buzení vlákna v dopředném směru. OTDR metoda je podobná metodě TDR používané u elektrického vedení. Rozdíl však je, že u optických vláken se ve zpětném směru nešíří jen část odražených signálů, ale také rozptýlené záření, které vzniká díky fyzikálnímu jevu zvanému Rayleighův rozptyl.

Zásadním rozdílem a současně výhodou je fakt, že metoda OTDR nepotřebuje ke změření trasy oba konce optického vlákna. Je to výhodné zejména u dlouhých tras, kde stačí ke změření zapojit přístroj na jeden konec. U metody přímého měření je potřeba z jednoho konce vyslat signál a z druhého trasu změřit.



Obr.20- Princip OTDR metody zachycující rozptýlené záření
Zdroj: http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/160.pdf

²⁰ OTDR- Optical time domain reflektometry- metoda optické reflektometrie

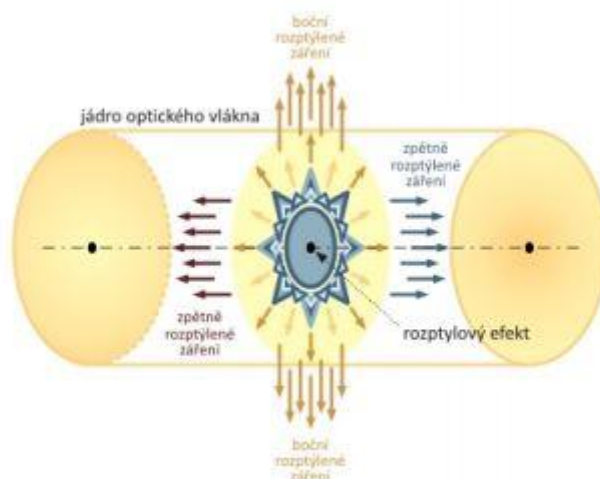
Často však pro dosažení certifikovaného měření je nutné provést měření z obou konců vlákna. Zejména pak v případech, kdy jsou použity zesilující efekty, které lze posoudit pouze z obou stran trasy.

Ke korektnímu měření odrazů a měnícího se útlumu v průběhu trasy je nutné vysílat signál pulsně (přerušovaně) místo nepřetržitého vysílání. Tím, jak jednotlivé pulsy procházejí trasou, vyvolají v daném místě a čase zpětně generované signály, které se šíří zpět k začátku trasy. Ty následně detekuje přijímač. Pokud je tento zpětně odražený puls sledován od začátku v čase, je možné pomocí matematických výpočtů o šíření pulsu ve vláknech vypočítat k jakému místu se daná hodnota signálu vztahuje.

Rayleighův rozptyl

Pro metodu OTDR má Rayleighův rozptyl naprosto zásadní vliv. Obecně rozptyl světla je možné popsat jako roztržení záření do různých směrů v místě, kde je rozptylový efekt. Zde dochází k indexu lomu. Pokud je jeho homogenita menší, než vlnová délka záření, dochází zde k Rayleighovu rozptylu. Rozložení a velikost těchto odrazů závisí na vlnové délce a také tvaru nehomogenity.

Rayleighův rozptyl se šíří v podstatě do všech směrů, takže se optické záření rozptyluje všude. Pro účely měření OTDR je nejpodstatnější ta část rozptylu, kde dochází k navázání do zpětného směru ve vláknech.



Obr.21- Znárodnění Rayleighova rozptylu a zpětného šíření záření
Zdroj: http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/160.pdf

Další výhodou OTDR metody je, že dokáže změřit pouze čas, který stačí přepočítat na vzdálenost. Velikost lokálního útlumu ve vláknech je závislá na přesnosti přepočtu čas-vzdálenost. Také hraje důležitou roli skupinový index, přesnost měření času a tzv. kabelovací faktor.

Mrtvá zóna OTDR

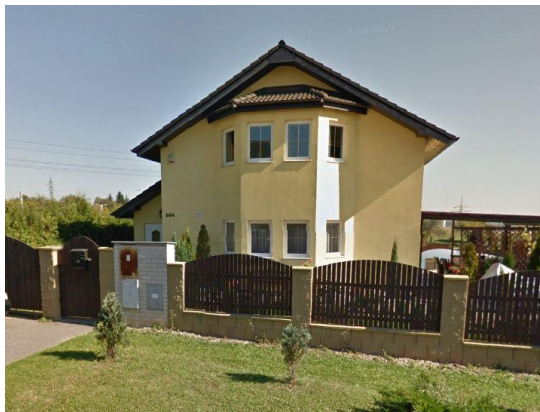
Základní problém v měření OTDR spočívá v tom, že signál, který vznikne Rayleighovým rozptylem je velice slabý. Na začátku vlákna se signál vrátí s úrovní 40 - 50 dB. Včetně ztráty signálu v dopředném a zpětném směru se lze dostat až na hodnoty 70 dB nebo více. Tento výkon signálu je limitní hodnota odstupů signál/šum. V podstatě je signál vyrušen šumem. Pro eliminování tohoto jevu se jednotlivá měření sčítají. Jde o stovky až tisíce odezev pro dosažení velkého počtu pulsů. Tato metoda se jmenuje průměrování. Také je nutné použít detektory s vysokou citlivostí, což většinou znamená použití lavinových fotodiod.

Další problém, se kterým se musí technici během měření OTDR potýkat je tzv. Mrtvá zóna. Jde o vzdálenost od začátku vlákna, která není měřitelná jak pro útlumy, tak pro rozptyly signálu. Je to způsobeno konektorem OTDR napojeným do optické trasy. V tomto úseku totiž dochází k Fresnelovu odrazu ve značné míře během celé doby měření. Tento odraz je mnohem silnější a způsobuje tak „přebuzení“ detektoru v přijímači OTDR a to i přes velice specifické konektory, které se u měřicího přístroje OTDR používají. Typická pro mrtvou zónu je i doba odbuzení, tj. doba, kdy se detektor vrací do normálního stavu. Pokud je potřeba měřit i tuto „mrtvou“ část trasy, je nutné využít předřadných vláken, které budou minimálně stejně dlouhé jako mrtvá zóna, zbytek je už měřené vlákno trasy. Předřadné vlákno bývá dlouhé od 100m do několika kilometrů. Výběr délky pak souvisí s délkou optických pulsů použitých při měření OTDR.

(Intelek, 2009)
(Pavel Lafata, 2014)
(Boháč, 2012)

4 Vlastní práce

4.1 Původní stav sítě



Obr.22- Snímek objektu, který byl napojen na optickou síť

Zdroj: www.maps.google.com

Původní síť obstarávala firma Eldata pražská s.r.o. Jednalo se o síť typu Wi-Fi, tedy bezdrátový přenos dat vzduchem. Toto provedení má své výhody i nevýhody. Výhoda je poměrně snadná instalace sítě, a její snadná rozšiřitelnost pro okolní domy, které se nacházejí v určitém okruhu od vysílače. Mezi hlavní nevýhody patří nižší přenosová rychlost, negarantovaná rychlost díky určitým útlumům, které vznikají bezdrátovým přenosem. Vyšší měsíční sazba, která je hrazena poskytovateli. Dalo by se říct, že v podstatě jde o ne příliš moderní způsob připojení k internetu.

V obci Jinočany firma Eldata řešila tento typ připojení tak, že v ulici Dvořákova vybudovala centrální vysílač, který je umístěn na střeše vybraného domu. Tento vysílač poté komunikuje s jednotlivými objekty (budovami), které mají na střeše přijímač. Tento vysílač byl schopen v určitém okruhu zapojit všechny domácnosti, které měli na střeše instalovaný přijímač. V tomto případě je domácnost pana Votavy v ulici Lidická a tento objekt je od vysílače vzdálen vzdušnou čarou 378m, což je poměrně blízko vzhledem k výkonu, který jsou schopny poskytovat tyto vysílače.



Obr.23- Zakreslení komunikace mezi vysílačem a přijímačem na vzdálenost 378m
Zdroj: Mapy.cz

Eldata nabízí připojení přes Wi-Fi ve třech různých datových tarifech. MINI, STANDARD a MAXI. Rozdíl je patrně v rychlostech připojení, ale také v rychlostech odesílání dat (upload). Tyto tři tarify firma nabízí s různým aktivačním poplatkem a smlouva se podepisuje na délku 24 měsíců, tedy není možné smlouvu dříve vypovědět. Taktéž je možnost těchto tarifů za jednotný aktivační poplatek 2500kč, a zákazník poté může smlouvu vypovědět již po 1 měsíci.

Název	Download	Upload	Cena	Aktivace	Smlouva
mini	až 6 Mbit/s	až 1 Mbit/s	350 Kč	1900 Kč	24 měsíců
standard	až 12 Mbit/s	až 3 Mbit/s	490 Kč	1200 Kč	24 měsíců
maxi	až 20 Mbit/s	až 6 Mbit/s	790 Kč	1 Kč	24 měsíců
mini	až 6 Mbit/s	až 1 Mbit/s	350 Kč	2500 Kč	1 měsíc
standard	až 12 Mbit/s	až 3 Mbit/s	490 Kč	2500 Kč	1 měsíc
maxi	až 20 Mbit/s	až 6 Mbit/s	790 Kč	2500 Kč	1 měsíc

Tabulka 2- Porovnání jednotlivých tarifů a aktivačních cen.
Zdroj: www.eldata.cz

4.1.1 Firma Eldata pražská s.r.o.

Společnost Eldata pražská s.r.o. se zabývá zejména internetovým připojením domácností jak pomocí bezdrátových technologií Wi-Fi, tak pomocí moderních optických technologií. Snaží se klást důraz na bezpečnost a spolehlivost.

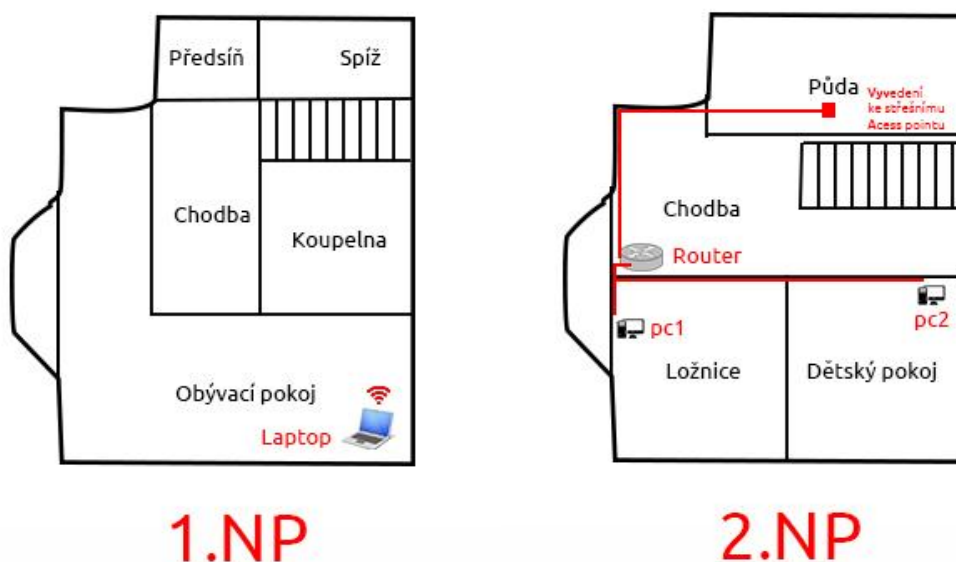
Dále se zabývá vybavením pro domácnosti z informačního hlediska, takže obstará hardware i software pro svoje zákazníky. Poskytuje také poradenství v oblasti IT a spravuje svoje sítě.

Provádí elektroinstalace, zabezpečovací systémy, anténní techniku a jiné individuální IT a ICT služby.

4.1.2 Popis zapojení

Jak již bylo uvedeno výše, způsob komunikace mezi cílovým objektem a zdrojem funguje na principu vysílače a přijímače. Tento přijímač (Access point) je vlastně malá krabička umístěná zpravidla na střešní anténě budovy tak, aby měla ideálně přímou viditelnost na vysílač, což v tomto případě odpovídá.

Vybraná domácnost má 2 nadzemní podlaží. Jestliže zdroj dat postupuje od střechy dolů, pak je vhodné popsat nejprve 2. nadzemní podlaží.



Obr.24- struktura 1. a 2. nadzemního podlaží vybrané domácnosti
Zdroj: Vlastní zpracování + <http://nahlizeniidokn.cuzk.cz/>

V tomto podlaží se nachází půda, chodba, ložnice a dětský pokoj. Půda je zde naprosto zásadní, protože zde prochází síťový datový kabel střešou a dále systematicky postupuje podle zdi k malému zařízení zvané PoE²¹. Zde končí úloha kabelu se zdrojem signálu. Toto zařízení se obvykle umísťuje poblíž směrovače (routeru). Z PoE dále pokračuje spoj klasickým UTP kabelem do routeru, který je umístěn v rohu na chodbě. Z routeru pokračují 2 kabely UTP do jednotlivých PC stanic opět systematicky vedeným kabelem podél zdi. Zde se již standardně zapojí pomocí koncovky RJ-45 do síťové karty PC stanice.

V 1.nadzemním podlaží se nachází pouze laptop v obývacím pokoji, který komunikuje s routerem pomocí technologie bezdrátového přenosu Wi-Fi, což je mimo jiné jedna z funkcí, kterou router nabízí. Spíž zde sehrála zásadní roli v následném připojení pomocí optického kabelu.

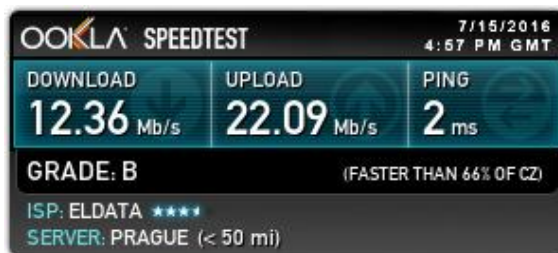
4.1.3 Test rychlosti připojení

K otestování původní rychlosti bylo použito volně dostupného nástroje speedtest od společnosti Ookla, který odesílá a přijímá datové pakety na nejbližší server, aby mohl vypočítat odhadovanou rychlost stahování (download) a odesílání (upload) dat. Rychlost internetového připojení je možno testovat na adrese www.speedtest.net

K samotnému testování. Původní síť byla testována v létě roku 2016 přibližně v 5 hodin odpoledne. V tu dobu byl k síti připojen pouze jeden osobní počítač prostřednictvím kabelu UTP a všechny aplikace, které by mohly snižovat rychlost, byly uzavřeny.

Odezva mezi osobním počítačem a vybraným serverem byla pouze 2 ms, rychlost jakou se datové pakety průměrně stahovaly byla 12,36 Mb/s a naopak rychlost, jakou se pakety průměrně odesílaly, byla 22,09 Mb/s. Nejbližší server byl použit v Praze ve vzdálenosti menší, než 50 mil.

²¹**Power of Ethernet**- zařízení, které se používá k napájení datovým síťovým kabelem bez nutnosti přivádět napájení dalším samostatným kabelem



Obr.25- Výsledek testu měření rychlosti pomocí připojení Wi-Fi
Zdroj: www.speedtest.net

První věc, jaké si lze všimnout je, že rychlost odesílání dat převyšuje rychlost stahování dat téměř dvojnásobně. To není optimální stav. Upload by měl dosahovat stejných, nebo o něco menších hodnot, než download. Výsledek testu dále říká, že daná rychlost připojení je rychlejší, než 66% připojených zařízení v ČR. To také není zcela optimální stav a právě vybudování optické sítě zde výsledek testu výrazně zlepší.

Z výše uvedeného výsledku lze vydedukovat, že pan Votava měl sjednaný tarif STANDARD za cenu 490 Kč měsíčně.

4.2 Počáteční legislativa

Jako každý projekt, i výstavba optické sítě vyžaduje potřebná rozhodnutí. Konkrétně se jedná o Územní rozhodnutí, aby zhotovitel stavby (Eldata) mohl legálně pokládat sítě v obci Jinočany. Bez tohoto povolení nemůže začít firma stavět, čili vše se zakládá na vydání této písemnosti. Toto rozhodnutí bylo třeba získat z příslušného stavebního úřadu, který má na starosti obec Jinočany. Stavební úřad se nachází v Rudné u Prahy.

Městský úřad Rudná Stavební úřad Masarykova 94, 252 19 Rudná, tel. 311 652 337	
Sp.zn.: 02081/16/Ji Č.j.: 05324/16/MUR/SU/DJi Vyřizuje: Ing. Daniela Jirečková Tel.:311652325 , e-mail: sta2@rudnamesto.cz	Rudná, dne 13.7.2016
ÚZEMNÍ ROZHODNUTÍ	
Výroková část: Městský úřad Rudná, stavební úřad, jako stavební úřad příslušný podle § 13 odst. 1 písm. e/ zákona č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů (dále jen "stavební zákon"), v územním řízení posoudil podle § 84 až 91 stavebního zákona žádost o vydání rozhodnutí o umístění stavby nebo zařízení (dále jen "rozhodnutí o umístění stavby"), kterou dne 22.3.2016 podal ELDATA pražská s.r.o., IČO 27447995, Pražská č.p. 56, 252 16 Nučice, kterého zastupuje AVALON s.r.o., IČO 63978865, Rokycanova č.p. 279/18, 130 00 Praha 3 (dále jen "žadatel"), a na základě tohoto posouzení: I. Vydává podle § 79 a 92 stavebního zákona a § 9 vyhlášky č. 503/2006 Sb., o podrobnější úpravě územního rozhodování, územního opatření a stavebního řádu rozhodnutí o umístění stavby "Optická SEK ELDATA pražská s.r.o." Jinočany	

Obr.26- Ukázka vydaného územního rozhodnutí

116/2, 116/3, 116/4, 116/5, 116/7, 118/3, 118/6, 118/8, 118/9, 118/10, 118/11, 118/12, 118/13, 119/1, 119/2, 119/5, 120/1, 120/2, 121, 122, 123, 124, 125, 126/1, 126/2, 126/3, 127, 128, 130/1, 130/2, 131, 132/1, 132/2, 135, 136/1, 136/2, 136/3, 139, 140/1, 140/2, 141, 142, 143, 144, 145/1, 145/2, 146/1, 146/2, 147/1, 147/2, 148, 149/3, 149/4, 150, 151, 152/1, 152/2, 152/3, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 161, 162/1, 162/2, 163, 164/1, 164/2, 164/3, 164/5, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172/1, 172/2, 173, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184/1, 184/2, 185/1, 185/2, 185/3, 185/4, 185/5, 187, 188, 189, 190/1, 190/2, 191, 192, 194, 195, 198, 199, 200, 201, 202/1, 202/2, 204, 205, 206, 207/1, 207/2, 208, 209, 210, 211/1, 211/2, 212, 214, 215, 216, 217/1, 217/2, 218, 219, 220, 221/1, 221/2, 222, 223, 224, 225, 228, 229, 230/1, 230/2, 232, 234, 235, 236, 237, 238, 239/1, 239/2, 241/1, 241/2, 242/1, 243/1, 243/2, 244, 245, 246, 247/1, 247/2, 248, 249/1, 249/2, 249/3, 250/1, 250/2, 251, 252, 253/1, 253/2, 254/1, 254/2, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266/1, 266/2, 267, 268, 269, 270/1, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279/1, 279/2, 280/1, 280/2, 280/3, 281, 282, 283, 284/1, 284/2, 285/1, 285/2, 286, 287

Obr.27- Ukázka velkého počtu dotčených parcel

c.p. 205, c.p. 206, c.p. 112, c.p. 108, c.p. 92, c.p. 80, c.p. 35, c.p. 54, c.p. 41, c.p. 20, c.p. 280, c.p. 21, c.p. 28, č.p. 106, č.p. 107, č.p. 113, č.p. 117, č.p. 203, č.p. 291, č.p. 136, č.p. 204, č.p. 243, č.p. 142, č.p. 133, č.p. 13, č.p. 230, č.p. 132, č.p. 202, č.p. 239, č.p. 283, č.p. 284, č.p. 282, č.p. 281, č.p. 128, č.p. 126, č.p. 130, č.p. 143, č.p. 135, č.p. 279, č.p. 145, č.p. 229, č.e. 1, č.p. 104, č.p. 248, č.p. 18, č.p. 147, č.p. 194, č.p. 231, č.p. 201, č.p. 292, č.p. 200, č.p. 211, č.p. 287, č.p. 199, č.p. 7, č.p. 33, č.p. 138, č.p. 134, č.p. 146, č.p. 115, č.p. 98, č.p. 96, č.p. 95, č.p. 97, č.p. 111, č.p. 139, č.p. 140, č.p. 241, č.p. 244, č.p. 127, č.p. 94, č.p. 93, č.p. 257, č.p. 54, č.p. 37, č.p. 38, č.p. 39, č.p. 110, č.p. 250, č.p. 148, č.p. 170, č.p. 242, č.p. 169, č.p. 168, č.p. 167, č.p. 166, č.p. 165, č.p. 164, č.p. 163, č.p. 162, č.p. 109, č.p. 100, č.p. 99, č.p. 116, č.p. 137, č.p. 141, č.p. 179, č.p. 178, č.p. 177, č.p. 176, č.p. 196, č.p. 403, č.p. 175, č.p. 254, č.p. 174, č.p. 173, č.p. 172, č.p. 171, č.p. 191, č.p. 190, č.p. 198, č.p. 189, č.p. 188, č.p. 187, č.p. 186, č.p. 185, č.p. 184, č.p. 183, č.p. 297, č.p. 182, č.p. 181, č.p. 193, č.p. 180, č.p. 195, č.p. 210, č.p. 150, č.p. 151, č.p. 232, č.p. 233, č.n. 152, č.n. 295, č.n. 161, č.n. 236, č.n. 160, č.n. 159, č.n. 158, č.n. 157, č.n. 156, č.n. 155, č.n. 154

Obr.28- Ukázka velkého počtu dotčených objektů

Zdroj: Obrázek 26-28 – územní rozhodnutí poskytla firma Eldata

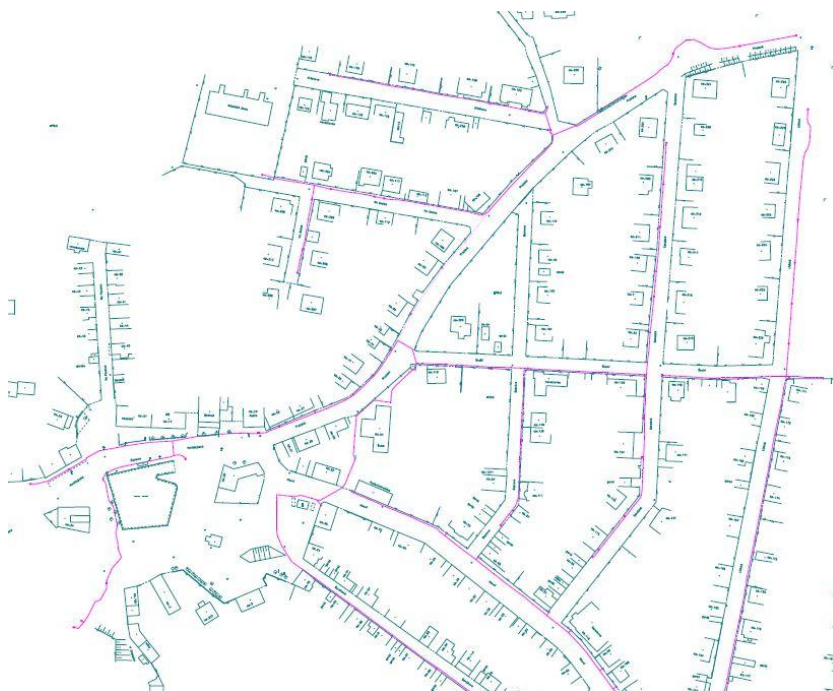
Stavební úřad vydal Územní rozhodnutí dne **13.7.2016** a platí v podstatě pro všechny ulice v obci Jinočany. Tím vyvstává obrovský počet dotčených pozemků, sousedních pozemků, dotčených osob s vlastnickými právy, atd.

Územní rozhodnutí vydala Ing. Adéla Vodičková, vedoucí stavebního úřadu města Rudná u Prahy.

Na závěr toho územní rozhodnutí bylo doručeno cca 26 různým dotčeným institucím.

4.3 Geodetické vytyčení sítí

Firma Eldata plánuje v budoucnu nejen vybudování optické sítě pro vybranou domácnost tohoto projektu, ale postupně hodlá pokrýt optickou sítí většinu obce Jinočany. Z toho důvodu se rozhodla požádat geodeta o vytyčení plánovaných optických sítí do katastrální mapy. Z té je vidět o jak rozsáhlý systém sítí se jedná. Celková délka všech tras by měla být okolo 5900m a zasahovat by měla prakticky do všech ulic obce.



*Obr.29- Ukázka plánovaných optických sítí obce Jinočany
Zdroj: archiv Eldata*

Ve sledovaném objektu již pokládka kabelů k optickému rozvaděči proběhla, protože zde koncem roku 2015 proběhla výstavba veřejného osvětlení, takže se firma Eldata rozhodla využít vytvořených výkopů pro kabeláž osvětlení, aby do nich položila vlastní optické kabely, resp. jejich ochranné pouzdro pro pozdější zafukování. To má své opodstatnění. Sdílení společného výkopu vede ke snížení nákladů, které by byly vynaloženy na výkop vlastní.

Tyto kabely vedou do zařízení zvaného optický rozvaděč, nebo také optický nástěnný rozvaděč, který rozvádí přípojky na jednotlivé ulice, popřípadě části ulic. Odtud jde již silnějšími kabely dále, až se nakonec napojí do centrální serverové místnosti, jinak zvané

OLT jednotky. Ta se napojuje na páteřní síť vyššího poskytovatele, který svoje služby pronajímá firmě Eldata. Tento poskytovatel je CETIN.

4.3.1 Napojovací uzly a optický rozvaděč



Obr.30- Ukázka vedení optických kabelů od rozvaděče až k poslednímu uzlu před objektem
Zdroj: archiv Eldata

V dolní části obrázku je možno vidět již zmiňovaný optický rozvaděč. Detailněji bude popsán dále. Trasa odsud vede kolmo až před zájmový objekt- domácnost p. Votavy (pozemek vpravo nahoře). Během cesty se vyskytuje několik uzlů, ze kterých se provádí připojení do jednotlivých domácností. Inkriminovaný uzlu se nachází v pravém horním rohu obrázku a je umístěn v podstatě před domem, takže následné dopojení nebylo problematické, díky bezprostřední blízkosti uzlu a cílového objektu. O tomto uzlu bude zmíněno dále.

4.4 Struktura sítě v cílovém objektu

V této části práce zde bude stručně rozebráno jak vypadá celkový pohled na vystavěnou síť od poč. vysílače signálu (OLT jednotka) až po koncové zařízení. Bude zde podrobně vysvětleno jak a kudy vedou trasy optické sítě a jaké při tom byly použity prvky.

4.4.1 Návrh hybridního spoje a standardu pro připojení

V Jinočanech byla síť od začátku konstruována jako pasivní optická síť, což stručně řečeno znamená, že k jejímu provozu, resp. jejím prvkům není třeba přídavné napájení, čili nevyskytují se zde aktivní prvky na trase mezi OLT a ONU.

K instalaci u p. Votavy bylo po několika návrzích využito hybridního spoje FTTH (Vlákno až do domu), který se velmi často používá a je oblíbený pro jeho poměr cena/rychlost připojení. FTTH v tomto případě umožnilo umístit optickou kabelář až do spíže na úroveň mezi 1.NP a 2.NP. To s sebou samozřejmě nese určité výhody, jelikož čím blíže je optický spoj veden ke koncovému zařízení, tím rychlejší a kvalitnější připojení bude. Současně také mohla firma Eldata nabídnout příznivější cenu připojení, než kdyby vedl optický spoj až do koncového zařízení.

Jako standard pro optickou síť byl zvolen GPON. I když se už dnes jedná o zastaralý standard, který byl vyvinut v roce 2003 a je jedním mezi prvními v oblasti optických přístupových sítí. Stále má však potenciál zejména v oblasti malých domácností. Jelikož většina domácností si vystačí s rychlostí do 100 Mbit/s, je jeho nasazení ideální vzhledem k jeho možnostem. Ty jsou zhruba 2,5 Gbit/s pro downstream pro synchronní i asynchronní přenos a až 1,2 Gbit/s pro upstream v asynchronním režimu. Taková kapacita je v praxi v malých domácnostech nevyužitelná. Používá se spíše pro velké instituce a podniky.

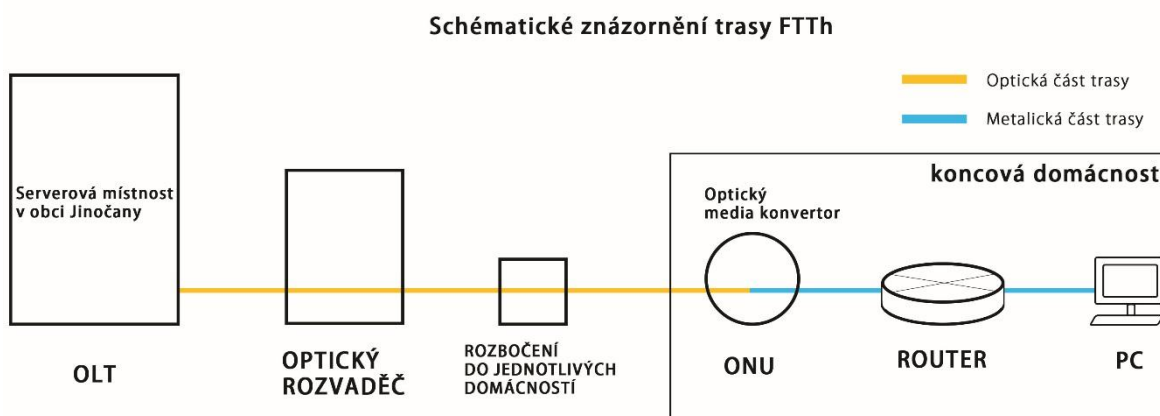
Sám majitel společnosti Eldata říká:

„Jsme teoreticky schopni poskytnout zákazníkovi internetové připojení o rychlosti až 1 Gbit/s po jednom vidu o určité vlnové délce, avšak tuto službu si nikdo z běžných zákazníků neobjedná, jelikož abychom dokázali garantovat rychlost připojení oněch 1 Gbit/s, byl by měsíční paušál za takovou službu přibližně 16 000kč, což je pro běžnou domácnost nepřijatelné“

(Turek, 2016)

4.4.2 Schématické znázornění optické sítě

Vedení optické trasy z OLT až po koncové zařízení by se dalo shrnout pomocí následujícího schématu. Toto schéma odpovídá hybridní přípojce typu FTTH.



Obr.31- Schématické znázornění optické trasy ve sledovaném objektu
Zdroj: Vlastní zpracování

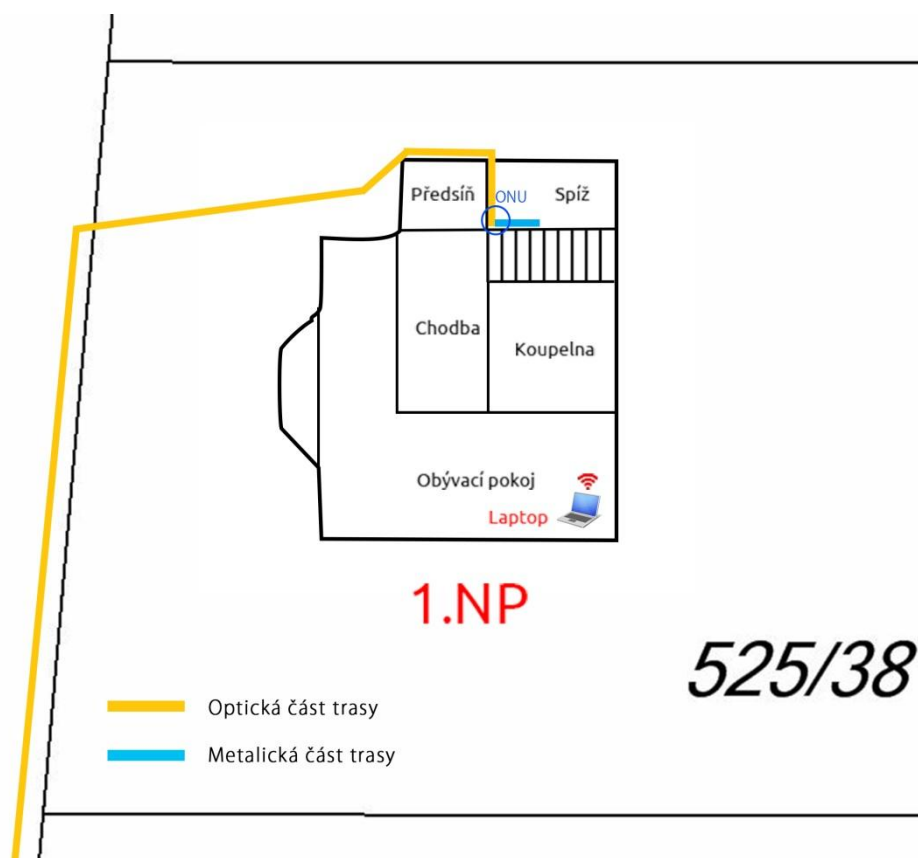
Jak je zde patrné, v obci Jinočany začíná optická síť v serverové místnosti, kde se sbíhají všechny položené spoje z vesnice. Je to vlastně srdce optické sítě, odkud se začíná distribuovat signál. Dále trasa pokračuje do optického rozvaděče, který už je umístěn buď přímo v cílové ulici, nebo někde poblíž. V tomto projektu se nachází na rohu ulice Lidická a Školní. Rozvaděč větví optické spoje do jednotlivých ulic, popř. jejich částí. Trasa poté pokračuje ke koncovému „uzlu“, což je vlastně taková menší rozbočovací skříňka, která připojí např. 3 koncové domácnosti.

Z této skříňky stále ještě optickým kabelem trasa pokračuje podél plotu pozemku až k samotnému objektu (budově) a následně prostupuje skrz stěnu dovnitř do budovy. Zde se napojí do tzv. media konvertoru, jehož účel je převedení optického spoje na metalický. Z toho důvodu se spoj nazývá hybridní. Z tohoto konvertoru pokračuje metalickým spojem trasa přímo do routeru, nejčastěji pomocí kabelu UTP (popř. FTP, STP).

Z routeru je již distribuce stejná jako v předchozím případě připojení přes Wi-Fi. Tedy UTP kabelem do koncových stanic. Ze schématu je také patrné kam až sahá optický spoj a kde začíná metalický a která zařízení jsou vně a uvnitř budovy.

4.4.3 Vedení sítě uvnitř objektu

Jak již bylo zmíněno výše, optický kabel vede podél pozemku z nejbližšího uzlu, dále pod vstupním chodníkem do domu a kolem objektu až do úrovně spíže. Zde prostupuje zdí do spíže a po stěně směrem nahoru. Dále spolu s ostatními kabely nad dveřmi až na úroveň stropu. Zde se transformuje spoj na metalický pomocí Pigtailu²² a optického media konvertoru umístěného ve speciální skřínce. V obýváku se nachází laptop, který se připojuje k routeru pomocí Wi-Fi.



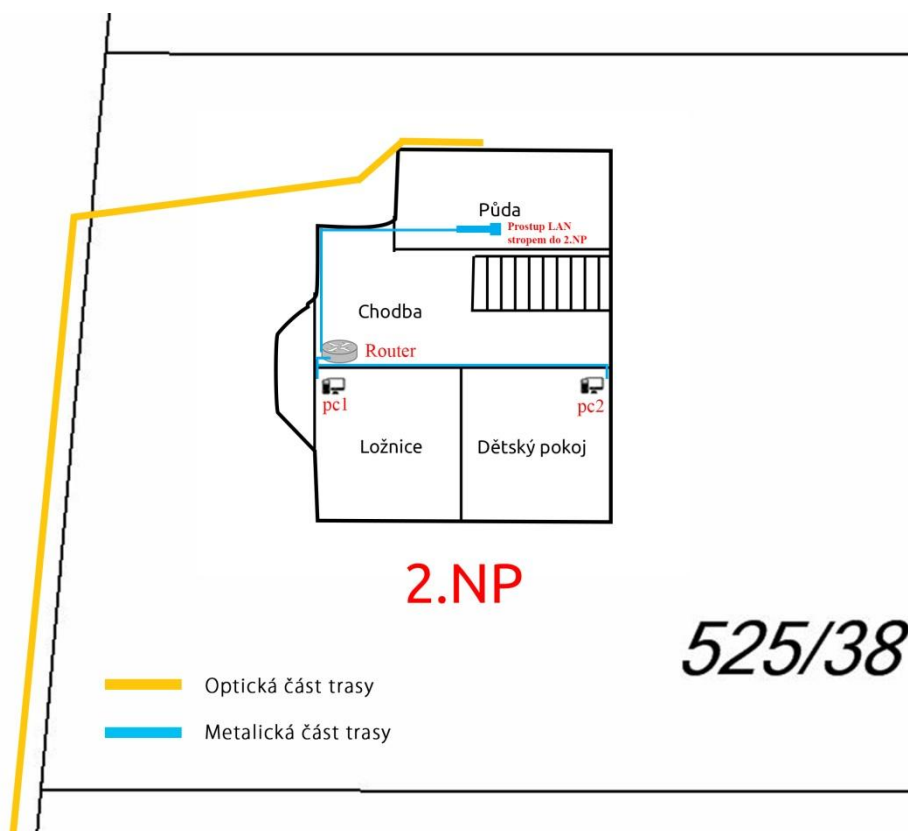
Obr.32- Rozložení prvků v objektu v 1.nadzemním podlaží

Zdroj: <http://nahlizenidokn.cuzk.cz/>

Odsud je spoj veden skrze strop do 2.nadzemního podlaží už pomocí klasického 8 žilného UTP kabelu, kde prostupuje stěnou ve spodní části půdy a pokračuje dále do chodby. Tam je veden podél stěny v dolní části uvnitř rohové lišty a následně do routeru v rohu místnosti. V routeru jsou obsazeny LAN porty 1 a 2, které rozvádějí signál pomocí UTP kabelu, který vede rohovou lištou až pod práh dveří, kde pod ním prostupuje do ložnice. To

²²**Pigtail**- Optický kabel, který se používá pro transformování spoje z optického na metalický. Obvykle využívá koncovku SC a navaňuje se speciální svářečkou na optické vlákno, které je přivedeno do objektu

stejně platí u dětského pokoje. Tam už se klasicky zapojují do koncových počítačů skrze LAN port na síťové kartě, která už je většinou integrovaná na základní desce počítače.



Obr.33- Rozložení prvků v objektu v 2.nadzemním podlaží
Zdroj: <http://nahlizeniidokn.cuzk.cz/>

4.4.4 Použité prvky

V této konkrétní instalaci, tedy domácnost p.Votavy byly použity následující prvky. Tyto prvky jsou brány od optického rozvaděče až po koncový PC. Prvky zahrnuté na trase od rozvaděče na serverové místnosti OLT nejsou v tomto výčtu zahrnuty. Detailní seznam položek bude rozebrán v následující kapitole.

Optický media konvertor BDCOM P1504

Převádí optický signál na metalický. Je také označován jako ONU jednotka nebo zařízení GPON (i když toto označení se používá spíše pro konstrukci sítě).



Obr.34- Optický media konvertor BDCOM použitý při stavbě
Zdroj: archiv Eldata

Router TP-LinkTL-WR840N

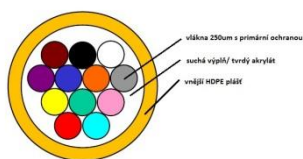
Jedná se o klasický směrovač, který má funkci bezdrátového připojení. Drátově má možnost připojit až 4 zařízení. Tento model je velmi povedený z designerského hlediska.



Obr.35- Router TP-Link použitý při výstavbě
Zdroj: archiv Eldata

Optický kabel Airblown- 12 vláken

Klasický 12 vláknový optický kabel určený k zafukování. Mezi jeho hlavní přednosti patří velký rozsah operačních teplot (- 30°C až 70°C). Vlákno chrání HDPE plášť.



Obr.36- 12 vláknový optický kabel Airblown
Zdroj: www.alternetivo.cz

Optický kabel Airblown- 4 vlákna

Jedná se v podstatě o tentýž prvek, jako v případě výše, ovšem tento kabel má pouze 4 vlákna. Byl použit v posledních 30 metrech stavby sítě spolu s ochranou trubičkou. Má zhruba poloviční pevnost v tahu (40 N) a nylonový plášť.



Obr.37- 4 vláknový optický kabel Airblown
Zdroj: www.alternetivo.cz

PigtailSM OS1/OS2 9/125 G652D, SC/PC

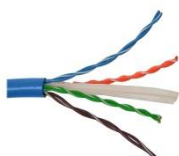
Používá se zejména při optickém zakončení kabelu. Na jednom konci se nachází SC konektor a na druhém je bez konektoru, pouze samotné vlákno. Tento kabel má v sobě pouze 1 vlákno. Na optické vlákno se jeho samostatný konec navaňuje speciální svářečkou. Jeho délka je obvykle 1 m.



Obr.38- Pigtail s SC konektorem
Zdroj: www.acelinker.com

Síťový UTP kabel- 8 žilný

Již mnoho let standardně používaný síťový kabel UTP s 8 žilami po 4 párech. Obsahuje HDPE izolaci a stínění. Využívá se zejména pro lokální domácí sítě a zakončuje se koncovkou RJ-45.



Obr.39- UTP síťový kabel
Zdroj: <http://www.nexxtsolutions.com/>

4.5 Finanční plán výstavby sítě

Veškeré náklady spojené s výstavbou optické sítě u p. Votavy hradí firma Eldata. Aby si zajistila, že se pokryjí náklady nebo alespoň jejich část, je podepsána smlouva minimálně na dobu 24 měsíců. Minimálně po tuto dobu bude domácnost platit měsíční tarif STANDARD, který činí 490 Kč. Taktéž domácnosti bude naúčtován jednorázový aktivační poplatek. V tomto případě 1200 Kč.

4.5.1 Ceník a nabízené služby

Firma Eldata nabízí několik základních tarifů. MINI, STANDARD a MAXI. Pan Votava zvolil zlatou střední cestu a objednal si tarif STANDARD za 490 Kč měsíčně. Přehled jednotlivých tarifů včetně aktivačních poplatků, rychlostí stahování a odesílání dat je v následující tabulce.

Název	Download	Upload	Cena	Aktivace	Smlouva
mini	20 Mbit/s	20 Mbit/s	350kč	1900kč	24 měsíců
standard	40 Mbit/s	40 Mbit/s	490kč	1200kč	24 měsíců
maxi	60 Mbit/s	60 Mbit/s	790kč	1kč	24 měsíců
mini	20 Mbit/s	20 Mbit/s	350kč	2500kč	1 měsíc
standard	40 Mbit/s	40 Mbit/s	490kč	2500kč	1 měsíc
maxi	60 Mbit/s	60 Mbit/s	790kč	2500kč	1 měsíc

Tabulka 3- Porovnání jednotlivých tarifů a aktivačních cen optické sítě.
Zdroj: www.eldata.cz

Také stojí za zmínku, že pokud se zákazník nechce vázat smlouvou na 2 roky, může tyto tarify využívat s podepsáním smlouvy na 1 měsíc. V takovém případě mu bude účtován jednorázový aktivační poplatek 2500 Kč.

4.5.2 Seznam jednotlivých položek

Během výstavby byly potřeba zakoupit a zakomponovat následující položky. Některé položky, resp. jejich počet nebo délka jsou potřebné k fungování pro tuto konkrétní stavbu, avšak využívá je více domácností, tudíž může být cena vyšší. Je třeba zohlednit, že celková cena je pouze orientační, jelikož nikdo, ani samotná firma částky nikde neeviduje a nemá tak šanci přesně výstavbu vyčíslit. V tom je tento výčet unikátní.

Položka	Počet nebo délka	Cena
Věcné břemeno na výkopové práce mimo pozemní komunikaci	100 m	100 Kč
Mikrotrubička HDPE zemní tlustostěnná 12/8mm	80 m	794Kč
Trubička ochranná 2mm PVC s kevlarom pro vlákna 250um	30 m	748Kč
Kabel optický k zafouknutí EPSU AIRBLOWN, 12 vláken SM 9/125, G.657A1, suché provedení, HDPE, d1,9mm	80 m	1036Kč
Kabel optický k zafouknutí DROP AIRBLOWN, 04 vlákna SM 9/125, G.657A, CLT, NY, d1,9mm, 40N, povolený r ohybu 40mm	30 m	265Kč
Síťový kabel F/UTP 4P,LSOH kabel Zcomax, CAT6	20 m	240 Kč
Pigtail optický SM OS1/OS2 9/125 G652D, SC/PC, 1m, snadno zdrhovatelny, 900µm, I/L 0,3dB, R/L -45dB, OEM ZCOMAX	2 x	71 Kč
ONU jednotka- BDCOM P1504-O Gigabit ONUs	1 x	2425 Kč
Bezdrátový N router TP-LINK 300Mbit/sTL-WR840N	1 x	529 Kč
Konektor optický mechanický gelový QA, SC, OS1 9/125 singlemode	2 x	269 Kč
RJ-45 koncovka	6 x	12 Kč
Spojka mikrotrubiček přímá průhledná celoplast UF	1 x	39 Kč
Rozvaděč optický nástěnný OUTDOOR, až 16 svarů	1 x	1079 Kč
Instalační skříň pro uložení ONU jednotky	1 x	570 Kč
Čistící roztok speciální na velmi citlivé povrchy, optická vlákna	1 x	382 Kč
Tepelně smržitelná bužírka pro ochranu sváru 3x 45 mm	2 x	20 Kč
Průchodka PG kabelová (PG16) k optickému rozvaděči	4 x	39 Kč
Trubka pro optický kabel 4 vláknový (husí krk)	30 m	277 Kč
Celkem za materiál		8895Kč
Celkem za práci (hrubý odhad na 2 pracovníky)		9600 Kč
Cena celkem:		18 495Kč

Tabulka 4- Podrobný výpis jednotlivých položek použitých při stavbě.

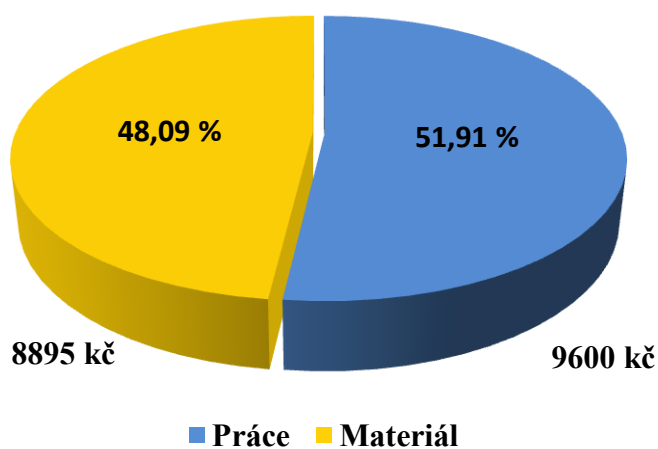
Zdroj: www.alternetivo.cz + konzultace firma Eldata

Celková cena za práci zaměstnanců Eldata je pouze orientační. Majitel Eldat konstatoval, že obvykle ta stejná částka, která je vynaložena za materiál k výstavbě jedné přípojky přibližně vychází i na náklady za práci.

Dále je dobré zmínit, že do výčtu položek nejsou zahrnuty přístroje, které se používají ke všem stavbám, přesto je musela na počátku firma pořídit a stojí za zmínku. Např. firma vlastní mini rypadlo pro výkopové práce v hodnotě **250 000kč** nebo moderní svářečku optických vláken s pořizovací cenou přibližně **250 000kč**. Dále zafukovačka optických vláken je oceněna na **100 000 kč** + veškeré speciální vybavení jako svlíkací kleště na optické kabely, měřič útlumu pomocí metody OTDR atp.

4.5.3 Rozložení materiálu a práce

Na tomto přehledném grafu je vidět rozložení jednotlivých složek, potřebných k vybudování optické sítě. Na jedné straně tu figuruje cena za materiál a na straně druhé to je cena za práci. Výsledkem je celkem vyrovnaná kompozice vyjádřená v procentech doplněná o celkovou sumu.



Graf 1- Porovnání 2 složek potřebných k vybudování optické sítě
Zdroj: Vlastní zpracování (Microsoft Excel)

4.6 Časový harmonogram výstavby optické sítě

V této kapitole jsou stručně rozebrány jednotlivé činnosti potřebné ke zdárnému dokončení projektu optické sítě. V následující tabulce je seznam všech činností, které byly uskutečněny, aby vybraná domácnost mohla používat připojení k internetu pomocí optické sítě. Dále jsou činnosti vyobrazeny v přehledném diagramu pro lepší znázornění.

4.6.1 Seznam jednotlivých činností

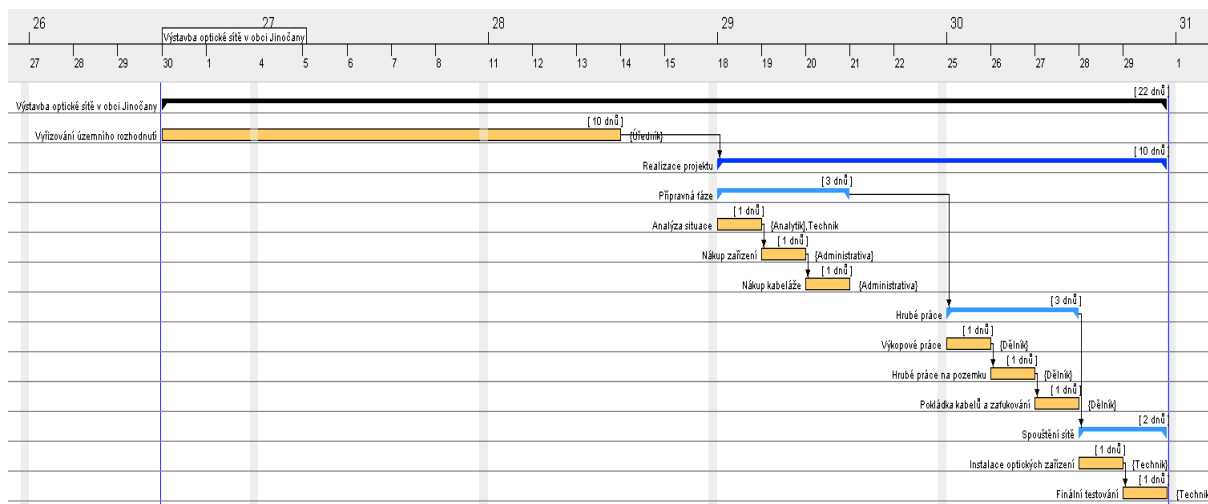
Činnost	Začátek	Konec
Projekt Výstavba optické sítě v rodinném domě v Jinočanech	30.6.2016	29.7.2016
Vyřizování územního rozhodnutí	30.6.2016	13.7.2016
Realizace Projektu	18.7.2016	29.7.2016
Přípravná fáze	18.7.2016	20.7.2016
Analýza situace	18.7.2016	18.7.2016
Nákup zařízení	19.7.2016	19.7.2016
Nákup kabelů a konektorů	20.7.2016	20.7.2016
Hrubé práce	25.7.2016	27.7.2016
Výkopové práce	25.7.2016	25.7.2016
Hrubé práce na pozemku	26.7.2016	26.7.2016
Pokládka kabelů a zafukování	27.7.2016	27.7.2016
Spouštění sítě	28.7.2016	29.7.2016
Instalace optických zařízení a konektorování	28.7.2016	28.7.2016
Finální testování funkčnosti	29.7.2016	29.7.2016

Tabulka 5- Rozpis jednotlivých úkonů potřebných k realizaci projektu.

Zdroj: Vlastní zpracování v součinnosti s firmou Eldata

4.6.2 Ganttův diagram

Ganttův diagram v podstatě graficky znázorňuje průběh projektu, jednotlivé milníky, jak dlouho jaký úkol trvá atd. Mohou na něm být vidět i přiřazené zdroje jednotlivých úkolů, čili kdo danou činnost má na starosti. Kdo nebo co předchází danému úkolu, z kolika procent je daný úkol hotový. Souhrnně řečeno je Ganttův diagram analytický diagram umožňující kontrolovat projektantům svůj projekt v jaké fázi se zrovna nachází.



Graf 2- Ganttův diagram projektu instalace optické sítě v Jinočanech.

Zdroj: Vlastní zpracování pomocí programu Ganttproject

Černá linie zaštiťuje celý projekt od začátku do konce. Jeho trvání je 22 dní včetně pauzy mezi vydáním územního rozhodnutí a počátkem realizace projektu. Výstavba začíná vyřizováním územního rozhodnutí, které trvá 10 dní. Po menší pauze začíná realizace samotného projektu- ta je vyznačena sytě modrou barvou. Obsahuje další tři podkategorie úkolů- Přípravnou fázi, hrubé práce a spouštění sítě.

Přípravná fáze obsahuje prvotní seznámení s místem, zjišťování bližších okolností, analýza možností provedení stavby. Dále nákup veškerého vybavení potřebného k realizaci zakázky jako jsou optická zařízení, kabely, skříně apod.

Hrubé práce klasicky znázorňuje vyhlubování výkopu ke koncovému zákazníkovi, rozebírání dlažby, pod kterou vede kabel a obchází objekt. Nakonec je tu zahrnuta i pokládka kabelů a s tím spojených ochran.

Poslední fáze je pro techniky a firmu tou nejobtavnější. Je to již samotná instalace prvků, jejich zapojování, konektorování, svařování. Ve finále se celá instalace zkontroluje a otestuje funkčnost.

V diagramu je možno si povšimnout schodovitého systému plnění úkolů, což znamená, že každý následující úkol začíná poté, co skončí úkol předešlý. Má to svoje opodstatnění. Firma se snaží rozmístit svoje pracovníky po týmech na různých projektech a nechce proto v jeden den začínat více činností na stejném projektu.

4.7 Průběh stavby

Čistě průběh stavby jako takový trval přibližně týden. Jednotlivé fáze budou rozebrány níže. V tomto výčtu není zahrnuta přípravná fáze, tedy analýza situace na pozemku ani nákup potřebného vybavení pro daný projekt. Průběh stavby se obešel bez větších komplikací a majitel pozemku byl s prací a zapojením spokojen. Firma Eldata zde vyhotovila optickou síť podle všech platných bezpečnostních předpisů a s dodržáním všech obecných zásad při práci.

4.7.1 Hrubé základy sítě

Každá stavba obvykle začíná hrubými základy. Tento projekt nebyl výjimkou. Nejprve bylo nutné vést výkop podél veřejného osvětlení (v té době teprve plánovaného) a vyhloubit výkop o šířce cca 50cm a hloubce 1m. Tento výkop vede v podstatě od optického rozvaděče až na konec ulice Lidická. Firma Eldata využila příležitosti, že jiná firma zde dělala v té době osvětlení pouličních lamp. Nechali tuto firmu provést výkop a sdíleli tento prostor k pokládce vlastních kabelů.



*Obr.40- Výkop pro veřejné osvětlení v ulici Lidická v Jinočanech.
Zdroj: archiv Eldata*

V tomto výkopu je oněch zmiňovaných cca 80m 12 vláknového Airblown kabelu umístěného v silnostěnné HDPE trubičce. Nad touto ochranou je cca 30 cm zemina a poté ochranná fólie značící varování- to pro případ, že by se někdo v místě pokoušel kopat a narazil by na kabel. Tento kabel je zakončen v menším rozvaděči (uzlu), který je již těsně

před objektem. Odsud již vede 4 vláknový Airblown kabel s modrou ochranou trubičkou a to celé je ještě usazeno do ohebné trubky (husí krk). Jeho délka je přibližně 30m a končí až uvnitř objektu.

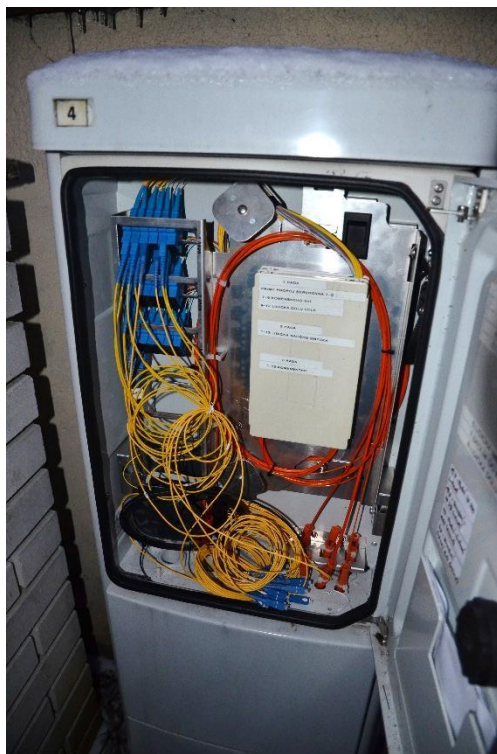
U vstupní brány se tento kabel stáčí směrem k budově. Zde bylo nutné rozebrat zámkovou dlažbu vedoucí ke vchodu do objektu, protože se rozhodlo, že nejjednodušší to bude, když kabel povede pod dlažbou. Dále obchází budovu z boku (na mapě ze severu) a vstupuje do ní. To je znázorněno v předchozích kapitolách.

Všechny optické kabely musely být zafukovány, což znamená, že k jejich umístění do ochranné trubičky je použit vzduch. Konkrétně přístroj zvaný zafukovačka. Do tohoto přístroje se přivede z jedné strany prázdná ochranná trubička a z druhé strany vlákno, které se odmotává postupně z cívky. Přístroj ukazuje jak rychlost zafukování, tak i délku zafouknutého kabelu v trubičce.

4.7.2 Napojení sítě vně objektu na páteřní síť

V této fázi projektu dochází k napojování kabelu na optický rozvaděč. Kabel je již zafouknutý a leží v zemi připravený na propojení s rozvaděčem. Konec 12 vláknového kabelu se rozplete na jednotlivá vlákna. Každé vlákno je připraveno pro navaření na Pigtail. Ten se zapojí již standardně pomocí SC konektoru do příslušné zdírky v optickém rozvaděči.

Naproti této zdírce je zapojen další Pigtail, který pochází taktéž z rozpleteného kabelu vedoucího tentokrát ze serverovny. Pro zřetelnost je situace znázorněna na následujícím obrázku.



*Obr.41- Optická rozvodná skříň v ulici Lidická v Jinočanech.
Zdroj: archiv Eldata (fotografoval J.Prek)*

V dolní části lze vidět ochranné trubičky, z kterých vychází optický kabel. Ten je na jeho konci rozpletený na jednotlivá vlákna a ta jsou namotána na cívku. Každé jednotlivé vlákno je posléze navařeno na Pigtail. Ten je z jedné strany zapojen do příslušné řady portů (na obrázku vlevo nahoře). Z druhé strany je naproti též Pigtail s SC konektorem tak, aby se vzájemně dotýkali. Tyto Pigtaily jsou opět navařeny na vlákna jednotlivých kabelů, které jdou již do země k domácnostem koncových zákazníků.

V tomto optické rozvaděči se nachází 3 řady konektorů a poskytují připojení ulicím Lidická a Komenského. Domácnost p. Votavy se nachází v části ulice Lidická, která je připojena do 2.řady těchto konektorů. Ke vstupu kabelů do rozvodné skříňě jsou k ochraně použity právě průchodky PG.

4.7.3 Napojení sítě do nejbližší rozvodné skříňky

V této fázi končí 12 vláknový optický kabel, který bylo potřeba rozplést a navařit na kabel 4 vláknový, který už vede do nejbližší domácnosti. Tento svar se nachází v útrobách této malé skříňky. Bylo vyhraněno 1 vlákno z 12 z jednoho kabelu a z druhého kabelu 1 vlákno ze 4. Tato vlákna se svařila dohromady. Tzv. přímou metodou lze vlákno prosvítit laserem,

takže pak technici vědí, které vlákno je navařeno a tedy i připojeno do sítě. O této metodě bude napsáno více v další kapitole.



*Obr.42- malý rozvaděč v ulici Lidická v Jinočanech.
Zdroj: archiv Eldata (fotografoval J.Prek)*

Odsud už pokračuje 4 vláknový kabel do domácnosti p. Votavy. Na obrázku lze zřetelně vidět, jak trubkou v pravo přichází silnější 12 vláknový kabel a trubkou vlevo odchází tenčí 4 vláknový kabel. Skříňka je možná zbytečně velká, protože jak je patrné z obrázku je určena až pro 16 přípojek (v pravém dolním rohu skříňky). Vstup a výstup je opět opatřen průchodkami PG.

4.7.4 Napojení sítě uvnitř objektu

Jak již bylo řečeno 4 vláknový kabel obchází rodinný dům z boku a zde vstupuje na úrovni práhu dveří do spíže v přízemí. Kabel je nastrčený do modré PVC ochranné trubičky, která slouží jako ochrana proti mechanickému odírání a také proti nežádoucímu ohybu vlákna.



*Obr.43- 4 vláknový kabel s ochranou vstupuje do objektu.
Zdroj: archiv Eldata (fotografoval J.Prek)*

Zde je potřeba modrou ochranou trubičku napojit na další trubičku. Je to z toho důvodu, že technici předem nevěděli kam až kabel s trubičkou dosáhne a kolik ho bude třeba. Proto se ochrana vlákna PVC nastavuje pomocí jednoduché spojky. Vlákno pokračuje chráněné dál a nedochází přitom k žádným útlumům, nechtěným ohybům atd.



*Obr.44- Technik ukazuje spojku dvou ochranných trubiček.
Zdroj: archiv Eldata (fotografoval J.Prek)*

Po úspěšném napojení a asistenci p. Votavy byl kabel veden nad úroveň dveří za skříněmi a dále na polici téměř u stropu. Na tomto místě v rohu místnosti byl namontován ONU prvek spolu s ochrannou schránkou.

4.7.5 Vytváření hybridního spoje

Tato část je vlastně ta nejzásadnější. Na ní všechno závisí. Bylo potřeba převést optický signál na metalický. To se provádí tak, že konec optického vlákna, které je přivedeno zvenčí do objektu je svařeno s optickým Pigtailem. To je jednovláknový kabel s jedním koncem volným a druhý má předpřipravenou SC koncovku.

Na toto je potřeba hned několik věcí.

- Notná dávka zručnosti
- Pečlivost a trpělivost
- Přiměřeně vysoká okolní teplota
- Speciální svářečka na optické spoje
- Čisté pracovní prostředí
- Pro jistotu i čisticí přípravky

Nejprve bylo třeba vlákna odhalit. Na to se používá speciální nářadí na optiku. Poté je odhalené vlákno očištěno pomocí speciálního roztoku. Je sice náchylné na ohyb, ale pevnost v tahu má ucházející, takže není nutné mít obavy z přetržení. Vlákno je tak tenké, že za horšího osvětlení je špatně vidět. Vlákno je tenké zhruba jako lidský vlas.

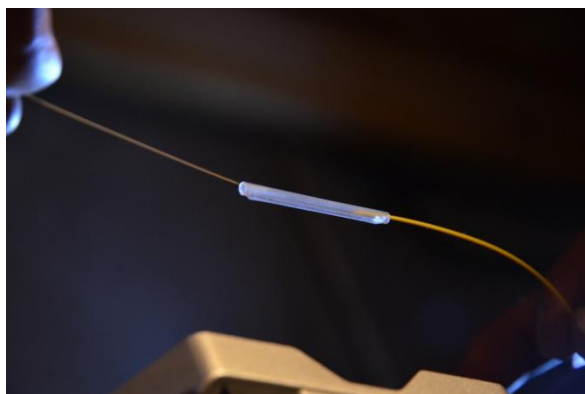


*Obr.45- Použitá svářečka Swift S5 - Příklad provádí proces svařování
Zdroj: archiv Eldata (fotografoval J.Prek)*

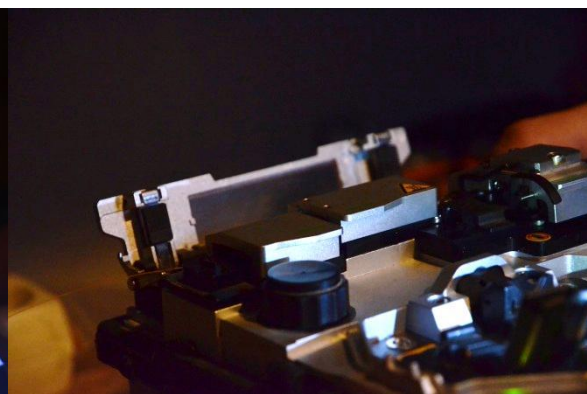
Svářečka za 250 000 toho nabízí opravdu hodně. Na displeji zobrazuje celý proces svařování, přičemž ukazuje v reálném čase animaci spojování 2 vláken. Poprvé přístroj vyhodnotil svár jako chybný, protože na displeji ukazoval, že se někde ve spoji nachází mikroskopická nečistota a proto není úspěšný.

Celý proces bylo nutné zopakovat. Záleží také nejen na čistotě prostředí, ve kterém se svár provádí, ale také na okolních teplotách. Svařovat se dá i když teploty klesnou pod bod mrazu, ale silně se to nedoporučuje. Tato práce vyžaduje notnou dávku trpělivosti, zručnosti a pečlivosti.

Na druhý pokus byl svár úspěšný a nyní bylo nutné zapéct teplem smrštitelnou ochranu na sváry.



*Obr.46- Teplem smrštitelná bužírka.
Zdroj: archiv Eldata (fotografoval J.Prek)*



Obr.47- Zadní část přístroje- tavicí pec

To se provádí v zadní části přístroje. Nachází se tam tavná pec, která bužírku zatáhne. Poté co byl Pigtail navařen na optické vlákno, bylo nutné ho zapojit do koncové jednotky ONU (media konvertor). Z ní už bude signál pouze metalický. Zde končí veškerá optika. Přebytečné vlákno se namotá do ochranné skříňky.



*Obr.48- Uložení ONU jednotky. Zde dochází k transformování signálu.
Zdroj: archiv Eldata (fotografoval J.Prek)*

Na fotografii je vidět optický kabel s modrou ochrannou trubičkou, který do skříňky přichází ze shora. Zde přechází plynule přes vytvořený svar do Pigtailu, který je zapojen do ONU jednotky pomocí SC konektoru. Z ní vychází již upravený signál šedým síťovým UTP kabelem směrem nahoru ven z krabičky.

4.7.6 Vedení kabelu UTP do směrovače a PC

Jak již bylo nastíněno v předchozí kapitole, zde prostupuje UTP kabel stropem do 2.nadzemního podlaží. Nyní se kabel ocitá na půdě. Dále vede skrz zeď na chodbu, kde už je pečlivě uschovaný v rohové liště, která se nejčastěji vyskytuje u plovoucích podlah. Ta ho podél rohu vede země až k samotnému směrovači. Odsud může být rozvedení do jednotlivých pokojů provedeno několika možnostmi. Jednak vést kabel pod dveřním prahem a jednak klasicky skrz zeď.



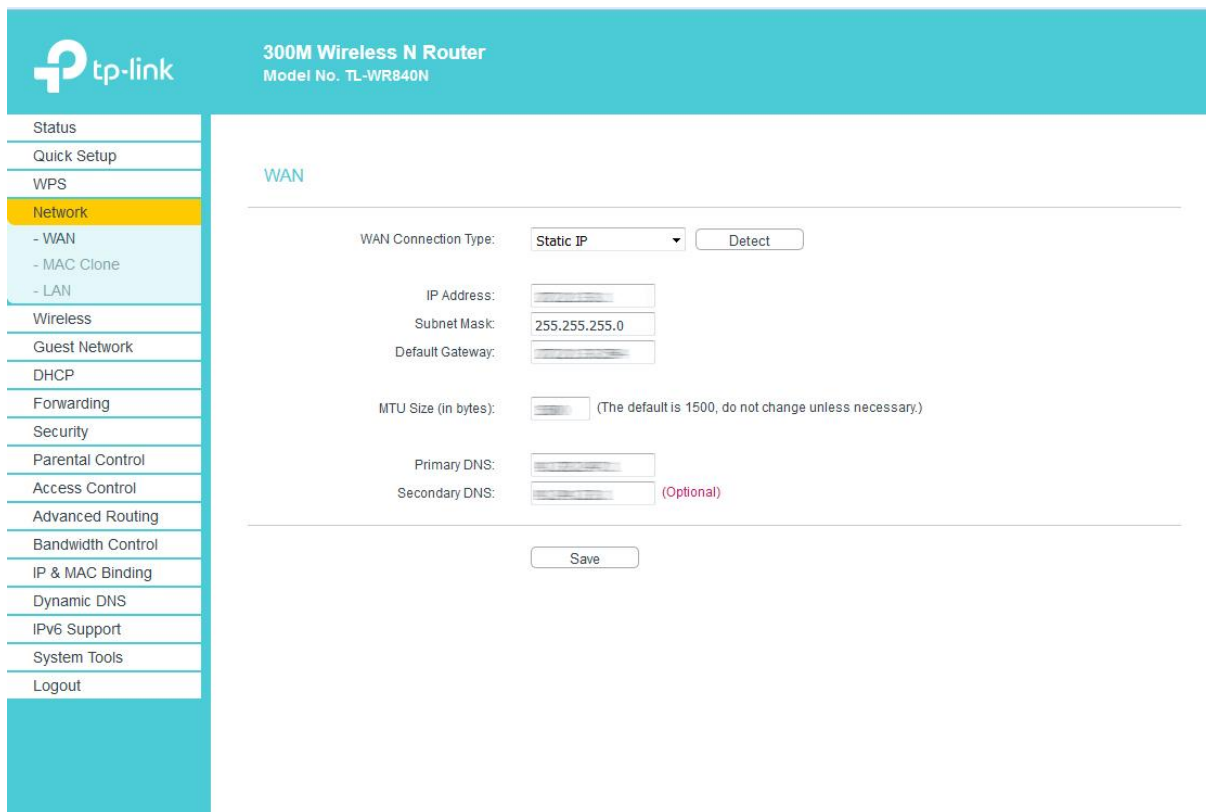
*Obr.49- Vedení UTP kabelu pod prahem dveří do rohové lišty
Zdroj: archiv Eldata (fotografoval J.Prek)*

Byla zvolena první varianta, protože byl vznesen požadavek, aby rozvedení kabelů bylo co nejméně viditelné. Na druhé straně opět vstupuje do rohové lišty a kabel se dostává ven prakticky až u samotného PC. Tam už se pouze zapojí do síťové karty počítače. Dále už zbývalo tuto celou instalaci správně nakonfigurovat.

4.7.7 Koncová konfigurace

Konfigurace je proces, kdy technik pomocí koncového PC přistupuje do administrace routeru, aby zde nastavil parametry routeru tak, aby od této chvíle mohl zákazník využívat služeb internetu. Přístup k routeru TP-Link se provádí tak, že se zadá adresa výchozí brány do adresního řádku prohlížeče, která nejčastěji bývá ve tvaru **192.168.0.1**

System administrace vyzve technika k zadání hesla, popř. uživatelského jména. To je již defaultně nastaveno od výroby. Obvykle se nachází na spodní straně routeru nebo v uživatelské příručce. Následně se zobrazí prostředí routeru, ve kterém může technik provést finální konfiguraci. Mimo jiné je umožněno přistupovat sem i zákazníkům, kteří zde nastavují heslo od Wi-Fi, případně název sítě SSID, typ ochrany, MAC filtry a jiné neméně podstatné věci.



*Obr.50- Administrační prostředí routeru TP-Link po přihlášení.
Zdroj: Výřez poskytla firma Eldata*

Po přihlášení do routeru je vidět po levé straně základní menu, kde na prování nastavení nejrůznějších věcí, také zde router eviduje všechna připojená zařízení, jejich IP adresy, atp.

Ovšem nejpodstatnější v této části je bezesporu záložka s označením "WAN" nacházející se pod tlačítkem "Network" v nabídce menu. Jedná se v podstatě o nastavení připojení do globální sítě (wide area network), zjednodušeně řečeno internetu. Technik zde přidělí zařízení IP adresu, na základě které mohou ve firmě p.Votavu identifikovat v případě budoucích potíží. Koncová domácnost bude na základě této adresy vystupovat v síti.

Protože Eldata má v síti již mnoho účastníků, je nezbytně nutné všechny IP adresy evidovat, aby nedošlo ke kolizi v síti a IP adresa byla u každé domácnosti jedinečná. Nastavuje se dále maska podsítě (Subnet Mask), Výchozí brána, to jest adresa pro komunikaci s routerem, popř. Upřednostňovaný a alternativní DNS server (primary DNS a secondary DNS). Krajně je možno nastavit i velikost MTU, což je maximální velikost IP datagramu. Obvyklá hodnota činí 1500. Po této konfiguraci již stačí ve firmě povolit

přenos dat a nastavit datový tarif, tj. rychlost stahování a odesílání dat a od té chvíle může pan Votava využívat služeb internetu pomocí optického vlákna.

4.8 Testování spoje

Obvykle se testování spoje neprovádí, protože nehrozí příliš velké riziko nefunkčnosti optické soustavy. Testování spojů a vydávání výstupových protokolů se provádí zejména u firem jako důkaz, že zapojení proběhlo korektně.

Nicméně na přání p. Votavy a zhotovitele této práce bylo provedeno dvojí měření. Pomocí zjednodušené přímé metody a dále standardně pomocí OTDR metody.

4.8.1 Přímá metoda

Tato zjednodušená forma přímého měření se primárně používá k bezprostřednímu zjištění, že kabelem vede správně světlo a nedochází k nadměrným ohybům vlákna. Používá se k tomu přístroj zvaný Visual fault locator, který se na jednom konci připojí ke koncovce SC, FC nebo FT s vláknem a na konci druhém je sledován únik světla.

Pokud není nikde chyba a vlákno je přiměřeně ohnuto, je možné na druhém konci vlákna pozorovat zdroj světla unikající z vlákna. V případě, že je vlákno nadměrně ohnuto, začne zdroj světla "unikat" z vlákna ven. Jednoduše řečeno prosvítá v místě nadměrného ohybu a na konci vlákna světlo neuniká ven.

Využívá se také pro rozpoznání neoznačených vláken. V situaci, kdy je dán svazek vláken a na druhém konci potřebuje technik zjistit, které vlákno se má navařit, je tento přístroj ideální pomůckou.



*Obr.51- Visual fault locator- přístroj pro jednoduché přímé měření
Zdroj: archiv Eldata (fotografoval J.Prek)*

Jako zdroj světla se nejčastěji používá laser, který produkuje lokátor. Výhoda tohoto přístroje je univerzálnost použití a poměrně nízká cena. Další výhodou je dosvit laseru, který je u tohoto přístroje kolem 5km.

V případě této konkrétní domácnosti byl přístroj použit právě pro rozpoznání vlákna, které se mělo navařovat na Pigtail. V malé rozvodné krabičce se totiž svařovalo vlákno z 4 vláknového kabelu s vláknem z 12 vláknového kabelu. Aby nedošlo následně ke svařování nesprávného vlákna, byl použit tento přístroj na prosvícení. Současně se tím ověřovalo, že 4 vláknový kabel, který vede do objektu až k media konvertoru není nikde přílišně naohybán a světlo proudí po celé délce vlákna.

4.8.2 Metoda OTDR

Metoda OTDR je standardní a hojně využívaná metoda pro měření útlumu pomocí zpětné reflektometrie. Touto metodou se dají zjistit veškeré útlumy na stávající trase. Výstupem tohoto přístroje bývá protokol nebo graf, zachycující velikost útlumu na různé vzdálenosti. Každá výrazná výchylka v útlumu znamená nějaký přechod vlákna, svar apod.

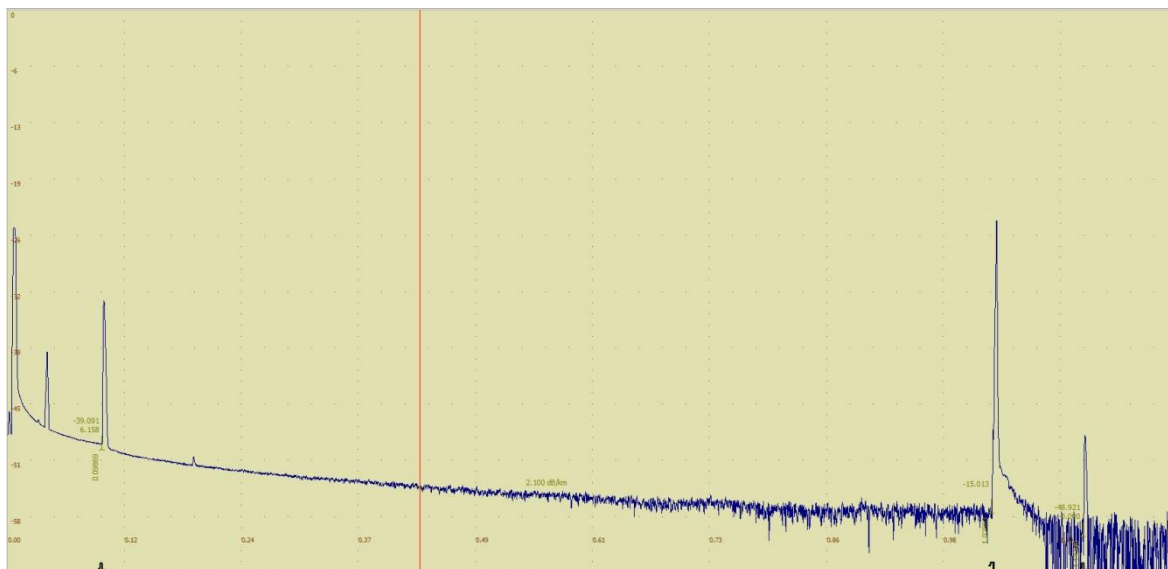
Přístroj se umístí na jeden konec, vyšle zdroj světla a vše zaznamenává a výsledky ukládá do souborů s koncovkou .SOR. Současně výsledek měření zobrazuje na vestavěném displeji. Soubory je možné zpětně otevřít v PC ve specializovaném programu a s výsledky dále pracovat. Výhodou oproti přímé metodě je bezesporu větší přesnost a také fakt, že na druhém konci nemusí být někdo, kdo kontroluje, zda světlo vychází z vlákna. Zkrátka pro měření stačí pouze jeden konec vlákna.



Obr.52- Přístroj pro měření OTDR metodou
Zdroj: archiv Eldata (fotografoval J.Prek)

Ovšem velkou nevýhodou těchto přístrojů bývá jejich cena. Lepší OTDR přístroje stojí v rozmezí 100 000 - 200 000 Kč. Cena tohoto konkrétního přístroje, který byl použit v této domácnosti se pohybuje okolo 155 000 - 250 000 Kč dle zvolených parametrů přístroje jako je velikost paměti, počet portů, displej, apod.

Výstup z tohoto přístroje vypadá v domácnosti p. Votavy takto:



Graf 3- Graf, který je výstupem z měřicího přístroje OTDR

Zdroj: výřez poskytla firma Eldata

Po měření OTDR přístrojem byl vygenerován následující graf. Na ose X je zanesena vzdálenost v km a na ose Y útlum v dB.

Měření začínalo tak, že technik napojil přístroj u media konvertoru, kde začíná optické vlákno (bráno z pohledu k OLT) a sledoval jednotlivé výchylky, zda je vše v pořádku.

Větší výchylky znamenají větší útlum a to obvykle značí, že se v daném místě nachází svár nebo optická spojka. V tomto případě si lze všimnout výchylky hned na začátku, jejíž hodnota činí 29,4 dB. Jde s největší pravděpodobností o svár u media konvertoru. Další výchylka má hodnotu 22,6 dB. V tomto případě jde o další svár, který se nachází v malém rozvaděči ve vzdálenosti cca 40 m od místa měření. Další větší útlum je přibližně ve 120 m a jedná se o optickou spojku v hlavním rozvaděči v ulici Lidická. Tento útlum má hodnotu 26,2 dB. Poslední a současně největší útlum nastává u zakončení optického vlákna v serverové místnosti. Hodnota útlumu činí 33,9 dB na vzdálenosti přibližně 1 km od místa měření. Lze si také všimnout klesající tendence útlumu. Čím blíže je měřený signál k OLT, tím je útlum menší.

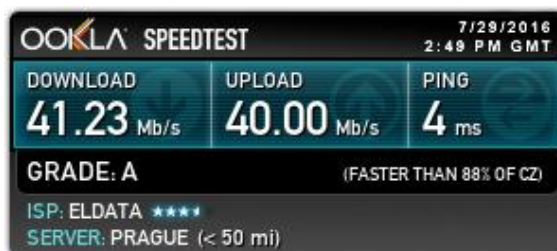
Poté přístroj měří dále až do vzdálenosti cca 4,5 km, ovšem tato část grafu už o ničem nevyovídá, jelikož se zde nenachází vlákno. To je ta část, kde graf klesá od největšího útlumu. Je nutno podotknout, že na trase se vždy nachází útlum. Hodnota útlumu v místě, kde je svislé červené vodítko činí 17 dB.

4.8.3 Rychlost připojení

V závěru testování bylo ověřováno, zda optická síť v zapojení FTTH funguje jak má a tedy zda poskytuje předem smlouvenou rychlost připojení. To byl hlavní důvod přechodu na optickou síť. Umožní za stejné peníze dosahovat několikanásobně vyšších rychlostí stahování i odesílání dat.

V tomto případě byl smlouven tarif Standard, čili za 490 Kč měsíčně by měla rychlost stahování činit 40 Mbit/s a stejnou hodnotu by měla vykazovat rychlost odesílání dat.

Opět byl k měření využit nástroj na měření rychlosti společnosti Ookla na stránce www.speedtest.net



Obr.53- Výsledek testu měření rychlosti připojení pomocí optické sítě
Zdroj: www.speedtest.net

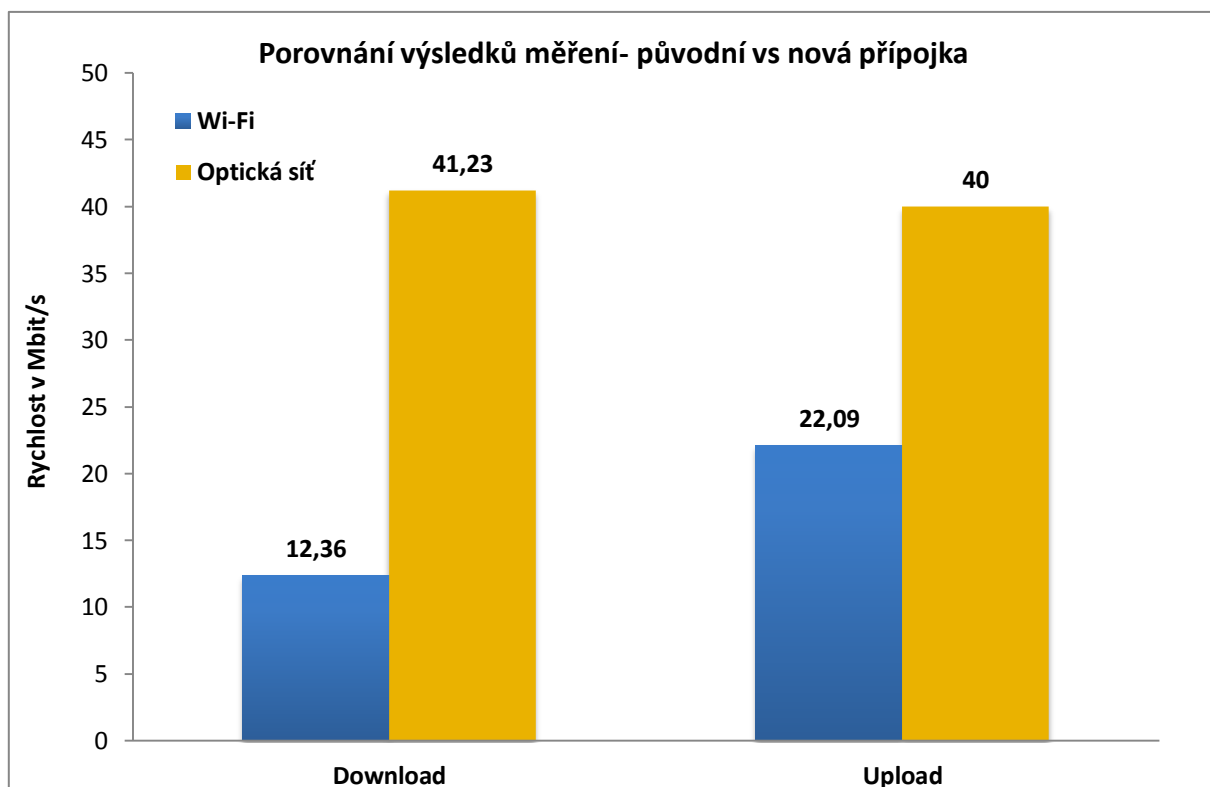
Jak je z výsledku měření patrné. Připojením k internetu pomocí optické sítě se dosáhlo několika násobně větší rychlosti, přesně podle očekávání. Hodnota download (stahování) se zde vyšplhala nad hranici garantovanou tarifem a činí 41,23 Mbit/s a upload (odesílání) byl přesně na hranici 40 Mbit/s. Výsledné hodnocení je uděleno A, což je výborná známka. Výsledek také poukazuje na to, že rychlost připojení je rychlejší než 88% připojení v České republice.

Lze si také všimnout vyrovnanější bilance stahování / odesílání, než tomu bylo v původní instalaci. Server byl opět použit nejbližší možný, což je Praha s odezvou pouze 4 ms.

5 Výsledky a diskuze

Při výsledném testování byla dosažena rychlost stahování 41,23 Mbit/s a rychlost odesílání 40,00 Mbit/s, což je navýšení rychlosti oproti předešlému stavu o 233,57% u stahování a u odesílání došlo k navýšení o 81,07%. To vše při konstantní měsíční sazbě. Nárůst je to opravdu citelný a je to také povětšinou hlavní důvod k přechodu z metalické na optickou síť.

Na závěr měření rychlosti připojení je možno pro přehlednější porovnání s původním stavem vše znázornit na přehledném grafu.



Graf 4- Porovnání rychlostí download a upload
Zdroj: Vlastní zpracování (Microsoft Excel)

Došlo zde také k otestování útlumu a ohybů vláken, kde se zkoumalo, zda útlumy jsou v normě a nejsou příliš výrazné nebo nepříznivě ovlivňují provoz sítě. K tomu byl použit speciální OTDR měřič. Přímou metodou se zjišťovalo, zda nedochází v různých místech k přílišným ohybům vlákna a s tím spojený únik světla z vlákna. Bylo zjištěno, že vlákno je uloženo korektně a světlo prochází až na konec vlákna.

Jedna z oblastí, kde firma může mírně vylepšit způsob výstavby je použití 2 vláknového kabelu místo 4. Koncový zákazník využije jedno vlákno a zbylá 3 jsou nevyužita a volně uložena v media konvertoru. Firma argumentuje tím, že cena je u obou kabelů stejná, tudíž není důvod ke koupi 2 vláknového kabelu.

Stavba je svým způsobem výjimečná, protože i přes současný trend zvyšování přenosové kapacity nejsou optické sítě primárním způsobem připojení a už vůbec tomu tak není na malé vesnici jako jsou právě Jinočany.

Obecné využití optických přípojek

V této práci a projektu bylo využito hybridní přípojky FTTH, tedy přípojky, kde optické vlákno končí přímo v domácnosti zákazníka. Tato přípojka se hojně využívá ve všech oblastech telekomunikačních a datových sítích. Je to stanoveno zejména výhodným poměrem ceny a přenosové rychlosti a také snadnou implementací do již existující síťové infrastruktury. Její rozšiřitelnost je opravdu značná. Firma je v podstatě schopna tímto způsobem připojit celou ulici a vyhradit každému zákazníkovi svoje vlastní vlákno. Firma v případech jako je tento využívá napojení na páteřní síť vyšších providerů a je tak schopna pomocí FTTH zajistit optické připojení celé vesnici.

Ve velkých aglomeracích se připojení do sítě pomocí optického kabelu realizuje obdobně, jen s rozdílem, že velcí provideři využívají po převodu optického signálu koaxiální kabel, který rozvádějí do jednotlivých pater (případ panelových domů). Přenos zde nebývá duplexní, což znamená, že nejsou využity 2 komunikační kanály (jeden pro odesílání a druhý pro stahování). To se následně projevuje výrazně menší přenosovou rychlostí upload, než download.

Taktéž může být řešen jinak způsob realizace hybridního spoje. FTTH je velmi často používáno, ale výjimkou není ani FTTB nebo FTTC.

Optické technologie jako takové potom nachází využití nejen v telekomunikačních technologiích, ale také v zábavním průmyslu, jako jsou například zvuková zařízení. Dále nacházejí uplatnění v medicíně.

6 Závěr

Optické technologie představují beze sporu budoucnost telekomunikačních technologií a postupně bude docházet nepochybně k neustálému vývoji a navyšování rychlostí a šířky pásma. Tato tendence je dána pravděpodobně poptávkou a trendem, kdy uživatel očekává okamžitý přístup k informacím. Celkový pohled firem na optické soustavy je takový, že postupně nahradí stávající VDSL a Wi-Fi přípojky, byť tomu tak prozatím je spíše ve větších městech. Této myšlence přispívá i fakt vyplývající z této práce, že náklady na výstavbu nejsou nijak výrazně drahé a při rozumném financování je návratnost velmi dobrá.

Z hlediska uživatele je situace ještě lukrativnější v tom smyslu, že za stejné finance vynaložené za platbu měsíčního tarifu obdrží rychlejší a stabilnější připojení, které ještě nepoznalo svoje technologické limity. Pokud firmy rozumně rozloží svoje investice do těchto sítí a využijí stávajících páteřních sítí vyšších poskytovatelů, můžou očekávat zvýšený zájem o tyto služby i v menších aglomeracích.

Tato práce se konkrétně zabývala výstavbou optické sítě v rodinném domě p. Votavy, který se nachází v malé obci Jinočany v ulici Lidická s číslem popisným 264. Tento objekt již využíval služby firmy Eldata, avšak zdrojový signál byl přenášen vzduchem z místního vysílače pomocí technologie Wi-Fi. Rodina se rozhodla pro nahrazení tohoto stávajícího připojení za optickou přípojku.

Úkolem této práce bylo navrhnout optickou síť, vedení kabelů a zapojení tak, aby bylo co možná nejméně nákladné a současně poskytovalo nesporné výhody optického připojení. K tomu bylo využito topologie FTTH, což značí hybridní spoj. Bylo zde využito kombinace optického a metalického vedení. Standard, který instalace využívala, byl GPON. Firma si finanční stránku projektu výrazně ulehčila sdílením společného výkopu pro tuto zakázku s veřejným osvětlením ulice, které se v té době provádělo jinou firmou. K instalaci byly použity 2 druhy optických kabelů, 1 pigtail, 1 optický media konvertor a 1 router. Náklady na tento projekt činily 18 495 Kč a zabral přibližně 1 měsíc včetně vyřizování legislativy.

7 Seznam použitých zdrojů

- [1] **2014.** 400 Gb/s Ethernet Study Group. *ieee802.org*. [Online] 27. 3 2014.
<http://www.ieee802.org/3/400GSG/>.
- [2] **ahr. 2011.** Optické kabely. Co vše se o nich lze dozvědět? *technet.cz*. [Online] 29. 6 2011. http://sdeleni.idnes.cz/opticke-kabely-co-vse-se-o-nich-lze-do-zvedet-fks-/tec_sdeleni.aspx?c=A110622_141349_tec_sdeleni_ahr.
- [3] **Boháč, Leoš. 2012.** Měření optických vláken. *cedupoint.cz*. [Online] 2012.
http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/160.pdf.
- [4] **Boháč, Leoš. 2010.** *Optické komunikační systémy*. Praha : nakladatelství ČVUT, 2010. str. 165. ISBN: 978-80-01-04484-1.
- [5] **2005.** Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON). *itu.int*. [Online] 1 13, 2005. http://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.983.1-200303-S!Amd2!PDF-E&type=items.
- [6] **Burns, Bill. 2010.** Cable Signalling Speed and Traffic Capacity. <http://atlantic-cable.com>. [Online] 2010. <http://atlantic-cable.com//Cables/speed.htm>.
- [7] **Communications, ZyXEL. 2015.** Aktivní optická síť. *zyxel.com*. [Online] 2015.
https://www.zyxel.com/cz/cs/solutions/solution_detail_20120224_052348.shtml.
- [8] **Doleček, Jaroslav. 2005.** *Moderní učebnice elektroniky 3. díl - Optoelektronika - optoelektronické prvky a optická vlákna*. místo neznámé : BEN - technická literatura, 2005. ISBN: 80-7300-184-5.
- [9] **Filka, Miloslav. 2009.** *Optoelectronics for Telecommunications and Informatics. Optoelectronics for Telecommunications and Informatics*. s.l. : OPTOKON METHODE ELECTRONIC, 2009, pp. 22-44.
- [10] **Filka, Miloslav. 2009.** *Optoelektronika pro telekomunikace a informatiku*. Brno : M.Filka, 2009. str. 369. ISBN: 978-80-86785-14-1.
- [11] **HAVLIŠ, Bc. ONDŘEJ. 2012.** Diplomová práce- PASIVNÍ OPTICKÉ SÍTĚ WDM-PON. *VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ*. [Online] 24. 5 2012.
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52694.
- [12] **HORNÍČEK, LUKÁŠ. 2011.** Bakalářská práce- OPTICKÁ SÍŤ FTTH . *VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ*. [Online] 2. 6 2011.
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=37164.
- [13] **2015.** IEEE P802.3bs 400GbE Adopted Timeline. *ieee802.org*. [Online] 2015.
http://www.ieee802.org/3/bs/timeline_3bs_0915.pdf.

- [14] **2002.** IEEE Standard for Information Technology. *ieee.org*. [Online] 2002.
<http://ieeexplore.ieee.org/document/1040118/references>. 0-7381-3288-3.
- [15] **Ing. Jan Brouček, CSc., Pavel Dvořák. 2010.** FTTx - technologie pro poslední míli.
netguru.cz. [Online] 12. 5 2010.
<http://www.netguru.cz/component/content/article?id=667>.
- [16] **Ing. Lukáš Bubník, Ing. Jiří Klajbl, Ing. Petr Mazuch. 2015.**
Optoelektrotechnika. Brno : Code Creator, s.r.o., 2015. ISBN: 978-80-88058-20-5.
- [17] **Ing. Rita Pužmanová, CSc., MBA. 2004.** Ethernet v první míli. *www.dsl.cz*.
[Online] 12. 7 2004. <http://www.dsl.cz/clanky/20-ethernet-v-prvni-mili>.
- [18] **Intelek. 2008.** Jak správně vybrat optický kabel. *intelek.cz*. [Online] 2008.
http://www.intelek.cz/art_doc-BF888420432AAAEC125747200454BEF.html.
- [19] **Intelek. 2009.** Způsoby měření optické kabeláže. *Intelek.cz*. [Online] 5. 1 2009.
http://www.intelek.cz/art_doc-42482D88D3B7423BC1257535002C2B96.html.
- [20] **Jiráček, Milič. 1990.** *Základy aplikované optoelektroniky*. 1. Olomouc : Ediční středisko RUP Olomouc, 1990. str. 127. ISBN: 55-063-87.
- [21] **LÁSKO, Bc. JAN. 2012.** Diplomová práce- NÁVRH SÍTĚ WDM-PON. *VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ*. [Online] 24. 5 2012.
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52621.
- [22] **Legrand. 2010.** LCS2 - FTTO / FTTD. *legrand.cz*. [Online] 2010.
<http://www.legrand.cz/lcs2-ftto-fttd>.
- [23] **Maršálek, Ing. Leoš. 2006.** <http://goro.czweb.org>. *goro.czweb.org*. [Online] 2006.
<http://goro.czweb.org/download/interest/vlakna.pdf>.
- [24] **McAllister, Neil. 2012.** Network boffins say Terabit Ethernet is TOO FAST.
theregister.co.uk. [Online] 9 28, 2012.
http://www.theregister.co.uk/2012/09/28/terabit_ethernet_too_fast/.
- [25] **McCullough, Don. 2005.** Flexibility is key to successful fiber to the premises deployments. *lightwaveonline.com*. [Online] 8 2005.
<http://www.lightwaveonline.com/lightwave-issue-archives.html>.
- [26] **MÜNSTER, Bc. PETR. 2010.** Diplomová práce- NÁVRH OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ FTTX. *vutbr.cz*. [Online] 26. 5 2010.
https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=27853.
- [27] **Myartve. 2017.** Nevýhody optické komunikace. *myartve.net*. [Online] 2017.
<http://www.myartve.net/nevyhody-opticke-komunikace/>.

- [28] **Opticon. 2012.** PŘEHLED NEJZNÁMĚJŠÍCH OPTICKÝCH KONEKTORŮ. *Opticon.cz*. [Online] 2012. http://opticon.edituj.cz/index.php?id_document=41910.
- [29] **Pavel Lafata, Jiří Vodrážka. 2010.** Návrh pasivních optických sítí s optimálními rozbočovacími poměry. *elektrorevue*. [Online] 14. 10 2010. www.elektrorevue.cz/cz/download/navrh-pasivnich-optickych-siti-s-optimalnimi-rozbocovacimi-pomery/+&cd=9&hl=cs&ct=clnk&gl=cz.
- [30] **Pavel Lafata, Jiří Vodrážka. 2014.** *Optické přístupové sítě a přípojky FTTx*. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2014. str. 294. ISBN: 978-80-01-05463-5.
- [31] **Petrášek, Milan. 2011.** Optika 2 - druhy konektorů. *pedro.cz*. [Online] 31. 3 2011. <http://pedro.cz/2011/03/optika-2-druhy-konektoru.html>.
- [32] **Plexo. 2008.** Technologie přenosu dat přes optická vlákna. *pctuning.tyden.cz*. [Online] 22. Leden 2008. http://pctuning.tyden.cz/hardware/site-a-internet/9994-technologie_prenosu_dat_pres_opticka_vlakna?start=1.
- [33] **Pužmanová, Rita. 2007.** Evropská optika nic moc. *dsl.cz*. [Online] 22. 2 2007. <http://www.dsl.cz/clanky/651-evropska-optika-nic-moc>.
- [34] **Pužmanová, Rita. 2004.** *Širokopásmový Internet: Přístupové a domácí sítě*. Brno : Computer Press, 2004. str. 377. ISBN: 80-251-0139-8.
- [35] **Pužmanová, Rita. 2003.** WiMAX aneb první míle bezdrátově. *lupa.cz*. [Online] 29. 10 2003. <http://www.lupa.cz/clanky/wimax-aneb-prvni-mile-bezdratove/>.
- [36] **RLC. 2014.** FTTX řešení. *rlc.cz*. [Online] 2014. http://rlc.cz/?page_id=124.
- [37] **Sosinsky, Barrie. 2013.** *Mistrovství – počítačové sítě*. Brno : Computer Press, 2013. str. 840. ISBN: 978-80-251-3363-7.
- [38] **Šíma, Ing. Jaromír. 2008.** Vlákenná optika. *klfree.cz*. [Online] 2008. http://www.klfree.net/store/skoleni_optika_2008_klfree_2.pdf.
- [39] **Turek, František. 2016.** *GPON*. [dotazovaný] Jiří Prek. 2016.
- [40] **VARIANT. STRUKTUROVANÝ KABELÁŽNÍ SYSTÉM.** *www.variant.cz*. [Online] http://www.variant.cz/soubory-ve-skladu/Karty/Spol_Zarazene/01-MANU%C3%81LY%20CS/SKS%20prirucka%20optika%20-%20man-a4.pdf.