

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2014

Bc. Miroslav Králík

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Výkonnostní testování optické sítě EPON

**The Performance Testing of EPON Optical
Network**

2014

Bc. Miroslav Králík

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Miroslav Králík**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika

Téma: **Výkonnostní testování optické sítě EPON**
The Performance Testing of EPON Optical Network

Zásady pro vypracování:

Úkolem studenta bude nastudovat problematiku výkonnostního testování optických sítí a definovat kritické parametry pro tyto sítě. Práce se skládá s teoretického rozboru optických sítí, studiem dynamických protokolů pro přiřazování šířky pásma koncovým jednotkám.

Postupně bude síť zatížena službami Triple Play (data, video, hlas). Simulace Triple play bude tvořena zařízením IPTV streamer a EXFO FTB1-860. U těchto služeb se budou vyhodnocovat kritické parametry, které jsou nezbytné pro zajištění kvality služeb pro tuto službu Triple play tzn. QoS parametry pro jednotlivé služby.

1. Popis optické přístupové sítě EPON.
2. Popis měření objektivních metod pro služby Triple Play.
3. Realizace a měření služby Triple Play v síti EPON (v laboratorních podmínkách).
4. Závěr a vyhodnocení naměřených dat.

Seznam doporučené odborné literatury:

MA, Maode. *Current Research Progress of Optical Networks*. Vydání 1. Springer, 2009. 282 s. ISBN 978-1402098888.

LAM, Cedric. *Passive Optical Networks: Principles and practice*. Oxford: Elsevier Onc., 2007. 324 s. ISBN 978-0-12-373853-0.

CHOMYCZ, Bob. *Planning Fiber Optic Networks*. Vydání 1. New York: McGraw-Hill Professional, [June 18, 2009]. 400 s. ISBN 978-0-07-164269-9, MHID: 0-07-164269-2.

HENS, Francisco J.; CABALLERO, José M. *Triple Play: Building the converged network for IP, VoIP and IPTV (Telecoms Explained)*. Vydání 1. New York: John Wiley & Sons, 2008. 416 s. ISBN 978-0-470-75367-5.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Látal**

Datum zadání: 01.09.2013

Datum odevzdání: 07.05.2014



doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prehlásenie študenta

Prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne. Uviedol som všetky literárne pramene a publikácie, z ktorých som čerpal.

V Ostrave dňa: 7. mája 2014


.....
podpis študenta

Pod'akovanie

Rád by som pod'akoval Ing. Janovi Látalovi za odbornú pomoc, rady a konzultácie pri vytváraní tejto diplomovej práce.

Abstrakt

Diplomová práca sa zaoberá problematikou pasívnych optických prístupových sietí, konkrétne výkonnostným testovaním štandardu EPON. V prvom rade sú rozobrané optické prístupové siete, ich rozdelenie, technológie a popis jednotlivých súčastí. Ďalšia časť popisuje služby Triple Play a spôsoby, ktorými sú tieto služby hodnotené, teda objektívne a subjektívne hodnotiace metódy. Práca pokračuje praktickou časťou, ktorá je tvorená súborom meraní na zostavenej topológii. Overuje sa integrita siete a nasadenie Triple Play služieb na základe štandardov RFC 2544 a ITU Y.1564 EtherSAM. Súčasťou praktickej časti je tiež reálne nasadenie Triple Play služieb a ich objektívne hodnotenie prostredníctvom dostupných prístrojov a príslušného softvéru (MSU Video Quality Measurement Tool, IxChariot, BWMeter, EXFO AXS-200-625). Namerané výsledky sú následne uvedené do tabuliek a zobrazené v grafoch.

Kľúčové slová

Optická prístupová sieť, pasívna optická sieť, EPON, Triple Play, Dáta, IPTV, VoIP, OLT, ONU, QoS, PSNR, SSIM, MSE.

Abstract

This diploma thesis addresses the issue of passive optical access networks, especially performance testing of EPON standard. In the first case are discussed optical access networks, their division, technologies and description of corresponding components. Next part describes Triple Play services and ways, which this services are rated with. That means objective and subjective valuation methods. Thesis continues with practical part, which contains of measurements provided on compiled topology. Integrity of the network and deployment of the Triple Play services are verified by RFC 2544 and ITU Y.1564 EtherSAM testing standards. The component of practical part is also real application of Triple Play services and their objective evaluation by available devices and facility software (MSU Video Quality Measurement Tool, IxChariot, BWMeter, EXFO AXS-200/650). The measured results are subsequently stated to charts and reflected in diagrams.

Key words

Optical access network, passive optical network, EPON, Triple Play, Data, IPTV, VoIP, OLT, ONU, QoS, PSNR, SSIM, MSE.

Zoznam použitých symbolov

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
λ	nm	Vlnová dĺžka
A	dB	Útlm
a	dB/km	Merný útlm
L	km	Dĺžka
N	-	Počet
P	dB, dBm	Výkon

Zoznam použitých skratiek

Skratka	Význam
10GE-PON	10 Gbit/s Ethernet Passive Optical Network
ACR	Absolute Category Rating
APON	ATM Passive Optical Network
ATD	Asynchronous Time Division
ATM	Asynchronous Transfer Mode
AWG	Arrayed Waveguide Grating
BPON	Broadband Passive Optical Network
CAPEX	Capital Expenditure
CIR	Committed Information Rate
CoS	Class of Service
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection
CPE	Customer-Provided Equipment
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplex
DBA	Dynamic Bandwidth Allocation
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplex
EIR	Excess Information Rate
EPON	Ethernet Passive Optical Network
ESP	EPON Service Path
FCS	Frame Check Sequence
FDM	Frequency Division Multiplex
FITL	Fibre In The Loop
FTTB	Fibre To The Building
FTTC	Fibre To The Curb
FTTCab	Fibre To The Cabinet
FTTH	Fibre To The Home
FTTN	Fibre To The Node

FTTO	Fibre To The Office
FTTP	Fibre To The Permisses
FTTx	Fibre To The x
Full HD	Full High Definition
GEM	GPON Encapsulation Method
GEPON	Gbit/s Ethernet Passive Optical Network
GPON	Gigabit Passive Optical Network
HD	High Definition
IEEE	Institution of Electrical and Electronics Engineers
IGMP	Internet Group Management Protocol
IP	Internet Protocol
IPACT	Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time
IPTV	Internet Protocol Television
ISO/OSI	International Standards Organization/Open System Interconnection
ITU	International Telecommunication Union
KPI	Key Performance Indicators
LLID	Logical Link Identification
MAC	Media Access Control
MC	Media Converter
MOS	Mean Opinion Score
MPCP	Multi-Point Control Protocol
NGA	Next Generation Access
NT	Network Termination
OAN	Optical Access Network
ODN	Optical Distribution Network
OLT	Optical Line Termination
ONT	Optical Network Termination
ONU	Optical Network Unit
OoS	Out of Sequence
OPEX	Operational Expenditure

P2MP	Point to Multipoint
P2P	Point to Point
PMD	Polarization Mode Disperzion
PON	Passive Optical Network
QoS	Quality of Services
RF	Radio Frequency
RFC	Request For Comment
RTCP	Real-Time Transport Control Protocol
RTP	Real-Time Transport Protocol
Rx	Receiver
SME	Shared Medium Emulation
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDM	Space Division Multiplexing
SDP	Session Description Protocol
SFD	Start Frame Delimiter
SIEPON	Service Interoperability in Ethernet Passive Optical Networks
SIP	Session Initiation Protocol
STD	Synchronous Time Division
STDM	Statical TDM
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
Tx	Transceiver
UA	User Agent
UDP	User Datagram Protocol
UNI	User-Network Interface
VoD	Video on Demand
VoIP	Voice over Internet Protocol
WDM	Wavelength Division Multiplex
WDM-PON	Wavelength Division Multiplex Passive Optical Network
XG-PON	XG Passive Optical Network

Obsah

Úvod.....	- 1 -
1 Optické prístupové siete.....	- 2 -
1.1 Delenie optických prístupových sietí.....	- 2 -
1.1.1 Základné funkčné celky OAN.....	- 3 -
1.2 Súčasne najčastejšie používané topológie.....	- 3 -
1.2.1 Stromová topológia.....	- 3 -
1.2.2 Zbernicová topológia.....	- 4 -
1.2.3 Kruhovú topológia.....	- 5 -
1.2.4 Stromová topológia s kruhom alebo redundantným kmeňom.....	- 5 -
1.3 FTTx.....	- 6 -
1.3.1 Typy FTTx.....	- 6 -
1.4 Prenos optického signálu.....	- 7 -
1.4.1 Simplex, duplex (WDM, FDM, TDM).....	- 7 -
1.4.2 Bod-Bod (P2P) a Bod-Multibod (P2MP).....	- 9 -
2 Aktívna optická prístupová sieť (AON).....	- 11 -
3 Pasívna optická prístupová sieť (PON).....	- 12 -
3.1 APON, BPON, GPON.....	- 12 -
3.1.1 APON/BPON.....	- 12 -
3.1.2 GPON.....	- 13 -
3.2 WDM-PON.....	- 14 -
3.2.1 WWDM.....	- 15 -
3.2.2 DWDM.....	- 15 -
3.2.3 CWDM.....	- 15 -
3.3 EPON.....	- 16 -
3.3.1 Protokol MPCP.....	- 19 -
3.3.2 Ethernet rámcovanie.....	- 20 -
3.3.3 EPON šifrovanie a ochrana.....	- 20 -
3.3.4 Schémy prenosu EPON.....	- 20 -
3.4 10GEPON.....	- 21 -

3.5	XG-PON.....	- 22 -
3.6	SIEPON.....	- 23 -
3.7	Porovnanie vybraných typov PON.....	- 27 -
3.8	Dynamické pridelovanie šírky pásma pre PON.....	- 28 -
4	Triple Play.....	- 30 -
4.1	Hlasové služby - VoIP (<i>Voice over Internet Protocol</i>).....	- 30 -
4.1.1	Požiadavky na prenos paketov v IP telefónii.....	- 31 -
4.1.2	Metódy merania kvality služby VoIP.....	- 34 -
4.1.3	Faktory ovplyvňujúce službu VoIP.....	- 37 -
4.1.4	Štandardy rečových signálov a šírka pásma.....	- 39 -
4.2	Video služby - IPTV (<i>Internet Protocol Television</i>).....	- 40 -
4.2.1	Architektúra IPTV.....	- 40 -
4.2.2	Prenos vysielania.....	- 41 -
4.2.3	Protokoly a kodeky u IPTV.....	- 42 -
4.2.4	Metódy merania kvality IPTV.....	- 45 -
5	Kvalita služby (QoS), Kvalita vnímania (QoE).....	- 50 -
5.1	QoS (<i>Quality of Service</i>).....	- 50 -
5.1.1	End-to-end výkonnostné parametre.....	- 51 -
5.1.2	Triedy prevádzky.....	- 52 -
5.2	QoE (<i>Quality of Experience</i>).....	- 53 -
5.2.1	Aplikácia QoE.....	- 53 -
6	Realizácia a meranie služby Triple Play.....	- 55 -
6.1	Popis laboratórneho pracoviska.....	- 55 -
6.1.1	Súčasti topológie.....	- 55 -
6.1.2	Meracie prístroje a softvér.....	- 56 -
6.2	Konfigurácia zariadení.....	- 62 -
6.2.1	Konfigurácia OLT jednotky EPON.....	- 62 -
6.2.2	Konfigurácia AXS-200/850.....	- 64 -
6.2.3	Konfigurácia EXFO FTB-1/FTB-860 NetBlazer.....	- 64 -
6.2.4	Konfigurácia EXFO AXS-200/625.....	- 65 -
6.2.5	Konfigurácia služby IPTV.....	- 65 -

6.2.6	Konfigurácia služby VoIP	- 66 -
6.2.7	Konfigurácia služby Dáta	- 67 -
6.3	Overenie integrity siete EPON	- 68 -
6.3.1	RFC 2544	- 68 -
6.3.2	EtherSAM (ITU-T Y.156sam)	- 69 -
6.4	Vlastnosti základnej topológie EPON	- 70 -
6.4.1	Meranie útlmu trasy.....	- 70 -
6.4.2	Meranie výkonu, dosahu	- 73 -
6.4.3	Spektrálna analýza navrhutej topológie.....	- 75 -
6.5	Topológie	- 77 -
6.5.1	Overenie integrity siete - RFC 2544 a ITU Y.156sam EtherSAM.....	- 77 -
6.5.2	Nasadenie Triple Play služieb, meranie kvality služieb	- 78 -
6.6	Overenie integrity siete	- 79 -
6.6.1	Výsledky testov štandardu RFC 2544	- 79 -
6.6.2	Výsledky testov štandardu ITU Y.1564 EtherSAM	- 82 -
6.7	Nasadenie Triple Play služieb, meranie kvality služieb	- 88 -
6.7.1	Meranie IPTV pomocou AXS 200-625 - služba IPTV	- 88 -
6.7.2	Vplyv QoS parametrov - služba IPTV	- 90 -
6.7.3	MSU Video Quality Measurement Tool - služba IPTV	- 91 -
6.7.4	IxChariot - služba VoIP	- 95 -
6.7.5	Vplyv QoS parametrov - služba Dáta.....	- 97 -
	Záver	- 99 -
	Použitá literatúra	- 101 -
	Zoznam príloh	- 105 -

Úvod

Téma tejto práce sa zaoberá optickými prístupovými sieťami, ktoré sú v dnešnej dobe využité už nie len ako chrbticová sieť, ale čoraz viac zasahujú hlbšie a bližšie k zákazníkovi, do domácností, kancelárií apod. Technológie využívajúce dátový prenos vyžadujú stále viac, hlavne čo sa týka šírky pásma. Ide hlavne o technológie založené na IP protokole, ktoré patria medzi hlavné služby ponúkané poskytovateľom koncovému zákazníkovi. Jednou z možností rozšírenia vlastností súčasnej infraštruktúry dátového prenosu je technológia EPON, teda optický prenos založený na Ethernetovom princípe.

Poskytovatelia ponúkajú hlavne služby ako: širokopásmový dátový prenos, hlasové služby vo forme VoIP (*Voice over Internet Protocol*) a služby audiovizuálneho obsahu IPTV (*Internet Protocol Television*). Populárnou formou je poskytovanie týchto služieb ako jedného balíka pod názvom Triple Play.

Práca má tri hlavné časti pozostávajúce z teoretického rozboru danej problematiky a praktickej časti, ktorú tvoria merania prevádzané na experimentálnom pracovisku, ktoré možno rozdeliť na meranie vlastností siete a nasadenie a testovanie Triple Play služieb, prostredníctvom objektívnych metód.

Teoretickú časť tvorí päť kapitol zaoberajúcich sa úvodom do optických sietí, najpoužívanejšími topológiami, FTTx systémom, prenosom signálu a popisom technológií optických sietí. Hlavný dôraz je kladený na popis pasívnej optickej siete EPON a služieb Triple Play, ako aj ich objektívnym hodnotením, teda popis používaných objektívnych metód.

Praktická časť pozostáva z meraní na vytvorených topológiách, z ktorých sú získané výsledky, popisujúce fyzické vlastnosti danej siete. Ďalej je prevedené testovanie služieb Triple Play, ich vlastnosti a funkčnosť vzhľadom k rôznemu zaťaženiu siete. Triple Play služby sú tiež analyzované objektívnymi metódami. Služba IPTV pomocou softvéru MSU Video Measurement Quality Tool, kde sú použité metódy PSNR, MSE a SSIM. Tiež je použitá analýza videa pomocou prístroja AXS-200/625. Služba hlas je hodnotená pomocou softvéru IxChariot, na základe hodnoty MOS a R-faktoru. Služba Dáta je sledovaná pomocou programu BWMeter 6.6.3., kde je sledovaný vzostupný a zostupný dátový prenos. Všetky tieto služby sú sledované vzhľadom k pôsobeniu viacerých parametrov, napr. šírka pásma, BER, stratovosť paketov apod.

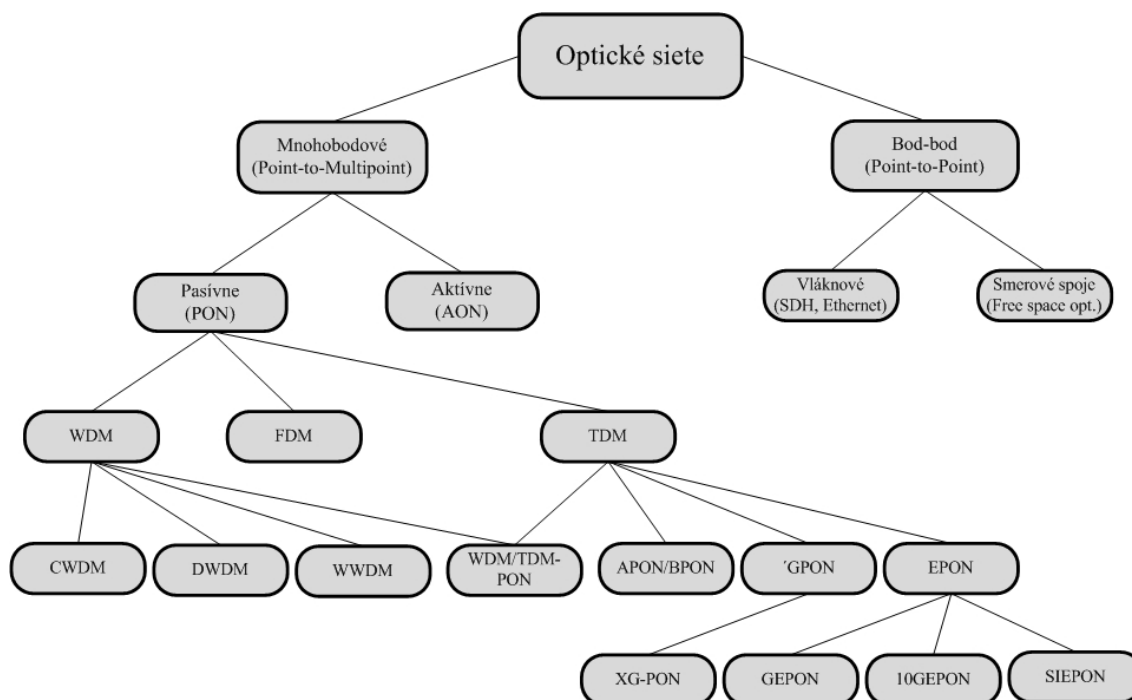
1 Optické prístupové siete

Dátová komunikácia a prenos má z pohľadu užívateľa čoraz väčšie nároky čo sa týka rýchlosti a kvality samotného prenosu. Dá sa povedať, že metalické telekomunikačné systémy dosiahli hranice svojich možností. Tu prichádza na rad technológia optických sietí a optickej komunikácie, ktorá tieto hranice dokáže bez problémov posunúť. V dnešnej dobe je nasadzovanie optickej komunikácie už bežnou záležitosťou. Optické vlákna, resp. optické káble a zariadenia potrebné pre optický prenos už vytlačujú metalické systémy nielen z chrbticovej ale aj z transportnej, metropolitnej a samozrejme aj z prístupovej siete.

Optické prístupové siete nám pomáhajú riešiť problémy ako: nárast počtu účastníkov, požiadavky na zavádzanie nových služieb, alebo tiež nárast objemu dátových komunikácií. Vytvárajú konkurenčné prostredie, umožňujú multiplexné využívanie prenosových médií a tiež sa snažia o nezávislosť technológie spojovacej a prístupovej siete.

1.1 Delenie optických prístupových sietí

Za najzákladnejšie rozdelenie optických sietí môžeme považovať delenie na siete bod-viac bodov a siete bod-bod. Ďalej sa optické siete delia na základe ich vlastností a prvkov, z ktorých sú zložené a ktoré sú použité pri ich nasadzovaní. Rozdelenie optických prístupových sietí popisuje obrázok 1.1.



Obr. 1.1: Rozdelenie optických prístupových sietí. [34]

1.1.1 Základné funkčné celky OAN

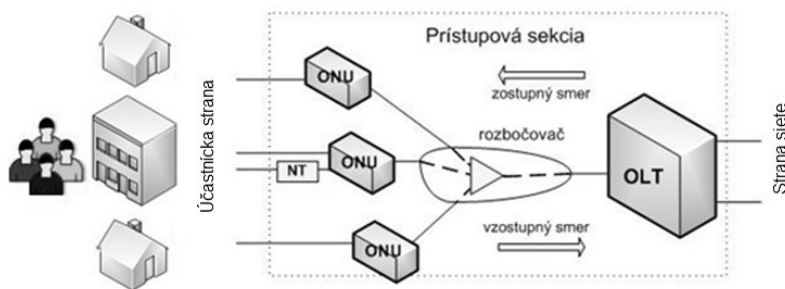
Využívanie optických vlákien na budovanie optických prístupových sietí, je z dôvodu ich schopnosti ponúknuť lepšie prenosové, resp. kapacitné vlastnosti, pre využívanie všetkých služieb požadovaných účastníkom.

Optickú prístupovú sieť tvoria tri základné funkčné celky (pozri Obr. 1.2):

OLT (*Optical Line Termination*), je jednotka nachádzajúca sa na strane siete. Optické linkové zakončenie - OLT, má funkciu sieťového rozhrania medzi prístupovou sieťou a sieťami telekomunikačných služieb,

ODN (*Optical Distribution Unit*) - optická distribučná sieť - súbor optických prenosových prostriedkov nachádzajúci sa medzi jednotkou OLT a ONU jednotkami. Je zložená z primárnej (transportnej) a sekundárnej (distribučnej) časti.

ONU (*Optical Network Unit*) - optické sieťové jednotky. ONU je jednotka na strane účastníka. Zabezpečuje funkciu účastníckeho rozhrania medzi koncovými zariadeniami účastníkov a prístupovou sieťou a tiež môžu nadväzovať sieťové zakončenie NT, tým pádom ide teda o ONT (*Optical Network Termination*) - optické sieťové zakončenie. [1] [37]



Obr. 1.2: Základné funkčné celky OAN.

Podľa spôsobu umiestnenia sieťových jednotiek ONU a spôsobu ich prevedenia, rozlišujeme rôzne typy optických prístupových sietí OAN. Tieto jednotlivé typy tvoria systém FTTx, ktorý je popísaný v kapitole 1.3.

1.2 Súčasne najčastejšie používané topológie

Základné topológie používané u prístupových sietí v súčasnej dobe sú:

- strom
- kruh
- zbernica
- strom s kruhom alebo redundantným kmeňom

1.2.1 Stromová topológia

V prístupových sieťach je najbežnejšie používaná a používa jedno vlákno od OLT jednotky k deliču. Z tohto bodu ide vlákno pre každú ONU jednotku pripojenú k sieti. Stromová

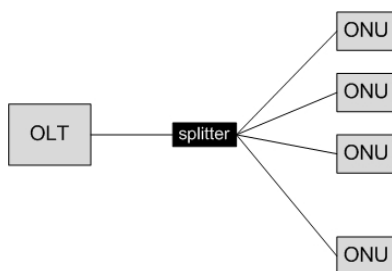
topológia (pozri Obr. 1.3) je v zásade zložená z kaskádovo usporiadaných deličov a topológie s jedným deličom sú všeobecne označované ako hviezdicové topológie.

Jej hlavnou výhodou je delenie, ktoré je sústredené na jeden bod, čo umožňuje ľahko rozpoznať prípadný problém so sieťou. Ďalšou výhodou je že ONU jednotky majú rovnakú výkonovú spotrebu, čo znamená, že všetky dostanú približne rovnakú kvalitu optického signálu.

Hviezdicová topológia (topológia jedného deliča) je atraktívna vzhľadom na to, že prevod z úzkopásmovej technológie (do 2 Mbit/s na zákazníka) k širokopásmovej (najmenej 1 Gbit/s zdieľanej kapacity na ONU jednotku) je jednoduchý a efektívny. Ak počet účastníkov rastie, hviezdicová sieť môže byť rozdelená na niekoľko podsietí, pridaním ďalšieho rozbočovača a OLT jednotky k deliacemu prepojeniu, čím sa získava všestranná a flexibilná architektúra pre rozširovanie siete.

Hviezdicové topológie predstavujú slabinu z hľadiska spoľahlivosti. Porucha centrálného zariadenia môže zvrhnúť celú sieť, ale totálne zlyhanie pasívneho vysielačieho prvku je nepravdepodobné. Existujú tiež scenáre čiastočného zlyhania, vrátane porúch zosilňovača, zlyhanie pripojení portov v prístupových uzloch, zlyhania vysielača alebo prijímača v prístupových uzloch (napr. z dôvodu zlyhania laseru) a tiež poruchy kabeláže. Takéto zlyhania vedú k zlyhaniu jednej alebo viacerých zložiek tejto topológie. V prípade prístupových sietí je zlyhanie OLT fatálne, pretože efektívne ovplyvňuje celú komunikáciu.

Ďalšou nevýhodou je že dostupná šírka pásma je zdieľaná všetkými účastníkmi na prípojke z OLT k optickému rozbočovaču. Priemerný kapacitný podiel na účastníka je teda počet vlnových dĺžok vynásobený prenosovou rýchlosťou na vlnovej dĺžke vydelený celkovým počtom účastníkov. Napríklad osem vlnových dĺžok o rýchlosti 2,5 Gbit/s, zdieľaných 200 účastníkmi nám umožní kapacitu 100 Mbit/s na účastníka. Ak sa má táto hodnota zaručiť, sieť musí byť limitovaná na daný počet účastníkov, aj keď títo účastníci nevyužívajú túto kapacitu neustále, čo spôsobuje obmedzenie využitia siete. [5]

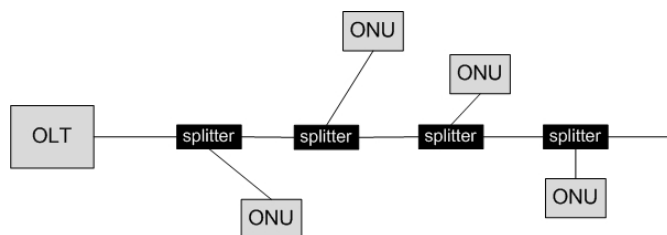


Obr. 1.3: Topológia strom u PON (celiaci pomer 1:N). [5]

1.2.2 Zbernicová topológia

Táto topológia (pozri Obr. 1.4) tiež využíva prepojenie jedným vláknom od OLT jednotky, čo spôsobuje rovnaké problémy ako pri hviezdicovej topológii. Jej dvoma výhodami je, že využíva minimálne množstvo optických vlákien a umožňuje flexibilné nasadenie, čiže nové ONU jednotky môžu byť pripojené k sieti veľmi jednoducho pridaním ďalšieho *tap-u*. Táto topológia má tiež svoje záporné stránky. Jednou je, že signál je znižovaný pri prechode

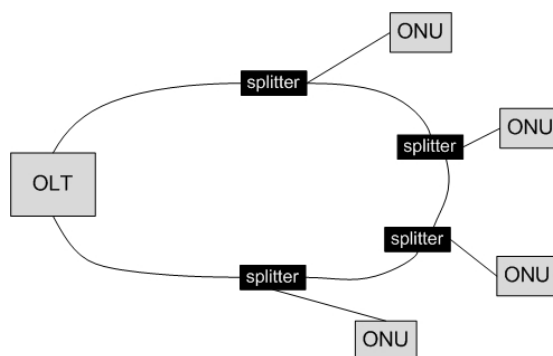
každým novým *tap* spojom, a tým ONU jednotky umiestnené ďaleko od OLT zariadenia prijímajú slabý signál. Druhou, že celková požadovaná dĺžka vlákna je vysoká pre pokrytie dvojrozmerného priestoru. [5]



Obr. 1.4: Topológia zbernica u PON (ukončovacia optická spojka 1:2). [5]

1.2.3 Kruhovú topológiu

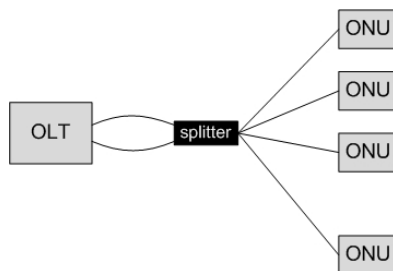
Kruhovú topológiu (pozri Obr. 1.5) sa používa najmä v metropolitných sieťach. Jej výhodou je obmedzenie kolízií, použitím dvoch vlákien na OLT jednotke. Tiež je použité o niečo zložitejšie prepínacie zariadenie na každej ONU jednotke, pre príjem signálu vysielaného z dvoch smerov. Táto topológia má rovnakú nevýhodu ako zbernicová topológia, keď takisto klesá sila signálu pri prechode každou ONU jednotkou. Tým je aj obmedzený počet ONU jednotiek v sieti, pre zachovanie určitej sily signálu. [5]



Obr. 1.5: Topológia kruh u PON(ukončovacia optická spojka 2x2). [5]

1.2.4 Stromová topológia s kruhom alebo redundantným kmeňom

Je totožná so štandardnou stromovou topológiu, ale s rozdielom pripojenia dvoch vlákien na OLT jednotku, pre bezpečnostné účely (pozri Obr. 1.6). V prípade prerušenia jedného vlákna je na prenos použité druhé. Pri tvorbe štruktúry je potrebné aby tieto dve vlákna boli umiestnené na oddelených kmeňoch, aby sme predišli súčasnému prerušeniu oboch vlákien. Optická spojka však potrebuje buď zabezpečiť aktívny prepínač pre výber prípojky z, resp. do OLT jednotky, alebo potrebuje distribuovať všetky dátové toky dva krát ku všetkým ONU jednotkám. V tomto prípade je maximálna kapacita na ONU jednotku znížená na polovicu. [5]



Obr. 1.6: Topológia strom s redundantným kmeňom (deliaci pomer 2:N). [5]

Kombinácia týchto základných topológií môže ponúknuť rozlišovaciu schopnosť a vyššiu hustotu rovnako ako lepšiu použiteľnosť pre pokrytie dvoch rozmerných plôch. Najslubnejším je zmiešanie primárneho kruhu a sekundárneho stromu pre poskytnutie odolnosti v distribúcií a optimalizácia nasadenia dĺžky vlákien v prístupovom segmente.

Ďalším zaujímavým riešením je usporiadanie do dvojitého kruhu, ktoré ponúka odolnosť na oboch stranách. Použitie hlavne u primárnych a sekundárnych segmentov prístupových sietí. Toto však znamená zložitejší prístupový protokol a použitie väčšieho množstva vlákien.

Príslušné projekty ktoré preukázali túto pokročilú architektúru sú:

- SUCCESS (*Stanford University aACCESS*),
- HHI-CWDM,
- SARDANA (*Scalable Advanced Ring-based passive Dense Access Network Architecture*). [5]

1.3 FTTx

Vláknový prístupový systém FTTx (*Fiber To The x*), alebo tiež názov FITL (*Fiber In The Loop*), je systém, kde „x“ môže byť „dom“ (*home*), „obrubič“ (*curb*), „areál siete“ (*premises*), „susedstvo“ (*neighborhood*) atď., v závislosti na tom, ako hlboko je vlákno v teréne, resp. ako blízko je k užívateľovi (pozri Obr. 1.7).

V systéme FTTH je vláknom prepojená celá trasa od prevádzkovateľa služby, až k domácomu užívateľovi. V systéme FTTC, je vlákno privedené k okraju komunity, kde je optický signál konvertovaný na elektrický a distribuovaný k užívateľom prostredníctvom metalických káblov. Systém FTTx môže byť v realizovaný ako vláknový prístupový systém bod-bod P2P (*Point to Point*) alebo bod-viac bodov P2MP (*Point to Multipoint*). [2]

1.3.1 Typy FTTx

FTTC (*Fibre to the Curb*) - optické vlákna sú privádzané k účastníckemu rozvádzaču a následne pomocou metalických káblov sú k nemu pripojené koncové body.

FTTB (*Fibre to the Building*) - optické vlákna sú privedené až do budov účastníkov a tí sú ďalej pripájaní pomocou vnútorných účastníckych rozvodov.

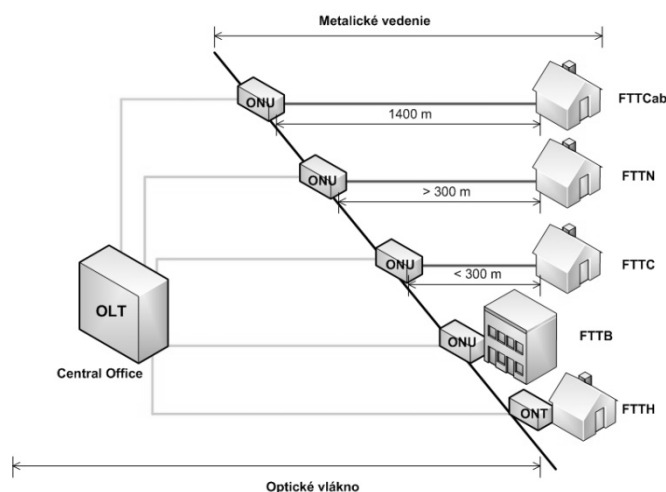
FTTO (*Fibre to the Office*) - optické vlákna sú zavedené až do priestorov dôležitých účastníkov s veľkými nárokmi na prenosovú kapacitu.

FTTH (*Fibre to the Home*) - optické vlákna sú zavedené až ku koncovým bodom siete, teda až na účastnícke zásuvky.

FTTP (*Fibre to the Permisses*) - optické vlákna sú privedené do areálu účastníckej siete.

FTTN (*Fibre to the Node*) - optické vlákna sú privedené k uzlu, t.j. približne 1 km od domov a podnikov. U FTTN je schopnosť dodávať účastníkom prenosovú rýchlosť 20 až 25 Mbit/s.

FTTCab (*Fibre to the Cabinet*) - optické vlákna sú privedené k rozvádzaču. Systém je podobný systému FTTC, odlišujú sa len vo vzdialenosti umiestnenia ONU jednotky. [37]



Obr. 1.7: Systém FTTx.

1.4 Prenos optického signálu

1.4.1 Simplex, duplex (WDM, FDM, TDM)

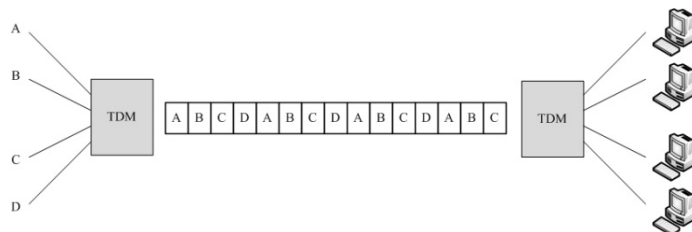
Prenos optického signálu zostupným aj vzostupným smerom môže byť zaistený niekoľkými spôsobmi.

Pri simplexnom prenose, resp. simplexnom delení - SDM (*Space Division Multiplexing*), sú použité dve vlákna, teda pre každý smer je vyhradené jedno vlákno.

U duplexného prenosu sa používa technológia, podľa toho, ako je prevedené delenie optického signálu.

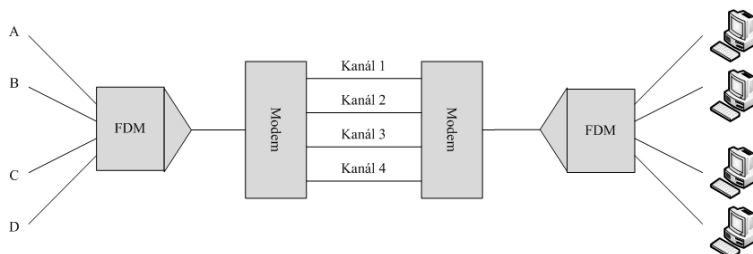
Technológia TDM (*Time Division Multiplexing*) umožňuje vďaka digitalizácii na spoločnej trase priradiť jednotlivým kanálom iba presne vymedzený časový interval a ostatné časové úseky využívať pre ďalšie kanály (pozri Obr. 1.8). TDM môžeme rozdeliť podľa

prenosového módu na dve kategórie - synchronný STD (*Synchronous Time Division*) a asynchronný ATD (*Asynchronous Time Divison*). Synchronný prenosový mód je založený na pravidelnom výskyte určitého časového intervalu príslušného k jednej relácií. Jeho výhodou je vytváranie prenosových kanálov s premennou rýchlosťou, čo spôsobuje pružnejšie reagovanie na požiadavky prenosu. Asynchronný prenosový mód pracuje opačne, teda pri nepravidelnom výskyte určitého časového intervalu. Výhoda asynchronného prenosového módu je efektívnejšie využitie prenosových trás, ktoré je spôsobené statickým multiplexovaním STDM (*Statical TDM*), keď sa prenosové prostriedky obsadzujú iba v prípade aktívnej komunikácie zostaveného spojenia. [4] [37]



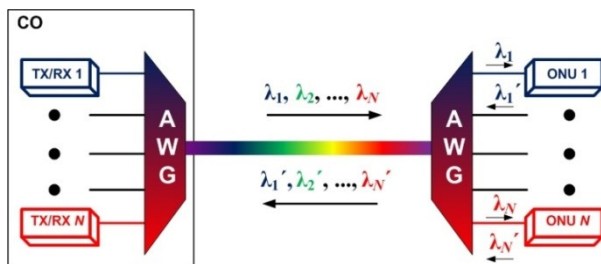
Obr. 1.8: Prenos TDM - časový multiplex. [4]

Technológia FDM (*Frequency Division Multiplexing*) signál prenáša tak isto po jednom vlákne v jednej oblasti vlnových dĺžok a smery sú oddelené kmitočtovo (pozri Obr. 1.9). FDM využíva to, že prenosová cesta disponuje širším pásmom kmitočtov ako je nutné obsadiť prenášaným signálom. Signály sa z jednotlivých kanálov môžu posúvať na vyššie kmitočty tak, aby sa tieto kanály neprekrývali. Toto sa využíva napríklad pri telefónnych prenosoch po metalických kábloch, pri obsadzovaní rádiového priestoru, ale tiež u prenosoch ADSL a VDSL. [4] [37]



Obr. 1.9: Prenos FDM - frekvenčný multiplex. [4]

Podstatou technológie WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) je delenie signálu na základe vlnovej dĺžky (pozri Obr. 1.10), teda ide o uplatnenie myšlienky združenia niekoľkých optických kanálov v jednom vlákne. Signály sú prenášané v jednom vlákne v oboch smeroch, pričom prenos jedného smeru je v oblasti 1 310 nm a druhého v oblasti 1 550 nm. Pôvodne boli tieto optické kanály prenášané každý jedným vláknom. Myšlienka vlnového delenia je veľmi podobná frekvenčnému združovaniu kanálov zo základného pásma do vysokofrekvenčných skupinových signálov, ktoré je použité u analógových nosných systémov.[3] [37]



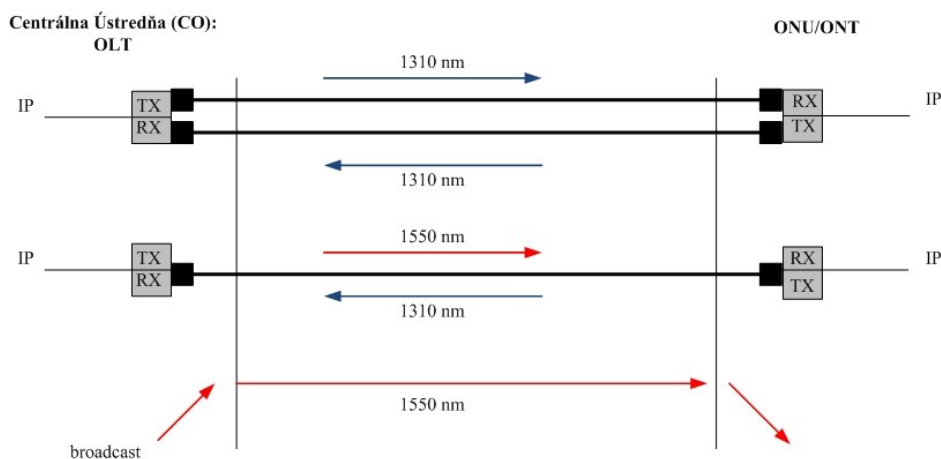
Obr. 1.10: Prenos WDM - vlnový multiplex.

1.4.2 Bod-Bod (P2P) a Bod-Multibod (P2MP)

Existujú dve alternatívy pre zavedenie optického vlákna do prístupovej slučky: bod-bod - P2P (*Point to Point*) a bod-viac bodov - P2MP (*Point to Multipoint*).

Topológia P2P

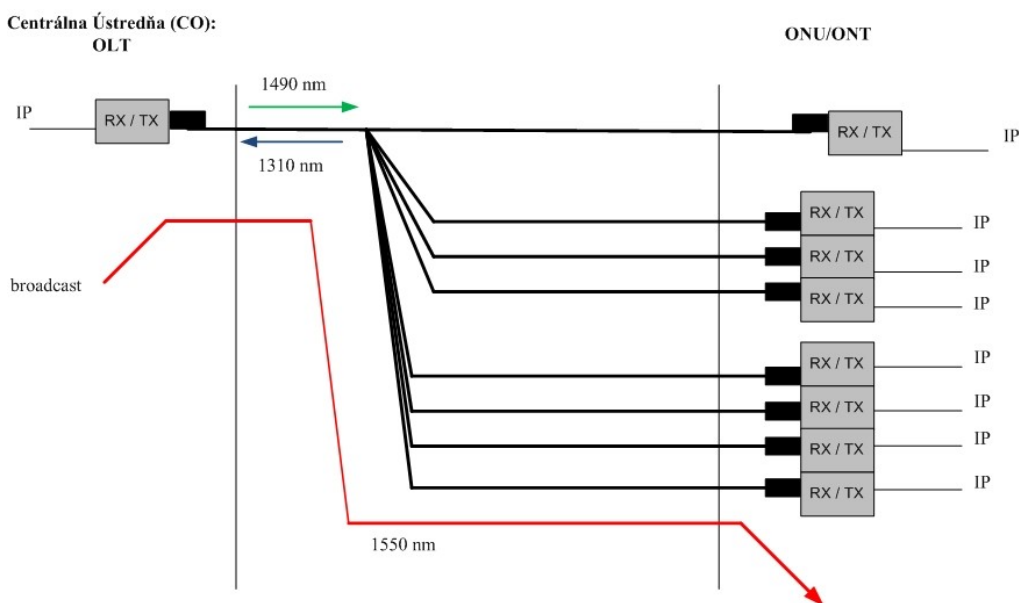
Systém P2P (pozri Obr. 1.11) používa MC (*Media Converter*) na dosiahnutie optického spojenia s vyhradeným vláknom putujúcim z centrálnej stanice ku každému koncovému užívateľovi. Odberatelia môžu byť vo vzdialenosti do 80 km od centrálnej stanice. Aj keď je to jednoduchá architektúra, náklady sú dosť vysoké, v mnohých prípadoch kvôli skutočnosti, že je potrebné použiť na trase špeciálne vonkajšie vlákna a tiež aktívne zariadenia. Keď však vezmeme do úvahy N účastníkov v priemernej vzdialenosti L od centrálnej stanice, tak systém FTTH P2P vyžaduje $2N+2$ vysielacie a celkovú dĺžku vlákna $N \times L$ (za predpokladu použitia jedného vlákna pre obojsmerný prenos), tak táto sieť v mnohých prípadoch predstavuje menšie náklady ako pri inštalácii pomocou UTP kábla. P2P je veľmi flexibilné riešenie pre prevádzkovateľa a tiež môže byť diaľkovo riadené, pretože prepínacie zariadenie (*Ethernet switch*) v sieti je inteligentné. Avšak hlavnou nevýhodou u architektúr FTTB/N je potreba správy a údržby veľkého počtu aktívnych uzlov. V tomto ohľade FTTH systémy, ktoré sú založené na pasívnych sieťových prvkoch - pasívne optické siete PON - vedú k väčším úsporám prevádzkových nákladov ako staršie širokopásmové siete. [3] [37]



Obr. 1.11: Topológia P2P. [3]

Topológia P2MP

Druhým systémom je P2MP (pozri Obr. 1.12), ktorý používa PON so stromovou topológiou a pasívnymi optickými rozbočovačmi. PON siete majú niekoľko výhod oproti iným architektúram prístupových sietí. Stromová topológia ponúka jeden sieťový port prostredníctvom jedného vlákna pre väčšie množstvo užívateľov. Náklady infraštruktúry a sieťových prvkov na centrálnej stanici sa delia na všetkých užívateľov: napríklad v nasadení FTTH je počet vysieláčov $N+1$, kým u P2P je potrebné $2N+2$. Tiež každý užívateľ môže pristupovať k celej šírke pásma, ktorú zdieľajú všetci užívatelia. To umožňuje kvalitnejšie služby pre dané množstvo dostupných zdrojov. Účastníci môžu byť od centrálnej stanice vo vzdialenosti do 20 km. Takže vo väčšine prípadov, PON je najvhodnejšie riešenie pre nasadenia FTTH. [3] [37]

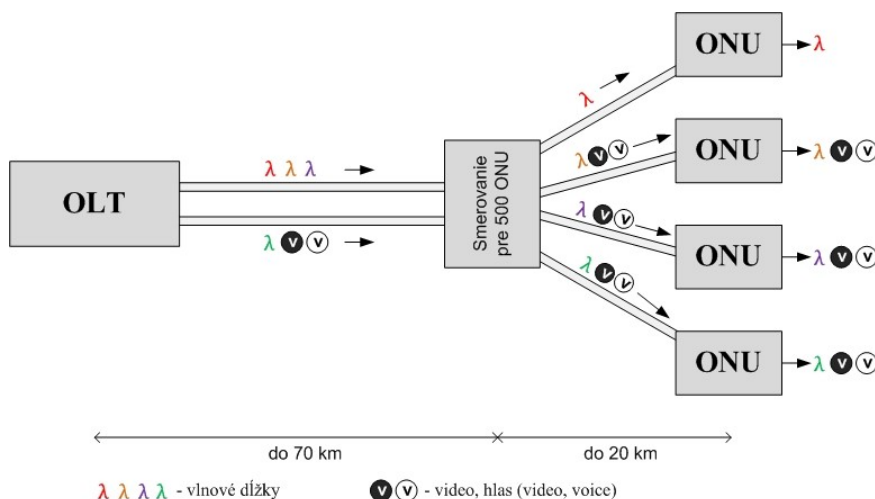


Obr. 1.12: Topológia P2MP. [3]

2 Aktívna optická prístupová sieť (AON)

Aktívne prístupové siete na rozdiel od pasívnych prístupových sietí potrebujú elektrické napájanie aktívnych sieťových prvkov použitých v distribučnej sieti, t.j. rozbočovačov alebo muldexov. Hlavnou výhodou týchto sietí v porovnaní s PON je lepší dosah, prekonanie väčších vzdialeností medzi OLT a ONU a použitie väčších čiastkových pomerov v distribučných bodoch. Aktívne prístupové siete tvoria tiež základ hybridných sietí, pretože na optickú časť vo vyššej úrovni nadväzuje nižšia úroveň tvorená technológiami ako napríklad xDSL, rádiové prostriedky, CATV.

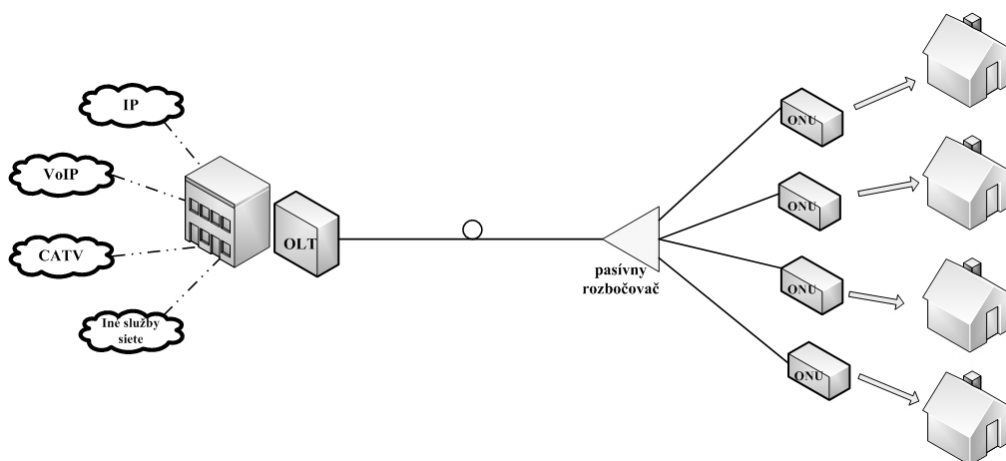
Aktívna optická sieť obsahuje aktívne sieťové prvky v podobe digitálneho prenosového zariadenia a najčastejšie býva realizovaná technológiou SDH. Je tvorená kruhom STM-1 alebo STM-4 so synchronnými deliacimi muldexmi ADM (*Add-Drop Muldex*). Na muldexi ADM sa napojujú účastníci rôznym spôsobom (sekundárna úroveň - PON, ISDN, B-ISDN, HDSL, ASDL apod.). Pretože AON tvoria spoločnú, zastrešujúcu platformu pre ostatné prístupové systémy, označujú sa aj ako integrované prístupové systémy. Nasledujúci obrázok 2.1 schematicky znázorňuje aktívnu optickú prístupovú sieť. [37]



Obr. 2.1: Aktívna optická sieť (AON), transport vlnových dĺžok k jednotlivým koncovým jednotkám (prenos služieb Dáta, IPTV a VoIP - Triple Play).

3 Pasívna optická prístupová sieť (PON)

Ide o architektúru optickej siete, v ktorej sú využívané pasívne optické prvky. Pasívne optické prvky nepotrebujú k svojej prevádzke elektrickú energiu. Distribúcia signálu k účastníkovi je zabezpečená pasívnym rozbočovačom, ktorý pracuje tiež aj v opačnom smere, od účastníka k sieti. Rozbočovač neprevádza zosilňovanie ani iné úpravy, jeho úlohou je iba rozdeliť optický signál do požadovaného počtu čiastkových smerov. Každý účastníckej ukončujúcej jednotke ONU sa dostane kompletný multiplexovaný signál od linkového zakončenia OLT a z neho vyberie iba jej prislúchajúci kanál. Zjednodušená schéma je zobrazená na obrázku 3.1. [37]



Obr. 3.1: Pasívna optická sieť. [31]

3.1 APON, BPON, GPON

APON/BPON a GPON sú štandardizované skupinou ITU-T Study Group 15 (SG15). APON a BPON sú odlišné názvy pre architektúru TDM-PON, založenú na štandarde ITU-T G.983. Kým názov BPON (*Broadband PON*) slúži svojmu marketingovému účelu. GPON zastáva gigabitové PON a vzťahuje sa k štandardu ITU-T G.984. GPON je ďalšou generáciou PON sietí vyvinutou ITU-T po APON. [37]

3.1.1 APON/BPON

Myšlienky vzťahujúce sa k štandardu G.983 boli prenesené do GPON štandardu G.984. Pôvodný štandard G.983.1 z roku 1998 definoval prenosové rýchlosti 155,52 Mbit/s a 622,08 Mbit/s. Nová verzia štandardu z roku 2005, pridala prenosovú rýchlosť 1 244,16 Mbit/s pre zostupný smer. APON predajcovia si môžu vybrať pre implementáciu symetrické alebo asymetrické, zostupné a vzostupné prenosové rýchlosti. Tabuľka 3.1 ukazuje možné kombinácie týchto rýchlostí pre systém APON. [2] [37]

Tab. 3.1: *Prenosové rýchlosti u APON. [2]*

	Zostupný smer [Mbit/s]	Vzostupný smer [Mbit/s]
1.	155,52	155,52
2.	622,08	155,52
3.	622,08	622,08
4.	1 244,16	155,52
5.	1 244,16	622,08

Okrem jednovláknového riešenia duplexu vlnových dĺžok definovali oba štandardy, G.983.1 a G.984.1 dvojvláknové riešenie s vyhradenými vzostupnými a zostupnými prenosovými rýchlosťami. Všetky ITU PON štandardy obsahujú tri triedy optickej prenosovej vrstvy tvorenej s rôznymi útlmami ODN medzi ONU a OLT. Štandard ITU-T G.982 špecifikuje tri triedy:

- trieda A: 5-20 dB,
- trieda B: 10-25 dB,
- trieda C: 15-30 dB.

Z týchto tried bola pre praktickú implementáciu u systémov PON najvhodnejšia trieda B+ s útlmom 28 dB.

ITU-T G.983 bolo založené na technológii ATM. Bohužiaľ, ATM neprežil prichádzajúce očakávania univerzálneho sieťového protokolu pre pokrytie rôznych aplikácií. [2] [37]

3.1.2 GPON

Pre lepšie zvládnutie zmien v komunikačných technológiách a vyhoveniu rýchlo rastúcemu dopytu, ITU-T vytvorilo štandard G.984 pre PON s Gigabitovými schopnosťami, nazývaný GPON, ktorý na 2.vrstve prenáša GEM rámce.

ITU-T G.984.1 ponúka prehľad GPON komponentov a referenčných štruktúr. GPON PMD vrstva, alebo požiadavky vysielača sú obsiahnuté v štandarde ITU-T G.984.2. Prenosové rýchlosti definované v G.984 popisuje tabuľka 3.2.

Tab. 3.2: *Prenosové rýchlosti u GPON. [2]*

Smer	Symetricky		Asymetricky	
Up [Mbit/s]	1 244,16	2 488,32	155,52	622,08 (1244,16)
Down [Mbit/s]	1 244,16	2 488,32	1 244,16	2 488,32

Pričom pre symetrickú službu platia rýchlosti 1 244,16 Mbit/s / 2 488,32 Mbit/s a pre asymetrickú službu, zo siete k užívateľovi 1 244,16 Mbit/s / 2 488,32 Mbit/s a v opačnom smere 155,52 Mbit/s / 622,08 Mbit/s a 1 244,16 Mbit/s.

Keď rýchlosti pokročili do gigabitového režimu, PON optická vrstva sa stala zložitejšou. Na pokrytie dvadsať kilometrovej prenosovej vzdialenosti nemohli byť viac použité MLM lasery na ONU jednotku, aby sa predišlo rozptylovým chybám. Po druhé, na pokrytie stratových požiadaviek pre Triedu B (10-25 dB) a Triedu C (15-30 dB) optického vlákna, sú potrebné výbojné fotodiódy (APD) namiesto lacnejších PIN prijímačov. Bez vhodných ochranných obvodov sú APD citlivé na poškodenie spôsobujúce lavínový pád, ak vstupný optický výkon bude príliš vysoký. S rovnakou spotrebou vlákna ako u APON, sú u GPON pre podporu vysokých prenosových rýchlostí použité výkonnejšie vysielače, pre splnenie výkonových požiadaviek. GPON špecifikuje výkonnostne úrovňový (*power-leveling*) mechanizmus pre dynamickú kontrolu výkonu. V tomto mechanizme sa OLT zariadenie snaží vyvažovať výkon prijímaný z rôznych ONU jednotiek podľa inštrukcií ONU jednotiek na zvýšenie alebo zníženie vypúšťaného výkonu. V dôsledku toho, ONU jednotka ktorá je bližšie k OLT začína na menšom výkone, ako ONU ktorá je ďalej a zaznamenáva väčšie straty. Tento koncept výkonnostne úrovňového mechanizmu alebo kontroly výkonu existuje už dlho v celulárnych sieťach na vysporiadanie sa s blízkym/vzdialeným (*next/fext*) presluchoвым efektom a šetrí energiu celúrneho zariadenia. [2] [37]

3.2 WDM-PON

Väčšina nasadení FTTH v posledných rokoch bolo založených na štandardných technológiách ako sú GE-PON a GPON. Úspech týchto štandardov viedol k ich stálym inováciám, čo sa týka samotného systému ako aj komponentov. Tieto systémy sa však aj napriek tomu postupne stávajú nedostačujúcimi. Tu prichádza na radu štandard WDM-PON (*Wavelength Divison Multiplexing PON*), ktorý ponúka nové kapacitné možnosti. Jeho aktuálnou nevýhodou je však cena, ktorá je relatívne vysoká v porovnaní s GE-PON a GPON technológiami.

WDM-PON je založená na technológii delenia vlnových dĺžok, keď každému účastníkovi je pridelená vlastná vlnová dĺžka. To je rozdiel oproti tradičným PON architektúram, kde je jeden optický zdroj zdieľaný medzi 32 alebo viac užívateľov, čo obmedzuje vysoké prenosové rýchlosti pre jednotlivých užívateľov. WDM-PON umožňuje efektívne využiť súčasné infraštruktúry, pričom každému užívateľovi umožňuje plné využitie dostupných 1 250 Mbit/s. Pravdaže, sú potrebné určité zmeny v sieti. Prvá vyžaduje nahradenie pasívneho 1:32 deliča pasívnym 1:32 kanálovým demultiplexerom, typický AWG (*Arrayed Waveguide Grating*). To umožní prenesenie 32 vlnových dĺžok po jednom vlákne a následné rozdelenie pre jednotlivých koncových užívateľov s vlastnou vlnovou dĺžkou.

Na základe použitých prvkov a realizácií, môžeme rozdeliť WDM-PON na niekoľko typov:

- WDM-PON s použitím klasického rozbočovača, kde sú pridelené vlnové dĺžky pevne ku koncovým jednotkám,
- WDM-PON s použitím AWG smerovej odbočnice namiesto pôvodných bežných rozbočovačov,
- WDM-PON založená na kombinácii AWG a klasických rozbočovačov,
- WDM-PON založená na princípe AWG ako v predošlých variantoch, s rozdielom u ONT jednotiek (je použitý FP laser opticky zavesený na stimulačnej vlnovej dĺžke prichádzajúcej od AWG). [37]

3.2.1 WWDM

Jedna z technológií WDM, tzv. technológia „širokého“ vlnového multiplexu WWDM (*Wide Wavelength Division Multiplex*). WWDM patrí medzi staršie techniky, avšak aj dnes je ešte stále používaná z dôvodu nízkych nákladov. U tejto technológie sa najčastejšie používajú štyri vlnové dĺžky v oblasti okolo 1 310 nm a odstup medzi jednotlivými dĺžkami je do 20 nm. Najčastejšie býva táto technológia využívaná u prenosov Gigabit a 10Gigabit Ethernetu. [6] [37]

3.2.2 DWDM

Technológia patriaca medzi najdokonalejšie systémy, ktoré sú v optoelektronike používané. Ide o technológiu tzv. „hustého“ vlnového multiplexu DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplex*). Odstup medzi jednotlivými kanálmi je iba 0,8 nm, teoreticky až 0,1 nm, čo umožňuje prenášať v jednom optickom vlákne desiatky kanálov. Tieto kanály sú prenášané paralelne a nezávisle na sebe. Systémy DWDM umožňujú prevádzkovať až 96 kanálov na jednom fyzickom spoji pri prenosovej rýchlosti 2,5 až 10 Gbit/s. [6] [37]

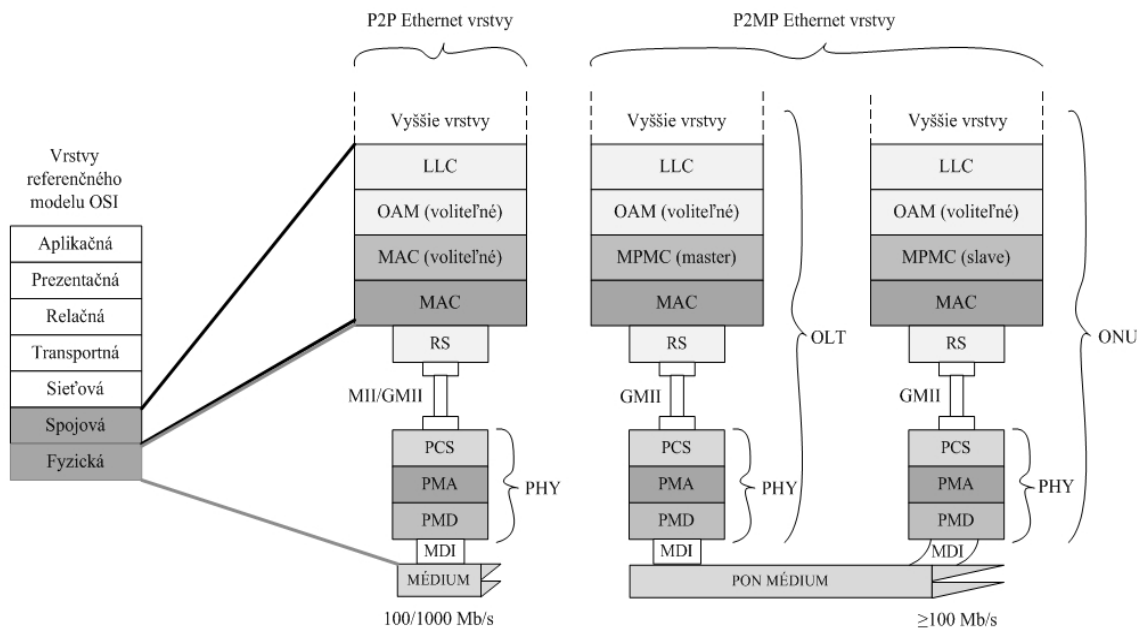
3.2.3 CWDM

Je to technológia ktorá vznikla ako lacnejší variant DWDM, čo je spôsobené používaním nie až tak presných a technologicky náročných prvkov ako u DWDM. Ide o technológiu tzv. „hrubého“ multiplexu CWDM (*Coarse Wavelength Division Multiplex*). Odstup jednotlivých kanálov vlnových dĺžok pre použitie CWDM technológie je definovaný štandardom ITU-T G-694.2 tak, aby bolo možné použiť laserové diódy ako zdroje žiarenia bez nutnosti chladenia. Odstup jednotlivých kanálov je 20 nm. Jednotlivé vlnové dĺžky sú u CWDM zvolené tak, aby boli kompatibilné s vlnovými dĺžkami 1 310 nm a 1 550 nm. CWDM si zatiaľ našlo uplatnenie v metropolitných sieťach, kde vďaka možnosti kombinovania sa s technológiou DWDM môže vytvárať topológie s veľkými možnosťami šírky pásma. V každom kanále CWDM je možný prenos Gigabit Ethernet do vzdialenosti až 80 km s prenosovou rýchlosťou 2,5 Gbit/s do vzdialenosti 50 km. [6] [37]

3.3 EPON

EPON je nový prírastok Ethernetovej rodiny, ktorého návrh začal v Marci 2001 skupinou IEEE 802.3 a nasledovne v jeho ďalších variantoch IEEE 802.3ah ako GEAPON a IEEE 802.3av ako 10GEAPON.

EPON je založený na štandarde Ethernet, ktorý pokrýva fyzickú a dátovú vrstvu referenčného modelu OSI. Na obrázku môžeme vidieť porovnanie vrstvomého modelu tradičnej bod-bod (P2P) Ethernet a bod-viac bodov (P2MP) EPON architektúru.



MAC: riadenie prístupu k médiu (*Media access control*)
 MDI: rozhranie závislé na médiu (*Medium-dependent interface*)
 MII: rozhranie nezávislé na médiu (*Media-independent interface*)
 PMA: fyzické pripojenie média (*Physical medium attachment*)
 PMD: na fyzickom médiu závislá (*Physical medium-dependent*)

MPMC: multibodové riadenie prístupu k médiu (*Multipoint media access control*)
 PCS: podvrstva fyzického kódovania (*Physical coding sublayer*)
 GMII Gigabit rozhranie nezávislé na médiu (*Gigabit media-independent interface*)
 FYZ: zariadenie fyzickej vrstvy (*Physical-layer device*)
 RS: zrovnávací podvrstva (*Reconciliation sublayer*)

Obr. 3.2: Bod-bod (P2P) Ethernet a bod-viac bodov (P2MP) EPON vrstvomá architektúra. [2]

Z obrázku 3.2 vidieť, že EPON vrstvenie je veľmi podobné tradičnému P2P Ethernet. Štandardný Ethernet delí fyzickú vrstvu a vrstvu dátového spojenia do viacerých čiastkových vrstiev. Fyzická vrstva je pripojená k dátovej vrstve pomocou MII alebo GMII.

MAC vrstva z P2P Ethernetu je u EPON nahradená vrstvou MPMC. Na tejto vrstve beží MPCP protokol, ktorý koordinuje prístup na zdieľané PON médium medzi EPON ONU jednotkami. Hoci OLT a ONU zložky vyzerajú takmer rovnako, MPCP entita v OLT funguje ako *master* a MPCP entita v ONU ako *slave* (pozri Obr. 3.2).

Vrstva PMD určuje fyzický charakter optických vysielačov. Ethernet má tradíciu prevzatia starších nízko-nákladových návrhov pre podporu hromadného nasadenia. Táto filozofia je kľúčom k obrovským obchodným úspechom Ethernetu. Na rozdiel od 1:32 deleniu používaného u G-PON, IEEE 802.3ah štandard špecifikuje minimálny deliaci pomer 1:16.

EPON v podstate zdedil ITU-G.983.3 plán pridelovania vlnovej dĺžky. Čo sa týka vlastností ONU, tak pre prenosové vzdialenosti 10 km a 20 km sú takmer identické. Väčšie zmeny sa stali u OLT jednotky, keď prenosová vzdialenosť je zdvojnásobená, z 10 km na 20 km.

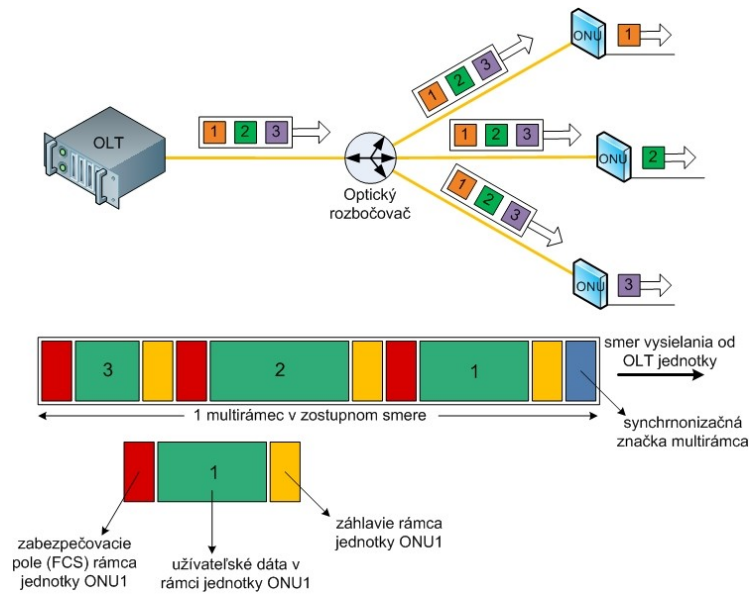
Štandard EPON má definované dva dosahy medzi OLT a ONU prvkami a to 10 km a 20 km. 1000BASE-PX10-D PMD a 1000BASE-PX10-U PMD definujú OLT a ONU vysielačiu charakteristiku pre 10 km úsek, označuje sa tiež aj ako EPON typ1. Pre úsek 20 km medzi OLT a ONU je definovaný ako 1000BASE-PX-20-D PMD a 1000BASE-PX20-U PMD, tiež EPON typ 2.

IEEE 802.3ah EPON špecifikácia definuje MPCP (*Multi-Point Control Protocol*) a dve PMD 1 490/1 310 nm pre 10 a 20 km, potrebné na vybudovanie EPON systému. Typické EPON systémy môžu zahŕňať ďalšie funkcie nad štandardom IEEE 802.3ah, vrátane bezpečnosti, overovania a dynamického pridelovanie šírky pásma.

EPON je zvyčajne nasadená ako stromová topológia a používa pasívne optické rozbočovače 1:N. EPON sieť zahŕňa OLT umiestnené v centrálnej ústredni a ONU jednotku v blízkosti, alebo priamo u zákazníka, t.j. v sídle účastníka, teda v budove, alebo pri chodníku. EPON je konfigurovaná v plne duplexnom móde (žiadne CSMA/CD) v jednom vlákne P2MP topológií. Odberatelia, alebo ONU jednotky vidia prevádzku len z hlavnej stanice a druhý odberateľ nevidí prevádzku prenášanú iným odberateľom. P2P komunikácia prebieha cez odovzdávaciu stanicu alebo OLT. EPON systémy používajú architektúru optického deliča, multiplexované signály s rôznymi vlnovými dĺžkami pre zostupný a vzostupný smer:

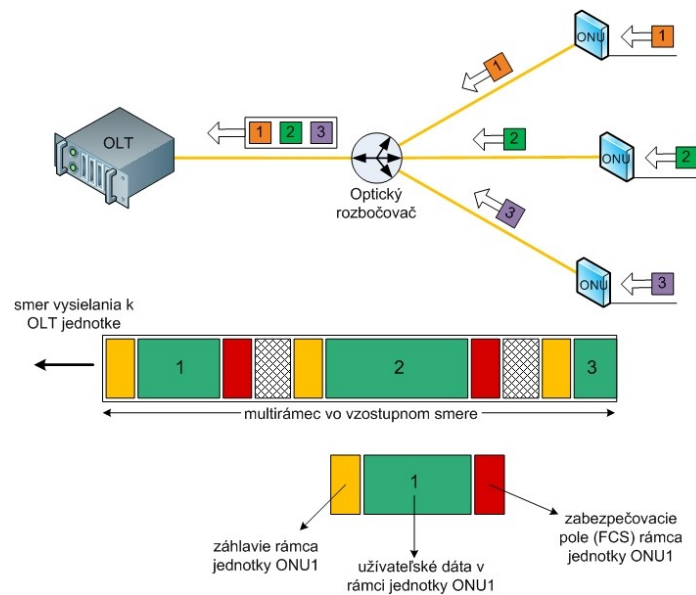
- 1 490 nm zostupný smer,
- 1 310 nm vzostupný smer. [2]

V zostupnom smere (pozri Obr. 3.3) vysiela OLT jednotka kontinuálne časové multirámce, v ktorých sú vďaka použitiu časového multiplexu TDM zaradené príspevky pre jednotlivé ONU jednotky. Tieto multirámce sa vďaka pasívnym rozbočovačom dostávajú do všetkých koncových jednotiek, kde je vybraná tá časť, ktorá je určená danému koncovému užívateľovi. Začiatok multirámca je označený definovanou postupnosťou pre jednoduchšiu detekciu jeho začiatku a odvodenia bitovej synchronizácie. Dátové jednotky v multirámci sú uložené vo formáte Ethernet rámcov s pozmeneným záhlavím a zabezpečujúcim poľom. [18]



Obr. 3.3: Schéma prenosu v zostupnom smere. [18]

Vo vzostupnom smere (pozri Obr. 3.3) je implementovaný systém vyhradených vysielacích intervalov pre zaistenie bezkolíznej prevádzky. Jednotlivé dátové jednotky vo výslednom multirámci sú navyše oddelené ochranným intervalom. [18]



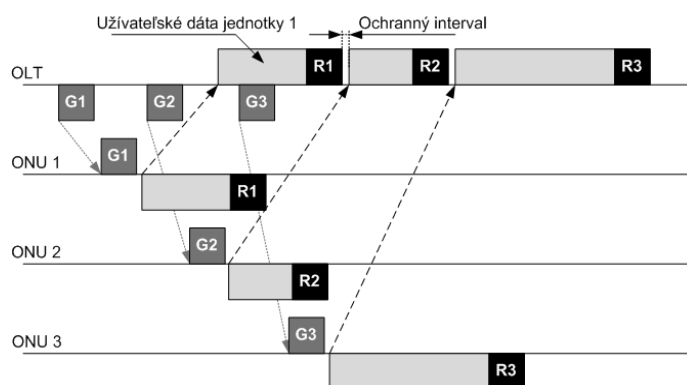
Obr. 3.4: Schéma prenosu vo vzostupnom smere. [18]

V EPON architektúre sa nevyskytujú kolízie a ani fragmentácia paketov. EPON je vhodný pre FTTH, FTTB a biznis aplikáciu, vrátane hlasových, dátových a video služieb. EPON je typ vlákno založeného Ethernet prístupu, používajúceho pasívnu optickú 1:N infraštruktúru. EPON sieť je zdieľaná, podobná hybridnej vlákno-koaxiálnej sieti, ale s lepšou šírkou pásma (1 Gbit/s). EPON systémy sú veľmi atraktívnym riešením prístupu

z dôvodu výhodnej ceny a vlastností vyplývajúcich z podstaty EPON, ako celo-pasívnej siete, tiež vďaka P2MP architektúre a pôvodnému Ethernet protokolu. [2]

3.3.1 Protokol MPCP

Protokol zjednodušujúci potreby riadenia, správy, služobnej komunikácie a dynamického pridelovania prenosových kapacít v multirámci vo vzostupnom smere. Jednotka OLT v služobných správach v zostupnom smere periodicky odosiela správy označené GATE, ktoré sú určené jednotlivým koncovým jednotkám ONU, v ktorých je obsiahnutá informácia o vyhradenom časovom úseku v multirámci vo vzostupnom smere. Koncová jednotka ONU na ňu odpovedá správou REPORT, v ktorej informuje OLT jednotku o aktuálnom stave zaplnenia svojej vyrovnávacej pamäte. OLT jednotka na základe tejto informácie prideluje v nasledujúcom cykle vyhradenú kapacitu v ďalšom multirámci vo vzostupnom smere. Okrem správy REPORT odošle ONU jednotka pripravené užívateľské dáta vo svojom vyhradenom intervale. Tento cyklus je naznačený na nasledujúcom obrázku (pozri Obr. 3.5). Správy G1 až G3 predstavujú GATE správy pre ONU jednotky (ONU1, ONU2, ONU3), odpovede R1 až R3 sú správy REPORT od ONU jednotiek (ONU1, ONU2, ONU3) a k nim pridané užívateľské dáta. Medzi jednotlivými príspevkami sú ochranné intervaly. [18]



Obr. 3.5: Cyklus dotazov a odpovedí koncových jednotiek. [18]

Existuje viacero situácií ktoré môžu nastať. V najjednoduchšom prípade odošle OLT iba jednu GATE správu pre ONU jednotku, počká na odpoveď a potom vyšle správu na ďalšiu a opäť čaká. Tento prípad zaisťuje bezkolízny spôsob prenosu a aj to, že každá koncová jednotka má vyhradenú svoju kapacitu, avšak všetko je to na úkor využitia kapacity vo vzostupnom smere.

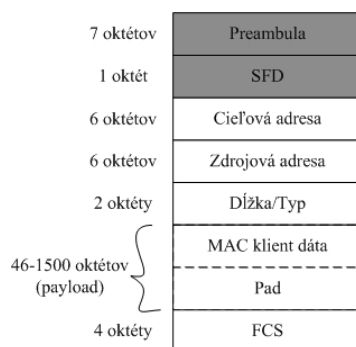
Ďalší spôsob spočíva vo vyslaní GATE správy OLT jednotkou na všetky koncové jednotky po sebe a vo vzostupnom očakáva ich odpovede s užívateľskými dátami v definovaných časových okamžikoch. Je lepšie využitá kapacita multirámca vo vzostupnom smere, ale bolo nutné doňho implementovať obmedzenie pre maximálnu dĺžku odosielaných užívateľských dát, aby mala každá ONU jednotka vyhradenú určitú minimálnu kapacitu.

Tretím spôsobom je prídanie ďalšieho ochranného intervalu bez vysielania na koniec všetkých odpovedí z prvého cyklu. Predtým, ako OLT odošle novú správu GATE koncovej

jednotke ONU 1, počká definovanú dobu. Nový cyklus je teda od prvého cyklu oddelený dodatočným časovým intervalom bez komunikácie. [18]

3.3.2 Ethernet rámcovanie

EPON prenáša dáta v PON časti v podobe Ethernet rámcov. Ethernetové rámce sú rámce s premenlivou veľkosťou. Štandardný formát Ethernet rámca je znázornený na obrázku 3.6.



Obr. 3.6: Štandardný formát Ethernet rámca. [2]

Začína s preambulou a 1-oktétovým SFD (*Start Frame Delimiter*) na označenie začiatku rámca. Táto časť u EPON nesie aj LLID (*Logical Link ID*) pre ONU jednotky.

Každý rámec nesie cieľovú a zdrojovú MAC adresu. Pole *Length/Type* je použité pre reprezentovanie dĺžky *payload*, jeho hodnota je medzi 0 a 1 500 (maximálna *payload* dĺžka). Keď je jeho hodnota medzi 1 536 a 65 535 je to použité na reprezentovanie typu Ethernet rámcov. Použitie tohto poľa pre reprezentovanie dĺžky a typu je preto vzájomne sa vylučujúce. Ethernet rámce majú premenlivú *payload* veľkosť od 46 do 1 500 oktetov. Za týmto poľom je FCS (*Frame Check Sequence*) používajúca CRC (*Cyclic Redundancy Check*). [2]

3.3.3 EPON šifrovanie a ochrana

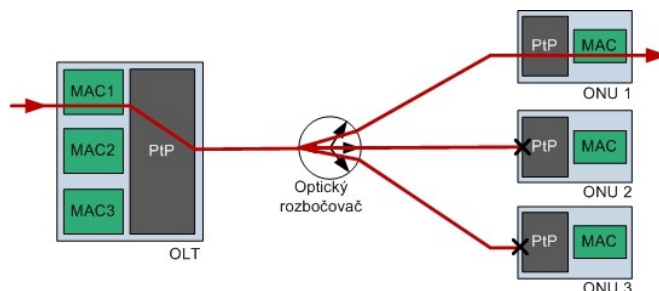
Štandard IEEE 802.3ah nešpecifikuje šifrovací a ochranný mechanizmus pre EPON. Šifrovanie je dôležité pre zachovanie súkromia vtedy, keď sú ONU jednotky priamo napojené na užívateľa v FTTH aplikáciách. Ochrana je dôležitá ak sú ONU jednotky zdieľané medzi skupinu používateľov, ako v prípade FTTB/FTTC aplikácií. Mnoho implementácií EPON čipov zahŕňa výrobcom špecifikované šifrovacie mechanizmy, ktoré môžu byť povolené službou poskytovateľa ak je to nutné. [2]

3.3.4 Schémy prenosu EPON

EPON podporuje tri schémy prenosu:

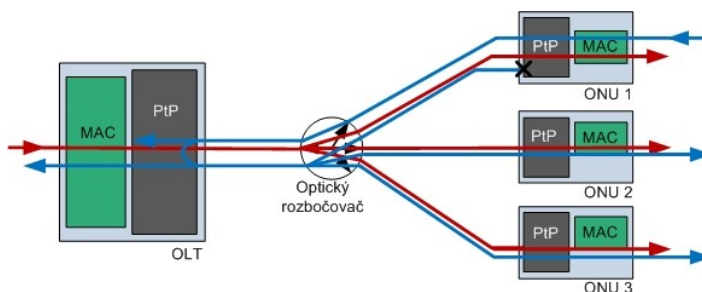
- bod-bod,
- bod-viac bodov,
- súčasná kombinácia oboch.

V emulácii typu bod-bod (pozri Obr. 3.7) sa štruktúra siete chová navonok ako súbor vzájomne nezávislých bodových spojení. Je to umožnené implementáciou podvrstvy bod-bod pred MAC vrstvou a označením ONU jednotiek pomocou LLID. Do OLT jednotky je nutné integrovať N nezávislých MAC rozhraní, kde N je počet ONU jednotiek. V oboch smeroch sú všetky rámce označované pomocou LLID a aj keď sú prenesené všetkým koncovým jednotkám, rámec prijme len jednotka s určeným LLID. [18]



Obr. 3.7: Emulácia typu bod-bod. [18]

Emulácia bod-viac bodov (pozri Obr. 3.8) je označovaná aj ako SME (*Shared Medium Emulation*). V tomto prípade je v OLT jednotke len jedno MAC rozhranie pre všetky koncové jednotky a komunikácia prebieha pomocou vysielania typu broadcast. Za týmto účelom je vyhradený špecifický identifikátor LLID označujúci práve zmieňovaný režim prenosu všetkými smermi. Iba vo vzostupnom smere ONU jednotka, ktorá tento hromadný rámec vyslala, kontroluje, či prijímaný rámec neobsahuje rovnakú identifikačnú značku ako rámec vyslaný. [18]



Obr. 3.8: Komunikácia typu bod-viac bodov. [18]

Tretím typom komunikácie je kombinácia predchádzajúcich spôsobov. To je dosiahnuté rozšírením počtu MAC rozhraní v jednotke OLT na $N+1$, kde 1 rozhranie je vyhradené režimu broadcast a zvyšné N potom komunikácií bod-bod. Vďaka tejto kombinácii môže koncová jednotka zvoliť najlepší spôsob prenosu. [18]

3.4 10GEAPON

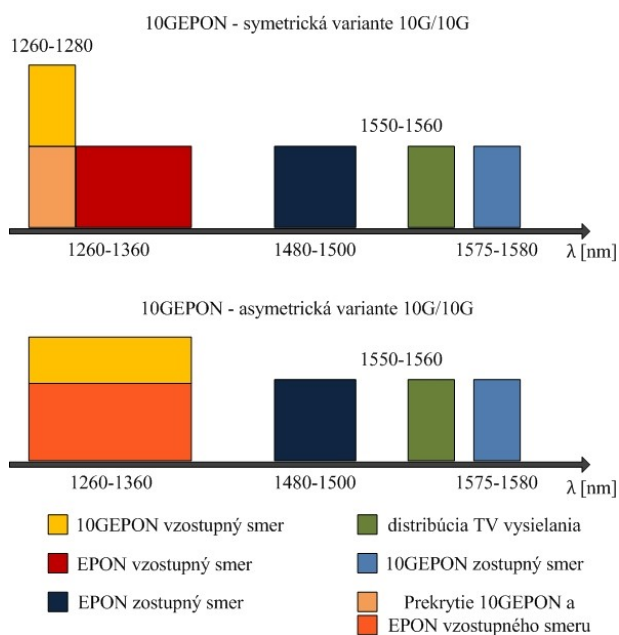
Štandard IEEE 802.3av, alebo tiež 10GEAPON je pasívna optická prístupová sieť založená rovnako ako predchádzajúci variant EPON založená na prenose Ethernet rámcov. Oproti pôvodnej generácii prináša zmeny hlavne v oblasti prenosových parametrov (zdieľaná

prenosová rýchlosť, použité vlnové dĺžky, zabezpečenie, útlmové triedy). Zároveň však zachováva spätnú kompatibilitu so staršou verziou EPON, tak aby bolo možné tieto varianty prevádzkovať súčasne v rámci jednej optickej distribučnej siete (pozri Obr. 3.9).

Pasívnu optickú sieť 10GEPON tvorí OLT jednotka na strane poskytovateľa a ONU (alebo ONT) jednotky na strane koncových užívateľov. Táto sieť je typu P2MP najčastejšou topológiou je rozvetvená stromová štruktúra (prípadne tiež jednostupňová hviezdicová alebo zbernicová topológia). Ako jedinou prekážku pre prevádzku tohto variantu v už vybudovanej optickej sieti môžu predstavovať dodatočné vlnové filtre, ktoré sa môžu v danej sieti vyskytovať a ktoré nesmú zasahovať do pásiem vlnových dĺžok novo využívaných variantom 10GEPON.

10GEPON ponúka prenosové rýchlosti 10 Gbit/s v oboch smeroch u symetrickej prevádzky, alebo tiež asymetrickú prevádzku, kde je rýchlosť vzostupného smeru obmedzená na 1 Gbit/s, zatiaľ čo zostupný smer ostáva na 10 Gbit/s.

Významnou zmenou je zavedenie nových pásiem vlnových dĺžok. Pre zostupný smer ide o vlnové dĺžky 1 575–1 580 nm (u EPON 1 480–1 500 nm). U vzostupného smeru bola zachovaná vlnová dĺžka 1 310 nm, a preto sa muselo pristúpiť k oddeleniu optických signálov pomocou časového multiplexu (TDM). [7]



Obr. 3.9: Koexistencia 10GEPON a EPON. [7]

3.5 XG-PON

Pri vývoji PON siete s prenosovou rýchlosťou 10 Gbit/s bola tak isto ako u inštitútu IEEE tak aj v prípade únie ITU-T riešená otázka spätnej kompatibility tak, aby novo vytvorený variant XG-PON bol plne kompatibilný s predchádzajúcou generáciou GPON, čo by umožňovalo ich vzájomnú koexistenciu a tiež nasadenie v rámci spoločnej optickej distribučnej siete ODN. Výhodou by tiež bola možnosť postupného prechodu na novšiu variantu, bez

nutnosti úprav, resp. celej prestavby už fungujúcej GPON optickej siete. S novým variantom XG-PON bola súčasne vypracovaná aj koncepcia nadväzujúcich pasívnych optických sietí, rozdelená na dva smery - NGA1 a NGA2. V rôznych literatúrach sa môžeme stretnúť tiež s označeniami ako NG-PON1 a NG-PON2. U prvej varianty, do ktorej patrí aj XG-PON sa predovšetkým rieši otázka spätnej kompatibility s aktuálnymi a predchádzajúcimi generáciami PON sietí a je založená na časovo zdieľanom prístupe k spoločnému optickému vláknu TDMA, pričom využitie vlnového multiplexovania sa počíta len v malej miere. Naopak, u druhého variantu NGA2 sa predpokladá plná integrácia vlnového multiplexu WDM a vytvorenie hybridných WDM-TDMA PON prístupových sietí. Tento variant by podľa teoretického návrhu dosahoval zdieľané prenosové rýchlosti až 40 Gbit/s (buď 4 vlnové dĺžky po 10 Gbit/s, alebo 40 vlnových dĺžok po 1 Gbit/s). Toto by si však vyžiadalo úplne nový návrh a koncepciu bez možnosti spätnej kompatibility s predchádzajúcimi sieťami. [7] [37]

3.6 SIEPON

IEEE EPON za krátky čas pokročila z počiatočných pokusov na špičku trhu optických prístupových technológií podporujúcich služby ako IPTV, VoIP a samozrejme stupeň komerčného dátového prenosu. Vzhľadom k jednoduhosti a flexibilitě EPON sa vývoj pustil do štandardizovaných projektov zameraných na integráciu EPON s existujúcou sieťovou architektúrou, tak prišlo k projektu IEEE P1904.1 SIEPON.

1G-EPON a 10G-EPON boli štandardizované pracovnou skupinou IEEE 802.3. Vzhľadom na požiadavky priemyslu, v decembri 2009 IEEE komunikačná spoločnosť zahájila IEEE P1904.1 SIEPON (*Service Interoperability in Ethernet Passive Optical Networks*) projekt s cieľom vytvorenia medzinárodný systém na úrovni, ktorá zabezpečuje interoperabilitu EPON prvkov a zároveň ich rozširovanie a využívanie existujúcich štandardov a nasadení. Očakáva sa že štandard SIEPON eliminuje potreby sieťových operátorov a zabráni fragmentácii trhu.

Rozsah SIEPON zahŕňa štyri kategórie vlastností:

Konfigurácia a poskytovanie služieb:

- vlastnosti ovplyvňujúce pripojenie, rámcová klasifikácia a manipulácia, pravidlá pre smerovanie atď.
- SIEPON jednotný formát je využitý pre popis VLAN módov, tunelovacích módov (MAC-in-MAC zapúzdrenie) a multicastových módov

Požiadavky na prevedenie a kvalitu služieb:

- vlastnosti ktoré ovplyvňujú výkon služby, vrátane riadenia oneskorenia v reálnom čase, kolísanie, stratovosť rámca a garanciu šírky pásma

Služba prežitia:

- vlastnosti ktoré ovplyvňujú službu, dostupnosť, vrátane definície monitorovacieho mechanizmu, poplašného systému, ochrana trasy, metódy úspory energie (napr. spiaci režim)

Systém/zariadenie údržba a manažment:

- vlastností nevyhnutné pre prácu s EPON ako manažovanie, ochrana, verejná sieť, autentifikácia portov a zariadení, softvérový manažment a vyhľadávanie dostupných zariadení

Stručne povedané, zjednotenie noriem a štandardov pod jeden spoločný rámec zaistí konkurenčné prostredie pre všetky sektory EPON ekosystému.

Vzhľadom k bohatej a rôznorodej povahe existujúcich nasadení a noriem, je hlavnou výzvou pre SIEPON vývoj konzistentného a jednotného rámca pre podporu viacerých modelov služieb, riadiacich modelov a viacerých scenárov nasadenia. To je riešenie v rámci IEEE P1094.1 návrhu, s definíciou troch samostatných balíčkov - A, B a C - pričom každý z nich predstavuje kompletné riešenie pre konkrétny model nasadenia.

Štandard SIEPON definuje nasledujúce hlavné technické parametre:

VLAN módy a tunelovanie:

- VLAN závislé a chrbticové služby závislé rámcové smerovanie OLT a ONU zariadení

Multicast:

- efektívne dodávky multicastovej prevádzky cez EPON

QoS garancie:

- mechanizmy, parametre a funkcie súvisiace s QoS výkonom v rámci EPON systému, zahŕňajúce *policing/shaping*, frontové služby a dĺžky front.

Ochrana optickej trasy, monitorovanie a upozornenie na udalosti:

- mechanizmus dostupnosti služby pre EPON systémy, zahŕňajúci ochranu optickej trasy, monitorovanie zariadení a vysieláčov a upozornenie udalostí (alarmy a varovania)

Úspora energie:

- mechanizmy a protokoly pre redukovanie spotreby energie EPON systému

ONU autentifikácia:

- mechanizmy popisujú že uľahčujú bezpečnú identifikáciu legitímnych ONU a bránia neoprávneným ONU jednotkám prístup k EPON službám

Objavenie a údržba:

- zahŕňa ONU identitu a schopnosť objavovania
- údržba zahŕňa proces aktualizácie softvéru

Manažment:

- všetky vlastnosti definované v SIEPON sú oprávnené cez riadiaci kanál
- subjekty riadenia každej vlastnosti sú plne definované

EPON fyzická vrstva, kontrola prístupu k médiu (MAC), MAC kontrola a základný linkový manažment pre 1G-EPON a 10G-EPON sú definované v IEEE 802.3 štandarde, ktorý poskytuje služby klientom vyššej vrstvy (MAC klient, MAC kontrolný klient, operácie, administrácia a údržba (OAM) klienta). SIEPON definuje túto vyššiu vrstvu pre OLT a ONU a je umiestnená ako prirodzený doplnok IEEE 802.3. OLT je typicky umiestnené v centrálnej stanici a umožňuje spojenie medzi EPON a metro/agregačnou sieťou cez rozhranie sieť-sieť (NNI). ONU je umiestnená buď v mieste účastníka (FTTH alebo FTTB) alebo pri obrubníku (FTTC) a pripája priestor zariadenia účastníka (CPE) k EPON cez rozhranie užívateľ-sieť (UNI). Pre jasné rozoznanie funkcií definovaných IEEE 802.3 a tými ktoré definuje SIEPON slúži delenie OLT funkcií u SIEPON na linku OLT (L-OLT), klient OLT (C-OLT) a služba OLT (S-OLT). Tak isto je to aj s ONU jednotkami (L-ONU, C-ONU a S-ONU).

Návrh SIEPON popisuje jednotná architektúra dátovej cesty, ktorá zabezpečuje že dátové služby môžu byť dotované, riadené a monitorované cez EPON jednotným a interoperáčnym spôsobom. Všetky funkcie ako VLAN módy, tunelovacie módy, multicast a QoS metódy sú manažované v súlade s jednotným modelom.

Jednotný dátový tok sa skladá z ôsmich funkčných blokov:

Vstupný blok [I]:

- vstupný port ktorý prijíma rámce z UNI, NNI a MAC rozhrania služby alebo služobnej funkcie ktorá môže byť prítomná v S-ONU alebo S-OLT

Blok klasifikátora [C]:

- rozdeľuje prichádzajúce rámce a zahŕňa sadu pravidiel ktoré porovnávajú prichádzajúce údaje hlavičky rámcov s preddefinovanými hodnotami
- Klasifikátor si je vedomý L2/L3/L4 hlavičiek a jedno pravidlo môže zahŕňať viac podmienok ktoré hodnotia viaceré polia v rámci
- spoločné pravidlo určuje či je potrebná úprava rámca (napr. VLAN preklad), ktorá kontrolná politika musí byť aplikovaná a na ktorú frontu má byť rámec zaslaný

Modifikačný blok [M]:

- vykonáva zmeny pre vybrané rámcové polia na základe vybranej operácie
- môžu byť vykonané tri základné operácie:
 - ADD (FIELD_CODE, field_value): prídanie označených polí so stanovenými hodnotami;
 - REPLACE (FIELD_CODE, field_value): nahradí aktuálny obsah označených polí so stanovenými hodnotami;
 - REMOVE (FIELD_CODE): odstráni vybrané polia.

- tento blok môže vykonať viaceré operácie na rovnakom rámci

Regulovací/tvarovací blok [PS]:

- uskutočňuje zhodu zmluvy so zaistenou podporou služieb
- závisí na operačnom móde ktorý je konfigurovateľný na základe toku - zdržanie nekonformných rámcov (*shaper* mód) alebo farebné označenie rámcov na zahodenie (*policer* mód)
- *policer/shaper* používa TB (*Token Bucket*) pozostávajúci zo štyroch parametrov
 - rýchlosť (rate)
 - burst
 - akcia na konformných rámcoch
 - akcia na nekonformných rámcoch
- príklad konfigurácií:
 - jednoduchý jednorýchlostný *shaper* na 10 Mbit/s s 2 000 oktetovým burstom:
 - TB (10 Mbit/s, 2 000, Forward, Delay)
 - jednoduchý jednorýchlostný *policer* na 20 Mbit/s so 4 000 oktetovým burstom:
 - TB (20 Mbit/s, 4 000, Forward, Drop)

Prepojovací blok [X]:

- riadi jednotlivé rámce do správnej fronty
- unicast tok do jednej fronty, multicast a broadcast tok do viacerých front

Blok fronty [Q]:

- zadfza rámce pokiaľ nie sú vybrané na základe plánovača bloku pre prenos
- môžu byť implementované rôzne politiky (QAP - *Queue Admission Policies*)

Plánovací blok [S]:

- multiplexuje rámce uložené v špecifickej podskupine front do výstupného bloku použitím preddefinovaného plánovacieho algoritmu
- upstream ONU jednotiek je riadený cez GATE správy

Výstupný blok [O]:

- výstupný port ktorý prijíma rámce z plánovača a smeruje ich do UNI, NNI, MAC rozhrania alebo iných servisných špecifických funkcií ak sú prítomné v S-ONU alebo S-OLT

ESP (*EPON Service Path*) - cesta EPON služby je koncepčná cesta rámca cez funkčné bloky MAC klienta. [9]

3.7 Porovnanie vybraných typov PON

V predchádzajúcich kapitolách sú popísané jednotlivé vybrané štandardy, ich celkové porovnanie a popis základných parametrov je uvedený v nasledujúcej tabuľke (pozri Tab. 3.3).

Tab. 3.3: Parametre vybraných optických prístupových sietí. [34]

Technológia		APON	BPON	GPON	EPON	10G-EPON	XG-PON
Štandard		ITU-T G.983.1	ITU-T G.983.3	ITU-T G.984.1	IEEE 802.ah3	IEEE 802.3av	ITU-T G.987.1
Rok vytvorenia		1998	2001	2003	2004	2009	2010
Fyz. dosah [km]		20					
Prenosová rýchlosť	Down [Mbit/s]	622,08	1 244,16	1 244 / 2 488	1 250	10 312,5	9 953,28
	Up [Mbit/s]	155,52	622,08	1 244 / 2 488	1 250	10 312,5 / 1 250	9 953,28
Max. deliaci pomer		1:32	1:32	1:64	1:32	1:32	1:156
Protokol 2. vrstvy RM-OSI		ATM	ATM	ATM/GEM	Ethernet	Ethernet	XGEM
Vlnová dĺžka	Down [nm]	1 480– 1 500	1 480– 1 500	1 480– 1 500	1 490±10	1 575–1 580	1 575– 1 580
	Up [nm]	1260– 1360	1 260– 1 360	1 260– 1 360	1 310±50	1 260–1 280 (1360)	1 260– 1 280
TX laser		DFB					
RX detektor		PIN	PIN	PIN	APD / PIN	APD / PIN	APD / PIN
Šifrovanie		AES	AES	AES	voliteľné	voliteľné	AES

3.8 Dynamické pridelovanie šírky pásma pre PON

Pre maximalizáciu výkonu PON systémov sa používa niekoľko technológií. Jednou z nich je aj dynamické pridelovanie šírky pásma, ktoré je výhodné v prípade, keď rôzni používatelia vyžadujú odlišnú šírku pásma. Niekedy je potrebný prenos veľkého objemu dát, zatiaľ čo v iných prípadoch je vyžadovaný len prenos malého objemu dát. Namiesto toho, aby bola pridelená všetkým rovnaká šírka pásma, systém vytvára *best-effort* stav, teda pre užívateľov, ktorý potrebujú väčšiu šírku pásma, je presmerovaná nevyužitá šírka pásma od ostatných užívateľov, ktorý nevyužívajú celú dostupnú šírku pásma. Týmto spôsobom majú všetci používatelia garantovanú minimálnu šírku pásma a tiež sú v prípade potreby k dispozícii ďalšie pásma, ktorých základom je *best-effort* prístup. [15]

V časovom multiplexe (TDM) PON je prevádzka zostupného smeru riadená vysielaním z OLT ku všetkým pripojeným ONU jednotkám. Vzostupný smer funguje na princípe vysielania jednej ONU jednotky v čase, keď je voľný kanál na ktorom sú pripojené viaceré ONU jednotky. Je využívaná plánovacia schéma pridelovania šírky pásma ONU jednotkám. Za účelom maximálneho využitia šírky pásma je použitá schéma dynamického pridelovania šírky pásma (DBA - *Dynamic Bandwidth Allocation*).

Systémy EPON a GPON sa odlišujú, tým pádom sa odlišujú aj prístupy dynamického pridelovania šírky pásma. Nakoľko štandard EPON je založený na jednoduchosti s nízkymi hardwarovými požiadavkami, GPON vyžaduje zložitejšie normy s prísnejšími požiadavkami na hardware a väčšie zameranie na kvalitu služieb (QoS). Oba prístupy sa snažia znížiť rozdiely v *guard time*, záhlaviach a u iných parametroch ovplyvňujúcich využitie šírky pásma. Tieto požiadavky riadia to, ako má byť navrhnuté DBA.

Pre EPON je IPACT (*Interleaved Polling with Adaptive Cycle Time*) považovaný za jeden z najúčinnějších DBA algoritmov z hľadiska využitia šírky pásma. Princíp funguje tak, že keď n-tá ONU jednotka vysiela Ethernet rámce vo vzostupnom smere, OLT informuje n+1 ONU jednotku o pridelovacej informácii, zahŕňajúcej štartovací čas a veľkosť poskytovanej šírky pásma. N+1 ONU jednotka môže získať poradie ešte pred ukončením vysielania n-tej ONU jednotky. Prenosové sloty pre rôzne ONU jednotky sú naplánované v takom cykle, že prvý bit z n+1 ONU jednotky dorazí k OLT len vtedy ak uplynul *guard time* (napr. po tom ako OLT obdrží posledný bit z n-tej ONU jednotky). Okrem toho musia byť splnené dve základné požiadavky:

- GATE správa nesúca pridelovacie informácie je schopná prísť na n+1 ONU načas,
- šírka pásma udelená pre n-tú ONU sa rovná šírke pásma požadovaného n-tou ONU.

Ak sú splnené tieto dve požiadavky, šírka pásma vo vzostupnom smere môže byť plne využitá. Ak sa pridelenie z OLT vždy rovná šírke pásma hláseného/požadovaného ONU jednotkou s vysokou prevádzkou vo vzostupnom smere, môže dôjsť k oneskoreniu rámcov z iných ONU jednotiek. Na riešenie tohto problému bola navrhnutá služba limitovania, kde je garantovaná maximálna šírka pásma (B_i^{max}) zavedená pre každú ONU jednotku. Ak je n-tou ONU jednotkou požadovaná menšia šírka pásma ako B_i^{max} , poskytnutá šírka pásma z OLT sa

rovná požadovanej šírke pásma. V opačnom prípade, pridelenie pre n -tú ONU je ekvivalentné B_i^{max} . B_i^{max} stanovuje hornú hranicu na maximálnu šírku pásma pridelenú každej ONU jednotke v danom cykle.

V GPON je vzostupné vysielanie založené na mapovaní vzostupnej šírky pásma vysielané k ONU jednotkám každých 125 μ s. Toto mapovanie je aktualizované v pravidelných intervaloch pomocou DBA algoritmu. V rámci daného 125 μ s vzostupného rámca, sú všetky ONU jednotky naplánované pre prenos *buffer* správ. OLT vezme *buffer* správy a odráta predchádzajúce pridelené, no zatiaľ nie využité pridelenia, pre vytvorenie ONU požiadavky. Táto požiadavka je potom použitá pre následné pridelovanie šírky pásma. Aktualizované pridelenia sú následne posielané ONU jednotkám spolu s požiadavkou o novú *buffer* správu. Hlavný rozdiel medzi týmto algoritmom a IPACT je, že tento algoritmus používa pevný cyklus dotazovania a všetky ONU jednotky sú dotazované v podstate súčasne (v 125 μ s rámci).

Výkon GPON závisí predovšetkým na schopnosti DBA rýchlo reagovať na momentálne prevádzkové zaťaženie na PON, aby bolo predídene pretečeniu vyrovnávacej pamäte. GPON je vhodné nastaviť na čo najmenší dotazovací cyklus. Zvýši sa tým priepustnosť a znižuje oneskorenie. V porovnaní s dynamickým IPACT u EPON, GPON algoritmy sú trochu statickejšie, čo je spôsobené fixným dotazovacím cyklom. Tento fixný dotazovací cyklus je však výhodou pre QoS. Pri EPON systéme musí byť algoritmus modifikovaný pre dosiahnutie lepšieho QoS. Ak u next-generation TDM PON bude záhlavie kontrolných správ stále veľkostne rovnaké a *guard time* sa výrazne nezmení, výkonnostné trendy ako funkcia maximálneho dotazovacieho cyklu môže byť udržiavaná, kým optimálny výkon sa bude zlepšovať. [16]

4 Triple Play

Triple Play služba označuje balíček troch služieb - Dáta, IPTV a VoIP, poskytovaných prostredníctvom siete koncovému užívateľovi, cez jednu prípojku. Kombinácia týchto služieb v jednom balíku prináša výhodu koncovému zákazníkovi, z hľadiska jednoduchosti pripojenia k len jednému poskytovateľovi, a taktiež je tu výhoda aj na strane poskytovateľa v podobe väčšieho zisku.

K službe vysokorýchlostného pripojenia pribudli v Triple Play službe multimediálne hlasové (VoIP) a video (IPTV/RF) služby v reálnom čase. Práve tieto služby sú najviac problematické z hľadiska prenosu v porovnaní s klasickými dátovými službami.

Všetky tri služby Triple Play sú distribuované prostredníctvom Internet Protokolu (3. vrstva modelu ISO/OSI) v Ethernet (2. vrstva ISO/OSI) sietí. Služby však odlišuje využitie transportnej vrstvy (4. vrstva modelu ISO/OSI).

Prevádzkovatelia dátových služieb využívajú pre prenos TCP (*Transmission Control Protocol*), ktorý zaisťuje spojovaný a spoľahlivý prenos dát. V prípade straty dát dochádza k vyžiadaniu znovu zaslania stratených dát.

Naopak multimediálne služby ako VoIP a IPTV využívajú prenos dát pomocou UDP (*User Datagram Protocol*) protokolu - nespojovaný a nespoľahlivý charakter distribúcie služieb. V prípade straty dát nedochádza k opätovnému zaslaniu týchto dát. Tým pádom charakter služby umožňuje eliminovať vnášané oneskorenie spôsobené čakaním na znovu zasielané dáta, avšak tiež degradáciu kvality služby. Výsledná strata závisí na miere stratovosti. Ďalším parametrom ovplyvňujúcim kvalitu distribuovanej služby je kolísanie oneskorenia, tzv. *packet jitter*. Parameter, ktorý tiež ovplyvňuje distribúciu Triple Play služieb je OoS (*Out of Sequence*), ktorý charakterizuje prijatie dát mimo poradia, vtedy keď poradie prijatých dát neodpovedá poradiu, v akom boli dáta pôvodne vyslané. K tomuto javu môže dôjsť v prípade, že sa dáta šíria rôznymi cestami v sieti.

Z tohto vyplýva, že distribúcia Triple Play služieb kladie omnoho vyššie nároky na kvalitu distribučnej infraštruktúry, v porovnaní s prenášaním klasických dát. Použitá technológia musí poskytnúť dostatok výkonu na podporu QoS mechanizmov (CoS/DiffServ apod.), ktoré umožnia distribúciu služieb s rozdielnymi požiadavkami na šírku prenosového pásma, oneskorenia, stratovosti, *packet jitter*, OoS apod. Tiež musí zaručiť aj dostatočnú úroveň QoS, bezpečnosť a spoľahlivosť.

4.1 Hlasové služby - VoIP (*Voice over Internet Protocol*)

Služby umožňujúce prenos hlasu Internet nazývame aj VoIP. Takúto hlasovú komunikáciu umožňuje poskytovateľ služby, ktorý je napojený na telefónnu ústredňu prepojenú s verejnou telefónnou službou PSTN. Zákaznícka strana využíva pre komunikáciu IP telefón, alebo PC so softvérovým telefónom.

Spomedzi všetkých Triple Play je VoIP najmenej náročná na šírku pásma, na druhej strane je však citlivá na oneskorenie a kolísanie oneskorenia.

Pre zabezpečenie dostatočnej kvality VoIP prenosu hlasu v IP sieti je potrebné brať v úvahu parametre komunikačnej trasy. Sú to napríklad prenosové protokoly, kodeky, použité zariadenia a tiež aj poskytované služby.

Použitie IP protokolu v IP telefónii nie je problematické pre signalizáciu, avšak môže byť negatívne ovplyvnený prenos dátových paketov. Faktory ovplyvňujúce kvalitu prenosu hlasu sú [14]:

- stratovosť paketov,
- oneskorenie paketov,
- variabilita oneskorenia,
- zmena poradia paketov.

4.1.1 Požiadavky na prenos paketov v IP telefónii

IP telefónia je charakteristická využívaním dvoch typov paketov - pakety signalizácie a pakety obsahujúce užívateľské dáta, najčastejšie hlasové vzorky. Medzi najpoužívanejšie protokoly používané vo VoIP patria SIP, H.323, RTP, RTCP. Hierarchická štruktúra protokolov je znázornená na nasledujúcom obrázku (pozri Obr. 4.1).

Hlas	Video	RTCP
Zvukové kodeky	Video kodeky	
RTP		
UDP		
IP		
Dátová vrstva		
Fyzická vrstva		
Hlasové dáta		

Obr. 4.1: Hierarchické usporiadanie protokolov vo VoIP.

H.323 protokol

Protokol H.323 bol navrhnutý úniou ITU (*International Telecommunication Union*). Ide o systém a protokoly pre multimediálnu komunikáciu prostredníctvom sietí založených na prepínaní paketov. Protokol H.323 pozostáva z viacerých súčastí, ktoré sú uvedené v nasledujúcej tabuľke (pozri Tabuľka 4.1).

Tab. 4.1: Protokoly H.323 a jeho súčasti.

Názov	Popis protokolu
H.323	Špecifikácia systému
H.225.0	Hovorová kontrola (RAS), nastavenie hovoru (Q.931-like protokol), paketizácia a synchronizácia vysielania
H.235	Ochranný protokol pre autentizáciu, integritu, súkromie, atď.
H.245	Schopnosť výmeny komunikácie a režimu prepínania
H.450	Doplňkové služby zahŕňajúce držanie hovoru, prevod, nasledovanie, atď.
H.246	Spolupráca s kruhovo prepínanými službami
H.332	Pre veľkorozmerné konferencie
H.26x	Video kodeky zahŕňajúce H.261 a H.236
H.7xx	Audio kodeky zahŕňajúce G.711, G.723, G.729, G.728, atď.

H.323 pozostáva zo sady protokolov ktoré sú schopné kódovať, dekódovať a paketovať audio a video signály pre hovorovú signalizáciu a kontrolu, ako aj schopnosti výmeny.

Typy koncových bodov H.323

H.323 definuje štyri hlavné komponenty pre systém sieťovej komunikácie:

- terminály,
- brány,
- gatekeeper,
- viacbodové kontrolné jednotky (MCU).

Terminály sú koncové body klienta v IP sieťach ktoré poskytujú obojsmernú komunikáciu v reálnom čase s ostatnými H.323 subjektmi. H.323 terminály musia podporovať tri funkčné časti:

- Signalizácia a ovládanie: H.323 musí podporovať komplexný štandard pre použitie a schopnosti kanálov H.245 a navyše Q.931-like protokol definovaný v H.225 pre hovorovú signalizáciu a zriadenie, ako aj RAS protokol definovaný v H.225 pre komunikáciu s gatekeepermi. Všetky tieto protokoly používajú pre správy ASN.1 kódovanie.
- Komunikácia v reálnom čase: H.323 terminály musia podporovať RTP/RTCP, čo je protokol pre sekvenčné audio a video pakety.
- Kodeky: kodeky slúžia na kompresiu audia/video pred prenosom a na dekompresiu po prijatí kompresovaného paketu. Za účelom spolupráce musí každý H.323 terminál podporovať G.711 audio kodek.

Brány umožňujú spojenie medzi sieťami s prepínaním paketov a sieťami s prepínaním okruhov. Brána sa nevyžaduje ak nejde o prepojenie k inej sieti. Niektoré brány umožňujú preklad medzi odlišnými kodekmi pre audio/video s cieľom znížiť šírku pásma toku.

Gatekeeperi sú u H.323 systému voliteľné, ale ak sú prítomné, majú určité povinné funkcie. Vykonávajú štyri požadované funkcie - preklad adres, vstupnú kontrolu, riadenie šírky pásma a zónový manažment. Gatekeeperi môžu tiež podporovať štyri voliteľné funkcie - riadenie hovorovej signalizácie, hovorovú autorizáciu, manažment šírky pásma a hovorový manažment. Ak je gatekeeper prítomný je potrebné sa naň registrovať so všetkými koncovými bodmi.

MCU podporuje videokonferencie medzi tromi alebo viac bodmi. Pozostáva z viacbodového kontroléru (MC) a z nula alebo viac viacbodových procesorov (MP). MC poskytuje riadiace funkcie a MP vykonáva nevyhnutné spracovanie vysielania pre konferenciu.

H.323 používa koncept kanálov na štruktúrovanie výmeny informácií medzi komunikujúcimi entitami. Ide o kanály:

- RAS kanál - poskytuje mechanizmus pre komunikáciu medzi koncovým bodom a gatekeeperom.
- Kanál signalizujúci hovor - nesie informáciu pre ovládanie hovorov a kontrolu doplnkových služieb.
- Logický kanál pre médiá - nesie informácie audia, videa a iných médií. [13][32]

SIP protokol

Protokol SIP (*Session Initiation Protocol*) je popísaný v odporučení IETF RFC 3261 (*Internet Engineering Task Force Request For Comments*). Hlavný rozdiel medzi H.323 a SIP protokolom je spôsob dosiahnutia hovorovej signalizácie a kontroly.

SIP je kontrolný protokol aplikačnej vrstvy, ktorý umožňuje vytvoriť, modifikovať a ukončiť multimediálne relácie alebo hovory.

Má dva hlavné prvky - užívateľský agent (UA) a sieťový server. Užívateľský agent sa nachádza na koncových SIP stanicach a obsahuje dva komponenty - užívateľský agent klienta (UAC), ktorý je zodpovedný za vydanie požiadavky a užívateľský server klienta (UAS), ktorý reaguje na tieto požiadavky. Sú tu tri rôzne typy sieťových serverov, proxy server, server presmerovania a registrátor. Pre porovnanie, SIP používateľský agent je podobný H.323 terminálu a SIP sieťový server je ekvivalentný H.323 gatekeeperu.

SIP špecifikuje celkovo šesť metód:

- INVITE - slúži k žiadosti o zostavenie spojenia,
- ACK - potvrdenie INVITE finálnym príjemcom správy (volaným),
- BYE - ukončenie spojenia,
- CANCEL - ukončenie nezostaveného spojenia,

- REGISTER - registrácia UA,
- OPTIONS - dotaz na možnosti a schopnosti servera.

Úspešné SIP vyzvanie pozostáva z dvoch požiadaviek: INVITE nasledované ACK. INVITE správa obsahuje popis relácie, ktorá hovorí o type média ktoré môže volajúci prijať a kde majú byť dáta poslané. SIP adresy sú označované ako SIP URL (*Uniform Resource Locators*), a ich tvar je user@host.domain. Formát SIP správy je založený na HTTP formáte, ktorý používa textovo založené kódovanie.

K popisu vlastnosti SIP relácie sa používa SDP (*Session Description Protocol*) a hlas je prenášaný pomocou RTP (*Real-Time Transport Protocol*).

Protokol RTP a RTCP

Protokol slúžiaci pre prenos dát v reálnom čase sa nazýva RTP a je obvykle využívaný pre prenos audio a video prevádzky medzi koncovými procesmi VoIP terminálov. RTP sám o sebe nezaručuje prenos dát v reálnom čase, ale disponuje len procedúrami, ktoré umožňujú rekonštrukciu týchto vlastností na strane prijímacieho procesu.

RTCP je riadiaci protokol spolupracujúci s RTP. Používa periodické vlastnosti paketov od každého účastníka relácie RTP všetkým ostatným účastníkom za účelom riadenia výkonnosti a pre diagnostické účely. RTCP vykonáva služby ako - poskytovanie informácií aplikácií týkajúcej sa kvality vysielaných dát, identifikuje zdroj RTP, prevádza riadenie intervalu vysielania RTCP, prenáša minimálne informácie o riadenej relácii. [13]

4.1.2 Metódy merania kvality služby VoIP

Metódy hodnotenia kvality reči môžeme rozdeliť do dvoch základných skupín a to na:

- subjektívne metódy hodnotenia,
- objektívne metódy hodnotenia.

Subjektívne hodnotenie kvality služby VoIP

Konverzačné metódy - CQ (*Conversational Quality*) - určené k laboratórnej simulácii situácie. Prostredníctvom telefónneho rozhovoru komunikujú medzi sebou dva subjekty a hodnotia kvalitu prenosu hovorového signálu. Tretia osoba meria podmienky testu. Hodnotenie hovoru pri konverzačných testoch je podľa stupnice MOS.

Posluchové metódy - LQ (*Listening Quality*) - nezodpovedajú až tak realite ako konverzačné testy, sú však jednoduchšie. Priebeh tejto metódy spočíva v prehrávaní hovorových signálov subjektu ktorý ich hodnotí pomocou viacerých možných metód (ACR, QRDM, DCR, CCR).

MOS

Hodnotiaci parameter MOS vznikol na základe odporúčania ITU P.800. Je súčasťou rodiny nazývanej ACR (*Absolute Category Rating*) - absolútna kategória hodnotenia, ktorá je

založená na porovnaní prijímaného signálu a referenčného signálu. Ide o sadzbu, ktorá je získaná spriemerovaním subjektívnych názorov užívateľov na hlas vnímaný užívateľom. Hodnoty tvoria názory na službu: „vynikajúca“, „dobrá“, „uspokojivá“, „neuspokojivá“, „zlá“, ktoré sú vyjadrené stupnicou od 1-5, bližšie popísané v tabuľke 4.2. [13]

Tab. 4.2: *Stupnica MOS. [13]*

MOS (Mean Opinion Score)	
MOS	Význam
5	vynikajúca (<i>Excellent</i>)
4	dobrá (<i>Good</i>)
3	uspokojivá (<i>Fair</i>)
2	neuspokojivá (<i>Poor</i>)
1	zlá (<i>Bad</i>)

Objektívne hodnotenie

Zatiaľ čo u subjektívnej metódy sa výsledky opierajú o názor subjektu (človeka), objektívne metódy využívajú štatistické vyhodnocovanie z matematických modelov, ktoré modelujú ľudský sluchový aparát.

Medzi najlepšie algoritmy pre objektívne hodnotenie patria PAQM, PSQM, NMR, PERCEVAL, DIX, OASE, POM.

PSQM (Perceptual Speech Quality Measure)

Tento algoritmus bol predstavený Beerendsom v roku 1993. Ide všeobecnejšiu verziu algoritmu PAQM, optimalizovanú pre telefónny rečový signál. V algoritme ide o to, že psychoakustický efekt vyzerá byť iný, keď porovnávame vnímanie reči a vnímanie hudobného signálu. Jedným z dôvodov môže byť, že ľudský mozog pravdepodobne vníma známe hlasy z každodenného života presnejšie, v porovnaní s hudobnými zvukmi. Fyzikálne signály ktoré tvoria zdroj a kódovaná reč sú mapované do psychofyzikálnej reprezentácie, ktorá čo najviac odpovedá vnútornej reprezentácii rečových signálov. Kvalita kódovanej reči sa posudzuje na základe rozdielov vnútornej reprezentácie. Tento rozdiel sa používa pre výpočet šumového rušenia ako funkcie času a frekvencie. Priemerné šumové rušenie je priamo závislé na kvalite kódovanej reči.

Algoritmus PSQM bol navrhnutý hlavne ako nástroj na posudzovanie kódovacích štandardov, preto bola k nemu doplnená alternatíva PSQM+, ktorá brala v úvahu aj vplyvy prenosu a taktiež umožňovala lepšie mapovanie do MOS. [33]

PESQ (Perceptual Estimation of Speech Quality)

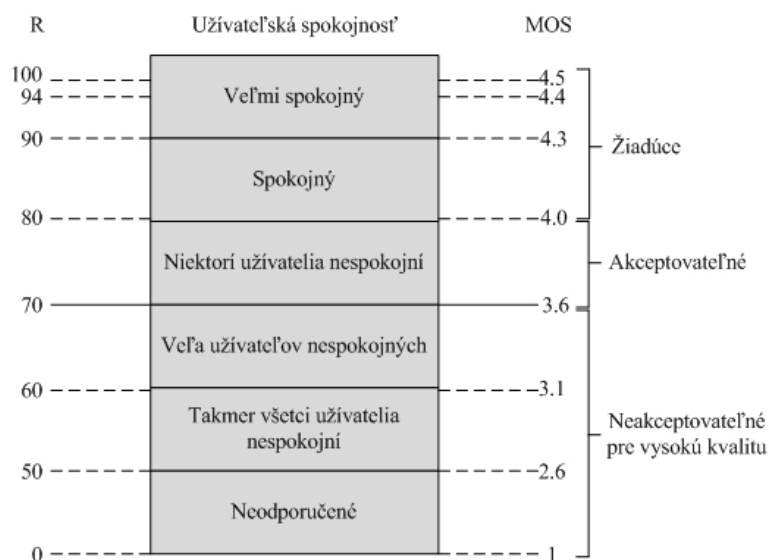
V dôsledku nástupu VoIP zostavilo ITU pracovnú skupinu na revíziu P.861 štandardu, pre vyrovnanie sa s novými požiadavkami vyplývajúcich z moderných sietí. Pri týchto sieťach sa musí merací algoritmus vysporiadať s vyššími skresleniami ako pri GSM kodekoch, ale

najvýznamnejším faktorom je že skreslenie medzi referenčným a testovacím signálom už viac nie je konštantné. K prekonaniu týchto problémov bol vytvorený PSQM+ algoritmus, ktorý lepšie narába s veľkým skreslením, spôsobeným napr. stratovosťou paketov, ale stále mal značné problémy s kompenzáciou rôznych oneskorení.

S novým návrhom ITU štandardu P.862 (PESQ) bol tento problém konečne odstránený. Spája v sebe psychoakustický a kongitívny model PSQM+ s algoritmom vyrovnávania času, ktorý dokonale spracováva rôzne oneskorenia. Jedinou nevýhodou je, že nie je úplne určený pre aplikácie v reálnom čase. So štandardmi PSQM a PESQ sú tu teda dva štandardy, ktoré pokrývajú celú problematiku merania kvality reči. [33]

E-model

E-model je výpočtový model, ktorý používa prenosové parametre k predvídaní subjektívnej kvality hlasu. Je štandardizovaný v odporúčaní ITU-T G.107. Poskytuje výsledky na základe R-faktoru, ktorý hodnotí kvalitu reči na stupnici od 0 pre zlú až po 100 vynikajúcu kvalitu. R-faktor hodnoty môžu byť teoreticky mapované do MOS stupnice (pozri Obr. 4.2). Vzhľadom k jeho obmedzeniam, maximálna dosiahnuteľná hodnota pre R u konvenčného PCM hlasu je 94. Pre VoIP systémy je normálna hodnota R-faktoru často horšia.



Obr. 4.2: Vzťah medzi R-faktorom a MOS, vzťahujúci sa ku G.107 Annex B a G.109.

R-faktor sa vypočíta pomocou rovnice:

$$R = R_0 - I_s - I_d - I_e + A, \quad (4.1)$$

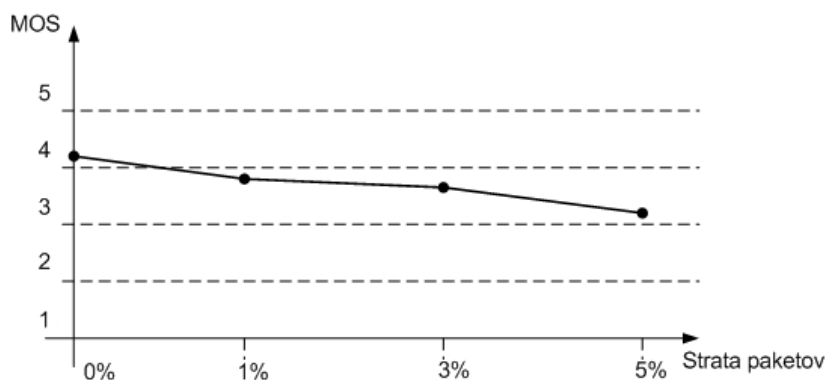
kde R_0 je odstup signálu od šumu. I_s je simultánny faktor rušenia, ide o neoddeliteľnú zložku hovoru (šum z okolia, atď.). I_d a I_e sú faktory oneskorenia zahŕňajúce všetky druhy oneskorenia vrátane echa a skreslenie hlasu spôsobené vplyvom použitého kodeku a stratených paketov. A je faktor zvýhodnenia, ktorý závisí na sústredení poslucháča. [13]

4.1.3 Faktory ovplyvňujúce službu VoIP

Stratovosť paketov a VoIP

Stratovosť paketov spôsobuje deformáciu v hlasových aplikáciách, ktorá je tým vyššia, čím je vyššia stratovosť paketov. Parameter udávajúci stratovosť paketov udáva percentuálny alebo absolútny počet paketov nedoručených doručené do cieľa. Dôvodmi môžu byť nekvalitne prenosové linky, zahadzovanie paketov niektorým zo zariadení po trase kvôli preplnenej vyrovnávacej pamäti (*buffer*), apod. [8] Tolerovaná stratovosť paketov u VoIP služby je maximálne 1%.

Ak je celková kvalita hlasovej služby reprezentovaná hľadiskom MOS (*Mean Opinion Score*), tak hodnotenie MOS klesá pri rastúcej stratovosti paketov (pozri Obr. 4.3).



Obr. 4.3: Degradácia kvality zvukového signálu v závislosti MOS ku stratovosti paketov. Použité kódovanie PCM (G.711) a dĺžka paketu 20 ms.

Schopnosť udržať vysokú kvalitu reči vzhľadom k stratovosti paketov závisí na nasledujúcich bodoch:

- Distribúcia stratených paketov - rovnomerné distribuovanie stratených paketov má tendenciu ľahšej absorbovateľnosti prostredníctvom dekodérov.
- Použitie PLC algoritmu - PLC algoritmy poskytujú pakety dekodéru, keď sú dané pakety stratené. PLC môže vložiť ticho alebo hluk do pozadia, opakovať posledný paket alebo použiť interpolačnú techniku pre nahradenie strateného paketu.

Ak stratovosť paketov dosahuje hodnotu menšiu ako 1%, je vplyv stratovosti paketov na kvalitu hlasu minimálny. Vplyv stratovosti paketov na hlas je závislý aj na type použitého kodeku. [10]

Oneskorenie a VoIP

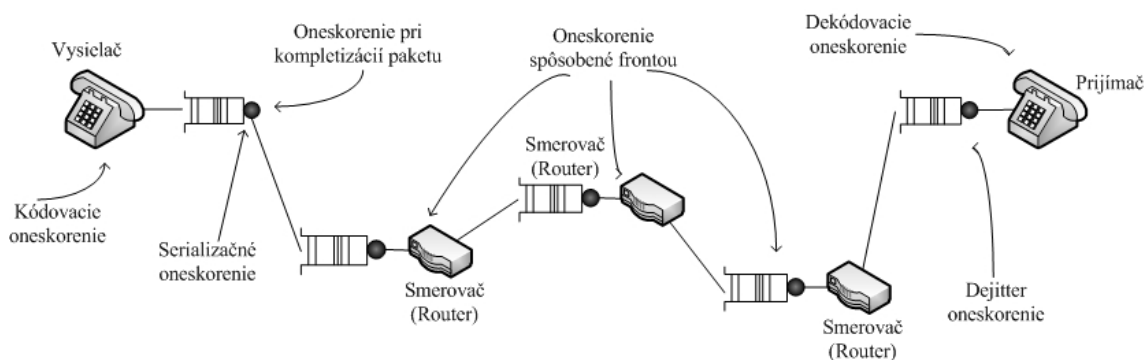
Oneskorenie je definované odporúčaním ITU-T G.114 (pozri Tab. 4.3). Stanovuje akceptovateľné jednocestné oneskorenie 150 ms. Tento parameter vyjadruje čas uplynutý od vyslania paketu po jeho prijatie. Pri oneskorení dosahujúcom hodnoty 150–400 ms je služba prenosu hlasu degradovaná a pre užívateľov môže byť nedostačujúca. Pri vyšších hodnotách je prevádzka služby neprípustná.

Tab. 4.3: Povolené medze oneskorenia podľa ITU-T G.114.

Jednocestné oneskorenie	
Hodnota oneskorenia [ms]	Popis
0–150	Odporúčaný rozsah (ITU G.114)
0–200	Odporúčaný rozsah (Cisco)
150–400	Degradovaná služba VoIP (ITU G.114)
> 400	Nepripustný rozsah pre VoIP (ITU G.114)

Oneskorenie môže byť:

- jednosmerné (*one-way delay*) - oneskorenie medzi dvoma bodmi,
- celkové (*round trip time/delay, RTT*) - oneskorenie, ktoré uplynie medzi vyslaním paketu daným zariadením a prijatím odpovede tým istým oneskorením. [8]



Obr. 4.4: Zdroje oneskorenia v službe VoIP.

Niektorí tvorcovia odporúčajú aj oneskorenie 200 ms, kde garantujú stále kvalitu prenosu hlasu, niekde je to dokonca až 400 ms akceptovateľného oneskorenia na dlhé vzdialenosti. Dôležitý dôvod, ktorý sťažuje dohodu na limite oneskorenia je degradačný efekt oneskorenia závisiaci na novom parametre: ozvena (*echo*).

Hlavnými zdrojmi ozveny v tradičnej telefónii je použitie hybridov. Sú to okruhy ktoré kombinujú štvorlinkové a dvojlinkové systémy. Tieto hybridy nie sú potrebné ak je celá sieť zapojená do IP siete. Ozvena sa však môže objaviť aj bez hybridov, keď môže byť spôsobené spojkou medzi reproduktorom a mikrofónom v telefóne alebo presluchmi.

Populárnym riešením pre potlačenie echa v oboch prípadoch, v klasickej telefónii aj vo VoIP je DSP založené na rušičoch ozveny, ktoré redukujú silu ozveny do 25–30 dB. [13]

Kolísanie oneskorenia (*Jitter*)

Veľmi dôležitým parametrom ovplyvňujúcim kvalitu VoIP služby je kolísanie oneskorenia (*jitter*) - udáva odchýlky, ktoré boli zistené medzi príchodmi jednotlivých paketov. Možno ho čiastočne eliminovať použitím vyrovnávacej pamäte (*buffer*) v koncovom zariadení (počítač, IP telefón). Maximálna hodnota kolísania oneskorenia by mala byť <30 ms.

4.1.4 Štandardy rečových signálov a šírka pásma

Štandardy ITU (alebo tiež označenie kodek), sú určené na prenos rečového signálu. Typ kodeku nám určuje potrebnú šírku pásma (pozri Tab. 4.4). Kodeky sú zvyčajne chápané ako rôzne matematické modely používané k digitálnemu kódovaniu (a kompresii) analógovej audio informácie.

Kodek G.711

Tento kodek je často využívaný v súčasných pevných aj mobilných telekomunikáciách. Signál je vzorkovaný s frekvenciou 8 kHz a pôvodných 13 bitov na vzorku je pomocou nelineárnej kompresie prevedených na 8 bitov. Výsledný dátový tok má nominálnu prenosovú rýchlosť 64 kbit/s a v prípade VoIP siete poskytuje vysokú kvalitu hovoru s hodnotou MOS okolo 4,1. Používajú sa dve metódy tohto kodeku: μ law v Severnej Amerike a alaw vo zvyšnom svete. G.711 je základný kodek, z ktorého sa odvodzujú všetky ostatné. Tiež vyžaduje minimálne zaťaženie na CPU. [13] [17]

Kodek G.726

Tento kodek je známy ako ADPCM (*Adaptive Differential Pulse-Code Modulation*) a beží na rôznych prenosových rýchlostiach. Najpoužívanejšie sú 16, 24 a 32 kbit/s. Tento kodek poskytuje kvalitu takmer totožnú s G.711, avšak pri využití polovičnej šírky pásma. To je umožnené posielaním len takej informácie, ktorá popisuje rozdiel medzi aktuálnou vzorkou a predchádzajúcou vzorkou, teda nie je poslaná celá informácia o signáli. Kodek bol menej používaný v 90-tych rokoch, z dôvodu neschopnosti niesť signál pre modemy a faxy, avšak vďaka jeho výkonu z hľadiska pomeru šírka pásma/zaťaženie CPU je dnes opäť atraktívny. [17]

Kodek G.723.1

Ide o kodek, ktorý poskytuje jednu z najlepších kompresii. Komprimuje intervaly hlasového signálu dĺžky 30 ms so vzorkovacou frekvenciou 8 kHz. Využíva dva druhy kódovania MP-MLQ (*MultiPulse Maximum Likelihood Quantization*) - dátový tok 6,3 kbit/s, kde hodnota MOS je 3,65. Kodek G.723.1, jeho kódovací algoritmus, je chránený patentmi a preto prevádzkovateľ VoIP potrebuje licenciu. [13] [17]

Kodek G.729, G.729 A

Kodek G.729 spracováva úseky hovorového signálu dĺžky 10 ms, ktoré sú vzorkované frekvenciou 8 kHz. Využíva algoritmus CS-ACELP (*Conjugate Structure-ACELP*), čím dosahuje dátový tok rýchlosti 8 kbit/s (prípadne 6,4 a 11,8 kbit/s). Hodnota MOS je rovná 3,92.

Pri kodeku G.729A ide o upravenú verziu predchádzajúceho kodeku G.729, ktorá má znížené nároky na výpočet. Táto nižšia náročnosť sa však odzrkadľuje na kvalite prenášaného hlasu, ktorá je nižšia. Hodnota MOS je 3,7.

Keďže skupina týchto kodekov obsahuje patenty, je potrebné platiť za ne licenčný poplatok. Avšak aj tak je tento kodek veľmi populárny a využívaný na mnohých telefónoch a systémoch. G.729A používa šírku pásma 8 kbit/s. [13] [17]

Tab. 4.4: *Kodeky a im prislúchajúca šírka pásma.*

Kodek	Šírka pásma [kbit/s]
G.711	64
G.726	16, 24, 32, 40
G.729 A	8
G.723.1 ACELP	5,3

4.2 Video služby - IPTV (*Internet Protocol Television*)

Nové IPTV služby predstavujú kombináciu televízie s vysoko interaktívnymi konceptmi. Výsledkom je množstvo nových aplikácií založených na poskytovaní audiovizuálneho obsahu v obojsmernom smere, s možnosťou vybrať si, čo chcú vidieť a kedy to chcú vidieť, bez potreby ďalšieho komponentu. [13]

Sieť určená pre šírenie IPTV je zložená zo štyroch hlavných bodov:

- odbavovacie pracovisko,
- chrbticová sieť,
- regionálne odbavovacie pracovisko,
- zákaznícke priestory.

Prenos obrazu vyžaduje z Triple Play služieb najvyššiu šírku pásma. Veľkosť dátového toku závisí od použitého kodeku.

4.2.1 Architektúra IPTV

Sieť IPTV sa skladá z niekoľkých prvkov, radených do blokov ktoré v konečnom celku tvoria systém pre IPTV (pozri Obr. 4.5).

Odbavovacie stredisko (*Head-end*)

Tu vstupuje do siete prevádzkovateľa väčšina televíznych programov a rádiových staníc prostredníctvom satelitného (DVB-S, DVB-S2), pozemného (DVB-T, analógové) a káblového (DVB-C) vysielania. Prichádzajúci analógový alebo digitálny signál je upravený buď digitalizáciou a skomprimovaním pomocou vhodnej kompresie (u analógového signálu), alebo prekódovaním do vhodného formátu (u digitálneho signálu).

Chrbticová sieť (*Core network*)

Prostredníctvom chrbticovej siete pokračuje spracovaný signál z odbavovacieho strediska do prístupovej siete. Chrbticová sieť je väčšinou postavená na technológií IP/MPLS.

Prístupová sieť (Access network)

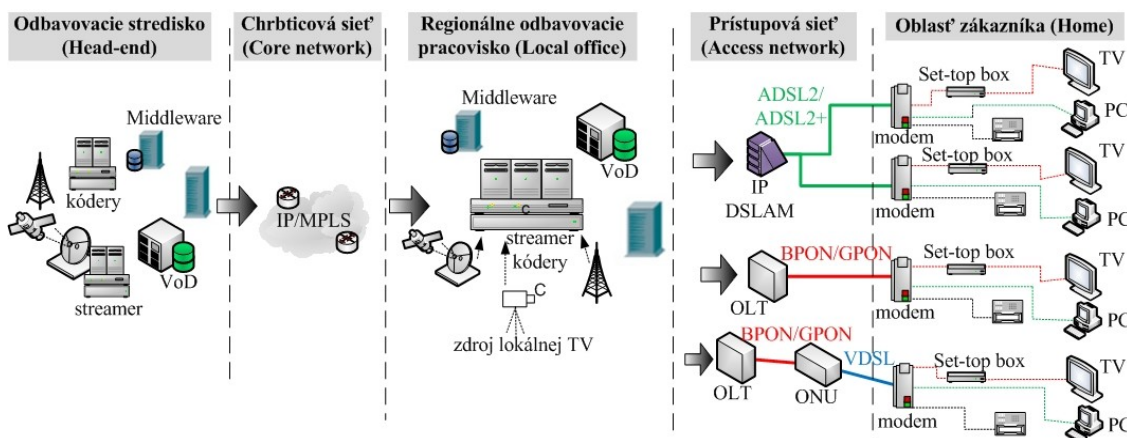
Úlohou prístupovej siete je distribuovať jednotlivé dátové toky k zákazníkovi. V tejto časti systému zohráva dôležitú rolu parameter QoS, pomocou ktorého je možné napríklad uprednostniť prenos videosiťálu pre potlačenie oneskorenia alebo fragmentovania.

Regionálne odbavovacie pracovisko (Local office)

Táto časť systému sa nachádza medzi chrbticovou a prístupovou sieťou a má za úlohu pridávať do vysielania regionálne zameraný obsah.

Oblasť zákazníka (Home)

Jedná sa o koniec prenosového reťazca, kde sa nachádza zákaznícke zariadenie (modem, set-top box), ktoré ukončuje dátové toky a prevádza ich na signál, ktorý je možné zobraziť prostredníctvom TV alebo PC.



Obr. 4.5: Architektúra IPTV siete.

4.2.2 Prenos vysielania

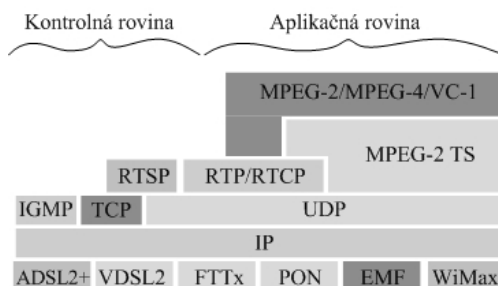
Pre prenos vysielania sa využívajú multicastové skupiny, do ktorých sú zaradené jednotlivé kanály a tiež užívatelia. Tieto kanály sú prenášané len na set-top box užívateľov, ktorý chce daný kanál zobraziť. Vďaka tejto metóde sa šetrí prenosová kapacita siete.

Z obsahového serveru je odoslaná jedna kópia daného kanálu na distribučný smerovač, ktorý smeruje video tok do uzlov jednotlivých regionálnych pobočiek. Odtiaľ je tok smerovaný k zákazníkovi, ktorý požiadali o sledovanie daného kanálu.

Počas toku videa môže dôjsť k chybám, preto je potrebné pri multicastovom vysielaní zaistiť bezchybný prenos od začiatku až do konca. Pri službe VoD (*Video on Demand*), kde sa jedná o unicastový prenos, sú chyby vo video toku menší problém, pretože set-top box môže požiadať o znovu zaslanie stratených alebo poškodených paketov.

Funkcia prepínania medzi TV programami vyžaduje prechod, resp. prehlásenie sa medzi multicastovými skupinami. Táto operácia trvá istý moment, teda je aj zdrojom oneskorenia. Pre zmenu kanálu sa používa protokol IGMPv2 obsahujúci správy pre odhlásenie sa

z multicastovej skupiny a prihlásenie sa do novej. U služby VoD je dátový tok riadený protokolom RTSP, ktorý umožňuje užívateľovi kontrolu nad videom v podobe prehrávania, pozastavenia a zastavení sledovaného programu. [13] [29]

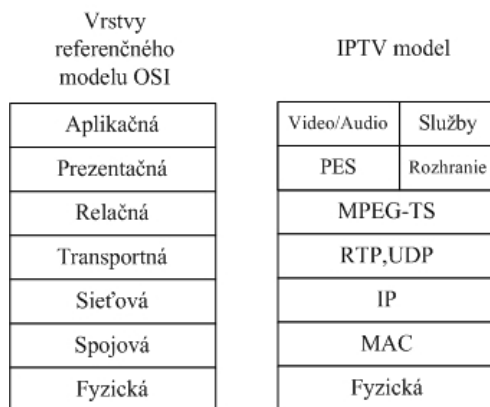


Obr. 4.6: Protokoly použité pre audiovizuálne služby nad konvergentnými sieťami.

4.2.3 Protokoly a kodeky u IPTV

Video tok vyslaný do siete musí byť najprv upravený pre dátový prenos. Vstupný signál je buď analógový alebo digitálny, analógový signál je pomocou kóderov digitalizovaný a komprimovaný pomocou vybranej kompresie. Takto vzniknutý dátový tok je rozdelený do malých blokov označovaných PES, čo je základný paketový tok.

Bloky dát obsahujú záhlavie snímok a záhlavie blokov dát. Tieto jednotlivé časti majú veľkosť 188 bajtov a takéto časti sú združované do prenosového dátového toku MPEG-TS. Do klasického Ethernetového rámca je možné vložiť 7 takýchto blokov. Signál v takejto forme vstupuje do štyroch spodných vrstiev OSI modelu. Tu sa prenášaný signál zapuzdri a prenáša sa zo zdroja ku koncovému užívateľovi. [13]



Obr. 4.7: Vzťah vrstiev referenčného modelu OSI a vrstiev modelu IPTV.

Populárnou rodinou kodekov je MPEG, definovaná ISO/IEC a ITU-T. Windows Media, ktorý je v podstate vývojom Microsoftu, je tiež zaujímavým kodekom zvažovaným viacerými vstupujúcimi IPTV.

MPEG-1 (ITU-T H.261)

Ide o prvý digitálny video štandard kodek ktorý umožnil prechod z analógovej formy na digitálnu, nezávisle na analógovom štandarde. Bol zverejnený v roku 1993. Zvuk a pohyb je kódovaný pri rýchlosti okolo 1,5 Mbit/s, čo poskytuje video rozlíšenie ekvivalentné VHS kazetám. [13]

MPEG-2 (ITU-T H.262)

MPEG-2 bol publikovaný v roku 1995 a je podmnožinou MPEG-1, poskytujúci širšiu škálu prenosových rýchlostí od 2 do 20 Mbit/s a niekoľko úrovní kvality a rozlíšenia videa. MPEG-2 aplikácie boli veľmi populárne od polovice 90-tych rokov a sú používané v satelitoch, DBS, DVD a skorých implementáciách IPTV. [13]

MPEG-4 part 10 (ITU-T AVC/H.264)

Tento kodek je veľmi flexibilný, má rozsah prenosových rýchlostí od 5 kbit/s až po 10 Mbit/s, čo je vhodné pre mobilné video so štandardným rozlíšením a pre HD TV. MPEG-4 môže ušetriť až 50 % šírky pásma, čiže je veľmi obľúbeným pre prevádzkovateľov IPTV. [13]

SMPT VC-1 (WM9V)

Ide o špecifikáciu video kodeku, ktorý bol štandardizovaný spoločnosťou SMPT (*Society of Motion Picture and Television Engineers*) a implementovaný Windows Media 9 (WM-9). Má podobné vlastnosti ako MPEG-4, avšak s hladšou integráciou s PC alebo hybridnými PC-TV zariadeniami. [13]

UDP protokol

Protokol UDP je štandard sady protokolu TCP/IP definovaný v špecifikácii RFC768. Používa sa v niektorých aplikáciách namiesto TCP protokolu, pre jeho rýchly a nenáročný prenos dát bez zaistenia spoľahlivosti. Protokol UDP poskytuje nespojované datagramové služby, ktoré sa snažia doručiť dáta všetkými možnými prostriedkami, avšak nezaručuje doručenie datagramov a ani ich správne poradie. Správy UDP sú pred odoslaním zapuzdrené do datagramov IP. Protokol UDP je vhodný na prenos hlasu alebo videa (napr. VoIP), online hry alebo streamované médiá. [26]

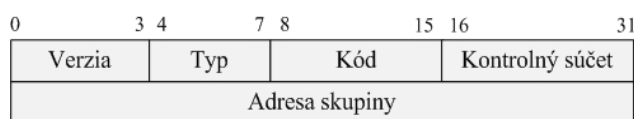
RTP protokol

RTP je protokol definovaný IETF na prenos časovo synchronizovaných unicast alebo multicast dát cez IP sieť. Typickou aplikáciou RTP je prenos digitálneho videa alebo audia v reálnom čase, ale tiež môže byť použitý aj pre iné aplikácie ako napríklad uskladnenie súvislých dát. Jeho dôležitou vlastnosťou je časové značenie obsahu pomocou tzv. časových pečiatok (*timestamp*). To zaisťuje spresnenie doručenia dát v správnom poradí, napr. v prípade oneskorenia. Súčasťou RTP je sekvenčné číslovanie, pomocou ktorého v prípade straty alebo chyby pri prenose je umožnené prijímacej strane vypočítať koľko a ktoré pakety v toku chýbajú.

RTP je len komponentom IP-založeného multimedialného sieťového rámca. Ponúka niektoré služby ako napríklad časovanie paketov a postupnosť, ale mnoho iného je mimo rámec tohto protokolu. Napríklad, RTP neponúka žiaden mechanizmus na zaistenie QoS pre vysielané dáta, opiera sa len o tie mechanizmy QoS ktoré ponúka sieť. RTP je zvyčajne dodávané pomocou UDP protokolu, ktorý ponúka nespojitý prenos IP prevádzky. [13]

IGMP protokol

IGMP protokol obsahuje tri verzie - IGMPv1 (RFC 1112), IGMPv2 (RFC 2236) a IGMPv3 (RFC 3376). Tento protokol využívajú predovšetkým multicastoví klienti pre signalizáciu smerovačom, že patria do danej multicastovej skupiny, alebo pre odhlásenie z jednej skupiny a prihlásenie do druhej.



Obr. 4.8: Formát IGMP správy. [27]

IGMP je považovaný za časť IP vrstvy, má pevnú veľkosť správy s nepovinnými dátami. Formát IGMP správy je uvedený na obrázku (pozri Obr. 4.8). [27]

DVMRP (*Distance Vector Multicast Routing Protocol*) protokol

DVMRP je smerovací protokol definovaný v RFC1075, ktorý pripomína RIP (*Routing Information Protocol*). Kým však RIP posiela pakety do cieľa na základe informácie *next-hop*, DVMRP konštruuje doručovacie stromy založené na *previous-hop* naspäť k zdroju. Prvý paket multicastovej správy odoslaný zo zdroja do určitej multicastovej skupiny je zaplavený cez vnútornú sieť. Potom, skrátené správy sú použité na skrátenie vetvy ktoré nevedú k členovi skupiny. Podobne ako u RPM, DVMRP stále implementuje pravidelné zaplavovanie paketmi.

V prípade väčšieho množstva smerovačov v podsieti, ten ktorý je najbližšie k zdroju multicastových správ je zvolený na správu smerovania multicastových správ. Ak je v podsieti viac ako jeden smerovač s rovnakou vzdialenosťou od zdroja, je zvolený ten smerovač, ktorý má nižšiu IP adresu. DVMRP podporuje aj tunelové rozhranie (t.j. rozhranie spájajúce dva multicast smerovače prostredníctvom jedného alebo viacerých multicastovo nevedomých smerovačov). [27]

MOSPF (*Multicast Extension to OSPF*) protokol

MOSPF je definovaný v RFC 1584, postavený na OSPF (*Open Shortest Path First*) Version 2 (RFC 1583). MOSPF používa členské skupinové informácie prostredníctvom IGMP a s pomocou OSPF databázy vytvára doručovacie multicastové stromy. Tieto stromy sú stromy najkratších ciest skonštruované (na vyžiadanie) pre každý (zdroj, skupinu) pár. Hoci MOSPF nepodporuje tunely, môže koexistovať a spolupracovať s non-MOSPF smerovačmi.

MOSPF podporuje hierarchické smerovanie. Všetky PC v Internete sú rozdelené do AS (*Autonomous Systems*) a každý AS je ďalej rozdelený do podskupín nazývaných „oblasti“. [27]

PIM (*Protocol Independent Multicast*) protokol

PIM protokol je smerovací protokol vyvinutý pracovní skupinou IDMR, skupiny IETF. PIM vyžaduje existenciu unicastového smerovacieho protokolu. PIM obsahuje dva protokoly:

- PIM-DM (*PIM-Dense Mode*): je efektívnejší, keď sú členovia skupiny husto distribuovaní. Je podobný DVMRP algoritmu a využíva RPM pre vytváranie doručovacích stromov.
- PIM-SM (*PIM-Sparse Mode*), ktorý pracuje lepšie v prípade, že členovia skupiny sú riedko distribuovaní. PIM-SM je definovaný v RFC2117. Vyžaduje explicitne oznámiť potrebu pre prijímanie multicastových správ multicastovou skupinou, kým *dense-mode* protokoly predpokladajú že všetky smerovače potrebujú prijímať multicastové správy pokiaľ nie je zaslaná správa skrátania.

Aj keď tieto dva algoritmy patria do PIM a zdieľajú podobné kontrolné správy, sú to v podstate dva rozdielne protokoly. [27]

RTSP (*Real Time Streaming Protocol*)

RTSP je popísaný v RFC 2326. Ide o signalizačný protokol, ktorý slúži k zostaveniu riadenia viacerých audio/video streamov. Komunikácia prebieha v podobe klient-server. Podporuje multicastové aj unicastové vysielanie. Pre streamovanie využíva port 554.

Hlavnými funkciami RTSP protokolu je:

- načítanie multimediálnych dát z multimediálneho servera,
- pozvanie multimediálneho servera do konferencie,
- pridanie existujúcich dát do konferencie. [28]

4.2.4 Metódy merania kvality IPTV

4.2.4.1 Objektívne metódy

MSE (*Mean Square Error*)

MSE reprezentuje strednú kvadratickú odchýlku prijatého video signálu od pôvodného. Pre výpočet sa používa vzorec:

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{j=0}^{M-1} \sum_{i=0}^{N-1} (x_{ij} - y_{ij})^2 [-] \quad (4.2)$$

kde x je originálny obraz, y je prijatý obraz, prvky i, j sú prvkami obrazovej matice, M je počet pixelov na výšku obrazu a N je počet pixelov na šírku obrazu. [21]

PSNR (*Peak Signal to Noise Ratio*)

PSNR predstavuje pomer medzi najvyššou hodnotou voči MSE a vyjadruje sa pomocou vzorca:

$$PSNR = 10 \times \log \frac{m^2}{MSE} \text{ [dB]} \quad (4.3)$$

kde m je maximálna hodnota, ktorú pixel môže získať. [21]

SSIM (Structural Similarity Index)

Parameter SSIM zohľadňuje ľudský vizuálny systém. Meria podobnosť medzi dvoma obrázkami. SSIM bol navrhnutý pre zlepšenie tradičných metrík ako MSE a PSNR, ktoré sa ukázali, že sú v rozpore s ľudským vnímaním. Referenčné hodnoty sú v intervale $\langle 0, 1 \rangle$, kde 0 znamená nulový vzťah k originálnemu obrázku a 1 je dosiahnutá pri porovnaní dvoch totožných obrázkov.

$$SSIM(x, y) = [l(x, y)]^\alpha [c(x, y)]^\beta [s(x, y)]^\gamma \quad (4.4)$$

Člen $l(x, y)$ slúži k porovnaniu jasnosti signálu, člen $c(x, y)$ porovnáva kontrast signálu a člen $s(x, y)$ slúži pre meranie štruktúrálnej korelácie (rovnica (4.5), (4.6), (4.7)), ktorá je vypočítaná zo vzťahov [21]:

$$l(x, y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (4.5)$$

$$l(x, y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (4.6)$$

$$l(x, y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (4.7)$$

kde μ_x a μ_y predstavujú priemer zo vzoriek x a y , σ_x a σ_y predstavuje rozptyl vzoriek x a y .

MDI (Media Delivery Index)

Problémy v sieti, ktoré môžu nepriaznivo ovplyvniť kvalitu prenášaného A/V toku lokalizuje a charakterizuje parameter MDI. Vyjadruje sa pomocou dvoch čísel vo formáte $DF:MLR$, ktoré charakterizujú faktor oneskorenia ($DF = Delay Factor$) a pomer stratovosti ($MLR = Media Loss Rate$). [21]

MPQM (Moving Pictures Quality Metric)

Parameter MPQM sa používa na posúdenie kvality komprimovaného MPEG video toku. Zahŕňa technológiu ktorá kopíruje skúsenosť ľudského pozorovateľa a hodnotí na stupnici od 1 do 5. [21]

4.2.4.2 Subjektívne metódy

MOS (Mean Opinion Score)

Stupnica MOS je systém, navrhnutý na testovanie, definovaný ITU. Jeho priebeh spočíva v sledovaní série krátkych videí skupinou vybratej vzorky ľudí (odporúča sa aspoň 18). Sledujú sa vybrané parametre. Pre test musia byť vytvorené vhodné podmienky bez okolitého

rušenia. Vzorka ľudí potom hodnotí dojem zo sledovaného videa podľa stupnice od 1 do 5 (pozri Tab. 4.5). Výsledná hodnota je získaná spriemerovaním získaných hodnôt od jednotlivých ľudí, táto hodnota je hodnotou MOS.

Tab. 4.5: *Stupnica MOS.*

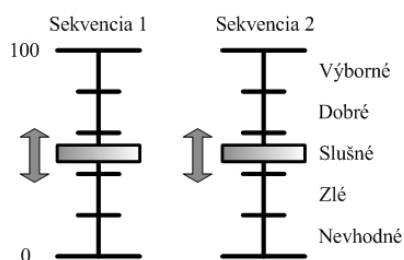
MOS	Kvalita	Degradácia
5	vynikajúca (<i>Excellent</i>)	nepostrehnuteľná
4	dobrá (<i>Good</i>)	postrehnuteľná, ale neobťažujúca
3	uspokojivá (<i>Fair</i>)	mierne obťažujúca
2	neuspokojivá (<i>Poor</i>)	obťažujúca
1	zlá (<i>Bad</i>)	veľmi obťažujúca

Hodnotenie MOS je definované v štyroch rôznych variantoch:

- MOS-V - video,
- MOS-A - audio,
- MOS-AV - video a audio,
- MOS-C - dojem z interakcie IPTV služieb.

DSCQS

Stupnica DSCQS sa využíva pre subjektívne hodnotenie dvojice sekvencií - referenčnej a testovanej. Sekvencia je zobrazená pozorovateľovi (takýchto pozorovateľov by malo byť aspoň 15) v náhodnom poradí, len na krátku dobu (cca 8–10 sekúnd). Pozorovateľ nevie ktorá sekvencia je testovaná a ktorá je referenčná. Hodnotí kvalitu týchto sekvencií na stupnici od 0 do 100. Tieto hodnoty znamenajú kvalitu sekvencie (pozri Obr. 4.9).



Obr. 4.9: *Spojité stupnica používaná u metódy DSCQS.*

DSIS (*Double Stimulus Impairment Scale*)

DCR je metóda z ITU-T odporúčania P.910 a ITU-T P.800, tiež súčasná verzia ITU-R BT.500-3 pod menom DSIS.

DRC predkladá podnet na predmet v pároch. Zdrojová (referenčná) sekvencia je uvedená ako prvá. Podnet ktorý má byť hodnotený je prezentovaný druhý. Vyhodnotenie je založené na celkovej miere zhoršenia.

Pre ITU-T P.910 a ITU-R BT.500 používa nasledujúce značenia:

- 5 - nepostrehnuteľný,
- 4 - postrehnuteľný, ale nie nepríjemný,
- 3 - mierne nepríjemný,
- 2 - nepríjemný,
- 1 - veľmi nepríjemný.

ITU-T P.800 používa nasledujúce alternatívne značenie:

- 5 - degradácia je počuteľná,
- 4 - degradácia je počuteľná ale nie nepríjemná,
- 3 - degradácia je mierne nepríjemná,
- 2 - degradácia je nepríjemná,
- 1 - degradácia je veľmi nepríjemná.

ACR (*Absolute Category Rating*)

Mierka ACR je definovaná v odporúčaní ITU-T P.800 a ITU-T P.910. Je to jediná metóda stimulujúceho hodnotenia, kde je objekt prezentovaný raz s podnetom. Následne je podnet hodnotený na diskkrétnej päťbodovej stupnici. Preklad jazyka je povolený.

ITU-T P.800 špecifikuje diskrétna päťbodová stupnica, s troma možnosťami znenia:

- Stupnica počúvanej kvality, hodnotenie kvality reči:
 - 5 - vynikajúca,
 - 4 - dobrá,
 - 3 - uspokojivá,
 - 2 - neuspokojivá,
 - 1 - zlá.
- Stupnica snahy počúvania, hodnotenie snahy vyžadovanej pre pochopenie významu viet:
 - 5 - možná úplná relaxácia, bez potreby úsilia,
 - 4 - potreba pozornosti, nie je potrebné výrazné úsilie,
 - 3 - vyžadovaná stredná námaha,
 - 2 - potrebné značné úsilie,
 - 1 - bez porozumenia, pri akomkoľvek vynaloženom úsilí.
- Stupnica preferencie hlasitosti, hodnotenie preferencie hlasitosti:

- 5 - viac hlasitejšie ako je potrebné,
- 4 - hlasitejšie ako je potrebné,
- 3 - potrebné,
- 2 - tichšie ako je potrebné,
- 1 - oveľa tichšie ako je potrebné.

ITU-T P.910 špecifikuje diskretnú päťbodovú stupnicu s jednou voľbou znenia:

- 5 - vynikajúca,
- 4 - dobrá,
- 3 - uspokojivá,
- 2 - neuspokojivá,
- 1 - zlá.

ITU-T P.910 umožňuje tiež aj iné stupnice, ako deväťúrovňovú, jedenásťúrovňovú a kontinuálnu stupnicu, ak je potrebný diskriminačnejší výkon. Napríklad deväťstupňová je nasledovná:

- 9 - vynikajúca,
- 8,
- 7 - dobrá,
- 6,
- 5 - uspokojivá,
- 4,
- 3 - neuspokojivá,
- 2,
- 1 - zlá.

[22]

5 Kvalita služby (QoS), Kvalita vnímania (QoE)

V snahe o nové príležitosti a zlepšovanie konkurencieschopnosti na trhu, poskytovatelia sieťových služieb ponúkajú služby ako VoIP, IPTV, VoD a mnoho ďalších, ktoré musia spĺňať určité kritéria ovplyvňujúce a charakterizujúce danú službu. Preto sú zavedené pojmy ako Kvalita služby (QoS), popisujúca technickú časť a Kvalita vnímania (QoE), popisujúca užívateľskú časť.

QoE a QoS sú odlišné a obe sú dôležité a mali by byť vo vzťahu.

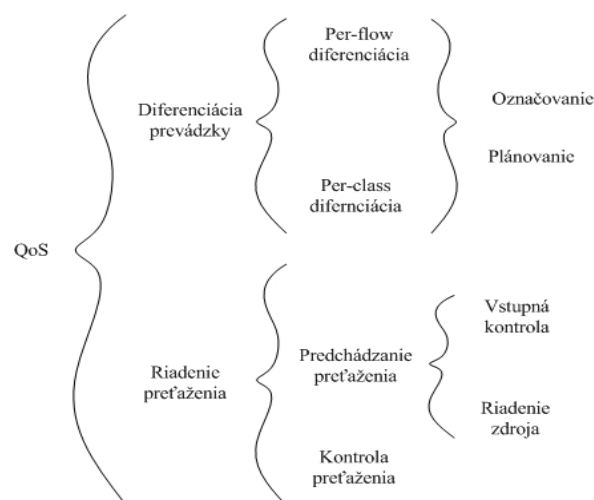
5.1 QoS (*Quality of Service*)

Pojem kvalita služby (*Quality of Service*) vyjadruje jeden z trendov vývoja technológií a služieb počítačových sietí - poskytovať užívateľom služby s definovanou kvalitou. QoS pôvodne vzniklo v rámci ATM ako objektívny popis kvality služby z hľadiska spoľahlivosti, oneskorenia paketov apod. Dnešné konvergované siete sú založené na IP protokole, ako tiež aj aplikácie ako napríklad Internet. Keďže rôzne služby majú rôzne nároky, je potreba garancie určitých parametrov siete. IP siete sú flexibilné a efektívne, ale nemajú definované minimálne oneskorenie, ktoré by bolo garantované, čo vyžadujú služby ako vysokokvalitné audio a video. Inými slovami, staršie IP siete môžu ponúknuť len *best-effort* služby. Preto bolo teda nevyhnutné aktualizovať IP siete pre podporu QoS.

Súčasná technológia siete využíva dve možnosti ktoré zlepšujú tradičné technológie prepínania paketov:

- diferenciacia prevádzky
- riadenie preťaženia (kontrola a vyhýbanie)

Existuje množstvo techník ktoré kombinujú oboje možnosti a zlepšujú tak QoS vlastnosti siete (pozri Obr. 5.1).



Obr. 5.1: Spájanie viacerých elementov pre zabezpečenie čo najlepšej vlastnosti QoS. [13]

Diferenciácia prevádzky oddeľuje zhlukovú prevádzku do menších sád a zaobchádza s nimi rôznymi spôsobmi. Sú dve možnosti identifikácie prevádzky:

- Klasifikácia prevádzky - prevádzka je delená do tried alebo tokov. Niekedy je nutné označiť prevádzku CoS identifikátorom.
- Privilegovanie paketov - niektoré sú privilegovanejšie v porovnaní s inými sieťovými prvkami. Môžu mať vyššiu prioritu, alebo im môžu byť vyčlenené vlastné zdroje pre prevádzku.

Diferenciáciou môže byť zvýšený výkon pre určité pakety a tým sú vlastne definované typy služieb.

- Diferencované služby - časť prevádzky získa lepšie podmienky pre prenos ako iný typ prevádzky. Stanovujú sa QoS záruky. Takáto diferenciácia služby je označovaná ako mäkké QoS.
- Garantované služby - ide o rezerváciu sieťových prostriedkov pre danú službu. Sú spoľahlivejšie, ale náročnejšie na šírku pásma. QoS pre garantované služby je označované ako tvrdé QoS.

Čo sa týka preťaženia, je to degradácia výkonu siete v dôsledku nadmerného zaťaženia prevádzky. [13]

5.1.1 End-to-end výkonnostné parametre

Prvým krokom v ponuke QoS je nájsť sadu parametrov pre kvantifikáciu a porovnanie výkonu siete. QoS je poskytované infraštruktúrou siete, na základe skúseností užívateľov. To je dôvod prečo je QoS špecifikované pomocou *end-to-end* parametrov. Niektoré z parametrov, ktoré môžu byť použité sú end-to-end oneskorenie a bitová chybovosť - BER (*Bit Error Ratio*).

IPPM (*The Internet Protocol Performance Metrics*) je IETF pracovná skupina ktorá definuje štandardné metriky pre vyhodnotenie výkonu siete. Tieto metriky sú určené pre dimenzovanie siete a konštrukciu sieťových prvkov ako aj pre QoS a SLA verifikáciu. Pokiaľ ide o QoS, spomeniem štyri definované metriky:

- stratovosť paketov (*packet loss*) - koľko percent paketov nedorazí od odosielateľa k adresátovi,
- šírka pásma (*bandwidth*) - udáva maximálnu možnú prenosovú rýchlosť,
- oneskorenie(*delay*) - doba potrebná k prenosu paketov od odosielateľa k adresátovi,
- zmena oneskorenia (*jitter*) - ako sa mení oneskorenie jednotlivých paketov behom prenosu.

QoS počítačovej siete môže byť implementovaná v rôznych vrstvách v rámci modelu počítačovej siete. Najčastejšie sa používa implementácia buď na úrovni ATM alebo na úrovni protokolu IP. [13]

5.1.2 Triedy prevádzky

Prenosové toky s podobnými QoS požiadavkami môžeme označiť ako triedy prevádzky. Napríklad všetky VoIP toky sú citlivé na oneskorenie a všetky webové operácie sú citlivé na prenosové chyby a straty. Tieto sady môžu byť zoskupené do jednej entity, triedy.

Tab. 5.1: QoS kontrola IP siete (ITU-T Y.1541). [30]

Trieda	Aplikácia	Horná medza QoS parametrov			
		Oneskorenie	Jitter	Stratovosť	Chybovosť
0	V reálnom čase, citlivé na jitter, vysoká interakcia (VoIP, IPTV, VTC, VoD)	100 ms	50 ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}
1	V reálnom čase, citlivé na jitter, interaktívne (VoIP, IPTV, VTC, VoD)	400 ms	50 ms	1×10^{-3}	1×10^{-4}
2	Dáta transakcie, vysoko interaktívne (signalizácia)	100 ms	-	1×10^{-3}	1×10^{-4}
3	Dáta transakcie, interaktívne	400 ms	-	1×10^{-3}	1×10^{-4}
4	Iba nízko stratové (krátke transakcie, zhlukové dáta, video streamovanie, VoD na lokálnom disku)	1 s	-	1×10^{-3}	1×10^{-4}
5	Best-effort IP siete	-	-	-	-

Triedy prevádzky sú označované ako CoS (*Class of Service*). Hlavné paketovo založené sieťové technológie (IP, ATM, Frame Relay, MPLS a Ethernet) poskytujú hlavičku pre označenie danej triedy. [13]

Tab. 5.2: QoS požiadavky pre rôzne aplikácie. [13]

Typ prenosu	Šírka pásma	Stratovosť paketov (max)	Oneskorenie (max)	Jitter (max)
Interaktívny hlas (G.711)	12–106 kbit/s	1%	150 ms	30 ms
Streamované video (MPEG-4)	0,005–10 Mbit/s	2%	5 000 ms	-
Streamovaný zvuk (MP3)	32–320 kbit/s	2%	5 000 ms	-
Dáta	voliteľné	citlivé	-	-

5.2 QoE (*Quality of Experience*)

Spotrebitelia požadujú vysokú kvalitu služieb, avšak nedokážu popísať IPTV kvalitu prostredníctvom technologických termínov. QoE (*Quality of Experience*), Kvalita užívateľskej skúsenosti, je určená na meranie kvality služby z pohľadu zákazníka.

QoE je subjektívne vnímanie odberateľa, ktoré musí prevádzkovateľ vyhodnotiť na základe kombinácie parametrov objektívnych meraní. [13] QoE je celkový výkon siete z hľadiska užívateľského pohľadu. Jedná sa o subjektívne merania výkonu *end-to-end* služieb z hľadiska vnímania užívateľa.

Základom QoE metodológie je sledovanie a vyhodnocovanie kvality služby tak, aby čo najvernejšie odpovedalo vnímaniu kvality služby užívateľom. Podľa spôsobu monitorovania rozlišujeme dva princípy:

- **aktívny monitoring** - simulácia činnosti koncového užívateľa pomocou referenčných užívateľských robotov (RUR).
- **pasívny monitoring** - sledovanie a vyhodnocovanie reakcie systému na skutočnú činnosť koncového užívateľa alebo sledovanie kľúčových parametrov služby, ktoré majú priamy dopad na vnímanie kvality služby koncovým užívateľom.

Je dôležité aby sa vyhodnotenie štatistických dát prevádzalo jednotným spôsobom, teda aby sa oba princípy vzájomne dopĺňali a prinášali úplný obraz o kvalite služieb. [19]

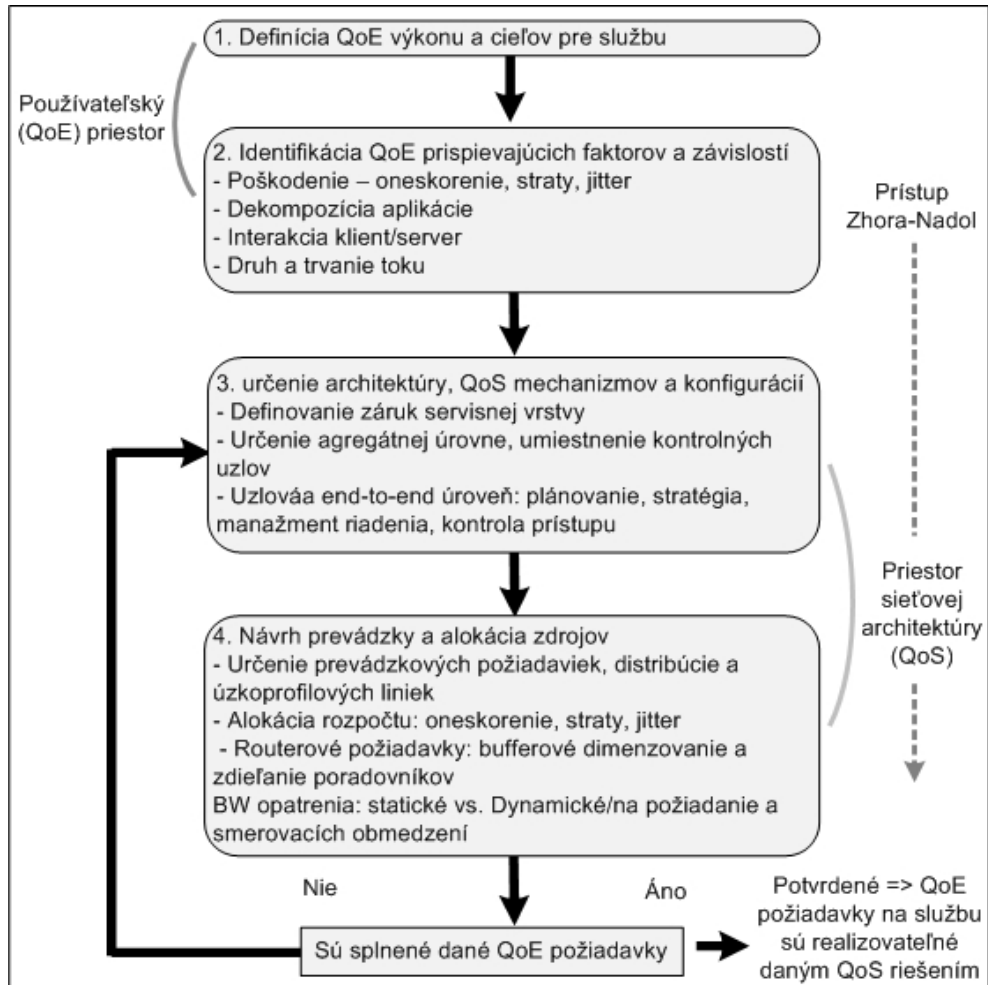
5.2.1 Aplikácia QoE

Kvalitu môžeme vnímať subjektívne, alebo objektívne. Kvalita vnímania je odlišná, čo sa týka typu služieb, či ide o službu IPTV, VoIP alebo Dáta.

Najpresnejší popis kvality vnímanej užívateľom získame použitím subjektívneho hodnotenie QoE. Výsledok sa hodnotí na základe stupnice MOS (pozri 4.1.2, resp. 4.2.4, MOS).

Keďže objektívny spôsob môže byť ťažko použiteľný v prípade automatických meraní, alebo pri monitorovaní v reálnom čase, je zavedené objektívne hodnotenie využívajúce algoritmy a metódy merania parametrov siete a parametrov kvality služieb v reálnom čase.

Konštrukcia siete s aplikáciou QoE alebo tiež *QoE-based Engineering* (pozri Obr. 5.2) je proces, pri ktorom je tvorená sieť na základe požiadaviek užívateľa. Proces pozostáva z analýzy používateľských požiadaviek, definície daných QoE pre aplikačnú vrstvu, konverzie subjektívnych QoE na objektívne výkonové požiadavky pre danú službu na sieťovej a aplikačnej vrstve a tiež stanovenie výkonových znehodnotení do protokolovej vrstvy, sieťových uzlov alebo segmentov. Pre tento postup je metodika tvorby QoE daná od úrovne zákazníka. [20]



Obr. 5.2: QoE-based Engineering. [20]

6 Realizácia a meranie služby Triple Play

Táto kapitola je zameraná na funkčnosť a správnosť zapojenej topológie, resp. siete a praktické overenie siete pre nasadenie Triple Play služieb. Pre testovanie sú použité štandardy RFC 2544 a ITU Y.1564 EtherSAM. Reálne nasadenie služieb Triple Play je uskutočnené vytvorením virtuálnych serverov, ako aj vytvorením serveru na fyzickom PC, nakoľko pôvodný zámer nasadenia všetkých služieb na jeden fyzický server nebolo možné, pre problémy s používaným serverom a jeho sieťovými adaptérmí.

6.1 Popis laboratórneho pracoviska

Laboratórne pracovisko a všetky merania sú realizované v priestoroch Vysokej školy báňskej Technickej univerzity Ostrava, budova N, v miestnosti N311 (priestory Katedry telekomunikačnej techniky), kde sú umiestnené - rack A, rack B, s jednotlivými prvkami (pozri Príloha C).

6.1.1 Súčasti topológie

OLT jednotka - ALLIED TELESIS iMAP 9102

Základným prvkom každého uskutočneného merania a topológie je OLT jednotka - Allied Telesis MiniMAP 9102 (pozri Obr. 6.1). Predný panel obsahuje štyri sloty, tri pre inštaláciu účastníckych kariet a jeden pre správu jednotky. Dôležitá je hlavne karta CFC12, obsahujúca porty Console a OAM, slúžiace pre konfiguráciu. Ďalšou dôležitou kartou je karta EPON2 (TN-118-B), ktorá poskytuje prevádzku PON siete prostredníctvom SFP modulu.

Parametre SFP modulu:

- model: Fiberxon SFP FTM-9712S-SL20,
- kompatibilita s IEEE 802.3ah 1000BASE-PX20-D,
- prevádzkové podmienky 0 až 70°C,
- optický výkon (1480 až 1500 nm): minimálny TX výkon = 2 dBm, maximálny TX výkon = 7 dBm,
- citlivosť fotodetektoru (1310 nm): maximálna RX citlivosť = -30 dBm, minimálna RX citlivosť = -10 dBm.



Obr. 6.1: EPON typ2 Allied Telesis MiniMAP 9102.

ONU JEDNOTKA - ALLIED TELESIS AT-ON1000

AT-ON1000 optická koncová jednotka (pozri Obr. 6.2) je účastnícke zariadenie umožňujúce prenosové rýchlosti 10/100/1 000 Mbit/s. Slúži ako prevodník medzi optickou

a metalickou sieťou, obsahuje teda dve rozhrania - optické a Ethernet. Na prednej časti sa tiež nachádzajú LED diódy pre indikáciu stavu jednotky a indikáciu rýchlosti spojenia pre Ethernet rozhranie.



Obr. 6.2: *ONU jednotka - Allied Telesis AT-ON1000.*

PASÍVNE DELIČE

Optické komponenty umiestnené v racku A (pozri Príloha C) slúžiace na rozdeľovanie optického výkonu. Mnou použité deliče sú deliče s pomerom 1:7 (symetrické delenie optického signálu na 7 častí), 1:2 (v pomere 90:10 - t.j. 90% výkonu a 10%).

OPTICKÉ VLÁKNA A KONEKTORY

V topológií sú použité vlákna typu ITU-T G.652D s merným útlmom 0,28 dB/km a konektory typu SC, s rovným zakončením PC (modré).

6.1.2 Meracie prístroje a softvér

Väčšina meracích prístrojov pochádza od spoločnosti PROFiber Networking CZ s.r.o. a ide o modely značky EXFO.

EXFO FTB-1/FTB-860 NetBlazer

Ide o kompaktné výkonné testovacie zariadenie umožňujúce komplexnú verifikáciu sietí. Obsahuje modul FTB-860 NetBlazer ponúkajúci testovanie výkonnosti siete prostredníctvom štandardov RFC 2544 a ITU-T Y.156sam (EtherSAM), BERT test a ďalšie. Nachádzajú sa na ňom dva Ethernet porty (10/100/1 000 Base-T) a optické porty 10 Gbit/s pre SFP+. Obsahuje tiež port pre USB.[23] Zariadenie je na obrázku 6.3.



Obr. 6.3: *EXFO FTB-1/FTB-860 s modulom NetBlazer.*

EXFO AXS-200/850

Analyzátor vhodný pre testovanie parametrov QoS v prístupových sieťach. Obsahuje dva porty - 10/100/1 000 Base-T Ethernet a Gigabit Ethernet optický port. Umožňuje napríklad testovanie výkonnosti podľa štandardu RFC 2544, BERT test a tiež funkciu Smart Loopback,

pre ktorú bol využitý pri meraniach. Smart Loopback umožňuje otáčanie prichádzajúceho dátového toku späť do siete.[23] Zariadenie je na obrázku 6.4.



Obr. 6.4: EXFO AXS-200/850.

EXFO AXS-200/350

Testovacia sada pre meranie optickej straty (OLTS - *Optical Loss Test Set*). Ideálny nástroj pre charakterizáciu sieťového spojenia. AXS-200/350 je vybavený *pass/fail* LED indikátorom a umožňuje nastavenie vlastných limitov pre meranie strát. Umožňuje meranie vlnových dĺžok u SM (1 310, 1 550 a 1 490 alebo 1 625 nm) a dve vlnové dĺžky MM (850, 1 300 nm). Meradlo výkonu s Ge detektorom, dynamický rozsah (až 26 dBm). Dostupných viac ako 40 kalibrovaných vlnových dĺžok, ktoré pokrývajú celý CWDM raster. Umožňuje tiež automatické nastavenie referencie (Režim AUTO-AUTO) a automatickú detekciu meranej vlnovej dĺžky. [35] Zariadenie je na obrázku 6.5.



Obr. 6.5: EXFO AXS-200/350.

EXFO AXS-200/625

EXFO AXS-200/625 je IP Triple Play testovacia sada ponúkajúca rýchle, ale dôkladné metódy pre nasadenie Triple Play služby - IP založené Dáta, VoIP a IPTV. Umožňuje pokročilé meranie IPTV - *packet jitter*, strata paketov, PCR *jitter*, MDI, PID *viewer* a IGMP *zap time*. Tiež monitoruje VoIP hovorový tok a štatistiky umožňujúce QoS metriky. Posudzovanie internetového pripojenia pomocou ping, traceroute a HTTP/FTP rýchlostné testovanie. [24] Zariadenie je na obrázku 6.6.



Obr. 6.6: EXFO AXS-200/625

EXFO PPM-350B-EG

PPM-350B-EG je merač výkonu optimalizovaný pre EPON a GPON architektúry. Obsahuje indikátory *pass/warning/fail* a 10 nadefinovaných programov. Filtrované meranie, ktoré poskytuje rôzne hodnoty výkonu pre každý signál (1 310, 1 490 a 1 550 nm). Má dva porty - vzostupný signál od ONT a zostupný signál od OLT.[36] Zariadenie je na obrázku 6.7.



Obr. 6.7: EXFO PPM-350B-EG.

EXFO FVA-60B

Nastaviteľný útlmový článok EXFO FVA-60B (pozri Obr. 6.8) umožňuje nastavenie útlmu v rozsahu od 1,55–65 dB, s možnými krokmi 0,05, 0,2 a 1. Jeho vložný útlm je 2,5 dB. Umožňuje nastavenie automatických sekvencií útlmu pomocou Programového módu. Ponúka nastavenie 14 vlnových dĺžok, pre

- multimode [nm] - 820–880, 1 270–1 330,
- singlemode [nm] - 1280–1340, 1 520–1580. [25]



Obr. 6.8: EXFO FVA-60B

EXFO FTB-500/5240B

Univerzálna meracia platforma EXFO FTB-500 (pozri Obr. 6.9) prináša nové programy, podporu transportných a datacom testovacích modulov novej generácie 10G, 40G a 100G. Platforma využíva Windows XP a podporuje tiež bezdrôtovú komunikáciu, samozrejmä je podpora USB.

Vďaka kompatibilite je umožnené vložiť do platformy FTB-500 optický spektrálny analyzátor EXFO FTB-5240 (pozri Obr. 6.9). Jeho základná špecifikácia je:

- spektrálny rozsah: 1250–1650 nm,
- spektrálna neistota merania: +/- 0,01 nm,

- rozlíšenie šírky pásma (FWHM): 0,065 nm,
- dynamický rozsah: -80 až +23 dB,
- výkonová neistota merania: +/- 0,5 dB,
- pomer optického potlačenia (ORR):
35 dB @ 1 550 nm, 25 GHz,
45 dB @ 1 550 nm, 50 GHz,
- dynamický rozsah OSNR: >35 dB,
- OSNR neistota merania: +/- 0,5 dB.



Obr. 6.9: EXFO FTB-500, FTB-5240B.

FHO 5000-F35 FTTh OTDR

Nová generácia meračov pre detekciu optických komunikačných systémov od spoločnosti Grandway. Zariadenie je na obrázku 6.10. [39]

Špecifikácia prístroja:

- testovacie vlnové dĺžky: 1 310/1 550 nm
- identifikačná mŕtva zóna: 1,5 m,
- útlmová mŕtva zóna: 8 m,
- vzorkovacie rozlíšenie: minimálne 0,25 m,
- umožňuje zachytiť 128 000 vzorkových bodov,
- dynamický rozsah: 32/30 dB,
- šírka pulzu: 3 ns ~ 10 μ s,
- internetový port, 3 \times USB port,
- 7" TFT-LCD.



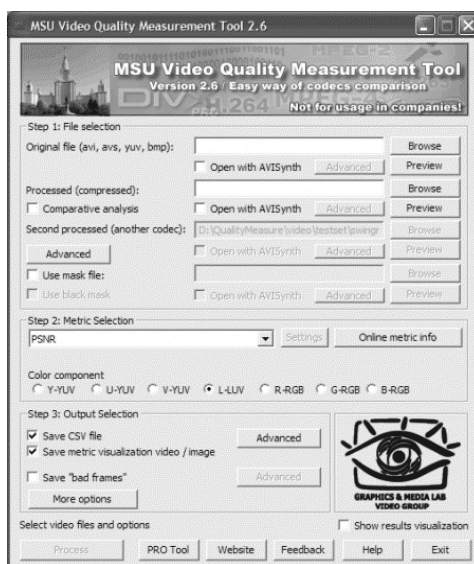
Obr. 6.10: FHO 5000-F35 FTTh OTDR.

MSU Video Quality Measurement Tool

MSU Video Quality Measurement Tool (VQMT) je program pre posúdenie objektívnej kvality videa. Poskytuje funkcie pre plno-referenčné (skúmajú sa dve videá) a jedno-referenčné (analyzované je jedno video) porovnaní. Je dostupný vo voľnej verzii a vo verzii PRO, ktorá je platená. Grafické rozhranie programu je na obrázku 6.11.

Základné vlastnosti VQMT:

- metrické hodnoty pre každý snímok,
- priemerná hodnota pre sekvenciu,
- metrické hodnoty pre konkrétne farebné zložky,
- 20 objektívnych metrík: PSNR (Y,U,V,L,R,G,B), MSE (Y,U,V,L,R,G,B), SSIM, MSAD, atď.,
- podpora viac ako 20 video formátov: AVI, AVS, atď., po nainštalovaní AviSynth aj formáty ako MOV, WMV, MP4, MPG a ďalšie,
- výsledky sú vo formáte CSV.



Obr. 6.11: MSU Video Quality Measurement.

SIMENA NETWORK EMULATOR NE1000

Emulátor sieťovej prevádzky umožňujúci sledovanie správania sa produktu alebo služby na základe niekoľkých sieťových podmienok ako rýchlosť, oneskorenie, preťaženie, stratovosť paketov apod. Umožňuje prácu prostredníctvom webového rozhrania. Zariadenie je na obrázku 6.12.



Obr. 6.12: *Simena Network Emulator NE1000.*

IxCHARIOT 7.20 EA

Testovací nástroj pre simuláciu reálnych aplikácií, zariadení, systému a výkonu siete v reálnych podmienkach. Skladá sa z IxChariot serveru a koncových bodov (Endpoint).

GRANDSTREAM GXV3140

Hardwarový IP telefón umožňujúci VoIP komunikáciu. Obsahuje porty NETWORK (10M/100M) a PC, je vybavený 4,3" digitálnym TFT displejom, kamerou CMOS.

Ovládanie:

- 18 funkčných kláves, 4 programovateľných kláves a 5 navigačných,
- webového rozhrania.

Podporuje sieťové protokoly

- SIP RFC3261, TCP/UDP/IP, PPPoE, RTP/RTCP, SRTP, HTTP/HTTPS, ARP, ICMP, DNS, DHCP (*client*), NTP/SNTP, TFTP, Telnet, UPnP. Hlasové kodeky G.711, G.722, G.729, G.723.1, GSM-FR, G.726-32, L16-256.

Obsahuje tiež množstvo aplikácií ako Skype, Webový prehliadač, RSS správy, kalendár a mnoho ďalších. Zariadenie je na obrázku 6.13.



Obr. 6.13: *GXV3140v2 IP Multimedialny telefón.*

SERVER ABACUS typ 1U

Server od firmy Abacus.

Špecifikácia:

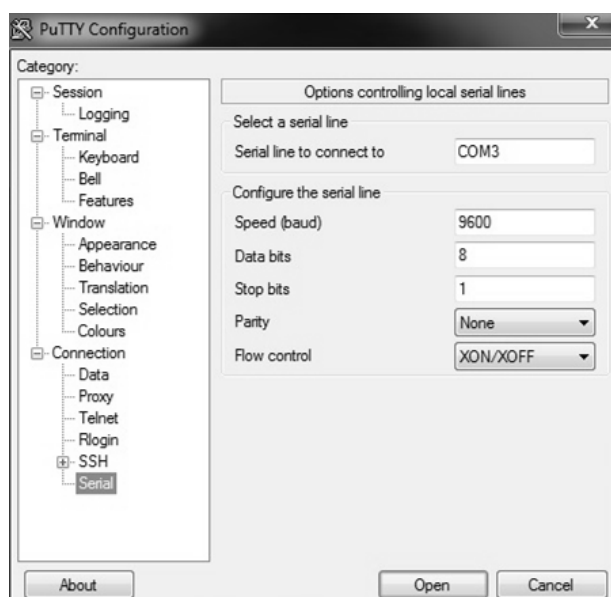
- procesor: Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2620 0 @ 2.00 GHz
- sieťové adaptéry: 2× Intel Corporation 82575EB Gigabit Network Connection, 2× Intel Corporation I350 Gigabit Network Connection
- 2× HDD (465,5 GB, 460,75 GB),
- totálna pamäť: 16355,8 MB.

6.2 Konfigurácia zariadení

Pre uskutočnenie praktických meraní diplomovej práce bolo potrebných viacero prístrojov, zariadení a softvérov. Preto sa v tejto časti venujem ich konfiguráciám a nastaveniam.

6.2.1 Konfigurácia OLT jednotky EPON

Konfigurácia OLT jednotky bola prevedená prepojením sériového kábla RS-232 s portom CONSOLE na OLT jednotke MiniMAP 9102. Pomocou klienta PuTTY je možné prihlásiť sa do konfiguračného režimu OLT jednotky. V klientovi bolo potrebné nastaviť niekoľko parametrov a vybrať pripojenie Serial (pozri Obr. 6.14).



Obr. 6.14: Klient PuTTY - konfigurácia pripojenia.

Po spustení sa otvorí dialógové okno, kde je potrebné zadať prihlasovacie údaje:

USERNAME:officer

PASSWORD:officer

Keďže OLT jednotka obsahovala istú konfiguráciu, stačilo len upraviť, prípadne doplniť potrebné parametre. Nastavenie OLT jednotky skontrolujeme príkazom `show system`. Pomocou príkazu `show interface` získame informácie o jednotlivých rozhraniach a ich popis.

V topológiách boli použité zariadenia vyžadujúce IP adresy pre ich vzájomnú komunikáciu. Pre nastavenie IP adresy rozhrania EPON použijeme príkaz:

```
SET INTERFACE=<číslo rozhrania> EPON IPADDRESS=<ip adresa>  
pr. SET INTERFACE=2.0 EPON IPADDRESS=192.168.0.12
```

Koncové jednotky pripojené k OLT neboli zaregistrované, tak bolo potrebné previesť registráciu ONU jednotiek. Registrácia ONU jednotky a príklad pre ONU1:

```
CREATE ONU <meno jednotky ONU> ONUID=<id jednotky ONU  
v rozsahu 0 až 31> INTERFACE=<rozhranie EPON> MAC=<MAC  
adresa jednotky> type=<označenie typu jednotky>  
pr. CREATE ONU=ONU1 ONUID=1 INTERFACE=2.0  
MAC=00:15:77:73:98:68
```

Skontrolujeme správne vytvorené ONU jednotky:

```
SHOW INTERFACE <meno ONU jednotky>  
pr. SHOW INTERFACE 2.0.1
```

Ďalej, pre bezproblémový chod bolo potrebné priradiť používané rozhrania do jednej VLANy. Pre zistenie stavu VLAN používame príkaz `show vlan`. Vytvorenie VLANy a vytvorenie vlastnej VLANy s názvom `vlan300`:

```
CREATE VLAN=<názov vlan>  
pr. CREATE VLAN=vlan300
```

Priradenie ONU jednotiek na základe rozhrania pod ktorým sú zaregistrované a príklad priradenia ONU jednotky ONU1:

```
ADD VLAN=<názov vlan> INTERFACE=<názov rozhrania>  
pr. ADD VLAN=vlan300 INTERFACE=2.0.1
```

Pri meraniach boli využité aj QoS profily, pre obmedzenie prenosovej rýchlosti, ktoré bolo potrebné vytvoriť a priradiť potrebnej ONU jednotke. Príklad vytvorenia QoS profilu pre 100 Mbit/s.

```
CREATE QOSPOLICY=<názov profilu> MAXUPSTREAMRATE 100M  
MAXDOWNSTREAMRATE 100M
```

Priradenie QoS profilu s prenosovou rýchlosťou 100 Mbit/s obojsmerne ONU jednotke ONU1.

```
pr. ADD QOSPOLICY=100Mbit INTERFACE=2.0.1 BIDIRECTIONAL
VLAN=vlan300
```

Používané prvky musia byť v stave State UP-UP.

6.2.2 Konfigurácia AXS-200/850

AXS-200/850 slúži ako loopback jednotka, ktorá nám umožňuje otáčať dátový tok prechádzajúci sieťou a následne ho spätne zachytávať na analyzátore (napr. EXFO FTB-1 860 NetBlazer).

V menu zariadenia prejdeme do Setup/Interface/Port:

```
Electrical
Auto-negotiation: Enabled
Speed: 100 Mbps
Duplex: Full
Flow Control: None
```

Potom v menu Setup/Interface/Network, nastavíme parametre pre sieťovú komunikáciu:

```
DHCP: Disabled
IP address: 192.168.0.8
Mask: 255.255.255.0
```

V hlavnom menu spustíme Smart Loopback.

6.2.3 Konfigurácia EXFO FTB-1/FTB-860 NetBlazer

Po spustení modulu NetBlazer vyberieme testovací štandard. V záložke Port zvolíme port ktorý používame pre pripojenie Ethernetového kábla.

```
Port 1
```

V záložke Network nastavíme potrebné sieťové parametre.

```
DHCP: Disabled
IP address: 192.168.0.9
Mask: 255.255.255.0
```

Prejdeme do menu Discover Remote, kde by sa malo objaviť loopback zariadenie s nami nastavenou IP adresou. Zvolíme Loop Up. Tým je vytvorené spojenie analyzátora s loopback jednotkou.

6.2.4 Konfigurácia EXFO AXS-200/625

Zariadenie EXFO AXS-200-650 používam na analýzu Triple Play služieb, ktoré toto zariadenie umožňuje sledovať. Nastavenia prevádzkame v menu DSL/IP Tests. V podmenu Connection Setup nastavíme v záložke Selected Profile:

Line Mode: Ethernet

Access Mode: Routed Ethernet DHCP

V záložke IPTV Analysis nastavíme dĺžku monitorovania a podľa potreby hodnoty Test Treshold.

Kábel pripájame do portu pre WAN.

Pre test IPTV zvolíme v podmenu IPTV Analysis a prejdeme na záložku IGMP Monitor kde sa pripojíme pomocou Join na požadovanú multicastovú adresu.

Pri službách Dáta a VoIP bol problém so zachytením požadovaného dátového toku danej služby, preto boli pre monitorovanie týchto služieb použité iné techniky.

6.2.5 Konfigurácia služby IPTV

Ako IPTV server slúžil notebook s OS Windows 7, kde bol pre streamovanie videa využitý program VLC, ktorý túto funkciu umožňuje. Tak isto aj pre prijímanie streamu bol využitý program VLC. VLC je multimediálny prehrávač, ktorý umožňuje prehrávanie obsahu ako zvukového tak aj vo forme videa. Ako zdroj môže byť použitý obsah z DVD, prijímaný signál z internetu, DVB-T streameru, TV karty apod.

Program VLC je voľne dostupný na webových stránkach prehrávača:

<http://www.videolan.org/vlc/>

V prvom rade je potrebné aby všetky prvky služby boli v jednej sieti. Na notebookoch bolo umožnené získanie IP adres z DHCP serveru, ktorým bol router umiestnený pred OLT jednotkou (pozri Obr. 6.25, resp. 6.26).

STRANA SERVERU

Vo VLC prejdeme do Médium/Otvoriť stream v sieti.../Súbor, Pridať (vyberieme video súbor), otvoríme a zvolíme Stream, v ďalšom okne zvolíme Next, potom vyberieme z ponuky RTP/MPEG Transport Stream a klikneme Pridať. Zadáme multicastovú adresu na ktorej budeme vysielat', napr. 224.1.1.20, port: 9001 a ľubovoľný názov streamu: test. V ďalšom okne zrušíme možnosť Aktivovať prekódovanie, klikneme Next a následne zvolíme Stream.

STRANA KLIENTA

V programe VLC prejdeme do menu Médium/Otvoriť stream v sieti.../Sieť a do položky Zadať prosím sieťovú adresu URL zadáme

multicastovú adresu ktorú sme nastavili na serveri: `rtp://@224.1.1.20:9001` a zvolíme Prehrať.

6.2.6 Konfigurácia služby VoIP

Služba VoIP využíva pobočkovú ústredňu PBX Asterisk, verzia Asterisk 1.8.13.1. Táto ústredňa je realizovaná na notebooku s OS Linux/Ubuntu 13.10. Na klientskej strane sú použité IP telefóny Grandstream GXV3140, ktoré sú zaregistrované ako SIP účty v PBX Asterisk.

Asterisk je open-source softvérová PBX od firmy Digium™, určená pre inštaláciu na štandardných PC a spolu so správnym rozhraním môže byť použitá ako PBX pre domácich užívateľov, podniky, poskytovateľov VoIP služieb a telefónne spoločnosti.

PBX ASTERISK - INŠTALÁCIA A KONFIGURÁCIA

Inštalácia a konfigurácia je prevádzaná v príkazovom riadku. Nasledujúci postup popisuje inštaláciu Asterisku vo verzií 1.8.13.1 priamo pomocou balíčku.

Do príkazového riadku pod užívateľom root napíšeme:

```
apt-get install asterisk
```

Potvrdíme inštaláciu a do formulára vyplníme medzinárodnú predvoľbu, napr. pre Českú republiku 420. Funkčnosť Asterisku overíme príkazom:

```
asterisk -vvvgci
```

Pre minimálnu konfiguráciu Asterisku s dvoma SIP účtami je potrebné editovať súbory `sip.conf` a `extensions.conf`.

Lubovoľným textovým editorom otvoríme súbor `/etc/asterisk/sip.conf`, kde vytvoríme potrebné SIP účty:

```
nano sip.conf
[general]
port=5060
binaddr=0.0.0.0
[2000]
type=friend
secret=1234
host=dynamic
```

Potom je nutné editovať súbor `/etc/asterisk/extensions.conf`, kde nastavíme DialPlan:

```
[default]
exten => 2000,1,Dial(SIP/2000)
```

Podobne vytvoríme aj druhý účet a jemu prislúchajúci DialPlan. Výpisy súborov a beh Asterisku pri správnej konfigurácii je uvedený v prílohe A.

SIP ÚČTY

Telefóny Grandstream GXV3140 je možné konfigurovať priamo, pomocou tlačidiel telefónu alebo po pripojení do siete a získaní IP adresy z DHCP serveru cez webové rozhranie, zadaním IP adresy telefónu do ľubovoľného internetového prehliadača (musí byť povolený Java Script). Nasledujúci postup je pre konfiguráciu pomocou webového rozhrania.

Na počítači z rovnakej podsiete zadáme IP adresu telefónu xxx.xxx.xxx.xxx do prehliadača, napr. `http://192.168.0.7`. Použijeme defaultné prihlasovacie údaje pre administrátorský prístup - Username: admin, Password: admin.

V záložke General Settings a jednej z položiek Account (napr. Account 2) nastavíme konfiguráciu účtu (pozri Príloha A).

Tiež je potrebné nastaviť DialPlan v záložke Call Settings (pozri Príloha A).

Obdobným spôsobom nakonfigurujeme aj druhý telefón.

Po každej prevedenej zmene je potrebné schváliť nastavenie tlačidlom SAVE na konci stránky. Pre každé nastavenie vo webovom UI vedľa ktorého je bodka je potrebné telefón rebootovať, aby sa prejavili zmeny.

REGISTRÁCIA SIP ÚČTOV

Po pripojení telefónov do rovnakej siete v akej je Asterisk PBX sa telefóny automaticky zaregistrujú. Registrácia môže trvať aj niekoľko minút. Po zaregistrovaní by sme v CLI Asterisku mali vidieť výpis o registrácii (pozri Príloha A).

6.2.7 Konfigurácia služby Dáta

Služba Dáta bola sprevádzkovaná na serveri Abacus. Bol vytvorený virtuálny stroj s operačným systémom Ubuntu, na ktorom bol vytvorený webový server. K virtuálnemu stroju sa pristupovalo prostredníctvom VMWare vSphere Client, ktorý je možné stiahnuť po zadaní adresy 158.196.81.21 do prehliadača (musíme pristupovať v rámci školskej siete). K serveru sa prihlasuje pomocou nasledujúcich údajov:

```
IP address/Name: 158.196.81.21
```

```
User name: root
```

```
Password: n311kat440
```

Po prihlásení spustíme požadovaný virtuálny stroj (VM). Pre vytvorenie webového serveru bol nainštalovaný Apache HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) server s podporou PHP (*Hypertext Preprocessor*). Vzdialený užívateľ sa mohol zadaním IP adresy prislúchajúcej VM do ľubovoľného internetového prehliadača dostať na webovú stránku, kde sa nachádzala sekcia

pre sťahovanie (*download*), nahrávanie (*upload*) a prehliadanie dát na serveri. Ukážka stránky serveru je v prílohe I.

6.3 Overenie integrity siete EPON

6.3.1 RFC 2544

Je starším z dvojice použitých štandardov. Vznikol v roku 1999 a bol vyvinutý pre poskytnutie výkonnostnej metriky pre Ethernetové siete. Obsahuje súbor štyroch testov:

Test priepustnosti

Priepustnosť (*Throughput*) definuje maximálny počet rámcov za sekundu ktoré možno prenášať bez chyby. Tento test je prevedený tak, že po vyslaní rámcov danej veľkosti sa sleduje, koľko z nich bolo spracovaných. Ak je spracovaný celkový počet rámcov, zvýši sa prenosová rýchlosť a test sa opakuje. Takto je test opakovaný až po dobu, kým sa odoslaný počet rámcov rovná počtu spracovaných. Výsledná hodnota je uvedená v Mbit/s. [10]

Test zaťažiteľnosti

Zaťažiteľnosť (*Back-to-back*) hodnotí schopnosť vyrovnávacej pamäti prepínača. Meria sa maximálny počet rámcov prijatých plnou rýchlosťou pred stratou rámca. Test každej dĺžky rámca by mal trvať po dobu 2 sekúnd a opakovať sa najmenej 50 krát, pre určenie aritmetického priemeru hodnôt. U prevádzkovateľa Ethernetových sietí je toto meranie veľmi užitočné, lebo potvrdzuje EIR ako je definované v mnohých SLA. [10]

Test stratovosti

Testom stratovosti (*Frame Loss*) je meraná reakcia siete v preťažených podmienkach - kritický indikátor sieťového prenosu na podporu aplikácií v reálnom čase, v ktorých veľké množstvo stratených rámcov výrazne znižuje kvalitu služby. Určuje percentuálny pomer medzi prijatými a odoslanými rámcami. Keďže u týchto služieb nie je retransmisia, tieto služby sa môžu rýchlo stať nepoužiteľné ak rámcová strata nie je kontrolovaná. Stratovosť vypočítame pomocou vzťahu [10]:

$$\text{stratovosť} = \frac{(\text{počet zaslaných rámcov} - \text{počet prijatých rámcov})}{\text{počet zaslaných rámcov}} \times 100 [\%] \quad (6.1)$$

Test oneskorenia

Testom oneskorenia (*Latency*) je určovaný čas potrebný pre rámec aby prešiel z pôvodného zariadenia cez sieť do cieľového zariadenia (známe ako *end-to-end* testovanie). Výsledok je udávaný v milisekundách. Keď čas latencie kolíše od rámca k rámcu, spôsobuje to problémy so službami v reálnom čase.

Tento štandard dovoľuje testovať na niekoľkých veľkostiach rámcov. Testy sú robené sekvenčne a dĺžka testu sa nedá ovplyvniť. RFC 2544 však neobsahuje meranie kolísania oneskorenia (*jitter*), čo je jeden z kľúčových parametrov pre Mobile Backhaul a Triple Play. [10]

6.3.2 EtherSAM (ITU-T Y.156sam)

EtherSAM je štandardná testovacia metóda ktorá umožňuje kompletnú validáciu Ethernet SLA (*Service Level Agreements*) v jednom, výrazne rýchlejšom teste a s vyššou úrovňou presnosti. Tento štandard je uvedený od roku 2010.

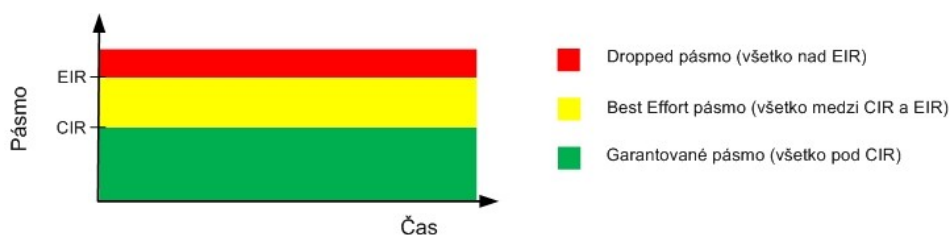
Zákaznícka prevádzka je rozdelená do troch prevádzkových tried a každej je priradená určitá farba: zelená pre dohodnutú prevádzku, žltá pre nadmernú prevádzku a červená pre vyradenú prevádzku (pozri Obr. 6.15).

Pásma EtherSAM

CIR (*Committed Information Rate*): Priemerná rýchlosť v bit/s do ktorej sieť prenáša rámce a vyhovuje výkonnostným kritériám definovaným v CoS servisných atribútoch,

EIR (*Excess Information Rate*): Priemerná rýchlosť v bit/s do ktorej sieť môže prenášať rámce, avšak nemusí vyhovovať výkonnostným kritériám,

Vyradená prevádzka (*Discarded Traffic*): prevádzka, ktorá je nad CIR alebo CIR/EIR rýchlosťami a nemôže byť odovzdaná bez prerušenia ďalších služieb, červená prevádzka je tým pádom zrušená. [11] [12]



Obr. 6.15: Pásma EtherSAM.

Parametre EtherSAM

KPI (*Key Performance Indicators*) sú špecifické charakteristiky prevádzky ktoré označujú minimálny výkon konkrétneho prevádzkového profilu. Pod zelenými prevádzkovými podmienkami musí sieť garantovať, že tieto minimálne výkonnostné požiadavky sú splnené pre celú doprednú prevádzku. Typické KPI zahŕňajú:

Šírka pásma (*Bandwidth*) - šírka pásma sa vzťahuje na maximálne množstvo dát, ktoré môžu byť doručované. Toto meranie je pomer celkového objemu prenesených dát prenášaných pri meraní okna na jednu sekundu,

Rámcové oneskorenie (*Frame delay*) - rámcové oneskorenie alebo latencia je meranie časového oneskorenia medzi vysielaním paketu a jeho prijatím. Toto meranie je rozhodujúce pre hlasové aplikácie, kde príliš veľa latencie môže ovplyvniť kvalitu hovoru vedúcu k vnímaniu ozvien, nesúvislej konverzácií a dokonca pádu hovoru,

Stratovosť (*Frame Loss*) - stratovosť, resp. strata rámca môže nastať z mnohých dôvodov, ako sú prenosové chyby alebo preťaženie siete. Chyby zavinené fyzikálnym javom sa môžu stať počas prenosu rámca, čoho výsledkom je, že rámec je znehodnotený sieťovým

zariadením ako switch alebo router. Preťaženie siete tiež spôsobuje znehodnotenie rámcov, keď sieťové zariadenie musí zahodiť rámec aby nedošlo k presýteniu linku v preťažených podmienkach,

Kolísanie oneskorenia (*Packet Jitter*) - odkazuje k premenlivosti v časoch príchodu medzi doručenými paketmi. Ako pakety putujú sieťou, sú často usporiadané do fronty a posielané v burstoch na ďalšie smerovanie. Náhodná priorita môže viesť k tomu, že výsledný prenos paketov spôsobí náhodné prenosové rýchlosti. Pakety sú tým pádom prijímané v nepravidelných intervaloch. Toto kolísanie sa prejavuje v zmätku na prijímacom *buffery* na konci uzla, kde *buffery* môžu byť nadmerne alebo nedostatočne využívané v prípade veľkých výkyvov kolísania. [12]

Test konfigurácie služieb

Tento test prebieha pre každú definovanú službu samostatne. Test je postavený na *ramp* teste, keď sú sekvenčne generované tri fázy veľkosti dátového toku:

- od minimálneho dátového toku po hranicu pásma CIR,
- od hranice CIR pásma po EIR pásmo,
- pásmo nad EIR.

Výsledkom je schopnosť siete splniť podmienky pre danú službu a vhodnosť konfigurácie CIR a EIR pre danú službu. [11] [12]

Test výkonnosti služieb

Test výkonnosti služieb generuje do siete všetky definované služby súčasne pri CIR rýchlosti. V každom okamihu sú merané všetky SLA parametre pre jednotlivé služby. [11] [12]

6.4 Vlastnosti základnej topológie EPON

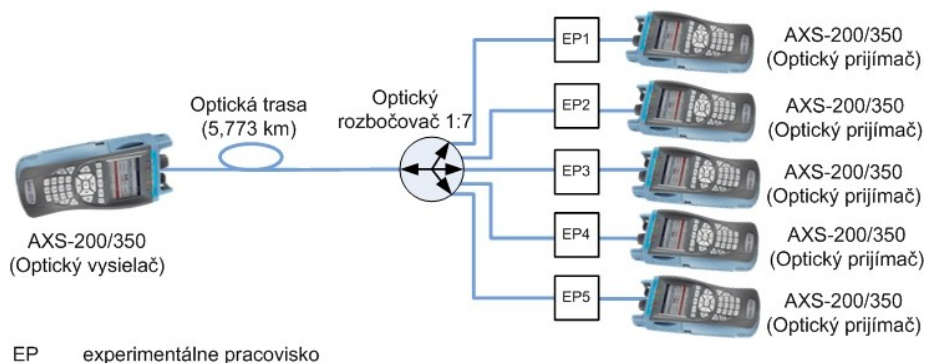
6.4.1 Meranie útlmu trasy

Útlm trasy je jedným zo základných parametrov optických sietí. Pri návrhu trasy je v prvom rade dôležité správne zostavenie tzv. útlmového rozpočtu (*attenuation budget*).

Pri meraní útlmu navrhutej trasy bola použitá metóda vložných strát, konkrétne metóda 1c a tiež metóda spätného rozptylu.

6.4.1.1 Metóda vložných strát - Metóda 1c

Ide o jednu z metód ktorú odporúča norma ISO 14763-3. Táto metóda využíva tri referenčné vlákna . Po kalibrácii pomocou referenčných vlákien sa prostredné vlákno odpojí a na jeho miesto sa pripojí meraná trasa. Výsledný útlm je teda daný len meranou trasou. Meranie bolo prevedené na topológii (pozri Obr. 6.16) používanej počas všetkých meraní.



Obr. 6.16: Metóda vložných strát - metóda 1c.

Útlm bol meraný pomocou prístroja AXS-200/350. Hodnoty útlmu trasy a útlmu používaných deličov sú uvedené v tabuľke 6.1.

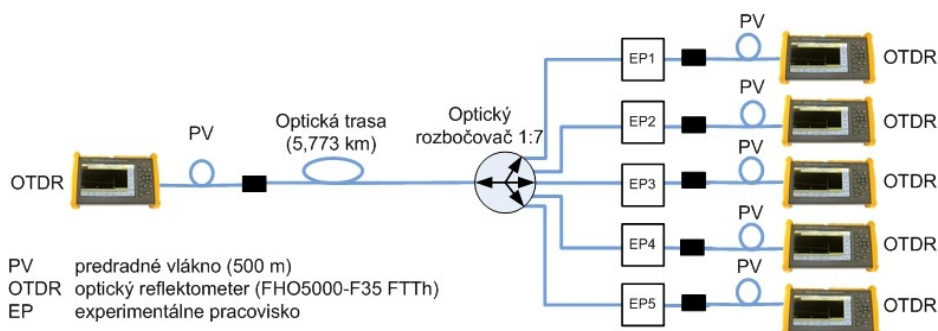
Tab. 6.1: Útlm na trase medzi OLT jednotkou EPON a experimentálnym pracoviskom (EP1–5) a útlm používaných deličov.

	Útlm trasy OLT → delič 1:7 → EP [dB]				
	EP1	EP2	EP3	EP4	EP5
1310 nm	11,13	11,67	11,86	11,21	11,33
1550 nm	10,64	10,85	10,26	10,91	10,44
	Útlm deliča 1:7 [dB]				
	9-10	9-11	9-12	9-13	9-14
1310 nm	7,58	7,77	8,12	7,45	7,57
1550 nm	7,58	7,61	8,58	7,45	8,10
	Útlm deliča 1:2 [dB]				
	10-11		10-12		
1310 nm	0,54		10,10		
1550 nm	0,56		10,00		

6.4.1.2 Metóda spätného rozptylu

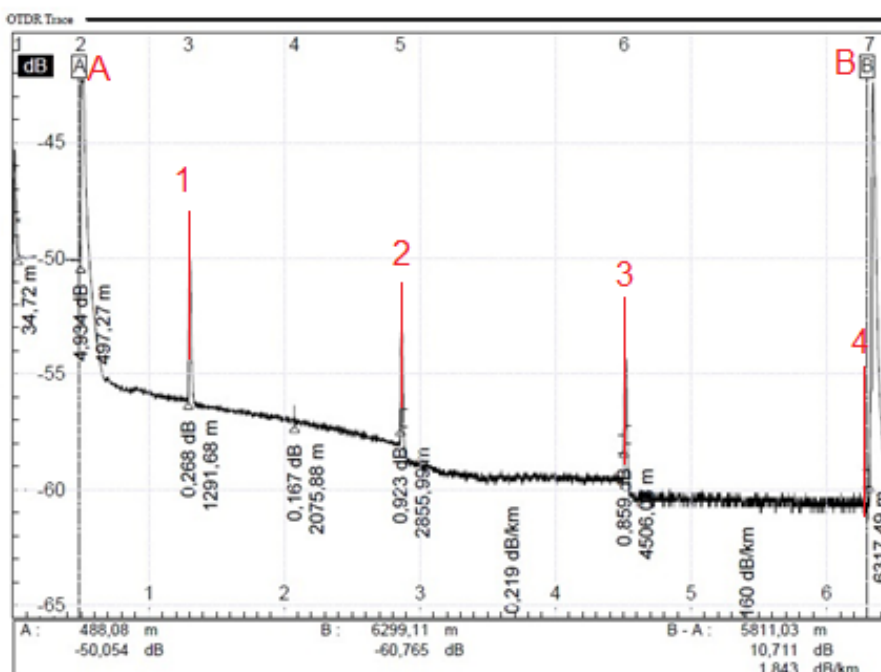
Metóda spätného rozptylu, alebo optická reflektometria OTDR (*Optical Time Domain Reflectometry*), je metóda založená na meraní optického výkonu, ktorý je rozptýlený (Rayleighov rozptyl) v rôznych bodoch vlákna späť k vstupnému čelu vlákna. Z toho vyplýva, že pomocou tejto metódy môžeme merať útlm vlákna, analyzovať útlm v celej dĺžke trasy ako aj v jednotlivých úsekoch. Prípadné Fresnelové odrazy na bodovej poruche alebo na koncoch vlákna sú z hľadiska merania nežiaducim javom, ale sú vhodné pre meranie dĺžky a lokalizácie porúch.

Pre meranie pomocou OTDR je potrebné použitie predradného vlákna (bolo použité predradné vlákno o dĺžke 500 m), pre potlačenie vstupnej mŕtvej zóny a umožnenie vyhodnotenia parametrov vstupného konektora, resp. výstupného konektora a testovanej trasy.



Obr. 6.17: Schéma merania pomocou FHO5000-D35 FTTh OTDR.

Meranie bolo prevedené na zariadení FHO5000-F35 FTTh OTDR, zapožičanom z externej firmy. Výsledný záznam (pozri Obr. 6.18) popisuje topológiu od začiatku trasy až po experimentálne pracovisko. V popise pod grafom vidíme výsledný útlm pri vlnovej dĺžke 1 550 nm medzi bodmi A a B, ktorý činí 10,711 dB, čo zhruba odpovedá nameraným hodnotám metódou 1c (pozri Tab. 6.1). Z grafu je zrejmé, že na trasa pozostáva zo 4 cievok s optickým vláknom (úseky A-1, 1-2, 2-3, 3-4). Úsek 1-2 je predradné vlákno o dĺžke 500 m. Celková dĺžka trasy je 5811,03 m, čo približne zodpovedá trase pozostávajúcej zo 4 cievok, vláken v racku B a učebni N311. V grafe nevidno trasu za poslednou cievkou, čo je pravdepodobne spôsobené nedostatočnou dĺžkou vlákna za posledným deličom (optický rozbočovač 1:7).



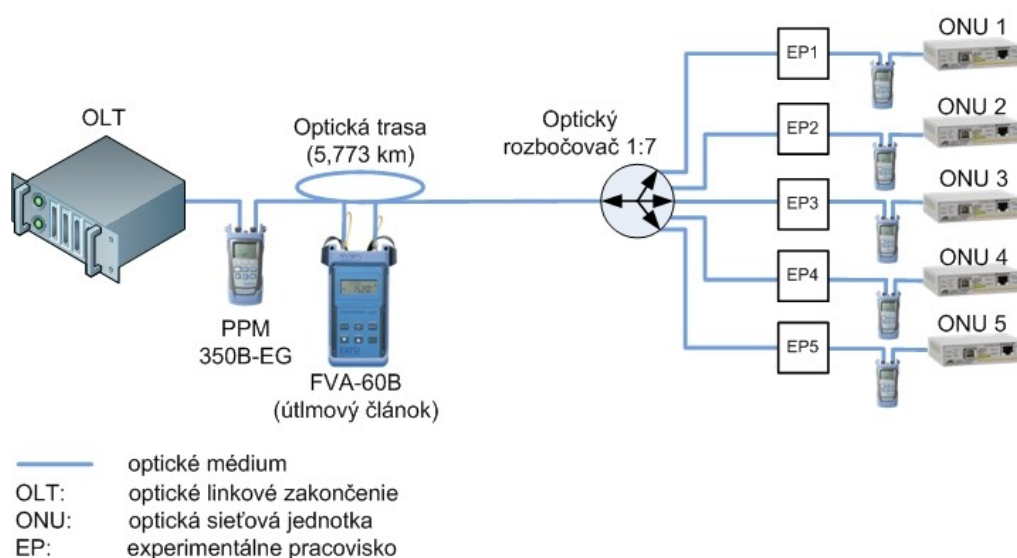
Obr. 6.18: Záznam z OTDR, meranie trasy.

6.4.2 Meranie výkonu, dosahu

Pri výstavbe siete je dôležité poznať parametre danej siete, a jedným z nich je aj výkonová úroveň. Ide o meranie na živej sieti. Prevádzkovateľ siete by mal poznať výkonové úrovne v jednotlivých častiach svojej siete. Pri prípadnej poruche mu môže táto znalosť urýchliť riešenie problému.

Meranie výkonových úrovni zostavenej topológie bolo prevedené pomocou štandardného merača výkonu PON PM (*Passive Optical Network Power Meter*), ktorý bol do trasy zavedený ako priebežný prvok (pozri Obr. 6.19). Súčasťou merania bolo aj meranie maximálneho vložného útlmu pomocou nastaviteľného útlmového článku (*attenuator*).

Meranie bolo prevedené vo dvoch častiach siete a to na začiatku trasy za OLT jednotkou a na konci trasy, medzi experimentálnym pracoviskom a ONU jednotkami.



Obr. 6.19: Schéma zapojenia pre meranie na živej sieti, meranie výkonových úrovní.

Výkonová úroveň OLT jednotky, t.j. vlnová dĺžka 1 490 nm dosahovala hodnotu 3,7 dBm, táto hodnota je získaná meraním za OLT jednotkou (pozri Tab. 6.2). Výkonová úroveň od ONU jednotky, t.j. vlnová dĺžka 1 310 nm, meranie na strane zákazníka, medzi experimentálnym pracoviskom a ONU jednotkou je 1,8 dBm (pozri Tab. 6.2).

Tab. 6.2: Výkonové úrovne trasy EPON v učebni N311. Meranie na strane OLT jednotky.

Výkonové úrovne			
Vlnová dĺžka (λ) [nm]	1 310	1 490	1 550
Výkon [dBm]	-12,9	3,7	9,2
(<i>P</i>) [dB]	9,2	43,6	5,2

Tab. 6.3: Výkonové úrovne trasy EPON v učebni N311. Meranie na strane ONU jednotky.

Výkonové úrovne				
Vlnová dĺžka (λ) [nm]		1 310	1 490	1 550
Výkon (P)	[dBm]	1,8	-10,4	-
	[dB]	24	29,6	-

Po zaradení nastaviteľného útlmového článku FVA-60B bol postupne zvyšovaný útlm na trase, až kým nedošlo k rozpadu signálu, teda k strate spojenia medzi ONU jednotkou a OLT jednotkou. PPM bol umiestnený medzi experimentálnym pracoviskom a ONU jednotkou. Zvolená bola ONU jednotka, ktorej spojenie s OLT jednotkou sa rozpadlo ako posledné. Pri vlnovej dĺžke 1 310 nm, vzostupný smer, bola dosiahnutá hodnota útlmu na útlmovom článku 18,35 dB. Signál na vlnovej dĺžke 1 490 nm, zostupný smer, sa rozpadol pri hodnote 32,2 dB. Tento rozdiel v rozpade signálu medzi vlnovou dĺžkou 1 310 nm a 1 490 nm je daný väčším útlmom vlnovej dĺžky 1 310 nm vo vlákne G.652D.[38] Všetky výkonové úrovne pri postupnom zvyšovaní útlmu sú uvedené v tabuľke 6.4.

Pri ďalšom meraní (merania Triple Play pomocou FTB-1) bolo zistené, že systém EPON prekoná ešte o niečo vyšší útlm a to až 21,95 dB, teda OLT jednotka a koncové zariadenie pri tejto hodnote útlmu stále komunikujú. Je to pravdepodobne spôsobené maximálnou prahovou úrovňou citlivosti daného prístroja.

Tab. 6.4: Výkonové úrovne EPON systému v učebni N311 so zapojeným útlmovým článkom v trase. Meranie na strane ONU/ONT jednotky.

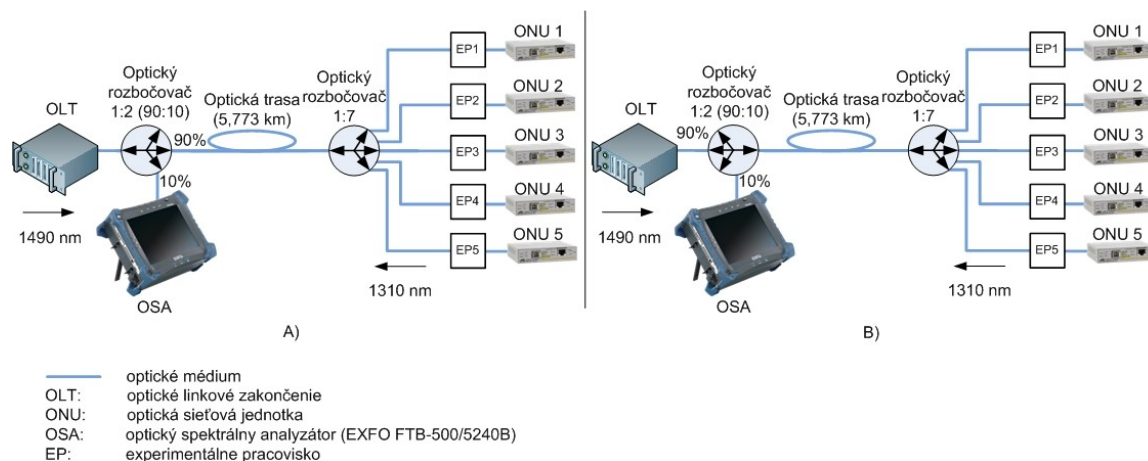
	Vlnová dĺžka (λ) [nm]			
	1 310		1 490	
Útlmový článok (A) [dB]	Výkon (P)			
	[dBm]	[dB]	[dBm]	[dB]
1,5	1,9	24	-12,8	27,2
8	1,9	24	-18,5	21,5
16	1,9	24	-25,5	14,5
18,3	1,9	24	-27,5	12,5
18,35	1,8/ -	24/ -	-27,5	12,5
18,4	-	-	-27,6	12,4
24	-	-	-32,5	7,5
28	-	-	-36	3,9
32,15	-	-	-39,9	0,1
32,2	-	-	-40/ -	0,1/ -
32,25	-	-	-	-

6.4.3 Spektrálna analýza navrhnutej topológie

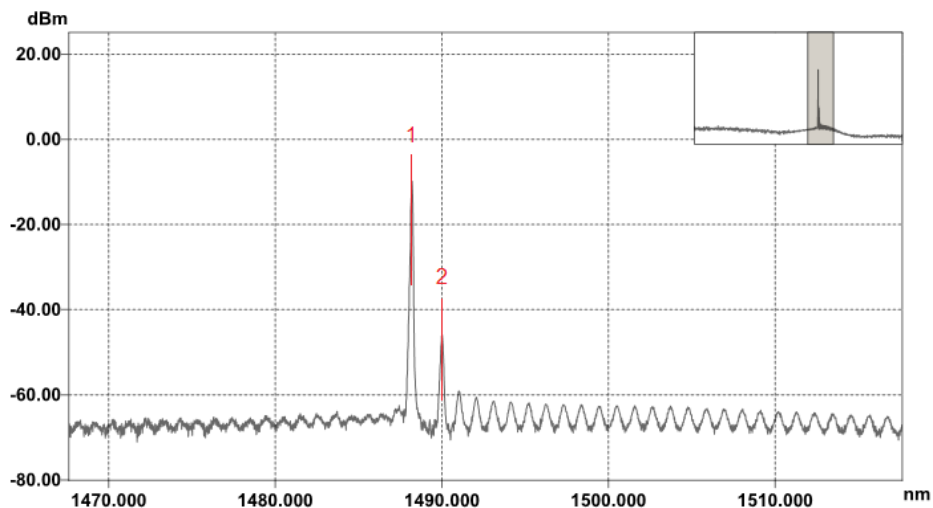
Spektrálna analýza optického systému nám umožňuje zmeranie kľúčových parametrov ako výkon v kanále, odstup signál/šum (OSNR), presluchy medzi kanálmi, výkonovú vyrovnanosť spektra, odchýlku od nominálnej vlnovej dĺžky.

Meranie je prevádzané pomocou optického spektrálneho analyzátoru OSA (*Optical Spectral Analyzer*), konkrétne EXFO FTB-500 FTB-5240B. Pri meraní je potrebné použiť delič 90:10, čo znamená, že 90% signálu pokračuje do siete a 10% je zachytených a privádzaných do optického spektrálneho analyzátoru.

Meranie pozostáva z dvoch častí, keď v jednej časti bolo merané optické spektrum pre zostupný smer a v časti druhej pre vzostupný smer. Zapojenie, resp. umiestnenie OSA je zobrazené na obrázku 6.20. V schéme sú uvedené dva optické spektrálne analyzátory, avšak zapojený bol vždy len jeden, tak isto aj optický rozbočovač 1:2 (90:10), v závislosti od merania pre vzostupný a pre zostupný smer. U vzostupného smeru bol OSA zapojený za optickou trasou pred optickým rozbočovačom 1:7. Pri meraní zostupného smeru bol OSA zapojený medzi OLT jednotkou a optickou trasou.



Obr. 6.20: Schéma zapojenia merania optickej spektrálnej analýzy pre zostupný (A) a vzostupný (B) smer.

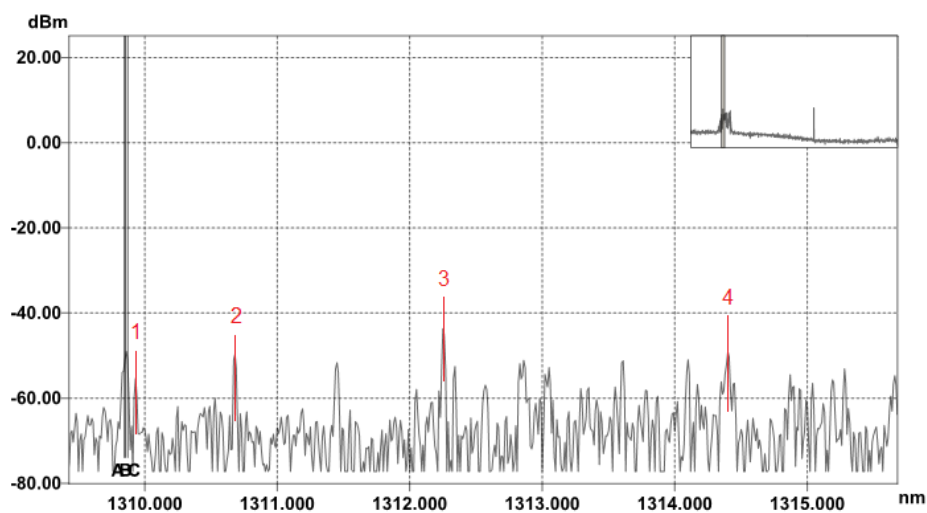


Obr. 6.21: Optické spektrum v zostupnom smere.

Na obrázku 6.21 je možné vidieť optické spektrum pre zostupný smer komunikácie. OLT jednotka vysiela na vlnovej dĺžke 1 490 nm (špička 2) ku všetkým koncovým jednotkám súčasne. Parametre kanálu sú uvedené v tabuľke 6.5.

Tab. 6.5: Parametre kanálu EPON - zostupný smer.

Špička	Kanál	W [nm]	P auto [dBm]	SNR [dB]	Výkon šumu [dBm]	Výkon signálu [dBm]
1		1 488.199	-6,70	52,88	-59,58	-
2	EPON	1 490,006	-40,47	22,36	-62,83	-42,54



Obr. 6.22: Optické spektrum vo vzostupnom smere.

Vo vzostupnom smere je vidieť zachytenie komunikácie štyroch koncových jednotiek (špička 1–4) (pozri Obr. 6.22), jedna ONU jednotka pri analýze nedokázala byť zachytená. Parametre kanálov sú uvedené v tabuľke 6.6.

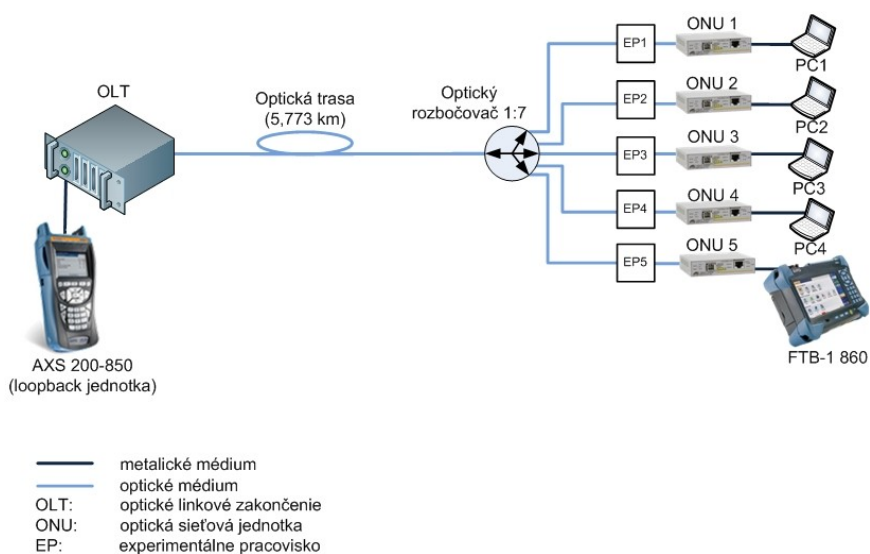
Tab. 6.6: Parametre kanálov EPON - vzostupný smer.

Špička	Kanál	W [nm]	P auto [dBm]	SNR [dB]	výkon šumu [dBm]	výkon signálu [dBm]
1	EPON1	1 309,854	-49,02	22,09	-71,11	-67,09
2	EPON2	1 310,679	-49,67	19,09	-68,76	-67,09
3	EPON3	! 1 312,254	-43,59	24,43	-68,02	-67,09
4	EPON4	1 314,400	-49,11	20,93	-70,04	-67,09

6.5 Topológie

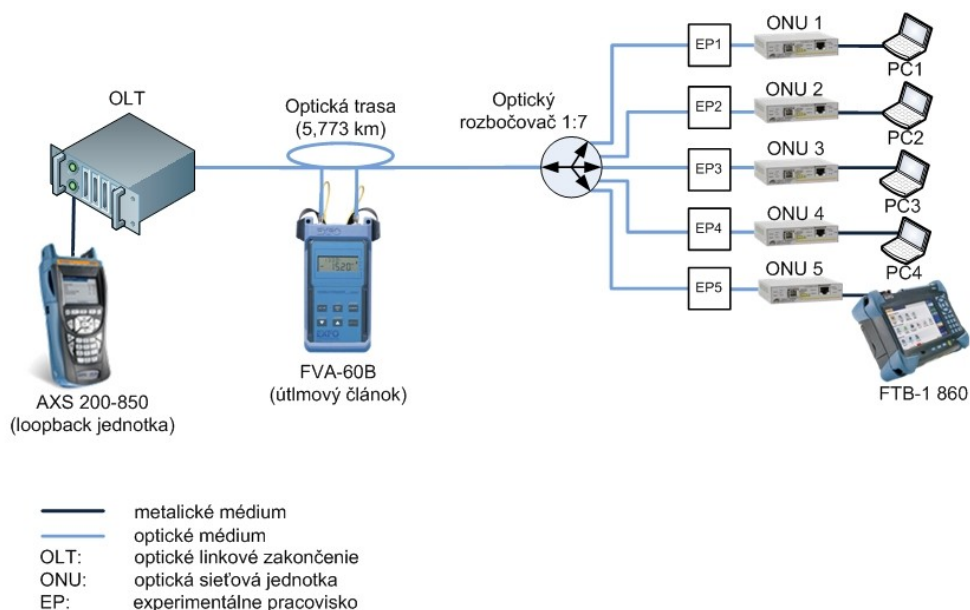
6.5.1 Overenie integrity siete - RFC 2544 a ITU Y.156sam EtherSAM

Prvé testy boli vykonané na základnej topológii (pozri Obr. 6.23), ktorú tvorila len trasa o dĺžke cca 5,8 km, ktorej útlm dosahuje 11,13 dB, nameraný od OLT jednotky po koncovú ONU jednotku, ktorej spojenie vydržalo najväčší nastavený útlm. Testy vychádzali vyhovujúco pre všetky merané parametre, teda sieť je zapojená a nakonfigurovaná správne. Výsledky testov sú uvedené v kapitole 6.6.1.



Obr. 6.23: Schéma zapojenia topológie pre meranie RFC 2544 a EtherSAM.

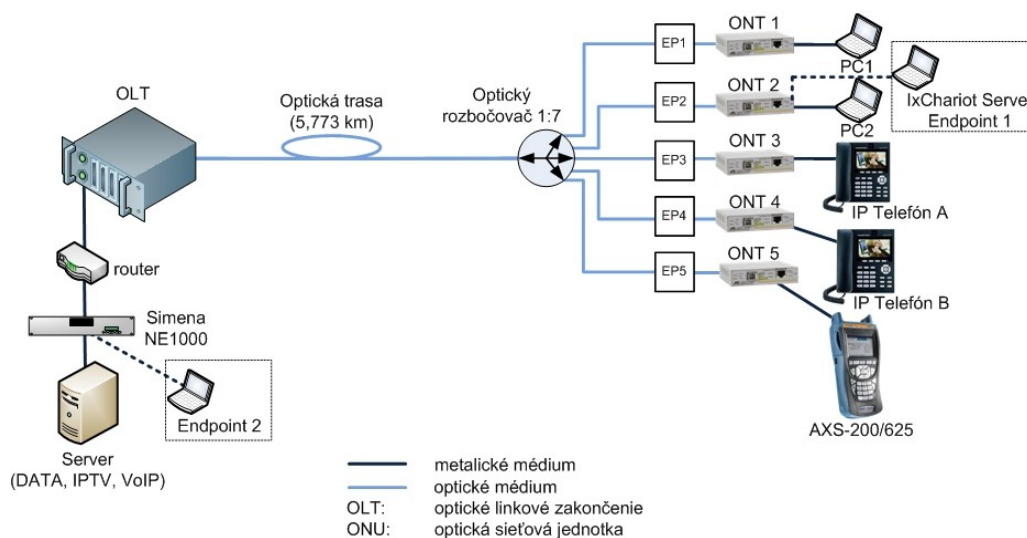
Ďalšia sada testov zisťuje maximálny prekenuateľný vložný útlm, resp. ide o umelé predĺžovanie dĺžky trasy nastaviteľným útlmovým článkom vloženým do trasy (pozri Obr. 6.24). Hodnota pri ktorej bolo ešte možné vykonať test bola 21,95 dB, čo zodpovedá vzdialenosti 78,39 km (prepočet útlmu na dĺžku trasy je podľa štandardu používaného vlákna ITU-T G.652 D s merným útlmom 0,28 dB/km).



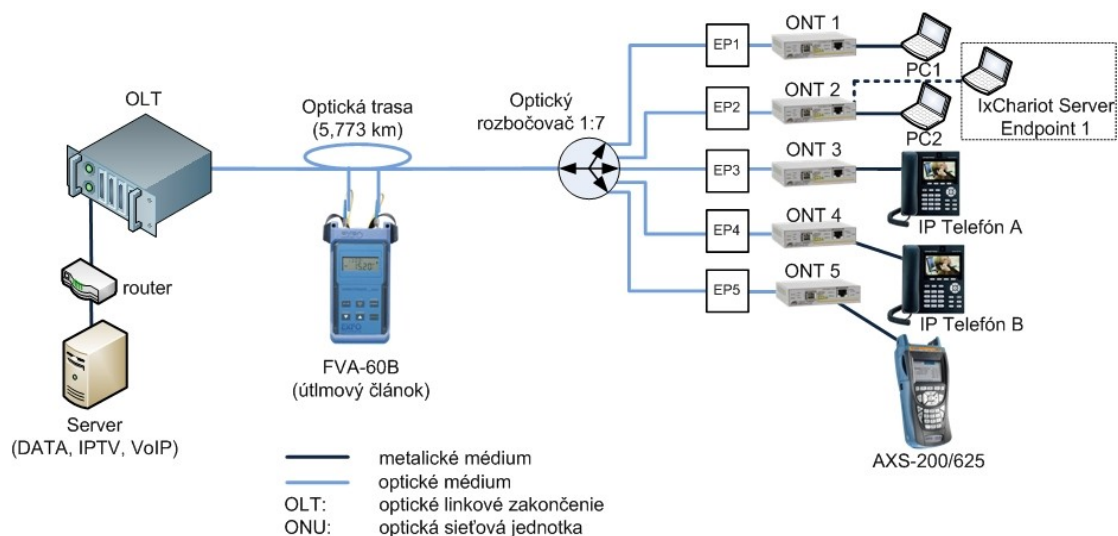
Obr. 6.24: Schéma zapojenia topológie pre meranie vplyvu útlmu na testy RFC 2544 a EtherSAM.

6.5.2 Nasadenie Triple Play služieb, meranie kvality služieb

Reálne nasadenie Triple Play služieb bolo umožnené na základnej topológii, ktorá bola doplnená o prvky - Router TP-LINK, Simena NE1000, Server Abacus, PC (Acer), IP telefóny (Grandstream GXV3140), EXFO AXS-200/625.



Obr. 6.25: Topológia pre nasadenie Triple Play služieb a sledovanie vplyvu QoS parametrov na dané služby.



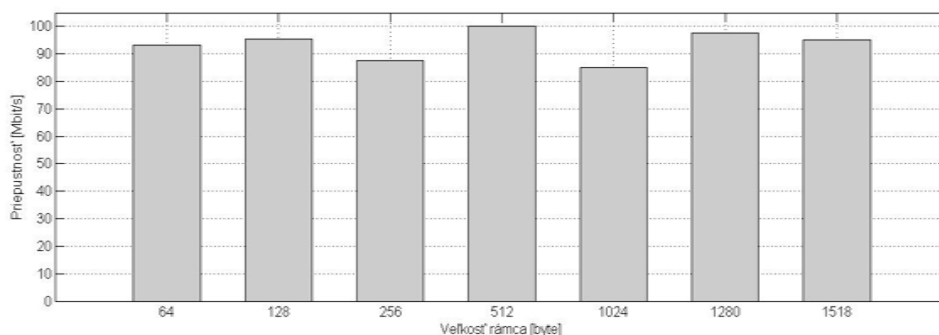
Obr. 6.26: Topológia pre nasadenie Triple Play služieb a sledovanie vplyvu útlmu na dané služby.

6.6 Overenie integrity siete

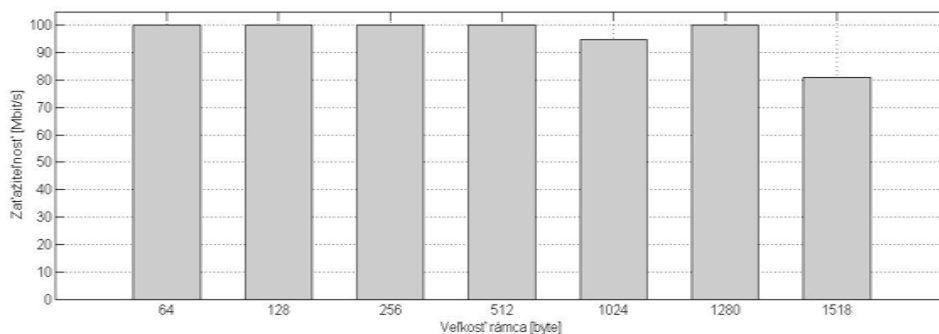
Overenie integrity pasívnej optickej siete sa prevádza, kvôli zisteniu toho, či je sieť pripravená pre nasadenie požadovaných služieb. Využívajú sa rôzne nástroje a jednými z nich je použitie testovacích štandardov RFC 2544 a ITU-T Y.1564 EtherSAM.

6.6.1 Výsledky testov štandardu RFC 2544

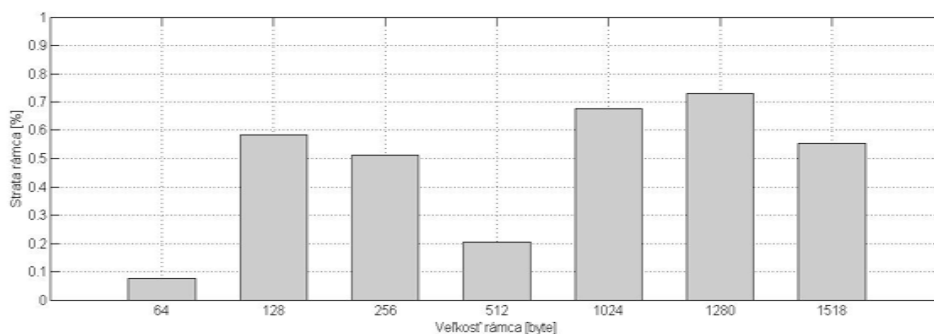
Nasledujúce výsledky reprezentujú zostavenú topológiu siete EPON (pozri Obr. 6.23 a 6.24), z hľadiska štyroch parametrov ktoré ponúka štandard RFC 2544 - priepustnosť, zaťažiteľnosť, stratovosť rámca a oneskorenie.



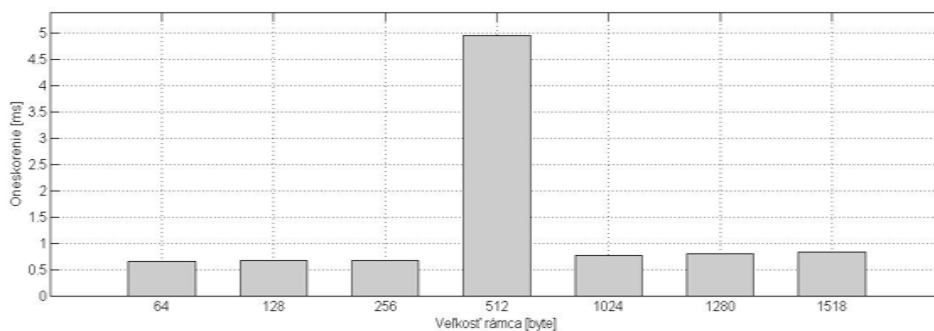
Obr. 6.27: Priepustnosť siete EPON (RFC 2544).



Obr. 6.28: *Zaťažiteľnosť siete EPON (RFC 2544).*



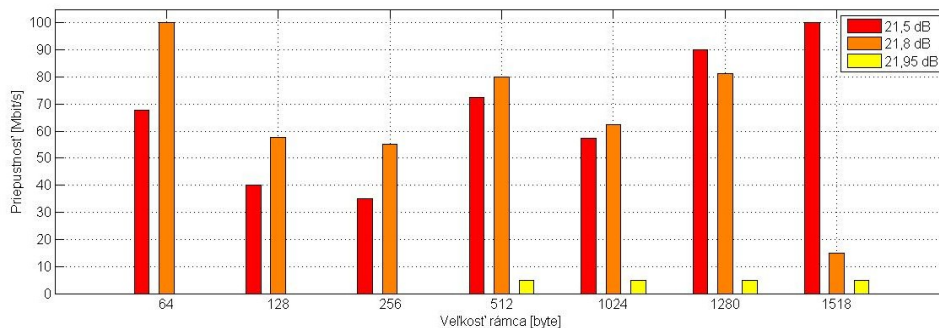
Obr. 6.29: *Stratovosť rámca siete EPON (RFC 2544)*



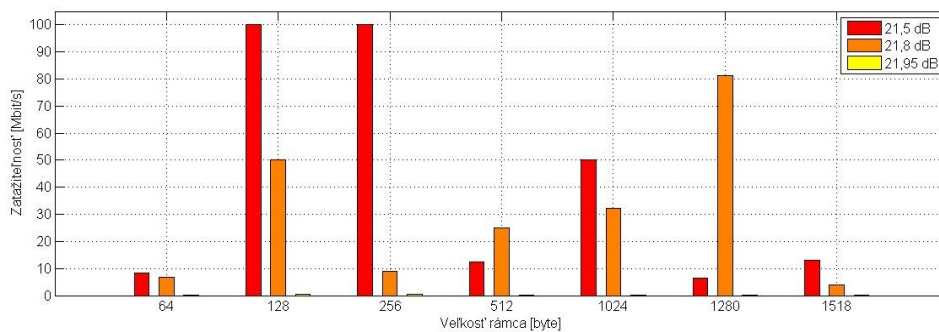
Obr. 6.30: *Oneskorenie siete EPON (RFC 2544)*

Test prebehol bez problémov, bol meraný viac krát, výsledky vychádzali približne rovnaké len s občasnými výkyvmi hodnôt, ktoré sú pravdepodobne spôsobené citlivosťou koncových ONU jednotiek na vonkajšie vplyvy. Čo sa týka výsledkov testov priepustnosti (pozri Obr. 6.27) a zaťažiteľnosti (pozri Obr. 6.28), pohybujú sa nad úrovňou 80 Mbit/s a dosahujú aj hodnoty maxima - 100 Mbit/s. Výsledky sú vyhovujúce a to u všetkých veľkostí rámca. U testu stratovosti rámca (pozri Obr. 6.29) hodnoty siahajú maximálne po úroveň okolo 0,7% u rámca veľkosti 1 280 Byte, čo je pri rýchlosti 100 Mbit/s priaznivý výsledok. Test oneskorenia (pozri Obr. 6.30) taktiež vyhovel, nakoľko hodnoty sa pohybujú pod úrovňou 1 ms,

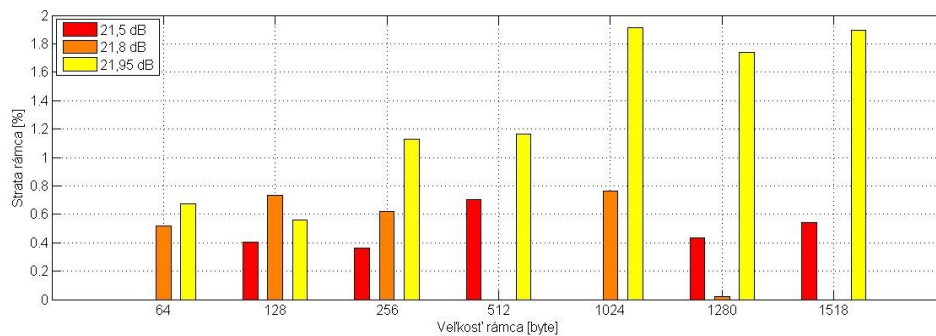
až na rámec veľkosti 512 Byte, kde hodnota dosiahla takmer 5 ms, čo bolo pravdepodobne spôsobené abnormalitou vyplývajúcou z pôsobenia vonkajších na ONU jednotku (zmeny teploty apod.).



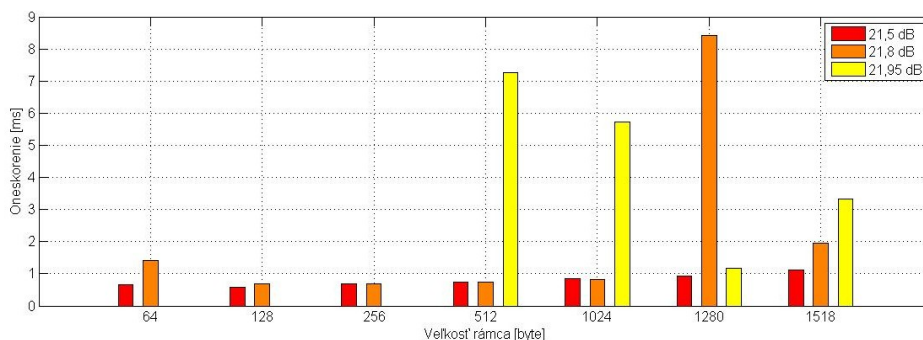
Obr. 6.31: Vplyv útlmu na priepustnosť siete EPON (RFC 2544).



Obr. 6.32: Vplyv útlmu na zaťažiteľnosť siete EPON (RFC 2544)



Obr. 6.33: Vplyv útlmu na stratovosť rámcov v sieti EPON (RFC 2544).



Obr. 6.34: Vplyv útlmu na oneskorenie v sieti EPON (RFC 2544).

Uvedené výsledky sú získané pri nastavených útlmoch 21,95 dB, 21,8dB a 21,5 dB, čím je charakterizované miesto konca dosahu EPON siete v laboratórnych podmienkach. Dá sa povedať, že u hodnôt <21,5 dB vychádzajú testy vyhovujúco, preto nie je potreba pre overenie dosahu tieto testy vykonávať. Tento poznatok overuje správanie sa systému EPON, ktorý pracuje stabilne až po úroveň, kde sa v krátkom úseku signál rozpadne.

Výsledky testov priepustnosti (pozri Obr. 6.31) sú čiastočne priaznivé u hodnôt 21,5 dB a 21,8 dB kde dosahujú ešte spoľahlivé hodnoty, až na rámec veľkosti 1 518 Byte pri útlme 21,8 dB, kde už nastali značné problémy. Pri krajnej hodnote útlmu, t.j. 21,95 dB už test nevyhovuje, nakoľko hodnoty malých rámcov dosahujú priepustnosť 0 Mbit/s, u väčších rámcov je to 5 Mbit/s čo je taktiež nevyhovujúce pre nasadenie služieb.

Test zaťažiteľnosti (pozri Obr. 6.32) ukazuje, že pri útlme 21,5 dB vyhovujú len rámce veľkosti 128, 256 a 1024 Byte, kde nadobúdajú hodnoty od 50 do 100 Mbit/s. Pri útlme 21,8 dB sú výsledky o niečo zhoršené, dá sa povedať že vyhovujú rámce veľkosti 128 a 1280 Byte, kde hodnoty dosahujú úroveň približne od 50 do 80 Mbit/s. Pre útlm 21,95 dB sú hodnoty výrazne nevyhovujúce, pohybujú sa okolo 0.

Testy stratovosti rámca (pozri Obr. 6.33) vychádzajú celkom priaznivo pri útlme 21,5 a 21,8 dB. Stratovosť sa pohybuje pod úrovňou 0,8 %. Pri nastavenom útlme 21,95 dB stratovosť výrazne poskočila, hlavne u väčších rámcov, kde dosahuje dvojnásobnú úroveň pohybujúcu sa pod úrovňou 2 %, maximum je u rámca 1 024 Byte a to približne 1,9 %. Táto hodnota je už pre službu VoIP nevyhovujúca.

Test oneskorenia je v podstate vyhovujúci, čo sa týka nameraných hodnôt (pozri Obr. 6.34). Hodnoty dosahujú väčšinou úroveň pod alebo tesne nad 1 ms. Výraznejší nárast je u hodnoty útlmu 21,95 dB, pri rámcov 512, 1 024 a 1 518 Byte, kde sa hodnoty pohybujú od 3 po 7 ms. Maximum je pri útlme 21,8 dB a veľkosti rámca 1 280 Byte a to približne 8,5 ms.

6.6.2 Výsledky testov štandardu ITU Y.1564 EtherSAM

V tejto časti sú uvedené výsledky EtherSAM testov, ktoré simulujú prevádzku Triple Play služieb. Testy sú merané v závislosti na dvoch parametroch a to priepustnosť siete a útlm

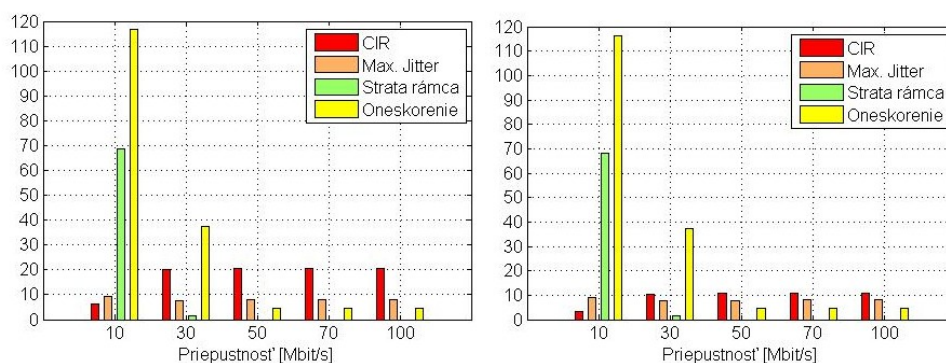
vložený do trasy. Boli vytvorené 3 profily (pozri Tab. 6.7), ktoré môžu charakterizovať požiadavky zákazníkov. Použitá topológia je na obrázkoch 6.26 a 6.27.

Tab. 6.7: Profily pre test Triple Play služieb, štandard ITU Y.1564 EtherSAM.

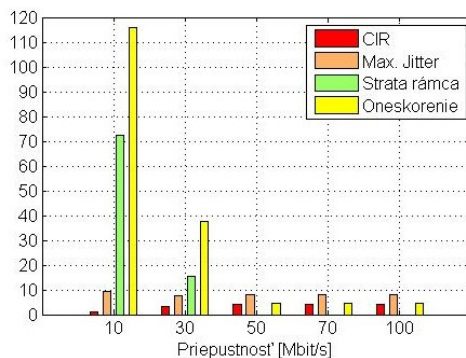
Profil 1				
	typ	profil služby	CIR [Mbit/s]	Veľkosť rámca [Byte]
Služba 1	IPTV	HDTV MPEG-2	20,443	1 374 (Fixný)
Služba 2	VoIP	G.711	0,126	138 (Fixný)
Služba 3	Dáta	DATA	10	Náhodný
Profil 2				
	typ	profil služby	CIR [Mbit/s]	Veľkosť rámca [Byte]
Služba 1	IPTV	HDTV MPEG-4	10,592	1 374 (Fixný)
Služba 2	VoIP	G.723.1	0,027	80 (Fixný)
Služba 3	Dáta	DATA	20	Náhodný
Profil 3				
	typ	profil služby	CIR [Mbit/s]	Veľkosť rámca [Byte]
Služba 1	IPTV	SDTV MPEG-2	3,972	1 374 (Fixný)
Služba 2	VoIP	G.729	0,039	78 (Fixný)
Služba 3	Dáta	DATA	30	Náhodný

VPLYV PRIEPUSTNOSTI NA PARAMETRE SLUŽIEB

Prieupustnosť siete bola nastavená pomocou OLT jednotky, tak, že boli vytvorené QoS profily, resp. QoS Policy, ktoré boli následne priradené potrebnej ONU jednotke. Hodnoty prieupustnosti boli nastavené v krokoch 10, 30, 50, 70, 100 Mbit/s.

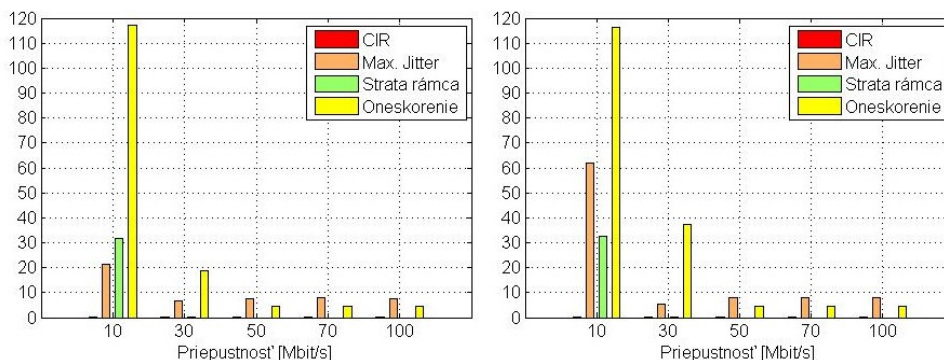


Obr. 6.35: Vplyv prieupustnosti na službu IPTV: kodek MPEG-2 HD (vľavo) a MPEG-4 HD (vpravo).

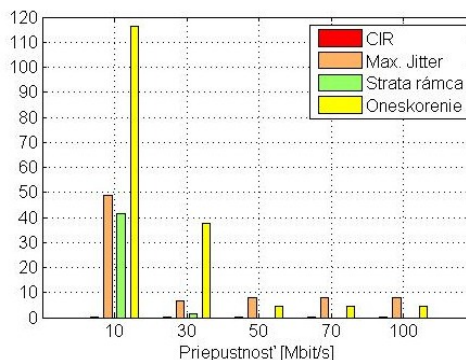


Obr. 6.36: Vplyv priepustnosti na službu IPTV: kodek MPEG-2 SD.

Na obrázkoch 6.35 a 6.36 vidíme vplyv priepustnosti na službu IPTV z jednotlivých profilov. Vidíme, že vplyv na jednotlivé parametre je u všetkých formátov videí podobný. Znižovaním priepustnosti sa zvyšujú parametre *max. jitter*, stratovosť rámca a oneskorenie, naopak hodnota CIR klesá. Najväčší vplyv priepustnosti je na parametre stratovosť rámca a oneskorenie, kde pozorujeme nárast týchto parametrov od priepustnosti 30 Mbit/s. Čo sa týka parametru CIR, ten sa znižuje individuálne v závislosti na kvalite videa. Formát ktorý je najskôr ovplyvnený je formát MPEG-4 HD, ktorý vyžaduje priepustnosť 20,443 Mbit/s pri jednom kanále, čiže pokles hodnoty CIR je pri priepustnosti 20 Mbit/s.

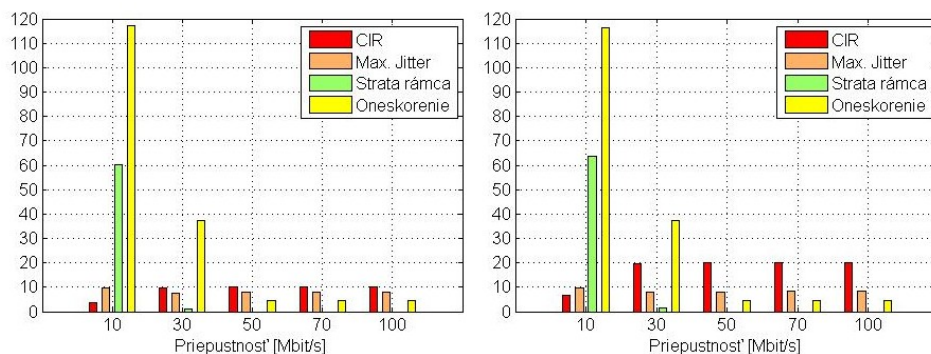


Obr. 6.37: Vplyv priepustnosti na službu VoIP: kodek G.711 (vľavo) a G.723.1 (vpravo).

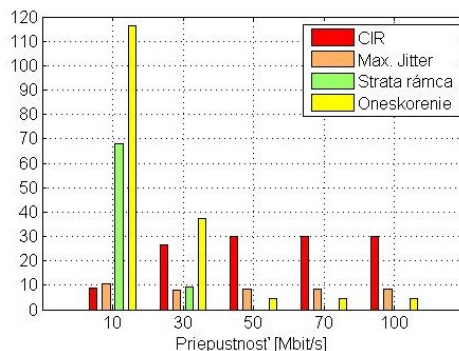


Obr. 6.38: Vplyv priepustnosti na službu VoIP: kodek G.729.

Na obrázkoch 6.37 a 6.38 vidíme vplyv priepustnosti na službu HLAS z jednotlivých profilov. Opäť vidíme podobný priebeh nárastu hodnôt s poklesom priepustnosti. Výnimkou je parameter CIR, ktorého hodnota sa takmer nemení, keďže minimálna priepustnosť je 10 Mbit/s a maximálne požiadavky má hlasový kodek G.711 - 0,126 Mbit/s, čo je ďaleko pod nastavenou hodnotou. Hlavný rozdiel od služby IPTV však vidíme u parametre *jitter*, ktorého hodnoty v tomto prípade výrazne narastajú pri priepustnosti 10 Mbit/s. Tak isto je tu aj nárast hodnoty u parametrov stratovosť rámca a oneskorenie. Toto všetko sú parametre, ktoré výrazne ovplyvňujú hlasové služby, preto pri tejto rýchlosti a prevádzke všetkých služieb sú hodnoty nevyhovujúce.



Obr. 6.39: Vplyv priepustnosti na službu Dáta: 10 Mbit/s (vľavo) a 20 Mbit/s (vpravo).

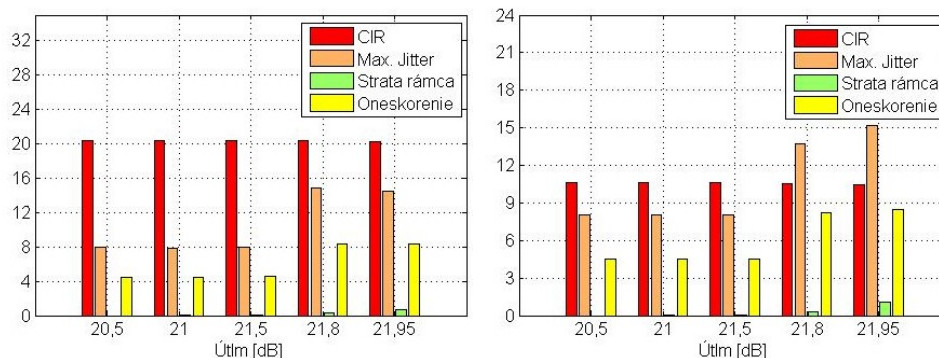


Obr. 6.40: Vplyv priepustnosti na službu Dáta: 30 Mbit/s.

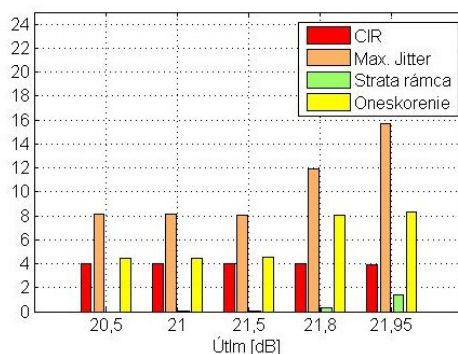
Na obrázkoch 6.39 a 6.40 vidíme vplyv priepustnosti na službu Dáta z jednotlivých profilov. Táto služba nie je náročná, čo sa týka meraných parametrov. Avšak aj tu vidíme nárast hodnôt stratovosť rámca a oneskorenie pri znižujúcej sa priepustnosti a naopak pokles hodnoty CIR. Oneskorenie narastá od hodnoty 30 Mbit/s, stratovosť rámca tak isto. Najväčší vplyv na túto službu má stratovosť rámca a keďže pri priepustnosti 10 Mbit/s je to až okolo 70%, v tomto prípade je test nevyhovujúci. Podobne je tomu aj u priepustnosti 30 Mbit/s, a u služby Dáta 30 Mbit/s, kde je úroveň stratovosti rámca okolo 10%, čo je tiež pomerne vysoká hodnota. Parameter CIR je ovplyvnený v závislosti na službe, či sú to Dáta 10, 20, 30 Mbit/s.

VPLYV ÚTLMU NA PARAMETRE SLUŽIEB

Útlm bol nastavený prostredníctvom nastaviteľného útlmového článku vloženého do trasy, podobne ako u testov RFC 2544. Boli zvolené útlmové hodnoty 20,5, 21, 21,5, 21,8 a 21,95 dB. Sú to opäť hodnoty maximálneho dosahu zostaveného systému EPON, v prepočte na vzdialenosť 73,21–78,39 km.

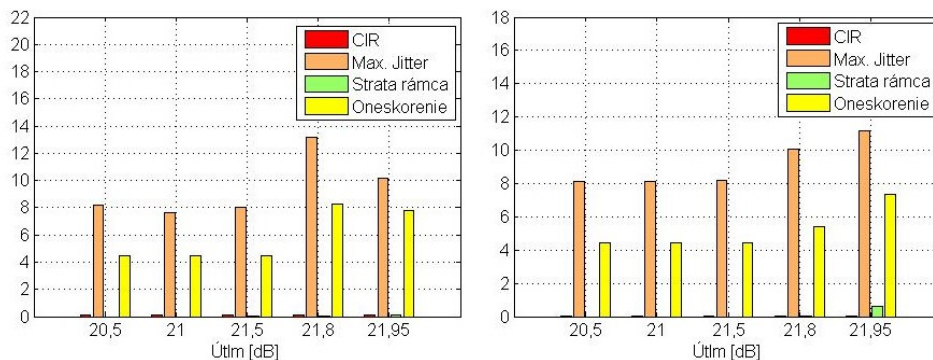


Obr. 6.41: Vplyv útlmu na službu IPTV: kodek MPEG-2 HD (vľavo) a MPEG-4 HD (vpravo).

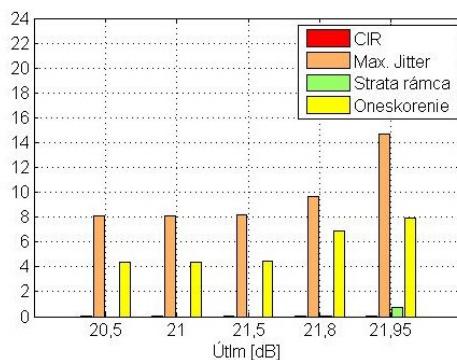


Obr. 6.42: Vplyv útlmu na službu IPTV: kodek MPEG-2 SD.

Na obrázkoch 6.41 a 6.42 vidíme vplyv útlmu na službu IPTV z jednotlivých profilov. Parameter CIR nie je takmer vôbec citlivý na útlm, až po dobu kým je ONU jednotka v spojení s OLT jednotkou. So zvyšujúcim útlmom však narastajú zvyšné tri parametre, najmä jitter a oneskorenie, no tiež stratovosť rámca. Parameter jitter má u tejto služby povolenú hranicu do 50 ms, čiže vo všetkých prípadoch je test vyhovujúci. Parameter oneskorenie je na tom podobne, keďže maximálna hodnota je do 200 ms, čiže je tu ešte veľká rezerva. Problém však nastáva u parametre stratovosť rámca, keďže už pri minimálnej stratovosti, dochádza k poškodeniu videa. Pri útlme 21,95 dB sa táto hodnota pohybuje okolo 1%, čo už môže byť na obraze viditeľné.

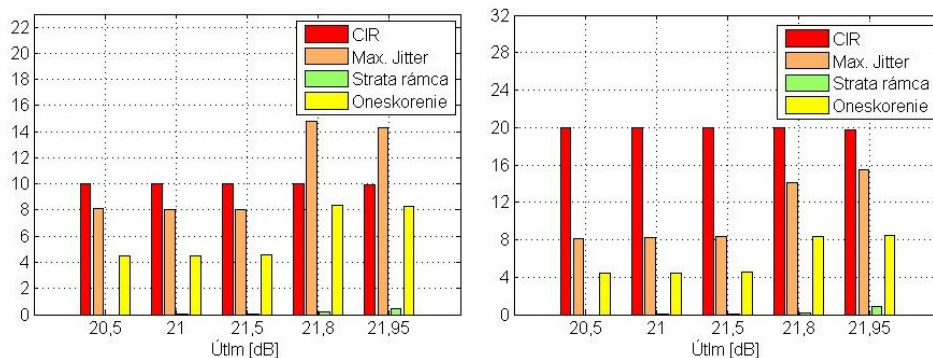


Obr. 6.43: Vplyv útlmu na službu VoIP: kodek G.711 (vľavo) a G.723.1 (vpravo).

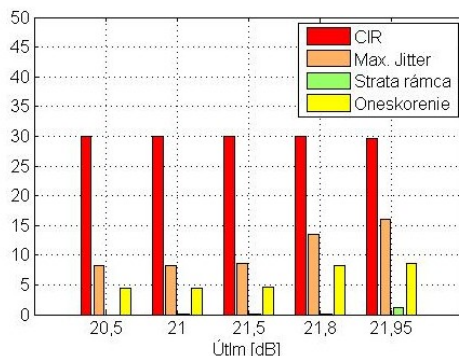


Obr. 6.44: Vplyv útlmu na službu VoIP: kodek G.729.

Na obrázkoch 6.43 a 6.44 vidíme vplyv útlmu na službu hlas z jednotlivých profilov. Parameter CIR opäť nie je takmer vôbec ovplyvnený. Avšak, hlavne parametre *jitter* a oneskorenie nadobúdajú hodnoty už pri útlme 20,5 dB. Tieto hodnoty však spadajú do povolených medzi, keďže oneskorenie pre bezchybný chod hlasovej služby je až 150 ms a *jitter* 30 ms. Hodnota stratovosti rámcov sa dostáva maximálne na úroveň okolo 0,8 %, čo je prijateľné, keďže pre službu hlas je povolená stratovosť do 1%, pre minimálne ovplyvnenie služby.



Obr. 6.45: Vplyv útlmu na službu Dáta: 10 Mbit/s (vľavo) a 20 Mbit/s (vpravo).



Obr. 6.46: Vplyv útlmu na službu Dáta: 30 Mbit/s.

Na obrázkoch 6.45 a 6.46 vidíme vplyv útlmu na službu Dáta z jednotlivých profilov. Služba CIR je ovplyvnená opäť len minimálne. Väčší vplyv útlmu je na parametre *jitter* a oneskorenie, ktoré dosahujú hodnoty maximálne 14,8 ms pre *jitter* a 8,4 ms pre oneskorenie. Tieto parametre však na danú službu nemajú vplyv. Vplyv môže mať stratovosť rámca, ktorá však dosahuje maximálne 1,4%.

6.7 Nasadenie Triple Play služieb, meranie kvality služieb

Táto kapitola sa zaoberá reálnym nasadením prevádzky Triple Play služieb do siete EPON. Prevádzka Triple Play služieb je umožnená prostredníctvom serveru, na ktorom sú realizované jednotlivé služby, užívateľská strana využíva notebooky v učebni, resp. IP telefóny (pozri Obr. 6.25, resp. 6.26). Ako server mal byť pôvodne použitý jednotný server Abacus, na ktorom sú sprevádzkované virtuálne stroje, no pre problém so sieťovými rozhraniami bol čiastočne nahradený notebookom.

Na serveri Abacus je sprevádzkovaná služba Dáta, služby IPTV a VoIP sú realizované prostredníctvom notebooku.

Topológia bola tiež doplnená o PC s nástrojom IxChariot (zároveň slúžiaci ako Endpoint 1 pre tento nástroj) a ďalším PC ktorý fungoval ako druhý Endpoint. Toto rozšírenie topológie je vyznačené prerušovanou čiarou v schéme (pozri Obr. 6.25, resp. 6.26).

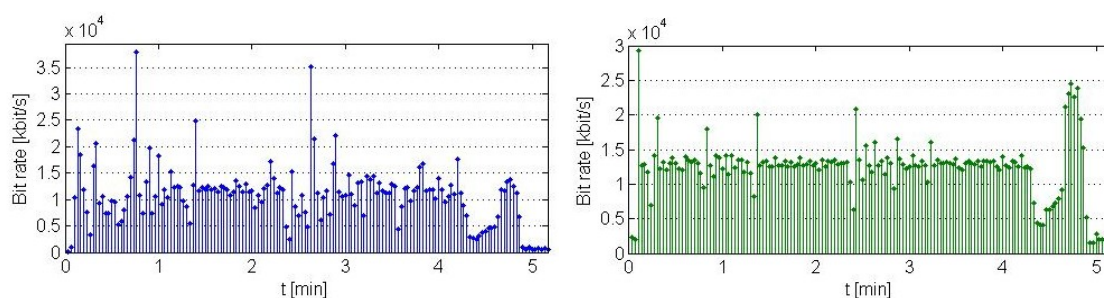
6.7.1 Meranie IPTV pomocou AXS 200-625 - služba IPTV

V tomto meraní boli analyzované tri vzorky videa (pozri Tab. 6.8). Dátový tok videa putoval sieťou zo serveru prostredníctvom topológie a bol zachytávaný klientom a analyzátorom AXS 200-625.

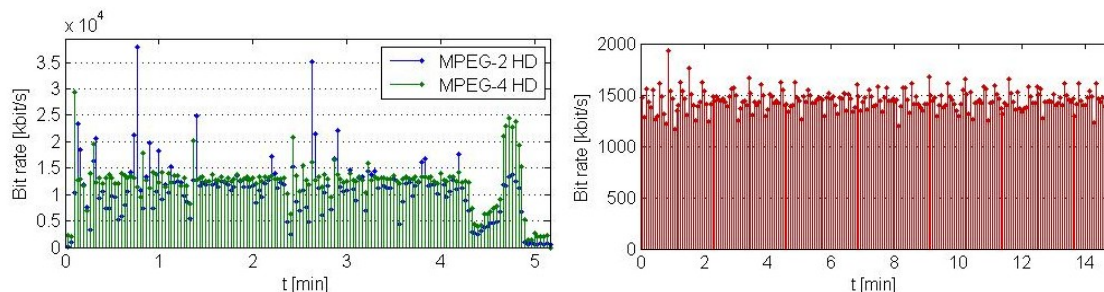
Tab. 6.8: *Vzorky použité pre streamovanie pri analýze pomocou AXS 200-650.*

Vzorka	Typ súboru	Veľkosť [MB]	Priemerný bitrate [kbit/s]	Rámce za sekundu	Rozlíšenie	Kodek	Dĺžka
MPEG-2 HDTV	MPEG	374	9 843	29,970	1 280×720	MPEG2	5 min 9 s
MPEG-4 HDTV	AVI	420	11 456	29,970	1 920×1 080	MPEG4	5 min 7 s
MPEG-2 SDTV	MPEG	136	1 154	25,000	720×480	MPEG2	14 min 46 s

BIT RATE JEDNOTLIVÝCH VZORIEK VIDEA



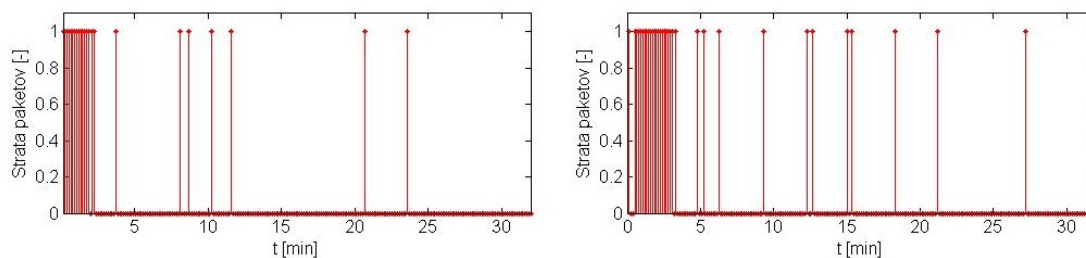
Obr. 6.47: *Bit rate vzorky MPEG-2 HD (vľavo) a MPEG-4 HD (vpravo).*



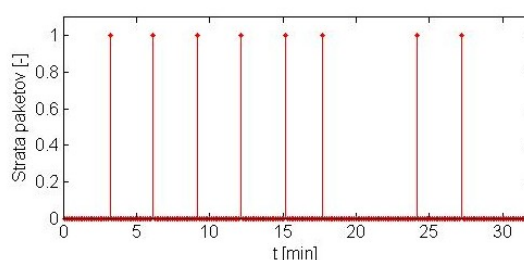
Obr. 6.48: *Bitrate vzorky MPEG-2 SD (vpravo) a porovnanie vzoriek MPEG-4 HD a MPEG-2 HD (vľavo).*

Na obrázkoch 6.47 a 6.48 vidíme *bitrate* jednotlivých použitých vzoriek videí. Vidíme, že vzorky MPEG-2 HD a MPEG-4 HD majú podobný *bitrate*, u MPEG-2 HD je *bitrate* v priemere o niečo vyšší. *Bitrate* by sa viac líšil, ak by bolo použité u oboch vzoriek rovnaké rozlíšenie. Aj keď je u vzorky videa MPEG-4 HD použité rozlíšenie 1 920×1 280 pixelov, je *bitrate* takmer totožný so vzorkou MPEG-2 HD, ktorá má rozlíšenie podstatne menšie (1 280×720 pixelov), no pre menšiu kompresiu vyžaduje väčšiu šírku pásma. Vzorka MPEG-2 SD vyžaduje najmenšiu šírku pásma, keď v tomto prípade je *bitrate* pohybujúci sa len okolo 1,5 Mbit/s, čo je v porovnaní s predošlými vzorkami (*bitrate* v priemere okolo 10 Mbit/s, resp. 13 Mbit/s) nízka hodnota.

VPLYV PRENOSOVEJ RÝCHLOSTI NA CHYBOVOSŤ (STRATU PAKETOV)



Obr. 6.49: *Video MPEG-2 HD (vľavo) a MPEG-4 HD (vpravo)*

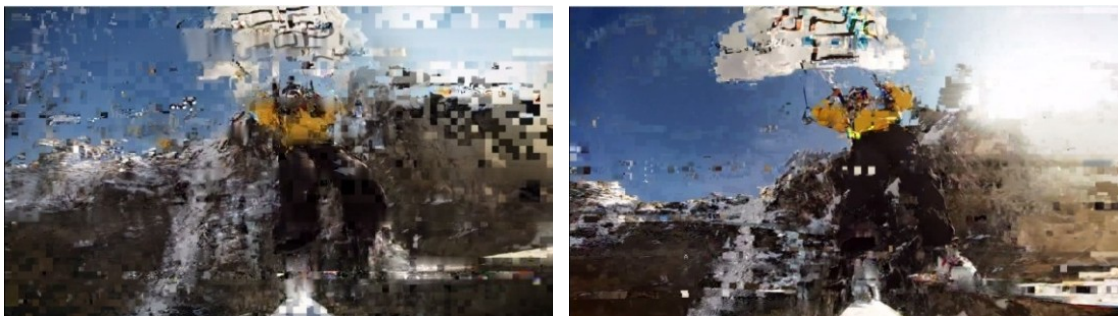


Obr. 6.50: *Video MPEG-2 SD.*

Na obrázkoch 6.49 a 6.50 vidíme vplyv prenosovej rýchlosti na chybovosť, resp. stratu paketov. Meranie bolo uskutočnené po dobu 30 minút, keď v 3 minútových intervaloch bola menená priepustnosť siete od 10 Mbit/s po 100 Mbit/s v krokoch po 10 Mbit/s. Analyzátor vyhodnocoval chybovosť spôsobom 1/0, teda že chyba nastala/nenastala. Môžeme vidieť, že prenosová rýchlosť vplývala na chybovosť hlavne u vzoriek HD videí. Chyby nastávali v závislosti na *bitrate* videa, keďže chyby vo väčšom množstve sa vyskytovali len v prvom kroku (prvé 3 minúty), pri rýchlosti 10 Mbit/s. Počas ďalších krokov nastávali u vzoriek HD videí chyby len zriedka, pravdepodobne spôsobené sieťou. U vzorky MPEG-2 SD nastávali chyby len zriedka od začiatku až do konca merania.

6.7.2 Vplyv QoS parametrov - služba IPTV

Meranie vplyvu QoS parametrov bolo prevedené na rovnakých vzorkách videa ako v predchádzajúcej časti. Parametre boli umelo nastavené prostredníctvom emulátora sieťovej prevádzky Simena Network Emulator NE1000. Nasledujúce ukážky vplyvov sú zo vzorky videa pre štandard MPEG-2 HD.



Obr. 6.51: *Nastavený parameter BER 10^{-5} (vľavo), a šírka pásma 10 Mbit/s (vpravo) u vzorky MPEG-2 HD.*



Obr. 6.52: *Nastavený parameter - stratovosť paketov 2,5 %, u videa MPEG-2 HD.*

Na obrázkoch 6.51 a 6.52 vidíme, že jednotlivé parametre (BER, šírka pásma, stratovosť paketov) majú na kvalitu videa podobný vplyv. U všetkých spomenutých parametrov dochádza k vzniku štvorčekov, rozpadu obrazu, rozmazaniu a zasekávaniu videa a zvuku.

6.7.3 MSU Video Quality Measurement Tool - služba IPTV

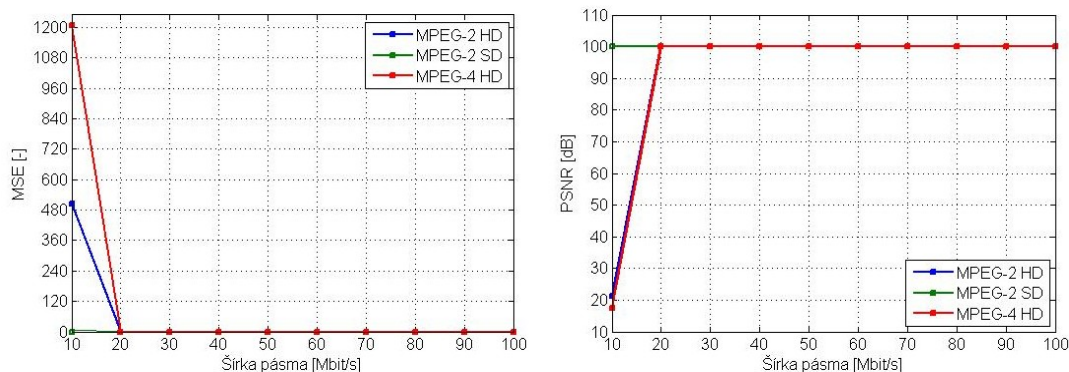
Softvér MSU VQMT 2.7.3, ktorý bol použitý, bol vo voľne dostupnej verzii, ktorá bohužiaľ neumožňovala prácu s HD videom. Maximálne možné rozlíšenie ktoré táto verzia dokázala spracovať bolo 1 024×576. Preto výsledky uvedené pre HD video, nezodpovedajú reálnemu HD rozlíšeniu a preto ich nemôžeme považovať za relevantné.

Parametre ktorých vplyv bol pozorovaný, boli nastavené pomocou sieťového emulátora Simena NE1000. Topológia na ktorej bolo streamovanie prevedené je na obrázku 6.25.

Tab. 6.9: *Vzorky videa použité pri analýze pomocou objektívnych metód, programom MSU VQMT.*

Vzorka	Typ súboru	Veľkosť [MB]	Priemerný bitrate [kbit/s]	Rámce za sekundu	Rozlíšenie	Kodek	Dĺžka
MPEG-2 HDTV	AVI	374	10 427	29,970	1 024×576	MPEG2	20 s 19 ms
MPEG-4 HDTV	AVI	22,9	9 061	29,970	1 024×576	MPEG4	20 s 89 ms
MPEG-2 SDTV	AVI	5,66	2 132	25,000	640×426	MPEG2	20 s 88 ms

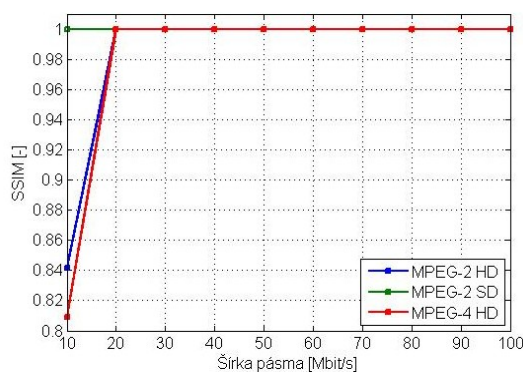
Vplyv šírky pásma na objektívne metódy MSE, PSNR a SSIM môžeme vidieť na obrázkoch 6.53 a 6.54.



Obr. 6.53: *Vplyv šírky pásma na MSE (vľavo) a PSNR (vpravo).*

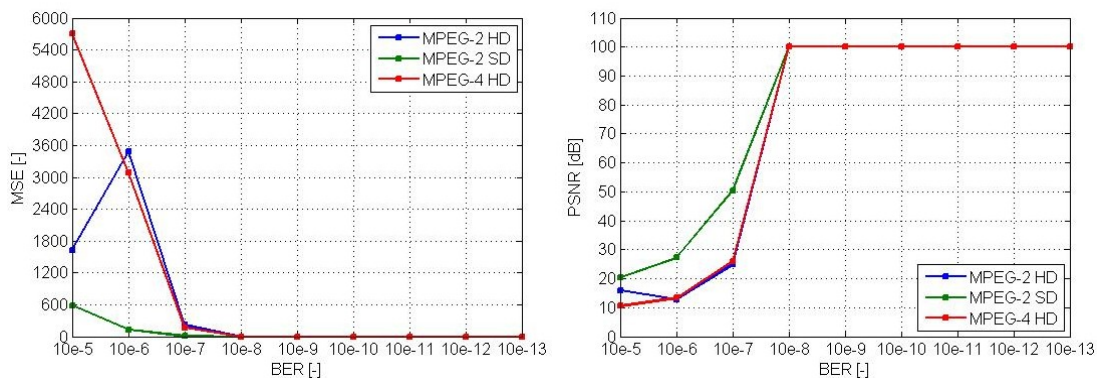
Na obrázku 6.53 je graf objektívnej metódy MSE, ktorá vyjadruje strednú kvadratickú odchýlku pôvodného signálu od signálu ktorý je zachytený na opačnom konci siete. Zhoršenie nastáva u vzoriek videí MPEG-2 HD a MPEG-4 HD pri rýchlosti menšej ako 20 Mbit/s. Je to dané ich požiadavkami na šírku pásma, ktoré sa pri danom rozlíšení videí pohybovali maximálne do hodnoty 20 Mbit/s pričom túto hodnotu nepresiahli. Vzorka MPEG-2 SD sa chová bezchybne, keďže vyžaduje šírku pásma menšiu než 10 Mbit/s. Podobne je to aj u objektívnej metódy PSNR, ktorá je meradlom stratovej kompresie kodekov.

Na obrázku 6.54 je graf objektívnej metódy SSIM, ktorá vychádza z metód MSE a PSNR, ktoré boli v rozpore s vnímaním ľudským zrakom. Výsledky však opäť vychádzajú podobne. Najhoršie hodnoty dosahuje vzorka MPEG-4 HD.



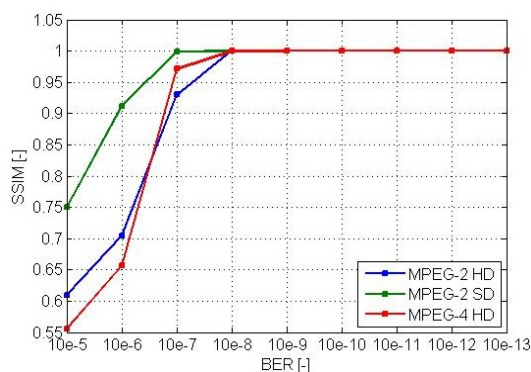
Obr. 6.54: Vplyv šírky pásma na SSIM

Na obrázku 6.55 môžeme vidieť grafy vplyvu BER na objektívne metódy MSE a PSNR. Opäť vidíme najhoršie výsledky u vzorky videa MPEG-4 HD a tak isto najlepšie správanie sa najmenej náročného videa, vzorka MPEG-2 SD. Vplyv, resp. zmena hodnôt u každej z objektívnych metód nastáva od hodnoty BER 10^{-8} a nižšie.



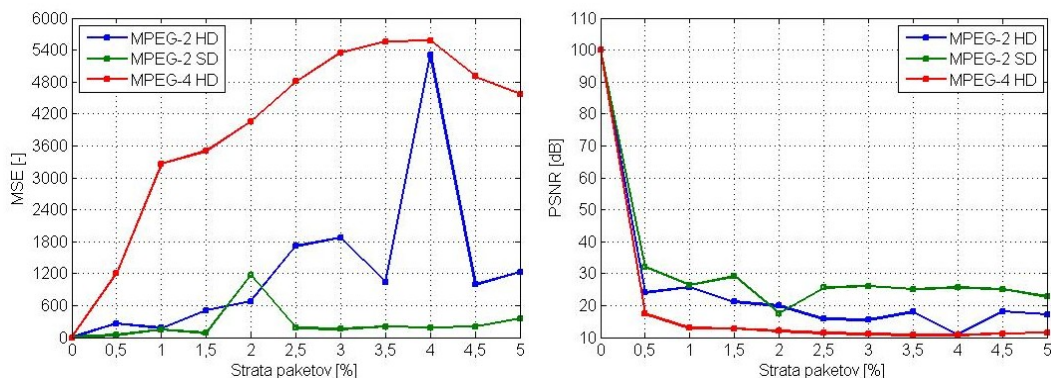
Obr. 6.55: Vplyv BER na MSE (vľavo) a PSNR (vpravo).

Na obrázku 6.56 vidíme vplyv na objektívnu metódu SSIM. Výsledky sú podobné ako u predchádzajúcich metód. Tak isto tu dosahuje vzorka MPEG-4 HD najhoršie hodnoty a vplyv je pozorovateľný od hodnoty BER pod 10^{-8} .

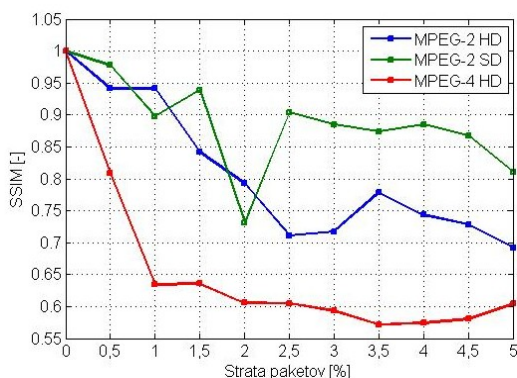


Obr. 6.56: Vplyv BER na SSIM

Obrázky 6.57 a 6.58 zobrazujú grafy vplyvu stratovosti paketov na objektívne metódy MSE, PSNR a SSIM. U tohto parametru môžeme sledovať vplyv už od najmenších nastavených hodnôt. V grafoch sú pozorovateľné pomerne veľké výkyvy hodnôt, čo môže byť spôsobené nastavením dynamickej stratovosti paketov pri jednotlivých percentuálnych hodnotách. Opäť z výsledkov vidieť najhoršie správanie sa vzorky MPEG-4 HD a naopak najlepšie u vzorky MPEG-2 SD.



Obr. 6.57: Vplyv stratovosti paketov na MSE (vľavo) a PSNR (vpravo).



Obr. 6.58: Vplyv stratovosti paketov na SSIM

Z uvedených výsledkov a sledovania videí môžeme vyviesť zhodnotenie vplyvu jednotlivých parametrov na kvalitu videa. U parametru BER dochádza k zhoršeniu kvality pri hodnote 10^{-7} . Parameter stratovosť paketov vplyva na video od najnižšej nastavenej hodnoty, rozdiel je však poznateľný u MPEG-2 SD a MPEG-2 HD, keď MPEG-2 HD pri vysokej stratovosti (okolo 3%) je nepozorateľný, avšak u MPEG-2 SD je obraz o dosť lepšie rozlíšiteľný a sledovateľný. Rozdiel je možné pozorovať aj u priepustnosti, ktorej vplyv je daný formátom a rozlíšením videa. Bol tiež sledovaný vplyv QoS parametrov ako jitter a oneskorenie. V požiadavkách je uvedená maximálna hodnota jitteru do 50 ms a oneskorenie do 200 ms. Pri testovaní boli nastavené tieto hodnoty niekoľko násobne vyššie, no nemali na kvalitu videa vplyv. Spôsobovali oneskorenie prijímaného signálu oproti pôvodnému vysielanému signálu.

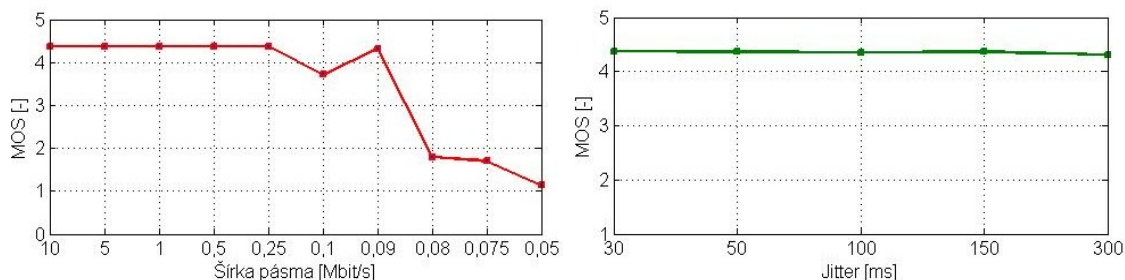
6.7.4 IxChariot - služba VoIP

Hodnotenie kvality VoIP hovoru bolo prevádzkané hlavne na kodeku G.711 μ -law, ktorý je označovaný za najpoužívanejší kodek u prevádzkovateľov hlasových služieb. Bolo tiež prevedené porovnanie s ďalšími kodekmi (G.723.1 ACELP, G.729). Prehľad použitých kodekov je uvedený v tabuľke 6.10.

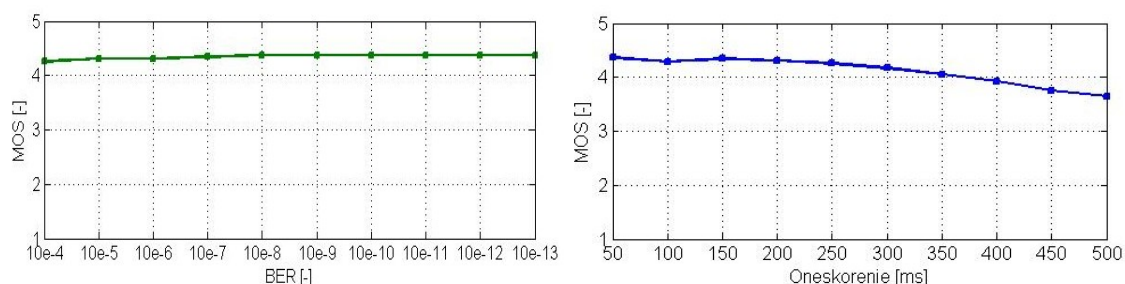
Tab. 6.10: Použité kodeky pre IxChariot.

Kodek	Šírka pásma [kbit/s]
G.711 μ -law	64
G.723.1 ACELP	5,3
G.729	8

Hlavné parametre, na základe ktorého bol hodnotený hlasový hovor je hodnota MOS a R-faktor, ktoré sú vo vzťahu a dajú sa porovnať (pozri kapitola 4, Obr. 4.2). Pre hodnotenie služby VoIP bol použitý program IxChariot, ktorý umožňuje simuláciu hovoru, s rôznym nastavením. Hodnotený 4 4.2 bol vplyv viacerých parametrov, ktoré ovplyvňujú hlasovú službu, boli to - šírka pásma, jitter, BER, oneskorenie a stratovosť paketov. Výsledné hodnoty sú zobrazené na obrázkoch 6.59, 6.60 a 6.61 a v tabuľke 6.11. Topológia na ktorej bolo prevedené objektívne hodnotenie služby VoIP je na obrázku 6.25.



Obr. 6.59: Vplyv šírky pásma (vľavo) a jitter-u (vpravo) na kvalitu hovoru (MOS) VoIP pre kodek G.711.



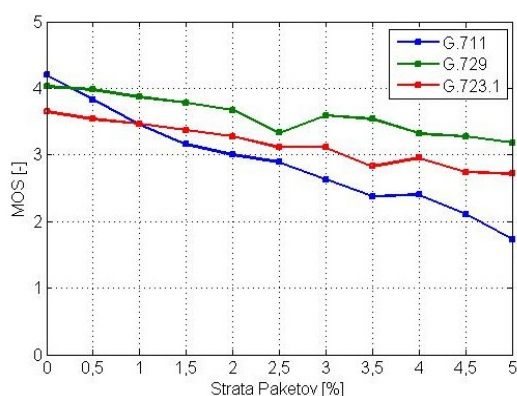
Obr. 6.60: Vplyv BER (vľavo) a oneskorenia (vpravo) na kvalitu hovoru (MOS) VoIP pre kodek G.711.

Tab. 6.11: Hodnoty MOS a R-faktor pre kodeky G.711, G.729, G.723.1.

Stratovosť paketov [%]	G.711		G.729		G.723.1	
	MOS	R-faktor	MOS	R-faktor	MOS	R-faktor
0,00	4,2	86,86	4,03	80,10	3,65	71,07
0,50	3,83	76,92	3,98	78,84	3,54	68,83
1,00	3,46	68,64	3,87	76,23	3,47	67,37
1,50	3,16	61,68	3,78	74,09	3,37	65,40
2,00	3,00	58,55	3,67	71,68	3,28	63,62
2,50	2,89	56,46	3,33	63,41	3,11	60,27
3,00	2,63	50,98	3,59	70,01	3,11	60,26
3,50	2,38	46,12	3,54	68,76	2,783	54,85
4,00	2,4	46,37	3,32	64,5	2,95	57,21
4,50	2,11	39,47	3,28	63,71	2,74	53,13
5,00	1,73	29,85	3,18	61,52	2,72	52,68

Na obrázkoch 6.59 a 6.60 môžeme vidieť vplyv zmeny jednotlivých parametrov na kvalitu hovoru u kodeku G. 711 μ -law. Parametre ako oneskorenie, *jitter* a BER kvalitu hovoru takmer neovplyvňujú aj keď sú nastavené na hodnoty, ktoré sú vysoko nad rámec povolených hraníc podľa QoS požiadaviek ITU-T (pozri Tab. 5.1 a 5.2). Je to pravdepodobne spôsobené malým aktuálnym zaťažením siete, keďže testy prebiehali len medzi dvoma koncovými bodmi (EP) a neboli spustené žiadne iné služby ako IPTV alebo širokopásmový dátový prenos.

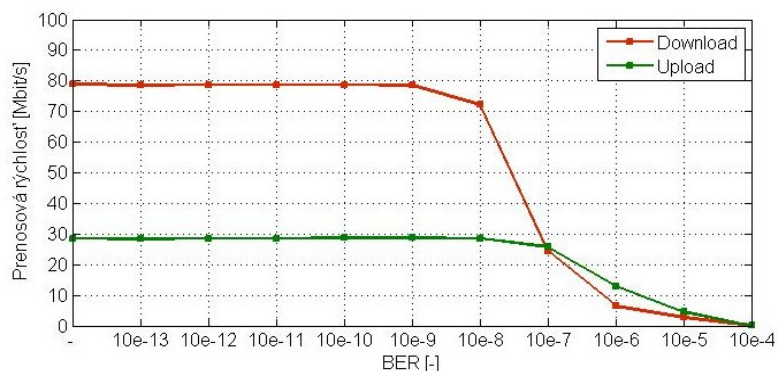
Vplyv na hodnotu MOS je jedine u zmeny šírky pásma (pozri Obr. 6.61), keď bola hodnota nastavená n 0,09 Mbit/s a nižšie. Sú to však veľmi nízke hodnoty šírky pásma, ktoré v reálnej prevádzke daná sieť bez problémov pokrýje.

**Obr. 6.61:** Vplyv stratovosti paketov na kvalitu hovoru (MOS) VoIP pre jednotlivé kodeky.

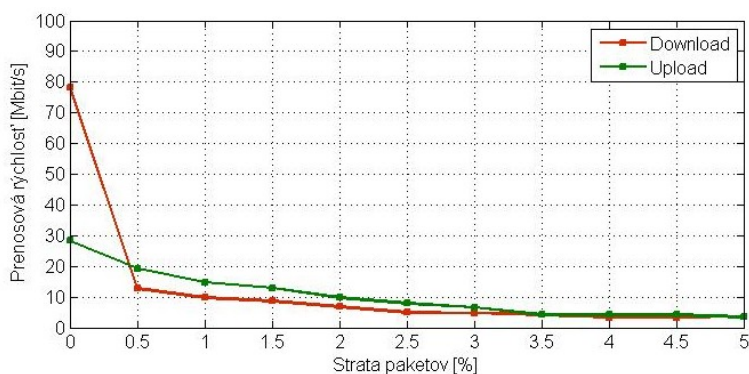
Posledným a zároveň najviac ovplyvňujúcim parametrom, je stratovosť paketov. Preto bol tento parameter testovaný okrem kodeku G.711 μ -law aj na ďalších kodekoch - G.729 a G.723.1 ACELP. Na obrázku 6.64 vidíme, že najväčší vplyv stratovosti paketov je na kodek G. 711 μ -law, u ktorého hodnota MOS klesla z hodnoty 4,2 na hodnotu 1,73, čo je už hodnota vyjadrujúca neuspokojivú až zlú kvalitu hovoru, keďže za hraničnú hodnotu pre uspokojivý hovor je MOS nad hodnotou 3. U kodekov G.729 a G.723.1 ACELP sa hodnota MOS dostáva tesne pod hranicu 3 (kodek G.723.1 ACELP), čiže tieto kodeky sa pri stratovosti paketov 5% dostávajú na hranicu prijateľnosti kvality hovoru. Najodolnejším kodekom na stratovosť paketov je kodek G.729.

6.7.5 Vplyv QoS parametrov - služba Dáta

Vplyv QoS na dátový prenos bol zaznamenávaný pomocou softvéru BWMeter 6.6.3.. Umožňoval zaznamenávanie aktuálnej prenosovej rýchlosti v oboch smeroch, v sekundových intervaloch. Dáta boli prenášané vďaka vytvorenému dátovému serveru (pozri Príloha A) odkiaľ boli sťahované a tiež naň nahrávané. Testovaný bol vplyv parametrov BER a stratovosť paketov, ktoré na túto službu vplyvajú najviac. Meranie bolo prevedené na topológii zobrazenej na obrázku 6.25.



Obr. 6.62: Vplyv BER na prenosovú rýchlosť - download/upload.



Obr. 6.63: Vplyv stratovosti paketov na prenosovú rýchlosť - download/upload.

Na obrázku 6.62 môžeme vidieť vplyv parametru BER na prenos dát. Vidíme, že až do hodnoty BER 10^{-9} je prenos bezproblémový, pri nižších hodnotách už vidieť pokles prenosových rýchlostí v oboch smeroch. K úplnému rozpadu dochádza pri hodnote 10^{-4} .

Obrázok 6.63 popisuje vplyv stratovosti paketov na prenos dát. Vidíme že vplyv tohto parametru je výraznejší, keď už pri prvom kroku a flexibilnej stratovosti paketov 0,5 % dochádza k výraznému poklesu prenosových rýchlostí. Následné ďalšie zvyšovanie stratovosti už spôsobuje miernejší konštantný pokles prenosovej rýchlosti oboch smerov. Spojenie funguje stále až do posledného kroku - 5 %, hodnota sa tu pohybuje okolo 3,6 Mbit/s.

Záver

Cieľom diplomovej práce je štúdia zaoberajúca sa problematikou pasívnych optických sietí, konkrétne siete EPON a nasadenie zákaznícky orientovaných služieb Triple Play a ich objektívne hodnotenie v rámci tejto siete.

V teoretickej časti sú popísané optické prístupové siete, rozdelenie týchto sietí a ich použitie. Popísané sú funkčné bloky, základné prvky a spôsoby, akým môže byť optická komunikácia privedená až k zákazníkovi - systém FTTx. Rozoberané sú najpoužívanejšie topológie a ich vlastnosti, typy spojenia (P2P, P2MP) a spôsoby, akým je optický signál šírený v optickom vlákne. Technológii EPON (v práci použitý EPON typ2 - marketingový názov GEPON), na ktorej je založená práca a sú realizované merania, je venovaný väčší priestor. Je rozoberaný spôsob komunikácie, princípy prenosu informácie medzi OLT jednotkou a ONU jednotkami, tiež protokol MPCP a stavba Ethernet rámca.

Ďalšiu časť tvorí popis Triple Play služieb (služby IPTV, VoIP a Dáta), ktoré sú v dnešnej dobe vo veľkej miere ponúkané zákazníkovi. Sú popísané jednotlivé služby, protokoly, ktoré využívajú a QoS parametre definované skupinou ITU, ktoré sú pre tú ktorú službu povolené a prípustné. Ďalej je rozobraté objektívne hodnotenie jednotlivých služieb z hľadiska prevádzky siete a vplyvu jednotlivých parametrov. Boli využité a popísané najviac používané objektívne metódy pre IPTV službu, ako MSE, PSNR a SSIM. Objektívne hodnotenie hlasovej služby bolo prevedené na základe hodnôt R-faktor a MOS.

Praktická časť je zameraná na overenie integrity siete, zisťovanie parametrov siete, jej správanie sa pri rôznych preklenuteľných vzdialenostiach, respektíve vložení útlme a tiež bolo v tejto časti realizované nasadenie Triple Play služieb na sieť EPON. V úvode praktickej časti sú popísané špecifikácie zariadení, ich konfigurácie a nastavenia potrebné pre reálnu prevádzku.

V meraniach boli použité sady testov štandardu RFC 2544, pomocou ktorých boli overené parametre siete ako priepustnosť, oneskorenie, zaťažiteľnosť a stratovosť rámca. Ďalšia sada testov bola podľa štandardu ITU Y.1564 EtherSAM. Vďaka tomuto štandardu bolo možné otestovať nasadenie Triple Play služieb a to za použitia niekoľkých profilov (rôzne kodeky, hodnota CIR), ktoré zodpovedajú potrebám zákazníka. Tieto dve sady testov boli realizované aj na topológii, v ktorej bol vložený nastaviteľný útlmový článok vďaka ktorému bol zistený dosah týchto služieb a teda aj samotný dosah siete EPON. Testy sú umožnené vďaka zariadeniu, resp. platforme EXFO FTB-1 s modulom FTB-860 NetBlazer. Tiež boli zaznamenané výkonové úrovne OLT jednotky a ONU jednotiek pri jednotlivých vzdialenostiach (nastavených útlmoch na vlnovej dĺžke 1 310 nm).

Nasadenie Triple Play služieb a ich hodnotenie spočíva v realizácii IPTV serveru prostredníctvom VLC Playera. Použitých bolo viacero vzoriek videa (HDTV MPEG-2 a MPEG-4, SDTV MPEG-2), do trasy bol vložený sieťový emulátor, na ktorom boli nastavené viaceré parametre a bolo sledované, čo daný parameter spôsobí na kvalite prijímaného videa.

Táto analýza bola vykonaná pomocou analyzátoru EXFO AXS-200/625. Ďalšie hodnotenie spočíva v použití softvéru MSU VQMT, kde bolo potrebné upraviť pôvodné vzorky na krátke úseky a tiež bolo nutné upraviť rozlíšenie u HDTV formátov, ktoré dostupná verzia nepodporovala. Jednotlivé vzorky ktoré prešli sieťou boli porovnané s pôvodnou vzorkou. Výsledky ukázali správanie sa jednotlivých formátov (vzoriek) videa, vzhľadom k meniacim sa parametrom siete. Najmenej ovplyvneným formátom bol MPEG-2 SD, ktorý si vyžaduje najmenšie nároky. Najväčší vplyv bol na formát MPEG-4 HD, čo je pravdepodobne spôsobené jeho veľkým kompresným pomerom. Podobne ako MPEG-4 HD sa však správal aj formát MPEG-2 HD, keďže nároky na sieť boli u daných vzoriek videa podobné. Služba VoIP bola hodnotená vďaka nástroju IxChariot, kde boli porovnané kodeky G.711 μ -law, G.729, G.723.1 ACELP a ich správanie sa, pri degradácii dátového toku sieťovým emulátorom. Služba Dáta bola hodnotená vďaka voľne dostupnému softvéru BWMeter, kde bola sledovaná priepustnosť pri sťahovaní zo serveru resp. nahrávaní na server a tiež vplyv stratovosti a chybovosti na priepustnosť.

Všetky namerané hodnoty a dáta boli spracované a vyhodnotené. Na základe meraní môžeme vyviesť záver, že sieť EPON má oveľa väčší dosah ako udáva výrobca (udaných 20 km) a to až približne 84 km pri topológii použitej v práci - zapojený delič 1:7, trasa o dĺžke približne 5,7 km a nastaviteľný útlmový článok s útlmom 21,95 dB (v prepočte na použité vlákno G.652D približne 78,3 km). Sieť EPON pracuje takmer bezchybne v celom svojom dosahu, k poklesu dochádza až v hraničnom bode, tesne pred maximálnym nastaveným útlmom. Čo sa týka Triple Play služieb, najviac na ne vplyva stratovosť paketov a BER. Samozrejme u služieb IPTV a Dáta je to aj šírka pásma, v závislosti na aktuálnych požiadavkách danej služby. Zaujímavým poznatkom je vplyv *jitteru* a oneskorenia na interaktívne služby, keď udané hodnoty v QoS požiadavkách sú na nízkych hraniciach, avšak pri testovaní boli tieto hranice posunuté aj desaťnásobne a kvalitu služby to nijak neovplyvnilo.

Čo sa týka možnosti ďalšieho overovania EPON systému a služieb Triple Play do budúcnosti, bolo by vhodné vykonať podobné testy hlavne pri väčšom zaťažení siete, pre ktoré sú optické siete navrhnuté, keďže sieť EPON umožňuje deliaci pomer až 1:32. Tiež by bolo vhodné overiť hlavne nasadenie IPTV, čo je v dnešnej dobe veľmi rozširujúca sa služba, s najväčšími nárokmi na sieť. Toto nasadenie by bolo vhodné previesť hlavne pri formátoch najvyšších rozlíšení ponúkaných poskytovateľmi, ktoré sú stále viac ponúkané a požadované. U služby VoIP by bolo možné overiť reálnu prevádzku tejto služby v prípade dostupných hardverových prostriedkov.

Použitá literatura

- [1] VYDIS. PON (Passive Optical Network). Vydis [online]. [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: http://www.vydis.cz/download/ke-stazeni/PON_NG_LAR.pdf
- [2] LAM, Cedric F. *Passive optical networks: principles and practice*. Boston: Elsevier/Academic Press, c2007, xliv, 324 p. ISBN 01-237-3853-9.
- [3] LAFATA, P. Pasivní optické sítě WDM-PON. In: *Access server* [online]. 2009 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050004>
- [4] GOLENIIEWSKI, Lilian. *Telecommunications essentials: the complete global source*. Editor Kitty Wilson Jarrett. Upper Saddle River: Addison-Wesley, 2006, 865 s. ISBN 978-0-321-42761-8.
- [5] PRAT, Josep. *Next-generation FTTH passive optical networks: research towards unlimited bandwidth access*. Editor Prat Josep. New York: Springer, 2008, p. cm. ISBN 978-1-4020-8469-0.
- [6] ŠIFTA, Radim a Miloslav FILKA. Simulace a měření vlnových multiplexů pro pasivní optické sítě. *Elektrorevue* [online]. 2011, č. 3 [cit. 2014-02-18]. ISSN: 1213-1539. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/cz/download/simulace-a-m--eni-vlnovych-multiplex--pro-pasivni-opticke-sit/>
- [7] LAFATA, P. Pasivní optické sítě s rychlostí 10 Gbit/s. *Access Server* [online]. 2011 [cit. 2014-02-19]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2011030001>
- [8] JAKAB, František, VOZAR, Michal JAKAB, Jozef JANITOR a Katarína KLEINOVÁ. Možnosti zabezpečenia prenosu hlasu s požadovanou kvalitou. Dostupné z: http://jozjan.s.cnl.sk/dwl/voip/2006%20eci_voip.pdf
- [9] KRAMER, G., L. KHERMOSH, F. DAIDO, A. BROWN, HOSUNG YOON, K-I SUZUKI a WANG BO. The IEEE 1904.1 standard: SIEPON architecture and model. *IEEE Communications Magazine: Digital library* [online]. 2012, Zvázok. 50, vydanie 9, s. 98-108 [cit. 2014-05-06]. DOI: 10.1109/MCOM.2012.6295719. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=6295719>
- [10] GIGUERE, Bruno. EXFO. RFC2544: HOW IT HELPS QUALIFY A CARRIER ETHERNET NETWORK. *Exfo* [online]. Canada, 2008 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: <http://startrinity.com/VoIP/Resources/sip321.pdf>
- [11] POTROK, Peter. EtherSAM jak jít po kvalitě služeb Triple Play. *PROFIBER NETWORKING* [online]. 2011 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: http://www.profiber.eu/files/B4_Hladky_Potrok_EtherSAM_jak_jit_po_kvalite_sluzeb_TriplePlay.pdf

- [12] THIerno, Diallo a Marquis DORAIS. EtherSAM: THE NEW STANDARD IN ETHERNET SERVICE TESTING. *Rateart* [online]. 2013 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: http://www.rateart.pl/public_files/spec/appnote230.3-ang.pdf
- [13] HENS, Francisco J a José Manuel CABALLERO. *Triple play: building the converged network for IP, VoIP and IPTV*. Hoboken, NJ: Wiley, c2008, xiii, 401 p. ISBN 04-707-5367-6.
- [14] HLAVÁČEK, J a R BEŠŤÁK. Aktuální problémy řízení kvality služeb v IP telefonii. *Access server* [online]. 2010 [cit. 2014-03-01]. Dostupné z: <http://access.fel.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010010003>
- [15] LIN, Chinlon. *Broadband optical access networks and fiber-to-the-home: systems technologies and deployment strategies*. Hoboken, NJ: Wiley, c2006, xxix, 302 p. ISBN 978-047-0094-785
- [16] SKUBIC, B., JIAJIA CHEN, J. AHMED, L. WOSINSKA a B. MUKHERJEE. A comparison of dynamic bandwidth allocation for EPON, GPON, and next-generation TDM PON. *IEEE Communications Magazine* [online]. 2009, roč. 47, číslo 3, S40-S48 [cit. 2014-05-06]. DOI: 10.1109/MCOM.2009.4804388. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4804388>
- [17] MEGGELEN, Jim Van, Leif MADSEN a Jared SMITH. *Asterisk: the future of telephony*. 2nd ed. Beijing: O'Reilly, 2007, 574 s. ISBN 05-965-1048-9.
- [18] LAFATA, P. Pasivní optická přístupová síť EPON. In: *Access server* [online]. 2009 [cit. 2014-04-17]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050003>
- [19] CHVOJKA, Zbyšek. Jaký je vztah plnění garancí typu SLA k praktické zkušenosti uživatele služby?. In: *LUPA.CZ* [online]. 2011 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://www.lupa.cz/clanky/jaky-je-vztah-plneni-garanci-typu-sla-k-prakticke-zkusenosti-uzivatele-sluzby/>
- [20] ZBONČÁK, Jozef. Kvalita služby (QoS) a Kvalita vnímania (QoE). In: *Posterus: portál pre odborné publikovanie ISSN 1338-0087* [online]. 2011 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z: <http://www.posterus.sk/?p=11948>
- [21] KREJČÍ, J. a T. ZEMAN. Hodnocení kvality IPTV. In: *Access Server* [online]. 2010 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010050004>
- [22] Institute for Telecommunication Sciences. *National Telecommunications & Information Administration: United States Department of Commerce* [online]. Boulder, Colorado, 2011 [cit. 2014-04-19]. Dostupné z: <http://www.its.blrdoc.gov/resources/video-quality-research/standards/jav-dist-related-research.aspx>
- [23] FTB-1 Platform: EMPOWERING FRONTLINE TECHNICIANS. *Exfo Inc.* [online]. 2014 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: http://www.exfo.com/Documents/TechDocuments/Specification_Sheets/EXFO_spec-sheet_FTB-1-v14_en.pdf

- [24] AXS-200/625: part of the SharpTESTER Access Line. *Exfo Inc.* [online]. 2010 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: http://www.exfo.com/Documents/TechDocuments/Specification_Sheets/EXFO_spec-sheet_AXS-200-625_en.pdf
- [25] FVA-60B: NETWORK TESTING-OPTICAL. *Exfo Inc.* [online]. 2010 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: http://www.exfo.com/Documents/TechDocuments/Specification_Sheets/EXFO_spec-sheet_FVA-60B_ang.pdf
- [26] Protokol UDP (User Datagram Protocol). *Microsoft: TechNet* [online]. 2014 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: [http://technet.microsoft.com/cs-cz/library/cc785220\(v=ws.10\).aspx](http://technet.microsoft.com/cs-cz/library/cc785220(v=ws.10).aspx)
- [27] BANIKAZEMI, Mohammad. IP Multicasting: Concepts, Algorithms, and Protocols. *Washington Univeristy in St.Louis* [online]. 1997 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: http://www.cse.wustl.edu/~jain/cis788-97/ftp/ip_multicast/
- [28] SCHULZRINNE, H., A. RAO a R. LANPHIER. Real Time Streaming Protocol (RTSP). *The Internet Engineering Task Force (IETF®)* [online]. 1998 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://www.ietf.org/rfc/rfc2326.txt>
- [29] KREJČÍ, J. a T. ZEMAN. Úvod do IPTV. In: *Access Server* [online]. 2008 [cit. 2014-04-28]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=uvod-do-iptv&cisloclanku=2008100002>
- [30] Network performance objectives for IP-based services: Recommendation ITU-T Y.1541. *International Telecommunication Union* [online]. 2012, č. 12 [cit. 2014-05-02]. Dostupné z: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-Y.1541-201112-I!!PDF-E&type=items
- [31] TELECOM CLOUD: Thoughts on meshing Telecom and Internet Together. *Telecom Cloud* [online]. 2011 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: <http://www.telecom-cloud.net/cloud-ran-radio-over-fiber-cloud-paradigm-for-cellular-networks/>
- [32] JONES, Paul E. Overview of H.323 *Hive.packetizer* [online]. 04/2007 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://hive2.hive.packetizer.com/users/packetizer/papers/h323/overview_of_h323.pdf
- [33] NEMČÍK, M. Hodnotenie kvality prenosu reči. In: *Access server* [online]. 2006 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006050402>
- [34] FAJKUS, Marcel. Rozdělení optických přístupových sítí. In: *OPTE.IMMATE.CZ* [online]. 2013 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://opte.imatte.cz/teorie/opticke-pristupove-site/78-rozdeleni-optickyh-pristupovych-siti>
- [35] AXS-200/350: OPTICAL LOSS TEST SET. *Exfo Inc.* [online]. 2012 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.exfo.com/Documents/TechDocuments/Specification_Sheets/EXFO_spec-sheet_AXS-200-350_en.pdf

- [36] PPM-350B: NETWORK TESTING-OPTICAL. *Exfo Inc.* [online]. 2007 [cit. 2014-05-04]. Dostupné z: http://www.exfo.com/Documents/TechDocuments/Specification_Sheets/EXFO_spec-sheet_PPM-350B_ang.pdf
- [37] KRÁLIK, Miroslav. *Studium implementace WDM-PON na stávající optickou přístupovou infrastrukturu*. Ostrava, 2012. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Petr Koudelka.
- [38] CHOMYCZ, Bob. *Planning fiber optic networks*. New York: McGraw-Hill, 2009. ISBN 978-007-1642-699.
- [39] FHO5000-D32 FTTh OTDR Dual wavelength 1310/1550nm, 32/30dB. *FiBERCASA* [online]. 2012 [cit. 2014-05-06]. Dostupné z: <http://www.fibercasa.com/fho5000-d-series-ftth-otdr-dual-wavelength-1310-1550nm-34-32db.html>

Zoznam príloh

Príloha A:	Konfigurácia služieb Triple Play.....	I
Príloha B:	Ukážky práce s používaným softvérom	IX
Príloha C:	Rack A a rack B v učebni N311	XI

Súčasťou DP je CD/DVD.

Adresárová štruktúra priloženého CD/DVD:

1. Výsledky (Reporty) merania analyzátorom EXFO FTB-1 FTB-860 NetBlazer - RFC 2544 a ITU Y.1564 EtherSAM.
2. Výsledky merania spektrálnej analýzy analyzátorom FTB-500/FTB-5240B.
3. Výsledky merania optického výkonu meračom výkonu PPM-350B-EG.
4. Výsledky (Reporty) merania IPTV analyzátorom EXFO AXS-200/625.
5. Výsledky objektívneho merania IPTV softvérom MSU VQMT.
6. Výsledky merania VoIP nástrojom IxChariot.
7. Výsledky merania služby Dáta softvérom BWMeter 6.6.3..
8. Screeny vplyvu parametrov QoS na vzorky videa.
9. Fotografie experimentálneho pracoviska.

Príloha A: *Konfigurácia služieb Triple Play*

Táto príloha obsahuje výpisy jednotlivých súborov, pri konfigurácii PBX Asterisk a nastavenie IP Multimediálnych telefónov Grandstream GXV3140. Ďalej je tu znázornená webová stránka dátového serveru a nastavenie streamovania a prijímanie vysielaného streamu.

Asterisk



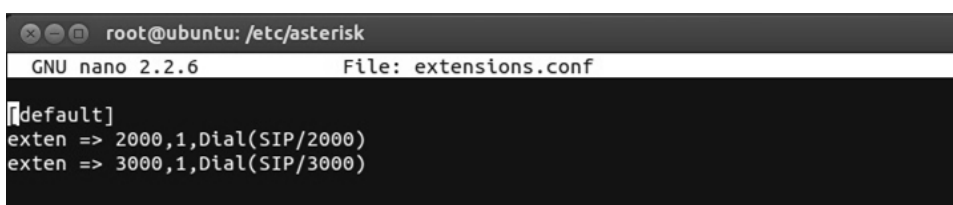
```
root@ubuntu: /etc/asterisk
GNU nano 2.2.6 File: sip.conf

[general]
port=5060
binaddr=0.0.0.0

[2000]
type=friend
secret=1234
host=dynamic

[3000]
type=friend
secret=1234
host=dynamic
```

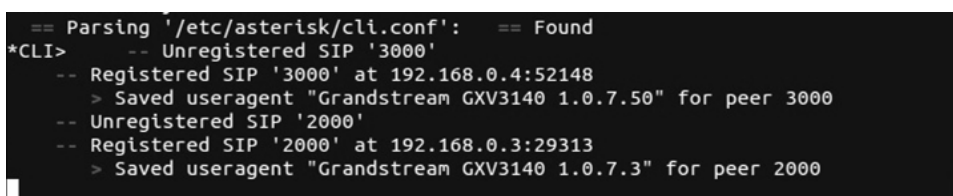
Obr. 1.1: *Výpis súboru sip.conf.*



```
root@ubuntu: /etc/asterisk
GNU nano 2.2.6 File: extensions.conf

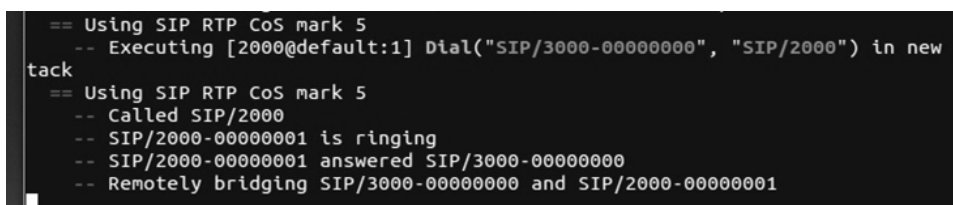
[default]
exten => 2000,1,Dial(SIP/2000)
exten => 3000,1,Dial(SIP/3000)
```

Obr. 1.2: *Výpis súboru extensions.conf.*



```
== Parsing '/etc/asterisk/cli.conf': == Found
*CLI> -- Unregistered SIP '3000'
-- Registered SIP '3000' at 192.168.0.4:52148
> Saved useragent "Grandstream GXV3140 1.0.7.50" for peer 3000
-- Unregistered SIP '2000'
-- Registered SIP '2000' at 192.168.0.3:29313
> Saved useragent "Grandstream GXV3140 1.0.7.3" for peer 2000
```

Obr. 1.3: *Výpis Asterisku po registrácii oboch koncových zariadení (IP telefónov).*

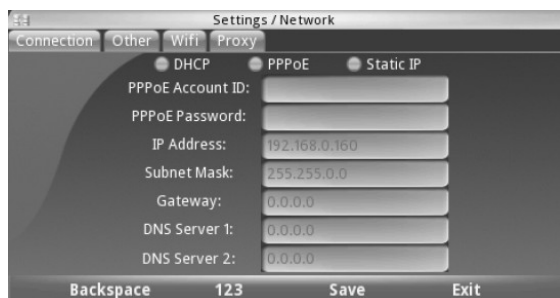


```
== Using SIP RTP CoS mark 5
-- Executing [2000@default:1] Dial("SIP/3000-00000000", "SIP/2000") in new s
tack
== Using SIP RTP CoS mark 5
-- Called SIP/2000
-- SIP/2000-00000001 is ringing
-- SIP/2000-00000001 answered SIP/3000-00000000
-- Remotely bridging SIP/3000-00000000 and SIP/2000-00000001
```

Obr. 1.4: *Výpis Asterisku po vytočení čísla a realizácii hovoru.*

Grandstream GXV3140 - webové rozhranie

Do ľubovoľného prehliadača zadáme IP adresu telefónu, ktorú získame z DHCP serveru, alebo si nastavíme statickú adresu a zadáme túto adresu. Prvotné nastavenie siete vykonáme v telefóne pomocou tlačidiel. Zvolíme MENU → Settings → Network a vyberieme potrebné nastavenie (DHCP, Static IP...).



Obr. 1.5: Ukážka rozhrania telefónu - menu Settings/Network.



Obr. 1.6: Webové rozhranie pre GXV3140 - prihlasovanie.

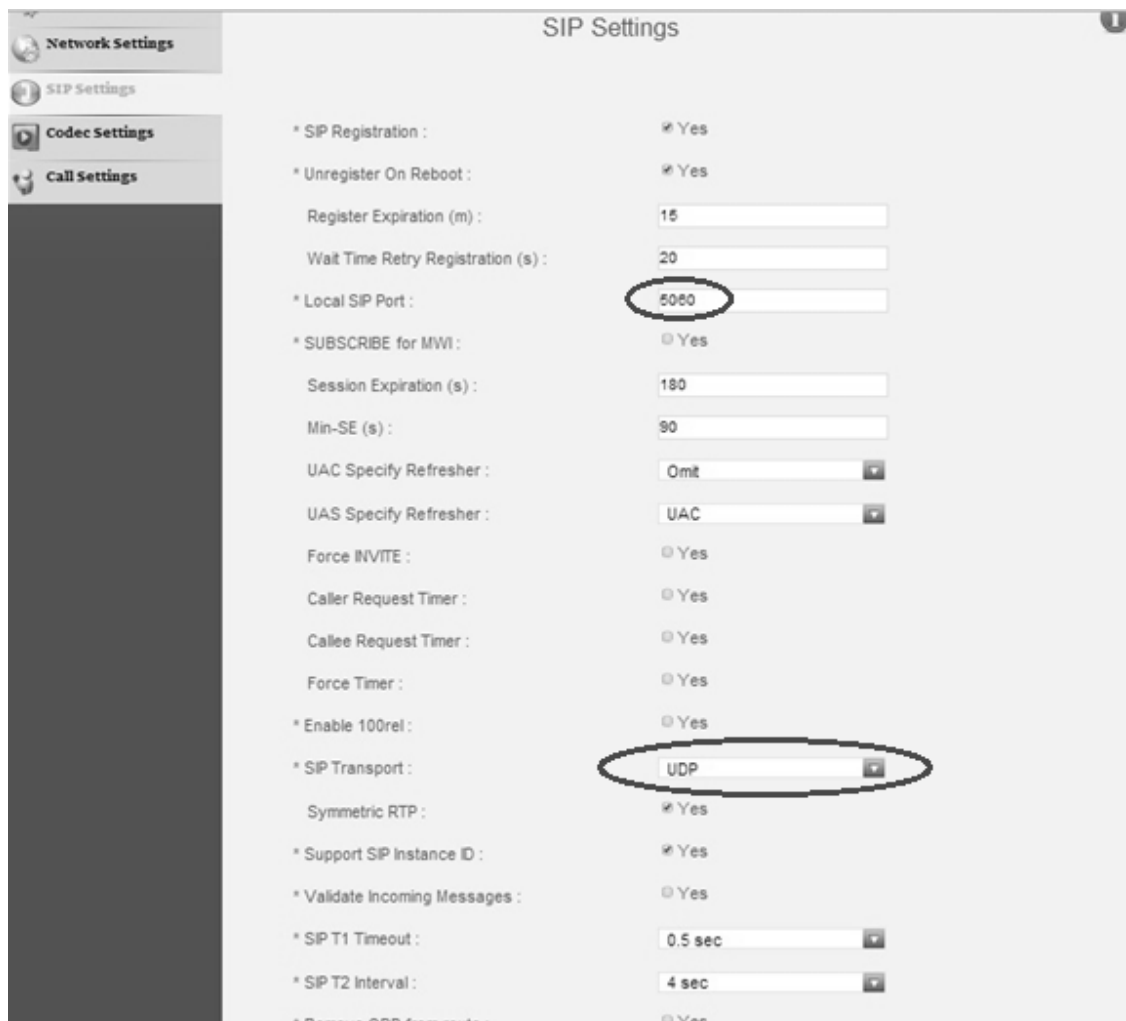
Defaultný login pre administrátorský prístup je admin a heslo pre administrátora je tak isto admin. Prístup pre užívateľa je pod menom user a defaultné heslo je 123.



Obr. 1.7: *Základné nastavenie.*

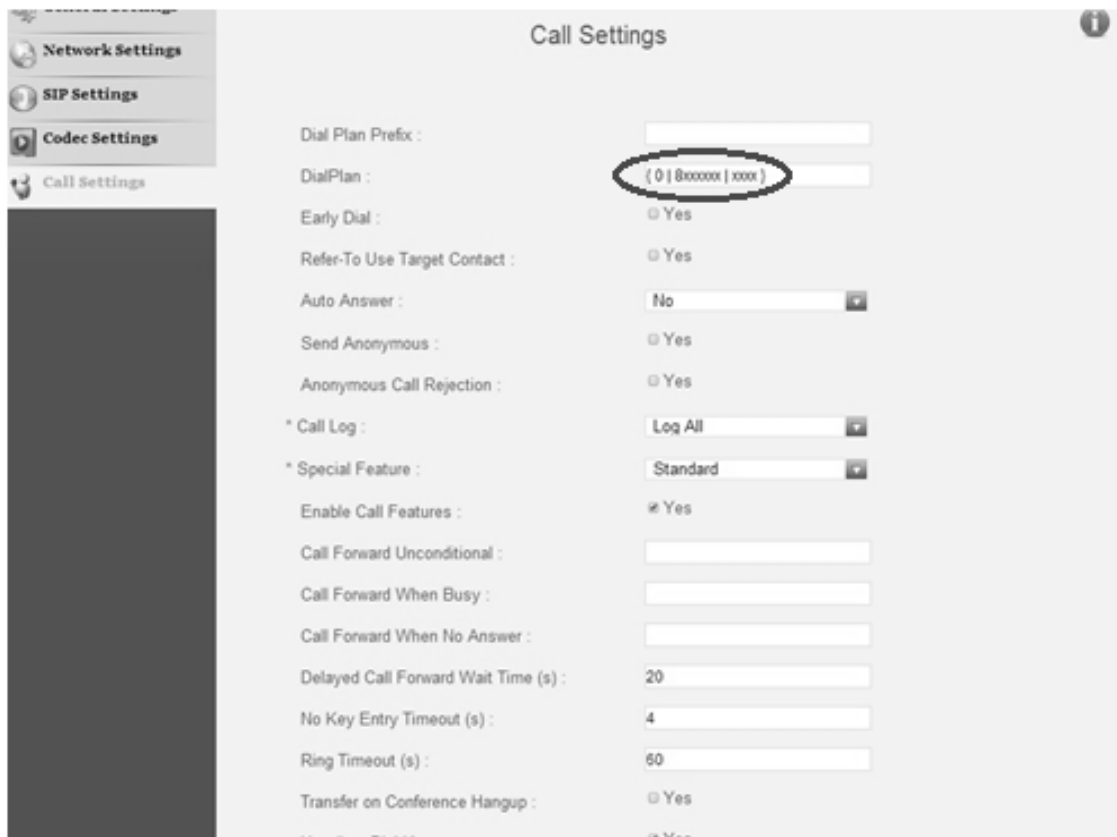
V záložke `General Settings` nastavíme položky ako je uvedené na obrázku. Dôležité sú hlavne parametre `SIP Server`, kde zadáme adresu stroja na ktorom beží Asterisk Server, `SIP User ID`, ktoré sa musí zhodovať s menom v `sip.conf`, tak isto aj `Authenticate Password`, ktoré sa tak isto musí zhodovať.

V záložke `SIP Settings` sú dôležité položky `Local SIP Port` a `SIP Transport`.



Obr. 1.8: SIP nastavenie.

V záložke Call Settings je dôležité nastaviť DialPlan, aby bolo možné vytočiť tvar čísla, ktoré potrebujeme. Napríklad pre číslo 2000, resp. 3000 je nutné pridať xxxx.



Obr. 1.9: Nastavenie hovoru.

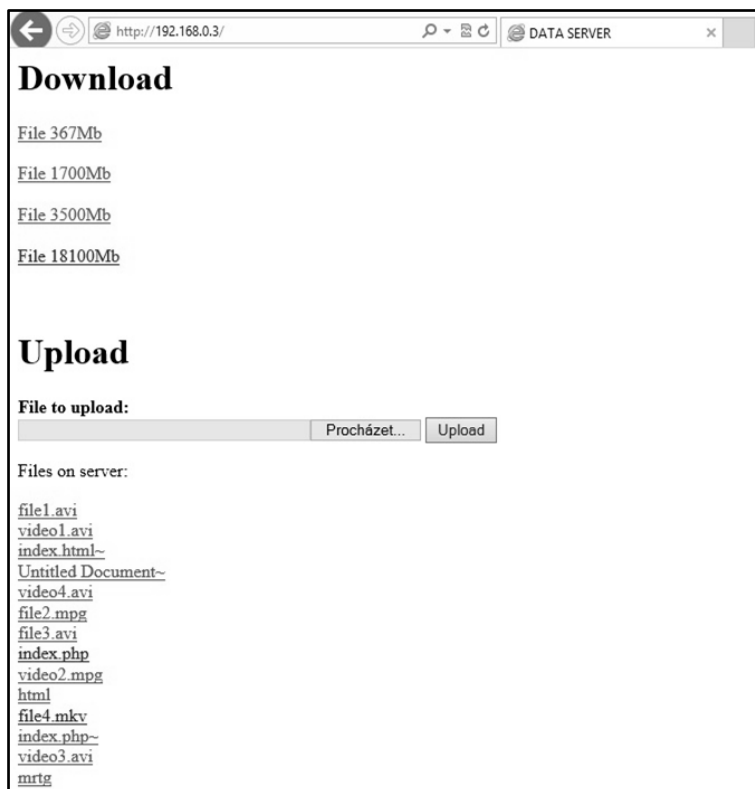
Zvyšné položky neboli menené a boli ponechané na prednastavených hodnotách.

Po každom prevedenom nastavení je potrebné uložiť - *Save* a na záver previesť *reboot* telefónu.

Po pripojení telefónov by sa mali po určitej dobe zaregistrovať a v Asterisku by sa mal zobrazit' výpis registrácie (pozri Obr. 1.3).

Dátový server

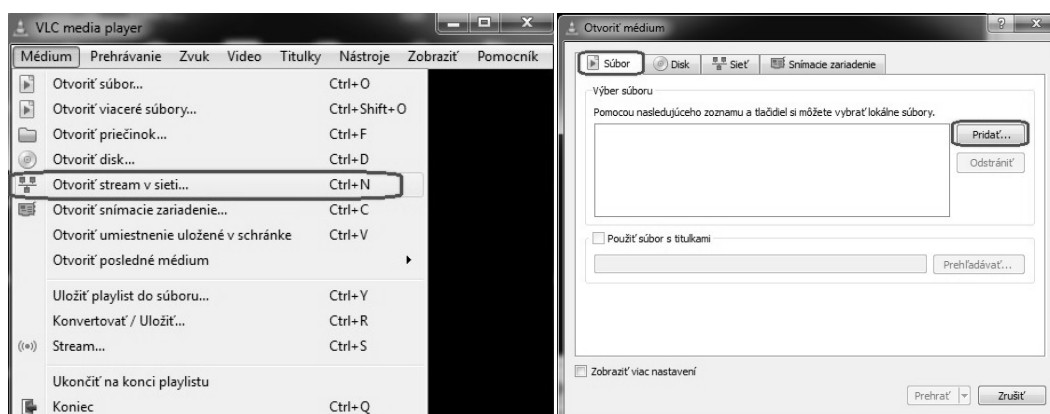
Zdrojový kód pre web stránku dátového serveru je v prílohe na CD, súbor `index.php`. Ukážka stránky je na obrázku 1.10.



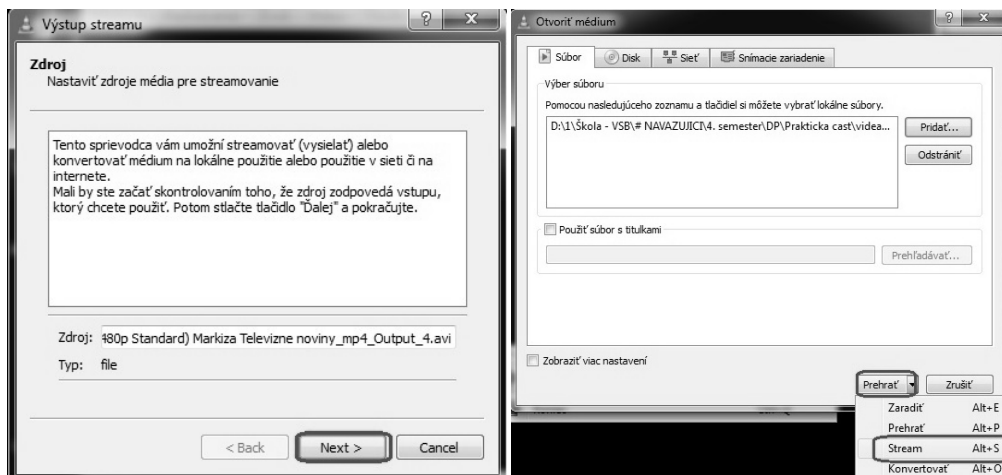
Obr. 1.10: Web stránka dátového serveru.

IPTV server

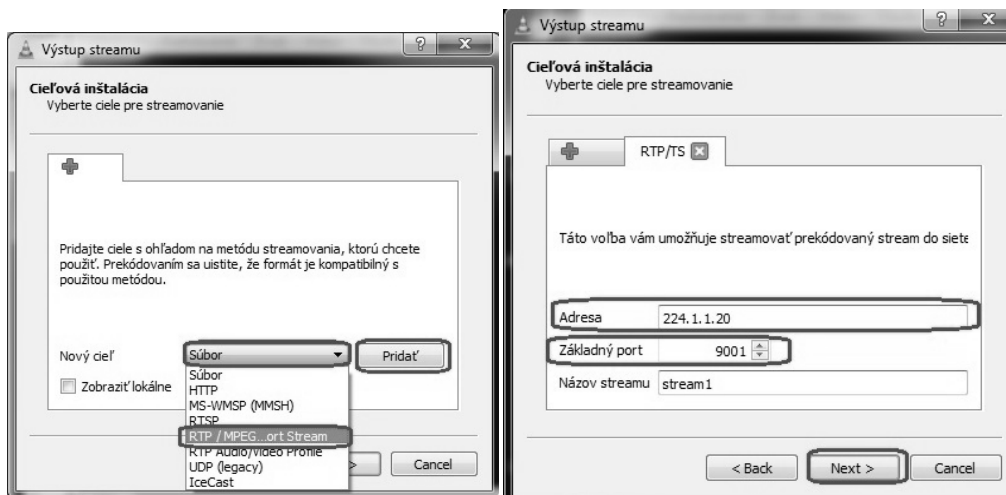
Postup pre nastavenie vysielania a prijímania streamovaného videa.



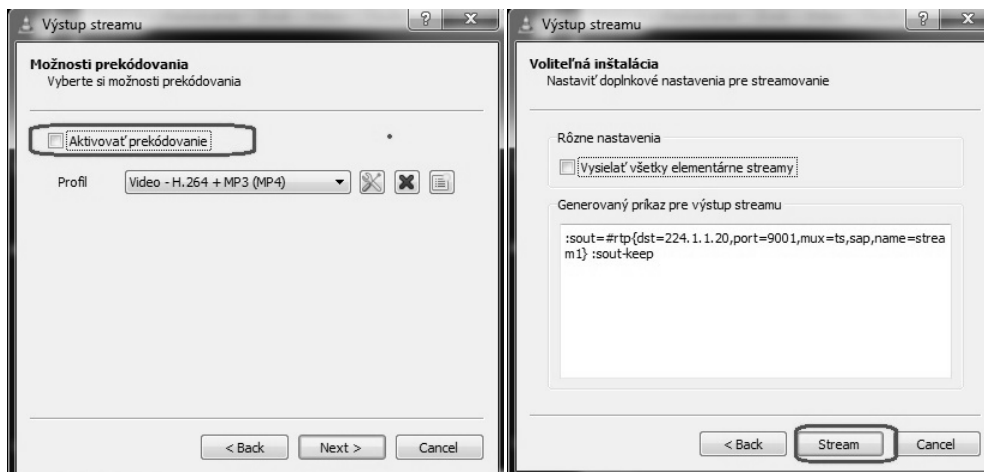
Obr. 1.11: Krok 1 (vľavo) a krok 2 (vpravo) - server.



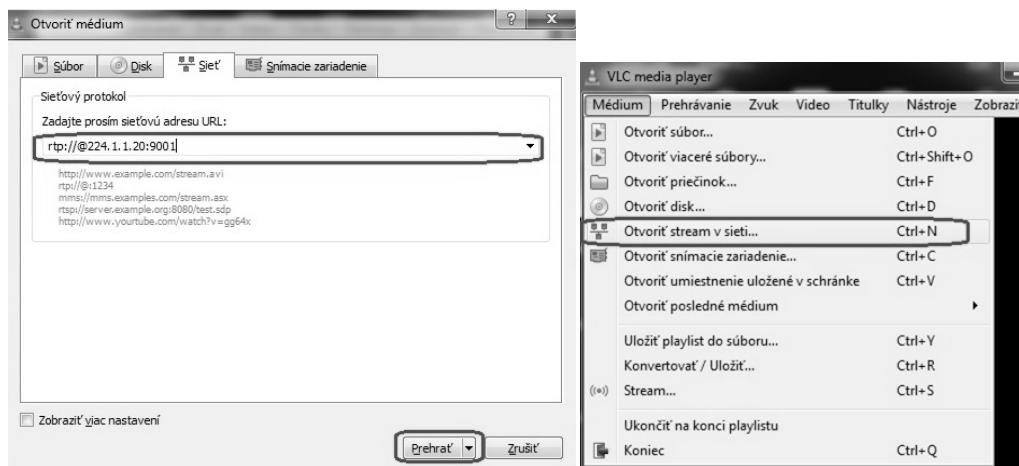
Obr. 1.12: Krok 3 (vľavo) a krok 4 (vpravo) - server.



Obr. 1.13: Krok 5 (vľavo) a krok 6 (vpravo) - server.

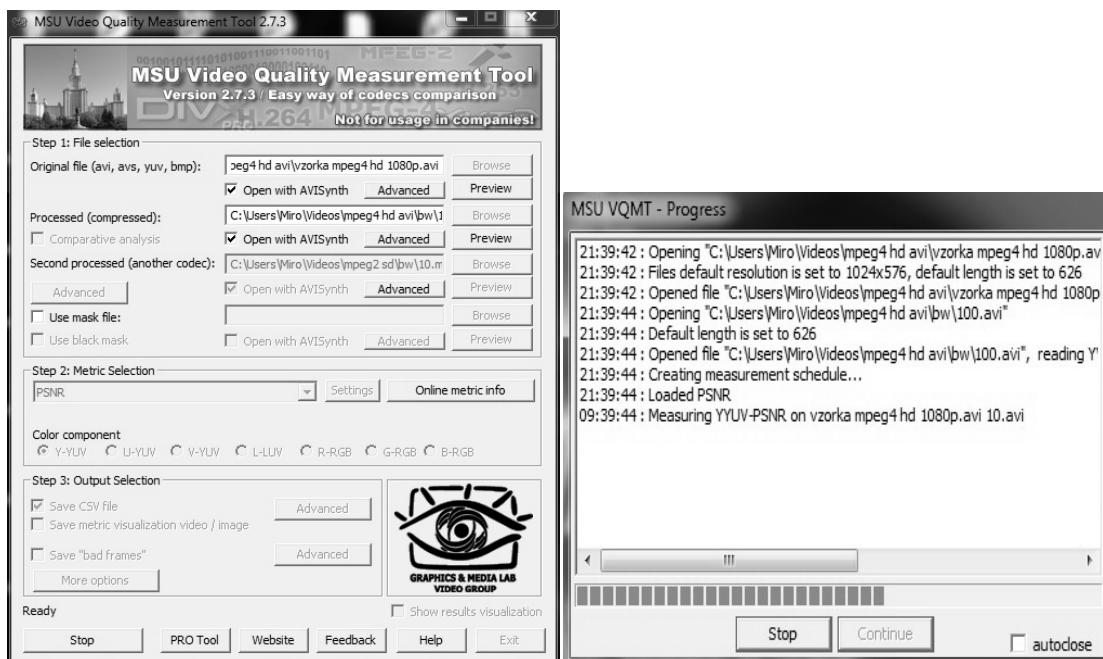


Obr. 1.14: Krok 7 (vľavo) a krok 8 (vpravo) - server.



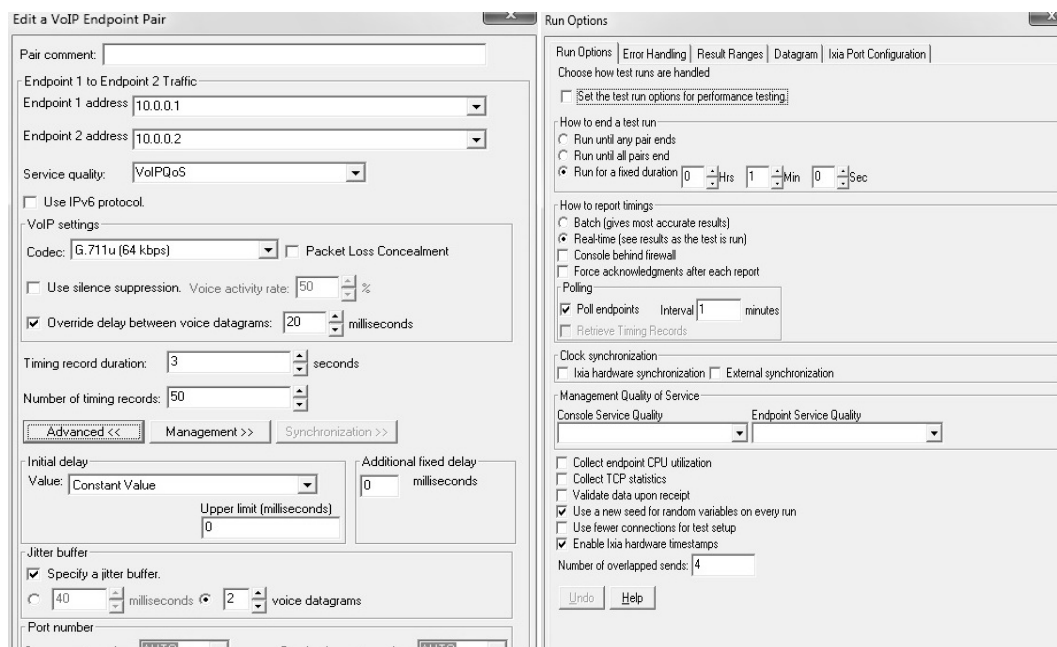
Obr. 1.15: Krok 1 (vľavo) a krok 2 (vpravo) - klient.

MSU Video Quality Measurement Tool



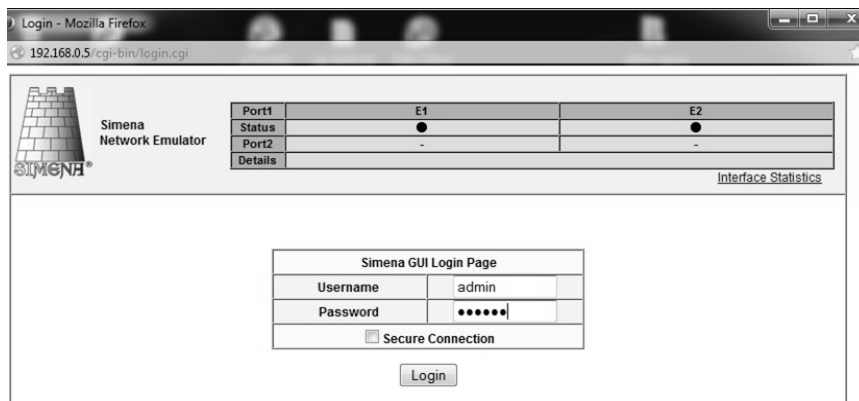
Obr. 2.1: GUI MSU VQMT (vľavo), priebeh analýzy vzoriek (vpravo).

IxChariot 7.20 EA



Obr. 2.2: IxChariot - nastavenie páru pre komunikáciu (vľavo), nastavenie behu testu (vpravo).

Simena NE1000

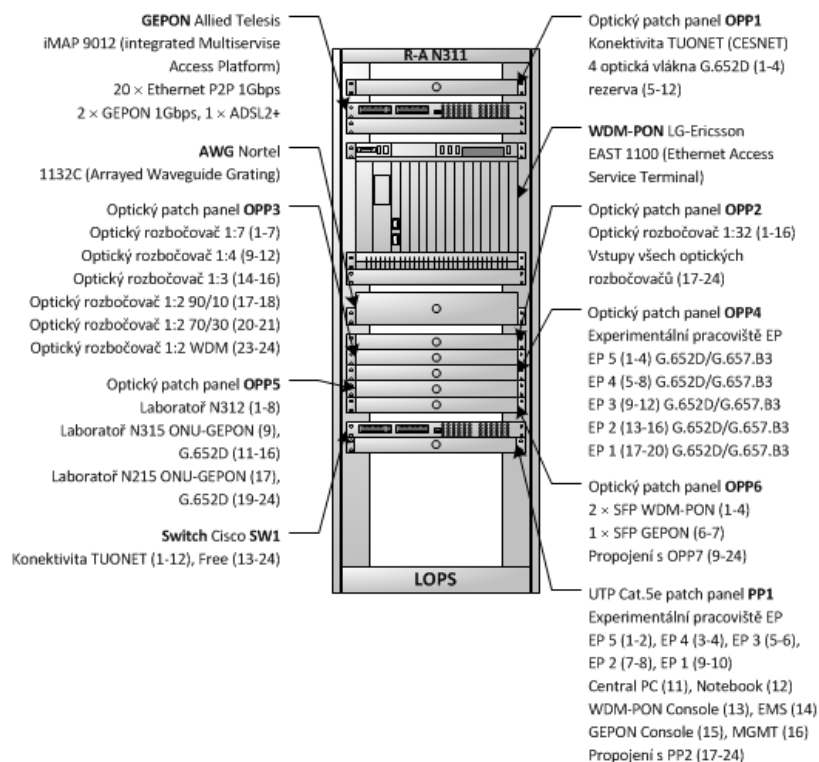


Obr. 2.3: Prihlasovanie do GUI Simena.

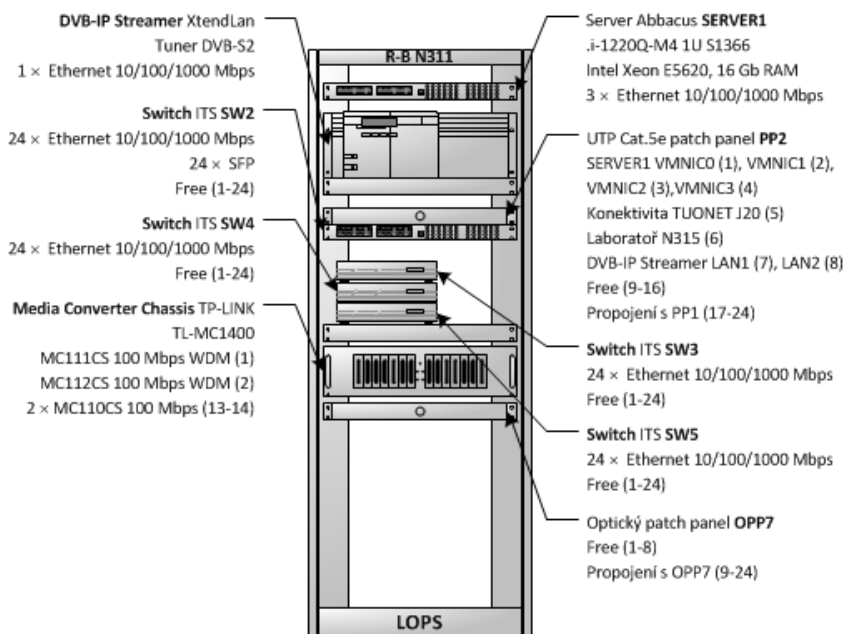


Obr. 2.4: Rozšírený mód pre nastavovanie parametrov siete.

Príloha C: *Rack A a rack B v učebni N311*



Obr. 3.1: *Rack A - N311*



Obr. 3.2: *Rack B - N311.*