

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra telekomunikační techniky

**Problematika nasazení metody  
ITU-T Y.1564 v optických  
přístupových sítích**

**Deployment Problems of ITU-T  
Y.1564 Method in the Optical Acces  
Networks**

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Haluza**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika

Téma: **Problematika nasazení metody ITU-T Y.1564 v optických přístupových sítích**  
**Deployment Problems of ITU-T Y.1564 Method in the Optical Access Networks**

Zásady pro vypracování:

S prudkým rozvojem širokopásmových služeb se stále častěji objevují požadavky na vyhodnocení kvality různých samostatných služeb (data, hlas, video), podpora vnořených VLAN a MAC apod. Hlavními nedostatky RFC 2544 jsou potřeba testování provozu více služeb najednou, dlouhá doba měření a neřešení měření jitteru (kolísání zpoždění), který je kritický pro real-time přenosy. V březnu roku 2011 byl uveřejněn nový standart ITU-T Y.1564 jako jediná testovací metoda, která umožňuje kompletní ověření služeb dohodnuté úrovně (SLA) v jednom, výrazně rychlejším testu a s vyšším stupněm přesnosti. Cílem absolventské práce je definovat problematiku nasazení tohoto standardu v optických přístupových sítích.

1. Popište dostupná doporučení a standardy pro analýzu Ethernetu v optických přístupových sítích s důrazem na RFC 2544 a ITU-T Y.1564.
2. V laboratorních podmínkách realizujte možné řešení optických přístupových sítí (P2P, PON, WDM-PON).
3. Na realizované řešení optických přístupových sítí aplikujte dostupné doporučení a standardy pro analýzu Ethernetu.
4. Výsledky vyhodnoťte z hlediska možnosti nasazení služby Triple Play.

Seznam doporučené odborné literatury:


LAM, Cedric F. *Passive optical networks: principles and practice*. Boston: Elsevier/Academic Press, c2007, xliv, 324 p. ISBN 01-237-3853-9.

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


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Koudelka**

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

Souhlasím se zveřejněním této diplomové práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 *Studijního a zkušebního řádu pro studium v magisterských programech VŠB-TU Ostrava*.


V Ostravě 21. dubna 2014



.....

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 21. dubna 2014



.....

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou měřících metod pasivní optické sítě založené na Ethernetu. Hlavním cílem práce je porovnání měření založených na doporučení RFC 2544 a normě ITU-T Y.1564 (EtherSAM) z hlediska testování více služeb. V teoretické části jsem se zaměřil na základní seznámení s optickou přístupovou sítí a jejími variantami. Dále jsou pak podrobně rozebrány jednotlivá doporučení. Na teoretický rozbor navazuje praktická část s popisem použitých zařízení včetně jejich nastavení. Poté jsou na závěr uvedeny výsledky měření obou metod, na jejichž základě bylo zjištěno, že měření EtherSAM má daleko větší potenciál při ověřování kvalitativních parametrů sítě než RFC 2544. Přínosem této práce je, kromě výše uvedeného srovnání, vytvořený návod na konfiguraci zařízení EtherNID pro funkci loopback jednotky.

**Klíčová slova:** PON, triple play, RFC 2544, norma ITU-T Y.1564, EtherSAM, diplomová práce, EtherNID loopback návod

## **Abstract**

This Master Thesis is focused on testing methodology in Ethernet based passive optical networks. The main goal of this thesis is confrontation of measurement based on RFC 2544 recommendation and ITU-T Y.1564 (EtherSAM) standard in light of triple play services deployment. The theoretical part deal with basic description and modifications of optical access networks. Furthermore, the recommendation and standard are discussed in detail. At the beginning of practical part, used devices, their description and configuration are included. Next, test data indicate that measuring based on EtherSAM methodology has better potential for SLA verification than RFC 2544. Moreover, the benefit of this thesis is configuration manual for EtherNID as a loopback unit.

**Keywords:** PON, triple play, RFC 2544, ITU-T Y.1564 standard, EtherSAM, master thesis, EtherNID loopback manual

## Seznam použitých zkratk a symbolů

ACELP	– Algebraic Code Excited Linear Prediction
ADPCM	– Adaptive Differential Pulse Code Modulation
AON	– Active Optical Network
BER	– Bit Error Rate
CBS	– Committed Burst Size
CELP	– Code Excited Linear Prediction
CIR	– Committed Information Rate
CLI	– Command Line Interface
CS-ACELP	– Conjugate Structure ACELP
DOCSIS	– Data Over Cable Service Interface Specification
DSL	– Digital Subscriber Line
EBS	– Excess Burst Size
EIR	– Excess Information Rate
EMIX	– Ethernet MIX
EPON	– Ethernet Passive Optical Network
EtherSAM	– Ethernet Service Activation Methodology
FDV	– Frame Delay Variation
FL	– Frame Loss
FLR	– Frame Loss Ratio
FTD	– Frame Transfer Delay
FTTB	– Fiber to the Building
FTTC	– Fiber to the Curb
FTTH	– Fiber to the Home
FTTN	– Fiber to the Node
IEEE	– Institute of Electrical and Electronic Engineers
IETF	– Internet Engineering Task Force
IPTV	– Internet Protocol Television
IR	– Information Rate

ITU	– International Telecommunication Union
ITU-T	– International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector
LD-CELP	– Low Delay CELP
MAC	– Media Access Control
MOS	– Mean Opinion Score
MP-MLQ	– Multi-Pulse Maximum Likelihood Quantization
MTU	– Maximum Transfer Unit
MPCP	– Multipoint Control Protocol
MPMC	– Multipoint Media Access Control
OAM	– Operations, Administration and Maintenance
OAN	– Optical Access Network
OLT	– Optical Link Termination
ONT	– Optical Network Termination
ONU	– Optical Network Unit
OS	– Overshoot
P2MP	– Point to Multipoint
PCM	– Pulse Code Modulation
PON	– Passive Optical Network
QoE	– Quality of Experience
QoS	– Quality of Service
RFC	– Request for Comments
SAC	– Service Acceptance Criteria
SLA	– Service Level Agreement
TDM	– Time Division Multiplex
TDMA	– Time Division Multiple Access
VLAN	– Virtual Local Area Network
VoD	– Video on Demand
VoIP	– Voice over IP
WDM	– Wave Division Multiplex
WDMA	– Wave Division Multiple Access

# Obsah

Úvod	5
<b>1 Optické přístupové sítě</b>	<b>7</b>
1.1 Úvod do optických přístupových sítí	7
1.2 Pasivní optické sítě	8
1.2.1 Princip přenosu v PON	8
1.2.2 Architektura sítě	10
1.3 Dostupné normy PON	11
1.3.1 APON	12
1.3.2 GPON	12
1.3.3 EPON	13
1.3.4 10G-EPON	13
1.3.5 10G-PON	14
1.4 Služby Triple play	14
1.4.1 Hlas	15
1.4.2 Video	16
1.4.3 Data	17
<b>2 Doporučení a standardy pro analýzu Ethernetu</b>	<b>18</b>
2.1 RFC 1242	18
2.2 RFC 2544	18
2.2.1 Test propustnosti	20
2.2.2 Test ztrátovosti	20
2.2.3 Test zpoždění	21
2.2.4 Test zatížitelnosti	21
2.3 ITU-T Y.1564	22
2.3.1 Ověření konfigurace služeb	24
2.3.2 Ověření kvality služeb	26
<b>3 Měření PON sítě</b>	<b>27</b>
3.1 Topologie	27
3.1.1 Jednotka OLT	27
3.1.2 Jednotka ONU	29
3.1.3 Jednotka Loopback	29
3.1.4 Emulátor sítě	30
3.1.5 Měřicí přístroj EXFO FTB-860	30

3.1.6	Měřicí přístroj EXFO AXS-200/850 . . . . .	31
3.2	Měření ITU-T Y.1564 . . . . .	32
3.3	Měření RFC 2544 . . . . .	32
<b>4</b>	<b>Naměřené výsledky</b>	<b>35</b>
4.1	Metoda ITU-T Y.1564 . . . . .	36
4.1.1	Bez zatížení . . . . .	36
4.1.2	Se zatížením . . . . .	37
4.1.3	S degradací sítě . . . . .	37
4.2	Metoda RFC 2544 . . . . .	38
4.2.1	Bez zatížení . . . . .	39
4.2.2	Se zatížením . . . . .	40
4.2.3	S degradací sítě . . . . .	41
4.3	Celkové zhodnocení z hlediska služeb triple play . . . . .	43
	<b>Závěr</b>	<b>44</b>
	<b>Literatura</b>	<b>46</b>
	<b>Přílohy</b>	<b>48</b>
<b>A</b>	<b>Návod EtherNID ve funkci loopback jednotky</b>	<b>48</b>
A.1	Úvod do nastavení . . . . .	48
A.1.1	Přihlášení do webového rozhraní . . . . .	49
A.1.2	Uvedení zařízení do továrního nastavení . . . . .	49
A.2	Základní nastavení . . . . .	50
A.2.1	Nastavení portů . . . . .	50
A.2.2	Nastavení rozhraní . . . . .	50
A.3	Nastavení filtrů . . . . .	51
A.4	Zprovoznění funkce loopback . . . . .	53
A.4.1	Nastavení OAM . . . . .	53
A.4.2	Nastavení loopback . . . . .	54
A.5	Shrnutí nastavení použitých pro tuto práci . . . . .	56



### Seznam tabulek

1.1	Požadavky služeb na šířku pásma . . . . .	8
1.2	Kombinace přenosových rychlostí APON . . . . .	12
1.3	Přehled používaných VoIP kodeků . . . . .	16
2.1	Velikost Ethernet rámců pro testování (v bytech) . . . . .	23
4.1	Nastavení služeb u EtherSAM . . . . .	36
4.2	Výsledky ITU-T Y.1564 bez zatížení . . . . .	36
4.3	Výsledky ITU-T Y.1564 se zatížením . . . . .	37
4.4	Výsledky ITU-T Y.1564 při degradaci sítě zvýšením zpoždění . . . . .	38
4.5	Výsledky ITU-T Y.1564 při degradaci sítě zvýšením ztrátovosti . . . . .	38
4.6	Nastavení testování dle RFC 2544 . . . . .	39
4.7	Výsledky RFC 2544 bez zatížení . . . . .	39
4.8	Výsledky RFC 2544 se zatížením . . . . .	41
4.9	Výsledky RFC 2544 s degradací sítě . . . . .	42
A.1	Zapojení konektorů console (RJ-45 a DB-9) . . . . .	49

### Seznam obrázků

1.1	Grafické znázornění architektury optických sítí . . . . .	9
1.2	Architektura přístupu (a)TDMA a (b) WDMA . . . . .	10
1.3	Možnosti dělení: (a) jednostupňové, (b) víceústupňové a (c) sběrníkové . . .	11
1.4	Standardní komerční architektura TDM-PON . . . . .	11
1.5	Porovnání vrstev standardního Ethernetu a EPON . . . . .	14
1.6	Rozdělení spektra pro souběžný provoz EPON a 10GE PON . . . . .	15
2.1	Dvoustupňová metodika testování EtherSAM . . . . .	23
2.2	Skoková změna zátěže při testu ověření konfigurace . . . . .	24
3.1	Schéma měřené sítě . . . . .	27
3.2	Allied Telesis iMAP 9102 . . . . .	28
3.3	Allied Telesis AT-ON1000 . . . . .	29
3.4	Accedian Networks EtherNID GE . . . . .	29
3.5	Simena NE1000 . . . . .	30
3.6	EXFO FTB-860 . . . . .	30
3.7	Nastavení parametrů rozhraní: a) port a b) síť . . . . .	31
3.8	Nastavení globálních parametrů . . . . .	32
3.9	Nastavení parametrů služeb . . . . .	33
3.10	Volba RFC testů . . . . .	33
3.11	Nastavení parametrů testů . . . . .	34
4.1	Znázornění principu roundtrip testování . . . . .	35
4.2	Grafy pro RFC 2544 bez zátěže . . . . .	40
4.3	Grafy pro RFC 2544 se zátěží . . . . .	41
4.4	Grafy pro RFC 2544 s degradací sítě . . . . .	42
A.1	Pohled na a) čelní a b) zadní panel zařízení . . . . .	48
A.2	Přihlašovací obrazovka . . . . .	49
A.3	Nastavení a stav portů . . . . .	51
A.4	Konfigurace portů . . . . .	51
A.5	Nastavení a stav rozhraní . . . . .	52
A.6	Konfigurace rozhraní network . . . . .	52
A.7	Vytvoření nového L2 filtru . . . . .	53
A.8	Konfigurace OAM . . . . .	54
A.9	Přehled loopback instancí . . . . .	55
A.10	Nastavení funkce loopback . . . . .	56

## Úvod

V posledních několika letech se u poskytovatelů internetového připojení značně rozšířila obliba použití optických vláken v rámci koncové přístupové sítě přímo k samotným koncovým zákazníkům. Důvod vidím hlavně ve výhodách, které tento přístup přináší. Jedná se v první řadě o vysoké přenosové rychlosti, díky kterým mohou poskytovatelé distribuovat zákazníkům balíčky několika různých služeb v rámci jediné přístupové sítě, především tedy takzvané služby triple play (televize, telefonie a data). Navíc se tyto velké přenosové rychlosti zamlouvají i samotným zákazníkům, kteří si tak mohou bez problémů „užívat“ různé online služby, jako například hraní her, video na vyžádání a podobně. Dalším, ne méně významným důvodem této obliby u poskytovatelů je samozřejmě také podstatné snížení cen optických vláken a celkových nákladů na vybudování optické přístupové sítě.

Na druhou stranu si je ovšem potřeba uvědomit, že rozšíření portfolia poskytovaných služeb sebou přináší i potřebu garance jejich kvality. Účelem by totiž nemělo být zákazníkům pouze tyto služby „naslibovat“, ale také zabezpečit, aby si při telefonním hovoru rozuměli či aby nesledovali televizi s trhaným obrazem i zvukem. Aby se tomuto poskytovatelé vyvarovali, je třeba pečlivě zvážit nároky na jednotlivé služby a podle toho síť uvážlivě navrhnout. Nejen v této fázi hraje významnou roli testování sítě, především vzhledem k ověření kvality poskytovaných služeb. K tomuto slouží různá doporučení a normy, která zpravidla definují, jakým způsobem se má testovat a jak se mají poté prezentovat výsledky, aby měly určitou vypovídající hodnotu a daly se případně srovnávat s nabídkou konkurence.

Cílem této diplomové práce je popsat problematiku testování optické přístupové sítě pomocí normy ITU-T Y.1564 a její následná aplikace na pasivní optickou síť založenou na Ethernetu sestavenou v laboratoři. Kromě toho je úkolem i porovnat tuto normu se starším doporučením RFC 2544.

Celá práce je rozdělena do čtyř hlavních kapitol. V první z nich je provedeno seznámení s optickou přístupovou sítí, kde je definováno, co vůbec optická přístupová síť znamená, z jakých prvků se skládá, její rozdělení a možné varianty a jejich parametry definované v normách. Navíc je zde i stručný popis a nároky služeb triple play. Druhá kapitola se poté zabývá detailním popisem porovnávaných doporučení a norem.

Na teoretickou část navazuje praktická, která ve třetí kapitole představuje měřenou síť, použitá zařízení a jejich nastavení, která jsou nezbytná pro samotné měření. V poslední čtvrté kapitole jsou uvedeny a okomentovány naměřené výsledky s důrazem na vhodnost nasazení služeb triple play v této síti. V závěru jsou poté rozebrány výhody a nevýhody

## Úvod

---

obou měřících metod.

Přínosem této práce je i vytvořený návod pro konfiguraci zařízení EtherNID GE od firmy Accedian Networks jako loopback jednotky. Tento manuál je uveden v příloze práce.

### 1 Optické přístupové sítě

Narůstající požadavky účastníků na služby související s nároky na vysoké přenosové rychlosti a značnou šířku pásma (viz. tabulka 1.1) dávají velký potenciál sítím používaným jako přenosové médium optická vlákna. Jejich výhodou oproti jiným přenosovým technologiím, jako například metalické kabely či rádiové vlny, jsou velká šířka pásma, nízké ztráty, vyšší bezpečnost a nízký šum. Pokud tato vlákna použijeme i v posledním segmentu sítě směrem ke koncovým uživatelům, hovoříme o optických přístupových sítích (OAN).

#### 1.1 Úvod do optických přístupových sítí

Optické přístupové sítě se již určitou dobu značně rozšiřují, což je způsobeno především snížením výrobních nákladů koncových zařízení i samotných vláken. Základními stavebními prvky těchto sítí jsou:

- optická ukončující jednotka (ONU) – sloužící jako rozhraní mezi koncovým zařízením uživatele a přístupovou sítí,
- optické linkové zakončení (OLT) – rozhraní mezi přístupovou sítí a telekomunikační sítí,
- optická distribuční síť (ODN) – optické přenosové prvky mezi OLT a ONU (rozbočovače, spojky a podobně).

Optické sítě můžeme rozdělit podle umístění jednotky ONU, to znamená v jakém místě je optické vlákno ukončeno. Graficky je tato architektura znázorněna na obrázku 1.1.

- FTTH – vlákna jsou ukončena až v několika kilometrech vzdáleném uzlu,
- FTTC – optická vlákna jsou ukončena v účastnickém rozvaděči a dále pokračuje metalické vedení,
- FTTB – optická vlákna jsou přivedena až do budov účastníků,
- FTTH – optická vlákna jsou dovedena až do účastnických zásuvek uživatelů.

Podle způsobu provedení jednotlivých prvků sítě hovoříme buď o aktivní (AON), nebo o pasivní (PON) optické přístupové síti. V případě AON jsou jednotlivé stavební prvky v aktivním provedení, což přináší výhodu v podobě větších překlenutelných vzdáleností než u sítí pasivních. Jejich nevýhodou je potom nutnost zajistit napájení jednotlivých prvků (především rozbočovačů a multiplexorů) v distribuční síti. Naproti tomu

## 1 OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ

Služba	Šířka pásma	QoS
Video s nízkým rozlišením	3,5 Mbps	Nízké ztráty, konstantní bit rate, nízké kolísání zpoždění
Video s vysokým rozlišením	15 Mbps	Nízké ztráty, konstantní bit rate, nízké kolísání zpoždění
Online hry	10 Mbps	Nízké ztráty, nízké kolísání zpoždění, přenos v burstech
VoIP	64 kbps	Nízké ztráty, konstantní bit rate, nízké zpoždění
Sdílení souborů	100 kbps - 100 Mbps	bez QoS

Tabulka 1.1: Požadavky služeb na šířku pásma

stojí PON, které pro distribuci signálů k účastníkům používají pasivní rozbočovače, ale oproti předchozí je pro ně limitující vzdálenost mezi OLT a ONU.

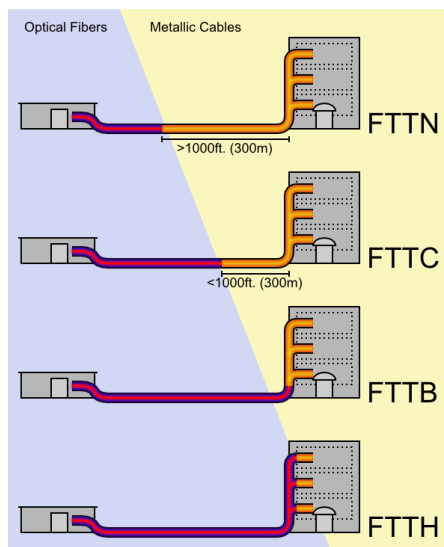
### 1.2 Pasivní optické sítě

Použití pasivních optických sítí se jeví jako velice atraktivní způsob řešení pro instalaci optického vlákna až do domu (FTTH). Jak již bylo uvedeno výše, je to způsobeno používáním pouze pasivních prvků jako jsou vlákna, rozbočovače (splittery) a podobně. Tento přístup nám přináší podstatné snížení nákladů na instalaci, údržbu a zároveň to do budoucna umožňuje snazší rozvoj sítě (například zvýšení přenosové rychlosti), kdy je potřeba modernizovat aktivní prvky pouze u síťového poskytovatele. Navíc má uživatel k dispozici vysokou přenosovou kapacitu i ve vzdálenosti řádově dvaceti kilometrů, což je citelný rozdíl oproti klasickým kabelovým vedením jako je DSL, kde se maximální dostupná rychlost se vzrůstající vzdáleností účastníka od ústředny podstatně zmenšuje. (Heliotis – Chochliouros, 2010)

#### 1.2.1 Princip přenosu v PON

Architektura pasivních optických sítí je nejčastěji typu bod-více bodů (P2MP), kdy je z centrální OLT jednotky veden optický kabel do rozbočovače, kde je poté rozdělen k jednotlivým účastníkům. Použitím tohoto principu nám ovšem vyvstane problém se vznikem kolizí zpravidla ve vzestupném směru, kdy se vysílání jednotlivých koncových účastníků sloučí do jednoho vlákna. Z tohoto důvodu je pro odstranění kolizí nutno použít některý z mechanismů řízení přístupu na médium. Na výběr máme přístup na základě

## 1 OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ



Obrázek 1.1: Grafické znázornění architektury optických sítí (Wikipedia, 2014)

časového multiplexu (TDMA) nebo vlnového multiplexu (WDMA). (Lam, 2007; Heliotis – Chochliouros, 2010)

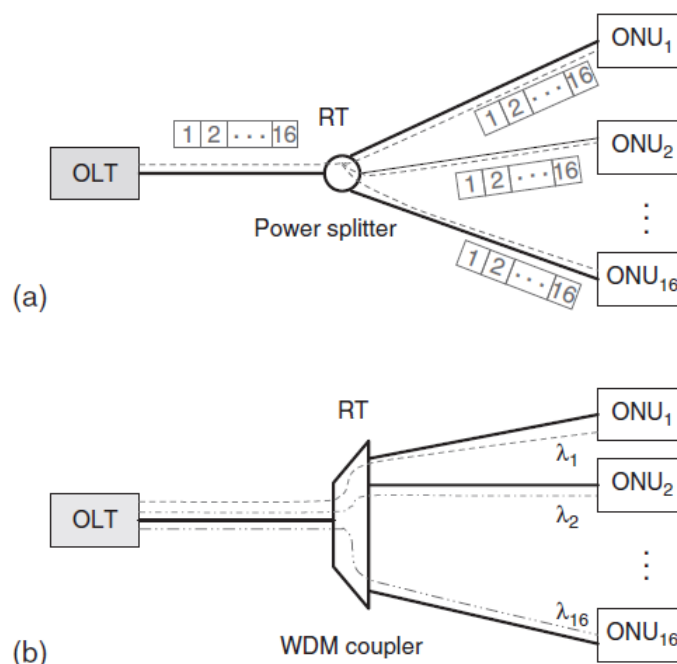
### 1. TDMA

Tento přístup využívá pro rozdělení signálu pasivní rozbočovač. Signál je rozdělen do časových intervalů, kdy každý účastník má přidělen jeden a může tak komunikovat pouze v určitém přiděleném čase (obrázek 1.2a).

### 2. WDMA

Přístup využívající k rozdělení signálu WDM vazební člen a signál pro různé ONU jednotky je přenášen po jiné vlnové délce. Toto nám umožňuje dosáhnout vyššího „soukromí“ a lepší rozšířitelnosti. Bohužel nám to ale systém významně prodražuje (obrázek 1.2b).

Kromě výše uvedeného je třeba také vyřešit otázku přenosu informací oběma směry. Na výběr máme sice několik možností, ale zpravidla je ve většině případů použit princip duplexního dělení na základě vlnové délky (WDM). To znamená, že signál je v obou směrech přenášen po stejném vlákně, ale pro každý směr je použita odlišná vlnová délka. V praxi je nejčastěji aplikováno rozdělení, kdy pro data k uživateli (downstream) je použito 1490 nm, od uživatele (upstream) 1310 nm a navíc ještě může být použito 1550 nm pro přenos televizního vysílání směrem k uživatelům.



Obrázek 1.2: Architektura přístupu (a)TDMA a (b) WDMA (Lam, 2007)

## 1.2.2 Architektura sítě

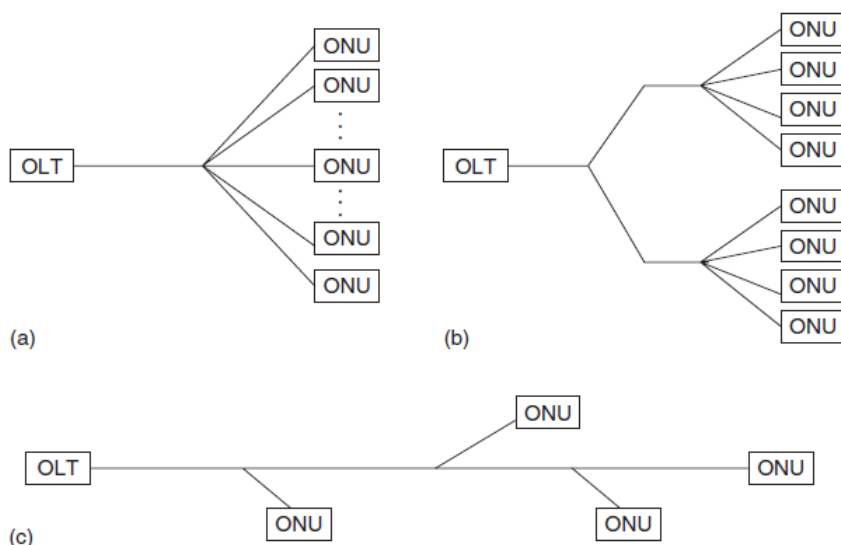
Výhodou pasivních sítí je sdílení nákladů a šířky pásma OLT jednotky mezi více koncových účastníků, k čemuž se s úspěchem využívá pasivního dělení signálu v zařízeních nazývaných *splitter*. V podstatě se jedná o rozdělení signálu z jednoho vstupního vlákna do více směrů. Možností jak tento signál rozdělit je několik, od jednostupňového dělení (obrázek 1.3a), přes vícestupňové (obrázek 1.3b) až po extrémní případ, kdy použijeme dělení sběrníkové s poměrem 1:2 (obrázek 1.3c). Použití konkrétní architektury dělení vždy závisí na podmínkách prostředí, ve kterém chceme systém instalovat a našich možnostech na správu a náklady na zařízení. Je třeba ovšem mít na paměti, že zařazením splitteru zanášíme do přenosového prostředí další ztráty, tudíž čím více rozbočení použijeme, tím větší ztráty se nám na trase objeví. To poté způsobuje, že trasa k „nejvzdálenějším“ zařízením bude ztrátami zatížena nejvíce, což při špatném návrhu sítě může vést k větší chybovosti. Teoretická hodnota těchto ztrát pro dělení 1:N je uvedena ve vzorci 1.1.

$$10 \cdot \log(N) \quad [dB] \quad (1.1)$$

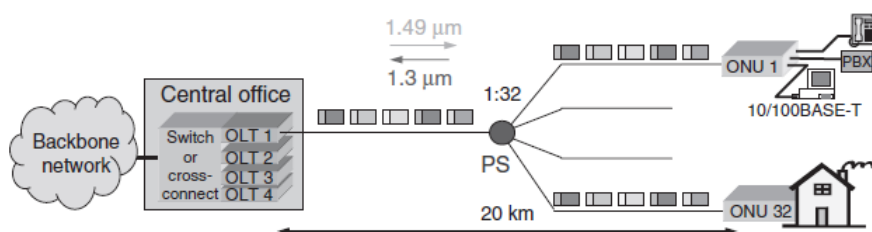
V komerčních pasivních sítích se nejčastěji používá dělicí poměr 1:16 nebo 1:32, kdy při větších dělicích poměrech se nám rychleji vrátí náklady na OLT jednotky. Dělicí poměr



## 1 OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ



Obrázek 1.3: Možnosti dělení: (a) jednostupňové, (b) vícestupňové a (c) sběrníkové (Lam, 2007)



Obrázek 1.4: Standardní komerční architektura TDM-PON (Lam, 2007)

ovšem nejde zvyšovat do nekonečna, jelikož to na druhou stranu zase přináší daleko vyšší nároky na vysílací výkony, citlivost přijímačů, kvalitu jednotlivých komponentů a v neposlední řadě také kvalitu samotných optických vláken. Studiemi bylo prokázáno, že ekonomicky nejvýhodnější poměr se pohybuje kolem 1:40. (Lam, 2007).

Na obrázku 1.4 je znázorněna standardní architektura PON sítě využívající přístup na médium na základě časového dělení a rozbočení pro 32 koncových účastníků (ONU jednotek). Samotná ONU může obsahovat několik účastnických portů, například jeden pro data a další pro hlasové služby. Maximální pokrytá vzdálenost je řádově deset až dvacet kilometrů.

### 1.3 Dostupné normy PON

V dnešní době existuje několik typů pasivních optických sítí. Některé z nich jsou vyvíjeny a definovány organizací ITU-T, jiné pro změnu spadají pod křídla organizace IEEE.

## 1 OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ

---

V následujících kapitolách jsou uvedeny stručné charakteristiky každého standardu.

### 1.3.1 APON

Jedná se o jeden z prvních standardů pasivních optických sítí, který je založen na technologii ATM (ATM based PON). Standard byl vytvořen již v roce 1998 pod označením ITU-T G.983. V novějších revizích tohoto standardu je místo APON používán pojem BPON (Broadband PON), který je založen na tom původním, ale dále jej rozšiřuje. Dostupné přenosové rychlosti pro oba směry uvedené v tabulce 1.2 jsou získány jako násobky 8 kHz a mohou být symetrické nebo asymetrické. Maximální vzdálenost je 20 kilometrů. (ITU-T, 2005)

Směr	Rychlost
Downstream	155,52 Mb/s
	622,08 Mb/s
	1244 Mb/s
Upstream	155,52 Mb/s
	622,08 Mb/s

Tabulka 1.2: Kombinace přenosových rychlostí APON

### 1.3.2 GPON

Během rozvoje sítí se ATM nestalo univerzálním síťovým protokolem, jak všichni očekávali. Místo toho se začali více prosazovat protokoly založené na IP a Ethernetu. Jako reakce na tyto změny ITU-T vydala standard G.984 pro PON síť schopnou přenosu gigabitových rychlostí (Gigabit Capable PON). Došlo zde ke zvýšení rychlostí, které jsou opět získány násobkem 8 kHz a mohou být symetrické i asymetrické:

- Downstream: 1244,16 Mb/s a 2488,32 Mb/s
- Upstream: 155,52 Mb/s, 622,08 Mbit/s, 1244,16 Mb/s a 2488,32 Mb/s

Kromě těchto výše uvedených změn je v této verzi možno zvolit přenosovou technologii druhé vrstvy, jako například ATM nebo Ethernet a je zde řešeno i zabezpečení. (ITU-T, 2008)

## 1 OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ

---

### 1.3.3 EPON

Díky rozšíření Ethernetu do všech druhů sítí od transportních až po přístupové se začala rozvíjet pasivní optická síť založená na Ethernetu označovaná jako EPON nebo někdy i GEPON. Standard této sítě není tentokrát dílem organizace ITU, ale je za něj zodpovědná organizace IEEE, která jej vydala v roce 2004 jako rozšíření standardu Ethernet (802.3) pod označením 802.3ah. Standard EPON nabízí symetrickou rychlost 1244,16 Mb/s a existuje u něj několik variant, kdy poslední dvě byly doplněny až v roce 2013 v rámci aktualizace doporučení pod označením 802.3bk:

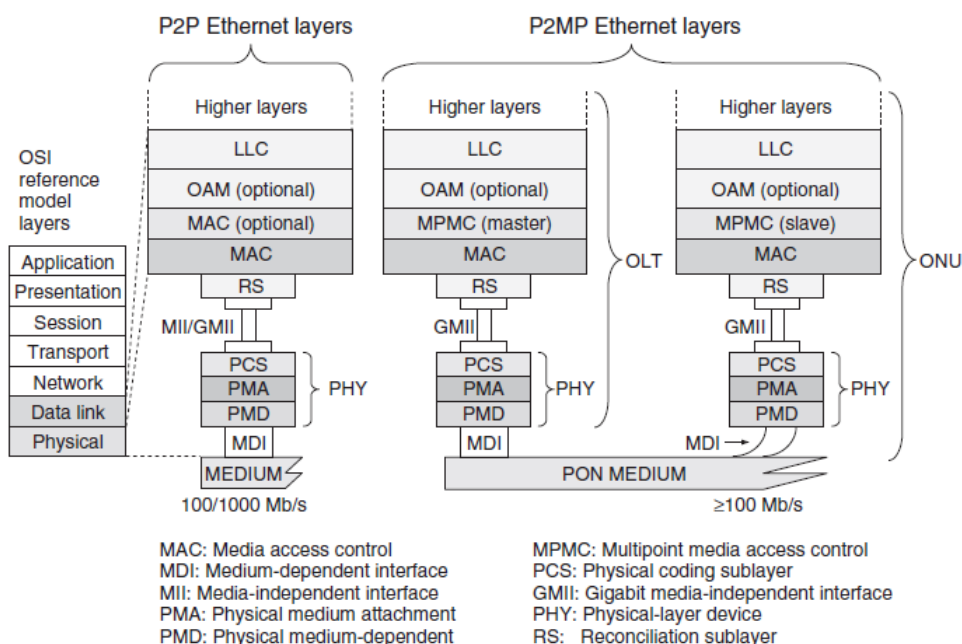
- **1000BASE-PX-10** umožňuje přenos na vzdálenost deseti kilometrů s minimálním dělicím poměrem 1:16,
- **1000BASE-PX-20** dosahuje do vzdáleností až dvaceti kilometrů při minimálním dělicím poměru 1:16,
- **1000BASE-PX-30** přenos na vzdálenost až dvaceti kilometrů při minimálním dělicím poměru 1:32,
- **1000BASE-PX-40** vzdálenost až dvaceti kilometrů při minimálním dělicím poměru 1:64.

Architektura Ethernetové vrstvy PON pokrývá stejně jako u klasického Ethernetu první (fyzickou) a druhou (linkovou) vrstvu referenčního modelu ISO OSI (viz. obrázek 1.5). Samotná struktura těchto vrstev je velice podobná a liší se například tím, že fyzická vrstva je k linkové připojena přes gigabitové media independent rozhraní (GMII) zatímco u standardního Ethernetu je to „jen“ media independent rozhraní (MII). Jelikož se u EPON jedná o spojení typu bod – více bodů, je volitelná podvrstva MAC nahrazena povinnou vrstvou MPMC, která pomocí multipoint control protokolu (MPCP) provádí řízení přístupu jednotlivých ONU jednotek na sdílené médium.

### 1.3.4 10G-EPON

Dalším vývojovým stupněm předchozího standardu je 10 Gigabit Ethernet PON, vydaný organizací IEEE v roce 2009 jako doplněk označený 802.3av. Dochází zde ke zvýšení rychlosti na 10 Gb/s, která může být symetricky v obou směrech. Spíše se ale používá asymetrická varianta, kdy pro upstream je použito rychlosti 1244,16 Mb/s. Samozřejmostí je zachování zpětné kompatibility s předchozím standardem a možnost souběžného provozu obou verzí na jednom vlákně. Z tohoto důvodu jsou použity další vlnové délky pro rozlišení mezi oběma typy (obrázek 1.6). Pro downstream je u původní EPON použito

## 1 OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ



Obrázek 1.5: Porovnání vrstev standardního Ethernetu a EPON (Lam, 2007)

pásmo 1480–1500 nm, kdežto u 10GEPON se využívá pásmo 1575–1580 nm. U upstreamu jsou pak jednotlivé signály odděleny pomocí časového multiplexu a používá se pro ně pásmo v okolí 1300 nm (1260–1360 nm). (IEEE, 2009; Lafata, 2011)

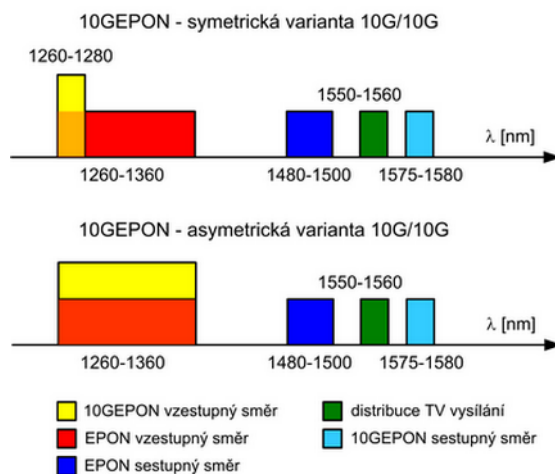
### 1.3.5 10G-PON

Ani organizace ITU-T nechtěla s vývojem zaostat a proto vydala v roce 2010 normu označenou ITU-T G.987, ve které navyšuje rychlost z dosavadních 1 Gb/s na 10 Gb/s, která může být pro oba směry rozdělena symetricky i asymetricky. Samozřejmostí je zachování zpětné kompatibility s předchozí verzí, k čemuž je použit stejný princip i podobné vlnové délky jako u standardu konkurenční organizace. Mimoto je zde také definován maximální dosah dvacet kilometrů (uvažuje se o rozšíření až na čtyřicet kilometrů) a maximální poměr rozbočení byl navýšen z původních 64 na 256. (ITU-T, 2010)

## 1.4 Služby Triple play

V minulosti existovaly oddělené sítě pro telekomunikační služby, televizní vysílání i datové služby. V současné době vede spíše trend slučovat tyto sítě do jedné společné infrastruktury, a proto se začalo hovořit o takzvaných službách triple play. Tento pojem je spíše marketingové pojmenování „balíku“ kompletních služeb, které internetoví

## 1 OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ



Obrázek 1.6: Rozdělení spektra pro souběžný provoz EPON a 10GEPON (Lafata, 2011)

poskytovatelé (ISP) nabízejí a distribuují k zákazníkovi přes jedno širokopásmové připojení. Zpravidla se jedná o služby telefonní (nejčastěji VoIP), přenos televizního vysílání (IPTV, VoD, CATV) a vysokorychlostní přenos dat. Hlavní výhodou při použití optických sítí je pro ISP jednotná infrastruktura, která zabezpečí distribuci všech služeb najednou přes sdílené médium. Naopak zákazník, který bude využívat všechny služby, může těžit z nižších cen oproti kombinaci samostatných služeb. Nicméně distribuce všech těchto služeb přes společné médium definuje požadavek na jejich kvalitu (QoS), kdy musíme brát v úvahu kritické parametry jednotlivých služeb, abychom zákazníkovi doručili služby v požadované kvalitě definované v rámci SLA. (Horváth et al., 2013)

### 1.4.1 Hlas

Hlasové služby jsou v tomto případě zpravidla řešeny pomocí přenosu přes IP prostředí (VoIP), což je technologie přenášející digitalizovaný hlas za pomoci IP paketů. Samotný hlas je v tomto případě kódován pomocí některého z kodeků, jejichž přehled je uveden v tabulce 1.3. Kromě názvu kodeku je zde uveden nárok na šířku pásma a hodnocení kvality příslušných kodeků pomocí takzvaného Mean Opinion Score (MOS), u kterého se používá stupnice od jedné do pěti, kde hodnota jedna znamená nejhorší hodnocení a pět je nejlepší.

Jelikož je při přenosu hlasu v paketově orientovaných sítích naším cílem poskytnout hovor v reálném čase (real time), je potřeba při návrhu sítě vzít v úvahu některé kritické parametry, na které je tento přenos citlivý. Především je potřeba zabezpečit nízké zpoždění, kdy je třeba brát v úvahu nejen zpoždění způsobené síťovými zařízeními při přenosu

## 1 OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ

---

Kodek	Kódování	Šířka pásma [kb/s]	MOS	Zpoždění kodeku [ms]
G.711	PCM	64	4,2	0,125
G.723.1	MP-MLQ	5,33	3,65	37,5
G.723.1	ACELP	6,4	3,9	37,5
G.726	ADPCM	32	3,85	10
G.728	LD-CELP	16	3,61	0,625
G.729	CS-ACELP	8	3,92	15

Tabulka 1.3: Přehled používaných VoIP kodeků

paketů, ale také zpoždění použitého kodeku. Doporučení ITU-T G.114 definuje rozsahy zpoždění následovně:

- **0–150 ms** – vyhovující,
- **150–400 ms** – přijatelné,
- **nad 400 ms** – nepřijatelné.

Mimo nízkého zpoždění je potřeba zabezpečit i jeho nízké kolísání, které lze minimalizovat zavedením vhodných mechanismů kvality služeb (QoS) a také nízkou ztrátovost paketů na síti. Pokud jde o šířku pásma, tak přenos hlasu na ni nemá velké nároky, pouze je jí třeba zabezpečit určitou prioritu.

### 1.4.2 Video

Přenos videa v optické přístupové síti může být řešen dvěma způsoby, které se od sebe principiálně odlišují. Jedním z nich je použití odlišné vlnové délky pro televizní vysílání, kdy je tento přenos pouze jednosměrný od poskytovatele k zákazníkovi (CATV). Druhý způsob spočívá v přenosu tohoto vysílání přes klasické IP prostředí, kdy dochází k zapouzdření signálu do paketů a pro jeho přehrávání na televizi je potřeba speciálního zařízení (IPTV). Výhodou druhé varianty je obousměrná komunikace, kdy zákazník má možnost vytvořit si nabídku na míru, individuálně si vybrat konkrétní obsah (takzvané VoD), interaktivně reagovat, zastavovat a přetáčet scény.

Stejně jako u přenosu hlasu, je i u videa potřeba pomocí různých mechanismů QoS zabezpečit kritické parametry sítě, mezi něž patří nízké ztráty, kolísání zpoždění a požadovaná šířka pásma. Velikost této šířky je závislá na používaném kódování (MPEG-2, MPEG-4) a zda se jedná o video v nízkém či vysokém rozlišení.

## 1 OPTICKÉ PŘÍSTUPOVÉ SÍŤ

---

### 1.4.3 Data

Poslední službou v tomto balíku je vysokorychlostní přenos dat, který mívá zpravidla nejnižší prioritu a jehož šířka pásma nebývá garantována. Většinou se zde ani neaplikují žádné metody řízení kvality služby a využívá se tedy přístupu „Best Effort“.

### 2 Doporučení a standardy pro analýzu Ethernetu

Na trhu komunikačních technologií existuje velká řada firem, které se zabývají vývojem a výrobou síťových zařízení. V minulosti se tito výrobci snažili při prodeji svých zařízení zaujmout na trhu co nejlepší postavení a proto se mnozí z nich snažili vylepšit svá zařízení před spotřebiteli pomocí různých matoucích pojmů, nejednoznačnými parametry a výsledky testů a dalšími triky. Proto je potřeba vytvářet různá doporučení definující jednotlivé parametry, pojmy, jejich jednotky a metodiku testování, které v konečném výsledku spotřebitelům umožňují mimo jiné i porovnávat zařízení různých výrobců.

#### 2.1 RFC 1242

Jedná se o dokument z roku 1991 vydaný pracovní skupinou IETF zabývající se metodikou testování. V dokumentu jsou obsaženy definice pojmů případně i jejich jednotek, které jsou používány v ostatních doporučeních popisujících výkonnostní testy a jejich výsledky. Tím je nám umožněna možnost porovnávání parametrů výrobků napříč různými výrobci a jejich jednoznačná interpretovatelnost. (Bradner, 1991)

#### 2.2 RFC 2544

Tento dokument z roku 1999 nahrazující starší RFC 1444 z roku 1996. Zabývá se popisem testů používaných pro výkonnostní charakteristiky síťových zařízení. Navíc také popisuje specifický formát prezentace výsledků těchto testů. Pro zvýraznění významnosti některých požadavků na testování jsou použity následující klíčová slova:

- *MUST (REQUIRED)* – značí položku nezbytně nutnou.
- *SHOULD (RECOMMENDED)* – za určitých okolností je možno položku vynechat.
- *MAY (OPTIONAL)* – položka je pouze volitelná.

Pokud při testu nějakého parametru nedojde ke splnění všech nezbytně nutných (*MUST*) položek, bere se tento parametr jako nevyhovující. Při splnění všech *MUST* i *SHOULD* se jedná o nepodmínečně vyhovující a v případě všech *MUST*, ale ne všech *SHOULD* je parametr vyhovující s podmínkou.

Budeme-li hovořit o testovacím zařízení, tak v ideálním případě by mělo obsahovat jak vysílací, tak i přijímací porty. To znamená, že testovací zařízení vyšle data ze svého vysílacího portu, tyto data jsou přijata vstupním portem testovaného zařízení, zpracována a opouští toto zařízení jeho výstupním portem. Následně jsou zachycena přijímacím portem testovacího přístroje. Tento přístup zabezpečuje jednodušší vyhodnocení, jelikož



## 2 DOPORUČENÍ A STANDARDY PRO ANALÝZU ETHERNETU

---

samotný tester má přehled o tom, kolik dat vyslal a následně přijal. Pokud toto nelze z nějakého důvodu splnit, lze použít i dvě různá zařízení, kdy je ale potřeba, aby jedno bylo vzdáleně kontrolováno tím druhým.

Samotné testované zařízení musí splňovat určité podmínky. Především je potřeba mít povoleny všechny protokoly, které je zařízení schopno zpracovávat. Dále se očekává, že během testu nedojde k žádné změně konfigurace zařízení nebo jiné změny. Ve výsledném hodnocení pak musí být uvedena verze SW zařízení, jeho nastavení včetně uvedení funkcí, které byly vypnuté.

V doporučení je například také specifikován formát a velikost testovacích rámců, kdy by mělo být použito minimálně pět různých velikostí rovnoměrně rozložených mezi minimální a maximální velikost rámce pro dané médium. Pro Ethernet by měly být velikosti rámců následující:

64, 128, 256, 512, 1024, 1280, 1518.

V příloze tohoto doporučení lze nalézt formát těchto testovacích rámců pro protokol TCP/IP přes Ethernet, které mohou být využity i jako vzor pro jinou kombinaci protokolů. Testovací zařízení by také mělo umět zahazovat rámce, které se během testu na zařízení objeví, ale s testováním nesouvisí, a proto by neměly být započítávány do statistik. Jsou to například různé keep-alive zprávy či aktualizace směrovacích protokolů a podobně. Na druhou stranu je ale potřeba vyhodnocovat, zdali nám testovaným zařízením prošly všechny testovací rámce, případně kolik se jich po cestě ztratilo.

Všechny testy jsou tvořeny několika pokusy, kdy každý můžeme rozdělit do několika fází:

- Jedná-li se o směrovač, pošleme na jeho vstup „routing update“ a vyčkáme dvě sekundy abychom měli jistotu, že byl tento update zpracován.
- Na výstup pošleme rámce zajišťující aktualizaci ARP tabulek a opět vyčkáme dvě sekundy.
- Spustíme test.
- Po jeho skončení počkáme dvě sekundy, abychom měli jistotu, že všechny rámce dorazí.
- Poté necháme minimálně pět vteřin testované zařízení stabilizovat.

Každý test by měl trvat alespoň šedesát sekund a je potřeba otestovat oba směry přenosu. (Bradner – McQuaid, 1999)

## 2 DOPORUČENÍ A STANDARDY PRO ANALÝZU ETHERNETU

---

### 2.2.1 Test propustnosti

Pojem propustnost je dle definice v RFC 1242 (Bradner, 1991) maximální rychlost, při které zařízení stíhá bez problémů obsluhovat příchozí datový tok a nedochází tak k zahazování rámců. Samotný test spočívá v posílání specifického počtu rámců určitou rychlostí na vstup testovaného zařízení a následném vyhodnocení rámců získaných na výstupu tohoto zařízení. Při ztrátě některého z rámců dojde na vstupu ke snížení rychlosti a naopak, jestliže se počet vstupních i výstupních rámců neliší, rychlost se zvýší. Výsledná propustnost je poté dána maximální rychlostí, při které ještě nedošlo ke ztrátě žádných dat. (Bradner – McQuaid, 1999)

Pokud jde o výsledky testu propustnosti, měly by být zobrazeny v podobě grafu s osou  $x$  zobrazující velikost rámců a osou  $y$  znázorňující rychlost. Samotný graf by měl minimálně zobrazovat teoretickou rychlost média pro různé velikosti rámců a samozřejmě také zjištěné výsledky testu. Navíc by mělo být v doplňujícím textu uvedeno, jaký byl použit protokol, formát dat a v neposlední řadě i typ média. Kromě výše uvedeného musí prohlášení o výkonu zahrnovat:

- maximální změřenou rychlost,
- použitou velikost rámců,
- teoretický limit přenosového média pro tuto velikost,
- použitý protokol.

### 2.2.2 Test ztrátovosti

Ztrátovost značí procento rámců, které měly být za normálních podmínek bez problémů odeslány, ale vlivem nedostatku systémových zdrojů (například při přetížení) k tomu nedošlo (Bradner, 1991).

Na testované zařízení pošleme danou rychlostí určitý počet rámců a na jeho výstupu spočítáme rámce, které byly přeneseny. Ztrátovost je poté vypočítána dle vzorce 2.1.

$$FLR = \frac{FS - FR}{FS} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.1)$$

Kde:  $FLR$  – ztrátovost udaná v procentech,

$FS$  – počet rámců na vstupu,

$FR$  – počet rámců na výstupu.

## 2 DOPORUČENÍ A STANDARDY PRO ANALÝZU ETHERNETU

---

V první fázi bychom měly rámce zasílat maximální (100%) rychlostí pro danou velikost rámců a typ média. V dalším kroku opakujeme s rychlostí 90% a případně ji dále snižujeme o maximální krok 10% (krok může být samozřejmě i menší) až do doby, kdy dostaneme dvě periody bez ztráty rámců. (Bradner – McQuaid, 1999)

Výsledky ztrátovosti bychom měli zobrazit v grafu, kde může být současně zobrazeno více křivek pro různé velikosti rámců a protokolů. Pokud tak učiníme, označení os musí být následovné:

- osa  $x$  značí vztah rychlosti vysílaných rámců k teoretické rychlosti média vyjádřený v procentech (pro danou velikost rámce)
- osa  $y$  udává zjištěnou ztrátovost v procentech

### 2.2.3 Test zpoždění

Zpoždění je obecně dáno dobou průchodu signálu ze vstupu zařízení na jeho výstup. Definice zpoždění v RFC 1242 (Bradner, 1991) rozlišuje, zdali se jedná o zařízení typu „store and forward“ nebo zařízení pracující s jednotlivými bity. V prvním případě se jedná o časový interval mezi posledním bitem rámce na vstupu a jeho prvním bitem na výstupu. V druhém případě jde o rozdíl doby, kdy na vstup dorazí první bit rámce a doby objevení se tohoto prvního bitu na výstupu.

Před tímto testem musíme mít již otestovány propustnost pro definované rámce, jelikož na testované zařízení zasíláme datový tok touto zjištěnou rychlostí. Tento tok by měl trvat minimálně 120 sekund, po šedesáti sekundách bychom zde měli vložit testovací rámec s identifikační značkou a jakmile dojde k jeho úplnému odeslání, je potřeba zaznamenat čas odchodu. Logika přijímacího zařízení musí tento rámec rozpoznat a zaznamenat čas jeho příchodu. Zpoždění je poté definováno jako rozdíl těchto dvou časů. Test provádíme opakovaně minimálně dvacetkrát a výsledná hodnota zpoždění je dána aritmetickým průměrem dílčích měření.

Výsledky měření musí obsahovat která definice zpoždění byla dle RFC 1242 (Bradner, 1991) použita a měly by být prezentovány formou tabulky, obsahující v řádcích velikosti testovaných rámců a ve sloupcích rychlost vysílaných rámců, použité médium a výsledná hodnota zpoždění. (Bradner – McQuaid, 1999)

### 2.2.4 Test zatížitelnosti

Testování probíhá způsobem, kdy se na zařízení vyšle skupina rámců s minimálními rozestupy a sleduje se počet, který se dostane přes zařízení. Pokud je tento počet shodný,

## 2 DOPORUČENÍ A STANDARDY PRO ANALÝZU ETHERNETU

---

zvýší se délka vyslaného burstu a naopak. V podmínkách testu je udáno, že délka periody musí být minimálně dvě sekundy a měla by být opakována nejméně padesátkrát. Výslednou hodnotou je číslo zjištěné aritmetickým průměrem jednotlivých měření, které udává počet rámců nejdelšího burstu přeneseného bez ztráty.

Prezentace výsledků by měla být formou tabulky, kde na každém řádku bude použita velikost rámce a tomu bude ve sloupci odpovídat zmíněná průměrná hodnota. (Bradner – McQuaid, 1999)

### 2.3 ITU-T Y.1564

Tato norma vznikla v roce 2011 jako potřeba reagovat na prudký rozvoj přenosu několika služeb v sítích založených na Ethernetu a definovat pro ně metodiku testování. Zastaralé RFC 2544 totiž nezná některé parametry, které jsou důležité pro vybranou skupinu služeb, jako například kolísání zpoždění, které je kritické pro real-time přenosy a podobně. Kromě výše uvedeného je RFC 2544 určeno spíše pro laboratorní testování síťových zařízení, kdežto ITU-T Y.1564 vzniklo hlavně pro potřebu testování dostupnosti služeb a ověřování deklarovaných parametrů SLA v reálném provozu. V dokumentu je navíc oproti RFC 2544 definován pojem profil šířky pásma, který obsahuje následující základní přenosové parametry:

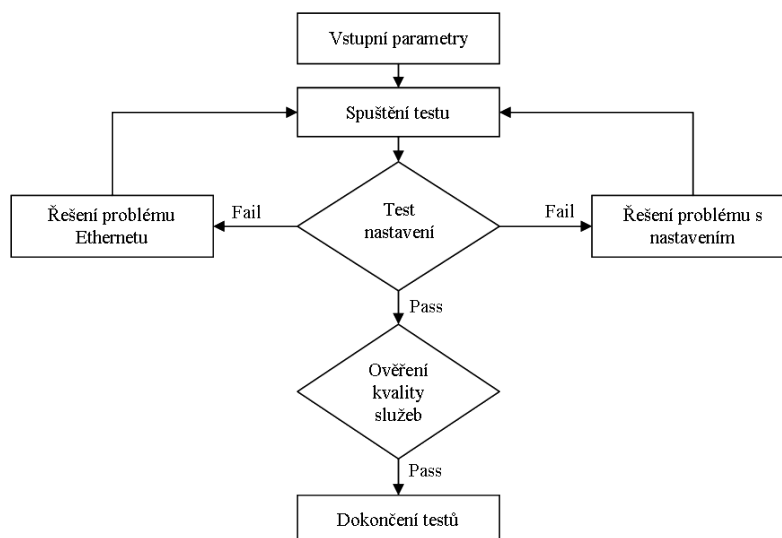
CIR – povolená šířka, neboli rychlost zaručující splnění SLA parametrů pro danou službu

EIR – nadbytečná šířka pásma nacházející se nad CIR, která může být k dispozici v závislosti na objemu provozu v síti.

Uvažovaná architektura testování by, v souladu s metodikou uvedenou v této normě, měla být schopna provést test mezi dvěma testovacími zařízeními, kdy jedno bude umístěno na vstupu do sítě (nejspíše u poskytovatele) a druhé pak na jejím výstupu u zákazníka. Tímto způsobem je dosaženo nejpresnějších výsledků. Naneštěstí může nastat situace, kdy toto řešení není z nějakého důvodu možné. Například pokud zařízení ve vzdáleném měřícím bodě nepodporuje tuto sadu testů. V tomto případě je možno využít takzvanou loopback funkci vzdáleného zařízení, která nám dokáže podle určitých pravidel přeměřovat data přicházející z testovacího zařízení zpět. Samotné vyhodnocení pak v tomto případě provádí pouze měřící přístroj na vstupu sítě a jedná se o takzvané round-trip testování. Při tomto způsobu měření je ovšem třeba mít na paměti následující omezení:

- testování přetížení na sdíleném zařízení může ovlivnit výkon ostatních služeb,

## 2 DOPORUČENÍ A STANDARDY PRO ANALÝZU ETHERNETU



Obrázek 2.1: Dvoustupňová metodika testování EtherSAM

- jestliže se nejedná o symetrickou rychlost linky, nastavení QoS či profil šířky pásma, chyba měření pak může nastat v kterémkoli parametru,
- nemusí být spolehlivé a ne vždy je přesné.

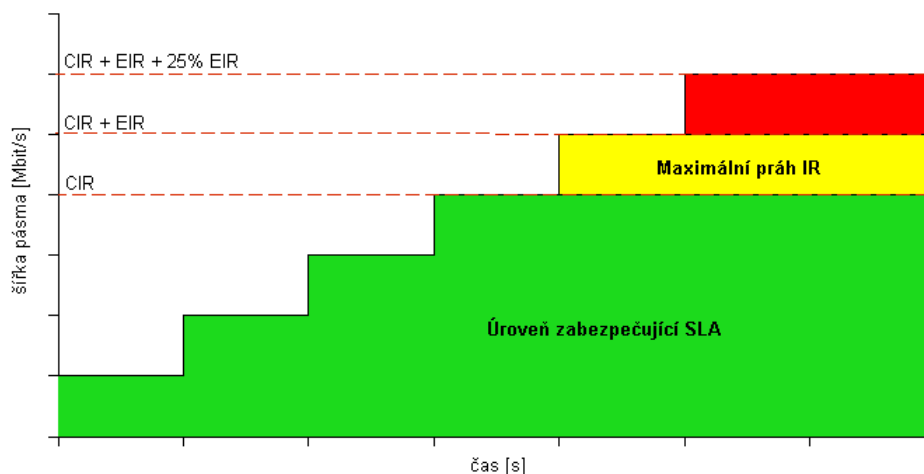
Metodika uvedená v doporučení má dvě hlavní fáze, kterými jsou ověření konfigurace služeb a ověření kvality jejich distribuce směrem ke koncovému uživateli. Zmíněný přístup je znázorněn na obrázku 2.1. V konfiguračním testu se musí otestovat všechny důležité parametry, čímž ověříme, že nastavení všech definovaných Ethernet služeb je správné. Tímto postupem zajistíme zamezení plýtvání časem, jelikož tato první část je na rozdíl od té druhé velmi rychlá.

V obou testech můžeme použít buď konstantní velikost rámců, které lze vidět v tabulce 2.1, nebo vzorek různých velikostí. Pro první test je výchozí velikost nastavena na 512 bytů, ale samozřejmě můžeme využít jakoukoli jinou velikost. Kromě toho je povoleno použít i vzorek stejných nebo náhodně vybraných velikostí. Při použití vzorku náhodně vybraných velikostí se ale musí posloupnost jednotlivých rámců opakovat stále stejně, takzvaný EMIX.

a	b	c	d	e	f	g	h	u
64	128	256	512	1024	1280	1518	MTU	uživatelské

Tabulka 2.1: Velikost Ethernet rámců pro testování (v bytech)

## 2 DOPORUČENÍ A STANDARDY PRO ANALÝZU ETHERNETU



Obrázek 2.2: Skoková změna zátěže při testu ověření konfigurace

### 2.3.1 Ověření konfigurace služeb

Cílem tohoto testu je ověření, že služby jsou nastaveny správně. Každá služba musí být otestována samostatně a může být při tom využito skokové změny zátěže k plynulému dosažení a následně překročení parametru CIR (viz. obrázek 2.2).

Samotná testovací procedura se skládá z několika povinných či volitelných kroků, kdy z každého se vybere pouze jedna varianta. Jednotlivé kroky jsou uvedeny níže:

#### 1. Test nastavení parametru CIR

##### (a) Jednoduchý test ověření parametru CIR

- nastavíme požadované parametry
- přenášíme rámce v konstantním intervalu na hodnotě CIR a měříme přijímané parametry IR, FLR, FTD a FDV
- pokud jsou tyto parametry mimo limity, je potřeba vyhledat a vyřešit závadu a následně provést opakování testu od druhého kroku nebo přejít k testu se skokovou změnou zátěže
- pokud naopak vše vyhovuje, je test hodnocen jako *PASS* a můžeme přistoupit k dalšímu kroku

##### (b) Test ověření parametru CIR se skokovou změnou zátěže

- nastavíme parametry
- rámce přenášíme na hodnotě 25% CIR a měříme přijímané parametry

## 2 DOPORUČENÍ A STANDARDY PRO ANALÝZU ETHERNETU

---

- pokud je vše v pořádku, postupně zvyšujeme rychlost na 50%, 75% a 100% (je možno použít i jiný krok), kdy v každém z nich kontrolujeme parametry. Jsou-li všechny v pořádku, je opět hodnocen jako *PASS* a pokračujeme dále.

### 2. Test nastavení parametru EIR (varianta bez barevného označování rámců)

Pokud je parametr EIR roven nule, pokračujeme testem traffic policing

- do měřicího bodu přenášíme rámce informační rychlostí danou součtem CIR a EIR v konstantních intervalech
- měříme přijímanou rychlost IR v bitech za sekundu a dále ztrátovost, zpoždění a variabilitu zpoždění pro všechny rámce
- projdeme-li dle vzorce 2.2 tímto testem, pokračujeme k dalšímu kroku, v opačném případě je potřeba odstranit problém a pokračovat znovu od bodu A

### 3. Test nastavení traffic policing (varianta bez barevného označování rámců)

- rámce ze zdroje přenášíme rychlostí danou součtem CIR a 125%EIR opět s neměnným intervalem
- měříme rychlost IR v bitech za sekundu a dále ztrátovost, zpoždění a variabilitu zpoždění
- zjistíme-li dle vzorce 2.3, že jsme vyhověli tomuto kroku celý test končí. V opačném případě je potřeba odstranit problém a pokračovat znovu od bodu 1

### 4. Test nastavení CBS a EBS (volitelný)

Jedná se o otestování povolené a nadbytečné velikosti burstů. Tyto dva testy jsou ale zatím považovány jako experimentální a můžou být provedeny pouze pro informaci. Detaily lze nalézt v příloze číslo 1 dokumentu ITU-T Y.1564. (ITU-T, 2011)

$$CIR \cdot (1 - FLR_{SAC}) \leq IR_T \leq CIR + EIR \quad (2.2)$$

$$CIR \cdot (1 - FLR_{SAC}) \leq IR \leq CIR + EIR + M \quad (2.3)$$

Po projití všech kroků tohoto testu je potřeba vyhotovit zápis, který musí obsahovat všechny důležité parametry testu, jako například profily šířek pásma, použité rámce, kritéria a ostatní parametry. Příklad prezentace výsledků je uveden v příloze číslo 2 normy ITU-T Y.1564. (ITU-T, 2011)

## 2 DOPORUČENÍ A STANDARDY PRO ANALÝZU ETHERNETU

---

### 2.3.2 Ověření kvality služeb

Jakmile máme ověřeno, že pro zabezpečení přenosu služeb založených na Ethernetu jsou všechny parametry nastaveny správně, můžeme přistoupit k výkonnostnímu testu kontrolujícímu kvalitu služeb. Podmínkou testu je, že všechny požadované služby musí být generovány naráz s rychlostmi nastavenými na jejich požadované hodnotě CIR. Následně by mělo probíhat měření parametrů všech služeb najednou.

#### 1. Doba trvání testu

Doba trvání testu by měla být vhodně zvolena, kdy nejlepší je vybrat tuto dobu v závislosti na rozlehlosti testované sítě. Je možno použít různou dobu dle potřeby, ale dle specifikace v ITU-T Y.1564 (ITU-T, 2011) musí měřící přístroje umožnit použít minimálně tyto tři periody:

- 15 minut
- 2 hodiny
- 24 hodin

Konkrétním příkladem může tedy být perioda délky patnácti minut pro služby v menších sítích jednoho operátora, dvou hodin pro rozlehlejší sítě a celý den, pokud služby přenášíme přes sítě několika operátorů. Samozřejmostí také je, že testovat bychom měli oba směry přenosu.

#### 2. Výsledky testu

Protokol o výsledcích testu by měl obsahovat informaci o základních parametrech linky a profilech šířky pásma. Vyjímkou je, pokud děláme společný protokol pro test nastavení i test kvality, kde je již toto uvedeno u testu nastavení. Kromě toho je potřeba informovat o použité délce testování, dostupnosti jednotlivých služeb a informaci o úspěšnosti testu (*PASS / FAIL*). Dále je třeba prezentovat následující zjištěné parametry:

- minimální, průměrná a maximální informační rychlost (IR),
- počet ztracených rámců a z toho vyplývající ztrátovost (FLR),
- minimální, průměrné a maximální zpoždění (FTD),
- minimální, průměrná a maximální doba variability zpoždění (FDV).

Příklad formátu prezentace těchto výsledků je opět uveden v příloze 2 normy ITU-T Y.1564. (ITU-T, 2011)

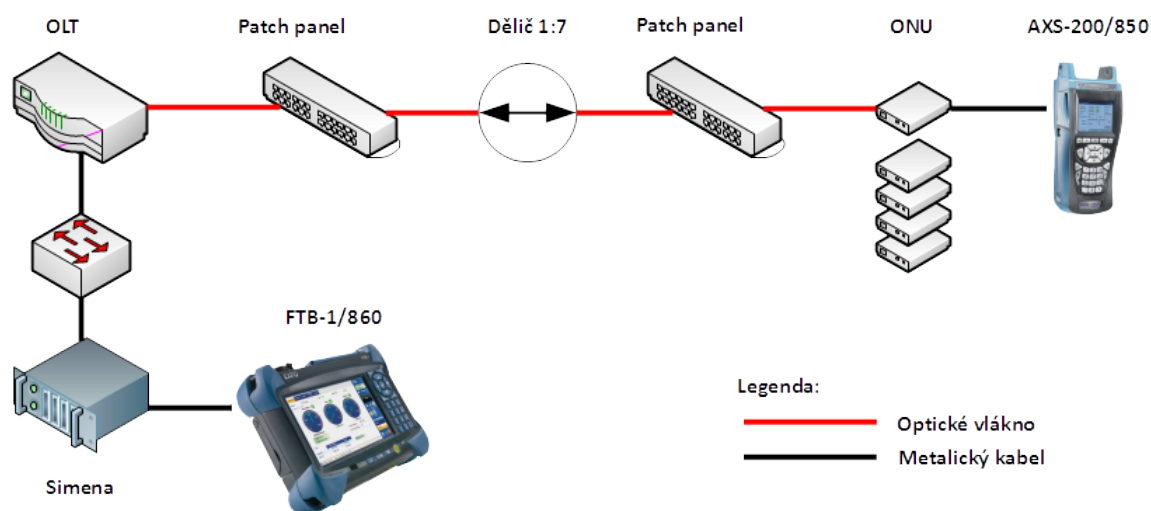


## 3 Měření PON sítě

V této části diplomové práce provedu seznámení se samotným měřením, uvedu použitá zařízení a popíšu důležitá nastavení přístrojů.

### 3.1 Topologie

Pro následující měření jsem využil již připravenou trasu pasivní optické sítě zapojenou podle obrázku 3.1, kde klíčovým prvkem je OLT jednotka, na jejímž výstupu je zapojen pasivní optický dělič 1:7. Jednotliví účastníci, respektive jejich ONU jednotky jsou poté připojeni k tomuto děliči pomocí vlákna ITU G.652.D. Níže jsou uvedeny důležité parametry některých síťových zařízení a jejich základní nastavení.



Obrázek 3.1: Schéma měřené sítě

#### 3.1.1 Jednotka OLT

K dispozici je OLT jednotka iMAP 9102 od firmy Allied Telesis, která je srdcem celé této pasivní optické sítě (obrázek 3.2). Jedná se o modulární Ethernet a IP víceslužbovou platformu, obsahující sloty pro čtyři rozšiřující moduly, kdy jeden z nich je určen pro správu této jednotky. Pro potřeby pasivní sítě je do jednoho slotu vložen modul EPON2, který může být osazen dvěma SFP moduly a probíhá přes něj komunikace směrem do EPON sítě. V laboratoři je tento modul osazen pouze jedním SFP, kompatibilním se standardem 802.3ah a specifikací 1000BASE-PX-20-D.

### 3 MĚŘENÍ PON SÍTĚ

---



Obrázek 3.2: Allied Telesis iMAP 9102 (Allied, 2014)

Konfigurace celé jednotky se provádí pomocí sériového protokolu z počítače připojeného do *CONSOLE* portu umístěného na modulu pro správu. Po připojení tohoto kabelu a spuštění klienta pro sériovou komunikaci (například Putty, Hyperterminál, Minicom) je třeba nejdříve nastavit parametry sériové linky:

bitová rychlost	9600 bps
datové bity	8
parita a řízení	n (žádné)
stop bit	1

Poté jsme po připojení vyzváni k zadání uživatelského jména a hesla, kdy v tomto případě se jedná o kombinaci *OFFICER / OFFICER*.

Následují příkazy pro základní konfiguraci zařízení, která je společná pro všechna měření.

Zjištění přítomnosti EPON rozhraní a jeho čísla:

```
show interface
```

Nastavení IP adresy modulu EPON:

```
set interface=<cislo epon rozhrani> epon ipaddress=<adresa rozhrani>
```

Připojení ONU jednotky:

```
create onu=<nazev> onuid=<libovolne cislo (0-31)> interface=<rozhrani epon> mac=<MAC adresa jednotky>
```

Kontrola funkce ONU (položka state musí být *up-up*):

```
show onu
```

### 3 MĚŘENÍ PON SÍTĚ

---

#### 3.1.2 Jednotka ONU

V laboratoři je k dispozici jednotka AT-ON1000 od firmy Allied Telesis (obrázek 3.3). Jedná se o kompaktní zařízení určené pro GEAPON síť a je schopno dosahovat přenosových rychlostí 1 Gb/s v obou směrech. Konektivita do WAN je zabezpečena pomocí jednoho 1 Gb/s optického SC konektoru standardu PX20. Na účastnické straně je pak zařízení vybaveno jedním RJ-45 konektorem (10/100/1000 base-T). Navíc je zde podpora VLAN, DHCP serveru, IGMP a dalších.



Obrázek 3.3: Allied Telesis AT-ON1000 (Allied, 2014)

#### 3.1.3 Jednotka Loopback

Jako loopback jednotka je použito zařízení EtherNID GE od firmy Accedian Networks (obrázek 3.4). Jedná se o zařízení vhodné pro monitorování provozu na síti, především daných SLA parametrů. Nejčastěji se umísťuje u koncového zákazníka a k dispozici má dvojici metalických konektorů, dvojici SFP modulů, jeden port pro management a jeden console port. Důležitou funkcí je schopnost „přesměrovat“ určitý provoz zpět k poskytovateli pro zajištění testování (loopback). Tuto funkcionalitu umožňuje na první až čtvrté vrstvě OSI modelu.



Obrázek 3.4: Accedian Networks EtherNID GE

Součástí této práce je také vytvoření návodu k tomuto zařízení, který je uveden v příloze.

### 3 MĚŘENÍ PON SÍTĚ

---

#### 3.1.4 Emulátor sítě

Pro potřebu simulace a deformace parametrů sítě (ztrátovost, chybovost a podobně) je v laboratoři přístupný síťový emulátor Simena NE1000 (obrázek 3.5). Zařízení disponuje dvěma gigabitovými metalickými porty určenými pro testování, jedním management portem a dalšími rozhraními. Konfigurace poté probíhá přes webové grafické rozhraní (GUI).



Obrázek 3.5: Simena NE1000

#### 3.1.5 Měřicí přístroj EXFO FTB-860

Samotné měření bude provedeno měřícím přístrojem FTB-1/860 Netblazer od firmy EXFO (obrázek 3.6). Jedná se o modul FTB-860 v kompaktní platformě FTB-1 vhodný ke komplexní analýze Ethernet služeb do rychlosti až 10 Gb/s. Modul má implementovanou podporu celé řady testů, mezi nimiž samozřejmě nechybí RFC 2544 a EtherSAM.



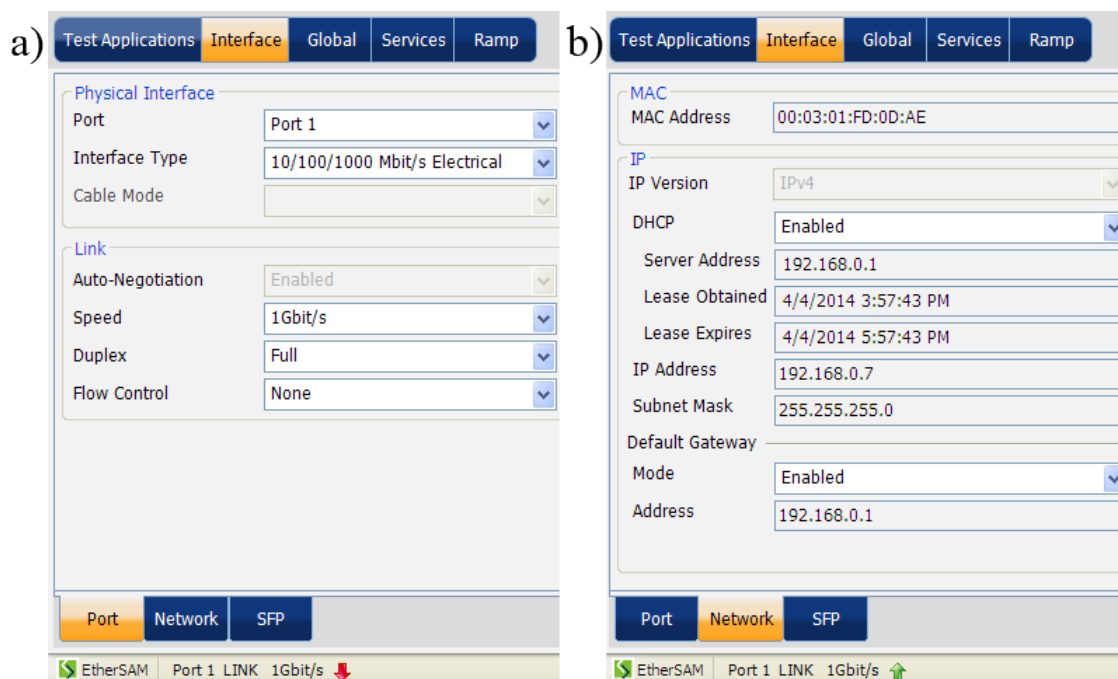
Obrázek 3.6: EXFO FTB-860

Nastavení měřícího přístroje je velice rychlé a intuitivní. Po spuštění měřící aplikace (**Mini Toolbox** → **FTB-860**) je potřeba vybrat typ testu, který bude pro měření použit

### 3 MĚŘENÍ PON SÍTĚ

(v mém případě RFC 2544 a EtherSAM) a poté provést nastavení základních parametrů, které zůstanou stejné i pro ostatní testy:

1. V nabídce **Interface** → **Port** je potřeba vybrat použité fyzické rozhraní s jeho parametry (viz. obrázek 3.7a).
2. V nabídce **Interface** → **Network** probíhá nastavení sítě, kde je možno použít buď DHCP, nebo pevnou IP adresu, případně nastavit použití VLAN (viz. obrázek 3.7b).
3. V dalším kroku je nutno vyhledat loopback jednotku a spárovat ji s měřícím přístrojem. To se provádí tlačítkem **Discover Remote** v pravé části obrazovky, kdy nám ji měřící přístroj vyhledá automaticky anebo máme možnost zadat parametry ručně. Samotné spárování se provede stiskem tlačítka **Loop Up**.



Obrázek 3.7: Nastavení parametrů rozhraní: a) port a b) síť

#### 3.1.6 Měřící přístroj EXFO AXS-200/850

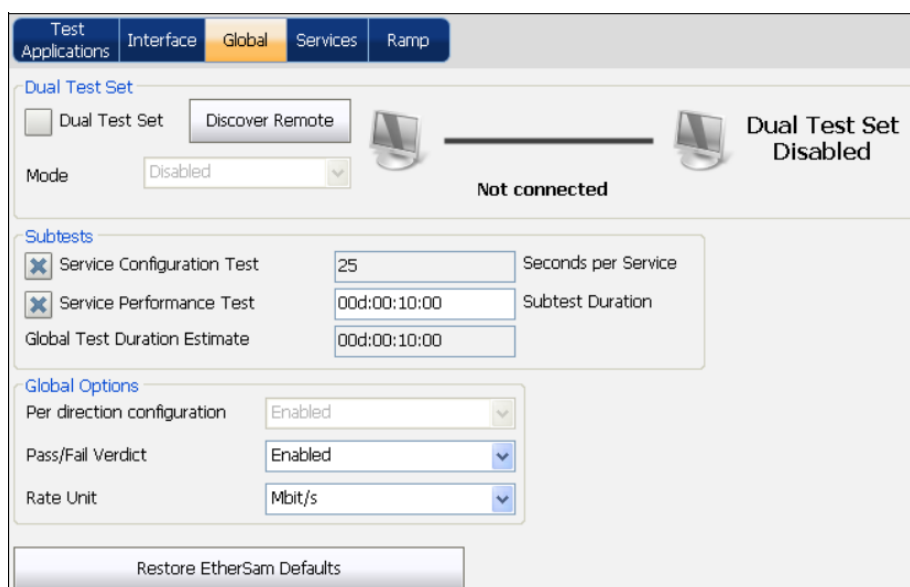
Posledním použitým zařízením je měřící přístroj EXFO AXS-200/850, který může v tomto případě sloužit jako loopback jednotka. Ze všeho nejdříve je potřeba nastavit parametry sítě, což provedeme v nastavení **Setup** → **Interface**, kde se pomocí klávesy

### 3 MĚŘENÍ PON SÍTĚ

F2 přemístíme do záložky **Network** a nastavíme požadované hodnoty sítě. Následně se vrátíme zpět na hlavní obrazovku, kde vybereme volbu **Smart loopback**.

#### 3.2 Měření ITU-T Y.1564

Měření založená na normě ITU-T Y.1564 spustíme poklepáním na ikonu **EtherSAM**, nacházející se v testovacích aplikacích pod skupinou **Ethernet**. Na kartě **Global** je třeba zaškrtnout provedení obou testů a nastavit dobu trvání jednotlivých subtestů (obrázek 3.8).



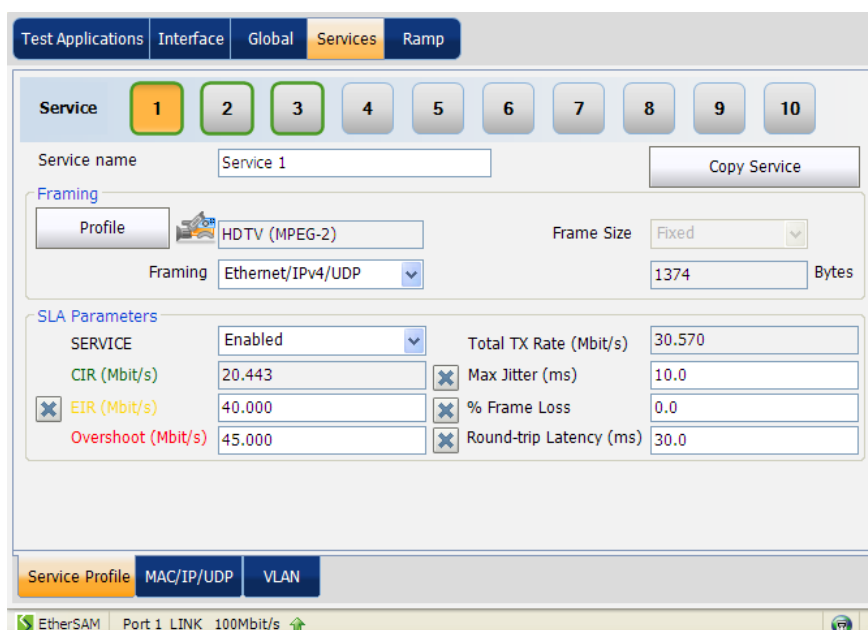
Obrázek 3.8: Nastavení globálních parametrů

V rámci tohoto testu máme možnost na měřicím zařízení definovat až deset různých služeb, které se budou testovat naráz. Toto je dostupné na kartě **Services** → **Service Profile** (obrázek 3.9), kde se nastavují klíčové parametry jednotlivých služeb. K dispozici jsou zde i některé předdefinované profily, především pro video a hlas, ve kterých je možno ještě zvolit například typ použitého kodeku a počet hovorů či video kanálů. Podle toho se poté doplní požadovaná minimální šířka pásma (CIR) pro tyto služby.

#### 3.3 Měření RFC 2544

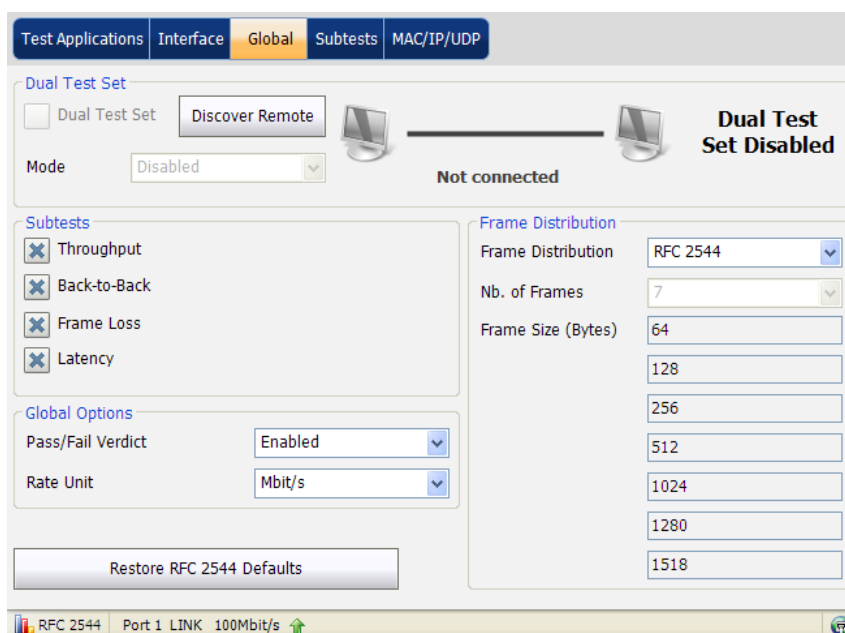
Pokud je potřeba měřit podle doporučení RFC 2544, je nutné v aplikacích vybrat tento typ testu poklepáním na ikonu **RFC 2544**.

### 3 MĚŘENÍ PON SÍTĚ



Obrázek 3.9: Nastavení parametrů služeb

Na kartě **Global** je třeba zaškrtnout požadované testy a vybrat typ použitých testovacích rámců – buď dle doporučení, nebo uživatelsky definovaných (obrázek 3.10).



Obrázek 3.10: Volba RFC testů

### 3 MĚŘENÍ PON SÍTĚ

Na následující kartě **Subtests** je potřeba nadefinovat mezní limity pro provedení jednotlivých testů. Jedná se především o maximální rychlost linky, prahy pro vyhodnocení jednotlivých subtestů a případně i rozlišení výsledků. Zmiňované nastavení je uvedeno na obrázku 3.11.

The screenshot shows the 'Subtests' configuration page with the following settings:

Section	Parameter	Value
Throughput	Test Time (MM:SS)	00:01
	Accuracy (Mbit/s)	5.0
	Nb. of Validations	1
	Max. Rate (Mbit/s)	100.000
	Threshold (Mbit/s)	100.000
Back-to-Back	Max. Burst Duration (s)	2
	Accuracy (Frames)	1
	Number of Trials	1
	Threshold (%)	100.000
Frame Loss	Test Time (MM:SS)	00:01
	Max. Rate (Mbit/s)	4.000
	Threshold (%)	0.100
Latency	Test Time (MM:SS)	00:01
	Number of Trials	1
	Threshold (ms)	125.0
	Copy From Throughput	Enabled
	Max. Rate (Mbit/s)	

At the bottom of the interface, the status bar shows: RFC 2544 Port 1 LINK 100Mbit/s

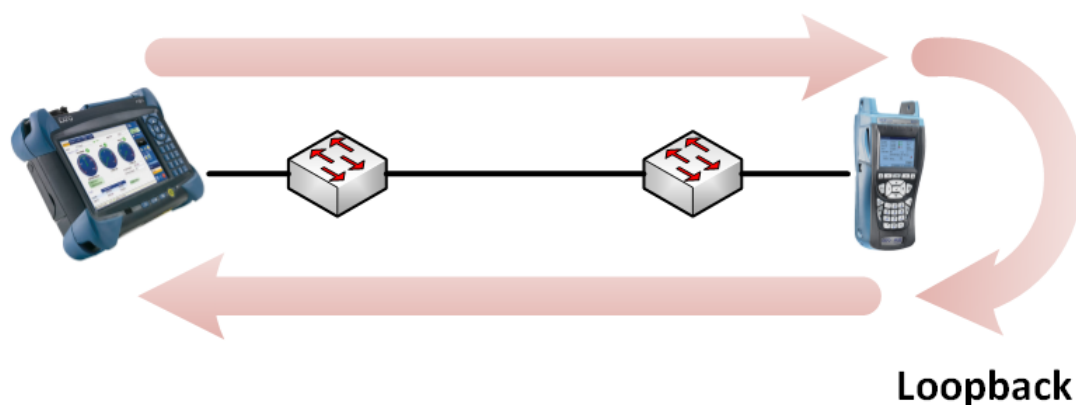
Obrázek 3.11: Nastavení parametrů testů



### 4 Naměřené výsledky

V rámci této kapitoly uvedu naměřené výsledky obou metod měření a na závěr provedu porovnání a zhodnocení obou metod.

Praktické měření probíhalo na síti zapojené podle obrázku 3.1, kdy na vstupu do OLT jednotky byl umístěn měřicí a vyhodnocovací přístroj EXFO FTB-1/860, jehož výhodou je podpora obou metod měření a navíc si přístroj sám generuje potřebný testovací provoz. Jelikož tento přístroj data i vyhodnocuje, bylo zapotřebí zajistit, aby se testovaná data dostala po projití síti zpět do přístroje. K tomuto účelu jsem využil takzvanou loopback jednotku, kterou bylo potřeba umístit na stranu klienta, konkrétně za ONU jednotku. Uvedené zařízení funguje tak, že směřuje data pocházející z měřicího zařízení zpět a jedná se tedy o takzvané roundtrip testování (obrázek 4.1). Nevýhodou tohoto přístupu je, že nedokážeme správně vyhodnotit oba směry přenosu. Pokud tedy dojde například k omezení propustnosti v prvním směru, je už toto omezení automaticky zaneseno i do zpětného směru. Kromě toho si je třeba uvědomit, že hodnoty zpoždění a jeho variabilita jsou počítány dohromady z obou směrů přenosu.



Obrázek 4.1: Znáornění principu roundtrip testování

Jako loopback jednotku jsem původně měl použít zařízení EtherNID od firmy Accedian Networks, kterou jsem nastavil dle návodu uvedeném v příloze této práce. Nicméně na začátku měření došlo ke komplikacím v podobě problémů se spárováním, kdy se toto zařízení nedokázalo „domluvit“ s měřicím přístrojem pravděpodobně z důvodu nekompatibility. Z tohoto důvodu jsem byl tedy nucen použít náhradní řešení v podobě přístroje EXFO AXS-200/850 a jeho funkce Smart Loopback.

## 4 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

---

### 4.1 Metoda ITU-T Y.1564

Při ověřování zvolené PON sítě pomocí normy ITU-T Y.1564 jsem provedl celkem pět různých měření, přičemž pokaždé byly na síti nastaveny odlišné podmínky. Pro měření pomocí této metody jsem na měřicím zařízení nastavil tři služby - **Video**, **Hlas** a **Data**. Souhrn parametrů, dle kterých probíhalo vyhodnocení je uveden v tabulce 4.1. Doba ověření konfigurace služeb byla 30 sekund na každou službu a doba kvality služeb byla nastavena na tři minuty. Měřicí zařízení bylo připojeno metalickým portem s rychlostí nastavenou na 100 Mb/s.

Služba	Video	VoIP	Data
Kodek	MPEG2 HD	G.711	—
CIR [Mb/s]	20,443	0,126	10,000
EIR [Mb/s]	40,000	1,000	35,000
OS [Mb/s]	45,000	2,000	100,00
Zpoždění [ms]	30	150	200
Jitter [ms]	10	10	50

Tabulka 4.1: Nastavení služeb u EtherSAM

#### 4.1.1 Bez zatížení

V prvním případě byla testovaná síť podrobena měření bez zatížení. Samotný test má dvě fáze, kdy se nejdříve ověřuje nastavení jednotlivých služeb a poté proběhne ověření kvality těchto služeb, v jehož rámci se testují služby na hodnotě parametru CIR. V obou fázích nedošlo k žádným problémům a všechny služby prošly testem bez problémů. Souhrnné výsledky ověření kvality služeb je možno vidět v tabulce 4.2.

Služba	Video	VoIP	Data
Propustnost [Mb/s]	20,444	0,126	10,000
Ztrátovost [%]	0,000	0,000	0,000
Zpoždění [ms]	8,964	8,966	8,971
Jitter [ms]	8,021	7,806	8,254
Verdikt	OK	OK	OK

Tabulka 4.2: Výsledky ITU-T Y.1564 bez zatížení

## 4 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

---

### 4.1.2 Se zatížením

V tomto případě jde o měření sítě, která byla zatížena video vysíláním. Jednalo se o streamování videa ve vysokém rozlišení komprimovaného pomocí kodeku MPEG-4, které bylo vysíláno ze serveru na straně OLT a přijímáno jedním klientem pomocí přehrávač VLC media player. Z výsledků (tabulka 4.3) je dle očekávání patrné, že všechny služby opět vyhověly bez problémů a uvedená zátěž na síti nezpůsobila žádný větší problém. Došlo pouze k velmi mírnému navýšení zpoždění, kdy se tato hodnota zvýšila v průměru o 2,5 ms.

Služba	Video	VoIP	Data
Propustnost [Mb/s]	20,444	0,126	10,000
Ztrátovost [%]	0,000	0,000	0,000
Zpoždění [ms]	11,589	10,120	11,158
Jitter [ms]	7,971	8,072	8,062
Verdikt	OK	OK	OK

Tabulka 4.3: Výsledky ITU-T Y.1564 se zatížením

### 4.1.3 S degradací sítě

Pro další tři měření byla testovaná síť uměle degradována zvýšením některých kritických parametrů pomocí emulátoru sítě Simena NE1000. Zároveň byl sledován vliv těchto degradovaných stavů na kvalitu přijímaného videa. Nastavení parametrů degradačních stavů bylo následující:

1. zpoždění 30 ms, jitter 2 ms,
2. zpoždění 80 ms, jitter 2 ms,
3. ztrátovost 3% dynamicky.

Při zvýšení zpoždění na hodnotu 30 ms a následně i na hodnotu 80 ms se toto podle předpokladů projevilo na výsledcích všech služeb, kdy se jejich naměřené zpoždění zhoršilo přibližně o nastavenou hodnotu. Následkem bylo nevyhovění služby video tomuto testu, jelikož maximální povolená hodnota zpoždění byla nastavena na 30 ms. U zbývajících dvou služeb je tato maximální hodnota nastavena mnohem výše a proto obě služby testem prošly bez ztráty hodnocení. Další problém nastal v testu kolísání, kdy tímto testem neprošly služby video ani hlasu (tabulka 4.4). Nicméně, jelikož jsem měl

## 4 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

i možnost sledovat projevy degradace na reálném video obraze, musím konstatovat, že ani v jednom případě vyššího zpoždění a jeho kolísání nedošlo k žádné pozorovatelné ztrátě kvality. Kromě toho jsem ještě mimo měření zkusil experimentálně zvýšit hodnotu variability zpoždění na 100 ms, ale ani toto nezpůsobilo žádné viditelné kazy v obraze. Na toto má pravděpodobně vliv samotný přehrávač médií, respektive jeho vyrovnávací paměť, která je schopna tyto výkyvy eliminovat.

Služba	Video	VoIP	Data	Video	VoIP	Data
Propustnost [Mb/s]	20,444	0,126	10,000	20,444	0,126	10,000
Ztrátovost [%]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zpoždění [ms]	<b>45,068</b>	44,466	44,910	<b>95,800</b>	94,081	95,803
Jitter [ms]	<b>11,865</b>	<b>10,727</b>	11,482	7,777	7,147	7,774
Verdikt	<b>FAIL</b>	<b>FAIL</b>	OK	<b>FAIL</b>	OK	OK

Tabulka 4.4: Výsledky ITU-T Y.1564 při degradaci sítě zvýšením zpoždění

Posledním případem bylo nastavení hodnoty ztrátovosti na tři procenta. Toto je sice již velmi vysoká hodnota, která v praxi nejspíše nenastane, ale vybral jsem ji z důvodu, aby byly změny dostatečně pozorovatelné. Změřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.5 a lze si u nich všimnout, že pokud se na síti začnou ztrácet pakety, má to logicky vliv i na snížení naměřené propustnosti. V mém případě to tedy znamenalo, že všechny služby neprošly hodnocením ztrátovosti a video i data měly navíc negativní hodnocení u parametru propustnosti. Kromě toho jsem u skutečného videa pozoroval podstatné snížení kvality zvuku i obrazu, kdy byl obraz silně „kostičkováný“ a zvuk byl dost trhaný.

Služba	Video	VoIP	Data
Propustnost [Mb/s]	<b>19,834</b>	0,123	<b>9,703</b>
Ztrátovost [%]	<b>2,984</b>	<b>3,060</b>	<b>2,970</b>
Zpoždění [ms]	10,087	9,698	9,971
Jitter [ms]	8,105	7,192	7,748
Verdikt	<b>FAIL</b>	<b>FAIL</b>	<b>FAIL</b>

Tabulka 4.5: Výsledky ITU-T Y.1564 při degradaci sítě zvýšením ztrátovosti

### 4.2 Metoda RFC 2544

V rámci měření zvolené sítě pomocí doporučení RFC 2544 jsem provedl celkem tři měření při rozdílných podmínkách na síti. Jelikož tato metoda neumožňuje testovat více

## 4 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

služeb naráz, koncipoval jsem měření způsobem, kdy jsem ověřoval celkové vlastnosti linky na hodnotě její maximální propustnosti (100 Mb/s). Příslušná nastavení měřícího přístroje jsou uvedena v tabulce 4.6.

Propustnost		Zatížitelnost	
Čas [s]	1	Max. trvání burstu [s]	2
Přesnost [Mb/s]	5	Přesnost [rámců]	1
Max. rychlost [Mb/s]	100	Počet period	1
Ztrátovost		Zpoždění	
Čas [s]	1	Čas [s]	1
Max. rychlost [Mb/s]	4	Počet period	1
Hranice [%]	0,1	Kopírovat z propustnosti	enabled

Tabulka 4.6: Nastavení testování dle RFC 2544

Měření jsem u této metody prováděl pro všechny velikosti rámců, které je možno vidět v tabulce 2.1.

### 4.2.1 Bez zatížení

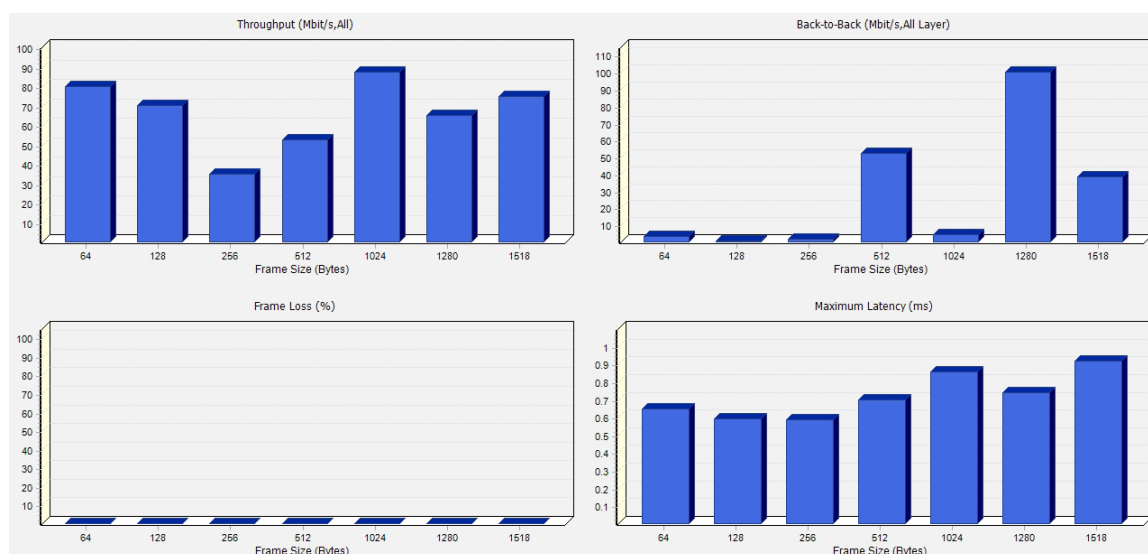
Stejně jako u metody podle normy ITU-T Y.1564 jsem nejdříve změřil síť bez jakéhokoliv zatížení. Samotné testování probíhá způsobem, kdy se nejdříve provádí test propustnosti postupně pro definované velikosti rámců, následovaný testem zatížitelnosti, ztrátovosti a zpoždění. Naměřené výsledky jsou uvedeny v tabulce 4.7.

Velikost rámce	Propustnost	Zatížitelnost	Ztrátovost	Zpoždění
[B]	[Mb/s]	[Mb/s]	[%]	[ms]
64	80,000	3,125	0,000	0,645
128	70,142	0,390	0,000	0,588
256	35,025	1,593	0,000	0,586
512	52,517	52,346	0,000	0,696
1024	87,510	4,025	0,000	0,854
1280	65,000	100,00	0,000	0,737
1518	75,024	38,517	0,000	0,915
<b>Verdikt</b>	<b>FAIL</b>	<b>FAIL</b>	OK	OK

Tabulka 4.7: Výsledky RFC 2544 bez zatížení

## 4 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

Z výsledků je možno vyčíst, že u žádné velikosti rámců nedošlo ke ztrátám a zpoždění je na velice nízké úrovni. Naproti tomu testy propustnosti i zatížitelnosti obdržely negativní hodnocení, jelikož při žádné z velikostí rámců se nedosáhlo maximální rychlosti linky. Nicméně mnou definované služby vyžadují v součtu šířku pásma něco málo přes 30 Mb/s, z čehož se dá usoudit, že testovaná síť je pro nasazení těchto služeb z hlediska garance jejich kvality vyhovující. Na obrázku 4.2 jsou ještě tyto výsledky znázorněny v grafické podobě.



Obrázek 4.2: Grafy pro RFC 2544 bez zátěže

### 4.2.2 Se zatížením

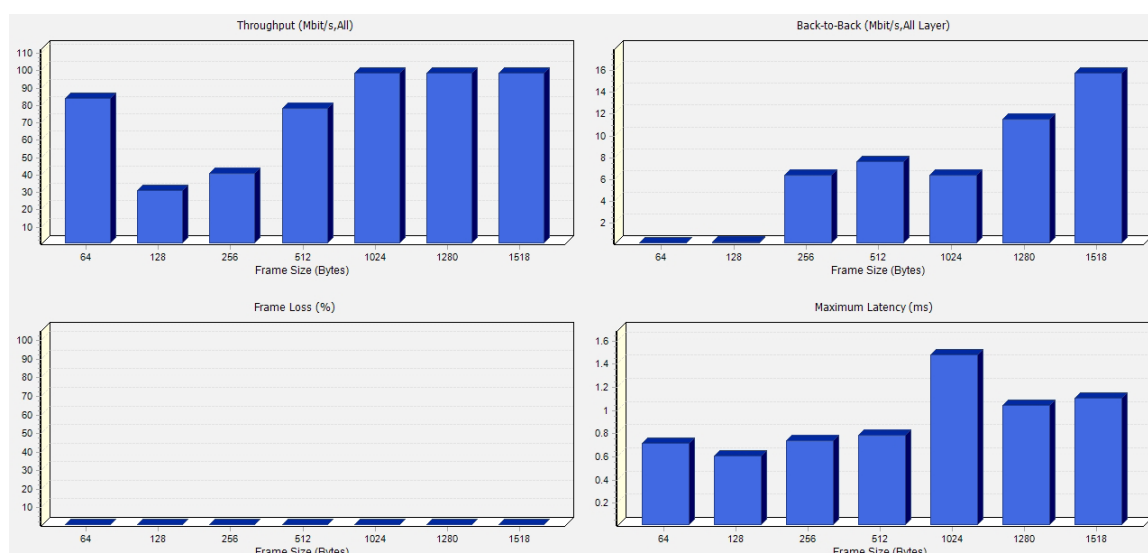
Při měření zatížené sítě jsem využil stejných podmínek zátěže jako v případě měření metodou EtherSAM, to znamená video stream MPEG-4 HD. Ani v tomto případě, jak je možno vidět v tabulce 4.8, nedosáhla propustnost maximální kapacity linky, a proto tento test neprošel. Ztrátovost byla i v tomto rovna nulové hodnotě. Pokud jde o zpoždění, tak jeho velikost vlivem zátěže na síti mírně vzrostla, ale stále zdaleka nedosahuje definované limitní hodnoty ani u jedné služby. Navíc bylo možno sledovat přehrávané video a nedošlo u něj k viditelné ztrátě kvality. Z tohoto důvodu si dovoluji tvrdit, že i v případě zátěže na síti je tato schopna bez problémů poskytnout všechny tři služby v požadované kvalitě.

Na obrázku 4.3 jsou opět všechny výsledky uvedeny v grafické formě, kterou přímo zaznamenal měřicí přístroj.

## 4 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mb/s]	Zatížitelnost [Mb/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	83,168	0,039	0,000	0,699
128	30,020	0,078	0,000	0,596
256	40,000	6,250	0,000	0,723
512	77,551	7,447	0,000	0,768
1024	97,570	6,247	0,000	1,463
1280	97,524	11,356	0,000	1,029
1518	97,526	15,589	0,000	1,092
<b>Verdikt</b>	<b>FAIL</b>	<b>FAIL</b>	OK	OK

Tabulka 4.8: Výsledky RFC 2544 se zatížením



Obrázek 4.3: Grafy pro RFC 2544 se zátěží

### 4.2.3 S degradací sítě

Poslední měření bylo provedeno při nastavení degradace sítě zvýšením zpoždění na hodnotu 80 ms a jeho kolísání na hodnotu 2 ms. Takováto hodnota zpoždění byla zvolena, jelikož by měla být kritickou především pro poskytování video služeb.

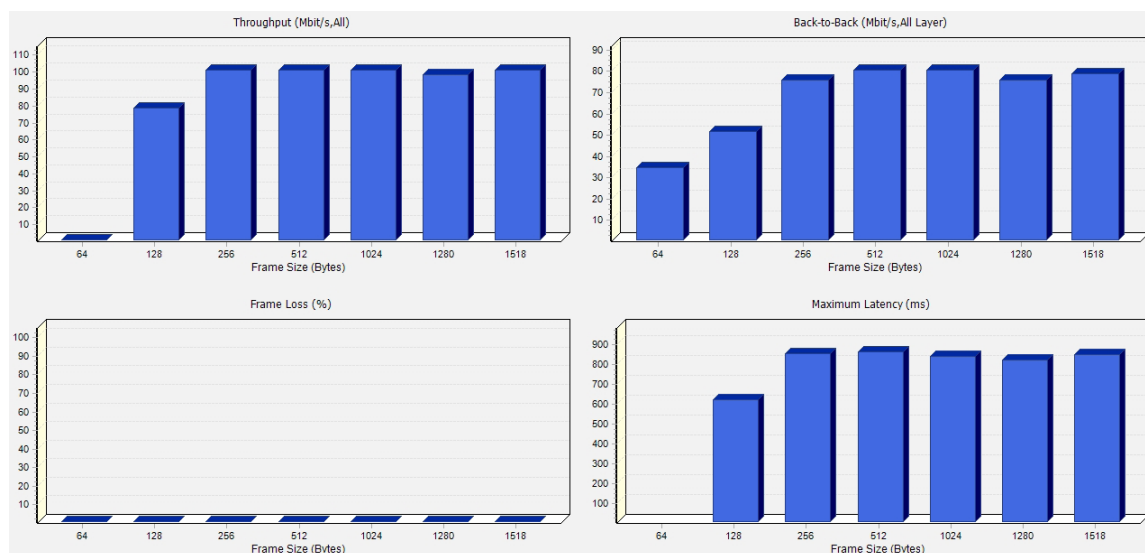
Naměřené výsledky jsou shrnuty v tabulce 4.9 a jejich grafická podoba je poté znázorněna na obrázku 4.4. V rámci testu propustnosti došlo k několika zajímavým jevům, kdy u nejmenšího rámce nedošlo z neznámého důvodu k vyhodnocení hodnoty rychlosti. Dále je zde patrné, že kromě prvních dvou velikostí se u dalších dostala propustnost

## 4 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mb/s]	Zatížitelnost [Mb/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	0,000	33,793	0,000	—
128	77,894	50,737	0,000	615,31
256	100,00	74,988	0,000	849,65
512	100,00	79,688	0,000	855,80
1024	100,00	79,638	0,000	835,75
1280	97,524	74,998	0,000	814,38
1518	100,00	78,105	0,000	842,19
<b>Verdikt</b>	<b>FAIL</b>	<b>FAIL</b>	OK	<b>FAIL</b>

Tabulka 4.9: Výsledky RFC 2544 s degradací sítě

až na maximální, respektive téměř maximální možnou hodnotu. Test je sice hodnocen jako nevyhovující, ale opět mohu konstatovat, že pro potřeby „mých“ služeb je kapacita linky plně dostačující. Totéž platí pro zatížitelnost a ztrátovost, která byla nulová. U testu zpoždění je však situace velmi zvláštní. Pominu-li chybějící hodnotu u nejmenšího rámce, která je způsobena nulovou hodnotou propustnosti, došlo v ostatních případech ke změření velmi vysokých hodnot zpoždění, které se vzhledem k nastavení degradace zdají být nereálné. Tyto hodnoty jsou samozřejmě velmi vysoko nad maximálními limity jednotlivých služeb a proto je také tento test hodnocen jako nevyhovující.



Obrázek 4.4: Grafy pro RFC 2544 s degradací sítě



## 4 NAMĚŘENÉ VÝSLEDKY

---

Nicméně jsem měl možnost sledovat i reálné video a u něj nedošlo k žádnému omezení ani ztrátě kvality či výraznému zpoždování. Z tohoto důvodu přisuzuji takto velký výkyv nějaké momentální anomálii buď v samotném měřícím přístroji nebo případně v emulátoru sítě Simena.

### 4.3 Celkové zhodnocení z hlediska služeb triple play

Všechna předchozí měření dostatečně prověřila tuto síť a její kritická místa. V závislosti na uvedených výsledcích mohu konstatovat, že pokud nejsou nároky na garantovanou kvalitu služeb příliš přehnané, je síť v případě běžného zatížení schopna poskytovat triple play služby v garantované kvalitě. Pokud by ale nastala potřeba síť rozšířit pro mnohem více účastníků než bylo v tomto případě pět, bylo by jí potřeba řádně nakonfigurovat. Hlavně by se jednalo o nastavení mechanismů zabezpečujících QoS, především vhodná klasifikace provozu a obsluha paketových front, aby byla zajištěna přednost real-time služeb s kritickým provozem (video, telefonie, online hry) před běžnými datovými službami, které jsou v síti přenášeny způsobem „Best effort“.

### Závěr

Diplomová práce se zabývá problematikou testovacích metod na pasivní optické síti založené na Ethernetu, především z hlediska možnosti nasazení služeb triple play a ověření jejich kvality. V teoretické části jsem se pokusil o uvedení do problematiky optických přístupových sítí, jejich možností a seznámení s případnými variantami. Nicméně hlavní důraz jsem v teoretické části kladl na zmapování dostupných doporučení, vhodných pro testování Ethernetových služeb v pasivních optických sítích. Nejdříve jsem zmínil důvody, proč je nutné se při testování držet různých doporučení či norem. Poté jsem se zaměřil zejména na podrobný popis doporučení RFC 2544 a normy ITU-T Y.1564, kde jsem rozebral základní parametry, metodiku testování a způsob prezentace výsledků.

V praktické části jsem se poté snažil aplikovat toto doporučení a normu na laboratorní síť. Pro obě metody jsem nejdříve zvolil testování na nezatížené síti, které může být vhodné zpravidla v prvotním návrhu nové sítě. Obě měření prokázala, že mnou použitá síť je schopná garantovat zvolenou kvalitu jednotlivých služeb. V další fázi bylo na řadě proměření sítě při zatížení vysílaným video signálem. Zvolené zatížení se projevilo pouze drobným zvýšením hodnoty zpoždění, které ale nemělo žádný vliv na kvalitu přenášených služeb. V praxi by ale bylo určitě vhodné použít mnohem větší zatížení a sledovat jeho vliv na kvalitu služeb, což bohužel v laboratorních podmínkách nebylo možné.

V rámci poslední fáze testování jsem síť degradoval určitými nestandardními stavy, kdy jsem simuloval zvýšení zpoždění, jeho kolísání, ztrátovost paketů, a jejich vliv na přenášené služby. U ztrátovosti se sice jednalo o velmi vysokou hodnotu, kterou bychom v reálné síti asi jen těžko dosáhli, snad jen při závažné poruše, ale chtěl jsem, aby byl dostatečně viditelný její vliv. U těchto degradací byly, dle předpokladu, některé výsledky testu sice nevyhovující, ale zároveň ukázaly, že není důležitá pouze kvalita služby (QoS), ale také kvalita zkušenosti (QoE). Je to z toho důvodu, že ne vždy se zvýšení některého parametru nad kritickou mez projeví pozorovatelným zhoršením kvality. Například u video vysílání má na toto také vliv zvolený přehrávač, který je svojí vyrovnávací pamětí schopen některé výkyvy eliminovat.

Na závěr bych provedl srovnání obou zvolených metod. Výhodou normy ITU-T Y.1564 je, že byla vytvořena s ohledem na vývoj v oblasti optických přístupových sítích v posledních letech. Zavádí tak některé parametry, které jsou důležité při definování kvality služeb v rámci SLA a jsou kritické pro real time služby (CIR, EIR, jitter). Naproti tomu RFC 2544 nedokáže tyto parametry při testování rozlišit (CIR, EIR) nebo je vůbec nezná (jitter). Dalším důležitým kritériem je doba měření, která je u ITU-T Y.1564 podstatně kratší než u starší metody. Je to hlavně způsobeno tím, že měření dle normy testuje všechny služby naráz, kdežto metoda RFC 2544 provádí jednotlivé testy postupně pro každou

## Závěr

---

velikost zvlášt' a navíc pokud chceme prověřit více služeb, je třeba test spustit tolikrát, kolik služeb máme. Posledním významným bodem je určení starší metody především pro měření parametrů sítě v laboratorních podmínkách. Naopak měření dle normy bylo již od počátku koncipováno pro ověřování „živé“ sítě, tedy sítě, na které probíhá reálný provoz. Z tohoto vyplývá, že RFC 2544 je pro ověřování triple play služeb nevhodná.

### 5 Literatura

- ALLIED, T. *Allied Telesis: Products* [online]. 2014. [cit. 24.3.2014]. Dostupné z: <<http://www.alliedtelesis.com/products/index>>.
- BRADNER, S. *RFC 1242: Benchmarking Terminology for Network Interconnection Devices* [online]. 1991. [cit. 3.3.2014]. Dostupné z: <<http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc1242.txt.pdf>>.
- BRADNER, S. – MCQUAID, J. *RFC 2544: Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices* [online]. 1999. [cit. 3.3.2014]. Dostupné z: <<http://www.rfc-editor.org/rfc/pdf/rfc2544.txt.pdf>>.
- HELIOTIS, G. A. – CHOCHLIOUROS, I. P. *Optical access networks and advanced photonics: Technologies and Deployment Strategies*. Information Science Reference, 2010. ISBN 978-1-60566-708-9.
- HORVÁTH, T. – ŠIFTA, R. – MÜNSTER, P. Měření služeb Triple play v pasivních optických sítích. *Elektrorevue*. červen 2013, 15. ISSN 1213-1539. Dostupné z: <<http://goo.gl/R9gqpo>>.
- IEEE. *IEEE 802.3av: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Gb/s Passive Optical Networks* [online]. IEEE-SA Standards Board, 2009. [cit. 3.3.2014]. Dostupné z: <<http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.3av-2009.pdf>>.
- ITU-T. *ITU-T G.983.1: Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)* [online]. 2005. [cit. 3.3.2014]. Dostupné z: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.1-200501-I/en>>.
- ITU-T. *ITU-T G.984.1 – Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics* [online]. 2008. [cit. 3.3.2014]. Dostupné z: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-I/en>>.
- ITU-T. *ITU-T G.987.1: 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements* [online]. 2010. [cit. 3.3.2014]. Dostupné z: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-G.987.1-201001-I/en>>.
- ITU-T. *ITU-T Y.1564: Ethernet service activation test methodology* [online]. 2011. [cit. 3.3.2014]. Dostupné z: <<http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1564-201103-I/en>>.

## Literatura

---

LAFATA, P. Pasivní optické sítě s rychlostí 10 Gbit/s. *Access server ČVUT*. 2011. Dostupné z: <http://goo.gl/RpjkTx>.

LAM, C. F. *Passive Optical Networks: Principles and Practise*. Boston: Elsevier/Academic Press, 2007. 324 p. ISBN 01-237-3853-9.

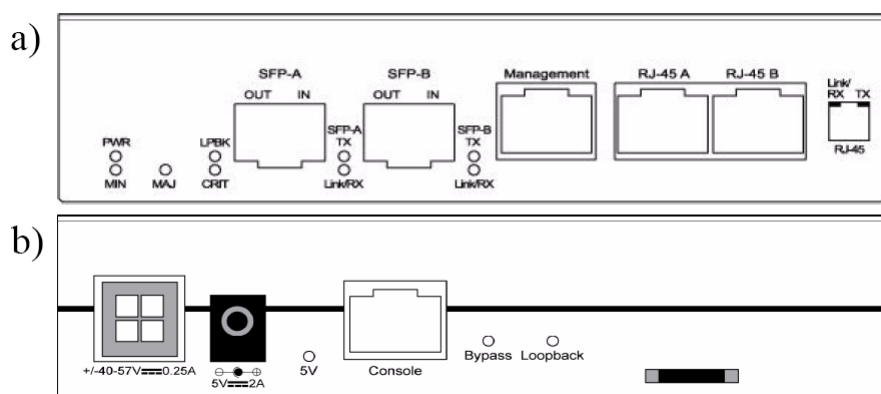
WIKIPEDIA, T. F. E. *Fiber to the x* [online]. 2014. [cit. 3.3.2014]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Fiber\\_to\\_the\\_x](http://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_to_the_x).

### A Návod EtherNID ve funkci loopback jednotky

V této části přílohy se budu zabývat podrobným návodem konfigurace zařízení EtherNID GE jako loopback jednotky pro potřeby měření parametrů QoS na pasivní optické síti. Nastavení použitá při měření této diplomové práce (zapojení dle obrázku 3.1) jsou zvýrazněny **červenou barvou**.

#### A.1 Úvod do nastavení

Zařízení obsahuje dvojici SFP portů (SFP-A, SFP-B) a dvojici metalických RJ-45 portů (RJ-45-A, RJ-45-B) určených pro připojení k provozovateli, ke klientovi a pro případné monitorování. Dále je zde metalický management port pro konfiguraci zařízení pomocí ssl nebo ssh a console port určený k sériovému připojení a konfiguraci pomocí CLI. Umístění jednotlivých konektorů je znázorněno na obrázku A.1.



Obrázek A.1: Pohled na a) čelní a b) zadní panel zařízení

V tabulce A.1 je znázorněno zapojení jednotlivých pinů console konektoru v RJ-45 a DB-9 a pro připojení je nutné v terminálu nastavit následující parametry sériové linky:

bitová rychlost	115200 bps
datové bity	8
parita a řízení	n (žádné)
stop bit	1

## A NÁVOD ETHERNID VE FUNKCI LOOPBACK JEDNOTKY

---

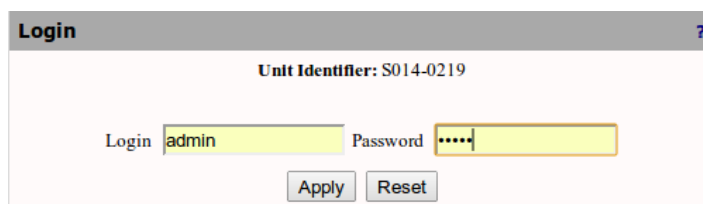
konektor RJ-45		konektor DB-9	
pin	Signál	Pin	Signál
3	Tx data	2	Rx data
4	Zem	5	Zem
5	Zem	5	Zem
6	Rx data	3	Tx data

Tabulka A.1: Zapojení konektorů console (RJ-45 a DB-9)

### A.1.1 Přihlášení do webového rozhraní

Zařízení umožňuje provést nastavení všech jeho funkcí přes webové rozhraní, kdy komunikace je zabezpečena pomocí ssl protokolu. Po připojení počítače kříženým UTP kabelem do management portu provedeme následující kroky:

1. Na počítači nastavíme statickou IP adresu **192.168.1.2/24**.
2. Spustíme prohlížeč a zadáme adresu **https://192.168.1.254**.
3. Otevře se přihlašovací stránka (obrázek A.2), kde zadáme jméno a heslo, které je defaultně nastaveno na **admin / admin**. Tyto prvotní přístupové údaje je poté možno změnit v sekci **System** → **Session** → **Users**. Při ztrátě administrátorského hesla, je potřeba zařízení uvést do továrního nastavení (viz. dále).



The screenshot shows a web browser window with a title bar that says "Login" and a question mark icon. The main content area has a light pink background. At the top, it says "Unit Identifier: S014-0219". Below that, there are two input fields: "Login" with the text "admin" and "Password" with masked characters "\*\*\*\*\*". At the bottom, there are two buttons: "Apply" and "Reset".

Obrázek A.2: Přihlašovací obrazovka

### A.1.2 Uvedení zařízení do továrního nastavení

Postup pro uvedení zařízení do továrního nastavení:

1. Stisknout a držet tlačítko **Bypass**.
2. Stisknout a uvolnit tlačítko **Loopback**.

## A NÁVOD ETHERNID VE FUNKCI LOOPBACK JEDNOTKY

---

3. Pokračovat v držení tlačítka **Bypass** až do doby, kdy všechny diody (**Minor, Major, Critical, Power**) začnou blikat zároveň a poté jej můžeme uvolnit.

### A.2 Základní nastavení

#### A.2.1 Nastavení portů

Nastavení jednotlivých portů se provádí v sekci **Port** → **Configuration**, kdy po kliknutí se zobrazí seznam všech portů, jejich stav (aktivní / neaktivní), fyzická adresa, přiřazený fyzický konektor a status (obrázek A.3). Kromě tohoto přehledu je ještě ve spodní části několik voleb:

- **Media selection** – udává, která dvojice konektorů bude použita pro přenos dat od poskytovatele k účastníkovi. Zbývá dvojice pak bude nastavena jako monitorovací a tyto změny se projeví v seznamu. K dispozici jsou čtyři volby:
  - SFP-A se SFP-B
  - SFP-A se RJ-45-B
  - RJ-45-A se SFP-B
  - **RJ-45-A se RJ-45-B**
- **Fault propagation** – umožňuje předávání poruch na lince, v tomto případě nebude použito.

Pokud potřebujeme upravit vlastnosti některého portu, klikneme na jeho název a zobrazí se nám okno (obrázek A.4), kde máme možnost port přejmenovat (Name), deaktivovat (Enable), nastavit rychlost a parametry linky (Link speed) a další volby.

#### A.2.2 Nastavení rozhraní

Zařízení umožňuje nastavit několik různých logických rozhraní, jako například VLANy, či přemostění (bridge), vhodných především k řídicím a monitorovacím účelům. K uvedeným nastavením se dostaneme přes **System** → **Configuration** → **Interface**, kde je vidět seznam se základními parametry (obrázek A.5).

K uvedeným zařízením můžeme po stisknutí tlačítka **Add** přidat další anebo máme možnost upravit stávající po kliknutí na jeho název. V následujícím menu (obrázek A.6) je možno nastavit příslušný název rozhraní, jeho typ (standard, bridge, VLAN, VLANin-VLAN), na kterém portu bude dostupné a IP adresu (z DHCP nebo manuálně).



## A NÁVOD ETHERNID VE FUNKCI LOOPBACK JEDNOTKY

Port configuration and status					
Status	Connector	Port name	Port state	Speed	MAC address
	SFP-A	Monitor-1	Disabled	Auto	00:15:AD:00:A0:04
	SFP-B	Monitor-2	Disabled	Auto	00:15:AD:00:A0:05
	Management	Management	Enabled	Auto	00:15:AD:00:A0:03
	RJ45-A	Client	Enabled	Auto	00:15:AD:00:A0:06
	RJ45-B	Network	Enabled	Auto	00:15:AD:00:A0:07

Port options	
<b>Media-selection:</b>	
RJ45-A with RJ45-B ▼	
<b>Fault propagation:</b>	
<input type="checkbox"/> Enable fault propagation	
Fault propagation mode:	One-way link ▼
Propagate fault on port:	Network ▼
Apply Reset	

Obrázek A.3: Nastavení a stav portů

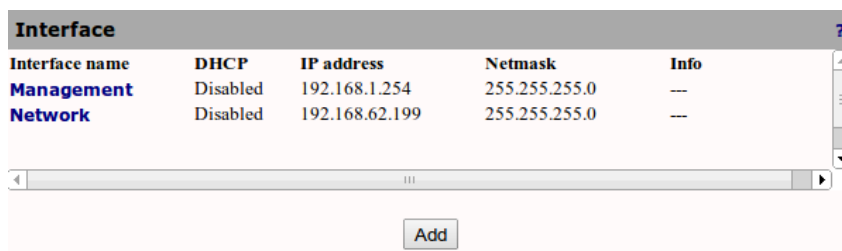
Network Port configuration	
Enable	<input checked="" type="checkbox"/>
Name	Network
Alias	
Port MTU	1522
Large packet threshold	2047
MAC address	00:15:AD:00:A0:07
Connector	RJ45-B
<b>Medium dependent interface</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Auto MDI	
<input type="checkbox"/> MDI <input checked="" type="radio"/> MDIX	
<b>Link speed</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Auto-negotiation	
<input type="radio"/> 10Mbps <input type="radio"/> 100Mbps <input checked="" type="radio"/> 1Gbps	
<input type="radio"/> Half-Duplex <input checked="" type="radio"/> Full-Duplex	
<b>Flow control</b>	transparent ▼ Pause mode
<b>Current status</b>	
Link Down	
Apply Refresh	

Obrázek A.4: Konfigurace portů

### A.3 Nastavení filtrů

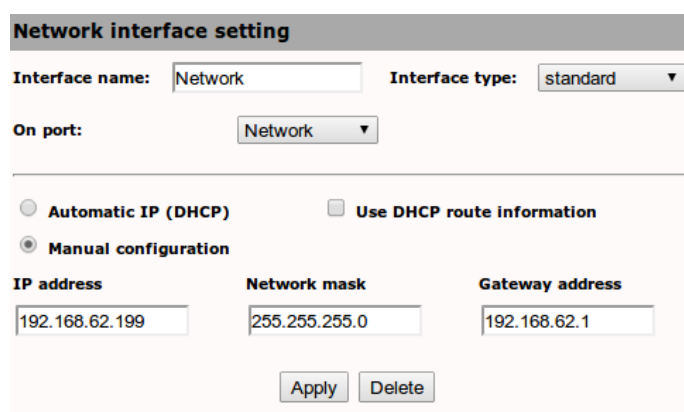
V případě, kdy bude pro monitorování a testování použito třídění provozu pomocí filtrů, máme možnost tyto filtry nastavit v menu **Traffic**. K dispozici je poté možnost

## A NÁVOD ETHERNID VE FUNKCI LOOPBACK JEDNOTKY



Interface name	DHCP	IP address	Netmask	Info
Management	Disabled	192.168.1.254	255.255.255.0	---
Network	Disabled	192.168.62.199	255.255.255.0	---

Obrázek A.5: Nastavení a stav rozhraní



**Network interface setting**

Interface name:  Interface type:

On port:

Automatic IP (DHCP)  Use DHCP route information

Manual configuration

IP address:  Network mask:  Gateway address:

Obrázek A.6: Konfigurace rozhraní network

výběru mezi filtrováním na druhé (menu **Traffic** → **L2 filters**) či třetí (menu **Traffic** → **IPv4 filters**) vrstvě. V obou případech se nejdříve zobrazí seznam předdefinovaných filtrů, které můžeme ihned použít či upravit anebo po kliknutí na tlačítko **Add** máme možnost přidat vlastní. Níže je přehled některých parametrů při definici filtrů:

### 1. Filtry 2. vrstvy

- **Ethernet header settings** – filtrování na základě zdrojové / cílové MAC.
- **VLAN settings** – na základě VLAN parametrů (priority, id, Ethertype).
- **DSCP/IP precedence** – podle identifikace QoS.

### 2. Filtry 3. vrstvy

- **IPv4 header settings** – dle zdrojové / cílové IP adresy, TTL, protokolu a délky hlavičky.
- **VLAN settings** – na základě VLAN parametrů (priority, id, Ethertype).
- **DSCP/IP precedence** – podle identifikace QoS.

## A NÁVOD ETHERNID VE FUNKCI LOOPBACK JEDNOTKY

Na obrázku A.7 je znázorněno nastavení filtru druhé vrstvy vhodného pro loopback funkci při komunikaci s měřícím přístrojem EXFO.

The screenshot shows a web-based configuration interface for a new L2 filter. The title is 'new filter configuration'. The 'L2 filter name' is set to 'new'. Under 'Ethernet header settings', there are three options: 'MAC destination / mask' (00:00:00:00:00:00 / 48), 'MAC source / mask' (00:00:00:00:00:00 / 48), and 'Ethertype' (0x0000). Under 'VLAN settings', there are four options: 'Ethertype' (Both), 'CFI/DEI' (0), 'Priority' (Equal to, 0, 0), and 'VLAN ID' (Equal to, 0, 0). Under 'VLAN in VLAN settings', there are four options: 'Ethertype' (Both), 'CFI/DEI' (0), 'Priority' (Equal to, 0, 0), and 'VLAN ID' (Equal to, 0, 0). Under 'DSCP/IP precedence', there is one option: 'DSCP' (Equal to, default(0), default(0)). An 'Apply' button is at the bottom.

Obrázek A.7: Vytvoření nového L2 filtru

### A.4 Zprovoznění funkce loopback

Funkce loopback umožňuje přeposílat provoz, který přichází na rozhraní, kde je tato funkce aktivní, zpátky. Toho se používá především při měření kvalitativních parametrů přenosového prostředí, kdy jsou testovací data z měřícího zařízení, na základě definovaných parametrů (filtrů, VLAN...), přesměrována na loopback jednotce zpět do tohoto diagnostického přístroje.

#### A.4.1 Nastavení OAM

Před samotnou aktivací funkce loopback je nejdříve nutno vytvořit OAM instanci. To se provádí v menu **OAM** → **Configuration**, kde se nám zobrazí seznam OAM instancí

## A NÁVOD ETHERNID VE FUNKCI LOOPBACK JEDNOTKY

a jejich vlastností. Tento seznam ovšem v základu žádnou instanci neobsahuje a proto je nutné ji pomocí tlačítka **Add** nejdříve vytvořit. Konfigurační okno (obrázek A.8) obsahuje několik voleb, kdy důležité jsou následující:

- **OAM instance name** – název instance.
- **Port name** – jméno portu na kterém se bude aplikovat (**Network**).
- **Enable OAM protocol** – povolí použití 802.3ah OAM protokolu v pasivním nebo aktivním režimu.
- **This unit supports loopback** – zapíná podporu funkce loopback (reakci na loopback příkazy ze vzdáleného klienta).

The screenshot shows the 'OAM configuration' window. At the top, there is a header 'OAM configuration'. Below it, there is a text input field containing 'test' with the label 'OAM instance name'. Underneath, it shows 'Port name: Network' and 'Encapsulation: untagged'. There are three radio buttons: 'Enable OAM protocol' (unchecked), 'Active mode' (selected), and 'Passive mode' (unchecked). Below these is a text input field with '1518' and the label 'Max OAM PDU size (bytes)'. There are three checked checkboxes: 'This unit supports loopback', 'This unit supports events', and 'This unit supports variable responses'. Below these are several text input fields with numerical values: '1' for 'Number of events re-transmitted', '1' for 'Errored Frame Event (EFE) threshold', '1' for 'Errored Frame Event (EFE) window (seconds)', '1' for 'Errored Frame Period Event (EFPE) threshold', '148810' for 'Errored Frame Period Event (EFPE) window (frames)', '1' for 'Errored Frame Seconds Summary Event (EFSSE) threshold', and '600' for 'Errored Frame Seconds Summary Event (EFSSE) window (seconds)'. At the bottom right, there are three buttons: 'Apply', 'Reset', and 'Delete'.

Obrázek A.8: Konfigurace OAM

### A.4.2 Nastavení loopback

Samotná aktivace funkce loopback se provádí v nastavení dostupném v sekci **OAM** → **Loopback**. V tomto menu je zobrazen seznam loopback instancí s počtem odpovídajícím

## A NÁVOD ETHERNID VE FUNKCI LOOPBACK JEDNOTKY

počtu vytvořených OAM instancí (obrázek A.9). Pro každou loopback je zobrazeno: její název (Name), stav, mód (privátní, proprietární nebo a použitý typ filtru

- **Name** – název instance.
- **Lpbk State** – stav (enable / disable).
- **Lpbk Mode** – řídící logiku funkce loopback:
  - 802.3ah
  - Private – je možno nastavit loopback na základě filtrů a ostatní provoz projde dále
  - Proprietary
- **Location** – může být místní nebo vzdálená, kdy bude reagovat na příkazy od partnera.
- **Filter type** – v privátním módu musí být zvolen filtr.

Loopback control				
Name	Lpbk state	Lpbk mode	Location	Filter type
test	Enable	Private	Local	L2 filter
client	Disable	Private	Local	L2 filter

Obrázek A.9: Přehled loopback instancí

Potřebujeme-li upravit některé parametry, klikneme na název instance a zobrazí se konfigurační okno s parametry (obrázek A.10). Postup konfigurace je poté následující:

1. Pro aktivaci **zaškrtneme** políčka **Loopback enable** a **Persistent** (aktivuje loopback ihned po startu zařízení).
2. Z rozevíracího seznamu vybereme typ (**Type**) dle aktuálních možností:
  - **Iometrix L1** – všechny pakety s cílovou MAC adresou; 00:30:79:FF:FF:FF
  - **Exfo L2** – pakety se zdrojovou MAC obsahující v prvních třech oktetech identifikaci výrobce (OUI) 00:03:01;
  - **Exfo L3** – všechny UDP echo pakety;
  - **Custom** – tok, který odpovídá použitému filtru.
3. V případě volby **Custom** vybereme z příslušných rozevíracích seznamů požadovaný filtr a zaškrtneme políčka **Swap MAC / IP addresses**.

## A NÁVOD ETHERNID VE FUNKCI LOOPBACK JEDNOTKY

4. Zaškrtneme políčko **Drop opposite traffic** (zahazuje tok, který pochází z portu klienta).
5. Pokud požadujeme aktivaci loopback ze vzdáleného zařízení, zaškrtneme příslušná políčka v části **Remote loopback enable**.

**OAM loopback**

Name: test

State: Enable (Custom)

Loopback enable Custom ▼ Type

Persistent

Filter type: L2 filter ▼    L2 filter: macsource ▼    IPv4 filter: testsrc ▼    Actions:

- Swap MAC addresses
- Swap IP addresses
- Swap TCP/UDP ports

Drop opposite traffic    0    Loopback timeout (in mins)

Remote loopback enable

- JDSU/Actema™
  - Enable discovery loop commands
- Sunrise™
- OAM 802.3ah
- Accept tagged loopback commands

Apply    Reset

Obrázek A.10: Nastavení funkce loopback

### A.5 Shrnutí nastavení použitých pro tuto práci

1. Port → Configuration
  - (a) Ve spodní části v seznamu Media Selection vybereme **RJ-45-A with RJ-45-B**.
  - (b) V nastavení jednotlivých portů necháme aktivní pouze porty **Management** a **Network** a ostatní nastavíme jako disabled.
2. System → Configuration → Interface
  - (a) Klikneme na port **Network** a nastavíme mu aby získal IP adresu z **DHCP**.
3. Traffic → IPv4 filters

## A NÁVOD ETHERNID VE FUNKCI LOOPBACK JEDNOTKY

---

- (a) Kliknutím na tlačítko **Add** přidáme nový filtr, který následně pojmenujeme **SourceIP**.
- (b) Zaškrtneme políčko **IPv4 header settings** a nastavíme zde IP adresu, kterou má definována měřící přístroj EXFO.
- (c) Ostatních parametrů si nevšímáme a ve spodní části potvrdíme nastavení tlačítkem **Apply**.

### 4. OAM → Configuration

- (a) Pro definici nové OAM instance klikneme v seznamu na tlačítko **Add**.
- (b) Název i port nastavíme na **Network**.
- (c) Zaškrtneme volbu **This unit supports loopback** a potvrdíme tlačítkem **Apply**.

### 5. OAM → Loopback

- (a) Pro nastavení klikneme na instanci **Network**.
- (b) Zaškrtneme políčka **Loopback enable** a **Persistent**.
- (c) Z rozevíracího seznamu **Type** vybereme **Custom**.
- (d) Vybereme z příslušných rozevíracích seznamů **IP4 filtr** a **SourceIP**. Dále zaškrtneme políčka **Swap MAC / IP addresses**.
- (e) Zaškrtneme políčko **Drop opposite traffic** a nastavení uložíme tlačítkem **Apply**.