



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

NÁVRH OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ FTTX

DESIGN OF FTTX OPTICAL ACCESS NETWORK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PETR MÜNSTER

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL REICHERT

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Petr Münster

ID: 83434

Ročník: 2

Akademický rok: 2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Návrh optické přístupové sítě FTTx

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Proveďte rozbor návrhu optické přístupové sítě. Zaměřte se na prvky fyzické vrstvy a technologii výstavby. Zvažte výhody a nevýhody možných připojení FTTx. Porovnejte jednotlivé topologie a standardy u optických sítí typu PON. Proveďte návrh modelu tohoto typu sítě v lokalitě s ohledem na návrhové postupy používané v praxi a doporučení ITU. Navrhněte možnosti dohledu navrhované sítě.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

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

Termín zadání: 29.1.2010

Termín odevzdání: 26.5.2010

Vedoucí práce: Ing. Pavel Reichert

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Abstrakt

Cílem této práce je nastínit problematiku návrhu optické přístupové sítě FTTx. V úvodní kapitole je pojednáno o optickém vlákně a principu přenosu. Dále již jsou rozebrány jednotlivé možnosti realizace s ohledem na místo ukončení optického vlákna – FTTN, FTTC, FTTP, FTTB, FTTH a standardy, které se při budování optických sítí používají. V následující kapitole je stručně pojednáno o síťových prvcích, které se v jednotlivých vrstvách referenčního modelu ISO/OSI používají. Závěrečná kapitole teoretické části se věnuje progresivním technologiím pro výstavbu optických přístupových sítí, které se v poslední době využívají. Jsou zde vysvětleny pojmy jako HDPE trubka, mikrotrubičkování nebo samonosné kabely.

V praktické části je proveden návrh modelu pasivní optické sítě v lokalitě Slavičín, jenž se nachází ve Zlínském kraji. Zvolena byla architektura FTTB, kde pro jednotlivé přípojky v objektech bude využito stávající metalické vedení. Navržená trasa bude využívat standard GEAPON s technologií vlnového dělení WDM, takže pro připojení jednotlivých budov bude použito pouze jedno vlákno. Realizace optické sítě proběhne výkopovou technologií. Použité optické kabely a svazky optických vláken budou chráněny pomocí HDPE trubek uložených v pískovém loži. Pro rozbočení optického signálu do více směrů bude využit optický rozbočovač 1/16, umístěný ve venkovním sloupkovém optickém rozvaděči. O distribuci signálu pro sídliště se bude starat centrální stanice Alloptic, jenž je optimalizována pro přenos Triple Play služeb. Na základě návrhu je vytvořena finanční analýza, která ukazuje návratnost projektu. Důležitou částí sítě je také monitoring sítě. Poslední část diplomové práce se proto zabývá možnostmi monitoringu sítě, aby bylo možno síť průběžně sledovat, předcházet tak případným poruchám, nebo co nejrychleji reagovat na problém v síti.

Klíčová slova

FTTx, FTTB, EPON, Optická přístupová síť, návrh, Výstavba

Abstract

The aim of this work is an overview of the proposal for FTTx Optical Access Networks. In the introductory chapter written about the optical fiber and the transmission. Furthermore, as already discussed various options with regard to the implementation instead of the end of optical fiber - FTTN, FTTC, FTTP, FTTB, FTTH and standards, which are used to build fiber optic networks. The next chapter is an overview of the network elements that are in different layers reference model ISO / OSI used. The final theoretical chapter is devoted to progressive technologies for the construction of optical access networks, which has recently been used. Concepts are explained as HDPE pipe, microtubing or self-supporting cables.

The practical part design model, passive optical networks in the area Slavičín, located in the Zlín region. FTTB architecture was chosen, where for each connection object is used in the existing copper lines. The proposed route will use a standard technology GEPON Wavelength division WDM, so to connect the individual buildings will be used only one thread. Realization of optical networking technology will be excavation. The optical cables and optical fiber bundles are protected by HDPE pipes stored in the bed of sand. For the optical signal split into multiple lines will be used by an optical splitter 1 / 16, located in an outdoor cabinet optic pathway. The distribution of signals for the settlement will take care Alloptic central station, which is optimized for the transmission of Triple Play services. On the basis of the proposal is to created a financial analysis that shows the return on the project. An important part of the network is also monitoring the network. The last part of this work therefore deals with the possibilities of monitoring networks in order to continuously monitor the network, in order to prevent any disturbances or quickly respond to network problems.

Keywords

FTTx, FTTB, EPON, optical access network, design, construction

Citace práce

MÜNSTER, P. *Návrh optické přístupové sítě FTTx*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 67 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Reichert.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „NÁVRH OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍŤE FTTX“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

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

V Brně dne

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

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

V Brně dne

.....

podpis autora

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	8
ÚVOD	9
1 OPTICKÁ VLÁKNA	11
1.1 Princip přenosu	11
2 FTTX – FIBER TO THE X	15
2.1 FTTN	16
2.2 FTTC.....	17
2.3 FTTP	18
2.3.1 FTTB	18
2.3.2 FTTH	18
3 ARCHITEKTURY FTTX.....	20
3.1 AON.....	21
3.2 PON	22
3.2.1 APON	24
3.2.2 BPON	24
3.2.3 GPON	25
3.2.4 EPON.....	25
3.2.5 10GEPON.....	25
3.2.6 WDM – PON.....	26
4 SÍŤOVÉ PRVKY	28
4.1 Prvky fyzické vrstvy	28
4.1.1 Hub – rozbočovač.....	28
4.1.2 Zesilovač.....	28
4.1.3 Opakovač.....	28
4.2 Prvky linkové vrstvy	28
4.2.1 Most – bridge.....	29
4.2.2 Přepínač - switch	29
4.3 Prvky síťové vrstvy.....	30
4.3.1 Směrovač – router.....	30
4.4 Prvky vyšších vrstev	31

4.4.1	Brána – gateway	31
5	PROGRESIVNÍ TECHNOLOGIE PRO VÝSTAVBU OPTICKÝCH PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍ	32
5.1	Mikrokabelážní systémy	32
5.1.1	MCS – Road	32
5.1.2	MCS – Drain.....	32
5.1.3	Mikrotrubičkování	32
5.2	HDPE trubky, kabelové komory, multikanály	33
5.2.1	HDPE trubka	33
5.2.2	Kabelové komory a multikanály.....	33
5.3	Samonosné kabely	34
6	NÁVRH FTTX SÍTĚ	35
6.1	Popis situace	35
6.2	Návrh sítě	36
6.2.1	Výběr topologie	36
6.2.2	Způsob uložení	36
6.2.3	Centrální serverovna.....	37
6.2.4	Trasa spoje	37
6.2.5	Sídlíště	38
6.2.6	Zakončení v objektech.....	42
6.2.7	Optické kabely	45
6.3	Shrnutí.....	48
6.4	Analýza nákladů	48
7	MONITORING SÍTĚ.....	51
7.1	Softwarový monitoring sítě	51
7.2	Monitoring fyzické vrstvy	51
7.2.1	Reflektometrická metoda.....	52
7.2.2	Transmisní metoda.....	53
	ZÁVĚR	55

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1.1: Skladba optického vlákna [16].	12
Obr. 1.2: Jednovidové vlákno [28].	13
Obr. 1.3: Mnohovidové vlákno [28].	13
Obr. 1.4: Gradientní vlákno [16].	14
Obr. 2.1: Schéma architektury FTTx [4].	16
Obr. 2.2: Zapojení FTTN sítě. [2].	17
Obr. 2.3: Zapojení FTTC sítě [2].	18
Obr. 2.4: Zapojení FTTB sítě. [2].	19
Obr. 3.1: Rozdělení optických přístupových prostředků [30].	20
Obr. 3.2: Schéma architektury AON [3].	22
Obr. 3.3: Schéma architektury PON [3].	23
Obr. 3.4: Topologie sítí – a) hvězda, b) sběrnice, c) kruh, d) strom [29].	24
Tab. 4.1: Porovnání základních variant PON. [13].	27
Obr. 5.1: Princip metody mikrotrubičkování.	33
Obr. 6.1: Poloha obce Slavičín.	35
Obr. 6.2: Přístupový prvek Alloptic Edge200 [22].	37
Obr. 6.3: Fotomapa sídliště Vlára.	38
Obr. 6.4: Schéma vyvedení HDPE chrániček a mikrotrubiček.	38
Obr. 6.5: Sloupkový optický rozvaděč ORU 1 SIS [17].	39
Obr. 6.6: Optický rozbočovač 1/16 [1].	40
Obr. 6.7: Schéma vyvedení vláken bez analogového TV signálu.	41
Obr. 6.8: Zákres chrániček v katastrální mapě.	42
Obr. 6.9: Půdorys 1.N.P. Trasa sdělovacího vedení.	43
Obr. 6.10: Rozvaděč nástěnný LC-13 6U 500mm RAL 7035, dělený [18].	44
Obr. 6.11: Alloptic Xgen6000 [21].	44
Obr. 6.12: Schéma použití optických kabelů a svazků vláken.	47
Tab. 4.2: Cenová kalkulace.	48
Obr. 7.1: Jednotka RTU (Remote Test) se 16 optickými porty. [12].	52
Obr. 7.2: Ukázkové schéma reflektometrického monitorovacího systému NQMSfiber [12].	53
Obr. 7.3: Ukázka vysílacího a přijímacího zařízení transmisní metody [12].	54

ÚVOD

U většiny dnes nabízených připojení k Internetu se přenosová rychlost pohybuje okolo 10 Mbit/s nebo méně. Pro běžného zákazníka, který využívá jen základní služby, jako prohlížení webových stránek nebo e-mail, je tato rychlost dostačující. Postupně se však s rozvojem Internetu rozvíjejí i nové služby běžící na protokolech TCP/IP či UDP. Mezi nejpoužívanější služby Internetu patří:

- **WWW** – nejpoužívanější služba, jedná se o soustavu propojených hypertextových dokumentů, systém webových stránek je zobrazován pomocí webových prohlížečů,
- **E-mail** – neboli elektronická pošta, jedná se o způsob výměny digitálních zpráv,
- **Instant Messaging** – online komunikace mezi uživateli umožňující vidět právě připojené uživatele, posílat zprávy a soubory,
- **VoIP** – telefonování přes Internet (příp. jiné datové spojení), umožňuje přenos hlasu v digitalizované podobě,
- **IPTV** – systém, kde jsou služby digitální televize šířeny prostřednictvím počítačové sítě,
- **P2P** – klientské sítě, prostřednictvím nichž si uživatelé mohou vyměňovat data,
- **VoD** – nepřímou souvisí s IPTV, jedná se o službu video na vyžádání.

S nástupem těchto služeb narůstá také potřeba větší přenosové šířky pásma. Pokud zákazník kromě běžných služeb využívá například i IPTV, pak je potřeba uvažovat pro přenos videa, v kvalitě SD (standard definition) nebo HD (high definition), šířku přenosového pásma alespoň kolem 20 – 25 Mbit/s. Pokud k tomu přibude ještě výměna souborů, videí, fotografií, ... pomocí služby P2P, pak realizace sítí s kapacitami 100 Mbit/s, případně Gbit/s, jsou vhodným řešením.

Protože přenosová kapacita metalického vedení a prvků metalického vedení je omezena, přechází se postupně na nová technologická řešení. Aby bylo možné do budoucna bez problémů navyšovat přenosovou rychlost u klientů, realizují se nové výstavby pomocí optických vláken. Optická vlákna nabízí mnohem vyšší přenosové rychlosti a možnost nasazení nových technologií. Oproti metalickému vedení mají optická vlákna řadu výhod -

kromě větší šířky přenosového pásma to jsou: malý útlum vedení, odolnost vůči indukovanému napětí, menší rozměry, nemožnost odposlechu vedení a další.

Vzhledem k tomu, že výstavba optických sítí je značně nákladná, je potřeba dobře zvažovat a plánovat všechny aspekty při výstavbě. Existuje řada možností architektur sítí (GPON, EPON, AON,...) a variant topologií podle ukončení (FTTB, FTTH,...), jak realizovat napojení na optická vlákna. Je nutné pro daný projekt vybrat tu nejvhodnější variantu – pro připojení sídliště bude potřeba zřejmě zvolit jinou architekturu než pro připojení jednoho domu. Důležitou součástí návrhu musí být i analýza nákladů jednotlivých variant topologií a architektur, protože cenové rozdíly na výstavbu při nevhodné volbě mohou být až několikanásobně vyšší. Existuje řada programů, které usnadňují návrh optické sítě a pomáhají při výběru komponent podle požadavků, simulují provoz sítě a pomáhají s tvorbou dokumentace pro správu sítě. Mezi takové programy patří např. MetroWAND od společnosti Safibra, SPIDER – Fiber od společnosti Gisoft nebo Opnet IT Guru od společnosti Opnet technologies.

1 OPTICKÁ VLÁKNA

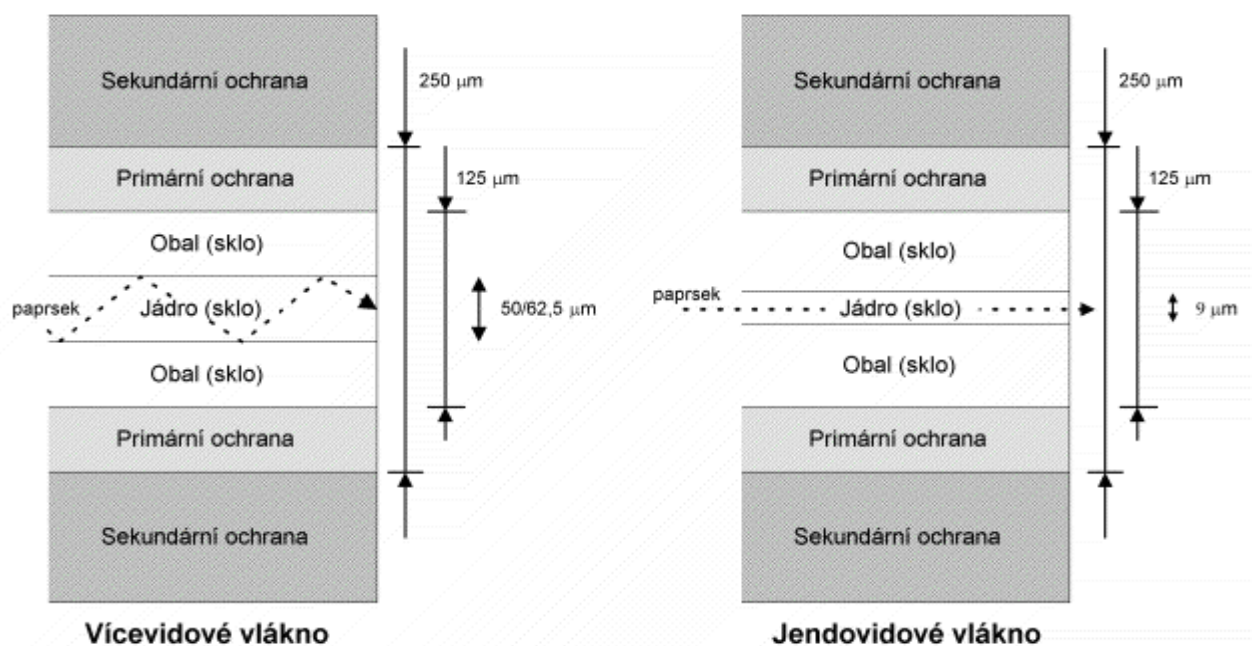
Historie optických vláken začíná v roce 1966, kdy se objevuje první zmínka o světlovodu. V roce 1970 se pak poprvé objevují přenosy signálu po optickém vlákne. Vzdálenost je ovšem značně omezena z důvodu vysokého útlumu vlákna – kolem 20 dB/km. Kolem roku 1980 se možná dosažitelná vzdálenost výrazně zvýšila díky snížení útlumu vlákna na hodnotu kolem 4 dB/km. To také přispělo k většímu nasazení těchto systémů do provozu [5].

V dnešní době je možno pomocí optických vláken přenášet signály až na vzdálenost přesahující 100 km díky útlumu pod 0,2 dB/km [5].

1.1 Princip přenosu

Nosičem informace při optickém přenosu je záření. Přenášená informace může být realizována změnou jeho amplitudy, kmitočtu, fáze, polarizace nebo délky trvání. Mohou se zobrazovat každá samostatně nebo ve vhodné kombinaci. Výhodou optického záření, oproti záření elektrickému je, že u optické vazby na sebe neutrální fotony vzájemně nepůsobí. Při přenosu tak nevznikají elektrická ani magnetická pole, která v elektronických obvodech způsobují různé parazitní vazby. Další nespornou výhodou je úplné galvanické oddělení vstupu a výstupu [16].

Optický spoj je tvořen zdrojem záření, optickým prostředím a přijímačem záření. Mediem pro optický přenos informací je optické vlákno. Jeho základní částí je jádro o velikosti řádově jednotky až desítky mikrometrů. Vyrábí se nejčastěji z různých druhů skla, případně z plastů. Protože jsou tyto materiály křehké a citlivé na mechanické namáhání, používá se vhodných výplní k ochraně jádra [16].



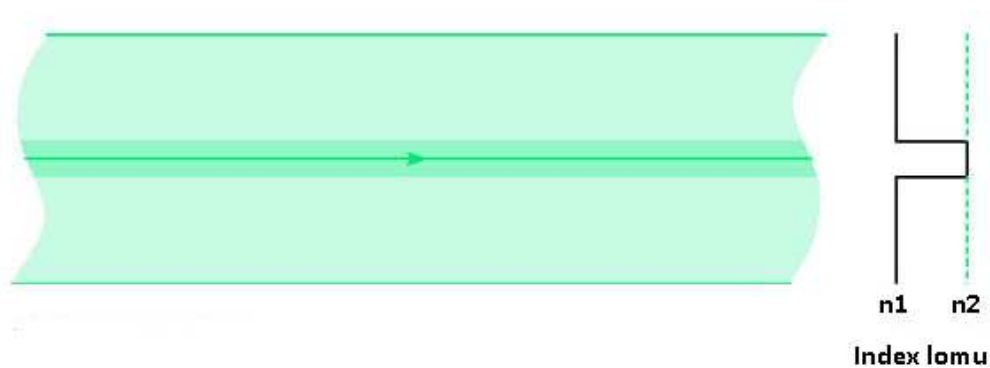
Obr. 1.1: Skladba optického vlákna [16].

Pro přenos informace po optickém vlákně se používají vlnové délky 0,5 až 1,6 μm. Nejlepší vlastnosti přitom vykazují vlnové délky kolem 1,3 až 1,6 μm. Tato oblast záření vykazuje minimum absorpčních hodnot a minimální útlum materiálů používaných pro výrobu optických vláken [5].

Konstrukce optických vláken ovlivňuje přenosové vlastnosti. Rozeznáváme základní 3 typy konstrukcí [5]:

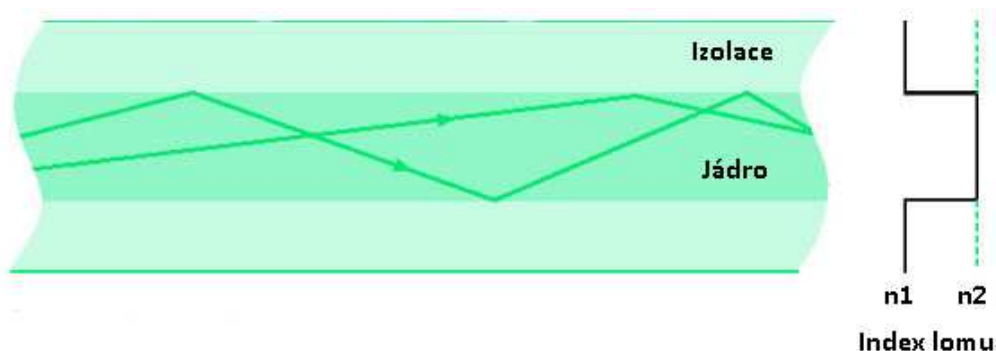
- jednovidové vlákno s konstantním indexem lomu jádra,
- mnohovidové vlákno s konstantním indexem lomu jádra,
- vlákno s proměnným indexem lomu jádra, které bývá označováno jako gradientní vlákno.

Jednovidové vlákno – přenáší pouze jediný vid a lze pomocí něj dosahovat nejvyšších přenosových rychlostí (až Gbit/s). Schopnost vést pouze jediný vid bez odrazů je dán rozměry vlákna, kdy jádro je velmi malého průměru, případně velmi malým poměrným rozdílem indexů lomu jádra a jeho pláště. Pro buzení se užívají laserové diody [16].



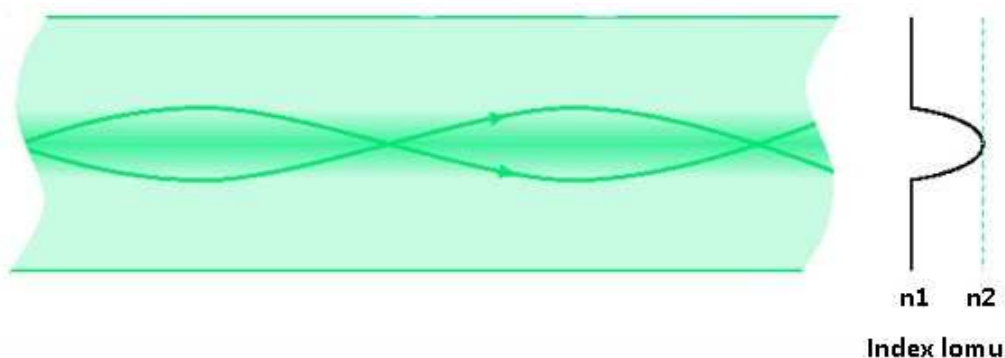
Obr. 1.2: Jednovidové vlákno [28].

Mnohovidové vlákno – pokud je jádro dostatečného průměru a je schopno přenášet více vidů pomocí odrazů, které se mění skokem, mluvíme o mnohovidovém vlákně. Způsob vedení paprsku ve vlákně je vždy určen indexem lomu mezi jádrem vlákna a pláštěm. Pro buzení se užívají luminiscenční diody [16].



Obr. 1.3: Mnohovidové vlákno [28]

Gradientní vlákno – způsob vedení vidů uvnitř jádra není realizován skokově, jako v předchozím případě, ale plynule. [16]



Obr. 1.4: Gradientní vlákno [16]

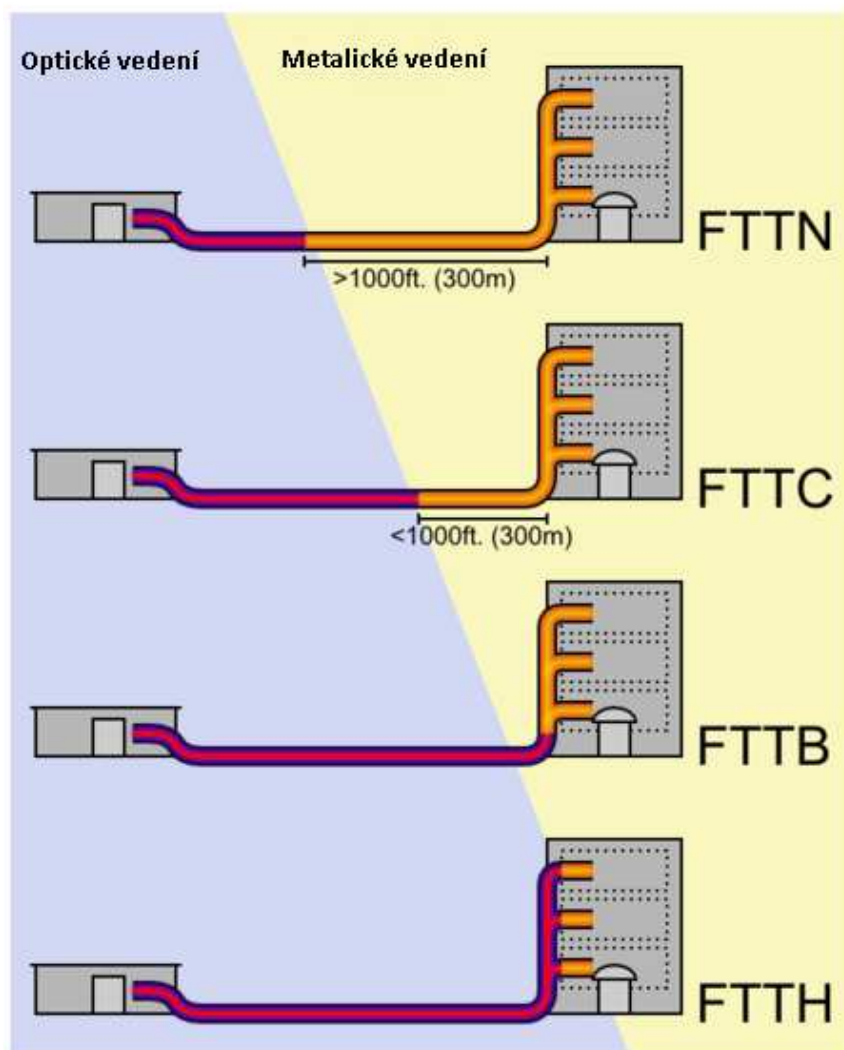
Vstupní informace je do vysílače přivedena jako elektrická a výstupem je optická informace. Vysílač tedy obsahuje jak optoelektronické obvody, tak i elektrické obvody. Jako zdroj světla v optických vysílačích se používá laser nebo luminiscenční dioda. Luminiscenční dioda je zdrojem nekoherentního záření. Používá se do kmitočtů 100 Hz - tedy pro spoje s kratším dosahem a s nižšími nároky na šířku pásma. Laserové zdroje jsou naopak zdrojem koherentního záření. Vyznačují se podstatně větším vyzařovacím výkonem, který je možné modulovat frekvencí nad 1 GHz. Laserové zdroje se využívají pro spoje na větší vzdálenosti a pro přenášení větší šířky pásma [5].

Přijímací část slouží k vyhodnocení optické informace a její přeměnu na signál elektrický. K tomu se používají fotodetektory. Nejvýhodnějšími při tom jsou polovodičové fotodiody PIN nebo lavinové fotodiody [5].

2 FTTX – FIBER TO THE X

Jedná se o obecný pojem pro širokopásmové připojení sítě pomocí optických vláken. Podle posledního písmena zkratky FTTX rozlišujeme různé konfigurace [4]:

- FTTH (Fiber to the home) – jedná se o řešení optiky do domu s ukončením na vnější zdi domu,
- FTTB (Fiber to the building) – optika je přivedena na hranici budovy – např. do suterénu, finální připojení je řešeno jinou technologií,
- FTTP (Fiber to the premises) – tento termín se používá v několika kontextech: jako společný termín pro FTTB a FTTH, nebo tam kde optická síť zahrnuje jak domy, tak malé podniky,
- FTTC, FTTCab (Fiber to the cabinet, Fiber to the curb) – vlákno je ukončeno v šachtě na ulici – obvykle do 300m od objektu zákazníka, finální připojení je řešeno kroucenou dvojlinkou,
- FTTN (Fiber to the node) – obdobné řešení jako FTTC, jen šachta může být umístěna až kilometr daleko.



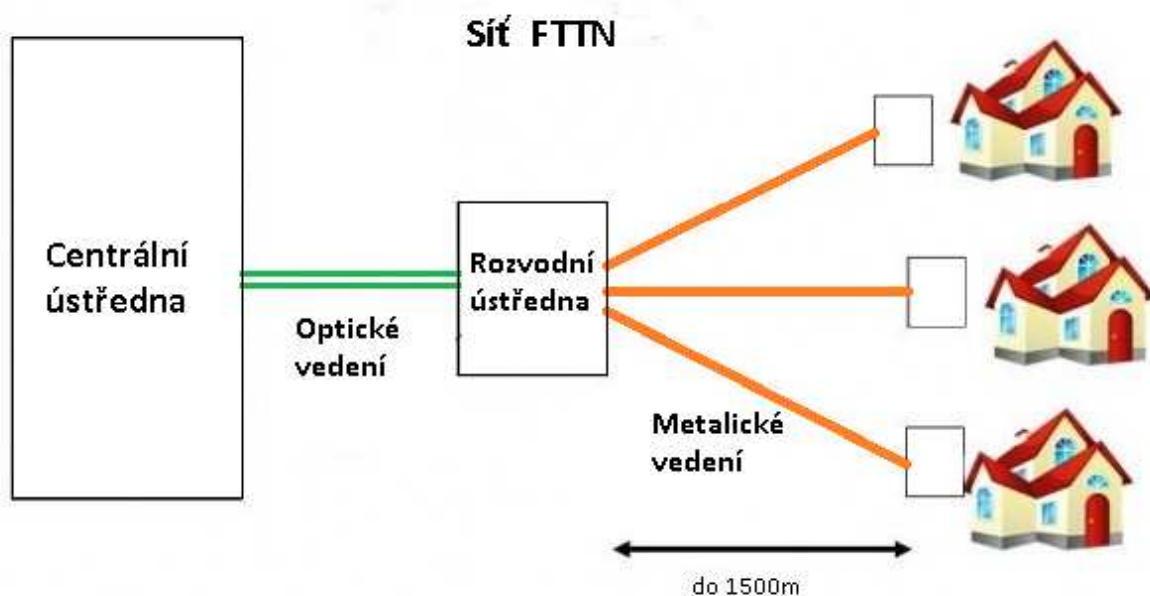
Obr. 2.1: Schéma architektury FTTx [4].

2.1 FTTN

FTTN, stejně jako FTTC, je architekturou založenou na optických kabelech ukončených v rozvodní ústředně, sloužící pro připojení blízkého okolí. Zákazníci se připojují do ústředny pomocí koaxiálního kabelu nebo kroucené dvojlinky. Oblast pokrytá z této ústředny bývá o poloměru do 1500 m (avšak více než 300 m – zde by se jednalo o FTTC) a umožňuje připojit stovky zákazníků. Díky FTTN je zákazníkům možno nabídnout širokopásmové služby, jako vysokorychlostní internet. Přenosová rychlost je závislá na použitém protokolu a na vzdálenosti zákazníka od ústředny [4].

Na rozdíl od FTTB, umožňuje FTTN využít stávající metalické rozvody (jak koaxiální,

tak kroucené dvojlinky) a šetřit tak náklady na instalaci i náklady spojené s umístěním ukončení vláken (spotřeba elektrické energie, nájem). Nevýhodou FTTN oproti FTTB je však šířka přenosného pásma [4].

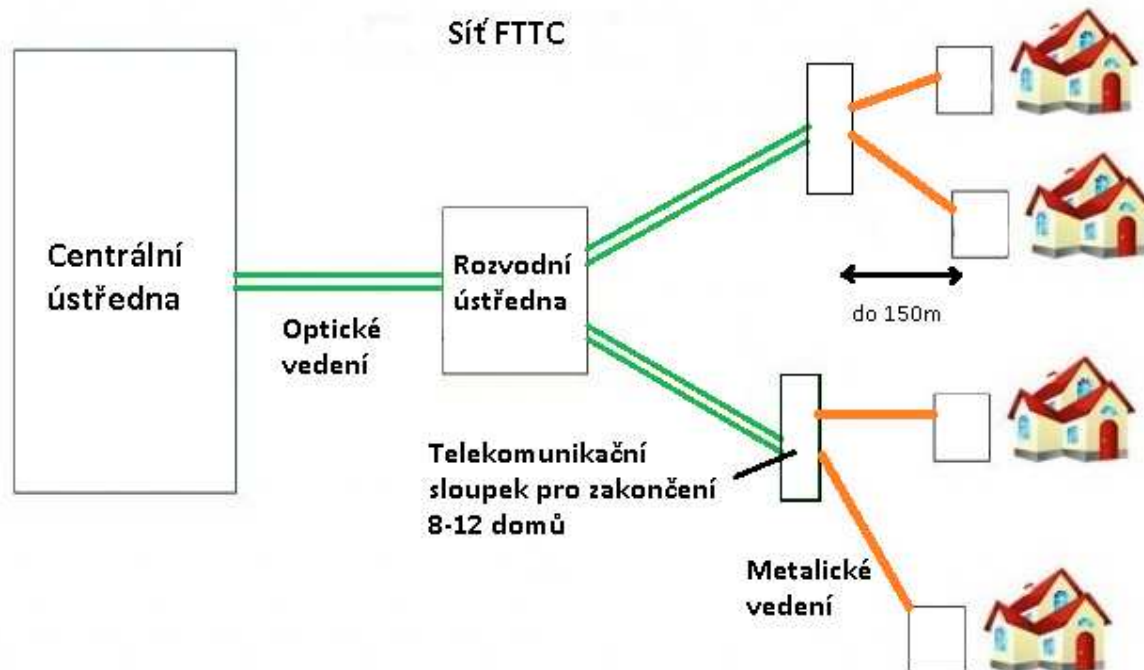


Obr. 2.2: Zapojení FTTN sítě. [2]

2.2 FTTC

FTTC je telekomunikační systém založený na optických kabelech ukončených v telekomunikačních sloupcích a slouží pouze pro připojení několika zákazníků. Do sloupku se zákazníci napojují pomocí koaxiálního kabelu nebo kroucené dvojlinky. Stejně jako FTTN, nabízí FTTC zákazníkům možnost širokopásmových služeb, jako vysokorychlostní internet. Přenosová rychlost je závislá na použitém protokolu a na vzdálenosti zákazníka od ústředny [4].

FTTC se mírně odlišuje od FTTN i FTTP a to hlavně v umístění ústředny. Hlavní rozdíl FTTC oproti FTTN a FTTP je ten, že FTTN je umístěn daleko od zákazníka a FTTP se nachází přímo v místě určení [4].



Obr. 2.3: Zapojení FTTC sítě [2]

2.3 FTTP

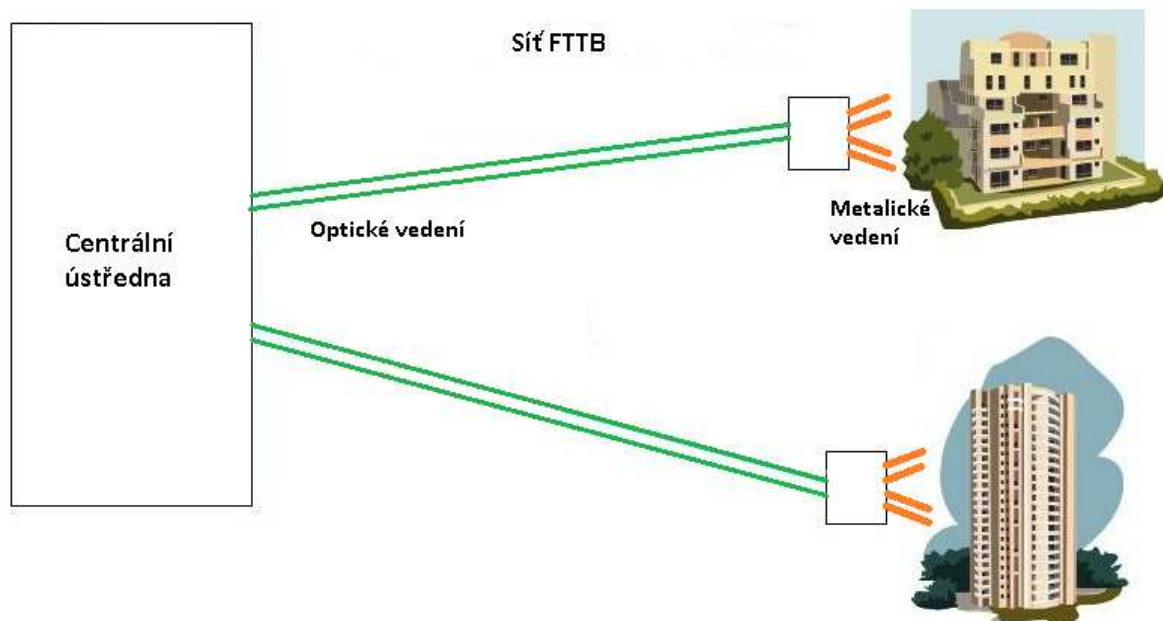
FTTP označuje systémy založené na principu, kdy optické vlákno je přivedeno až k zákazníkovi. To je také největší rozdíl oproti systémům FTTN a FTTC, které pro finální připojení budovy, či domu, využívali metalické vedení [4].

2.3.1 FTTB

Optický signál je přiveden až k obytné části účastníka. Optické vlákno je ukončeno před dosažením obytného prostoru domu či kancelářských prostor. Do uživatelského prostoru je pak signál přiveden např. klasickým metalickým vedením či po elektrickém vedení [4].

2.3.2 FTTH

Optický signál je přiveden až k obytnému prostoru domu či kancelářských prostor [4].

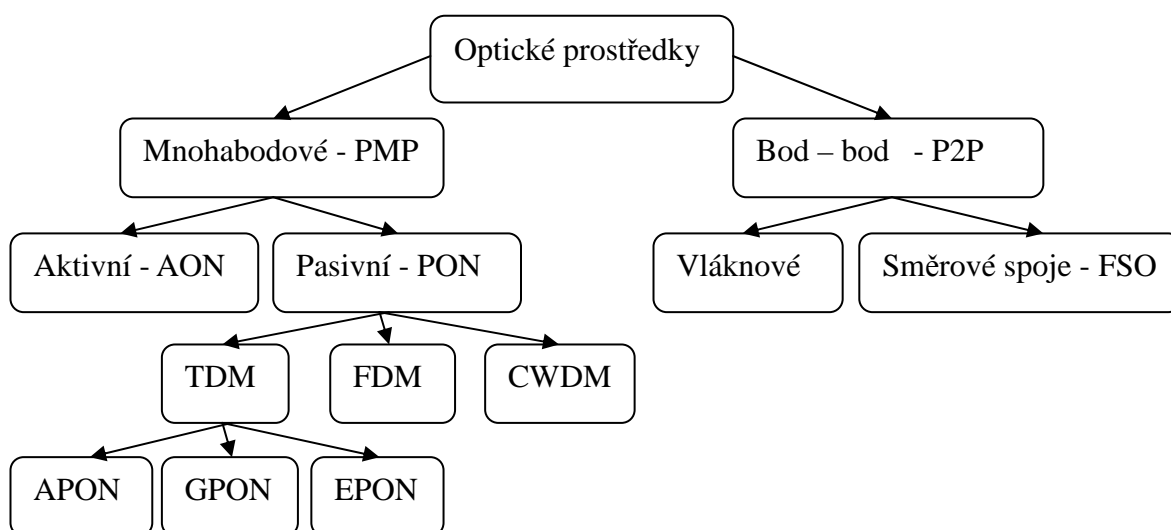


Obr. 2.4: Zapojení FTTB sítě. [2]

3 ARCHITEKTURY FTTX

Důležitým aspektem, určujícím charakter přístupové sítě, je převažující typ přenosových traktů využívaných v distribuční části sítě. Dělení optických sítí dle přístupových prostředků [30]:

- **Bod – bod (PTP, P2P)** - ke každému koncovému uživateli je dovedeno právě jedno vlákno z centra. Výhodou je vynikající šířka pásma, avšak cena bývá vyšší kvůli množství optických vláken a potřebné technice. Individuální spoje realizované na dvojici vláken pomocí synchronní digitální hierarchie (SDH) synchronním transportním modulem STM-1 (155 Mbit/s) či STM-4 (622 Mbit/s), nebo pomocí Ethernetu s rychlostí 100 Mbit/s či 1 Gbit/s [4].
- **Bod - mnoho bodů (PMP, P2MP)** – celou řadou účastníků sdílená přístupová infrastruktura s různou topologií a technickou realizací. Existují dvě architektury pro realizaci: Aktivní optická síť (AON) a pasivní optická síť (PON). Mnohobodové uspořádání je typické právě pro přístupovou síť PON a přináší efektivnější provoz [4].



Obr. 3.1: Rozdělení optických přístupových prostředků [30].

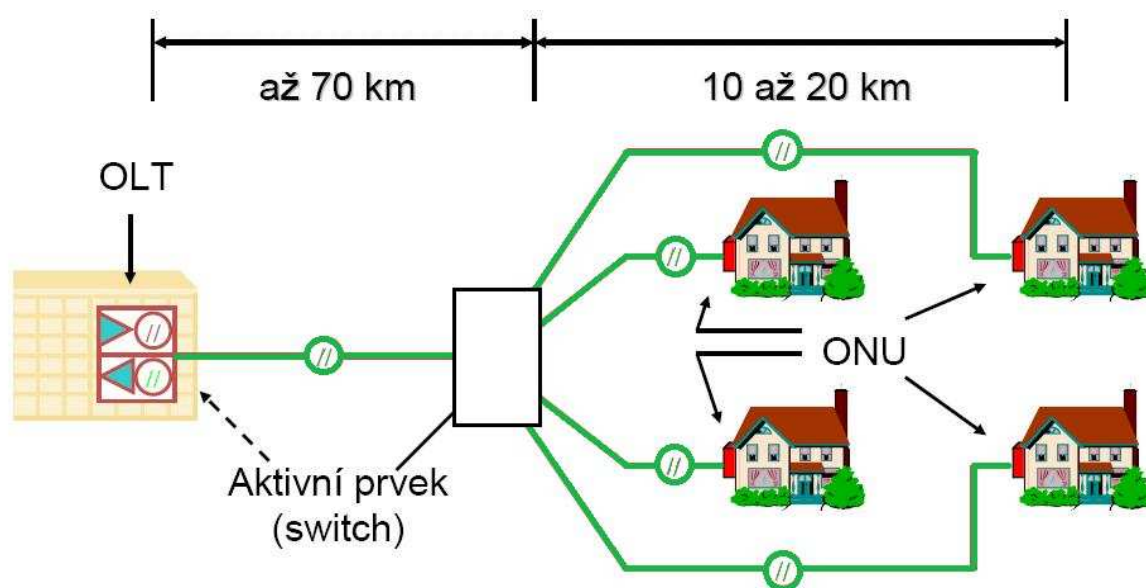
Podle provedení optických rozbočovačů a jednotek OLT a ONU mohou být mnohabodové optické přístupové sítě OAN principiálně uspořádány dvěma základními způsoby [30]:

- aktivní přístupová síť AON (Active Optical Network), která s využitím aktivních síťových prvků propojuje ukončující jednotky ONU přes terminál OLT na centra telekomunikačních služeb.
- pasivní přístupová síť PON (Passive Optical Network).

3.1 AON

Pro pochopení architektury PON je nutné nejdříve porozumět AON, která se používá v 99 % dnešních sítí. AON sítě potřebují elektrickou energii pro zařízení, která distribuují signál (přepínače, směrovače,...). Největší překážkou pro realizaci nekonečně velké propustnosti vlákna jsou elektricko-optické a opticko-elektrické převodníky [8].

Od roku 2007 jsou nejběžnějším typem aktivních optických sítí typu Ethernet v první míli (EFM) - tzv. aktivní Ethernet. Aktivní Ethernet využívá pro distribuci signálu optické přepínače. Takové sítě jsou totožné s ethernetovými počítačovými sítěmi používanými v podnicích a akademických institucích. Rozdíl je v tom, že jejich cílem není propojení tiskáren a počítačů v areálu, ale spíše připojení domácností a centrálních budov. Každá převodní skříň dokáže zpracovat až 1000 zákazníků, i když většinou se ta hodnota pohybuje kolem 400 – 500 [4].



Obr. 3.2: Schéma architektury AON [3].

AON zařízení

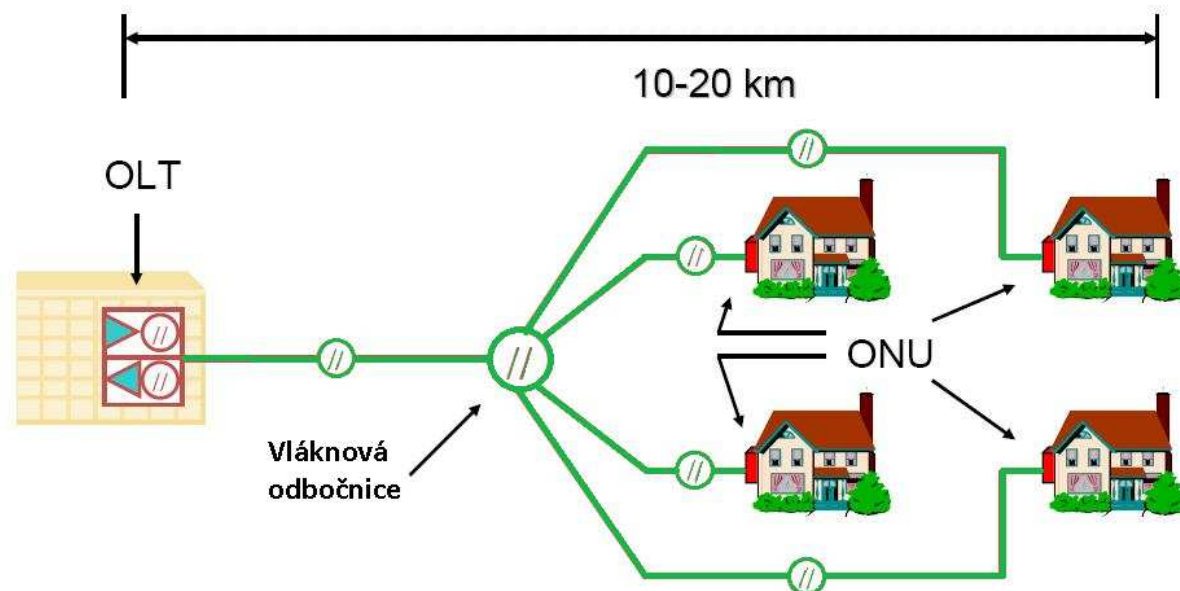
Hlavní nevýhodou AON sítí a důvodem velkého rozvoje PON sítí je, že zařízení v aktivních sítích potřebují elektrickou energii [8].

AON obsahuje aktivní síťové prvky v podobě digitálního přenosového zařízení a bývá nejčastěji realizována technologií SDH (Synchronní digitální hierarchie = technologie pro rozlehlé vysokorychlostní přenosové sítě s optickými vlákny). Je pak tvořena kruhem STM-1 (SDH 155 Mbit/s, optika SM) či STM-4 (SDH 622 Mbit/s, optika SM) se synchronními vydělovacími multiplexy ADM (add-dropp muldex). Na multiplexy ADM se napojují uživatelé různým způsobem (sekundární úroveň - PON, ISDN, HDSL, B-ISDN, ADSL apod.). AON se označují i jako integrované přístupové systémy, protože tvoří společnou platformu pro ostatní přístupové systémy [24].

3.2 PON

S PON může být jedna přístupová linka rozdělena mezi více budov a to i s minimálními náklady – hlavně díky použití nízkonákladových komponentů, které nadále nevyžadují velkou péči a údržbu. Distribuci signálu zajišťují rozbočovače (splittery), které pracují i v opačném směru – slučují signály od účastníků. Rozbočovače nezesilují ani nijak neupravují přenášený

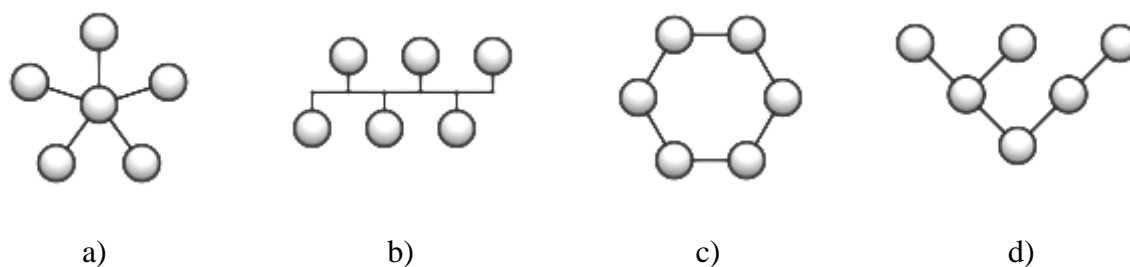
signál – pouze jej rozdělují do požadovaného počtu dílčích směrů. Ukončující jednotka (ONU) tak obdrží kompletní multiplexovaný signál od linkového zakončení (OLT) a vybere z něj pouze jí příslušející kanál [8].



Obr. 3.3: Schéma architektury PON [3].

Základní topologie ODN (optických distribučních sítí) [29]:

- **Hvězda** – každý uzel je připojen k centrálnímu prvku. Mezi každými dvěma uzly existuje vždy jen jedna cesta. Při zkolabování centrálního prvku, zkolabuje celá síť.
- **Sběrnice** – nemůže být realizovaná pasivními technologiemi. Vychází z hvězdicové topologie spojením aktivních síťových prvků, které jsou v centrech jednotlivých hvězd.
- **Kruh** – zapojení, kde je jeden uzel připojen k dalším dvěma uzlům tak, že vytvoří kruh. Pokud zkolabuje jeden uzel, zkolabuje celá síť, protože k funkčnosti potřebuje, aby byl celý okruh v pořádku.
- **Strom** – spojení zprostředkovává jediné přenosové médium, ke kterému jsou připojeny všechny uzly. Využívá systém CSMA pro předcházení kolizí.



Obr. 3.4: Topologie sítí – a) hvězda, b) sběrnice, c) kruh, d) strom [29].

Každá z uvedených topologií má řadu výhod a nevýhod a lze je navzájem kombinovat. Pro návrh topologie sítě ODN je hlavním faktorem maximálně přípustná délka optické cesty mezi nejvzdálenější ONU a OLT. Metodologie návrhu sítě ODN vychází z překlenutelného útlumu optických rozhraní jednotek OLT a ONU a zohledňuje typy a počty splitterů, spojek, konektorů a vlastnosti použitého optického vlákna. Důsledkem různých vzdáleností mezi OLT a jednotkou ONU jsou různé i útlumy příslušných vláken [24].

Typy pasivních sítí:

3.2.1 APON

Doporučení *ITU-T G.983* standardizovalo přenos na základě ATM buněk, z toho důvodu označení APON. Přenosové rychlosti [30]:

- buď symetricky 155,52 Mbit/s,
- nebo nesymetricky s vyšší rychlostí 622,08 Mbit/s směrem k účastníkům.

3.2.2 BPON

BPON (Broadband PON) varianta se symetrickými rychlostmi 622,04 Mbit/s. Využívá se buď oddělených vláken pro každý směr přenosu, nebo jedno vlákno s vlnovým dělením. Pro variantu s vlnovým dělením bylo zavedeno následující přiřazení pásem [30]:

- vlnová délka 1260 až 1360 nm – vzestupný směr (upstream),
- vlnová délka 1480 až 1500 nm – sestupný směr (downstream).

3.2.3 GPON

GPON (Gigabit PON) se řídí doporučením *ITU-T* řady *G.983.x* a *G.984.x*. Nabízí podobné přenosové vlastnosti jako EPON, jsou však navzájem mezi sebou nekompatibilní. Přenosová rychlost na fyzické vrstvě ve směru vzestupném a sestupném - 1,244 Gbit/s nebo 2,488 Gbit/s. Obousměrný provoz je řešen buď pomocí dvou vláken – pro každý směr jedno, nebo po jednom vlákně - varianta WDD (Wavelength Division Duplex). Při vlnovém dělení směrů přenosu se užívají vlnové délky [14]:

- vlnová délka 1260 až 1360 nm – vzestupný směr (upstream),
- vlnová délka 1480 až 1500 nm – sestupný směr (downstream).

3.2.4 EPON

Standard *IEEE 802.3ah* vyvíjí koncepcce Ethernetu zvanou EFM (Ethernet in the First Mile). Nejperspektivnější variantou je patrně EFMP využívající pasivní optické sítě tzv. EPON (Ethernet PON) někdy i jako GEPON (Gigabit Ethernet PON). Sdílená přenosová rychlost 1 Gbit/s se označuje jako 1000BASE-PX. Jmenovitá přenosová rychlost na přenosovém médiu (s režii) je 1,25 Gbit/s. Využívá se vlnové dělení směrů přenosu [30]:

- vlnová délka 1310 nm – vzestupný směr (upstream),
- vlnová délka 1490 nm – sestupný směr (downstream).

Standart udává 2 typy rozhraní s různou dynamikou a různými optickými výkony

- 1000BASE-PX10-D/U (Downstream – OLT, Upstream – ONU) - 1 jednovláknové vlákno do 10 km s rozbočením maximálně k 16 ONT,
- 1000BASE-PX20-D/U (Downstream – OLT, Upstream – ONU) - 1 jednovláknové vlákno do 20 km s rozbočením i větším než k 16 ONT.

3.2.5 10GEPON

Nový standard *IEEE 802.3av* pro 10 Gbit/s pasivní optickou přístupovou sítí se zpětnou kompatibilitou na EPON. Režimy přenosu dat [13]:

- symetrický – rychlost v obou směrech 10 Gbit/s,
- asymetrický - rychlost přenosu 10 Gbit/s v sestupném směru a 1 Gbit/s ve vzestupném směru.

Navíc je 10GEAPON kompatibilní s novými WDM-PON technologiemi

3.2.6 WDM – PON

Výše uvedené typy optických sítí využívají pro sdílený přístup většího počtu připojených uživatelů časového dělení TDMA (Time Division Multiple Access). Z pohledu přenosových parametrů se TDMA postupně blíží k pomyslné výkonnostní hranici, proto další generace přístupových sítí budou využívat přenos pomocí vlnového multiplexování WDM (Wavelength Division Multiplex). Pro dosažení maximálních přenosových rychlostí se bude kombinovat vlnové dělení s časovým a ve výsledku vzniknou hybridní přístupové sítě WDM-TDMA PON. Díky standardizaci ITU-T (*ITU-T G.694.2*) došlo k jednotnému určení vlnových délek pro realizaci vlnového dělení a také k rozdělení na variantu hrubého CWDM (*Coarse WDM*) a hustého DWDM (*Dense WDM*) vlnového dělení podle vzájemného odstupu vlnových délek [15].

Tab. 4.1: Porovnání základních variant PON. [13]

varianta PON	APON/BPON	GPON	EPON (typ 2)	10GEAPON
standard	ITU-T G.983	ITU-T G.984	IEEE 802.3ah	IEEE 802.3av
přenos. rychlost – sestupný směr	155,52 nebo 622,08 Mbit/s	1,244 nebo 2,488 Gbit/s	1,25 Gbit/s	10 Gbit/s
přenos. rychlost – vzestupný směr	155,52 nebo 622,08 Mbit/s	1,244 nebo 2,488 Gbit/s	1,25 Gbit/s	1 Gbit/s nebo 10 Gbit/s
vlnová délka – sestupný směr	1480-1500 nm	1480-1500 nm	1490	1490
vlnová délka – vzestupný směr	1260-1360 nm	1260-1360 nm	1310	1310
protokol na druhé vrstvě	ATM	ATM, GEM	Ethernet	Ethernet
max. počet uživatelů	32	128	32	32
logický/fyzický dosah sítě	20/20 km	60/20 km	20/20 km	20/20 km

4 SÍŤOVÉ PRVKY

4.1 Prvky fyzické vrstvy

4.1.1 Hub – rozbočovač

Jedná se o základní prvek hvězdicové topologie – spojuje jednotlivé uzly sítě. Je to tedy centrální bod, který poskytuje několika uzlům sdílený kanál. Nepodporuje full duplex a průběžně přijímaný signál z jednoho portu vysílá do ostatních portů. Stanice se k rozbočovači připojují zpravidla pomocí metalických kabelů – dvoubodových spojů. Rozbočovač z hvězdicové topologie prakticky vytváří jediný vícebodový spoj. Dnes jsou vesměs nahrazeny za switche [7].

4.1.2 Zesilovač

Nemění protokol ani druh přenosového media, pouze zesilují signály. Pokud by se měnil druh přenosového media, jednalo by se o převodník (transceiver). Nejjednodušší variantou u sítí Ethernet jsou 2-portové transceivery, které se užívají pro zesílení signálu nebo pro přechod z jednoho typu media na druhý [7].

4.1.3 Opakovač

Používá se pro připojení na delší vzdálenosti. Protože opakovače pakety jen předávají, jedná se o poměrně rychlé zařízení, kde zpoždění je rovno zlomkům bitového intervalu. Spolu s huby se používají pro přenos komunikace mezi serverem a stanicemi. Pokud probíhá komunikace i mezi stanicemi je vhodné použít spíše mosty, switche a routery. Opakovače můžou propojovat sítě o různých přenosových mediích, ale protokol a přenosová rychlost musí být stejná [7].

4.2 Prvky linkové vrstvy

Jedná se o prvky, které dokážou provádět několik přenosů v jedné síti současně. Zařízení linkové vrstvy způsobují větší zpoždění než opakovače neboť bufferují pakety, aby mohly

brát z jejich hlaviček potřebné informace. U směrovačů dochází navíc k přepisu adresy, neboť mají vlastní adresu v síti [7].

Existují dvě kategorie přepínání:

- Paketové – používají se datové buňky pevné délky (rámeček, pakety ethernetu, ATM buňky),
- kruhové – fyzické přepínání media na dobu přenosu celé zprávy.

4.2.1 Most – bridge

Používá se pro propojení kabelových segmentů jedné sítě a k zamezení jejich přetěžování. Může propojovat i segmenty s různou fyzickou vrstvou. Mosty přenášejí informace v LAN sítích podle MAC (Media Access Control) adresy bez změny původního rámce. V tabulce prochází adresu rámce a podle ní nalezne patřičný port pro odeslání dat. Pokud v tabulce danou adresu nenalezne, nebo se jedná o broadcast adresu (FFFFFFFFFFFF), pošle data na všechny své porty. Mosty propouští jen pakety určené pro jiné sítě do sousedních sítí a tím provádějí filtraci paketů. Stejně jako switche, nejsou mosty adresovatelné a datový rámec proto putuje přímo k adresátovi [7].

Nevyhledávají optimální cestu, proto jsou spíše vhodné pro malé sítě. U velkých sítí je vhodnější použít routery.

4.2.2 Přepínáč - switch

Jedná se o základní prvek linkové vrstvy standardu 802.3. Switch přijatý rámec nerozesílá všem, na rozdíl od hubu, ale pouze adresátovi. Slouží k rovnoměrnému rozdělení toku jednotlivých částí sítě. Z adres odesílatelů uvedených v rámci, switch automaticky plní tabulku identifikující pro jednotlivé adresy cílové rozhraní. Pokud switch obdrží neznámou cílovou adresu, zachová se jako hub, a rozešle rámec do všech svých portů. Určená stanice odpoví, a tak se switch dozví, kde se nachází [27].

Obsahuje-li síť smyčku v síti, může to znamenat pro switch problém. Pakety od jednoho odesílatele můžou chaoticky přicházet z různých rozhraní a jeden paket může do switche dorazit i vícekrát. To může způsobit problém ve směrovací tabulce switche. Tento problém řeší Spanning Tree protokol, kterým se minimální kostra sítě a dohodne se na nepoužívání

některých tras, aby nevznikaly smyčky [27].

Řada dnes nabízených switchů nabízí řadu pokročilých funkcí jako například – management (nastavení pomocí telnetu nebo webového rozhraní) nebo SNMP (vzdálená správa zařízení) [27].

4.3 Prvky síťové vrstvy

4.3.1 Směrovač – router

Směrovače umožňují propojení a oddělení jednotlivých sítí, zajištění bezpečnosti, řízení a přístupu na WAN. Umožňují také oddělit jednotlivé sítě po stránce přístupových práv a lze na nich nastavit filtry provozu (Firewally). Routery mění hlavičky linkové a fyzické vrstvy. Musí mít dostatečně velkou vyrovnávací paměť, zejména při přechodu z rychlejší do pomalejší sítě [7].

Dle síťových adres směrují provoz a propouští jen adresy, jež mají adresu druhé části sítě. Směrovací tabulka obsahuje adresy sítí a je založena na logickém uspořádání sítě. Routery s dynamickým směrováním stanoví nejlepší cestu paketů, pro nižší vrstvy protokolu, s ohledem na obsazenost a využití jednotlivých tras. Aktualizace směrovací tabulky probíhá pomocí analýzy paketů – určuje se počet routerů přes které paket prošel. Směrovače se statickým směrováním neumí stanovit alternativní cestu, ale zase mají nulovou režii. Směrování je řešeno protokolem – např. OSPF, RIP, atd. Jsou náročnější na provoz i údržbu a využívají se spíše ve velkých sítích [7].

Routery mají vlastní adresu v síti, na kterou jsou směrovány pakety. Podle místa určení rozeznáváme [7]:

- High end routers – komplexní zařízení podporující řady protokolů (TCP/IP, IPX) a pro řízení využívají protokoly RIP, OSPF, IS-IS. Vyžadují odbornou instalaci a jsou značně nákladné.
- Low end routers (Access routers) – chybí jim některé funkce oproti předchozím, mají méně konektorů LAN/WAN a jsou levnější.

4.4 Prvky vyšších vrstev

4.4.1 Brána – gateway

Brána označuje uzel, jenž spojuje dvě sítě s různými protokoly. Podle vrstvy, na které pracuje, rozlišujeme brány na aplikační úrovni a brány na transportní nebo síťové vrstvě [6].

- **Brána pracující na aplikační vrstvě** slouží například k propojení GSM sítě a internetu nebo sítě pro zasílání zpráv (ICQ, Jabber). Brána přijme celou zprávu, která může být složena z mnoha datagramů, převede ji do formátu cílové sítě a odešle. Brána je tak realizována nějakým programem, jenž je připojen do obou sítí [6].
- **Brána pracující na transportní nebo síťové vrstvě** nedekóduje celou zprávu, ale pouze transformuje datagramy jedné sítě do datagramů druhé sítě. Jedná se například o SOCKS, kde dochází k přenosu protokolu TCP/IP přes síť, která daný protokol nepodporuje. TCP/IP aplikace pak použije speciální subsystém, který doručí datagram k bráně pomocí jiného protokolu (např. IPX/SPX), v bráně se provede zpětný převod do protokolu TCP/IP a odeslání do cílového místa [6].

5 PROGRESIVNÍ TECHNOLOGIE PRO VÝSTAVBU OPTICKÝCH PŘÍSTUPOVÝCH SÍTÍ

5.1 *Mikrokabelážní systémy*

V dnešní době se při výstavbě v městech stále častěji setkáváme s problémem, kdy je téměř nemožné realizovat výkopy, případně je problém s velkým množstvím sítí. Technologie mikrokabelážních systémů MCS nabízí novou metodu pokládky kabelů. Nevyžaduje žádné zemní práce a tím umožňuje rychlou a cenově výhodnou instalaci kabelů do chodníků, vozovek, případně potrubí odpadních vod [23].

5.1.1 *MCS – Road*

Technologie umístování konvenčních kabelů do vozovky nebo chodníku. Hloubka uložení bývá přibližně 60 – 120 mm. Speciální kabely jsou umístěny v měděné trubičce pokryté polyetylenovým pláštěm. Kabel může obsahovat od 12 do 144 vláken a celková šířka kabelu je kolem 7 mm. Pro větší ochranu je kabel ještě chráněn speciální pryží a až po té je použit těsnící materiál [23].

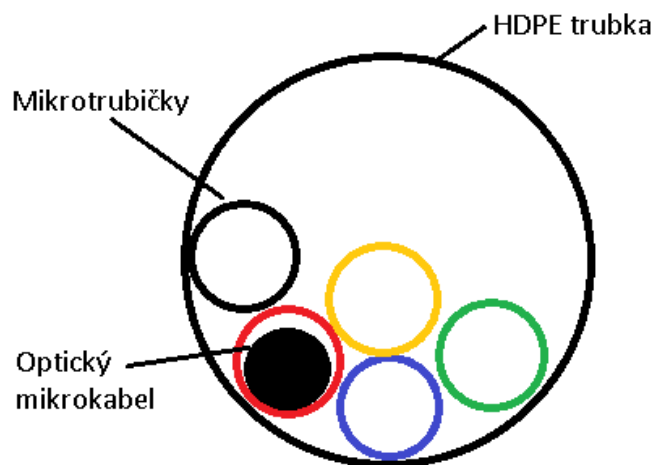
5.1.2 *MCS – Drain*

Kabel pro použití do potrubí odpadních vod obsahuje voděodolnou hliníkovou silnostěnnou trubičku, ve které je 12 – 144 optických vláken. Pro ochranu před hlodavci a ochranu před tahovými silami, je svazek optických vláken opacněrován ocelovými dráty. Celkový průměr kabelu pro MCS - Drain je cca 11 mm. Délkové rezervy se obvykle ukládají ve smyčkách v přístupových šachtách [23].

5.1.3 *Mikrotrubičkování*

Mikrotrubičkování umožňuje efektivnější využití ochranné HDPE trubky. Běžně se optický kabel zafukuje přímo do HDPE chráničky. Při použití metody mikrotrubičkování se do HDPE chráničky zafoukne svazek mikrotrubiček, do kterých se teprve zafouknou

jednotlivé kabely. Tímto způsobem je možné několikanásobně zvýšit přenosovou kapacitu [25].



Obr. 5.1: Princip metody mikrotrubičkování

5.2 HDPE trubky, kabelové komory, multikanály

Při výstavbě telekomunikačních vedení je velmi důležité zajistit ochranu toho vedení před mechanickým poškozením.

5.2.1 HDPE trubka

V současnosti nejrozšířenější způsob mechanické ochrany kabelů. Optický kabel je do trubky buď zatažen nebo zafouknut. Vnitřní povrch chráničky bývá lubrikován, což usnadňuje zafukování kabelu. HDPE trubky se spojují pomocí mechanických rozebíratelných spojek nebo se svářejí. Pro odbočení se využívají T, H nebo Y spojky [26].

5.2.2 Kabelové komory a multikanály

Při realizaci kabelových tras se často pokládá více ochranných trubek. Při pokládce ochranných trubek často dochází ke vzájemnému křížení a změně jejich prostorového uložení. Tyto problémy značně eliminuje použití kabelových komor a plastových multikanálů. Lze pomocí nich vytvářet přímé úseky, ohyby, změny výškové úrovně, postranní odbočky a další. Zvyšují přehlednost a uspořádanost systému [26].

5.3 Samonosné kabely

Samonosné kabely představují vhodnou variantu, jak vytvořit optickou přístupovou trasu ve městech. Poskytují jednoduchou a ekonomicky výhodnou instalaci. Díky samonosným úchytkám lze tyto kabely rychle a jednoduše instalovat bez nutnosti speciálního vybavení. Kabely mají pod pláštěm tahové prvky, které chrání optická vlákna před poškozením prověšením – tahem. Převěs je možné realizovat až na vzdálenost 150 m [20].

6 NÁVRH FFTX SÍTĚ

6.1 Popis situace

Uvažovaná výstavba se nachází v obci Slavičín ve Zlínském kraji.



Obr. 6.1: Poloha obce Slavičín

Během roku 2011 je zde naplánována obnova rozvodů teplofikačního vedení ve větší části sídliště Vlára. Investor by rád využil této situace k zasíťování části sídliště a tím vyřešil momentální problémovou situaci, kdy je většina panelových domů připojena pomocí technologie WiFi 802.11a. Stávající připojení neumožňuje současným uživatelům nabídnout ani žádné nové služby kvůli omezené propustnosti linky, případně velké latenci. Přejít na optické vedení by tedy vyřešil i problém nabídky nových služeb triple play (telefon, televize, internet) pro zdejší uživatele.

Panelové domy ve zbylé části sídliště, kde nedojde k obnově rozvodů, je již mezi sebou propojena optickými samonosnými kabely.

Celkově se tedy jedná o připojení 13 panelových domů, 1 budovy gymnázia, 1 budovy základní školy a 1 mateřské školy. Rozvody ve všech budovách jsou již realizovány pomocí metalického vedení UTP CAT5e.

6.2 Návrh sítě

Navržená optická síť bude realizována typem GEPON, připojení jednotlivých budov bude řešeno pomocí technologie WDM. Pro přenos tedy bude využito pouze jedno vlákno SM 9/125 mm.

Použité vlnové délky budou:

- 1310 nm – pro vzestupný směr,
- 1490 nm – pro sestupný směr,
- 1550 nm – pro RF signál.

6.2.1 Výběr topologie

Jak již bylo zmíněno, při realizaci bude využito obnovy teplofikačního vedení. Výhodou tedy je, že optická přístupová síť bude přivedena až do budovy. Vzhledem k tomu, že rozvody uvnitř budov jsou již realizované pomocí kroucené dvojlinky, zvolená architektura bude FTTB.

Z důvodu úspory počtu vláken kabelu z místa centrální stanice a tím i související úsporu počtu konektorů bude zvolena přístupová architektura P2MP.

6.2.2 Způsob uložení

Kabel bude uložen po celé délce v trubce HDPE. Dle požadavků dotčených institucí musí být barva HDPE trubky zvolena tak, aby nemohlo dojít k záměně. Zvolena proto bude barva tmavě červená.

Ve výkopu bude trubka uložena v pískovém loži se zakrytím, pod komunikacemi v chrániče. Pískové lože bude minimálně 100 mm a zakrytí taktéž 100 mm.

Minimální hloubky uložení trubek:

- v chodníku 0,5 m,
- ve volném terénu 0,7 m,
- ve vozovce 1,3 m.

Trubky budou ukládány v souladu s ČSN 73 6005 (Prostorové uspořádání sítí technického vybavení). Při křížení silnic a důležitých komunikací bude použito technologie podvrtnu.

Křížení silnice II/493 bude provedeno technologií řízeného podvrtu, dle požadavků Ředitelství silnic Zlínského kraje. Přechody komunikací budou provedeny v minimální hloubce krytí 1,3 m pod niveletou vozovky a trubky budou v celém tělese komunikace uloženy do PE nebo PVC chráničky. Dotčené povrchy chodníků, komunikací a zelených ploch budou po dokončení stavby uvedeny do původního stavu.

U napojovaných objektů bude vždy proveden prostup a trubky HDPE budou zataženy do objektu a ukončeny.

6.2.3 Centrální serverovna

Centrální serverovna se nachází v panelovém domu na ulici Okružní 493, městské části města Slavičín, sídliště Mír. Pro napájení signálem nově připojeného sídliště Vlára bude použit přístupový prvek Alloptic Edge200, jež je osazen dvěma fixními optickými porty a je optimalizován pro přenos Triple play služeb.



Obr. 6.2: Přístupový prvek Alloptic Edge200 [22].

6.2.4 Trasa spoje

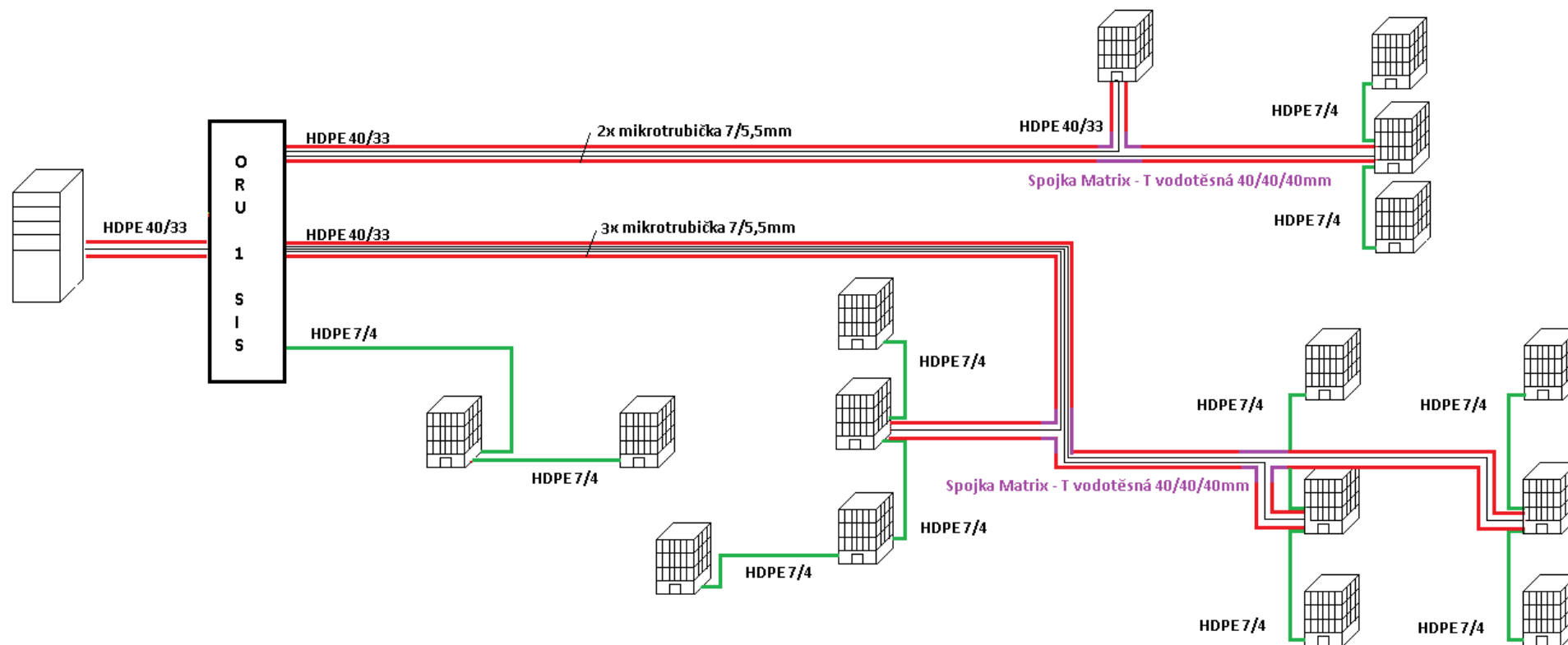
HDPE trubka 40/33 je aktuálně vyvedena z objektu na ulici Okružní 493, kde se nachází serverovna do objektu městské kotelny. Odtud bude, při obnově teplofikačního vedení, dále pokračovat až k podzemní vodotěsné kabelové komoře, jež bude umístěna na sídlišti Vlára. Celková vzdálenost sídliště od serverovny je necelý 1 km. Po celou dobu povede trubka ve výkopu, kde bude uložena v pískovém loži. Pro přechod přes silnici č. II/493 bude využito technologie řízeného podvrtu v minimální hloubce 1,3 m pod niveletou vozovky.

6.2.5 Sídliště



Obr. 6.3: Fotomapa sídliště Vlára

Připojení jednotlivých objektů bude provedeno pomocí HDPE trubek rozměru 40/33 a 7/4 mm. Jednotlivá odbočení z hlavních tras budou provedena pomocí T spojek.



Obr. 6.4: Schéma vyvedení HDPE chrániček a mikrotrubiček

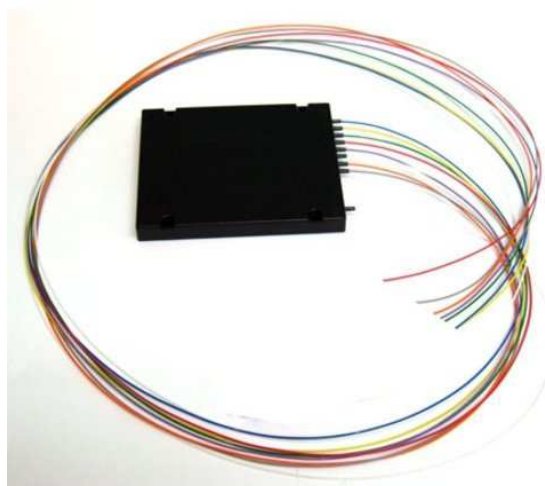
Trasa spoje bude přivedena k sídlišti, kde bude vlákno ukončeno ve venkovním rozvaděči. Použitý bude sloupkový optický rozvaděč ORU 1 SIS.



Obr. 6.5: Sloupkový optický rozvaděč ORU 1 SIS [17].

Jedná se o univerzální rozvaděč s výklopným ramenem, pro propojení nebo ukončení optických kabelů vedených v HDPE trubkách nebo mikrotrubičkách. Maximální kapacita rozvaděče je 144 svárů a nejvyšší možná kapacita účastníků je 48 (v případě použití 2 vláken na účastníka) [17].

V optickém rozvaděči budou umístěny spojovací kazety pro ochranu a uložení optických vláken. Tvar kazety je navíc uzpůsoben, aby do ní bylo možno umístit i optický rozbočovač.



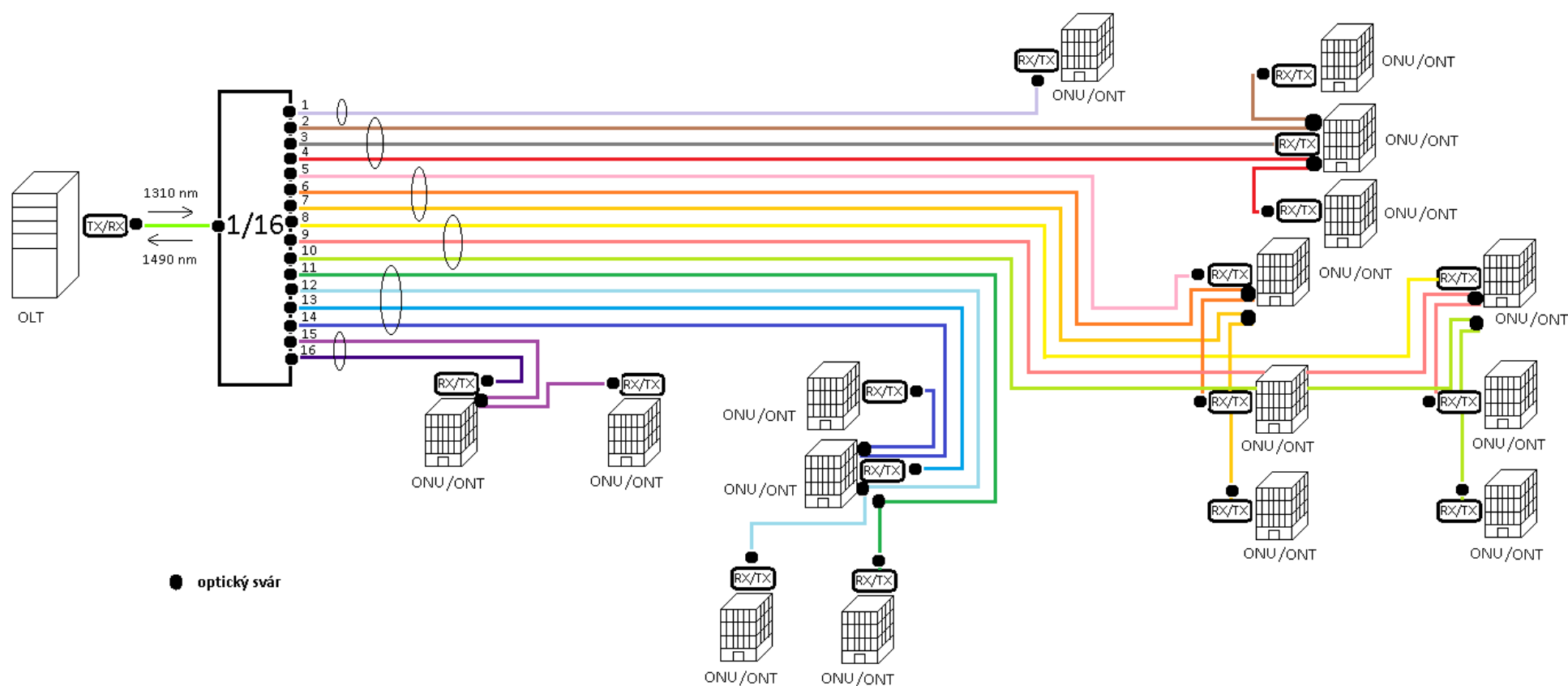
Obr. 6.6: Optický rozbočovač 1/16 [1].

Optický rozbočovač umožňuje rozdělit optický výkon do více optických vláken. Výhodou takového rozbočovače je zejména jeho cena, nezávislost na elektrické energii a minimální údržba. Optický rozbočovač se většinou skládá z několika Y-článků, tvořenými kaskádně zapojenými krátkými optickými vlákny. Rozbočovací poměr udává počet výstupů, ve formátu 1:N. S rostoucím počtem výstupů však roste i vložený útlum rozbočovače. Celkový útlum je dán součtem útlumu dělení a zbytkovým útlumem. Útlum použité vláknové odbočnice 1:16 je standardně 13,5 dB [14].

Hlavní parametry použitého optického rozbočovače [1]:

- Rozbočovací poměr 1:16.
- Nekonektorovaný.
- Singlemod.
- Použitelné pásmo 1260 – 1650 nm.
- Útlum vložení rozbočením: typicky 13,5 dB, max 14,2 dB.

Pro připojení jednotlivých objektů bude využito 1 vlákno pro oba směry a pro přenos TV signálu. Schéma vyvedení jednotlivých vláken pro přenos bez TV signálu je na Obr. 6.7.



Obr. 6.7: Schéma vyvedení vláken bez analogového TV signálu

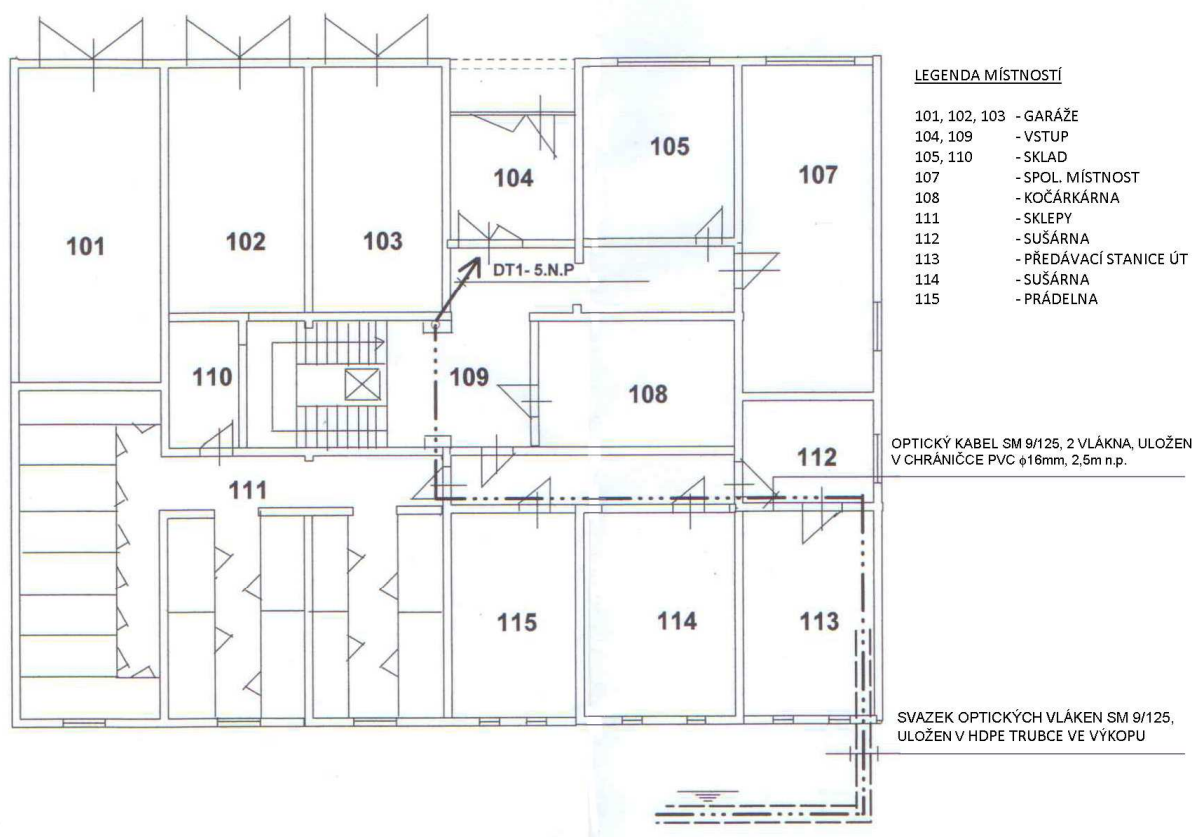


Obr: 6.8: Zákres chrániček v katastrální mapě

6.2.6 Zakončení v objektech

Do každého objektu bude přivedena HDPE trubka s optickým kabelem. HDPE trubka bude vstupovat do objektu pod úroveň terénu společně s teplofikačním vedením. Ze svazků vláken bude vždy v objektu vyčleněno jedno vlákno, které bude pomocí optické svářečky navařeno na vlákno kabelu pro vnitřní instalace. Optický svár bude umístěn do optické kazety pro ochranu svárů. Kazeta s rezervou kabelu bude umístěna v plechové nástěnné rozvodné skříni rozměru 300x300x100 mm. Optický kabel je nutné dále v objektu přivést až ke stávajícím rozvaděčům, jež se nachází v půdních prostorech. Uvnitř objektu bude kabel veden v PVC chráničce průměru 16mm, umístěnou pod stropem, aby byla minimalizována možnost poškození. Stoupacím vedením elektrické instalace bude, v chráničkách KOPEX, optický

kabel přiveden až do půdních prostor.



Obr. 6.9: Půdorys 1.N.P. Trasa sdělovacího vedení.

Optický kabel bude přiveden do nástěnného rozvaděče LC-13 6U 500mm RAL 7035 vrchním kabelovým prostupem. Ukončení bude provedeno v optické kazetě, kde bude na optické vlákno navařen optický pigtail a pomocí optického patch cordu bude připojen do switchu.

Rozvaděč je připojen kabelem CYKY 3Cx2,5 na stávající rozvodnici výtahu, kde je umístěn jednofázový jistič LSN 10B/1. Pro měření elektrické energie je použit elektroměr H10 10-60A typu PCM.



Obr. 6.10: Rozvaděč nástěnný LC-13 6U 500mm RAL 7035, dělený [18].

Uvnitř rozvaděče je již instalován 28-portový Fast Ethernet L2/4 switch Edge-Core ES3528M osazený 24x 10/100BaseT (RJ45) pro připojení jednotlivých uživatelů a 4x Gigabit Combo (RJ45/SFP). Ten bude v každém objektu zaměněn za Alloptic Xgen6000 ONT, který obsahuje 24x 10/100BaseT portů (RJ 45), 2x T1/E1 TDM porty (RJ 48) a 1x WB RF video port [21].



Obr. 6.11: Alloptic Xgen6000 [21].

Připojky jednotlivých uživatelů jsou provedeny pomocí instalačního kabelu Solarix CAT5E FTP, který podporuje maximální protokol 1000BaseT. Kabel je uložen v elektrických jádrech, ve stávajících chráničkách, prostorově oddělen od ostatních silových a sdělovacích vedení. Jednotlivé připojky uživatelů jsou zakončeny u vstupních dveří nástěnnou zásuvkou Solarix CAT 5E 1x RJ45. Uvnitř bytů je signál distribuován pomocí instalačního kabelu Solarix CAT5E UTP s podporou protokolu 1000BaseT, případně pomocí domácích routerů

s podporou 802.11n.

6.2.7 Optické kabely

Optický kabel Furukawa MiDia Breeze SM 9/125, 4 vlákna

Na trasu spoje bude použit optický kabel Furukawa MiDia Breeze SM 9/125 se 4 vlákny pro zafukování do mikrotrubiček. Kabel obsahuje barevně odlišená vlákna v primární ochraně, tahové prvky a je opatřen pláštěm s malým odporem proti tření pro snadné zafukování do mikrotrubiček [9].

Hlavní parametry [9]:

- Počet vláken – 4
- Útlum < 0,4 dB/km
- Plášť – robustní s nízkým třením
- Tahové prvky – skleněná příze

Svazek optických vláken AccuBreeze FX v akrylátové ochraně, SM 9/125, 12 vláken

Pro připojení hlavních tras sídliště bude použit svazek optických vláken AccuBreeze FX v akrylátové ochraně, SM 9/125 se 12 vlákny. Vždy bude použit pouze jedno vlákno pro jeden objekt, část vláken tak bude složit jako rezerva. Svazek obsahuje 12 barevně odlišených Single módových vláken 9/125 μm uložené v akrylátové dvouvrstvé ochraně - první vrstva je měkká a druhá (plášťová) tvrdší s vrstvou skleněných perliček usnadňující zafukování do mikrotrubičky [10].

Hlavní parametry [10]:

- Počet vláken – 12
- Útlum < 0,4 dB/km
- Plášť – akrylový
- Poloměr ohybu – 4 cm

Svazek optických vláken AccuBreeze FX v akrylátové ochraně, SM 9/125, 4 vlákna

Pro připojení hlavních budov sídliště bude použit svazek optických vláken AccuBreeze FX v akrylátové ochraně, SM 9/125 se 4 vlákny. Vždy bude použit pouze jedno vlákno pro jeden

objekt, část vláken tak bude složit jako rezerva. Svazek obsahuje 4 barevně odlišená Single módová vlákna 9/125 μm uložené v akrylátové dvouvrstvé ochraně - první vrstva je měkká a druhá (plášťová) tvrdší s vrstvou skleněných perliček usnadňující zafukování do mikrotrubičky [10].

Hlavní parametry [10]:

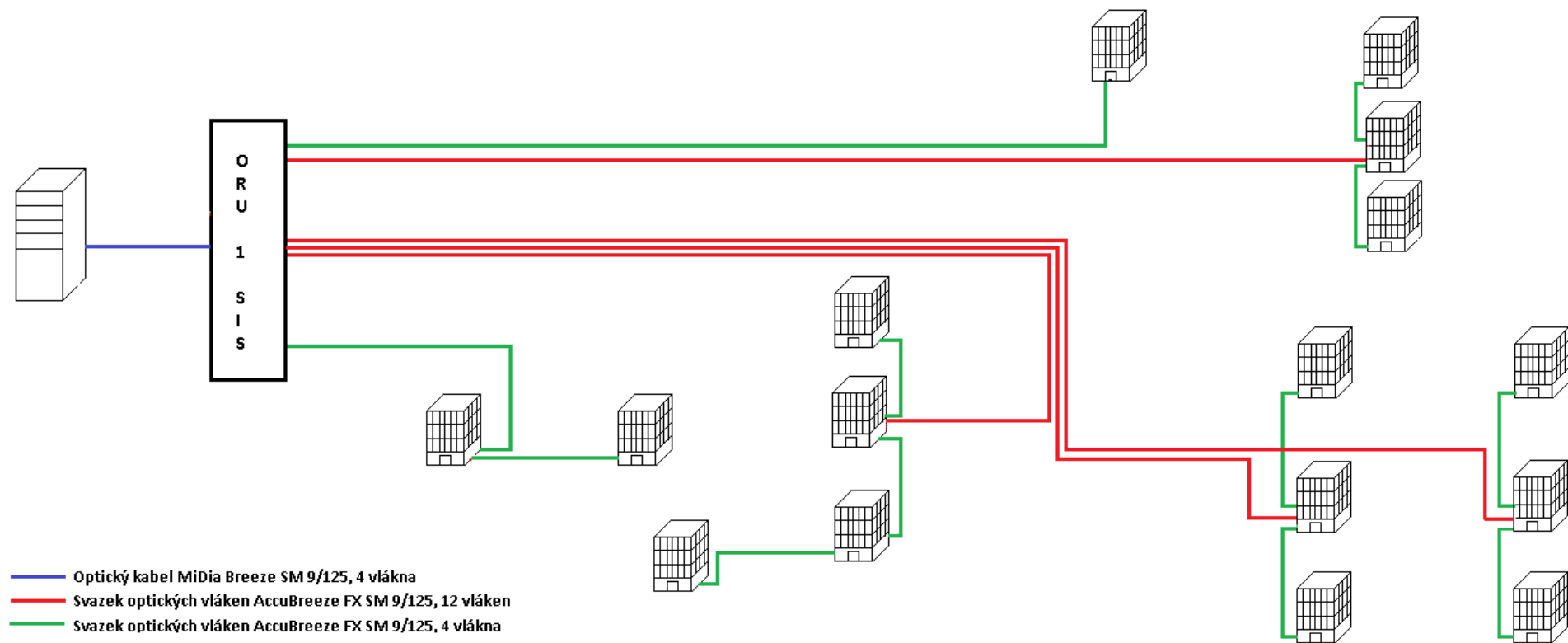
- Počet vláken – 4
- Útlum < 0,4 dB/km
- Plášť – akrylový
- Poloměr ohybu – 4 cm

Optický kabel Samsung DROP FTTx G.657A SM 9/125, 2 vlákna

Pro realizaci vnitřních rozvodů (přivedení kabelu do půdních prostor) bude použit optický kabel Samsung DROP FTTx G.657A SM 9/125 se 2 vlákna. Jedno vlákno bude sloužit jako rezerva. Použitá vlákna G.657A jsou kompatibilní s běžnými low-waterpark vlákny G.652D a umožňují poloměr ohybu až 2,4 cm, což umožňuje s kabelem pracovat jako s běžným UTP kabelem [11].

Hlavní parametry [11]:

- Počet vláken – 2
- Útlum < 0,4 dB/km
- Plášť – PolyUrethan, UV a voděodolný
- Poloměr ohybu – 2,4 cm



Obr. 6.12: Schéma použití optických kabelů a svazků vláken

6.3 Shrnutí

Pasivní architektura:

- Architektura – PON,
- Vlákna – Singlemod,
- Kabely – mikrokabely, svazky vláken
- Počet vláken – jedno (WDM),
- Topologie – FTTB,
- Ochrana kabelů v zemi – HDPE trubky

Aktivní prvky:

- Služby – Triple play (hlas, video, data),
- Šířka pásma – GEAPON (1,25Gbit/s)

6.4 Analýza nákladů

Celková cena bude podstatně nižší díky spolupráci O.s. Unart s městem Slavičín, kdy budou ušetřeny náklady za výkopové práce. Současně budou ušetřeny značné náklady za věcná břemena, poněvadž veškeré pozemky jsou ve vlastnictví města Slavičín, které nepožaduje žádnou finanční kompenzaci.

Minimalizace nákladů bude taktéž u projektové dokumentace, která byla realizována členy.

Tab. 4.2: Cenová kalkulace

	Cena za jednotku	Počet jednotek	Cena
Projektová dokumentace	5 000 Kč	1 ks	5 000 Kč
Věcná břemena	0 Kč	0 ks	0 Kč
Výstavba sítě - materiál			

Výkopové práce	0 Kč	0 hod	0 Kč
Pokládka HDPE trubek	300 Kč	400 hod	120 000 Kč
Stavební materiál	15 000 Kč	1 ks	15 000 Kč
Nadzemní sloupek	16 398 Kč	1 ks	16 398 Kč
HDPE trubky 40/33mm, 7/4mm	21/9 Kč	2684/850 m	64 014 Kč
Mikrotrubičkový systém	6 Kč	1900 m	11 400 Kč
HDPE spojky	1 608 Kč	3 ks	4 824 Kč
Optický kabel (4vl.), svazek vláken (4vl.), svazek vláken (12vl.)	10/10/17 Kč	1000/1250/ 2200 m	59 900 Kč
Patchcordy, pigtaily	453/111 Kč	34 ks	19 176 Kč
Vnitřní trubičkový systém	10 Kč	480 m	4 800 Kč
Vnitřní rozvaděčové skříně	486 Kč	16 ks	7 776 Kč
Optické kazety	96 Kč	34 ks	3 264 Kč
Optické sváry	400 Kč	60 ks	24 000 Kč
Optický rozbočovač	4 121 Kč	1 ks	4 121 Kč
Aktivní technologie GEAPON			380 000 Kč
Výstavba sítě - montáž	500 Kč	300 hod	150 000 Kč
Cena celkem			889 673 Kč

Všechny uvedené ceny jsou včetně DPH.

Průměrný počet bytových jednotek v jednom objektu je 30. Celkem tedy maximální počet možných připojených uživatelů ve 13 objektech, kde budou nově připojeny na optickou síť (celkem bude připojeno 16 objektů, ale z toho 1 je mateřská škola, 1 základní škola a jeden objekt je gymnázium) je 390. Z těchto 390 bytových jednotek je aktuálně připojeno 112 k síti O.s. Unart Slavičín. Snahou tedy bude nalákat lidi na nové služby, tím docílit zvýšení připojených lidí a tím zkrátit návratnost projektu.

Vzhledem k tomu, že se jedná o sdružení, tak uživatelé (= členové) neplatí za poskytování

internetových služeb, ale za členství. Členský poplatek je stejný pro všechny členy, bez ohledu na způsob připojení a tedy na přenosovou rychlost.

Při stávajícím poplatku 150Kč za členství na měsíc a aktuálním počtu připojených uživatelů, by cena přípojky na jednoho uživatele vycházela zhruba 8 000 Kč a návratnost projektu by byla necelých 5 let.

Pokud by díky novým službám stoupl počet připojených uživatelů do konce roku alespoň na 200, pak by cena přípojky na jednoho uživatele vycházela zhruba 5 500 Kč a návratnost projektu by byla necelé 3 roky.

7 MONITORING SÍTĚ

Každá část optické sítě má jinou důležitost a proto i případné poruchy mají odlišné následky, podle toho kde se nachází. Pro běžného uživatele je zcela nepodstatné, zdali porucha nastala na jeho přípojce nebo páteřní trase. Naopak pro poskytovatele je velmi zásadní, jestli nejede pouze jeden uživatel nebo páteřní trasa. Podle místa poruchy bude také vypadat reakce poskytovatele – poruchu páteřní části sítě bude řešit s jinou prioritou než poruchu u klienta.

Ke sledování aktuálního stavu důležitých tras optické sítě se proto užívá monitorovacích systémů, které v reálném čase sledují všechny důležité informace. Hlavním cílem monitorovacího systému je průběžně sledovat stav sítě a tím předcházet případným poruchám. Pokud dojde k neočekávané poruše, vzniklé například vandalismem, tak monitorovací systém okamžitě na tento problém upozorní. Podstatně se tak sníží doba k odstranění vzniklé závady.

7.1 Softwarový monitoring sítě

Existuje řada softwarových řešení, s jejichž pomocí sledovat chyby na síti, případně různé neočekávané poruchy. Zpravidla sledují všechny důležité informace ze serverů, prepínačů, routerů apod. Při detekci chyby tak systém automaticky oznámí tuto informaci administrátorovi pomocí E-mailu, SMS nebo pageru. Zvládají opravit drobné chyby bez nutnosti zásahu technika – například restart stroje, služby nebo spuštění určitého skriptu.

7.2 Monitoring fyzické vrstvy

Na rozdíl od softwarového monitoringu jde zde o kontrolu přenosového média na úrovni fyzické vrstvy. Tento monitorovací systém je zcela nezávislý na použitých aktivních prvcích, komunikačních protokolech nebo poskytovaných službách. Využívají se dvě základní metody:

- Reflektometrická metoda,
- Transmisní metoda.

7.2.1 Reflektometrická metoda

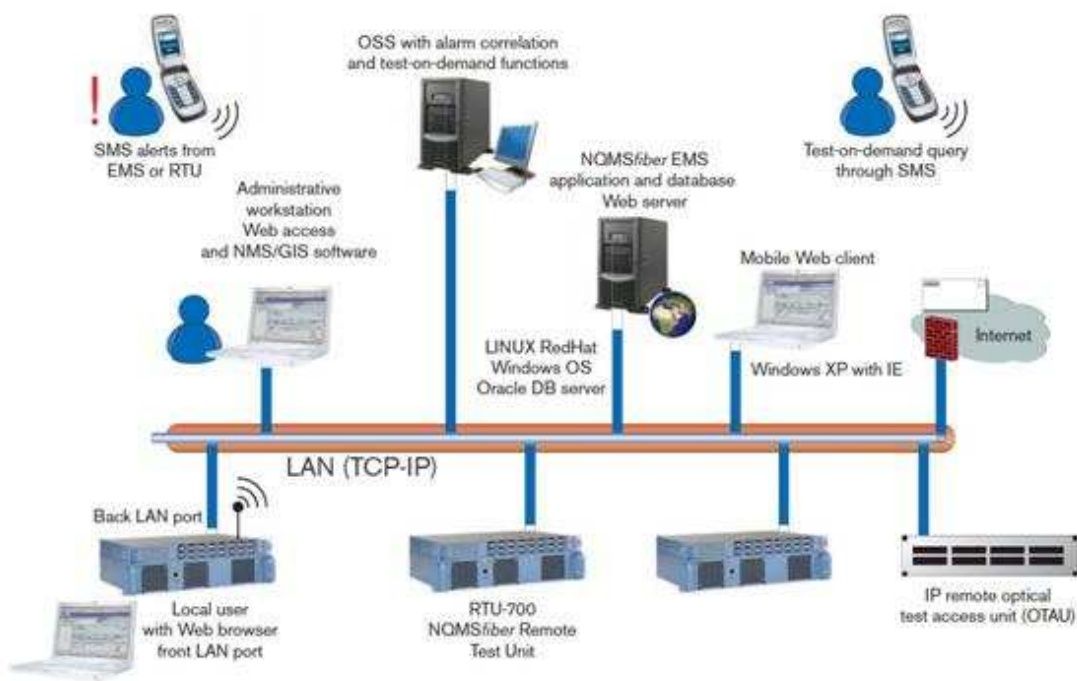
Jedná se o měření přenosového média optickým reflektometrem (OTDR – Optical Time Domain Reflectometer), přičemž se využívá Rayleigh rozptyl a Fresnelův odraz. Po nasazení do sítě nebo po změnách v optické síti, provede RTU (Remote Test Unit – Vzdálená měřicí jednotka) inicializační měření, aby stanovila referenční náměr. Ten pak slouží k porovnávání s dalšími monitorovacími měření. Na základě předem stanovených tolerancí pak systém vyhodnocuje, došlo-li k odchylce od stanovené reference. Řada těchto optických reflektometrů navíc umožňuje definovat různé referenční náměry pro jednotlivá roční období nebo automaticky optimalizovat hodnotu referenčního náměru (Learning Cycle Reference - adaptivní referenční cyklus) [12].

Pokud dojde k překročení limitních hodnot, monitorovací systém pošle zprávu pomocí Emailu, SMS nebo SMTP. Z důvodu maximálního pokrytí sítě, lze do RTU jednotky připojit také optický přepínač. Ten umožňuje dohlížet až na 32 optických tras. K jednotce RTU je navíc možné připojit i vzdálené optické přepínače, čímž se opět mnohonásobně zvýší počet sledovaných tras [12].



Obr. 7.1: Jednotka RTU (Remote Test) se 16 optickými porty. [12]

Pokud pak všechny jednotky RTU propojíme se serverem EMS (Element Management System), vznikne kompletní monitorovací systém, který umožňuje rozdělení oblastí sítě pod místní správu, možnost připojení geografického systému kvůli přesné lokalizaci poruchy nebo například rozšířenou správu uživatelů. Takový dohledový systém pak může obsahovat stovky jednotek RTU a neomezený počet AW (Administrative Workstation – stanice pro správu) [12].



Obr. 7.2: Ukázkové schéma reflektometrického monitorovacího systému NQMSfiber [12].

7.2.2 Transmisní metoda

Metoda využívá přesného zdroje záření na začátku sledované trasy a měřidla výkonu a druhém konci trasy. Obdobně jako u předchozí metody, je na počátku vytvořen náměr, se kterým je pak každý další náměr porovnáván. Transmisní monitoring umožňuje reagovat již v okamžiku změny měřené hodnoty výkonu, mimo toleranční mez, a informovat o tom příslušného administrátora [12].

Jedná se o přímou metodu měření, nelze tudíž přesně lokalizovat místo poruchy. Metoda pouze identifikuje trasu a odchylku od referenční hodnoty [12].



Obr. 7.3: Ukázka vysílacího a přijímacího zařízení transmisní metody [12].

ZÁVĚR

Práce se zabývá návrhem optických přístupových sítí. V dnešní době s rozvojem nových telekomunikačních služeb je zapotřebí dostatečná šířka pásma. Proto řada telekomunikačních operátorů volí cestu optických přípojek než bezdrátových. Výhodou je téměř bezproblémový chod sítě a tím i úspora nákladů za údržbu. Investice na výstavbu optických sítí bývá značně vysoká a návratnost bývá řádově několik let. Je důležité proto zvážit, jaká technologie bude při realizaci optických tras zvolena. Existují dvě varianty přístupových sítí – AON a PON. Jejich porovnání je obsaženo v kapitole 4. Kromě volby varianty aktivní nebo pasivní optické sítě je potřeba ještě zvážit volbu architektury FTTx. Podle místa ukončení optického vedení rozlišujeme čtyři základní architektury – FTTN, FTTC, FTTB a FTTH. Při budování optických přístupových sítí se v dnešní době užívají hlavně poslední dvě zmíněné architektury, které jsou sice značně nákladné, avšak zabezpečují do budoucna dostatečnou šířku pásma. S rozvojem výstavby optických přístupových sítí dochází i k rozvoji nových technologií pro výstavbu. Kromě klasické výkopové technologie se objevují technologie jako MCS – Road, MCS – Drain, mikrotrubičkování, optické samonosné kabely, nebo systémy kabelových komor a multikanálů. Tyto technologie umožňují často levně a efektivně vytvořit optickou přístupovou síť bez omezení provozu na komunikacích a větších terénních úprav.

Praktická část práce představuje návrh pasivní optické sítě pro sídliště Vlára v obci Slavičín. Jedná se o klasické sídliště s panelovými domy a průměrným počtem 30 bytových jednotek na objekt. Aktuálně jsou připojeny objekty bezdrátovou technologií. Z důvodů úspory nákladů budou využity stávající metalické rozvody v budovách – zvolena tedy bude architektura FTTB. Varianta pasivní optické sítě byla zvolena GEPON s řešením přenosu všech signálů pomocí jediného singlemódového vlákna. Použity budou vlnové délky 1310 nm pro vzestupný směr, 1490 nm pro sestupný směr a 1550 nm pro přenos TV signálu. V případě potřeby větší šířky pásma ji bude možno změnit na 10GEPON. Společně s navýšením stávající šířky pásma budou uživatelům nabídnuty i nové služby v podobě Triple play, což by mohlo přilákat nové zájemce. Síť bude realizována výkopovou technologií, pomocí HDPE trubek, uložených v pískovém loži, aby nedošlo při zásypu zeminou k jejich poškození. Kombinace HDPE trubek s mikrotrubičkovým systémem byla zvolena tak, aby byly co nejvíce minimalizovány náklady. Trasa spoje bude realizována HDPE trubkou 40/33 mm, ve které bude zafouknuta mikrotrubička 7/5,5 mm se 4vláknovým kabelem Fukurawa

SM 9/125. Pro přechod silnicí č. II/493 bude použita technika řízeného podvrtnu v hloubce 1,3m pod niveletou vozovky. V serverovně bude kabel ukončen optickým pigtailem a pomocí optického patch cordu zapojen do přístupového zařízení Alloptic Edge200. Druhá část kabelu bude ukončena v nově instalovaném nadzemním optickém sloupku. Pomocí optického rozbočovače 1/16 bude signál distribuovaný do 16 objektů. Jednotlivé přípojky budou realizovány trubkami HDPE 40/33 a HDPE 7/4 mm v kombinaci se svazky optických vláken (viz Obr. 6.4 a Obr. 6.12). Počet vláken je vždy dostatečně naddimenzován, pro případné rozšiřování sítě. V jednotlivých objektech bude z optického svazku odděleno vlákno, na které bude navařen optický kabel Samsung SM 9/125. Uvnitř objektu bude kabel veden v ochranné PVC trubce až do půdních prostor, kde se nachází aktuálně instalovaná rozvodná skříň s metalickými rozvody. Poslední částí návrhu je analýza nákladů. Vzhledem k ročnímu rozpočtu sdružení (řádově jednotky milionů korun), byl návrh realizován tak, aby byly náklady na výstavbu co nejnižší. Značná úspora nákladů byla dosažena hlavně spoluprací s městem Slavičín. Díky časté vzájemné výpomoci a spolupráci, město umožní využít výkopových tras pro nové teplofikační vedení a nepožaduje ani úhradu za zřízení věcných břemen. Další nemalá úspora byla dosažena vypracováním projektu pro územní řízení za minimální náklady, díky vstřícnosti a pomoci některých členů sdružení. Při současné výši členského příspěvku (150 Kč/měsíc) a počtu připojených uživatelů (112 členů) na sídlišti Vlára je návratnost cca 5 let. Pokud by počet členů stoupl na 200, což je zhruba polovina maximálního počtu bytových jednotek v připojených objektech, tak by návratnost byla 3 roky. Závěrečná část diplomové práce pojednává o možnostech dohledu sítě. Je důležité mít v každém okamžiku přehled o aktuálním stavu sítě, zvláště pak páteřních tras. Existuje velké množství softwarových řešení, které sledují všechny důležité parametry ze serverů, přepínačů nebo routerů. V případě problému je pak daný systém schopen upozornit administrátora např. pomocí E-mailu nebo SMS. Druhou variantou dohledu sítě je pak monitorig fyzické vrstvy, který nezískává informace z aktivních prvků, ale sám sleduje přenosové medium. K tomu využívá 2 základní metody – reflektometrickou a transmisní. Při zjištění problému je pak systém opět schopen informovat administrátora.

LITERATURA

- [1] ASM [online]. 1991 [cit. 2010-05-12]. Rozbočovače. Dostupné z WWW: <<http://www.asm.cz/zbozi/opticky-rozbocovac-116-nekonektorovany-1260-1650nm-single-mode-plc-technologie--1m.html#>>.
- [2] BARTELL, J. *FTTxtra : VDSL2 Overview and Tutorial* [online]. 2009 [cit. 2009-11-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.fttxtra.com/dsl/vdsl2/vdsl2-overview-tutorial/>>.
- [3] BROUČEK, J., KOTAS, R. *Profiber Networking : Technické problémy distribuce TV signálu v sítích FTTx* [online]. 2007 [cit. 2009-12-03]. Dostupný z WWW: <http://www.profiber.cz/eshop/files/1Technicke%20problemy%20TV%20v%20FTTx_optika.pdf>.
- [4] Fiber to the x In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 21.12.2005, 16.11.2009 [cit. 2009-11-19]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_to_the_x>.
- [5] FILKA, M. Optické sítě. TKO 07-081. Brno: VUT, 2007. s. (214 s.)
- [6] Gateway In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 24.4.2007, 25.1.2010 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Gateway>>.
- [7] HW počítačových sítí. In *TEPS*. MUNI: Katedra technické a informační výchovy, 2006 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z WWW: <http://www.ped.muni.cz/wtech/03_studium/teps/TEPS-04.pdf>.

- [8] *InfoCellar : PON - Passive Optical Network* [online]. 2003 [cit. 2009-12-01]. Dostupný z WWW:
<<http://www.infocellar.com/networks/new-tech/PON/PON-real.htm>>.
- [9] *Ipmedia* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Kabely do mikrotrubiček. Dostupné z WWW: <<http://www.ipmedia.cz/default.asp?cls=sprezenttrees&strid=292>>.
- [10] *Ipmedia* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Speciální optické kabely. Dostupné z WWW: <<http://www.ipmedia.cz/default.asp?cls=stoitem&stiid=1218>>.
- [11] *Ipmedia* [online]. 2010 [cit. 2010-05-12]. Vnitřní optické kabely. Dostupné z WWW: <<http://www.ipmedia.cz/default.asp?cls=stoitem&stiid=1162>>.
- [12] KOSOUR, P. *Monitoring fyzické vrstvy optické sítě* [online]. 13.4.2010 [cit. 2010-05-17]. NETGURU. Dostupné z WWW:
<<http://www.netguru.cz/odborne-clanky/monitoring-fyzicke-vrstvy-opticke-site.html>>.
- [13] LAFATA, P. *Acces server : Pasivní optická přístupová síť EPON* [online]. 2009 [cit. 2009-11-02]. Dostupný z WWW:
<<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=pasivni-opticka-pristupova-sit-epon&cisloclanku=2009050003>>.
- [14] LAFATA, P., VODRÁŽKA, J. *Acces server : Pasivní optická síť GPON* [online]. 2009 [cit. 2009-11-24]. Dostupný z WWW:
<<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050002>>.
- [15] LAFATA, P. *Acces server : Pasivní optické sítě WDM-PON* [online]. 2009 [cit. 2009-12-02]. Dostupný z WWW:

- <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050004>>.
- [16] MALLAT, J. *HPS v IT : Optické vlákno a kabely* [online]. 2003 [cit. 2009-12-02]. Dostupný z WWW: <<http://hps.mallat.cz/view.php?cisloclanku=2003090203>>.
- [17] MICOS [online]. 1991 [cit. 2010-05-22]. Optické rozvaděče pro vnitřní i venkovní použití. Dostupné z WWW:
<<http://www.micos.cz/telcom/produkty/opticke-rozvadece/opticke-rozvadece-pro-vnitri-i-venkovni-pouziti/oru-1-sis-sloupkovy-opticky-rozvadec>>.
- [18] NETTY [online]. 2005 [cit. 2010-05-12]. Rozvaděče ATRACK. Dostupné z WWW: <http://www.netty.cz/index.php?akce=detail&zbozi_id=286&PHPSESSID=8d27ce70905331327474a5da96a5e2b3>.
- [19] *PanWiki : Optické vlákno* [online]. 2007 [cit. 2009-11-23]. Dostupný z WWW: <http://panwiki.panska.cz/index.php/Optick%C3%A9_vl%C3%A1kno>.
- [20] PLEXO. *PCtuning : Jak na bezdrátové spoje* [online]. 2009 [cit. 2009-12-12]. Dostupný z WWW:
<<http://pctuning.tyden.cz/software/jak-a-kde-co-pripojit/12911-jaknabezdratovespoje?start=6>>.
- [21] *Profiber Networking* [online]. 2007 [cit. 2010-05-12]. Koncová zařízení. Dostupné z WWW:
<<http://www.profiber.cz/Komponenty-FTTx-HFX-CATV/Koncova-zarizeni-2/>>.
- [22] *Profiber Networking* [online]. 2007 [cit. 2010-05-12]. Prvky pro přístupové sítě. Dostupné z WWW:

- <<http://www.profiber.sk/eshop/Prvky-pro-pristupove-site/Aktivni-pristupove-prvky-edgeGEAR/Pristupovy-prvek-Alloptic-Edge200/>>.
- [23] SCHLITTER, P. *Acces server : Mikrokabelážní systémy* [online]. 2004 [cit. 2009-12-12]. Dostupný z WWW:
<<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072806>>.
- [24] SCHLITTER, P. *Acces server : Optické přístupové sítě* [online]. 2004 [cit. 2009-11-24]. Dostupný z WWW:
<<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072807>>.
- [25] *Sitel : Mikrotrubičkování s optickými mikrokabely* [online]. 2003 [cit. 2009-12-12]. Dostupný z WWW:
<http://www.sitel.cz/prod_ost_sluzby2_podkat.php?podkat=1&jazid=-3&jazyk=cz>.
- [26] *Sitel : Multikanály* [online]. 2003 [cit. 2009-12-12]. Dostupný z WWW:
<<http://www.sitel.cz/download/Multikanaly.pdf>>.
- [27] Switch In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 19.2.2006, 18.3.2010 [cit. 2010-05-17]. Dostupné z WWW:
<<http://cs.wikipedia.org/wiki/Switch>>.
- [28] *The Open University : Fibre types* [online]. 2005 [cit. 2009-12-11]. Dostupný z WWW: <<http://openlearn.open.ac.uk/mod/resource/view.php?id=203396>>.
- [29] Topologie sítí In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 3.9.2008, 23.10.2010 [cit. 2009-12-02]. Dostupné z WWW:
<http://cs.wikipedia.org/wiki/Topologie_s%C3%ADt%C3%AD>.

- [30] VODRÁŽKA, J. *Acces server : Optické přístupové sítě EPON a CWDM* [online]. 2005 [cit. 2009-11-26]. Dostupný z WWW:
<<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2005070401>>

SEZNAM ZKRATEK

AON	Active Optical Network
APON	ATM PON
ATM	Asynchronous transfer mode
CSMA	Carrier Sense Multiple Access
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
EPON	Ethernet PON
FTTB	Fibre To The Building
FTTC	Fibre To The Curb
FTTCab	Fibre To The Cabinet
FTTH	Fibre To The Home
GEPON	Gigabit Ethernet Passive Optical Network
GPON	Gigabit Passive Optical Network
HDPE	High-Density Polyethylen
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IPTV	Internet Protocol Television
ITU-T	International Telecommunication Union for Telecommunications
OAN	Optical Access Network
ODN	Optical Distribution Network
OLT	Optical Line Termination
ONU	Optical Network Unit
P2P	Point to Point
PMP	Point to Multipoint
PON	Passive Optical Network
RX	Receiver
SDM	Space Division Multiplex
SM	Single Mode Optical Fiber
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TX	Transiever
UTP	Unshielded Twisted Pair

VoIP Voice over Internet Protocol
WDM Wavelength Division Multiplex

SEZNAM PŘÍLOH

A Obsah CD

PŘÍLOHA A

Vlastní text práce