



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

MEDIA KONVERTORY A OPTICKÉ SWITCHE

MEDIA CONVERTERS AND OPTICAL SWITCHES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARTIN BRANČ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR MÜNSTER

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Telekomunikační a informační technika

Student: Bc. Martin Branč

ID: 78049

Ročník: 2

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Media konvertory a optické switche

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V rámci diplomové práce bude nutné seznámit se s metalickými a optickými sítěmi a jejich parametry. Dále se seznámit s media konvertory a optickými switchi, jejich možnostmi nasazení v přístupových sítích a navrhnout vhodné modely optických sítí pro jednotlivá zařízení. Praktická část pak bude zaměřena na testování několika vybraných zařízení. Testovány budou - reálná propustnost, vzájemná kompatibilita zařízení různých výrobců a příkon zařízení v porovnání s optickým switchem osazeným SFP transceivery.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] REICHERT, P.; FILKA, M. Optical access networks. In First Forum of Young Researchers. Izhevsk, Russia: Publishing House of Izhevsk State Technical University, 2008. s. 325-329. ISBN: 978-5-7526-0355-6.

[2] 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>>.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 26.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Petr Münster

prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

Anotace

Tato diplomová práce podává přehled o metalických sítích, jejich parametrech, využívaných standardech a možnostech jejich nasazení. Dále o optických sítích jako celku, jejich parametrech, maximálních přenosových kapacitách, dosažitelných vzdálenostech a rovněž o výhodách či nevýhodách oproti sítím metalickým. Jsou zde popsány síťové prvky využívané v přístupových optických sítích jako jsou media konvertory, optické switche a další. V praktické části jsou testována síťová zařízení v různých scénářích. Měřena byla reálná propustnost, příkon jednotlivých zařízení a vzájemná kompatibilita zařízení různých výrobců. Nakonec je zde navrženo několik scénářů s využitím optických switchů a media konvertorů pro rozšíření stávající optické sítě s kalkulacemi nákladů na výstavbu a následně i na provoz dané sítě.

The Abstract

This Master's thesis provides an overview of wired networks, its parameters, used standards and the deployment possibilities. Moreover, it includes the overall overview about optical networks, its parameters, maximum bandwidth, reachable distances as well as the advantages and disadvantages in comparison with wired networks. The project describes network elements which are used in the optical access network such as media convertors, optical switches etc. The practical part includes results of testing of the network devices in various scenarios. To get a comparable result, the real throughput, the power of each device and compatibility of devices from different producers were measured. At the end I have suggested few scenarios with the usage of optical switches and media convertors for extension of the current optical network. The calculation of costs for building and operation of the network is also included.

Klíčová slova

Ethernet, SFP, Optické sítě, FTTx, Optický switch, Media konvertor, Propustnost

Keywords

Ethernet, SFP, Optical network, FTTx, Optical switch, Media converter, Throughput

BRANČ, M. Media konvertory a optické switche. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 70 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Münster.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma "Media konvertory a optické switche" 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 této semestrální práce 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

Poděkování

Děkuji Ing. Petru Münsterovi za vedení své diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Ing. Lukáši Smékalovi a celé firmě Proficomms s.r.o za konzultace a vstřícnost. Také bych také rád poděkoval své rodině a své přítelkyni, za jejich podporu a trpělivost, kterou mi poskytovali po celou dobu mého studia.

V Brně dne

.....

Podpis

Seznam obrázků

Obr.2.1: Druhy sítí dle geografické rozlohy.....	13
Obr.2.2: Rámec Ethernet II.....	15
Obr.2.3: Rozdělení frekvenčního pásma u ADSL.....	19
Obr.2.4: Buňka ATM.....	19
Obr.2.5: Asynchronní multiplex.....	20
Obr.2.6: Základní schéma optického spoje.....	22
Obr.2.7: a) Průchod paprsků mohavidovým vláknem se skokovou změnou indexu lomu, b) Průchod paprsků gradientním mnohavidovým vláknem s postupnou změnou indexu lomu.....	23
Obr.2.8: Průchod paprsku jednovidovým vláknem.....	24
Obr.2.9: a) Mnohavidové vlákno se skokovou změnou indexu lomu b) Mnohavidové vlákno s proměnným indexem lomu c) Jednovidové vlákno se skokovou změnou indexem lomu.....	24
Obr.2.10. a) Ztráty způsobené ohybem, b) ztráty způsobené nerovnostmi jádra.....	25
Obr.2.11. Útlumová charakteristika optických vláken.....	26
Obr.2.12: Zalomení vlákna ručně (vlevo) a na zalamovače (vpravo).....	28
Obr.2.13: Rozdělení FTTx dle zakončení optického vedení.....	30
Obr.2.14: Topologie Point to Point.....	31
Obr.2.15: Topologie Point to Multipoint: a) PON b) AON.....	32
Obr.3.1: Optický splitter 1x4.....	36
Obr.3.2: Technologie WDM.....	36
Obr.3.3: Jednotlivé typy media konvertorů.....	38
Obr.3.4: Home Gateway 300 od firmy ALLOPTIC.....	40
Obr.4.1: Sít' s využitím media konvertorů.....	41
Obr.4.2: Topologie s využitím optického switche.....	43
Obr.4.3: Domácnosti využívající služeb tripple play a internetu.....	43
Obr.5.1: Měřič spotřeby FK6300.....	44
Obr.5.2: Media konvertor TP-Link MC112CS.....	45
Obr.5.3: 1,25Gbps SFP moduly od Signamaxu.....	46
Obr.5.4: Spotřeba media konvertoru při různém zatížení.....	47
Obr.5.5: Spotřeba jednotlivých switchů při různém zatížení.....	48
Obr.6.1: Program Iperf - nastavení komunikace.....	49
Obr.6.2: Fluke Networks EtherScope II. Network assistant.....	50
Obr.6.3: Sít' s media konvertory pro měření propustnosti.....	50

Obr.6.4: Propustnost prvního scénáře pomocí protokolu TCP	51
Obr.6.5: Propustnost prvního scénáře pomocí protokolu UDP	52
Obr.6.6: Síť s media konvertory a optoswitchem pro měření propustnosti.....	52
Obr.6.7: Propustnost druhého scénáře pomocí protokolu TCP	53
Obr.6.8: Propustnost druhého scénáře pomocí protokolu UDP.....	53
Obr.6.9: Síť se dvěma optickými switchi pro měření propustnosti	54
Obr.6.10: Propustnost druhého scénáře pomocí protokolu TCP.....	55
Obr.6.11: Propustnost druhého scénáře pomocí protokolu UDP.....	55
Obr.7.1: Návrh přístupové sítě s využitím media konvertorů.....	58
Obr.7.2: Návrh přístupové sítě s využitím optického switche	60

Seznam tabulek

Tab.2.1. Jednotlivé standardy Ethernetu	16
Tab.2.2: Druhy konektorů v optických sítích	27
Tab.3.1: Útlum vložený splitterem NWC PLC 1260-1650nm, 1x64.....	35
Tab.3.2: Porovnání technologií WDM	37
Tab.5.1: Technické údaje o FK6300	44
Tab.7.1: Kalkulace cenových nákladů.....	57
Tab.7.2: Kalkulace cen síťových prvků.....	59
Tab. 7.3: Kalkulace roční spotřeby energie	60
Tab.7.4: Kalkulace cen síťových prvků.....	61
Tab. 7.5: Kalkulace roční spotřeby energie	61
Tab.8.1: Parametry optických a metalických sítí.....	63

Obsah

1. Úvod	12
2. Rozdělení sítí.....	13
2.1 Metalické sítě	14
2.1.1 Ethernet	14
2.1.2 ISDN	18
2.1.3 ADSL	18
2.1.4 ATM.....	19
2.1.5 Frame Relay.....	21
2.2 Optické sítě.....	21
2.2.1 Typy optických vláken	22
2.2.2 Útlum optických vláken	25
2.2.3 Spojování optických vláken	27
2.2.3 Typy sítí využívajících optického vlákna.....	28
2.2.4 Přístupové sítě FTTx.....	29
2.2.5 Topologie optických přístupových sítí.....	31
2.2.6 Pasivní optické sítě – PON.....	33
2.2.7 Aktivní optické sítě – AON.....	34
3. Síťové prvky využívané v optických sítích.....	35
3.1 Optický rozbočovač – splitter.....	35
3.2 WDM – Wave Division Multiplexer	36
3.3 Media konvertory	38
3.4 Domácí Gateway	39
3.5 Optický switch.....	40
4. Media konvertory a optické switche v přístupových sítích	41
4.1 Síť s využitím media konvertorů.....	41
4.2 Síť s využitím optických switchů	42
5. Měření příkonu síťových prvků	44
5.1 Přehled měřených zařízení	44
5.1 Přehled měřených zařízení	45
5.1.1 Media konvertory TP-Link MC 111CS a TP-Link MC 112CS	45
5.1.2 Switch Signamax 300-7851.....	45
5.1.3 Switche Edge-Core ES3528M a ES3528M-SFP	46
5.1.4 SFP optické moduly.....	46

5.2 Měření příkonu media konvertorů TP-Link MC112	47
5.3 Měření příkonu jednotlivých switchů	48
6. Měření reálné propustnosti síťových prvků	49
6.1 Iperf - program pro měření propustnosti sítě	49
6.2 Analyzátor EtherScope – Fluke Networks.....	50
6.3 Měření propustnosti jednotlivých scénářů	50
7. Návrh modelových sítí s využitím media konvertorů a optických switchů.....	56
7.1 Cenová kalkulace výstavby sítě.....	57
7.2 Realizace pomocí media konvertorů.....	58
7.3 Realizace pomocí optického switchu.....	60
7.4 Porovnání nákladů jednotlivých návrhů na výstavbu a provoz.....	61
8. Závěr	63
Seznam zdrojů	65

1. Úvod

V dnešním medializovaném světě si již asi nedokážeme představit žít bez všudypřítomných informací. Můžeme je získat za pomoci televize, rádia, ale nikdy ne v danou chvíli. Oproti tomu na internetu lze najít cokoli, kdykoli a dnes již díky rozmachu všemožných síťových technologií i kdekoli. Spojení s okolním světem si již bez internetu nedovedeme představit a není podstatné, zda se připojíme na mobilním smartphonu, firemním počítači či v kavárně s notebookem přes wifi. Protože všechny tyto informace nakonec stejně putují přes bezdrátové či metalické sítě, až dorazí k páteřní síti. Ta je téměř vždy realizována optickými vlákny – médii, které se dnes těší velké oblibě.

V dnešní době to nejsou již jen páteřní sítě, kde se můžeme setkat s optickými kabelemi. S vysokými přenosovými kapacitami a klesající cenou se dostává optickým přístupovým sítím FTTx stále větší pozornosti hlavně ze stran poskytovatelů připojení. Ti mohou díky nim maximalizovat své zisky a poskytovat ještě širší nabídku služeb s vyšší kvalitou.

Tato diplomová práce přibližuje čtenáři využívané metalické sítě, jejich výhody, nevýhody, parametry a standardy. Do kontrastu pak staví optické přístupové sítě, které je v mnohém předčí. I přesto, že sítě, využívající metalických médií, v čele se sítěmi Ethernet, jsou dále vyvíjeny, nejsou schopny držet krok s rychleji se vyvíjecími optickými sítěmi.

Práce je rozdělena do dvou částí. V první části je diskutována výše zmíněná problematika metalických a optických sítí a dále využívaná síťová zařízení v daných typech sítí. V druhé, praktické části jsou vytvořeny modelové sítě, které jsou dále měřeny z hlediska spotřeby a reálné propustnosti. Tyto sítě se skládají ze zařízení různých výrobců, na nichž je testována vzájemná kompatibilita. Dále jsou zde zpracovány dva návrhy pro budování nové části sítě. Jsou zpracovány jak reálné náklady na vybudování, tak následně na provoz dané sítě.

2. Rozdělení sítí

Počítačové sítě se většinou dělí na čtyři skupiny. V seřazení od sítě s nejmenší rozlohou po největší, včetně používaných technologií, zobrazuje obr.1.

PAN (Personal Area Network) – osobní síť, které jsou tvořeny komunikujícími zařízeními v dosahu jedné osoby. Jedná se například o mobilní telefon komunikující s notebookem pomocí bluetooth technologie, nebo zastaralejší IRDA atd.

LAN (Local Area Network) – lokální počítačové sítě, které mají vysokou přenosovou rychlost, propustnost a slouží k propojení počítačů v rámci budovy, několika budov, případně školního campusu. Mají efektivní dosah maximálně jednotky kilometrů.

MAN (Metropolitan Area Network) – metropolitní síť je rozlehlá počítačová síť s vysokou přenosovou rychlostí. Slouží k propojení větších lokalit, většinou čtvrtí, nebo klidně i celého města, například technologií WiMAX..

WAN (Wide Area Network) – rozsáhlá síť, spojuje sítě LAN i MAN přes velké území, překračující území měst, států i kontinentů. Některé sítě WAN jsou budovány pro jednotlivé společnosti a jsou soukromé, jiné jsou budovány přes pronajímané linky různých majitelů v daném státě. Nejznámější a největší sítí WAN je internet.



Obr.2.1: Druhy sítí dle geografické rozlohy [22].

2.1 Metalické sítě

Z pohledu aplikační vrstvy lze sítě LAN ještě rozdělit dle vzájemné komunikace uzlů:

- **klient – server:** typický příklad je větší síť LAN, kdy v síti existují řídicí prvky, které poskytují síťové služby a řízení přístupu k síti na základě žádostí klienta.
- **peer to peer:** jedná se o menší síť LAN, která může být i bez připojení k vnějšímu světu. Jednotlivé uzly jsou rovnocenné a sdílejí své zdroje (místní disky, tiskárny) mezi sebou navzájem [6].

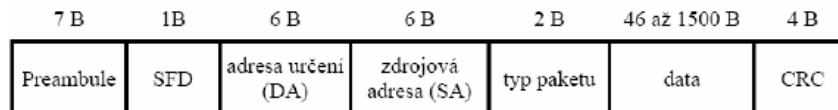
2.1.1 Ethernet

Síť Ethernet je nejrozšířenějším typem počítačových sítí vůbec. Je standardizován dle IEEE 802.3. Existuje široká škála doplňků k tomuto standardu pro různé přenosové rychlosti a různé typy vedení (od koaxiálního kabelu, přes kroucenou dvojlinku až po optické vlákno). Mezi hlavní přednosti Ethernetu patří dnes již relativně nízká cena, snadná správa, široké možnosti konfigurace a hlavně kompatibilita jednotlivých síťových zařízení od různých výrobců. Od svého počátku v roce 1973 prošel již dlouhým vývojem od prvních rychlostí 10Mb/s, přes dnes již běžnou rychlost 100Mb/s či 1Gb/s v lokálních sítích až po rychlosti 10Gb/s, který se již používá v metropolitních sítích. Fyzická adresace je uskutečněna pomocí 48bitových MAC adres.

Ethernet se nesnaží nijak předcházet souběžnému vysílání více uzlů najednou, ale situaci řeší, až pokud nastane. Pokud síť není dlouhodobě přetížena, je toto řešení výhodnější. Metoda, která by kolizím předcházela by s sebou nesla i nezanedbatelnou režii a snižovala by využitelnou šířku pásma. Ethernet proto využívá přístupovou metodu k médiu CSMA/CD (Carrier Sence Multiple Access/Colission Detection). V případě, že je kolize detekována, se všichni účastníci odmlčí po náhodnou dobu z definovaného intervalu. To znamená, že každý z nich poté začne vysílat v jinou dobu, což snižuje vznik kolize. I přesto je Ethernet nedeterministický, protože nedokáže 100% garantovat čas, ve kterém se uzel dostane k médiu aby mohl vysílat. I tuto nevýhodu ovšem dalece překonává svojí jednoduchostí a také pořizovací cenou [3].

I přes všechny změny jednotlivých standardů se vývojáři snažili, aby se na úrovni linkové vrstvy nemuselo vlastně nic dalšího měnit. Metoda přístupu k médiu CSMA/CD, která funguje na MAC podvrstvě linkové vrstvy zůstala u všech standardů Ethernetu stejná. Obdobně je na tom i formát Ethernetových rámců používaných na podvrstvě LLC linkové vrstvy. Původním a dodnes nejpoužívanějším rámcem je rámec Ethernet II. Dalšími typy rámců je rámec pozměněný standardizační komisí IEEE, jemuž se proto říká rámec IEEE 802.2. Další typ rámce zavedla firma Novell pod označením „raw 802.3“. Poslední verzí Ethernetového rámce je 802.2 SNAP, který se již téměř nepoužívá. Detailně rozebraný rámec Ethernet II. je zobrazen níže na Obr.2.2. včetně popisů jednotlivých polí.

Electronic Industries Association a Telecommunications Industry Alliance (dále jen EIA/TIA) určují pro síť Ethernet konektor RJ-45 (registered jack s pořadím zapojení 4-5 na kabelu UTP). Každý typ kabelu používaného v Ethernetu mají ve specifikacích EIA/TIA definovaný útlum (dB) jako ztrátu signálu v závislosti na délce kabelu. Dle toho dělí kabely do kategorií. Kabel vyšší třídy má menší přeslechy, tzn. interference signálu mezi sousedními páry vodičů [5].



Obr.2.2: Rámec Ethernet II [5].

- Preamble – střídavé jedničky a nuly, definující hodinový signál na začátku každého rámce pomocí nichž může přijímací zařízení přijmout bitový proud.
- SFD (Start of Frame Delimiter) – je oddělovač začátku rámce, slouží k synchronizaci. Jeho hodnota je 10101011, čili podle po sobě jdoucích jedniček na konci lze poznat, kdy začíná rámec.
- Následuje 48bitová cílová MAC adresa, kterou může být individuální MAC adresa určitého uzlu nebo všesměrová MAC adresa.
- Dále 48bitová zdrojová MAC adresa, identifikující vysílající zařízení.
- Typ – rámec Ethernet II. identifikuje v tomto poli protokol síťové vrstvy.
- dále zapouzdřený paket (obsahující IP hlavičku a následně TCP segment

transportní vrstvy).

- Na konec 4B pro kontrolní součet CRC (Cyclic Redundancy Check).

Tab.2.1. Jednotlivé standardy Ethernetu [6].

Rychlost sítě	Standard	Označení typu Ethernetu
10 Mb/s	IEEE 802.3	10Base-2, 10Base5, 10Base-T, 10Base-FL, 10Base-FB, 10Base-FP, 10Broad-36
100 Mb/s	IEEE 802.3u	100Base-TX, 100Base-T4, 100Base-FX
	IEEE 802.3xy	100Base-T2
1000 Mb/s	IEEE 802.3z	1000Base-LX, 1000Base-SX, 1000Base-CX
	IEEE 802.3ab	1000Base-T
10 Gb/s	IEEE 802.3ae	10GBase-SR, 10GBase-SW, 10GBase-LX4, 10GBase-LR, 10GBase-LW, 10GBase-ER, 10GBase-EW

10Mb/s Ethernet

Je definován standardem IEEE 802.3, s přenosovou rychlostí 10Mb/s, používá kódování Manchester $\pm 0,85V$.

- **10Base-2** – neboli thinnet (hubený Ethernet) technologie v základním pásmu, s maximální délkou do 185m, až 30ti stanicemi v jednom segmentu.
- **10Base-5** – neboli thicknet (tlustý Ethernet) v základním pásmu, s maximální délkou segmentu do 500m, používá fyzickou topologii sběrnice. S opakovači je maximální délka až 2500m a maximální počet až 1024 klientů.
- **10Base-T** – využívá k propojování jednotlivých prvků sítě UTP kabelů třetí kategorie s konektory RJ-45.

100Mb/s Ethernet

Pro 100Mbitový FastEthernet bylo již třeba vytvořit nové rozhraní, kterým se nakonec dle doplňku 802.3u stalo MII (Media Independent Interface). To pracuje se 4 bity. Tento standard je zpětně kompatibilní s Ethernetem 802.3, mají stejný přístup

k médiu i formát rámců, jediným rozdílem je desetinásobná rychlost.

100Base-TX – jako přenosové médium používá UTP kategorie 5,6 nebo 7 se dvěma páry a RJ-45 konektorem. Maximální délka vedení je 100 metrů na jednoho uživatele / segment. Další dva standardy 100Base-T4 a 100Base-T2 jsou obdobné, ovšem používají UTP kategorie 3.

100Base-FX – využívá optický kabel s vícevidovým vláknem tloušťky 62,5/125 mikronů. Topologie point – to – point s maximální vzdáleností 412 metrů. Používá konektory ST nebo SC [5].

1000Mb/s Ethernet

Gigabitový Ethernet místo rozhraní MII využívá GMII (Gigabit Media Independent Interface) a přenáší po médiu skupiny 8 bitů najednou.

1000Base-T – Je definován standardem IEEE 802.3ab, využívá nestíněnou kroucenou dvojlinku kategorie 5 a vyšší maximální délky 100 m.

1000Base-SX – gigabitový standard 802.3z pro vícevidové optické vlákno (MMF) s jádrem 62,5 a 50 mikronů. Jako zdroj pulzů využívá laser na vlnové délce 850 nm. Při tloušťce vlákna 62,5 μm dosahuje maximální délky 220 m, při 50 μm dokonce 550 m.

1000Base-LX – je definován stejným standardem jako 1000Base-SX. Je navržen pro jednovidové optické vlákno o tloušťce 9 μm . Při použití laseru s vlnovou délkou 1300nm je dosah tohoto standardu až 10 km [5].

10 Gb/s, 40 Gb/s a 100Gb/s Ethernet

10 Gb metalický ethernet byl specifikován v roce 2006 standardem IEEE 802.3an. Využívá měděné kroucené dvojlinky kategorie 6 nebo vyšší, dosah linky max.100m. V loňském roce byl ve standardu 802.3ba specifikován 40 Gb/s a 100 Gb/s Ethernet. Ovšem tento standard již využívá pouze optických vláken.

Mezi hlavní výhodu optických kabelů patří především fakt, že nejsou náchylné k elektromagnetickému rušení, mají větší dosah, bezpečnost i vyšší přenosové rychlosti oproti metalickým kabelům.

Technologie využívané v sítích WAN

Hlavní rozdíl mezi sítěmi LAN a WAN je kromě vzdáleností také v tom, že síť LAN většinou vlastní jedna organizace, firma či fyzická osoba. Kdežto spojení v rámci sítě WAN se již realizuje na pronajatých linkách např. národních či nadnárodních poskytovatelů páteřních linek.

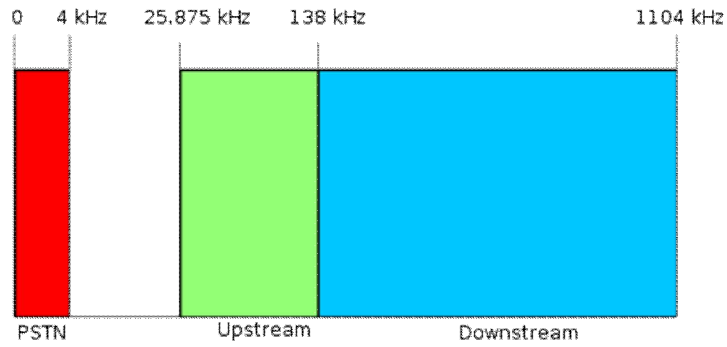
2.1.2 ISDN

Jedná se o sadu digitálních služeb, umožňujících přenos dat a hlasu po klasických telefonních linkách. Využívá k provozu linky frekvence 0-50kHz, což umožňuje vyšší přenosové rychlosti a je často používána jako záložní linka pro jiné typy připojení.

- BRA (Basic Rate Access) – Tato přípojka se skládá ze 2 B kanálů s rychlostí 64kb/s a řídicího D kanálu o rychlosti 16kb/s
- PRA (Primary Rate Access) – Skládá se z 30 B kanálů, opět o rychlosti 64kb/s a jednoho řídicího D kanálu s přenosovou rychlostí rovněž 64kb/s. PRA je tedy obdobou ve světě používané digitální linky E1 [4].

2.1.3 ADSL

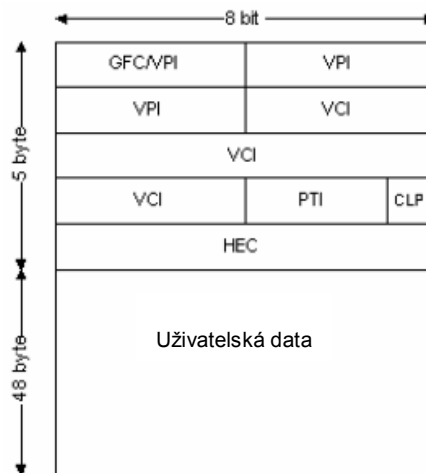
Připojení DSL se zavádí až v posledním úseku lokální telefonní sítě. Je realizováno po klasických telefonních linkách mezi dvojicí modemů (CPE u zákazníka a DSLAM v ústředně). Využívá se frekvenční pásmo 25,875-137,825 kHz pro upstream a 138 kHz–1104 kHz pro downstream (viz.Obr.2.3). Obě tyto frekvenční pásma se dále dělí na kanály po 4,3125 kHz.Vzdálenost od ústředny hraje roli v maximální přenosové rychlosti linky. Pro připojení analogového telefonu k této lince je třeba využít tzv. splitter (frekvenční dělič), aby bylo možné oddělit frekvenční pásmo (0 - 4kHz) pro telefonní hovory. K přenosu IP paketů přes síť DSL a ATM se používají tři druhy zapouzdření RFC1483, PPPoA a PPPoE . Verzí standardů pro ADSL je velké množství. Nejpoužívanější z nich je ITU G.992.5 Annex M (ADSL2+) dosahujících přenosových rychlostí až 24 Mbit/s download a 3,3 Mbit/s upload [5] [22].



Obr.2.3: Rozdělení frekvenčního pásma u ADSL [22]

2.1.4 ATM

(Asynchronous Transfer Mode) – tato technologie byla původně vyvinuta s cílem integrovat telekomunikační služby do jednotné sítě. I přesto, že se nezačala používat v takovém množství, jak se předpokládalo, má nesporné výhody, díky kterým se stále využívá. Jednou z nich je široká podpora QoS již v základním standardu, tedy prioritní mechanismus pro data, citlivá na spoždění jako je VoIP, videokonference atd. Technologie ATM v sobě spojuje jak paketový přenos dat, tak přepínání okruhů. ATM pracuje s tzv. ATM buňkou, která má neměnou velikost 53B. Z čehož má hlavička 5B a pole s informacemi 48B viz. obr.2.4 [17].

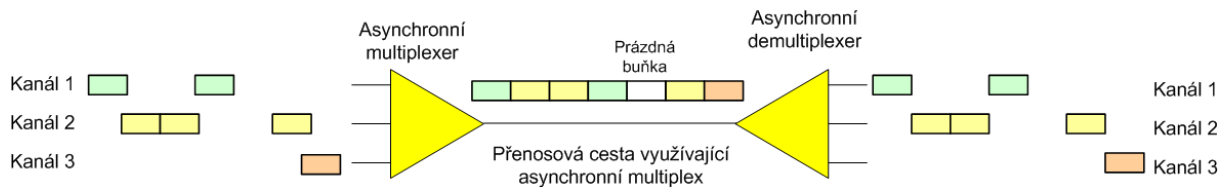


Obr.2.4: Buňka ATM [21].

Hlavička ATM buňky je složena z:

- GFC - General Flow Control - využívá se na řízení toku dat
- VPI - Virtual Path Identifier - identifikátor virtuální cesty
- VCI - Virtual Channel Identifier - identifikátor virtuálního kanálu
- PTI - Payload Type – určuje zda buňka nese uživatelská nebo řídicí data
- CLP - Cell Loss Priority - určuje, zda buňku lze při problémech se sítí zahodit
- HEC - Header Error Control - je to osmibitový samoopravný kód, schopný opravit jednobitovou chybu v kterémkoliv bitu hlavičky [21].

Technologie ATM využívá asynchronního multiplexu, kdy jednotlivé buňky z různých zdrojů nemusí být na přenosové médium multiplexovány postupně, ale jsou multiplexovány v pořadí, v jakém přichází od zdrojů. Viz. Obr.2.5.



Obr.2.5: Asynchronní multiplex [17]

Technologie ATM má také svůj referenční model, sestávající z fyzické vrstvy, ATM vrstvy a adaptační vrstvy. Definiuje čtyři třídy přenosu s různou kvalitou služeb:

- **CBR** – kontantní přenosová rychlost s vyhrazenou přenosovou kapacitou, vhodná především pro hlasové služby v reálném čase.
- **VBR** – proměnlivá přenosová rychlost, používaná u přenosů citlivých na čas, ovšem s proměnlivou vytížeností přenosové kapacity. Hodí se například pro komprimovaný přenos videa v reálném čase.
- **ABR** – přenos s dostupnou rychlostí, využíváný nárazově, typicky určité datové přenosy (například načítání www stránek)
- **UBR** – přenos s nespecifikovanou rychlostí, pro přenos velkého objemu dat, ovšem bez zpětné vazby.

2.1.5 Frame Relay

Frame Relay, neboli Přenos Rámců je v rámci sítí WAN hojně oblíbený především kvůli nízké ceně. Je jakýmsi nástupcem X.25 s vyššími přenosovými rychlostmi. Maximální přenosové rychlosti jsou až 45 Mbit/s. Síť podporuje většinu směrovacích protokolů třetí vrstvy (IP, IPX atd.). Vývoj specifikací má na starosti ANSI a ITU-T. V současné době jich je již více než 20. Tato technologie poskytuje síť s přepínáním paketů, která je k dispozici širokému spektru zákazníků. Je postavena na předpokladu, že zákazníci nebudou přenášet data všichni současně, ani trvale. Každému uživateli dává k dispozici určitou vyhrazenou šířku pásma, kterou lze ovšem až několikanásobně překročit, pokud jsou síťové prostředky zrovna k dispozici. Sítě typu Frame Relay fungují na principu virtuálních okruhů po pronajatých linkách a spojují tisíce zařízení. Je vytvořeno virtuální spojení mezi dvěma body skrze velkou sdílenou síťovou infrastrukturu.

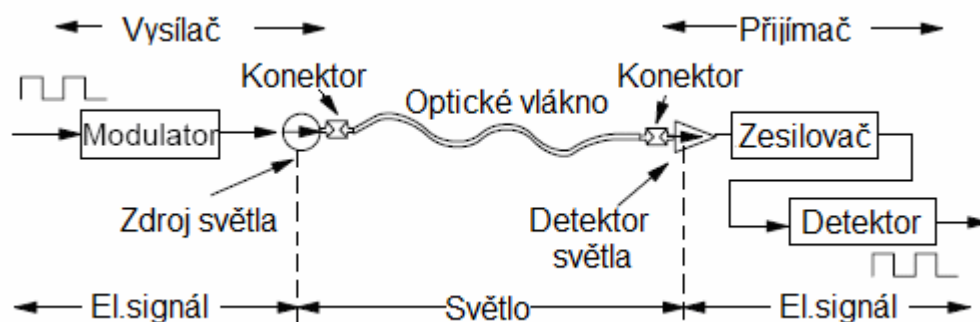
- Permanentní virtuální okruh (PVC) – se dnes používají nejčastěji, znamená to, že daný virtuální okruh je vytvořen a udržován dokud zákazník platí.
- Přepínaný virtuální okruh (SVC) – se tvoří pouze v případě požadavku na přenos dat a po skončení přenosu je zrušen. Dá se přirovnat k telefonímu hovoru [4] [5].

2.2 Optické sítě

Přesto, že první pokusy s optickými vlákny se konali již roku 1970 a tato technologie má za sebou již velký kus cesty, teprve v poslední době se začíná těšit širokému využití. V dnešní době to nejsou již jen páteřní sítě či podmořské kabely, kde se využívá nesporných výhod optických kabelů. Je jí např. fakt, že i jedním kabelem jsou schopna přenést velké množství dat, pro velké množství různých uživatelů. V případě, že bychom tyto uživatele chtěli obsloužit pomocí metalické sítě, každý z nich by se musel spokojit s menší přenosovou kapacitou. Poslední dobou se stále více rozšiřují technologie FTTx, které přibližují kvalitní služby jako jsou rychlý internet, IP telefonie či IPTV k širokému spektru zákazníků. Díky vysokým přenosovým kapacitám optických vláken a vysoké poptávce po výše zmíněných službách se poskytovatelům

internetového připojení (a samozřejmě i dalších služeb) vyplácí stavění nových optických tras do hustě zabydlených čtvrtí. V poslední době vývoj stále pokračuje s cílem co největšího snížení nákladů a zvýšení efektivity spojení. Proto jsou již vynalezena plastová optická vlákna, která by mohla více než dostatečně nahradit skleněná vlákna na krátké vzdálenosti, například v koncové síti pro přivedení optického signálu přímo do bytu z technických prostor budovy.

Pro přenos dat po optických vláknech se využívá vlnových délek mezi 0,5 – 1,6 μm . Tedy záření částečně z viditelného spektra a částečně z infračerveného. Velkou výhodou optického signálu oproti signálu elektrickému je fakt, že nositelem informace jsou v případě optických sítí fotony. Ty nemají žádný elektrický náboj, proto nevznikají žádné interference, přeslechy či rušení, jak je tomu u metalických sítí. Komunikace po optických kabelech je také velmi těžce odposlechnutelná [1].



Obr.2.6: Základní schéma optického spoje [7].

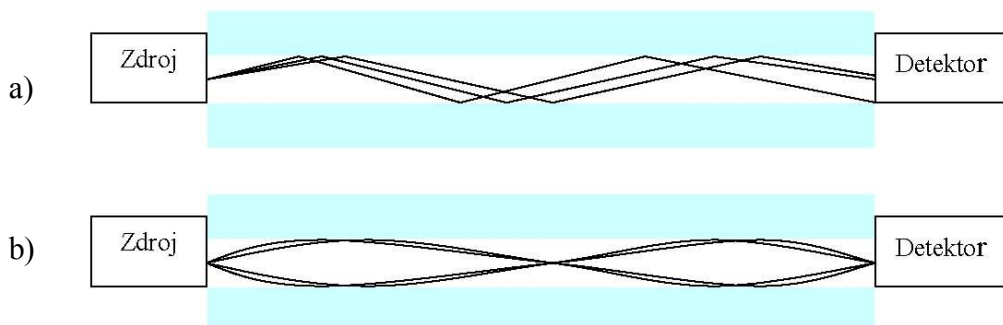
Na obr.2.6 je znázorněno základní schéma optického spoje. Je zde vidět, že ve vysílači se elektrický signál převádí (s co nejmenšími ztrátami) na signál světelný. Ten poté putuje skleněným optickým vláknem k příjemci, který jej opět převádí na signál elektrický.

2.2.1 Typy optických vláken

Optická vlákna se vyrábí z SiO_2 a dalších tzv. legovacích příměsí. Případně z perfluorovaných polymerů – POF vlákna Technologie výroby má zásadní vliv na požadované přenosové vlastnosti optického vlákna. Ty jsou mimo jiné závislé také na typu konstrukce, která je dobře patrná na obrázku 2.9.

Celkem rozeznáváme tři typy vláken.

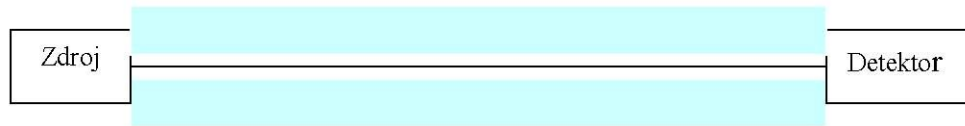
- **mnohovidová vlákna s konstantním indexem lomu jádra a skokovou změnou indexu lomu pláště** – Tzv. SI - step index, mají relativně malou přenosovou kapacitu, větší útlum a větší průměr jádra. Jsou ale jednoduché na výrobu. Šířka přenášeného pásma tímto optickým vláknem je 60MHz. Vzhledem k relativně širokému jádru vlákna dochází při šíření svazku paprsků k odrazům (viz.obrázek 2.7a), tzv. disperzi, kterou lze omezit právě pozvolnou změnou indexu lomu pláště (viz.obrázek 2.7b). Útlum vláken je okolo 5-20dB/km. Jako zdroje signálu se používají spíše LED diody, proto se hodí spíše na kratší vzdálenosti [11].



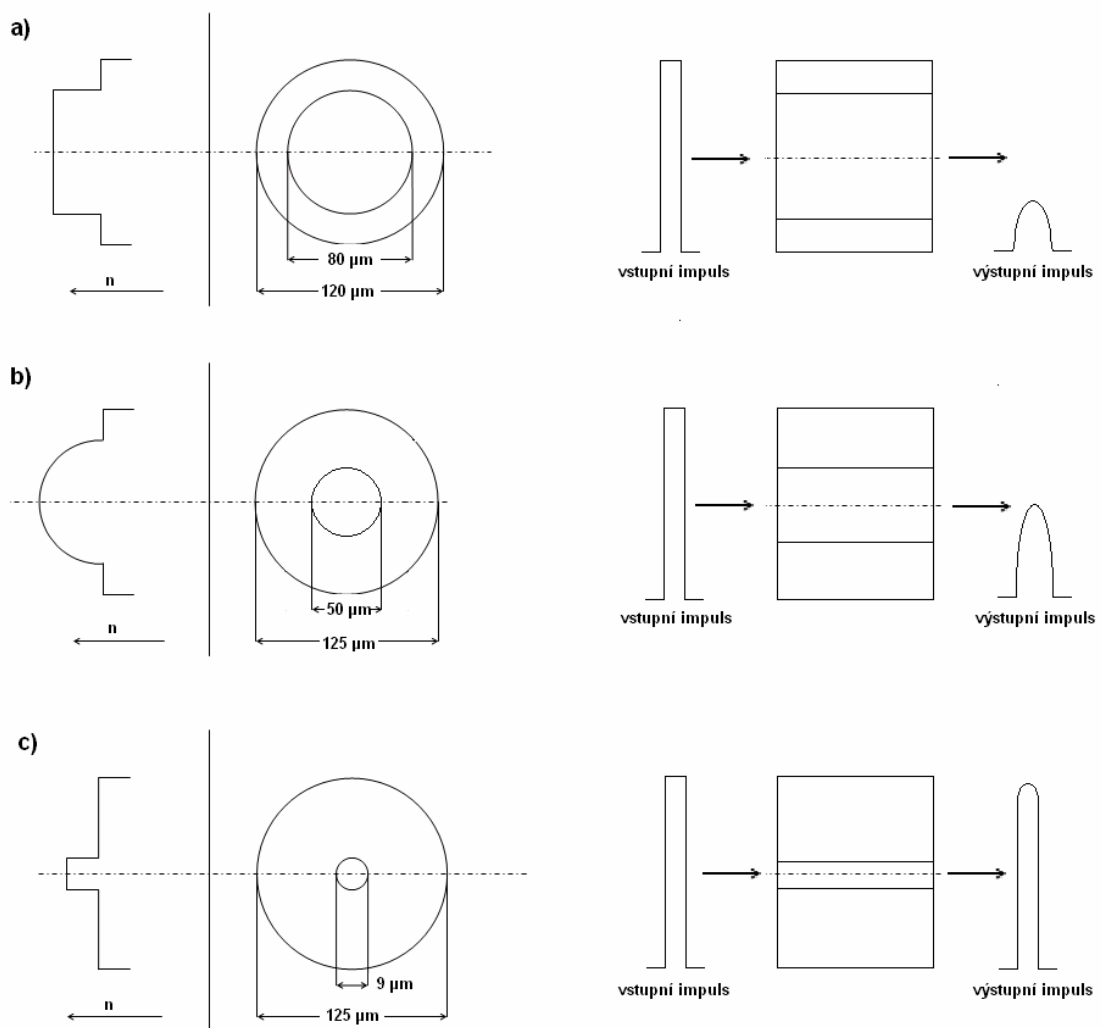
Obr.2.7: a) Průchod paprsků mohavidovým vláknem se skokovou změnou indexu lomu, b) Průchod paprsků gradientním mnohavidovým vláknem s postupnou změnou indexu lomu [7].

- **mnohovidová vlákna s proměnným indexem lomu vlákna** – neboli GI (gradium index), tedy mnohavidové gradientní vlákno. Nedochozí k ostrému lomu na rozhraní pláště a jádra, ale spíše k ohybu paprsků, protože se index lomu mění plynule. Útlum těchto vláken je kolem 2,5 – 5 dB/km a vyznačují se menší disperzí. Průměr jádra a pláště bývá 50/125 μm nebo 62,5/125 μm . Využívají se nejčastěji vlnové délky 850nm nebo 1310nm. Šířka přenášeného pásma tímto optickým vláknem je 600MHz. Hodí se spíše na kratší vzdálenosti cca do 2 km.
- **jednovidová vlákna s konstantním indexem lomu jádra** – jsou typické malým útlumem (0,2 – 0,35 dB/km) a velmi vysokou přenosovou kapacitou. Pro přenos

nejčastěji využívají vlnové délky 1310nm a 1550nm. Jako světelný zdroj se používá laser. Díky těmto vlastnostem se výborně hodí pro přenosy na dlouhé vzdálenosti. Jádro je velmi úzké, kolem 7-9 μm . Šířka pásma je 10 Ghz [11].



Obr.2.8: Průchod paprsku jednovidovým vláknem [7].

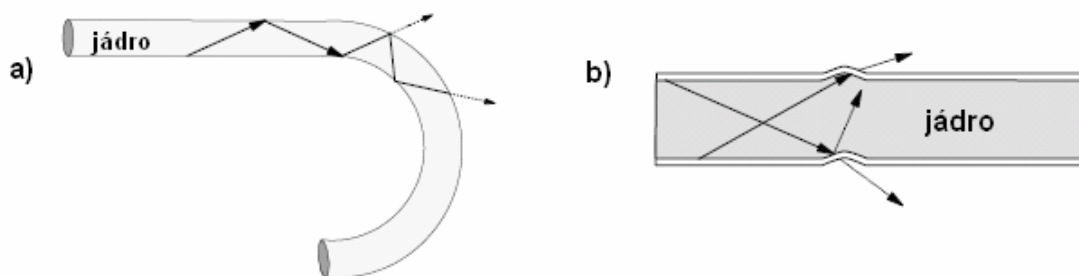


Obr.2.9: a) Mnohavidové vlákno se skokovou změnou indexu lomu b) Mnohavidové vlákno s proměnným indexem lomu c) Jednovidové vlákno se skokovou změnou indexem lomu [1].

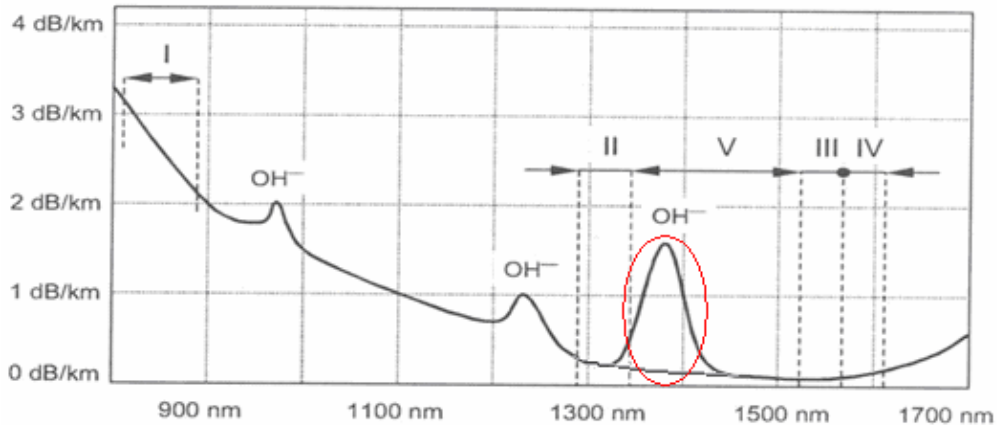
2.2.2 Útlum optických vláken

Je způsobován **ztrátami absorbcí**, z nichž se nejvýrazněji projevují ionty OH. Jejich rezonanční kmitočet leží až za vlnovou délkou využívanou k optickému přenosu (2,8 μ m, ovšem jeho druhá a třetí harmonická složka spadají do oblasti vlnových délek využívaných k optickému přenosu (1,38 μ m a 0,94 μ m). Snahou výzkumu je co nejvíce omezit vliv těchto iontů na útlum optických vláken. V současné době se již podařilo snížit tento negativní vliv mezi používanými vlnovými délkami 1300-1500 nm. Viz.obrázek 2.11 [1].

Vliv na útlum má také **vkládání spojů** (optických konektorů, případně svárů) na dané trase, kde je část paprsků vyzářena mimo spoj. Neblahý vliv má také přílišné **ohýbání optických kabelů**, kdy ve vlákně může dojít k dopadu na rozhraní jádra/pláště pod úhlem, který je větší než mezní úhel odrazu a část energie paprsku bude pohlcena pláštěm. Viz. obrázek 2.10a. Podobným důsledkem může způsobit i malá nerovnost na optickém vlákně, vzniklá například **vnějším působením** na optický kabel. Viz obrázek 2.10b.



Obr.2.10. a) Ztráty způsobené ohybem, b) ztráty způsobené nerovností jádra [7].



Obr.2.11. Útlumová charakteristika optických vláken [7].

Jednotlivé rozsahy vlnových délek používané pro přenos v optických kabelech se nazývají přenosová okna. (viz. obrázek 2.11). Celkem je definováno pět oken.

- I. okno (okolo 850nm) – v tomto okně je útlum optických vláken stále vysoký, proto se nehodí pro delší přenosy. Proto stačí levné zdroje záření jako jsou LED diody a použití tohoto okna nachází uplatnění v přístupových sítích.
- II. okno (1280 – 1335nm) – toto okno leží těsně za 2.harmonickou frekvencí rezonančního kmitočtu OH iontů. V tomto místě má již vlákno velmi nízký útlum, proto se hodí pro dálkové přenosy (většinou se používá vlnová délka 1310nm).
- III. okno (1530 – 1565nm) – v tomto okně má optické vlákno nejmenší možný útlum, využívá se pro dálkové přenosy. (většinou vlnová délka 1550nm).
- IV. okno (1565 – 1625nm) – útlumem se jen mírně liší od III. okna, někdy se při použití WDM spojuje III. a IV. okno, což prakticky zdvojnásobí přenosovou kapacitu.
- V. okno (1335 – 1530nm) – se začalo využívat až poté, co se podařilo eliminovat příměsi OH iontů (obrázek 2.11.) [1].






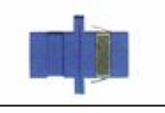




2.2.3 Spojování optických vláken

Při spojování optických vláken rozlišujeme, zda se jedná o spoj, který bude umístěn v zemi při dlouhém úseku optické trasy nebo v přístupové síti, např. u koncového směrovače. Tedy na spoje rozebíratelné (konektory) a nerozebíratelné (sváry).

Konektorování

Spojování vláken pomocí konektorů se využívá hlavně v ústřednách, k propojení jednotlivých aktivních prvků, případně k připojení koncových zařízení. Důležitou hodnotou u konektorů je jimi vložený útlum IL (Insertion Loss), který se dnes již pohybuje kolem hodnoty 0,2dB a také útlum odrazu RL (Return Loss), který se dle úhlu zabroušení vlákna pohybuje mezi 50-70 dB. Konektory jsou ještě děleny na PC a APC. PC je označení kolmého zalomení vlákna, APC označuje zalomení vlákna pod určitým úhlem, čímž se případné odrazy na rozhraní konektorů odrážejí mimo vlákno.

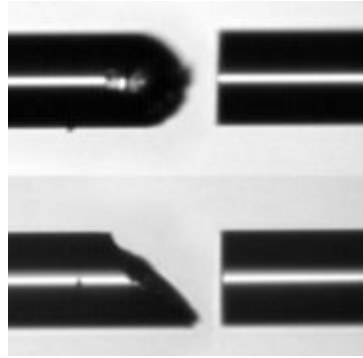
Tab.2.2: Druhy konektorů v optických sítích

Typ	SC	LC	FC	ST	E2000
Samec					
Samice					

Svařování optických vláken

Pro ideální svár s minimálním útlumem je třeba dodržet tyto požadavky:

- svařená vlákna musí být co nejpřesněji kolmo zalomená
- čela vláken a nejbližší okolí sváru musí být perfektně očištěna
- jádra vláken musí mít stejný průměr a být co nejpřesněji ve středu vlákna
- vlákna musí být vůči sobě v co nejpřesnější poloze a v pro svár ideální vzdálenosti
- musí být dodržena optimální teplota a doba svařování



Obr.2.12: Zalomení vlákna ručně (vlevo) a na zalamovačce (vpravo)

Perfektní svár vykazuje útlum maximálně 0,10 dB. Ovšem je velmi náchylný k poškození, jak k mechanickému, tak vlivem působení povětrnostních podmínek. Proto se svár většinou vkládá do kazet, ve kterých je kabel také zajištěn, aby nedocházelo k mechanickému namáhání sváru.

2.2.3 Typy sítí využívajících optického vlákna

FDDI (Fiber distributed data interface) - Tato síť vyvinutá ANSI v 80. letech minulého století pod označením ISO 9314, je síť s kruhovou topologií, využívající jako médium optického vlákna (případně i metalického vedení). Síť se skládá ze dvou „kruhů“ z nichž jeden slouží jako záložní. Původně se využívala převážně v sítích MAN i díky tomu že dosahovala přenosových rychlostí 100Mbit/s, které se v té době Ethernet nemohl rovnat. Ovšem jak šel vývoj dopředu, Ethernet v těchto ohledech danou technologii dá se říci převálcoval a v dnešní době se již tolik nevyužívá.

LON (Local optical network) – na lokální optické sítě v dnešní době také již moc nenarazíme. Nevýhodou, která jim hodně zabránila v hromadnějším používání je cena. Technologie Ethernetu se rozšířila natolik, že pořizovací náklady optických síťových prvků jsou daleko vyšší, než u Ethernetu. I co se týče přenosových rychlostí je dnešní Ethernet v řádech Gb/s více než dostačující.

2.2.4 Přístupové sítě FTTx

V souvislosti s optickými přístupovými sítěmi je nutné se zmínit o využívaných zařízeních pro zprostředkování přenosu. Tato zařízení se dají rozdělit na aktivní a pasivní. Pro oddělení páteřní a přístupové sítě se využívá optické linkové zakončení OLT. Ukončení optické sítě na straně uživatele je realizováno pomocí optických ukončovacích jednotek ONU a optických ukončovacích terminálů ONT. ONT se využívá v souvislosti se sítěmi FTTH, kdy je ukončení optické sítě až v domě či bytě uživatele. ONT převádí optický signál na elektrický a slouží k připojení počítače, televize i telefonu. V závislosti na sjednaných službách může být představován jako media konvertor (v případě zájmu pouze o internet), nebo jako tzv. „home gateway“ která již podporuje služby typu tripple play (internet + TV + telefon). OLT se využívá v sítích FTTB, kde rovněž dochází k převodu optického signálu na elektrický. Odtud pak již v podobě metalického vedení je přivedena síť do každého bytu. Použitým zařízením může být například přepínač jak s rozhraním Ethernetu tak media konvertorem pro převod optického signálu na metalický.

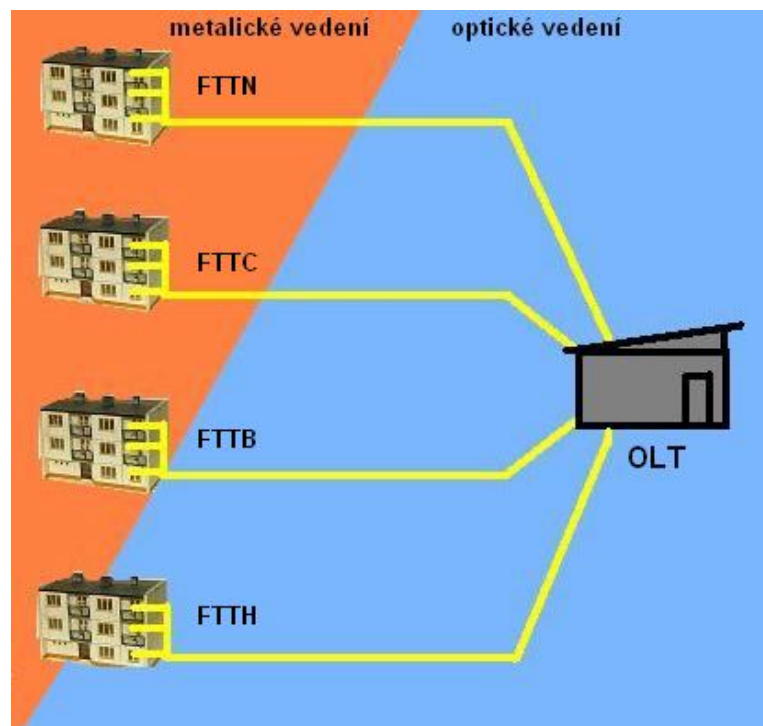
Pro přenos informací se v přístupových sítích využívá buď jedno nebo dvě vlákna, v závislosti na režimu přenosu.

- Simplexní přenos s SDM (Space Division Multiplex) – pro přenos se využívají dvě optická vlákna, každé pro jeden směr.
- Duplexní přenos s WDM (Wave Division Multiplex) – přenos je realizován po jednom optickém vlákně. Download využívá vlnovou délku 1550nm a upload 1310nm.
- Duplexní přenos s FDM (Frequency Division Multiplex) – přenos je realizován přes jedno vlákno, na jedné vlnové délce, ale upload a download probíhají na různých kmitočtech.

Sítě FTTx (Fiber To The X) jsou v současné době na vzestupu a jsou dominantou optických přístupových sítí. Obecně je snahou přiblížit optické vlákno co nejbližší ke koncovému zákazníkovi. Technologie FTTx se rozdělují právě podle toho, jak daleko od zákazníka bývá zakončení optického vlákna do následujících kategorií:

- **FTTN** (Fiber To The Node) – optický kabel je přiveden do venkovní šachty, ležící od účastníka ve vzdálenosti maximálně v jednotkách kilometrů.

- **FTTC** (Fiber To The Curb/cabinet) – optické vlákno je přivedeno do vnější šachty, případně kabinetu ve vzdálenosti ne větší než 300m od účastníka.
- **FTTB** (Fiber To The Building) – zakončení optického kabelu je většinou uvnitř budovy, v suterénu či jiných společných prostorách budovy.
- **FTTH** (Fiber To The Home) – ukončení optického kabelu v domě účastníka
- **FTTP** (Fiber To The Premises) – jedná se o společné označení technologií FTTH a FTTB, v případě že se jedná jak o domy, byty i malé podniky s použitím těchto technologií.



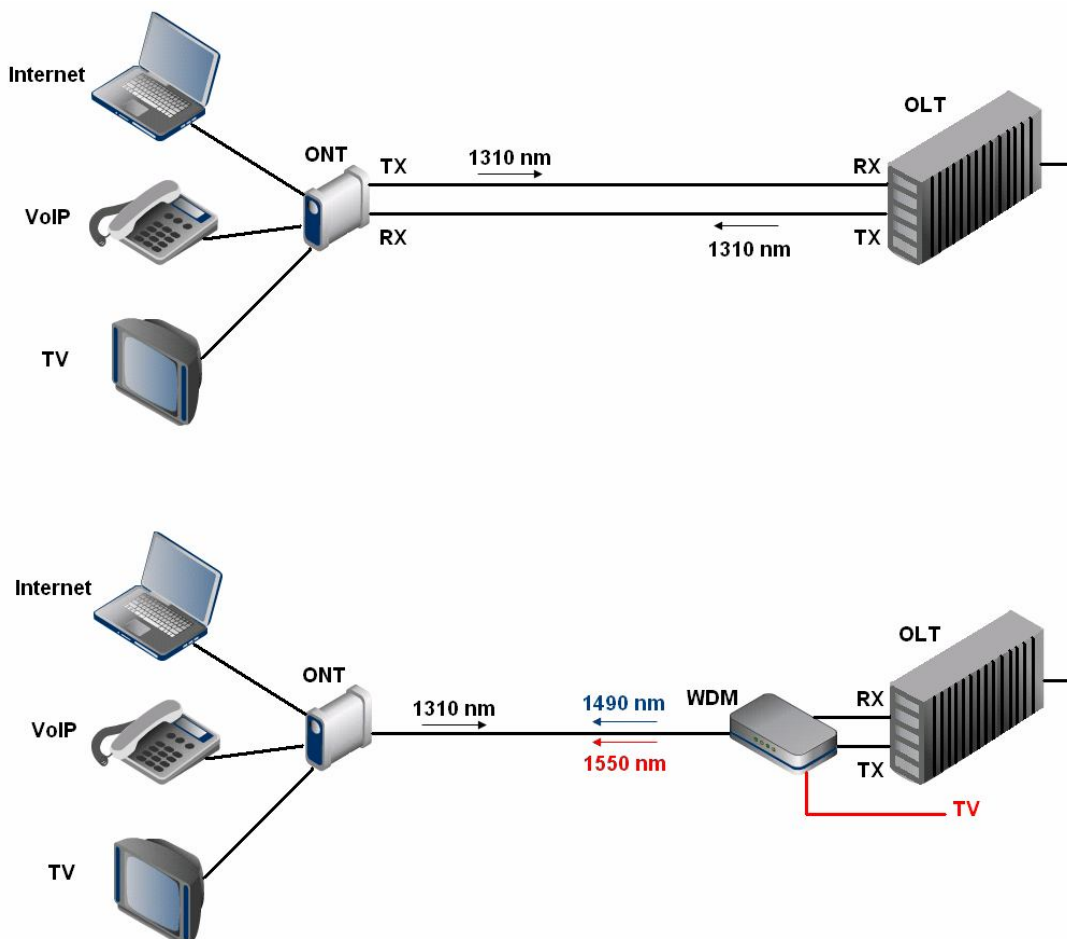
Obr.2.13: Rozdělení FTTx dle zakončení optického vedení [23].

Je tedy zřejmé, že s rostoucí poptávkou po vysokých přenosových rychlostech roste také snaha přiblížit optické vlákno k uživateli co nejbližší. Ve výše zmíněných sítích FTTx se pro připojení uživatele hojně využívá tzv. hybridní řešení mezi optickým a metalickým vedením. Dnešní sítě Ethernet s rychlostmi 1Gb/s jsou k tomu více než dostačující, ale hlavním faktorem je především cena.

2.2.5 Topologie optických přístupových sítí

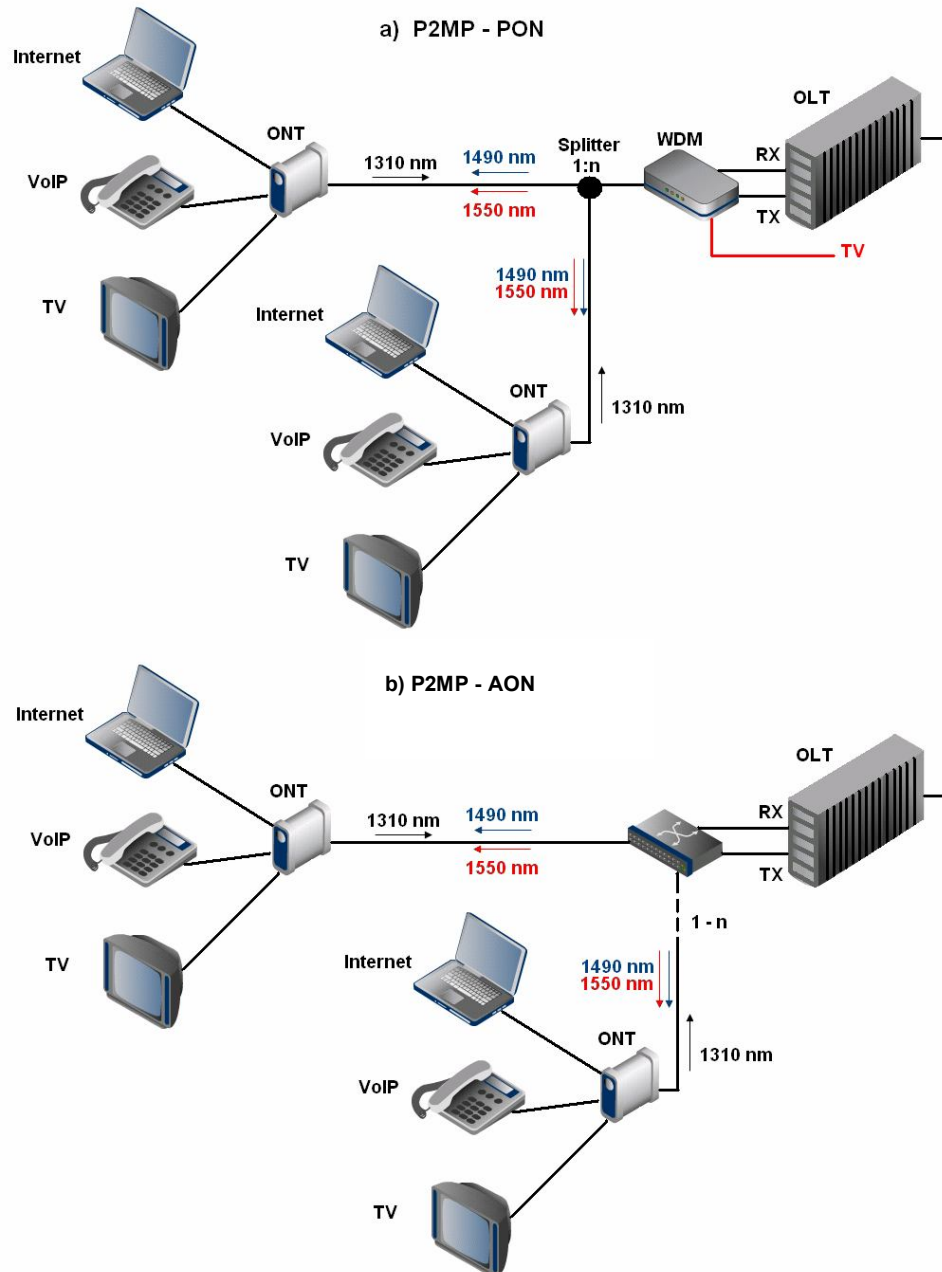
V optických přístupových sítích se využívá několik různých topologií. Ovšem vzhledem k pořizovacím cenám jednotlivých řešení se některá uplatňují více a některá téměř vůbec.

- **Topologie P2P (Bod – Bod)** – jedná se nejjednodušší topologii, co do složitosti tak vzhledem k nulové potřebě aktivních či pasivních síťových prvků. Ke každému účastníkovi je přímo natažen pár vlastních optických vláken pro plně duplexní přenos, případně za použití multiplexoru po jednom vlákne s rozdílnými vlnovými délkami pro upstream, downstream, případně TV viz. obrázek 2.14.



Obr.2.14: Topologie Point to Point

- Topologie P2MP (Bod – Multibod)** – jak již název napovídá, jedná se o síť, kdy se z jednoho bodu (OLT) data distribují k více uživatelům. Pro rozdělení signálu se používají buď pasivní odbočnice – tzv. Splittery, které mohou mít různý dělicí poměr (až 1:128) nebo aktivní prvky, například optický switch. V závislosti na tom, jaký využívají dělicí prvek, se dají sítě dále dělit na pasivní – PON, nebo aktivní – AON.



Obr.2.15: Topologie Point to Multipoint: a) PON b) AON

2.2.6 Pasivní optické sítě – PON

Pasivní sítě jsou hojně využívány, hlavně proto, že pro připojení např. satelitního městečka stačí jedno optické vlákno. Další výhodou je fakt, že pasivní prvky nepotřebují žádné napájení a mohou být proto uloženy např. ve venkovním kabinetu, nebo kdekoli jinde na trase, kde je to zapotřebí. V současné době rozlišujeme pět druhů pasivních optických sítí. U všech pasivních sítí se uživatelům přenosová kapacita dělí pomocí TDM (časového multiplexu)

- **APON (ATM based PON)** – specifikovaná standardem ITU-T G.983.1, využívá pro přenos ATM buněk. Maximální přenosové rychlosti jsou 155,52 Mbit/s pro upstream i downstream u symetrické APON a 155,52 Mbit/s pro upstream a 622,08 Mbit/s pro downstream u nesymetrické APON.
- **BPON (Broadband PON)** – je rozšířením stávající APON, specifikována standardem ITU-T G.983.3, která umožňuje symetrické rozdělení rychlostí pro upstream i downstream 622,08 Mbit/s. Pořizovací ceny sítí BPON výrazně klesly při jejich velkém rozšíření a jsou tak zajímavou možností volby pro menší poskytovatele služeb.
- **GPON (Gigabit Capable PON)** – vychází z výše zmíněných standardů a je specifikována v ITU-T G.984.1. Rovněž využívá pro přenos buňky ATM případně rámce typu GEM s proměnnou délkou, čímž se liší od rámců ATM. Díky tomu velmi efektivně přenáší nejen Ethernetová data, ale také hlasové služby, služby ATM s vysokou bezpečností a zajištěnou kvalitou služeb. Maximální přenosové rychlosti jsou 1244,16 Mbit/s nebo 2488,32 Mbit/s pro upstream i downstream u symetrické GPON a 155,52 Mbit/s, 622,08 Mbit/s a 1244,16 Mbit/s pro upstream a rovněž 1244,16 Mbit/s nebo 2488,32 Mbit/s pro downstream u nesymetrické GPON. Maximální dosah je 20km a maximální dělicí poměr je až 1:64. Pro každého účastníka tedy lze vyhradit přenosovou rychlost až cca 39 Mbit/s. V porovnání s BPON i EPON tedy umožňuje vyšší přenosovou kapacitu pro větší počet účastníků, což podstatně snižuje náklady a jedná se tedy pro poskytovatele služeb o nejlepší investici.
- **EPON (Ethernet Based PON)** – specifikován v IEEE 802.3ah. Cílem dané technologie je co nejjednodušší navazování optických sítí na síť ethernetové. Pro přenos využívá Ethernetové rámce s délkou 2ms. Je designován pro

mnohabodovou síť (Tree, jak je u Ethernetu typické). Jsou specifikovány dva různé typy rozhraní. Jeden pro kratší vzdálenosti – 1000Base-PX10 s maximálním poměrem rozbočení 1:16 a dosahem 10km a druhý pro vzdálenosti až 20km, s maximálním rozbočením 1:32 - 1000Base-PX20. Maximální přenosové rychlosti jsou 1244,16 Mbit/s. Pro downstream využívá vlnové délky 1490 nm, pro upstream 1310nm a pro distribuci TV je využívána vlnová délka 1550 nm. I přesto, že dosahuje menších přenosových kapacit než GPON, je v současné době EPON nejrozšířenější. Ovšem do budoucna se počítá, že jej sítě GPON předejdou v tomto prvenství.

- **10G-PON** - je rozšířením standardu GPON, definován jako IEEE 802.3av. Navyšuje přenosové kapacity z 1 Gbit/s na 10 Gbit/s. Pro downstream se využívá přenosové rychlosti 10,3125 Gbit/s a vlnové délky 1575-1580 nm a pro upstream buď 1 Gbit/s na vlnové délce 1260-1360 nm nebo také 10,3125 Gbit/s na vln.délce 1260-1280 nm. Maximální rozbočení je 1:64, na maximální délku 20km za použití zesilovače. Standard je zpětně kompatibilní se standardem GPON, ovšem při současném použití obou standardů je třeba využít OLT, podporující oba standardy současně [11] [18] [22].

2.2.7 Aktivní optické sítě – AON

Strukturou se AON příliš neliší od PON, pouze s těmi rozdíly, že využívá aktivní optické prvky sítě Ethernet, které umožňují vzdálenou správu a agregaci. V AON sítích se přenosová šířka pásma nedělí mezi jednotlivé uživatele, ale využívá se vyhrazený obousměrný kanál pro každého z uživatelů. Někdy se proto také sítě AON nazývají jako Point to point. Maximální dosažitelné vzdálenosti jsou oproti cca 20 km u PON několikanásobně větší, lze dosahovat až na 80km (dle celkového počtu uživatelů). Ten je limitován jen počtem použití optických switchů, nikoli maximálním dělicím poměrem splitteru jak je tomu v případě sítí PON [1] [22].

3. Síťové prvky využívané v optických sítích

V optických sítích se využívá mnoho různých prvků, ať již to jsou prvky aktivní, nebo pasivní, vždy pracují výhradně s optickými vlákny, případně se může jednat o hybridní zařízení, která obsahují jak optické, tak metalické rozhraní. V případě aktivních optických sítí nalezneme prvky, které jsou běžně používané v Ethernetu. Jak optické routery, tak optické switche jsou velmi používané.

3.1 Optický rozbočovač – splitter

Splittery, nebo také někdy optické odbočnice jsou zařízení, umožňující rozdělení optického vlákna pro větší počet účastníků. Dělicí poměr je 1:2 až 1:128. Je jasné, že každé rozbočení vkládá na optickou trasu určitý útlum – viz.Tab.3.1.

Tab.3.1: Útlum vložený splitterem NWC PLC 1260-1650nm, 1x64

Poměr rozbočení	1:2	1:4	1:8	1:16	1:32	1:64
Vložený útlum[dB]	3,7	7,2	10,7	13,9	17,2	22,0

Splitter samozřejmě kromě rozbočování signálu umožňuje také jeho zpětně slučování. Jedná se o pasivní optický prvek, který rozbočuje či slučuje signál bez potřeby elektrické energie. Splittery jsou většinou uzpůsobeny pro práci s určitým rozsahem vlnových délek. Například výše zmíněný NWC 1x64 PLC splitter pracuje v rozsahu vlnových délek 1260-1650nm. Splitterů lze na trase použít libovolné množství, ovšem pouze v závislosti na vkládaném útlumu. Je třeba dodržovat standardy ITU-T pro zajištění kvality přenosu. Využívají se dva způsoby výroby splitterů.

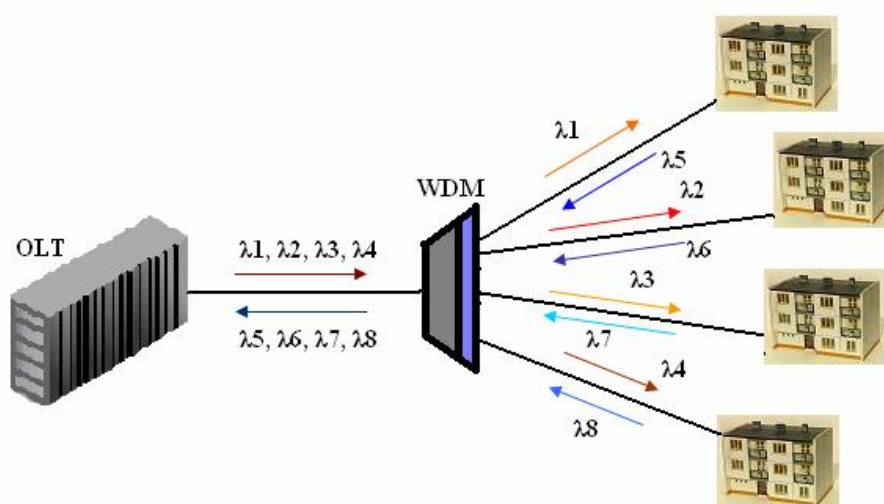
- PLC (Planar Lightwave Circuit) – využívaný hlavně při výrobě splitterů s vyšším dělicím poměrem (až do hodnoty 1:128)
- FBT (Fused Bionic Taper) – tato technologie výroby se využívá při výrobě splitterů s menším dělicím poměrem, využívá se vysokého tlaku a teploty, kdy se jednotlivá vlákna nataví do sebe [11].



Obr.3.1: Optický splitter 1x4

3.2 WDM – Wave Division Multiplexer

Tato zařízení byla vyvinuta převážně pro zefektivnění přenosů po jednom optickém vlákne pro větší množství účastníků. Využívají vlnového dělení – WDM (Wavelength Division Multiplex). Tedy umožňují na jednom vláknu přenášet data od různých uživatelů díky tomu, že každý z uživatelů má k dispozici jinou vlnovou délku (jedna pro download a druhá pro upload). Formát dat zde nehraje roli, proto je možné tímto způsobem přenášet různé typy paketů (Ethernet, ATM atd). WDM Multiplexer se skládá z vlastního vlnového multiplexoru – OADM (Optical Add/Drop Multiplexer), optického zesilovače – OAMP (Optical Amplifier) a optického přepínače - OXC (Optical Cross Connect).



Obr.3.2: Technologie WDM [23]

Dnes se používají dva druhy WDM:

- **CWDM (Coarse Wave Division Multiplexing)** – které jsou levnější a využívají se pouze v příspupových sítích, případně v podnikových sítích ve dvoubodových spojích, případně kruhových spojích s maximálně čtyřmi uzly. CWDM může přenášet Gigabitový Ethernet až na vzdálenost 80 km. Na jedné vlnové délce lze přenášet rychlostí až 2,5 Gbit/s. Jako zdroj se využívá DFB laser (Distributed Feedback Laser) a dle doporučení ITU-T G.694.2 je definováno 18 vlnových délek pro jednovláknová vlákna ze spektra 1270-1610 nm, přičemž vzdálenost mezi jednotlivými kanály je 20 nm.
- **DWDM (Dense Wave Division Multiplexing)** – tzv. hustý multiplexing, využívá menší mezeru mezi jednotlivými vlnovými délkami (0,4 – 0,8 nm) takže lze jedním vláknem přenést větší počet kanálů. Aby toho bylo možné dosáhnout, používají kvalitnější chlazené DFB lasery. Tato zařízení jsou však mnohonásobně dražší než u CWDM. Hlavní rozdíly mezi CWDM a DWDM jsou patrné v tabulce 3.2 [4].

Tab.3.2: Porovnání technologií WDM

Aplikace/parametr	CWDM – metropolitní přístup	DWDM – metropolitní, regionální síť	DWDM – dálkové spoje
Kanály a vlákno	4–16	32–80	80–160
Použité spektrum	pásma O,E,S,C,L	pásma C,L	pásma C,L,S
Vzdálenost mezi kanály	20 nm (2500 GHz)	0,8 nm (100 GHz)	0,4 nm (50 GHz)
Kapacita vlnové délky	1,5 Gbit/s	10 Gbit/s	10–40 Gbit/s
Kapacita vlákna	20–40 Gbit/s	100–1000 Gbit/s	Tbit/s
Typ laseru	nechlazený DFB (Distributed-Feedback Laser)	chlazený DFB	chlazený DFB
Dosah	do 50–80 km	stovky km	tisíce km
Optický zesilovač	žádný	EDFA (Erbium-Doped Fibre Amplifier)	EDFA, Raman

3.3 Media konvertory

Jedná se o prvky sítě, jak už jejich název napovídá, které tvoří rozhraní mezi optickou sítí a sítí metalickou. Dosah optického spoje za použití media konvertorů závisí na typu media konvertoru. Jednotlivé druhy se liší hlavně v typu vysílačích a přijímacích prvků, zda je použita LED dioda či laser. Dalším rozdílem je použití optického vlákna. Media konvertory používají k přenosu jak mnohovidová vlákna, tak jednovidová vlákna. Připojení optického vlákna je prováděno duplexními konektory ST a SC a nebo Bi-Directional single konektory pro obousměrný provoz. Dražší media konvertory, pracující s jednovidovými vlákny, v sobě obsahují i vlnový multiplexor CWDM, aby bylo možné po jednom vláknu data jak přijímat, tak i odesílat. Při použití multividového vlákna je jejich dosah v řádu jednotek kilometrů, při jednovidovém vláknu v řádu desítek kilometrů (některé až na vzdálenost 120km). Jednotlivé typy také mohou mít různé rozsahy pracovních teplot. Dle standardů IEEE 802.3u lze z optického vlákna konvertovat na 10/100 Mbit/s Ethernet a dle IEEE 802.3z i na Gigabit Ethernet.

Media konvertory mohou mít mnoho podob. Buď jako samostatné síťové zařízení, jako PC Card media convertor, které se instaluje přímo do PC, případně serveru a nepotřebují tak žádné další externí napájení, případně mediakonvertory s SFP slotem pro připojení libovolného SFP zásuvného modulu, nebo jako samostatné moduly pro montáž do šasi.



Obr.3.3: Jednotlivé typy media konvertorů

Většina media konvertorů mají funkci plug and play a inteligentní technologii pro automatickou detekci rychlosti sítě - Autonegotiation (např mezi Ethernetem 10/100/1000 Mbit/s). Některé z nich umožňují automatický test linky, obsahují vestavěný management pro správu linky a vzdálený dohled. Ovšem to se týká již těch

nejlepších modelů, jejichž cena je i 10x vyšší než u klasických základních modelů, které tyto funkce postrádají. Například *Tenda TER860S Media Konvertor 10/100Base-TX na 100Base-FX SC, Singlemode* s dosahem 20km při použití jednovidového vlákna se dá pořídit za maloobchodní cenu cca 750 Kč, naproti tomu *Signamax management media konvertor 10/100BaseT / 100BaseFX SC SM*, který již obsahuje L2 management se dá pořídit za maloobchodní cenu 8000 Kč.

Existují také media konvertory, které slouží k převodu optického mnohovidového signálu na optický jednovidový. Toto řešení je vhodné v případě, že je třeba spojit mnohovidové síť LAN na velkou vzdálenost, tedy za pomoci jednovidového vlákna. Dále existují i media konvertory se sériovým rozhraním, které slouží k prodloužení sériové linky o jednotky kilometrů.

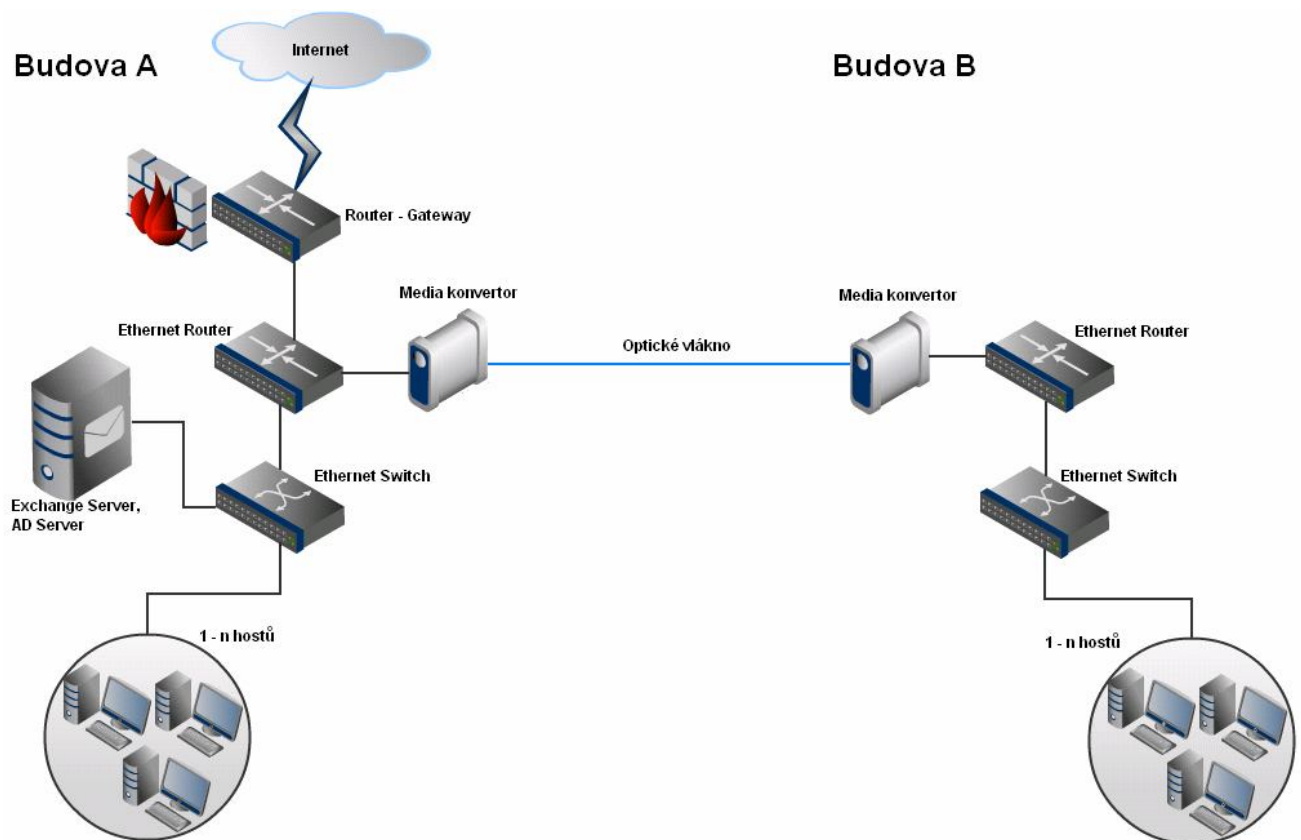
3.4 Domácí Gateway

Jedná se o koncová zařízení pro kompletní řešení v přístupových sítích FTTH. Gateway v sobě kombinují media konvertor s víceportovým ethernetovým switchem a SIP telefonní bránou. Proto je možné při přivedení optického vlákna až do bytu poskytnout uživateli vysokorychlostní internet, VoIP i například IPTV. Domácí brány obsahují kompletní management pro nastavení vnitřní sítě. Jsou vyráběny jak pro síť PON, tak pro síť AON. V případě AON sítě je zajištěn i vzdálený dohled nad domácí branou, v případě sítě PON je k dispozici pouze lokální management. Samozřejmě lze nastavit co má na kterém portu fungovat, kde bude připojen PC k internetu a kde bude příjem IPTV. Některé brány jsou dokonce vybaveny RF konektorem pro přímé připojení televize bez potřeby Set-top boxu. Příjem televize lze samozřejmě řešit i přes Ethernetový port a odpovídající Set-top box, proto lze samozřejmě připojit i více než jen jednu televizi. Kvalitnější gatewaye mají i funkci „bridge módu“ díky které je možné nastavit port určený pro příjem IPTV tak, že multicast IPTV stream nezatěžuje vnitřní router. To má za následek plynulé přepínání programů bez vzniku tzv. „kostičkování“. Nutno však podotknout, že množství televizí je limitováno šířkou pásma, kterou má uživatel k dispozici. Vysílání ve vysokém rozlišení má požadavek na šířku pásma cca 20 Mbit/s, tedy ve chvíli, kdy budeme mít připojeny doma 3 televize, určitě budeme

4. Media konvertory a optické switche v přístupových sítích

4.1 Síť s využitím media konvertorů

Máme modelovou situaci, kdy bude nutné například spojit do jedné sítě dvě či více budov jedné firmy, které jsou od sebe vzdáleny přes park více než 150 metrů. V této chvíli sice lze využít ethernetovskou kroucenou dvoulinku, za použití např. 2BASE-TL-O/R (Long haul, Central Office/Remote unit) dosahující rychlosti 5,7 Mbit/s až na vzdálenost 2,7 km, což ale neuspokojí dnešní nároky na přenosovou kapacitu. Nejrozumnějším řešením je v této chvíli použití media konvertorů a optického vlákna. Pro vzdálenosti do 2km lze efektivně využít mnohovidové gradientní vlákno, což ušetří vstupní investice, oproti použití vlákna jednovidového. V případě, že by se jednalo o více než dvě budovy, lze použít za každý z media konvertorů na straně optické sítě pasivní optickou odbočnici s dělicím poměrem 1:x a vytvořit tak plně propojenou mřížkovou topologii. Samozřejmě pokud bude budov více než například tři nebo čtyři, nebude už spojení tak efektivní a je lepší využít optickým switch.

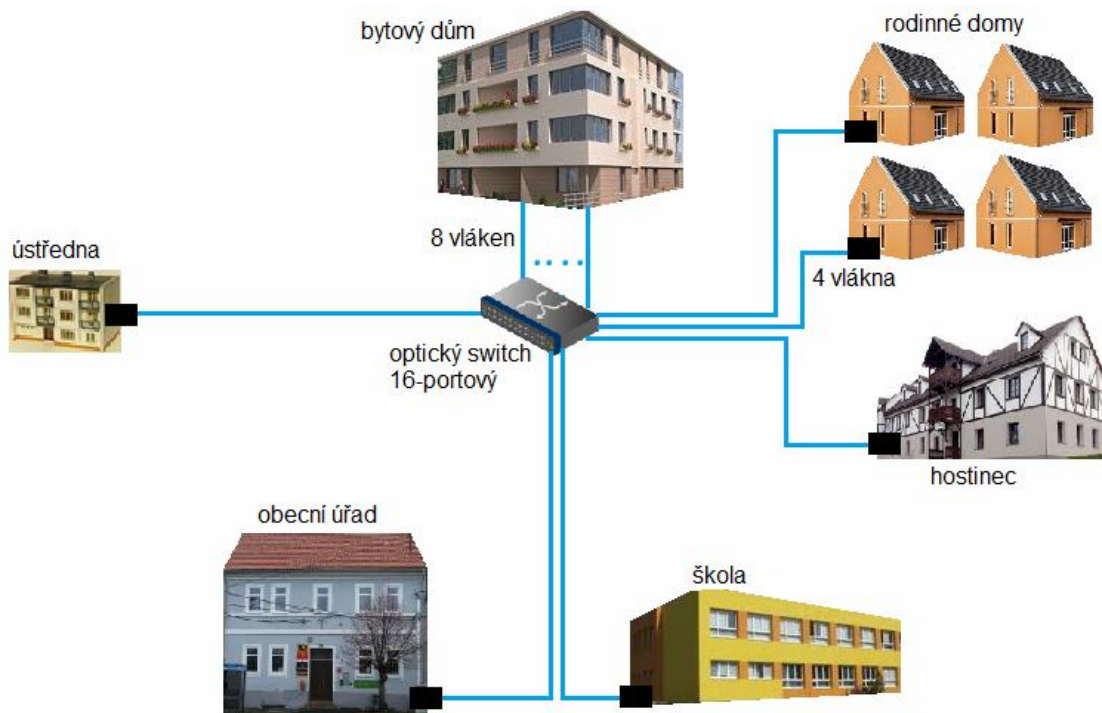


Obr.4.1: Síť s využitím media konvertorů

Další využití media konvertorů najdeme například ve chvíli, kdy si uživatel, zřizuje připojení k internetu. V případě, že se jedná o FTTH, kdy je až přímo do bytu taženo optické vlákno, media konvertor je tím pravým řešením pro připojení k internetu.

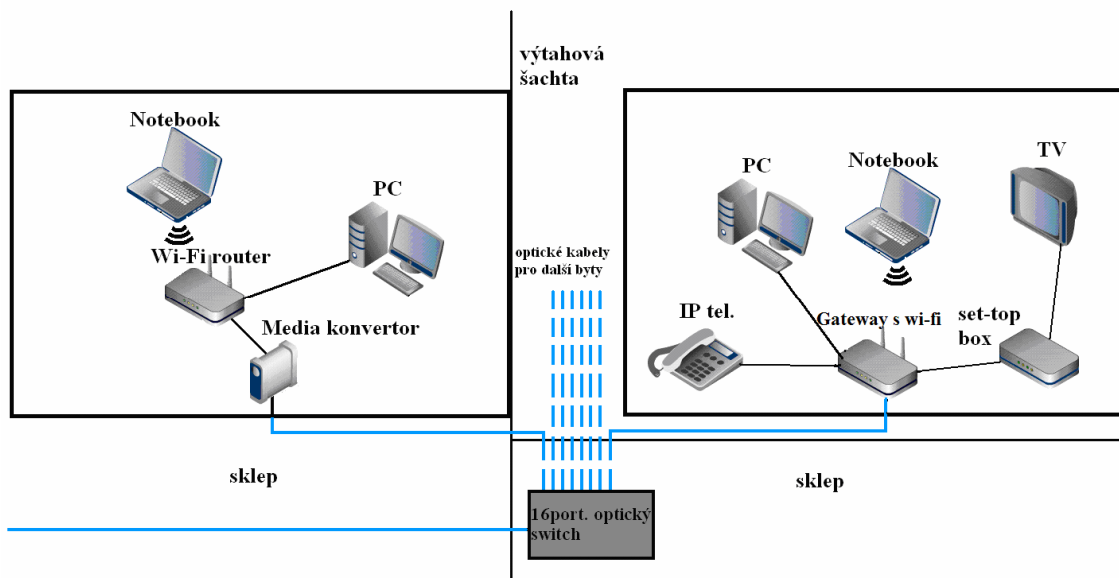
4.2 Síť s využitím optických switchů

Využití optických switchů je široké. V přístupových sítích se s nimi můžeme setkat například v případě, že ISP zprostředkovává připojení většímu počtu náročnějších uživatelů. Pokud domácnost provozuje například dvě či více televizí a využívá k tomu službu IPTV nebo pokud má uživatel vysoké požadavky na přenosové kapacity internetového připojení, nebude již domácnosti stačit rychlost připojení např. 30 Mbit/s (za předpokladu že ISP má 1Gbps linku, obsluhuje 32 domácností a využívá k tomu splitter 1:32). V případě větší přístupové sítě se díky nízkým cenám více vyplatí využívat síť obsahující optické switche. Hlavně díky jejich velké výhodě, kterou je jejich kaskádovatelnost a vzdálená správa a vzdálený dohled. U některých typů lze přistupovat i ke skupině až 30 switchů jako k jednomu, přes jednu IP adresu. Pro lepší přiblížení mějme malé městečko, které chceme připojit k optické síti pomocí optického switche. Nachází se zde panelový dům s 8 byty, několik domů, hostinec, školu a městský úřad. Někteří uživatelé mají zájem o tripple play, někteří pouze o vysokorychlostní internetové připojení. Bude použit 16ti portový optický switch, umístěný v suterénu bytového domu. Odtud budou data rozvedena gradientními optickými vlákny do jednotlivých bytů i do dalších budov, které jsou v maximální vzdálenosti několika stovek metrů. Popsaná topologie je znázorněna na obrázku 4.2.



Obr.4.2: Topologie s využitím optického switche.

Některé z domácností mají zájem pouze o internetové připojení, jiné o služby typu Tripple play, s IPTV v HD rozlišení, vysokorychlostní připojení k internetu i hlasové služby VoIP. V případě služeb Tripple play je do každé domácnosti instalována domácí Gateway, v domácnostech využívajících pouze internet je využito k převodu z optické do metalické sítě media konvertoru. Popsaná situace viz. obrázek 4.3.



Obr.4.3: Domácnosti využívající služeb tripple play a internetu

5. Měření příkonu síťových prvků

Pro měření příkonu jednotlivých síťových zařízení byl použit měřič spotřeby FK6300 od firmy FKtechnics. Přístroj má mnoho funkcí, kromě přímého měření příkonu daného zařízení lze sledovat i aktuální a maximální hodnoty protékajícího proudu, aktuální i maximální hodnoty napětí, umožňuje počítat celkovou dobu čerpání energie, celkovou spotřebu elektrické energie v kWh a po nastavení ceny za jednotku také celkovou cenu spotřebované energie. Ovšem vzhledem k nízkým měřeným hodnotám příkonu síťových prvků, nelze žádnou z těchto dodatečných funkcí využít. Jednotlivé hodnoty budou ručně dopočítány z naměřených hodnot.



Obr.5.1: Měřič spotřeby FK6300

Tab.5.1: Technické údaje o FK6300

Funkce	Rozsah měření	Přesnost měření	
		Mez odchylky	Maximální odchylka (%)
Voltmetr	230±15 V _{rms}	0.20%	1%
Ampérmetr	0.00~Arms	0.30%	1%
Wattmetr	0~3750 Watt	0.50%	2%
Voltampér	0~3750 VA	0.50%	2%
Rozsah frekvence	47.0~63.0 Hz	± 0.1 Hz	2%
Měření kWh	0.00~9999	0.50%	2%
kWh Time	00:00~9999	30 ppm	

5.1 Přehled měřených zařízení

K dispozici pro měření bylo poskytnuto několik switchů různých výrobců, dva media konvertory a čtyři optické SFP moduly. Na propojení jednotlivých síťových prvků byly použity různé typy patchcordů (LC-LC/PC, SC-LC/PC a SC-SC/PC), všechny singlemode 9/125.

5.1.1 Media konvertory TP-Link MC 111CS a TP-Link MC 112CS

- podporují standardy 802.3u 10/100Base-TX a 100Base-FX
- jsou určeny pro použití single-mode optického vlákna s konektorem SC
- využívají technologii WDM (tzv. single fiber), TX a RX na různých vlnových délkách (1310 a 1550 nm)
- mají pokročilé funkce AutoCross a Auto-Negotiation
- přepínače pro 10M/100M, Autoneg on/of, Half Duplex/Full Duplex



Obr.5.2: Media konvertor TP-Link MC112CS

5.1.2 Switch Signamax 300-7851

- obsahuje 16 SFP slotů + 8 Combo portů SFP nebo 10/100/1000Base-T
- plně managementovatelný L2 switch s podporou služeb Tripple Play
- autentizace dle 802.1x, 802.1D kompatibilní s 802.1w RSTP
- možnost řízení rychlostí na každý port
- MAC filtering policy, IGMP Snooping, podpora VLAN
- web rozhraní, Telnet i CLI

5.1.3 Switche Edge-Core ES3528M a ES3528M-SFP

Jedná se o výkonné L2/L4 switche. Model ES3528M obsahuje 24x 10/100Base-T porty a 4x Gigabit Combo porty (RJ45/SFP). Model ES3528M-SFP obsahuje 24x Fast Ethernet SFP portů, 2x metalické porty 10/100/1000Base-T a 2 Gigabit Ethernet Combo porty (RJ45/SFP). Oba dva switche mají velkou řadu nadstandardních funkcí pro zajištění bezpečného a spolehlivého provozu sítě a pro zajištění vysoké kvality poskytovaných služeb (QoS), jako je přenos dat, hlasu (VoIP) či videa (multicast, IP-TV, VoD). Patří mezi ně například VLAN, privátní VLAN, 802.1ad (LACP) trunking, Port Security, RADIUS autentizaci, TACACS+ a zabezpečený přístup pro management přepínače a mnoho dalších.

5.1.4 SFP optické moduly

Měřené SFP transceivery podporující standard 100Base-BX a single fiber jsou produkty MRV Communications. Konkrétně se jednalo o níže uvedené modely:

- SFP-FD-BX35 - TX: 1310nm, RX: 1550nm
- SFP-FD-BX53 - RX: 1310nm, TX: 1550nm

Dané SFP transceivery podporují Hot-Swap, umožňují přenos až na 30km po SM vláknu a jsou vybaveny pokročilými monitorovacími funkcemi – Digitální Diagnostikou. Jsou plně kompatibilní se zařízeními různých výrobců.

Dalšími SFP transceivery které byly použity při testování jsou dva moduly od firmy Signamax. Konkrétně se jedná o typy:

- 300-77WDMA - TX: 1310nm, RX: 1550nm
- 300-77WDMB - RX: 1310nm, TX: 1550nm

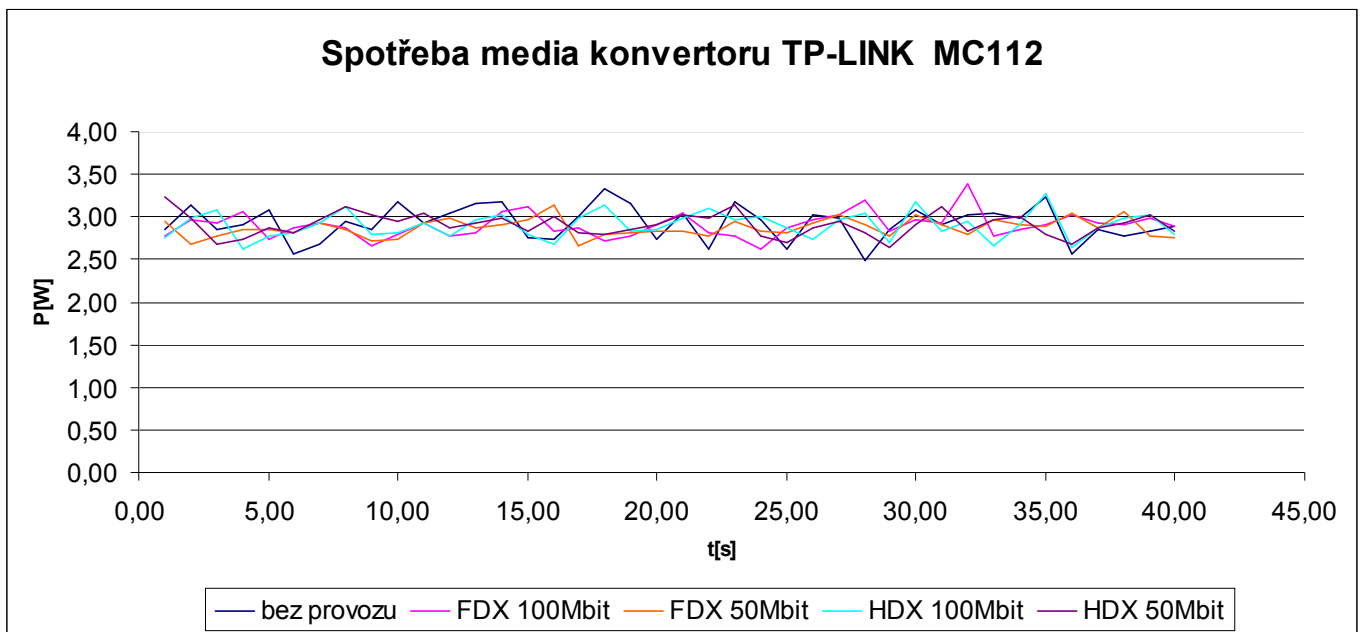
Oba dosahují maximální přenosové rychlosti 1,25 Gbps. Maximální dosah těchto modulů je 10km po single mode vláknu. Obsahuje DFB laserovou diodu a další kvalitní součástky. Jsou také plně kompatibilní se zařízeními různých výrobců.



Obr.5.3: 1,25Gbps SFP moduly od Signamaxu

5.2 Měření příkonu media konvertorů TP-Link MC112

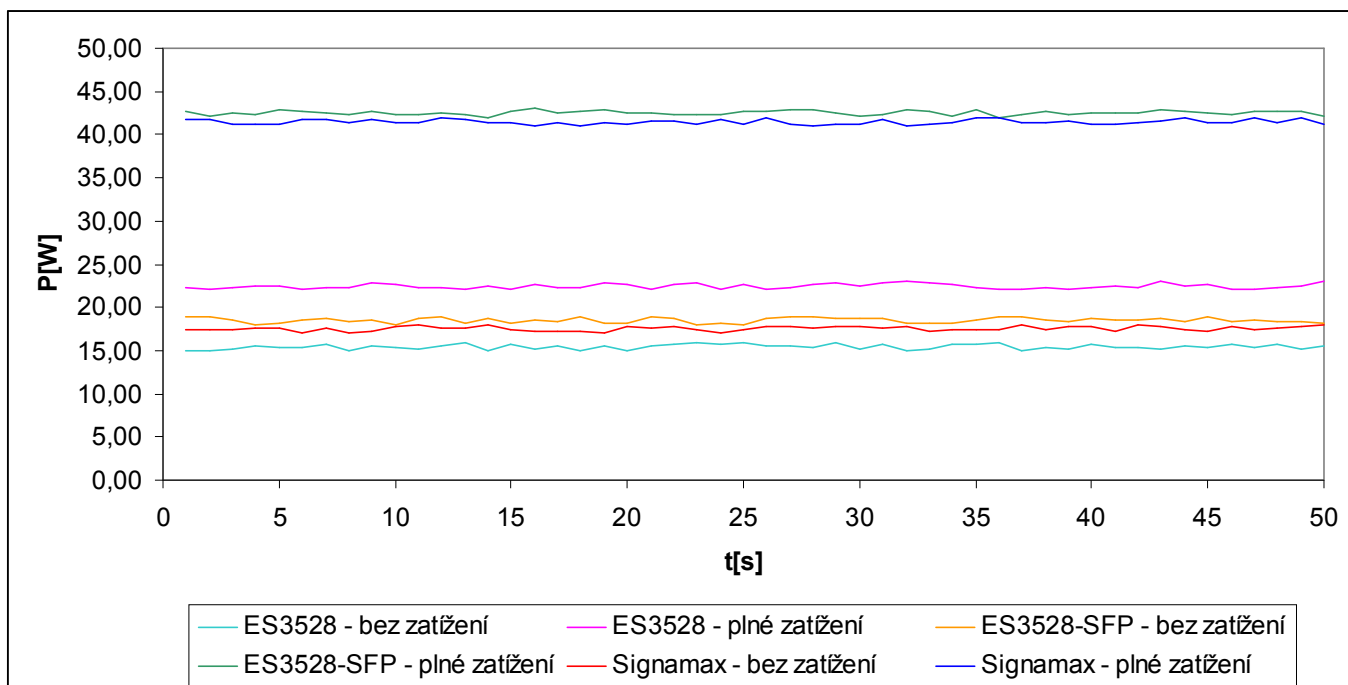
Příkon konvertoru TP-Link MC112 byl měřen při zapojení testovací sítě dle obrázku 6.3. Vzhledem k tomu, že druhý zapůjčený konvertor TP-Link MC111 je prakticky totožné zařízení, pouze využívá pro RX a TX opačné vlnové délky než MC112, byl měřen pouze jeden z konvertorů. Hodnoty příkonu MC111 byly po krátké analýze shodné. Dle hodnot příloze 2 je zřejmé, že velikost provozu nemá na příkonu media konvertorů žádný vliv. Při téměř nulovém provozu v měřeném časovém úseku dosáhla průměrná spotřeba media konvertoru hodnoty $2,92625 \pm 2\%$ W, při plném duplexu a zatížení 100Mbit/s hodnoty $2,90225 \pm 2\%$ W a při zatížení 50Mbit/s hodnoty $2,8715 \pm 2\%$ W. Při polovičním duplexu a zatížení 100Mbit/s hodnoty $2,905 \pm 2\%$ W a při zatížení 50Mbit/s hodnoty $2,9075 \pm 2\%$ W. Pokud zprůměrujeme všechny hodnoty, dojdeme k průměrné spotřebě $2,9025 \pm 2\%$ W. Pro lepší počítání a drobnou rezervu počítejme cca 3W. Hodnota energie spotřebovaná za hodinu provozu je tedy 0,003 kWh.



Obr.5.4: Spotřeba media konvertoru při různém zatížení

5.3 Měření příkonu jednotlivých switchů

Celkem byl měřen příkon tří různých switchů, které byly zmiňovány v kapitole 5.1. Spotřeba switche Edge Core ES3528M byla měřena pouze pro metalické porty (RJ45). Proto je také spotřeba tohoto switche při plném zatížení podstatně nižší než u zbylých testovaných switchů (22,5W). U těch již byli pro měření použity i SFP transceivery. Při plném zatížení byly naměřeny téměř totožné hodnoty, ovšem switch Signamax měl cca o 1W nižší spotřebu (41,5W) než ES3528M-SFP, který dosáhl hodnoty cca 42,5W. Na obrázku 5.5 jsou zobrazeny naměřené hodnoty pro jednotlivé modely switchů. Měřené hodnoty jsou zobrazeny v příloze 1.



Obr.5.5: Spotřeba jednotlivých switchů při různém zatížení

6. Měření reálné propustnosti síťových prvků

Znát reálnou propustnost dané sítě je velmi důležité pro navrhování poskytovaných služeb. Je potřeba vědět, zda je daná síť schopna poskytnout potřebnou propustnost. Pro tato měření se v ideálním případě používají Fluke testery. I přesto, že se jedná o neocenitelného pomocníka při testování sítě a hledání problémů s propustností, je jeho nevýhodou jeho pořizovací cena, která činí cca 7000USD. Větší firmy je nabízejí k pronájmu. Pokud ovšem chceme zjistit propustnost sítě a nemáme k dispozici tento tester, existuje i mnoho různého softwaru pro měření propustnosti sítě.

6.1 Iperf - program pro měření propustnosti sítě

Pro měření reálné propustnosti jednotlivých síťových prvků byl použit program Iperf. Jedná se o velmi šikovný nástroj pro měření výkonnosti sítě. Velkou výhodou je možnost testovat jak pomocí protokolu TCP tak i pomocí UDP. Jedná se o multiplatformní open source aplikaci, která byla dříve dostupná pouze v Linuxu. Iperf pracuje jako klient-server aplikace. Na jedné straně jej lze spustit s požadovanými parametry jako server a na druhé jako klient, který nastavuje parametry provozu. Na obrázku 6.1 je vidět připojování z klienta na server s IP adresou 192.168.1.10, s využitím protokolu UDP pro přenos 2000MBytů v plně duplexním režimu a rychlostí 100Mbit/s.

```
E:\>iperf -c 192.168.1.10 -n 2000M -d -u -b 100M
-----
Server listening on UDP port 5001
Receiving 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 8.00 KByte (default)
-----
Client connecting to 192.168.1.10, UDP port 5001
Sending 1470 byte datagrams
UDP buffer size: 8.00 KByte (default)
-----
[136] local 192.168.1.100 port 53511 connected with 192.168.1.10 port 5001
```

Obr.6.1: Program Iperf - nastavení komunikace

6.2 Analyzátor EtherScope – Fluke Networks

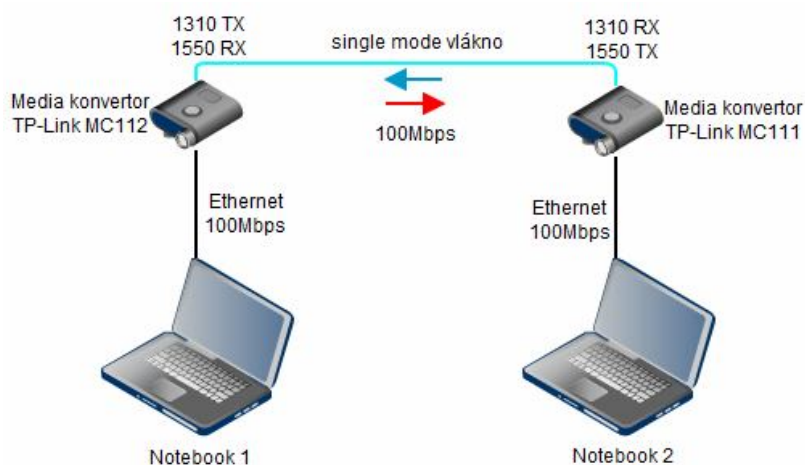
Jedná se o vysoce odolný, ale přesto lehce přenosný síťový analyzátor s dotykovou obrazovkou a intuitivním ovládáním. Umožňuje generovat data až do 1Gbps, analyzovat jak optické, metalické tak i bezdrátové sítě. Obsahuje slot pro SFP modul. Umožňuje měření výkonu optických zařízení a vzdálený monitoring. Umožňuje automatické testování, test metalické kabeláže, zobrazení detailů o přepínačích, diagnostiku jednotlivých portů, správu VLAN sítí a detailní analýzu provozu.



6.2: Fluke Networks EtherScope II. Network assistant

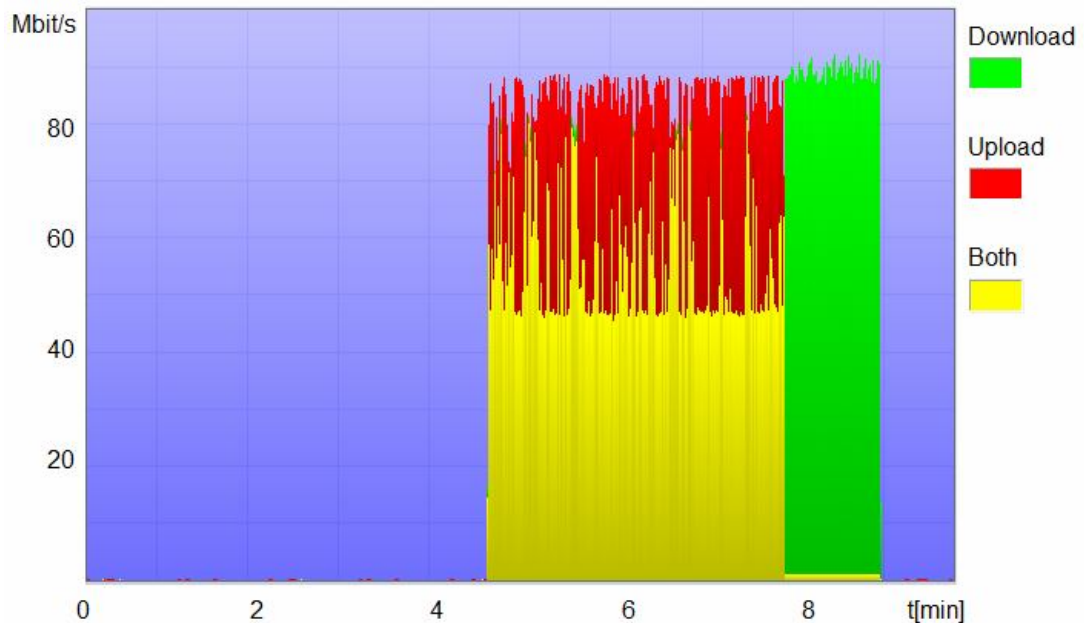
6.3 Měření propustnosti jednotlivých scénářů

Celkem byly měřeny tři různé scénáře. V prvním byla měřena propustnost sítě mezi dvěma notebooky, přes dva 100Mbit/s media konvertory (obrázek 6.3).



Obr.6.3: Síť s media konvertory pro měření propustnosti

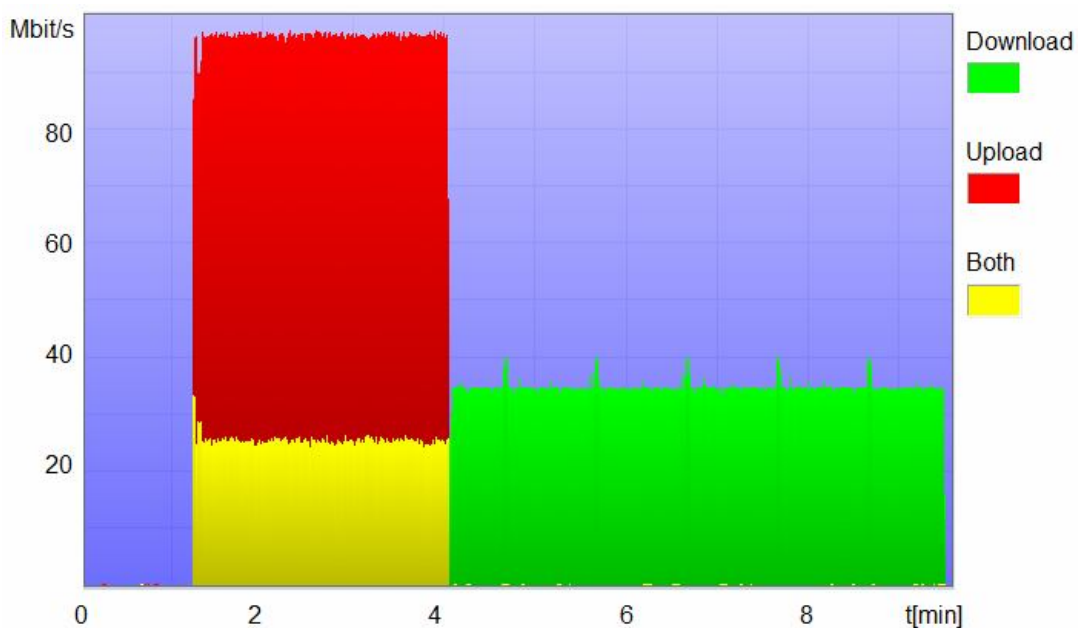
Každý scénář byl testován jak pomocí protokolu TCP tak i UDP. Vždy se jednalo o simulaci toku dat o velikosti 2000MBytů v plně duplexním režimu. Jedná se o prakticky naměřené reálné hodnoty na aplikační úrovni. Na obrázku 6.4 jsou zobrazeny přenosové rychlosti při použití protokolu TCP. Průměrná hodnota uploadu činí 85,7 Mbit/s, přičemž přenos 2000MB trval 195,8s. Průměrná hodnota downloadu činí 64,8 Mbit/s a přenos trval 259s.



Obr.6.4: Propustnost prvního scénáře pomocí protokolu TCP

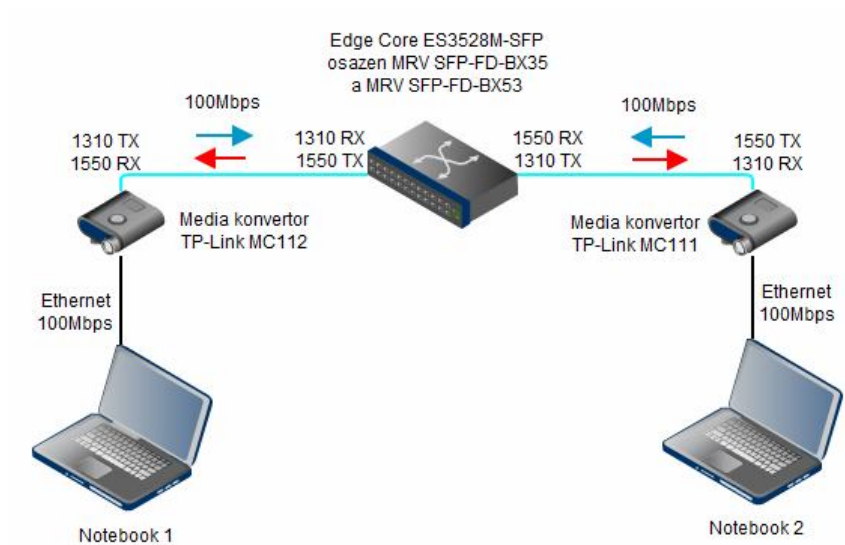
Na obrázku 6.5 jsou zobrazeny přenosové rychlosti při použití protokolu UDP. Průměrná hodnota uploadu činí 99,3 Mbit/s, přenos 2000MB trval 168,9s. Z toho bylo chybně přijato 54749 z 1426635 datagramů (3,8%) a využitelná rychlost pro upload tím klesla na 95,5 Mbit/s. Průměrná hodnota downloadu činí 32,3 Mbit/s, přenos trval 496,2s. Chybně přijatých bylo 4,5% ze všech odeslaných datagramů. Celková rychlost tím klesla na 30,8 Mbit/s

Při použití výše popsaného Fluke testeru byla naměřena propustnost dané sítě 100/100Mbit/s. Výstup z EtherScopu pro dané zapojení je zobrazen v příloze 3.



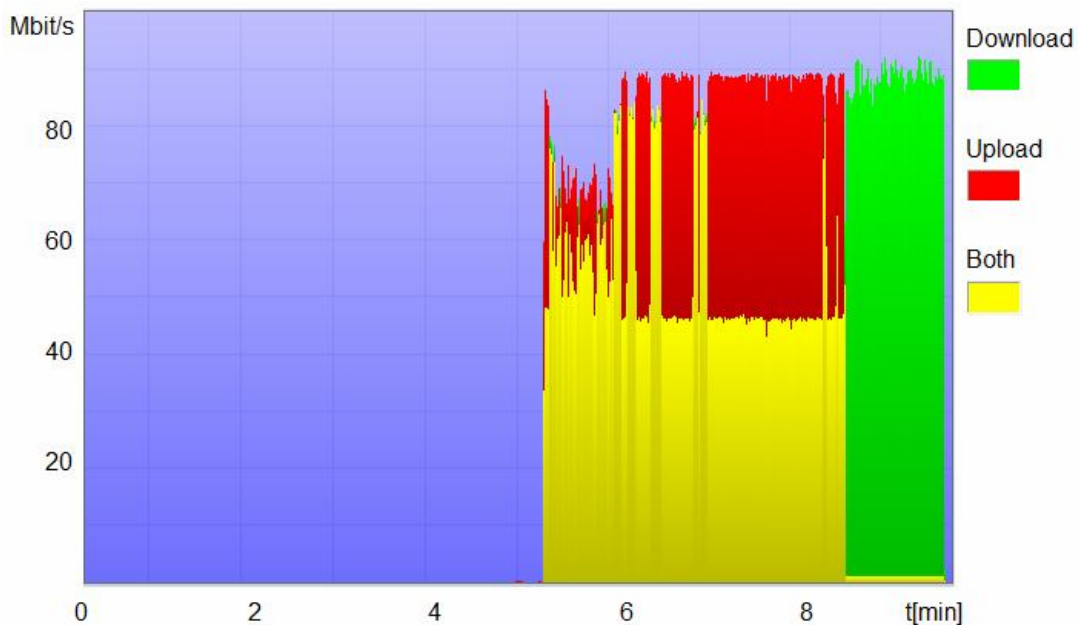
Obr.6.5: Propustnost prvního scénáře pomocí protokolu UDP

Ve druhém scénáři byly ještě tyto dva media konvertory propojeny optickými kabely přes dva SFP transceivery zapojené ve switchi (obrázek 6.6).



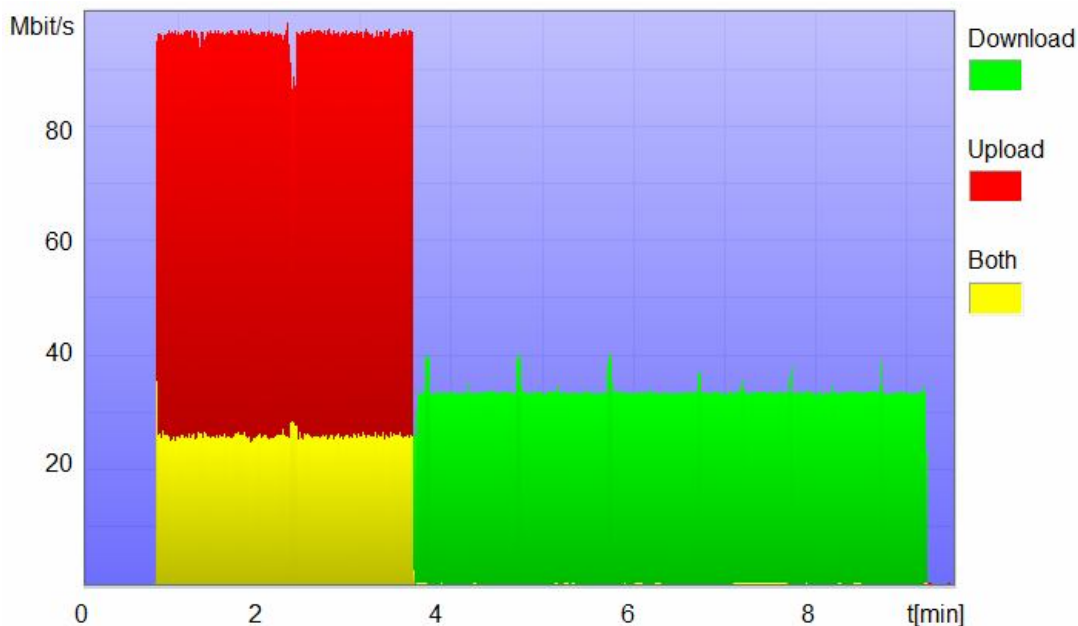
Obr.6.6: Síť s media konvertory a optoswitchem pro měření propustnosti

Na obrázku 6.7 jsou zobrazeny přenosové rychlosti při použití protokolu TCP. Průměrná hodnota uploadu činí 84,3 Mbit/s, přenos 2000MB trval 199s. Průměrná hodnota downloadu činí 63,5 Mbit/s a přenos trval 264,4s.



Obr.6.7: Propustnost druhého scénáře pomocí protokolu TCP

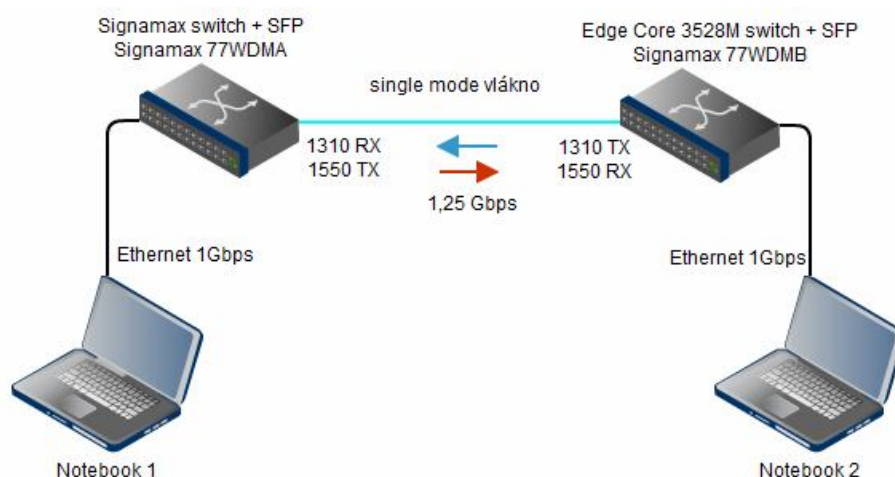
Na obrázku 6.8 jsou zobrazeny přenosové rychlosti při použití protokolu UDP. Průměrná hodnota uploadu činí 99,1 Mbit/s, přenos 2000MB trval 169,4s. Z toho bylo chybně přijato 3,7% datagramů a využitelná rychlost pro upload tím klesla na 95,4 Mbit/s. Průměrná hodnota downloadu činí 31,8 Mbit/s, přenos trval 507,7s. Chybně přijatých bylo 3,7% ze všech odeslaných datagramů. Celková rychlost tím klesla na 30,6 Mbit/s.



Obr.6.8: Propustnost druhého scénáře pomocí protokolu UDP

Při použití výše popsaného Fluke testeru byla naměřena propustnost dané sítě 100/100Mbit/s. Výstup z EtherScopu pro dané zapojení je zobrazen v příloze 4.

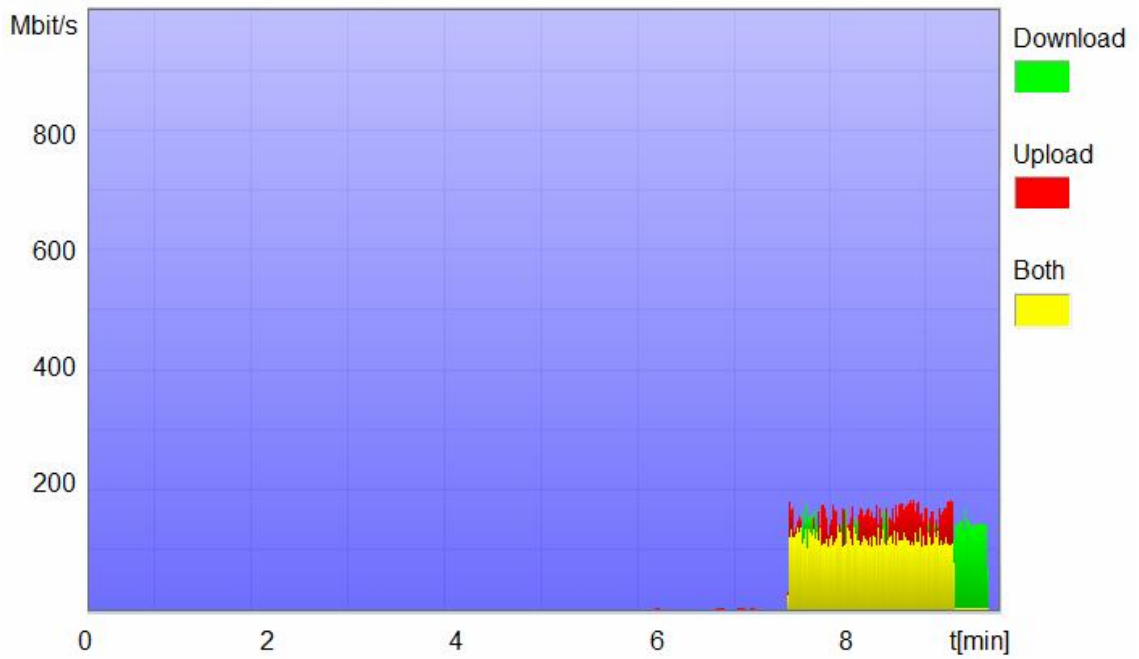
Ve třetím scénáři se jednalo o spojení dvou notebooků přes dva switche pomocí optického vlákna a přenosové rychlosti 1Gbit/s (obrázek 6.9).



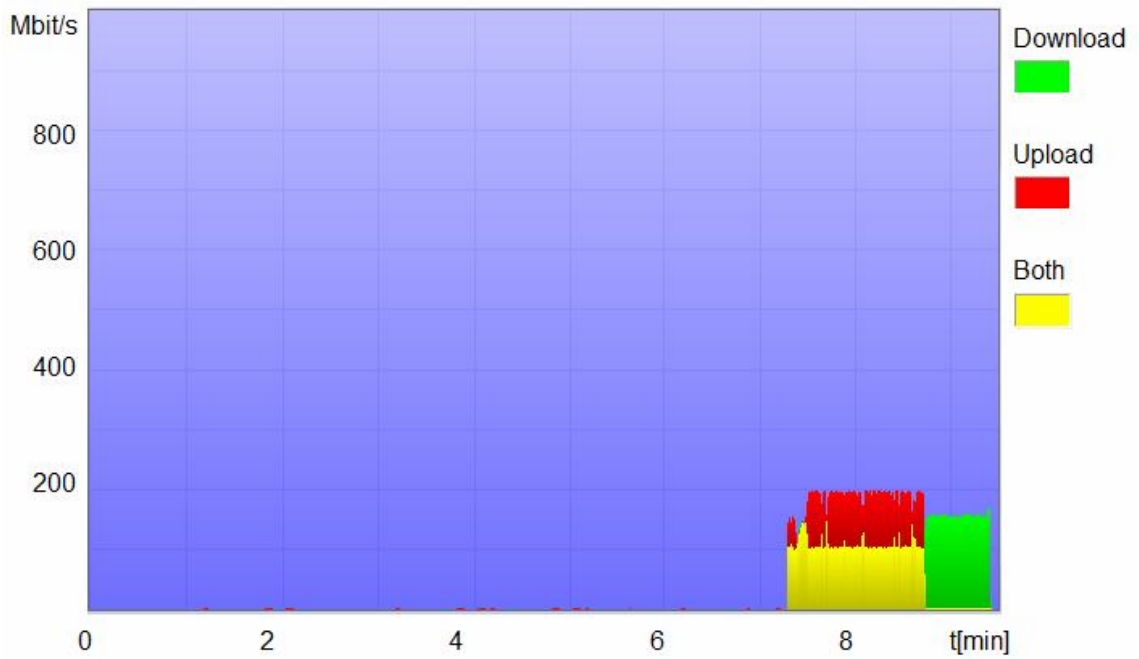
Obr.6.9: Síť se dvěma optickými switchi pro měření propustnosti

Na obrázku 6.10 jsou zobrazeny přenosové rychlosti při použití protokolu TCP. Průměrná hodnota uploadu činí 161 Mbit/s, přenos 2000MB trval 104 s. Průměrná hodnota downloadu činí 134 Mbit/s a přenos trval 125,4s. Což jsou v porovnání s procentuelním využitím 100Mbit/s sítě relativně malé hodnoty. Ovšem zde již pomalá rychlost čtení a zápisu může být způsobena nekvalitními a pomalými disky v notebookech.

Na obrázku 6.11 jsou zobrazeny přenosové rychlosti při použití protokolu UDP. Průměrná hodnota uploadu činí 202 Mbit/s, přenos 2000MB trval 86,5s. Z toho bylo chybně přijato 4,2% datagramů a využitelná rychlost pro upload tím klesla na 194 Mbit/s. Průměrná hodnota downloadu činí 136 Mbit/s, přenos trval 127,8s. Chybně přijatých bylo 3,9% ze všech odeslaných datagramů. Celková rychlost tím klesla na 131 Mbit/s.



Obr.6.10: Propustnost druhého scénáře pomocí protokolu TCP.



Obr.6.11: Propustnost druhého scénáře pomocí protokolu UDP.

Při použití výše popsaného Fluke testeru byla naměřena propustnost dané sítě 1000/1000Mbit/s. Výstup z EtherScopu pro dané zapojení je zobrazen v příloze 5.

7. Návrh modelových sítí s využitím media konvertorů a optických switchů

V rámci návrhu typického použití optického switchu a media konvertoru jsou níže navrženy dva síťové modely. Nejedná se o plánovanou výstavbu, ale spíše o návrh a kalkulaci nákladů na připojení nově vystavěné ulice ke stávající optické síti poskytovatele služeb. Kalkulace ceny bude obsahovat jak náklady na výstavbu, síťové prvky, tak i následnou spotřebu jednotlivých rozvodných zařízení.

Oba návrhy jsou hodně podobné, liší se pouze v části, která zajišťuje rozvod optického vlákna po jednotlivých domech. Vzdálenost od central office je asi 150m, celková délka ulice je 100m. Výkop pro položení optického vlákna zde bude realizován v blízkosti polní cesty. Hloubka výkopu postačí 80cm. Spojení bude realizováno optickým mikrokabelem AKSH DROP se dvěma single mode vlákny. Ten bude zafouknut do tlustostěnné mikrotrubičky Ofiber 7/4mm pro přímou pokládku do země. Mikrotrubička bude uložena v pískovém loži – vrstveném minimálně 10 cm nad i pod vedením. Na pískovém loži bude rozvinuta výstražná fólie. Pro překonání silnice bude zvolen řízený podvrt v hloubce 1,2m. V prvním domě bude po dohodě s majiteli umístěn nástěnný rack, ve kterém budou uloženy síťové prvky. Vzhledem k určitým nákladům na energii a umístění racku byla dohodnuta sleva z tarifu, ve výši odpovídající spotřebě + 10%, ročně rozpočítaná do měsíčních záloh. Od rozvodného racku povede směrem k dalším domům HDPE trubka 25/20, v níž bude uložen optický kabel Riser s 24 vlákny v samostatných mikrotrubičkách. I přesto, že bude využito pouze 8 vláken, vzhledem k malému rozdílu ceny mezi kabelem s 12 a 24 vlákny je lepší mít rezervu, pro případ dalšího rozšiřování. Položení HDPE trubek okolo domů bude realizováno současně s plánovanou výstavbou chodníku. I zde bude dostačující hloubka výkopu 60cm pod úroveň terénu. Připojení jednotlivých domů bude provedeno odbočením z HDPE trubky pomocí T odbočnice. U každého domu bude k HDPE trubce napojena vertikální 2m pancéřová trubka pro bezpečné přivedení do venkovní krabice. Na venkovní stěně domu ve výšce cca 1,4m nad zemí bude nainstalována vnější vodotěsná venkovní krabice GentleBox JE-200. Zadní stěnou krabice bude kabel protažen zdí domu. Na druhé straně bude nainstalována kazeta pro uchycení optického sváru a rezervní vinutí. Zde bude na kabel navařen optický pigtail od firmy Fiber Arsenal v požadované délce 1-15m. Vnitřní rozvody si musí nachystat klient. Je na něm, zda chce mít kabel zafouknutý v mikrotrubičce a tažený stropem, lištou či stěnou. Dle zvoleného koncového zařízení bude zvolen pigtail s odpovídajícím konektorem.

7.1 Cenová kalkulace výstavby sítě

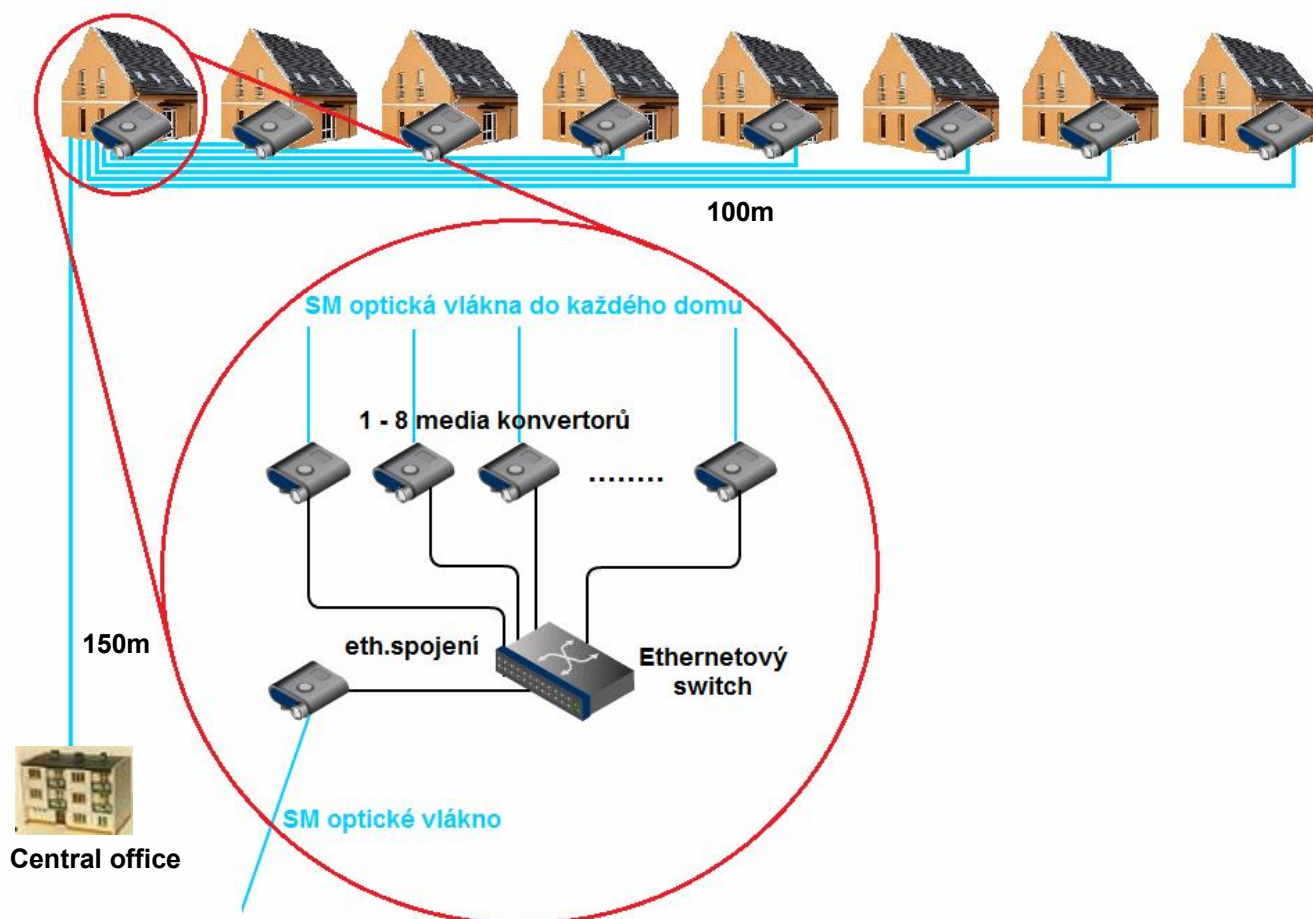
Celkové náklady na výstavbu sítě činí bez síťových zařízení celkem 204143 Kč v případě realizace s media konvertory TP-Link, 206743 Kč v případě použití media konvertorů Transition, případně 201743 Kč v případě použití optického switche namísto media konvertorů.

Tab.7.1: Kalkulace cenových nákladů

Typ	Cena za jednotku	Počet jednotek	Cena celkem
SM vlákno AKSH	5,-	150m	750,-
mikrotrubička Ofiber 7/4mm	9,8,-	150m	1470,-
výstražná fólie	1,6,-	250m	400,-
pancéřová trubka UPRM 40	49,-	16m	784,-
kabel Riser 24SM vláken	52,-	120m	6240,-
HDPE trubka 25/20mm	28,-	110m	3080,-
venkovní krabice	390,-	8ks	3120,-
kazeta pro optický svár	290,-	8ks	2320,-
Opticord ochrana opt.sváru	11,-	7ks	77,-
protlak pod silnicí	900,-	8m	7200,-
optické sváry	400,-	7x	2800,-
výkopové práce	240,-/185,-	150m/110m	67620,-
písek + doprava	456,-/55,-	17m3/40km	9952,-
spojka HDPE trubek T-Matrix	1280,-	7ks	8960,-
projekt	5000,-	1ks	5000,-
práce	500,-	150h	75000,-
pigtaily, konektory	120,-/250,-	8ks/16ks	4960,-
Netrack – 19“ závěsný rack	2000,-	1ks	2000,-
rack šasi pro mediakonvertory	2400,-/5000,-	1ks	2400,-/5000,-
CELKEM			204143,-/206743,-

7.2 Realizace pomocí media konvertorů

První model využívá pro konverzi signálu z optického vlákna na metalický media konvertor, ze kterého se signál přivede do ethernetového L2 switche, kde se následně rozvede pro požadovaný počet účastníků a následně opět pomocí media konvertorů se opět konvertuje na optický. Do každého domu je tak přivedeno vlastní single-mode optické vlákno až k účastníkovi. Na straně účastníka bude v rámci porovnatelnosti cenových kalkulací použit opět media konvertor. Návrh je znázorněn na obrázku 7.1. Samozřejmě lze bez problémů v případě zájmu o služby tripple play použít i gateway. Pro porovnání nákladů jak na výstavbu, tak provoz daných dvou návrhů přístupových sítí, budou všechny síťové prvky oceněny dle ceníků firmy Proficomms s.r.o.



Obr.7.1: Návrh přístupové sítě s využitím media konvertorů

Budeme-li chtít srovnat cenovou kalkulaci v případě použití dražších a levnějších media konvertorů, budeme používat zařízení od dvou různých výrobců. Tedy 100Mbit single-fiber media konvertory Transition Networks J/FE-CF-04(100) a J/FE-CF-04(101) a výše měřené konvertory TP-Link MC111CS a MC112CS. Pro uplink bude použita linka 1Gbit/s. Realizovat jej lze buď jak je naznačeno na obrázku 7.1, nebo přímo použít SFP modul ve switchi. Kalkulace jsou uvedeny v tabulkách níže.

Tab.7.2: Kalkulace cen síťových prvků

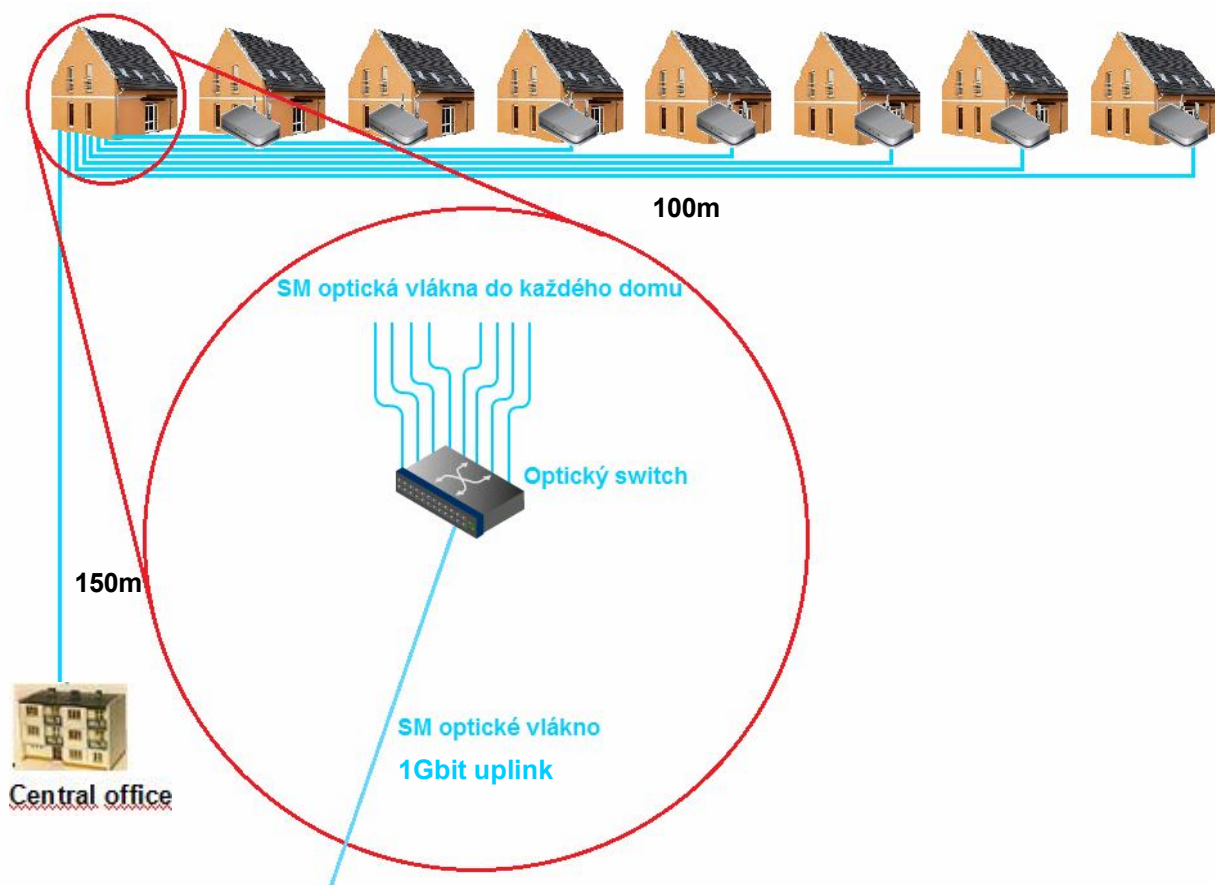
Síťové prvky TP-Link			
Typ	Cena za jednotku	Počet jednotek	Cena celkem
konvertor MC111CS	676,-	8	6084,-
konvertor MC112CS / GW FG101 Inteno	664,- / 2808,-	8	5312,- / 22464,-
switch TL-SL2428	2065,-	1	2065,-
TL-SM321B Gb WDM	689,-	1	689,-
UTP patch kabely	27,-	8	216,-
Celkem			14366,- / 31518,-
Cena včetně zbudování optické trasy			218509,- / 235661,-
Síťové prvky Transition Networks a Edge Core			
J/E-PSW-FX-03(100) / GW FG101 Inteno	1320,- / 2808,-	8	10560,- / 22464,-
J/E-PSW-FX-03(101)	1320,-	8	10560,-
ES3528M	6030,-	1	6030,-
SFP-GD-BX34 1Gb	1050,-	1	1050,-
UTP patch kabely	27,-	8	216,-
Celkem			28416,- / 40320,-
Cena včetně zbudování optické trasy			235159,- / 247063,-

Tab. 7.3: Kalkulace roční spotřeby energie

Typ	Spotřeba	Počet jednotek	Roční spotřeba	Cena celkem
konvertor MC111CS	3W	8	210,24 kWh	1051,-
konvertor MC112CS / GW FG101 Inteno	3W / 15W	8 / 8	210,24 / 1051 kWh	1051,- / 5256,-
switch TL-SL2428 8p+SFP	21W	1	184 kWh	920,-
Cena za energie celkem				3022,- / 7227,-

7.3 Realizace pomocí optického switche

Druhý model, který je zobrazen na obrázku 7.2 se od prvního liší v tom, že místo media konvertorů je použit L2/L4 optický switch a není nutno převodu z optického signálu na metalický a následně zpět na optický. Pro uplink bude použit 1Gbps SFP modul SFP-GD-BX34 od firmy MRV. Pro jednotlivé uživatele budou použity MRV SFP-FD-BX53 (TX1550nm/RX1310nm). U klientů pak budou použity buď media konvertory Transition Networks J/E-PSW-FX-03(100) nebo gateway Inteno FG101 (TX1310nm/RX1550nm).



Obr.7.2: Návrh přístupové sítě s optickým switchem

Tab.7.4: Kalkulace cen síťových prvků

Síťové prvky Transition Networks a Edge Core a Inteno			
GW FG101 Inteno	2808,-	8ks	22464,-
J/E-PSW-FX-03(100)	1320,-	8ks	10560,-
SFP-FD-BX53	960,-	8ks	7680,-
switch ES3528M-SFP	19862,-	1ks	19862,-
SFP-GD-BX34 1Gb	1050	1ks	1050,-
UTP patch kabely	27,-	8	216,-
Celkem			61832,-
Cena včetně zbudování optické trasy			263575,-

Tab. 7.5: Kalkulace roční spotřeby energie

Typ	Spotřeba	Počet jednotek	Roční spotřeba	Cena celkem
J/E-PSW-FX-03(100) / GW FG101 Inteno	2,5W / 15W	8 / 8	175,20 / 1051 kWh	876,- / 5256,-
switch ES3528M-SFP 9x SFP modul	27,5W (18,5W + 9x1W)	1	241 kWh	1205,-
Cena za energii celkem				2081,- / 6461,-

7.4 Porovnání nákladů jednotlivých návrhů na výstavbu a provoz

Z tabulek 7.2 a 7.4 vyplývá, že nejdražší vyjde realizace návrhu při použití optického switche – 263757 Kč. Při použití media konvertorů Transition se dostaneme k sumě za realizaci sítě 235159 Kč pokud se klientům do domácnosti umístí media konvertor nebo k částce 247063Kč, pokud budou mít doma umístěnu optickou gateway. Při použití síťových prvků TP-Link se dostaneme na konečnou sumu 218509 Kč při použití media konvertorů na straně klienta, případně 235661 Kč při použití optické gateway.

Při porovnání hodnot v tabulkách 7.3 a 7.5 lze dojít k závěru, že provozní roční náklady na straně poskytovatele jsou v případě použití optického switche téměř

poloviční oproti návrhu s použitím ethernetového switche a media konvertorů. Roční náklady pro klienty závisí na typu požadovaných služeb. V případě zájmu o internet činí roční náklady na provoz media konvertoru 131 Kč (resp 110 Kč při použití media konvertorů Transition). V případě zájmu o tripple play jsou roční náklady na provoz gatewaye Inteno 657 Kč.

8. Závěr

Tato diplomová práce pojednává o využívaných typech metalických sítí, jejich parametrech a vhodnostech nasazení jednotlivých typů sítě dle požadovaných kritérií. Dále jsou zde rozebrány optické sítě, jejich parametry, typy využívaného média a vhodnost jednotlivých médií pro dálkový přenos. Porovnání aktivní a pasivní struktury optické sítě, využívané síťové prvky v každé z těchto struktur (media konvertory, optické switche, home gatewaye či WDM). Dále jsou navrženy dva modely, jeden s využitím media konvertorů, druhý za použití optického switche. Na těchto modelech je znázorněno využití jednotlivých síťových prvků k nevhodnějším účelům.

V tabulce 8.1 jsou přehledně srovnány parametry jak metalických, tak optických sítí. Je z ní patrné, že přenosové rychlosti optických sítí jsou při použití DWDM vyšší než u metalických sítí. Co se přístupových sítí týče, také je vhodnější, a pro ISP výhodnější, řešit vše pomocí optického vlákna, jelikož zde jsou schopni získat nejvyšší efektivitu přenosu a tím pádem i vyšší zisky.

Tab.8.1: Parametry optických a metalických sítí

Typ sítě	100BaseTX	1000BaseT	10 Gbit Eth	2BASE-TL-O/R	GPON	EPON	GEAPON	CWDM	DWDM
Standard	IEEE 802.3u	IEEE 802.3ab	IEEE 802.3an	IEEE 802.3-2008	ITU-T G.984	IEEE 802.3ah	ITU-T G.987	ITU-T G.694.2	ITU-T G.694.1
Přenos.rychlost [Mbit/s]	100	1000	10 Gbit/s	5,7	2488	1250	10 312,5	40 Gbit/s	Tbit/s
Max.dosah linky	100m	100m	100m	2,7km	20km	20km	20km	až 120km	tisíce km *

* za použití EDFA zesilovače

V praktické části diplomové práce byly změřeny různá zapojení zapůjčených síťových prvků. Na těchto laboratorních sítích byla následně měřena jejich reálná propustnost na úrovni aplikační vrstvy pomocí programu Iperf. V plně duplexním režimu sítě dosahovali cca 70% maximální teoretické propustnosti. Což je také hodnota v literatuře průměrně uváděná. Dále byl měřen příkon jednotlivých síťových prvků,

v závislosti na velikosti provozu v síti. Nicméně se ukázalo, že jediný vliv na změnu příkonu u síťových zařízení má připojení či odpojení kabelu, ovšem ne míra provozu. Průměrné změřené hodnoty příkonů dále sloužili k výpočtům spotřeby síťových prvků navrhovaných modelů přístupových sítí.

Celkem byly navrženy dva různé modely pro přístupovou síť FTTH. Byla provedena kalkulace na výstavbu a připojení navrhované sítě ke stávající síti. Dále byla kalkulována cena použitých síťových prvků a jejich roční spotřeba. Navrhovaná síť využívající optického switche s SFP moduly vyšla o cca 20 - 40 tisíc dráž oproti dalším kalkulovaným návrhům. I přesto se dle mého názoru jedná o nejlepší variantu, vzhledem k několika okolnostem. Jedná se o velmi kvalitní síťová zařízení používaná profesionály i v páteřních sítích, daný switch umožňuje vzdálenou správu, což levné media konvertory neumožňují. Tím se šetří čas i náklady v případě poruchy, protože není bezprostředně nutný výjezd technika k danému zařízení. Další výhodou je také skutečnost, že provoz optického switche je ekonomicky úspornější o téměř 40%. V případě rozšiřování sítě o další uživatele by byl minimální nárůst spotřebované energie – asi 4x menší než v případě sítě s media konvertory.

V jednotlivých měřených modelech byla ověřena vzájemná kompatibilita zařízení různých výrobců. Konkrétně se jedná o zařízení TP-Link, Signamax, Edge Core a MRV Communications. Jediným limitujícím faktorem je podpora stejné přenosové rychlosti a správné dvojice komunikujících zařízení (navzájem opačné vlnové délky využívané pro RX a TX).

Seznam zdrojů

- [1] FILKA, Miloslav. *Optoelektronika : Pro telekomunikace a informatiku*. Vyd. 1. Brno : Centra, spol.s.r.o., 2009. 369 s. ISBN 978-80-86785-14-1.
- [2] SATRAPA, Pavel. *Lupa.cz* [online]. 23. 5. 2002 [cit. 2010-12-13]. Jak přišel na svět Ethernet. Dostupné z WWW: <<http://www.lupa.cz/clanky/jak-prisel-na-svet-ethernet/>>.
- [3] PETERKA, Jiří. *eArchiv.cz : archiv článků a přednášek Jiřího peterky* [online]. c2010 [cit. 2010-12-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.earchiv.cz>>.
- [4] PUŽMANOVÁ, Rita. *Lupa: server o českém internetu* [online]. 2002-2010. Dostupné z WWW: <www.lupa.cz>.
- [5] LAMMLE, Todd. *CCNA : Výukový průvodce přípravou na zkoušku 640-802*. Vyd. 1. Brno : Computer Press a.s., 2010. 928 s. ISBN 978-80-251-2359-1.
- [6] NOVOTNÝ, Vít. *Architektura sítí*. Brno, FEKT VUT Brno, 2002. 136s.
- [7] J.R.DUTTON, Harry. *Understanding Optical Communications*. First Edition. New York : IBM Redbooks, 1998. 638 s.
- [8] Vodrážka, J.: *Optická hierarchie OTH*. Access server. Číslo článku 2005062901. Praha 2009.
- [9] KUCHARSKI, M., DUBSKÝ, P. *Měření přenosových parametrů optických vláken, kabelů a tras*. Mikrokom, Praha 2001.
- [10] SÝKORA, J.: *Princip WDM* [online]. České vysoké učení technické v Praze, FEL [cit. 11. 11. 2010]. Dostupné z URL: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2004072805>>.
- [11] FILKA, Miloslav. *Optické sítě*. TKO 07-081. Brno: VUT, 2007. s. (210 s.)

- [12] BROUČEK, J., GÖLLNER, J., SUKOP, J.: OSA - *Optické spektrální analyzátořy* [online]. Sítě FTTx v roce 2009, Brno,13.3. 2009. 14 s. [cit. 9. 12. 2010]. Dostupné z URL:
<<http://www.profiber.cz/index.php?act=solutions&prednasky>>.
- [13] FILKA, M. *Přenosová média*. Skripta. VUT FEKT, Brno, 2003.
- [14] SKŘIPSKÝ, J. *Parametry optických konektorů*. Elektrověue, 2005.
- [15] GIRARD, A.: *FTTx PON Technology and Testing*, EXFO, Quebec, 2005.
- [16] RAJIV, R., KUMAR, N., SVIRIJAN,O. *Optical Networks*. Academic Press, Springer 2002.
- [17] MOLNÁR, Karol. *ATM*. Skripta. FEKT VUT Brno, 2005. 23s.
- [18] IEEE 802. *LAN/MAN Standards Comittee* [online]. c2010 [cit. 2010-12-13]. Dostupné z WWW: <<http://www.ieee802.org/>>.
- [19] LAFATA, P.; VODRÁŽKA, J. Pasivní optická síť GPON. *FEL ČVUT* [online]. 23.05.2009, 8. ročník, [cit. 2010-12-13]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050002>>. ISSN 1214-9675.
- [20] VODRÁŽKA, J. Vývoj optické hierarchie OTH k plné podpoře Ethernetu. *FEL ČVUT* [online]. 15.05.2010, 8. ročník, [cit. 2010-12-13]. Dostupný z WWW: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050002>>. ISSN 1214-9675.
- [21] ŠKORPIL, V. *Vysokorychlostní komunikační systémy*. VUT Brno, 2002. s. 1-129. ISBN: TKO019
- [22] *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. c2010 [cit. 2010-12-13]. Dostupné z WWW: <<http://en.wikipedia.org/>>.

[23] BOUČEK, J.; DVOŘÁK, P.. FTTx - Technologie pro poslední míli. *Netguru* [online]. C2010, [cit. 2011-05-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.netguru.cz/10051-technologie-pro-posledni-mili/fttx-technologie-pro-posledni-mili.html>>.

Seznam použitých zkratk

ABR	Available Bit Rate
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ANSI	American National Standards Institute
AON	Active Optical Network
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BPON	Broadband Pasive Optical Network
CBR	Constant Bit Rate
CLI	Command Line
CLP	Cell Loss Priority
CPE	Customer-premises equipmen
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSMA/CD	Carrier Sence Multiple Access/Colission Detection
CWDM	Coarse Wave Division Multiplexing
DFB	Disctributed Feedback Laser
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DWDM	Dense Wave Division Multiplexing
EIA/TIA	Electronic Industries Association a Telecommunications Industry Alliance
EPON	Ethernet Based Pasive Optical Network
FBT	Fused Bionic Taper
FDDI	Fiber distributed data interface
FDM	Frequency Division Multiplex
FTTx	Fiber To The x
GFC	General Flow Control
GI	Gradium Index
GMII	Gigabit Media Independent Interface
GPON	Gigabit Capable Pasive Optical Network
HD	High Definition
HDPE	High density polyethylene
HEC	Header Error Control
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers

IL	Insertion Loss
ISP	Internet Service Provider
ITU-T	International Telecommunication Union
LAN	Local Area Network
LED	Light Emitting Diode
LLC	Logical Link Control
LON	Local optical network
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
MII	Media Independent Interface
OADM	Optical Add/Drop Multiplexer
OAMP	Optical Amplifier
OLT	Optical Line Terminal
ONT	Optical Network Terminal
ONU	Optical Network Unit
OXC	Optical Cross Connect
P2MP	Point to MultiPoint
P2P	Point to Point
PAN	Personal Area Network
PLC	Planar Lightwave Circuit
POF	Plastic Optical Fiber
PON	Passive Optical Network
PPPoA	Point to point over ATM
PPPoE	Point to point over Ethernet
PTI	Payload Type
PVC	Permanent Virtual Circuit
QoS	Quality of Service
RJ	Registered Jack
RL	Return Loss
RX	Receiving
SDM	Space Division Multiplex
SFD	Start of Frame Delimiter
SFP	small form-factor pluggable

SI	Step Index
SNMP	Simple Network Management Protocol
SVC	Switched Virtual Circuit
TX	Transmission
UBR	Unspecified Bit Rate
UTP	Unshielded Twisted Pair
VBR	Variable Bit Rate
VCI	Virtual Channel Identifier
VoIP	Voice over IP
VPI	Virtual Path Identifier
WAN	Wide Area Network
WDM	Wavelength Division Multiplex
Wi-Fi	Wireless Fidelity

Příloha 1

ES3528m - bez zatížení	ES3528m - plné zatížení	ES3528m-SFP - bez zatížení	ES3528m-SFP - plné zatížení	Signamax - bez zatížení	Signamax - plné zatížení
15,04	22,34	18,90	42,61	17,46	41,70
15,03	22,18	18,85	42,22	17,44	41,74
15,20	22,33	18,62	42,47	17,39	41,28
15,58	22,54	18,01	42,29	17,57	41,27
15,43	22,53	18,22	42,93	17,69	41,22
15,44	22,04	18,48	42,69	17,08	41,79
15,28	22,75	18,06	42,38	17,73	41,42
15,12	22,23	18,75	42,25	17,93	41,36
15,46	22,34	18,97	42,60	17,60	41,92
15,84	22,15	18,22	42,40	17,64	41,84
15,55	22,35	18,36	42,51	17,26	41,35
15,03	22,29	18,94	42,64	17,26	41,04
15,61	22,86	18,23	42,79	17,01	41,35
15,02	22,66	18,11	42,46	17,84	41,16
15,48	22,14	18,83	42,44	17,60	41,50
15,73	22,73	18,75	42,24	17,78	41,59
15,97	22,83	18,06	42,30	17,43	41,17
15,69	22,12	18,17	42,39	17,06	41,80
15,84	22,73	18,02	42,77	17,37	41,15
15,60	22,07	18,82	42,65	17,72	41,89
15,63	22,22	19,00	42,93	17,77	41,28
15,32	22,61	18,93	42,84	17,56	41,09
15,93	22,79	18,69	42,48	17,82	41,14
15,13	22,49	18,73	42,21	17,86	41,25
15,66	22,76	18,66	42,28	17,63	41,70
15,06	22,94	18,17	42,91	17,83	41,00
15,24	22,81	18,11	42,75	17,23	41,28
15,65	22,71	18,15	42,07	17,41	41,35
15,67	22,23	18,55	42,95	17,32	41,97
15,98	22,02	18,88	42,02	17,46	41,90
15,00	22,19	18,93	42,34	17,93	41,31
15,35	22,24	18,52	42,67	17,35	41,42
15,23	22,04	18,41	42,38	17,77	41,55
15,81	22,30	18,77	42,53	17,86	41,26
15,29	22,42	18,46	42,57	17,16	41,14
15,27	22,25	18,54	42,54	17,89	41,30
15,09	22,97	18,69	42,81	17,84	41,50
15,63	22,52	18,37	42,63	17,32	41,91
15,27	22,60	18,98	42,57	17,23	41,34
15,70	22,14	18,33	42,34	17,81	41,40
15,30	22,03	18,61	42,77	17,36	41,92
15,78	22,21	18,42	42,68	17,57	41,40
15,15	22,54	18,30	42,66	17,77	41,87
15,55	22,97	18,17	42,20	17,96	41,12
15,44W	22,44W	18,51W	42,53W	17,54W	41,45W

Příloha 2

Měřené hodnoty [W]				
bez zatížení	FDX 100Mbit	FDX 50Mbit	HDX 100Mbit	HDX 50Mbit
2,86	2,77	2,95	2,76	3,23
3,14	2,96	2,68	2,99	2,98
2,86	2,92	2,77	3,08	2,68
2,90	3,07	2,85	2,62	2,74
3,08	2,73	2,86	2,78	2,87
2,56	2,87	2,81	2,81	2,81
2,67	2,93	2,92	2,92	2,96
2,95	2,87	2,85	3,12	3,12
2,85	2,66	2,71	2,79	3,02
3,18	2,79	2,73	2,81	2,95
2,93	2,93	2,92	2,93	3,05
3,04	2,77	2,99	2,78	2,88
3,15	2,81	2,88	2,97	2,93
3,17	3,07	2,91	3,03	2,99
2,76	3,12	2,97	2,79	2,84
2,74	2,83	3,13	2,68	3,01
3,01	2,88	2,66	2,98	2,82
3,33	2,71	2,80	3,13	2,79
3,15	2,78	2,82	2,84	2,86
2,74	2,90	2,83	2,86	2,91
3,05	3,05	2,84	2,99	3,03
2,63	2,82	2,77	3,11	2,98
3,18	2,77	2,94	2,97	3,14
2,97	2,62	2,84	3,01	2,78
2,62	2,88	2,81	2,88	2,69
3,02	2,96	2,93	2,74	2,87
2,98	3,02	3,02	2,96	2,94
2,48	3,19	2,90	3,05	2,81
2,86	2,84	2,78	2,69	2,65
3,08	2,97	3,03	3,18	2,91
2,90	2,93	2,91	2,84	3,12
3,03	3,39	2,79	2,95	2,83
3,04	2,78	2,96	2,66	2,97
2,98	2,86	2,90	2,90	3,00
3,24	2,90	2,89	3,28	2,79
2,56	3,02	3,05	2,64	2,68
2,85	2,93	2,87	2,88	2,88
2,78	2,91	3,06	2,98	2,93
2,84	2,99	2,77	3,02	3,02
2,89	2,89	2,76	2,80	2,84
2,926 W	2,902 W	2,871 W	2,905 W	2,907 W



Throughput Test

May 19 09:09:27 2011

Test Configuration	
Local Device	
IP:	192.168.001.196
Link Speed:	1Gb
Duplex:	Full
Remote Device	
IP:	192.168.001.198
Link Speed:	100Mb
Duplex:	Full
Frame Description	
Contents:	PRBS
Port:	3842
Test Rate and Duration	
Rate (bps):	100.0M
Duration (secs):	60

Frame Size	Upstream (local to remote) Results				Downstream (remote to local) Results			
	Frames Sent	Frames Rec'd	Rate (bps)	% Loss	Frames Sent	Frames Rec'd	Rate (bps)	% Loss
64	8.929M	8.929M	100.00M	0.00	8.929M	8.929M	100.00M	0.00
128	5.068M	5.068M	100.00M	0.00	5.068M	5.068M	100.00M	0.00
256	2.717M	2.717M	100.00M	0.00	2.717M	2.717M	100.00M	0.00
512	1.410M	1.410M	100.00M	0.00	1.410M	1.410M	100.00M	0.00
1024	718.4K	718.4K	100.00M	0.00	718.4K	718.4K	100.00M	0.00
1280	576.9K	576.9K	100.00M	0.00	576.9K	576.9K	100.00M	0.00
1518	487.6K	487.6K	99.99M	0.00	487.6K	487.6K	99.99M	0.00

EtherScope Configuration

Software Versions	Application: 4.0.04	Language Support: 4.0.04	Qt: 2.3.4	
Hardware Information	MAC Address: 00c017c00f9f	Serial Number: 0009050028	Hardware Version: 204 (Series II)	Manufacture Date: 010606



EtherScope™ Network Assistant



Throughput Test

May 19 11:29:25 2011

Test Configuration	
Local Device	
IP:	192.168.001.196
Link Speed:	100Mb
Duplex:	Full
Remote Device	
IP:	192.168.001.198
Link Speed:	100Mb
Duplex:	Full
Frame Description	
Contents:	PRBS
Port:	3842
Test Rate and Duration	
Rate (bps):	100.0M
Duration (secs):	60

Frame Size	Upstream (local to remote) Results				Downstream (remote to local) Results			
	Frames Sent	Frames Rec'd	Rate (bps)	% Loss	Frames Sent	Frames Rec'd	Rate (bps)	% Loss
64	8.929M	8.929M	100.00M	0.00	8.929M	8.928M	100.00M	0.00
128	5.068M	5.068M	100.00M	0.00	5.068M	5.067M	100.00M	0.00
256	2.717M	2.717M	100.00M	0.00	2.717M	2.717M	100.00M	0.00
512	1.410M	1.410M	100.00M	0.00	1.410M	1.410M	100.00M	0.00
1024	718.4K	718.4K	100.00M	0.00	718.4K	718.4K	100.00M	0.00
1280	576.9K	576.9K	100.00M	0.00	576.9K	576.9K	100.00M	0.00
1518	487.6K	487.6K	99.99M	0.00	487.6K	487.6K	99.99M	0.00

EtherScope Configuration**Software Versions**

Application: 4.0.04

Language Support: 4.0.04

Qt: 2.3.4

Hardware Information

MAC Address: 00c017c00f9f

Serial Number: 0009050028

Hardware Version: 204 (Series II)

Manufacture Date: 010606



EtherScope™ Network Assistant



Throughput Test

May 19 08:52:18 2011

Test Configuration	
Local Device	
IP:	192.168.001.196
Link Speed:	1Gb
Duplex:	Full
Remote Device	
IP:	192.168.001.198
Link Speed:	1Gb
Duplex:	Full
Frame Description	
Contents:	PRBS
Port:	3842
Test Rate and Duration	
Rate (bps):	1.000G
Duration (secs):	60

Frame Size	Upstream (local to remote) Results				Downstream (remote to local) Results			
	Frames Sent	Frames Rec'd	Rate (bps)	% Loss	Frames Sent	Frames Rec'd	Rate (bps)	% Loss
64	89.29M	89.29M	1000.0M	0.00	89.29M	89.29M	1000.0M	0.00
128	50.68M	50.68M	1000.0M	0.00	50.68M	50.68M	1000.0M	0.00
256	27.17M	27.17M	1000.0M	0.00	27.17M	27.17M	1000.0M	0.00
512	14.10M	14.10M	1000.0M	0.00	14.10M	14.10M	1000.0M	0.00
1024	7.184M	7.184M	1000.0M	0.00	7.184M	7.184M	1000.0M	0.00
1280	5.769M	5.769M	1000.0M	0.00	5.769M	5.769M	1000.0M	0.00
1518	4.876M	4.876M	1000.0M	0.00	4.876M	4.876M	1000.0M	0.00

EtherScope Configuration

Software Versions	Application: 4.0.04	Language Support: 4.0.04	Qt: 2.3.4	
Hardware Information	MAC Address: 00c017c00f9f	Serial Number: 0009050028	Hardware Version: 204 (Series II)	Manufacture Date: 010606