

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

# **Měření výkonnostních parametrů optické sítě GPON**

## **Measurement of GPON optical network performance parameters**

# Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Štípal**

Studijní program: B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2601R013 Telekomunikační technika

Téma: **Měření výkonostních parametrů optické sítě GPON**  
**Measurement of GPON optical network performance parameters**

Jazyk vypracování: čeština

## Zásady pro vypracování:

Cílem práce bude otestovat výkonost optické sítě GPON s ohledem na nastavení sítě a dle metodiky měření odpovídající normám ITU-T Y.1564, RFC 2544, RFC 6349. Ve vybudované optické síti bude zapojen VLC/IP-DVB streamer, který bude zdrojem video-toků. Student poté bude provádět analýzu kvality všech služeb skrze měřicí přístroje (FTB-1 Pro-860v2). Student poté bude rovněž měřit typické optické parametry (útlum, výkonové úrovně, disperze, výkonové či útlumové ztráty).

1. Popis přístupových GPON sítí.
2. Vytvoření experimentálního pracoviště GPON sítě s VLC/IP-DVB streamerem pro šíření video toků.
3. Měření výkonostních parametrů optické sítě, dle platných norem.
4. Vyhodnocení výsledků získaných z měření.

## Seznam doporučené odborné literatury:

[1] CALE, Ivica, Aida SALIHOVIC a Matija IVEKOVIC. Gigabit Passive Optical Network - GPON. In: 2007 29th International Conference on Information Technology Interfaces. IEEE, 2007, s. 679-684. DOI: 10.1109/ITI.2007.4283853. ISBN 953-7138-09-7. ISSN 1330-1012.

[2] ZHANG, Naiqian a Libiao JIN. Design of GPON for Digital Video Broadcast Signal Transmission. In: 2009 International Conference on Management and Service Science. IEEE, 2009, s. 1-3. DOI: 10.1109/ICMSS.2009.5305858. ISBN 978-1-4244-4638-4.

[3] WANG, Jianping, Chunming QIAO, Yan LI a Kejie LU. On guaranteed VoD services in next generation optical access networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 2010, 28(6), 875-888. DOI: 10.1109/JSAC.2010.100812. ISSN 0733-8716.

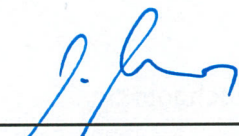
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Šiška, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2018

Datum odevzdání: 30.04.2019



  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.  
děkan fakulty

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

V Ostravě 29. dubna 2019

.....  
*J. Kopal*

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

V Ostravě 29. dubna 2019

.....  
*J. Štáhal*

Rád bych poděkoval panu docentu Petru Šiškoví za vedení celým průběhem práce, panu inženýru Zdeňku Wilčkovi za ochotu, odbornou pomoc, konzultace a podnětné návrhy k práci a také děkuji panu Lukáši Šustkovi za spolupráci při praktické části bakalářské práce.

Bakalářská práce byla vypracována v rámci projektu: „BroadbandLIGHT – ověřování možností využití technologií instalovaných na SMART polygonu veřejného osvětlení & Nové vláknově optické technologie pro komunikace a senzory“, reg. č.: SP2019/143 a SP2019/80 Specifického výzkumu financovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá technologií gigabitové pasivní optické sítě, která slouží pro rychlý přenos dat v telekomunikačních přístupových sítích. Cílem práce je sestavení a konfigurace sítě GPON s VLC/IP-DVB streamerem včetně měření parametrů na této topologii. V teoretické části práce je popsána gigabitová pasivní optická síť a její obecné fungování. Praktická část se zabývá konfigurací jednotlivých zařízení v síti a šíření datového toku z VLC/IP-DVB streameru přes gigabitovou pasivní optickou síť na koncové zařízení. Pokročilá kvalitativní měření na této síti jsou provedena dle doporučení ITU-T Y.1564, RFC 2544 a RFC 6349 měřicími přístroji značky EXFO. Závěrem jsou vyhodnoceny výsledky měření dle uvedených doporučení.

**Klíčová slova:** GPON, ITU-T Y.1564, RFC 2544, RFC 6349, OLT, ONT, IP-DVB, VLC, propustnost, ztrátovost paketů, kolísání zpoždění, zpoždění, VoIP, IPTV, data, OTDR, PPM, CD, PMD

## **Abstract**

In this bachelor thesis I deal with a technology of the Gigabit Passive Optical Network which is used as a fast data transmission in a telecommunications access network. The aim of the thesis is to construct and configure the GPON with a VLC/IP-DVB streamer and to measure parameters of this topology. The theoretical part of the thesis explains the Gigabit Passive Optical Network and its general functionality. The practical part deals with the configuration of particular devices in the network and the video streaming from the VLC/IP-DVB streamer through the Gigabit Passive Optical Network to the end device. The advanced qualitative measurement on this network was accomplished according to the recommendations by ITU-T Y.1564, RFC 2544 and RFC 6349 by the measuring devices of the EXFO brand. In conclusion the results of the measuring were evaluated according to the mentioned recommendations.

**Key Words:** GPON, ITU-T Y.1564, RFC 2544, RFC 6349, OLT, ONT, IP-DVB, VLC, Throughput, Packet Loss, Jitter, Latency, VoIP, IPTV, Data, OTDR, PPM, CD, PMD



# Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů	11
Seznam obrázků	15
Seznam tabulek	17
Úvod	18
<b>1 Popis přístupových GPON sítí</b>	<b>19</b>
1.1 Optické přístupové sítě	19
1.2 Pasivní optická přístupová síť	20
1.3 GPON	21
1.4 Funkce GPON	25
1.5 Přenos GPON	26
1.6 Optický rozbočovač	28
1.7 Útlumová bilance	28
1.8 DTV síť	29
<b>2 Vytvoření experimentálního pracoviště GPON sítě s VLC/IP-DVB streamerem pro šíření video toků</b>	<b>31</b>
2.1 Popis použitých zařízení	31
2.2 Popis použitého softwaru	33
2.3 Topologie zapojení s IP-DVB streamerem	34
2.4 Konfigurace Wi-Fi směrovače TP-Link	35
2.5 Konfigurace přepínače FOS-3126+	36
2.6 Konfigurace IPTV služby na OLT ZTE ZX10 C320 a ONT ZTE za použití CLI i webového grafického uživatelského rozhraní Ikarus	38
2.7 Konfigurace IP-DVB streameru	42
2.8 Nastavení koncového počítače	45
2.9 Topologie zapojení s VLC streamerem	48
2.10 Nastavení VLC streameru	49
2.11 Nastavení koncového počítače	52
<b>3 Měření výkonnostních parametrů optické sítě, dle platných doporučení</b>	<b>54</b>
3.1 Popis použitých měřících zařízení	54
3.2 Topologie zapojení s měřicími přístroji EXFO FTB-1	57
3.3 Měření dle doporučení ITU-T Y.1564	60
3.4 Měření dle doporučení RFC 2544	64

3.5	Měření dle doporučení RFC 6349 . . . . .	68
3.6	Měření optické reflektometrie OTDR . . . . .	70
3.7	Měření výkonových úrovní pomocí zařízení PON Power Meter . . . . .	72
3.8	Měření chromatické disperze . . . . .	73
3.9	Měření polarizační vidové disperze . . . . .	74
<b>Závěr</b>		<b>76</b>
<b>Seznam příloh</b>		<b>78</b>
<b>Literatura</b>		<b>79</b>

## Seznam použitých zkratek a symbolů

<b>Zkratka</b>	<b>– Anglický název - Český ekvivalent</b>
AES	– Advanced Encryption Standard - druh symetrické blokové šifry
APON	– ATM PON - ATM PON varianta
ATM	– Asynchronous Transfer Mode - asynchronní přenosový mód
BER	– Bit Error Rate - bitová chybovost
BPON	– Broadband PON - širokopásmová PON
CD	– Chromatic Dispersion - chromatická disperze
CIR	– Committed Information Rate - horní limit garantované přenosové kapacity pro danou službu
CLI	– Command Line Interface - příkazový řádek
CMD	– Command Prompt - příkazový řádek ve Windows
CNR	– Carrier to Noise Ratio - poměr nosné k šumu
CWDM	– Coarse WDM - hrubné vlnové dělení
DBA	– Dynamic Bandwith Allocation - metoda dynamického přidělování přenosové kapacity
DHCP	– Dynamic Host Configuration Protocol - protokol používající se pro automatickou konfiguraci počítačů připojených do počítačové sítě
	– Downstream - sestupný směr přenosu
DTV	– Digital Television - digitální televize
DVB-S	– Digital Video Broadcasting-Satellite - digitální televizní standard přes satelit
DVB-T	– Digital Video Broadcasting-Terrestrial - digitální televizní standard přes pozemní vysílače
DWDM	– Dense WDM - husté vlnové dělení
EPON	– Ethernet PON - PON síť založena na protokolu Ethernet
FBT	– Fused Biconic Taper - fúzní rozbočovač
FCA	– Fiber Cable Attenuation - útlum optického vlákna
FDM	– Frequency Division Multiplexing - frekvenční dělení (multiplex)
FEC	– Forward Error Correction - typ oprávněného kódování
FTTB	– Fibre to the Building - optické přípojky se zakončením v budově
FTTC	– Fibre to the Curb - optické přípojky se zakončením ve venkovním rozvaděči
FTTH	– Fibre to the Home - optické přípojky se zakončením u uživatele – v bytě, rodinném domě
FTTO	– FTTO Fibre to the Office - optické přípojky se zakončením u uživatele – v kanceláři, firmě

FTTx	– Fiber To The x - označení koncepce dělení optických přípojek
GEM	– GPON Encapsulation Mode - přenosový protokol ve variantě GPON
GePON	– Gigabit Ethernet PON - gigabitová PON síť založena na protokolu Ethernet
GFP	– Generic Framing Procedure - postup generického rámování
GPON	– Gigabit PON - gigabitová síť PON
HDTV	– High-Definition Television - televize s vysokým rozlišením
HSI	– High Speed Internet - vysokorychlostní přístup k internetu
IEEE	– Institute of Electrical and Electronics Engineers - institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
IGMP	– Internet Group Management Protocol - označení pro rozšíření původní IP verze 4 o možnost přeposílání datagramů z jednoho zdroje více koncovým stanicím
IP	– Internet Protocol - základní protokol pracující na síťové vrstvě
IPTV	– IPTV - přenos TV vysílání prostřednictvím IP
ITU-T	– International Telecommunication Union–Telecommunication Standardization Sector - mezinárodní telekomunikační unie – telekomunikační standardizační sektor
L	– distance - vzdálenost
LAN	– Local Area Network - označení pro lokální datové sítě
MPEG	– Moving Picture Experts Group - název pracovní skupiny vyvíjející standardy používané na kódování audiovizuálních informací pomocí digitálního kompresního algoritmu
MPEG-TS	– Moving Picture Experts Group–Transport Stream - skupina expertů pro pohyblivý obraz – přenosový tok – multicast - režim, kdy datagramy z jednoho zdroje jsou rozepisovány více koncovým stanicím
NT	– Network Termination - síťové zakončení
OAN	– Optical Access Network - soubor optických distribučních sítí ODN
ODN	– Optical Distribution Network - optická distribuční síť
OLT	– Optical Line Termination - optické linkové zakončení
ONT	– Optical Network Termination - optické síťové zakončení
OSA	– Optical Spectrum Analyzer - analyzátor optického spektra
OTDR	– Optical Time Domain Reflectometry - metoda analýzy optických vláken založená na vyhodnocování zpětných rozptylů a odrazů
P	– Power Budget - útlumová bilance
PCBd	– Physical Control Block downstream - označení služebního záhlaví GTC rámců ve směru sestupném

PLC	– Planar Lightwave Circuit - planární typ rozbočovače
PLO	– Physical Layer Overhead - režie fyzické vrstvy
PLOAMu	– Physical Layer Operations, Administration and Management upstream - označení služebních ATM buněk pro řízení a správu v ITU-T sítích PON
PMD	– Polarisation Mode Dispersion - polarizační vidová disperze
PON	– Passive Optical Network - pasivní optická síť
PPM	– PON Power Meter - měřič úrovně optických signálů optimalizovaný pro použití v PON
PTM	– Point-to-Multipoint - označení mnohabodové sítě
PTP	– Point-to-Point - síť typu bod-bod
QAM	– Quadrature Amplitude Modulation - kvadraturní amplitudová modulace
RF	– Radio Frequency - rádiová frekvence
RN	– Remote Node - vzdálený uzel
RTP	– Real-time Transport Protocol - protokol standardizující paketové doručování zvukových a obrazových dat po internetu
SDH	– Synchronous Code Division Multiplex - synchronní kódové dělení (multiplex)
SDM	– Space Division Multiplexing - prostorové dělení (multiplex)
SDTV	– Standard-Definition Television - televizní systém, který zahrnuje standardy PAL a NTSC
SL	– Splitter Loss - ztráty rozbočovače
SLA	– Service Level Agreement - smlouva mezi poskytovatelem služeb a uživatelem obsahující dojednané parametry
SONET	– Synchronous Optical Network - synchronní optická síť
	– Splitter - Rozbočovač
SSH	– Secure Shell - zabezpečený komunikační protokol v počítačových sítích
T-CONT	– Transmission Container - označení datového rámce ve směru vzestupném v GPON
TCP	– Transmission Control Protocol - jeden z protokolů na transportní vrstvě
TDM	– Time Division Multiplex - časové dělení (multiplex)
TDMA	– Time Division Multiple Access - vícenásobný přístup s časovým dělením
TS	– Transport Stream - přenosový tok
UDP	– User Datagram Protocol - jeden z přenosových protokolů na transportní vrstvě

	– Upstream - vzestupný směr přenosu
VDSL2	– Very High Speed Digital Subscriber Line 2 - vysokorychlostní digitální účastnická přípojka 2. generace
VLAN	– Virtual LAN - logicky nezávislá síť v rámci jednoho nebo několika zařízení
VoIP	– Voice Over IP - telefonie v IP sítích
WDM	– Wavelength Division Multiplexing - vlnové dělení (multiplex)
Wi-Fi	– Wireless Fidelity - bezdrátová datová technologie
XDSL	– Digital Subscriber Line - skupina digitálních účastnických přípojek
XG-PON	– X Gigabit PON - 10gigabitová PON varianta dle ITU-T G.987

## Seznam obrázků

1	FTTx síťová architektura[3] . . . . .	23
2	Typická architektura GPON[3] . . . . .	24
3	GPON rámec v sestupném směru[3] . . . . .	27
4	GPON rámec ve vzestupném směru[3] . . . . .	27
5	Směrovač TP-Link[12] . . . . .	31
6	IP-DVB streamer . . . . .	32
7	Přepínač FOS-3126+[14] . . . . .	32
8	GPON OLT ZTE ZXA10 C320[16] . . . . .	33
9	ONT ZXHN F660[17][18] . . . . .	33
10	Topologie zapojení testované sítě . . . . .	34
11	IP adresa na směrovači TP-Link . . . . .	35
12	Nastavení DHCP na směrovači TP-Link . . . . .	35
13	Nastavení rozhraní na přepínači . . . . .	36
14	Vytvoření VLAN 300 na přepínači . . . . .	36
15	Zapnutí VLAN Aware na přepínači . . . . .	37
16	Přiřazení IGMP na přepínači . . . . .	37
17	Zapnutí IGMP Snooping na přepínači . . . . .	38
18	SSH do ONT pomocí PuTTY . . . . .	38
19	Funkční uplink rozhraní . . . . .	40
20	Výběr OLT . . . . .	40
21	Výběr registrovaného ONT . . . . .	41
22	Výběr nové služby IPTV . . . . .	41
23	Nakonfigurované ONT . . . . .	42
24	Ifconfig na IP-DVB streameru . . . . .	42
25	Nano stream-1-dvbt . . . . .	43
26	Soubor stream-1-dvbt . . . . .	43
27	Soubor dvbt-1.conf . . . . .	44
28	Soubor dvbt-2.conf . . . . .	44
29	Soubor dvbt-3.conf . . . . .	45
30	Síťová připojení - Ethernet . . . . .	45
31	Nastavení DHCP na počítači . . . . .	46
32	Kontrola správně přiřazené IP adresy na počítači . . . . .	46
33	Média VLC . . . . .	47
34	Nastavení síťového proudu ve VLC . . . . .	47
35	Stream stanice ČT sport . . . . .	48
36	Topologie zapojení sítě s šířením videa pomocí VLC . . . . .	48
37	VLC možnost Proud . . . . .	49

38	VLC záložka Soubor . . . . .	49
39	VLC záložka Síť . . . . .	50
40	VLC možnost Následující . . . . .	50
41	VLC formát přenosu . . . . .	51
42	VLC překódování . . . . .	51
43	VLC potvrzení . . . . .	52
44	Nastavení síťového proudu ve VLC . . . . .	52
45	Stream vysílaného videa . . . . .	53
46	EXFO PPM-350C[5] . . . . .	54
47	EXFO FTB-1[5] . . . . .	54
48	EXFO FTB-500[5] . . . . .	55
49	EXFO FLS-5834A[5] . . . . .	56
50	Topologie zapojení s měřicími přístroji EXFO FTB-1 pro vyhodnocení kvalitativních parametrů . . . . .	57
51	Výběr registrovaného OLT . . . . .	58
52	Přidání služby Internet . . . . .	58
53	Resume služby Internet . . . . .	59
54	Přiřazení služby Internet na ONT . . . . .	59
55	Srovnání hodnot ztrátovosti dle ITU-T Y.1564 . . . . .	63
56	Srovnání hodnot kolísání zpoždění dle ITU-T Y.1564 . . . . .	63
57	Srovnání hodnot propustnosti dle ITU-T Y.1564 . . . . .	63
58	Globální nastavení měření dle RFC 2544 . . . . .	64
59	Nastavení podsítí měření dle RFC 2544 . . . . .	65
60	Srovnání hodnot propustnosti dle RFC 2544 . . . . .	67
61	Srovnání hodnot ztrátovosti dle RFC 2544 . . . . .	67
62	Nastavení měření dle RFC 6349 . . . . .	68
63	Srovnání hodnot propustnosti dle RFC 6349 . . . . .	69
64	OTDR na vlnové délce 1310 nm . . . . .	70
65	OTDR na vlnové délce 1550 nm . . . . .	71
66	OTDR na vlnové délce 1625 nm . . . . .	72
67	Topologie zapojení se dvěma zařízeními PPM . . . . .	72
68	Vykreslení chromatické disperze v programu FastReporter 2 . . . . .	74
69	Vykreslení polarizačně vidové disperze v programu ToolBox . . . . .	75



## Seznam tabulek

1	Bitová rychlost GPON[3] . . . . .	24
2	Minimální rozpočet výkonu pro různé konfigurace PON[3] . . . . .	29
3	Nastavení parametrů testovaných služeb . . . . .	60
4	Výsledky měření testu konfigurace služeb dle ITU-T Y.1564 bez připojené trasy .	61
5	Výsledky měření testu výkonnosti služeb dle ITU-T Y.1564 bez připojené trasy .	61
6	Výsledky měření testu konfigurace služeb dle ITU-T Y.1564 s připojenou trasou .	62
7	Výsledky měření testu výkonnosti služeb dle ITU-T Y.1564 s připojenou trasou .	62
8	Výsledky měření dle RFC 2544 bez připojené trasy . . . . .	66
9	Výsledky měření dle RFC 2544 s připojenou trasou . . . . .	66
10	Výsledky měření dle RFC 6349 bez připojené trasy . . . . .	69
11	Výsledky měření dle RFC 6349 s připojenou trasou . . . . .	69
12	Výsledky měření výkonových úrovní bez připojené trasy . . . . .	72
13	Výsledky měření výkonových úrovní s připojenou trasou . . . . .	73

## Úvod

S postupně klesající cenou optických komponent a vláken se měnil také charakter jejich využití v telekomunikacích. Do nedávné doby byla doména optických sítí především páteřní telekomunikační síť. Za posledních zhruba deset let se ale výhody optického vlákna postupně přibližují koncovým uživatelům. S ohledem na stále častější využití multimediálních služeb, sloužících k přenosům videa a zvuku ve vysoké kvalitě, přibývá nároků na propustnost sítí, ale i odezvy a nízké ztrátovosti paketů. Hlavní překážka rozvoje optických přístupových sítí představuje vysoké náklady na instalaci a položení optických kabelů. Pokud je tato překážka překonána, jsou pasivní optické sítě vhodnou alternativou pro telekomunikace.[9]

Tato práce bude rozdělena do tří částí. První část bakalářské práce bude teoretického charakteru. Bude zde popsána optická přístupová síť a její základní funkční celky. Dále se tato část bude zabývat gigabitovou pasivní optickou sítí a jejími funkcemi.

Druhá část se bude týkat praktického nasazení VLC/IP-DVB streameru do gigabitové pasivní optické sítě, nakonfigurování jednotlivých komponent a zařízení této sítě a šíření video toků pomocí streameru.

V třetí části bude probíhat měření dle doporučení ITU-T Y-1564, RFC 2544 a RFC 6349 na této gigabitové pasivní optické síti. Dále zde rovněž budou probíhat měření typických optických parametrů jako jsou disperze, útlumy a úrovně.

V závěru práce se objeví vyhodnocení výsledků z provedených měření.

# 1 Popis přístupových GPON sítí

## 1.1 Optické přístupové sítě

### 1.1.1 Uspořádání optické přístupové sítě

Základními funkčními celky optických přístupových sítí jsou:

- OLT (Optical Line Termination – optické linkové zakončení) je umístěno na straně operátora PON (Passive Optical Network – pasivní optická síť) sítě. Tento síťový prvek řídí signály přenášené v sestupném (Downstream) i vzestupném (Upstream) směru. Signál, přenášený v sestupném směru, se vysílá do každé budovy sdílené s vláknem. Signály přenášené ve vzestupném směru jsou kombinovány s použitím protokolů pro více přístupů, a to vždy s časovým dělením pro více přístupů TDMA (Time Division Multiple Access – vícenásobný přístup s časovým dělením). OLT řídí provoz, aby zajistilo množství a prioritu šířky pásma pro určité služby. Jinak řečeno: OLT zajišťuje funkce síťového rozhraní mezi přístupovou sítí a sítěmi telekomunikačních služeb.
- ODN (Optical Distribution Network – optická distribuční síť) je soubor optických přenosových prostředků mezi OLT a jednotkami ONT (Optical Network Termination – optické síťové zakončení). ODN je tradiční „all passive“ síť, takže v tomto segmentu sítě nejsou žádná napájená zařízení. Obsahuje optická vlákna a rozbočovače (splitter).
- ONT je zařízení umístěné na straně zákazníka. ONT zabezpečují funkce účastnického rozhraní mezi koncovými zařízeními účastníků a přístupovou sítí. Dále může ONT navazovat NT (Network Termination – síťové zakončení).
- Dále se optické přístupové sítě skládají z následujících pasivních optických prvků: jednovidová optická vlákna, konektory optických vláken, pasivní větvící komponenty a pasivní optické spoje.[1][3]

Základní typy optických přístupových sítí OAN (Optical Access Network - soubor optických distribučních sítí ODN):

- FTTC (Fibre to the Curb – optické přípojky se zakončením ve venkovním rozvaděči) přivádějí optická vlákna k účastnickému rozvaděči. K tomuto rozvaděči jsou koncové body sítě připojeny metalickými kabely.
- FTTB (Fibre to the Building – optické přípojky se zakončením v budově) přivádějí optická vlákna až do budov účastníků. Účastníci jsou připojováni pomocí vnitřních účastnických rozvodů.

- FTTO (Fibre to the Office – optické přípojky se zakončením u uživatele – v kanceláři, firmě) přivádějí optická vlákna do prostor důležitých zákazníků s velkými nároky na přenosovou kapacitu.
- FTTH (Fibre to the Home – optické přípojky se zakončením u uživatele – v bytě, rodinném domě) přivádějí optická vlákna až ke koncovým bodům sítě.[1]

### 1.1.2 Specifikace přenosu optického signálu v přístupové síti

Transportní funkce přístupových sítí musí poskytovat plně duplexní přenosové prostředí. Signály pro oba směry přenosu mohou být v těchto sítích přenášeny:

- Simplexně s dělením SDM (Space Division Multiplexing – prostorové dělení) znamená, že pro každý směr přenosu je použito jedno vlákno.
- Duplexně s dělením WDM (Wavelength Division Multiplexing – vlnové dělení) jsou signály přenášeny po jednom vláknu. Jeden směr je přenášen v oblasti 1310 nm a druhý v oblasti 1550 nm.
- Duplexně s dělením FDM (Frequency Division Multiplexing – frekvenční dělení). Tyto signály jsou v obou směrech přenášeny po jednom vláknu, v jedné oblasti vlnových délek a směry přenosu jsou odděleny kmitočtově[1]

Nejčastěji je přenosové médium sdíleno s celou řadou účastníků. Při vytváření linkových signálů přenášovaných v sestupném směru od OLT k jednotlivým jednotkám ONT se používá multiplex s časovým dělením TDM (Time Division Multiplex – časové dělení). Ve vzestupném směru od jednotlivých jednotek ONT k OLT se používá přístup s časovým dělením TDMA.[1]

#### Základní dělení optických sítí

- PTP (Point-to-Point - síť typu bod-bod)
- PTM (Point-to-Multipoint – označení mnohabodové sítě) - jejich příkladem je pasivní optická síť.[1]

## 1.2 Pasivní optická přístupová síť

Během posledního desetiletí se pasivní optické sítě staly atraktivním a slibným přístupem k poskytování širokopásmových služeb velkému počtu účastníků. V typických službách PON pocházejí služby z linkového optického zakončení na hlavním konci a vedou optické vlákno asi 10-15 kilometrů, než se optický výkon rozdělí na více výstupů vlákna, přes optický rozbočovač, umístěný na RN (remote node – vzdálený uzel). Každé distribuční vlákno, obvykle menší než 5 kilometrů, pak předává služby směrem k určené optické síťové jednotce (ONT), kde je optický

signál ukončen dříve, než je dále distribuován všem účastníkům, připojeným k této ONT, prostřednictvím jiných médií, například měděným drátem.[2]

PON je síťová architektura, typu „Point-to-Multipoint“, v níž optické rozbočovače umožňují jedinému optickému vláknu propojit více ONT, typicky 32-128. Systémové náklady PON je třeba udržet na nízké úrovni, aby byly ekonomicky životaschopné a konkurenceschopné. PON je vybavena pasivním vzdáleným uzlem, což značně snižuje náklady na správu optických prvků u venkovních vláken. Tradičně jsou navazujícími službami, poskytované přes PON, většinou distribuční videa. Signály, přenášené v sestupném směru, jsou vysílány do každé budovy sdílené s vláknem. Signály přenášené ve vzestupném směru kombinovaně využívají „multiple access“ protokol a metodu TDMA. Kanál ve vzestupném směru je často poskytován pro převedení žádostí účastníků zpět na OLT. Tento kanál ve vzestupném směru má obvykle nízkou přenosovou rychlost. Vzhledem k takové distribuční povaze provozu s nízkonákladovým zájmem PON nebylo věnováno příliš velké úsilí otázce síťového přežití.[2]

V souvislosti s nedávnou obrovskou popularitou internetu a multimediálních služeb se konvenční PON vyvíjejí tak, aby přenášely obousměrné širokopásmové interaktivní datové signály. Požadavky na šířku pásma v podnikových i rezidenčních širokopásmových přístupových sítích se dramaticky zvyšují a služby, prováděné na PON, se stále více zaměřují na data. Některé varianty PON jako BPON (Broadband PON – širokopásmová PON), EPON (Ethernet PON – PON síť založena na protokolu Ethernet) a GPON (Gigabit PON - gigabitová síť PON) byly v poslední době masivněji nasazeny, aby se vyrovnaly s rostoucí poptávkou po dostupných pásmech.[2]

Při nynější dostupnosti optických komponentů a díky nízkým nákladům se PON, používající techniku WDM, ukazují jako optické přístupové sítě příští generace. Ve WDM-PON je každá ONT obsluhována speciální sadou kanálů vlnových délek pro komunikaci s OLT. Každá jednotlivá ONT může využívat vyhrazenou šířku pásma, která je také přizpůsobitelná podle svých potřeb. Kapacita systému a flexibilita sítě by tak mohly být značně posíleny. Nicméně, s konvenčními PON architekturami, které mají omezený ochranný prvek, by jakékoli selhání komponentů nebo vláken vedlo k obrovské ztrátě dat. Aby se usnadnila účinná a rychlá ochrana sítě a její obnovení, je velmi žádoucí provést v optické vrstvě opatření pro přežití v síti. Toho lze dosáhnout jednoduchým spojením vláken nebo duplikací zařízení s ochranou spínání nebo jinými inteligentními schémata s minimálním zdvojením zdrojů nebo rezervací na ochranu. U aplikací PON může být selhání zařízení v OLT nebo ONT snadno odstraněno tím, že v řízeném prostředí je záložní jednotka.[2]

### 1.3 GPON

Nové služby, jako přenos TV vysílání prostřednictvím IP (Internet Protocol – základní protokol pracující na síťové vrstvě) spolu s HSI (High Speed Internet - vysokorychlostní přístup k inter-

netu), mají poptávku po velmi velkých šířkách pásma. XDSL (Digital Subscriber Line – skupina digitálních účastnických přípojek) mají formu, která může uspokojit poptávku po šířce pásma VDSL2 (Very-High Speed Digital Subscriber Line 2 – vysokorychlostní digitální účastnická přípojka 2. generace), ale má omezenou vzdálenost. Jedno z vhodných řešení po poptávce velkých šířek pásma s dlouhým dhem je optický kabel k zákazníkům (FTTx (Fiber To The x – označení koncepce dělení optických přípojek)). Ve srovnání s kroucenou dvoulinkou a kabelovou linkou má optická komunikace velké výhody. Například šířka pásma vlákna je téměř nekonečná a bitová rychlost může dosahovat až 10 Gbps v jediné vlnové délce. Jeden ze způsobů používání je pasivní optická síť (PON). gigabitová PON (GPON) je nejčastější typ, používaný poskytovateli v Evropě a USA (kromě APON – (ATM PON – ATM PON varianta a BPON), zatímco poskytovatelé v Asii převážně využívají EPON a GePON (Gigabit Ethernet PON – Gigabitová PON síť založena na protokolu Ethernet).[3][4]

### 1.3.1 Úvod do technologie GPON

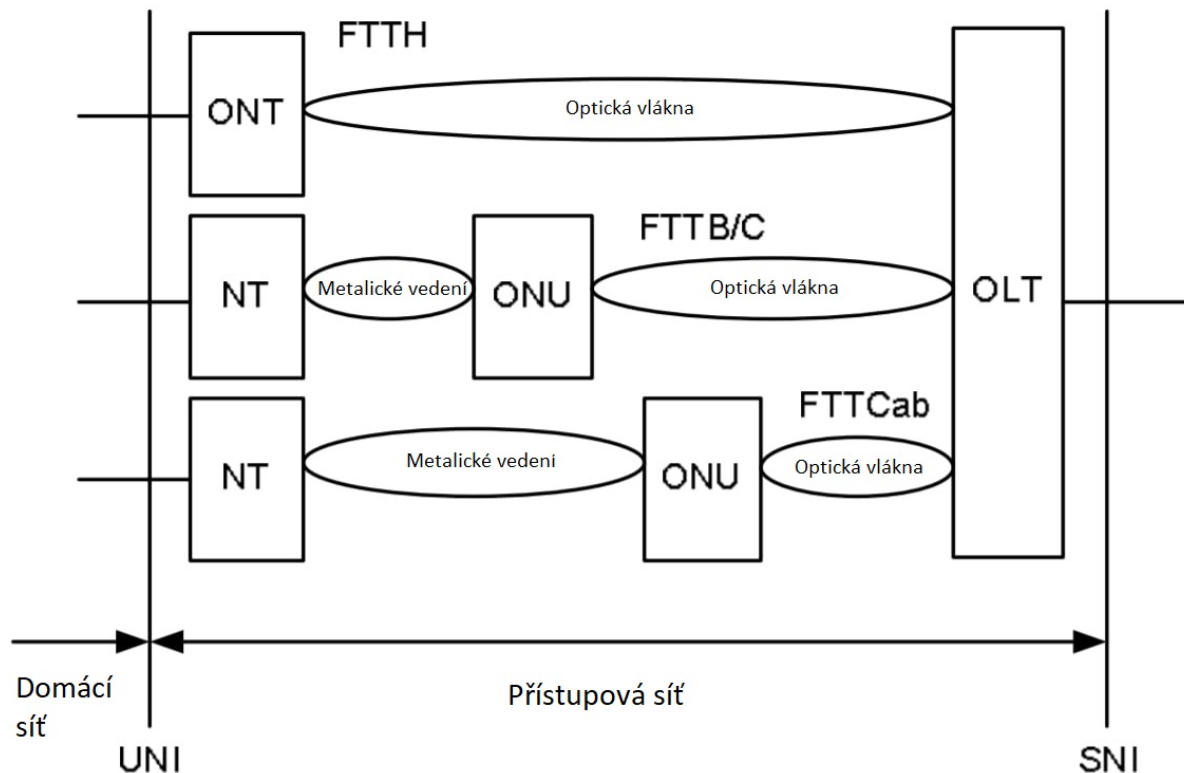
Technologie pasivních optických sítí jsou dostupné od poloviny 90. let, ale v posledních letech přibýlo mnoho rozšiřujících standardů, týkající se těchto sítí. První z technologie pasivních optických sítí byla ATM PON, která se vyvinula v BPON. BPON je zpětně kompatibilní s APON. Ethernet EPON je alternativní řešení pro síť PON. Je standardem IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers – institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství), který není kompatibilní s APON a BPON. Jedná se pouze o PON pro přenos ethernetového a IP provozu.[3]

Gigabitová pasivní optická síť je definována doporučením ITU-T (International Telecommunication Union–Telecommunication Standardization Sector – mezinárodní telekomunikační unie – telekomunikační standardizační sektor) řady G.984.1 až G.984.4. GPON byla poprvé navržena organizací pojmenovanou FSAN v září 2002 a standardizována ITU-T v březnu 2003. GPON má rozšířené schopnosti v porovnání s APON a BPON a je zpětně kompatibilní. Řady standardů G.984 definují obecné charakteristiky GPON (G.984.1), specifikace fyzické vrstvy (G.984.2), specifikace přenosové vrstvy (G.984.3) a specifikace řízení a kontroly ONT (G.984.4). GPON může využívat nejen metodu Ethernet, ale také ATM (Asynchronous Transfer Mode – asynchronní přenosový mód) a TDM pomocí metody zapouzdření GEM (GPON Encapsulation Mode – přenosový protokol ve variantě GPON).[3][4]

### 1.3.2 Základy GPON

Aktivní přenosové zařízení v síti GPON se skládá pouze z OLT a ONT.

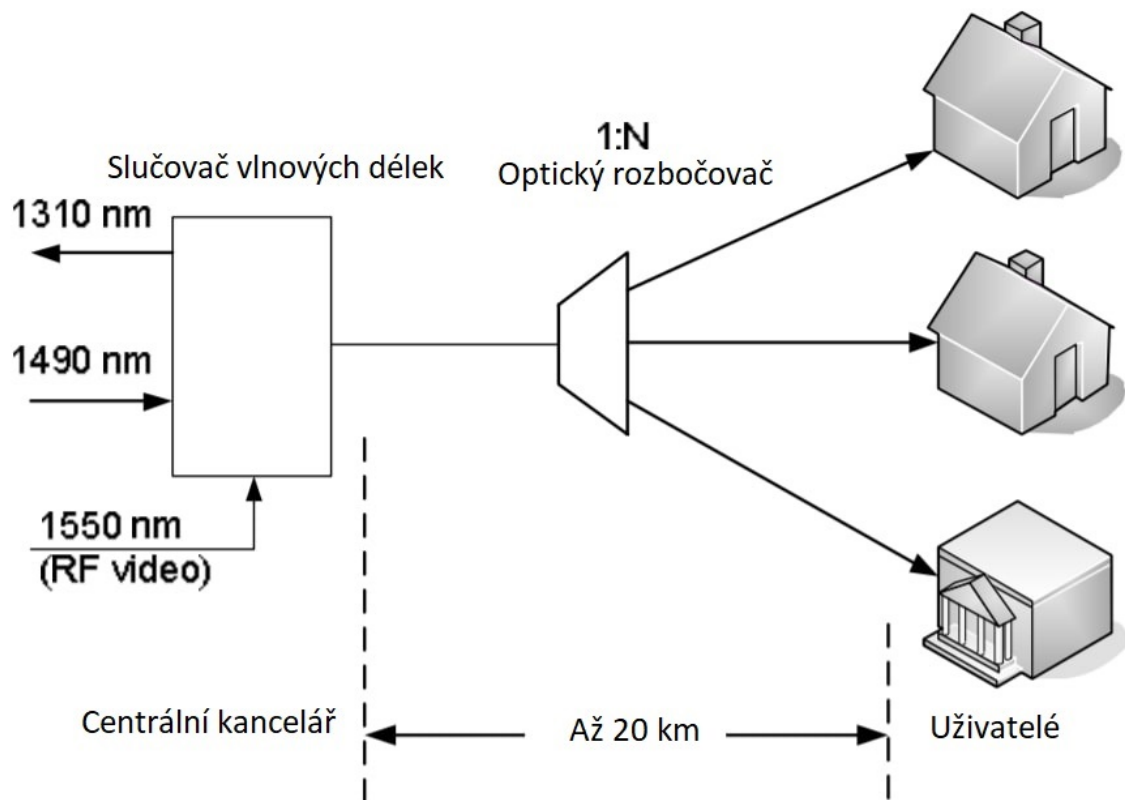
Obrázek 1 znázorňuje logickou síťovou architekturu s různými možnostmi FTTx.



Obrázek 1: FTTx síťová architektura[3]

Začátek v centrální kanceláři, pouze jedno jednovidové optické vlákno je připojeno na pasivním optickém rozbočovači v blízkosti míst uživatelů.[3]

Na Obrázku 2 dělicí prvek jednoduše rozděluje optickou sílu na N samostatných cest k účastníkům. Počet dělicích drah se může lišit od 2 do 64. Od optického rozbočovače je vyvedeno jednovidové vlákno ke každému uživateli. Rozsah přenosu optických vláken z ústředny na každého uživatele může být až 20 kilometrů.[3]



Obrázek 2: Typická architektura GPON[3]

Standard GPON definuje spoustu různých přenosových rychlostí pro přenášení v sestupném a vzestupném směru.[3]

Tabulka 1: Bitová rychlost GPON[3]

Směr přenosu	Bitová Rychlost
Sestupný směr	1244,16 Mbit/s
	2488,32 Mbit/s
Vzestupný směr	155,52 Mbit/s
	622,08 Mbit/s
	1244,16 Mbit/s
	2488,32 Mbit/s

Nejčastěji dodavatelé nabízejí 1,2 Gbit/s ve vzestupném směru a 2,4 Gbit/s v sestupném směru.[3]



## 1.4 Funkce GPON

### 1.4.1 Provozní vlnové délky

Provozní rozsah vlnových délek je 1480-1500 nm pro sestupný směr a 1290-1330 nm pro vzestupný směr. Kromě toho může být rozsah vlnových délek 1550-1560 nm použit pro distribuci RF (Radio Frequency – rádiová frekvence) videa v sestupném směru.[3]

### 1.4.2 FEC

FEC (Forward Error Correction - typ opravného kódování) je matematická technika zpracování signálů, která kóduje data tak, aby bylo možné detekovat a opravit chyby. S FEC se přenášejí redundantní informace spolu s původními informacemi. Množství redundantních informací je malé, takže FEC nezavádí mnoho režijních nákladů. Výsledkem FEC je vyšší rozpočet odkazů o přibližně 3-4dB. Proto může být podporována vyšší bitová rychlost a delší vzdálenost od OLT k ONT.[3]

### 1.4.3 T-CONT

T-CONT (Transmission containers – označení datového rámce ve vzestupném směru) se používají pro správu přidělení šířky pásma v GPON. ONT odesílá provoz pomocí jednoho nebo více T-CONT. Existuje pět typů T-CONT, které mohou být přiděleny uživateli. T-CONT 1 zaručuje přidělení pevného pásma pro aplikace citlivé na čas - VoIP (Voice over IP – telefonie v IP sítích). T-CONT 2 zaručuje přidělení pevného pásma pro aplikace, které nejsou časově citlivé. T-CONT 3 je kombinace minimální a zaručené šířky. T-CONT 4 je nejlépe vynaložené úsilí, dynamicky alokováno bez jakýchkoliv záruk šířky pásma. T-CONT 5 je kombinací všech kategorií služeb.[3]

### 1.4.4 Metoda dynamického přidělování přenosové kapacity

DBA (Dynamic Bandwidth Allocation – metoda dynamického přidělování přenosové kapacity) je metoda, která umožňuje rychlé přidělení šířky pásma pro uživatele na základě aktuálních požadavků na provoz. DBA je řízena OLT, který přiděluje objem šířky pásma ONT. Tato technika funguje pouze ve vzestupném směru. Chceme-li určit, kolik provozu má být přiřazeno k ONT, OLT potřebuje znát provozní stav T-CONT přidruženého k ONT. Ve zprávě o stavu T-CONT udává, kolik paketů čeká v jeho vyrovnávací paměti. Poté, co OLT tyto informace obdrží, může příslušné granty znovu rozdělit do různých ONT. Když ONT nemá žádné informace, pošle nečinnou buňku ve vzestupném směru, což naznačuje, že její vyrovnávací paměť je prázdná. To informuje OLT o tom, že granty pro tento T-CONT mohou být přiděleny jiným T-CONT.[3]

### 1.4.5 Bezpečnost

Základní funkce GPON spočívá v tom, že data v sestupném směru jsou vysílána všem ONT a každá ONT má přiřazen čas, v němž jí patří data. Ve vzestupném směru používá GPON spojení bod-bod, takže veškerá komunikace je zajištěna před odposloucháváním. Kvůli tomu musí být všechny důvěrné informace, například bezpečnostní klíč, zasílány textem. Proto doporučení GP.9 G.984.3 popisuje mechanismus zabezpečení informací a jeho použití, aby uživatelé měli přístup pouze k údajům, které jsou pro ně určeny. Šifrovací algoritmus, který je třeba použít, je AES (Advanced Encryption Standard – druh symetrické blokové šifry). Přijme 128, 192 a 256 bajtových klíčů, díky nimž je šifrování extrémně obtížné. Klíč lze měnit pravidelně, aniž by došlo k narušení toku informací.[3]

### 1.4.6 Ochrana

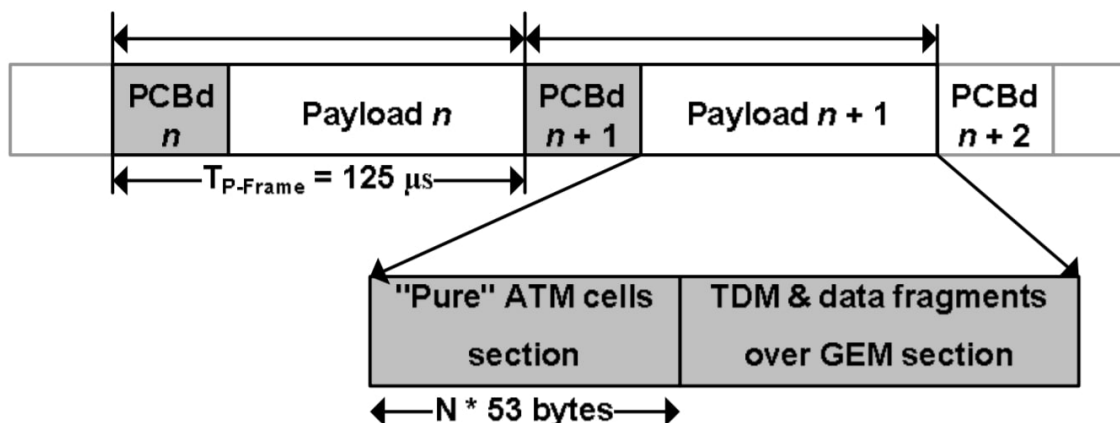
Existují dva typy spínání ochrany: automatické přepínání a nucené spínání. První je spuštěna detekcí poruchy, jako je ztráta signálu, ztráta snímku, degradace signálu a tak dále. Druhá je aktivována administrativními událostmi, jako je přesměrování vláken, výměna vláken a tak dále.[3]

## 1.5 Přenos GPON

GPON používá pro zapouzdření dat metodu GEM. Ačkoli může být zapouzdřen jakýkoliv typ dat, skutečné typy závisí na situaci služby. GEM poskytuje spojově orientovanou komunikaci. Tato metoda je založena na upravené verzi doporučení ITU-T G.7041 GFP (Generic framing procedure – postup generického rámování).[3]

### 1.5.1 Formát rámce GPON v sestupném směru

Provoz v sestupném směru je vyslán z OLT na všechny ONT způsobem TDM. Každá ONT musí brát v úvahu pouze rámce určené pro ni, což je zajištěno šifrováním. Následující Obrázek 3 se skládá z fyzického řídicího bloku PCBd (Physical Control Block downstream – označení služebního záhlaví GTC rámců ve směru sestupném), oddílu ATM a oddílu GEM. Rámec v sestupném směru poskytuje společnou časovou referenci pro PON a poskytuje společnou řídicí signalizaci ve vzestupném směru.[3]



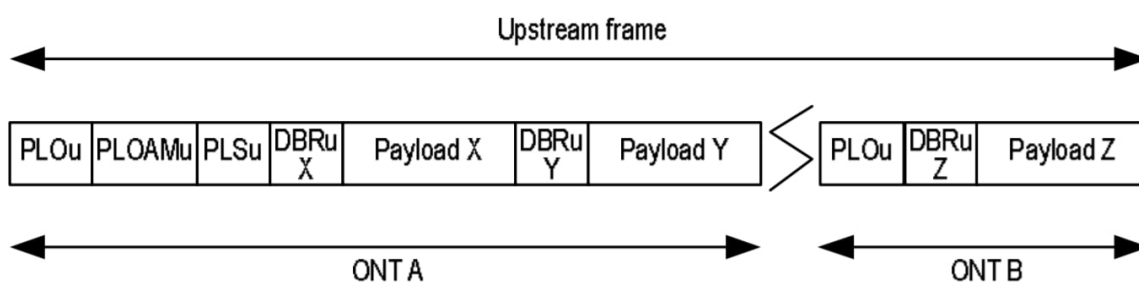
Obrázek 3: GPON rámeček v sestupném směru[3]

Schéma koncové rámcové struktury je znázorněno na Obrázku 3.

Rámeček má 125  $\mu$ s pro obě datové rychlosti. Rozsah délky PCBd je stejný pro obě rychlosti a závisí na počtu přidělených struktur na jeden rámeček. Nejsou-li k odeslání žádná data, je pak nadále vysílán a používán pro synchronizaci času.[3]

### 1.5.2 Formát rámečku GPON ve vzestupném směru

Přenos ve vzestupném směru využívá TDMA. OLT přiřazuje proměnné různé délky každé ONT pro synchronizovaný přenos datových sérií. Rámeček ve vzestupném směru se skládá z několika přenosových impulzů. Každý impulz ve vzestupném směru obsahuje minimálně PLO (Physical Layer Overhead – režie fyzické vrstvy). Kromě užitečného zatížení může obsahovat také oddíl PLOAMu (Physical Layer Operations Administration and Management upstream - označení služebních ATM buněk pro řízení a zprávu v ITU-T sítích PON).[3]



Obrázek 4: GPON rámeček ve vzestupném směru[3]

Délka rámce je stejná jako u rámce v sestupném směru pro všechny rychlosti. Každý snímek obsahuje řadu přenosů z jedné nebo více ONT. Během každého alokačního období, podle ovládacího prvku OLT, může ONT odeslat jeden až čtyři typy režijních režii a uživatelských dat.[3]

### 1.5.3 Segment GEM

GPON podporuje dvě metody zapouzdření: metoda ATM a zapouzdření GPON (GEM). Ve službě GEM je veškerý provoz mapován v síti GPON pomocí variant SONET (Synchronous Optical Network – synchronní optická síť)/SDH (Synchronous Code Division Multiplex - synchronní kódové dělení (multiplex)) obecné rámcové procedury (GFP). GEM podporuje nativní přenos hlasu, videa a dat, bez přídatné vrstvy ATM nebo IP zapouzdření. GPON podporuje rychlost v sestupném směru až 2,5 Gbits/s a rychlost ve vzestupném směru od 155 Mbits/s do 2,5 Gbits/s.[3]

## 1.6 Optický rozbočovač

PON obvykle připojuje jedno vlákno z OLT k více ONT. Bod-bod připojení mezi OLT a více ONT je dosaženo pomocí jednoho nebo více pasivních rozvětvacích zařízení v dráze vlákna. Toto zařízení má jeden vstup a více výstupů. Typický je počet vstupů  $2^n$  (například 2,4,8,16 a tak dále) a optický výkon, rovnoměrně rozdělen mezi výstupy. Obvykle se optický výkon u každého výstupu sníží, vzhledem ke vstupu, o faktor  $n \cdot 3,5$  dB. Optický rozbočovač je obousměrné zařízení. Z tohoto důvodu je rozbočovač někdy označován jako rozdělovač/spojka. Optický signál je oslabován o stejné množství  $\sim(n \cdot 3,5$  dB) pro oba směry. Optický rozbočovač je nejnáročnější složkou pokud se jedná o ztráty. Existují dvě techniky pro výrobu rozbočovačů: FBT (Fused Biconical Taper – fúzní rozbočovače) a PLC (Planar Lightwave Circuit – planární typ rozbočovače). Rozbočovač 1x2 FBT je vyroben přesným spojením dvou vláken dohromady. Vyšších rozdělovacích poměrů se dosahuje kaskádovými rozbočovači 1x2. Rozbočovač PLC se skládá z mikroskopického optického obvodu, který je typicky leptaný v křemíku.[3]

## 1.7 Útlumová bilance

Možný dosah přístupové sítě definují dva klíčové parametry: citlivost vysílače a přijímače. V tabulce 2 jsou zobrazeny typické parametry komerčně dostupných vysílačů a přijímačů s podporou rychlosti 1,25 Gb/s. Chceme-li vypočítat nejhorší možný rozpočet napájení, minimální citlivost přijímače se odečte od minimálního výkonu vysílače. U těchto zařízení je dostupný rozpočet energie přibližně 22 nebo 23 dB. Na základě těchto hodnot je známá celková ztráta v síti a maximální dosah sítě lze vypočítat z následujícího vzorce:[3]

$$P = FCA \cdot L + SL + \text{Pokuty}$$

P je rozpočet výkonu, FCA je útlum optického vlákna v dB/m, L je vzdálenost a SL je ztráta

rozbočovače.

Pokuty znamenají dodatečné náklady, jako jsou ztráty na spojích a konektorech. Typický útlum jednovidového vlákna je asi 0,4 dB/km pro vlnovou délku 1310 nm a 0,3 dB/km pro 1550 nm (doporučení ITU-T G.652.C a G.652.D). Jako příklad, za předpokladu že rozpočet výkonu se rovná 23 dB, je použito jednovidové vlákno pracující na vlnové délce 1550 nm, SL je 14 dB a existují dva mechanické spoje a dva konektory, maximální dosah sítě je vypočítán z předešlého vzorce:[3]

$$\frac{23[dB] - SL - 2 \cdot 0,5[dB] - 2 \cdot 0,5[dB]}{FCA \left[ \frac{dB}{km} \right]}$$

Minimální rozpočet výkonu pro typické konfigurace PON jsou uvedeny v Tabulce 2.

Tabulka 2: Minimální rozpočet výkonu pro různé konfigurace PON[3]

Počet ONT	L	$\lambda$	FCA	SL	Pokuty	Požadovaný rozpočet výkonu
16	10 km	1310 nm	0,4 dB/km	14,5 dB	2,5 dB	21 dB
16	20 km	1550 nm	0,3 dB/km	14,5 dB	2,5 dB	23 dB
32	10 km	1310 nm	0,4 dB/km	17 dB	2,5 dB	23,5 dB
32	20 km	1550 nm	0,3 dB/km	17 dB	2,5 dB	25,5 dB

## 1.8 DTV síť

DTV (Digital Television – digitální televize) síť se skládá z hlavního systému a síťového systému. Hlavní část pracuje na zpracování signálu DTV. Skládá se z mnoha druhů zařízení, jako jsou například družice, přijímač, enkodér, multiplexer, scrambler, QAM (Quadrature Amplitude Modulation – kvadraturní amplitudová modulace) modulátor a tak dále. Zdroj signálu může být buď ze satelitního přijímače nebo z SDH sítě. Kodér pak transformuje data televizoru MPEG-TS (Moving Picture Experts Group-Transport Stream - skupina expertů pro pohyblivý obraz – přenosový tok), který je 6 Mbps pro SDTV (Standard-Definition Television - televizní systém, který zahrnuje standardy PAL a NTSC) a 20 Mbps pro HDTV (High-Definition Television - televize s vysokým rozlišením). Multiplexer může integrovat několik TV programů do jednoho TS (Transport Stream – přenosový tok). Také může obsahovat 6 signálů SDTV v šířce pásma přibližně 8MHz. Poté se tento multiplexní signál transformuje na QAM signály modulátorem QAM a je odeslán do přístupové sítě pomocí optického vysílače.[4]

Když je signál DTV přenášen v GPON, jsou velmi důležité některé parametry, jako optický výkon, elektrický potenciál, CNR (Carrier to Noise Ratio – poměr nosné k šumu), BER (Bit Error Rate – bitová chybovost) a tak dále. Vysílání signálů DTV je velmi odlišné od vysílání

analogových televizních signálů. Především je rozdílný elektrický potenciál. V DTV musí být elektrický potenciál vyšší, než se běžně používá. Navíc ONT potřebuje odlišný optický výkon v televizních signálech a datových signálech. Optický výkon televizních signálů se pohybuje mezi  $-2\sim 2\text{dBm}$  a bude  $-24\sim -3\text{dBm}$ , když je signálem datová služba. Když přenášíme signály DTV v PON, měli bychom nejprve poslat signály do OLT. V této části bychom měli brát v úvahu vlnové délky a optický výkon. GPON přijímá tři vlnové délky pro realizaci WDM, 1310nm pro datovou službu uplink, 1490nm pro datovou službu downlink a 1550 nm pro video signály. Takže když posíláme signály DTV do OLT, doporučujeme použít optický vysílač 1550nm k dokončení úlohy. V rozmezí 65~870 MHz využívá každý kanál, ať už digitální nebo analogový, šířku pásma přibližně 6 nebo 8 MHz. Ve většině systémů PON musí být televizní signály zesilovány na úroveň asi 20dBm optickým zesilovačem, protože po vyslání přes OLT a ODN mohou být hodně zeslabeny.[4]

## 2 Vytvoření experimentálního pracoviště GPON sítě s VLC/IP-DVB streamerem pro šíření video toků

### 2.1 Popis použitých zařízení

#### 2.1.1 Wi-Fi směrovač TP-link

TP-Link model TL-R460 je čtyřportový kabelový směrovač, pomocí kterého lze vytvořit domácí drátovou síť. Obsahuje čtyři porty LAN (Local Area Network - označení pro lokální datové sítě) 10/100 Mbit/s pro místní sdílení internetu.[12]



Obrázek 5: Směrovač TP-Link[12]

#### 2.1.2 IP-DVB streamer

IP-DVB streamer od společnosti ASM běží na OS Linux, konkrétně na verzi Debian 6.0.3. Systém je doplněn o skripty, které řídí streamování. Streamer přijímá dva DVB-T/T2 (Digital Video Broadcasting-Terrestrial - digitální televizní standard přes pozemní vysílače) multiplexy a dva DVB-S/S2 (Digital Video Broadcasting-Satellite - digitální televizní standard přes satelit) placené satelitní kanály. Všechny čtyři transpondéry je možné dekodovat pomocí CAM.[20]



Obrázek 6: IP-DVB streamer

### 2.1.3 Přepínač FOS-3126+

FOS-3126+ je gigabitový přístupový přepínač vybavený 24 kombo porty. Tyto porty mohou být využity jako 10/100/1000 Mbit/s RJ45 vstupy nebo jako sloty pro SFP optické moduly. Všechny SFP sloty mohou pojmout široký rozsah SFP transceiverů, včetně jednovidových, WDM nebo CWDM. Je navržen pro poskytovatele služeb a podniky, které hodlají implementovat FTTx sítě s rozšířením na službu triple play.[14]



Obrázek 7: Přepínač FOS-3126+[14]

### 2.1.4 GPON OLT ZTE ZXA10 C320

ZXA10 C320 je multi-servisní optický přístupový systém, který je ideálním řešením pro PON sítě malého rozsahu nabízející kvalitní triple play služby. Je plně kompatibilní se všemi servisními kartami, včetně GPON, EPON a PTP. Jedná se o OLT zařízení, na které, v případě připojení GPON karet s 8 PON porty, lze připojit až 1024 uživatelů při sdílení 1:64 nebo až 2048 koncových uživatelů při sdílení 1:128. Šasi disponuje výkonnou sběrnici o kapacitě 420 Gbit/s, která je propojena s řídicími kartami o přepínací kapacitě 84 Gbit/s. Dále zařízení poskytuje síťové služby obsahující FTTH, FTTB a FTTC. Sjednocená platforma umožňuje koexistenci GPON, EPON a XG-PON (X Gigabit PON - 10gigabitová PON varianta dle ITU-T G.987) a podporuje vylepšení na vyžádání.[15][16]





Obrázek 8: GPON OLT ZTE ZXAN C320[16]

### 2.1.5 ONT ZXHN F660

ZXHN F660 je optické síťové zakončení, které se používá především v zapojení FTTH. Použitím technologie GPON je pro domácí uživatele k dispozici velmi širokopásmový přístup. Model F660 nabízí čtyři 10/100/1000 Mbit/s porty a jeden SC/APC port. Díky svým funkcím je ideální pro služby triple play.[17][18]



Obrázek 9: ONT ZXHN F660[17][18]

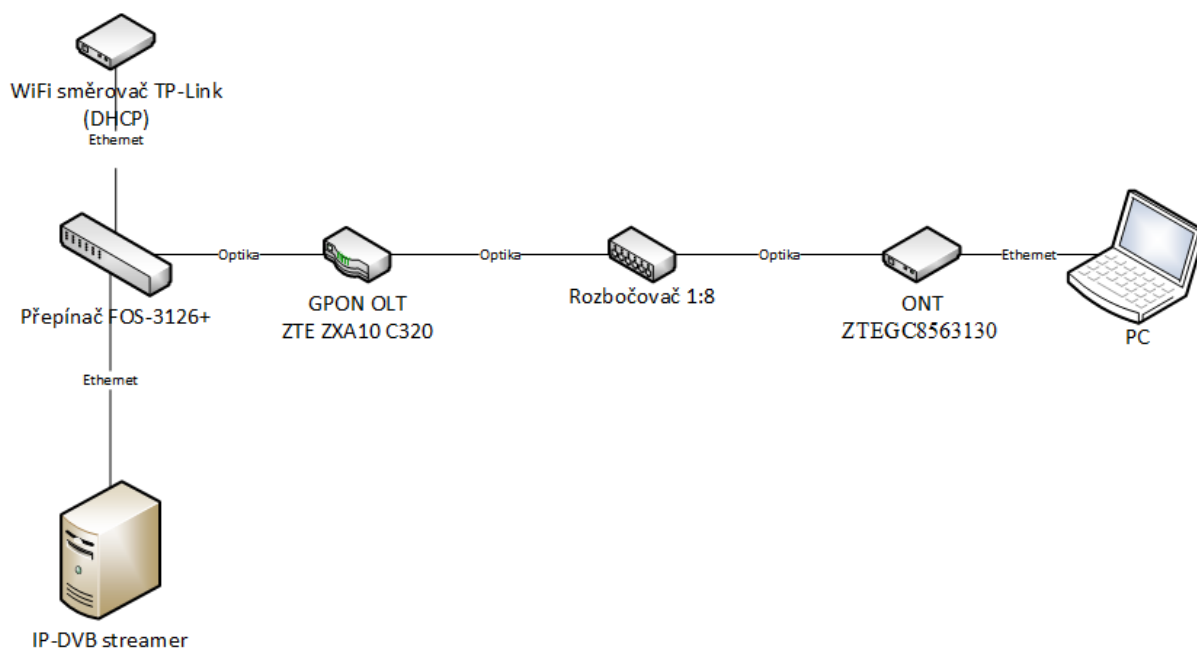
## 2.2 Popis použitého softwaru

### 2.2.1 Multimediální přehrávač VLC

VLC je svobodný multiplatformní multimediální přehrávač s otevřeným zdrojovým kódem. Přehraje většinu multimediálních souborů, DVD, zvukových CD a různých proudových protokolů. VLC je původně linuxový přehrávač. Má velmi dobrou sadu funkcí přes video, synchronizaci titulků a audio filtry.[19]

### 2.3 Topologie zapojení s IP-DVB streamerem

Wi-Fi (Wireless Fidelity - bezdrátová datová technologie) směrovač TP-Link v tomto zapojení slouží jako DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol - protokol používající se pro automatickou konfiguraci počítačů připojených do počítačové sítě) server pro celou síť. To znamená, že přiděluje IP adresy z určeného rozsahu ostatním komponentům sítě. IP-DVB streamer je zapojen jako zdroj pro šíření video toků. Tento streamer vysílá na multicast adresách televizní stanice, které přijímá za pomoci Yagi antény. Obě tato zařízení jsou připojena metalickými kabely do přepínače FOS, představující jádrový přepínač této sítě. Na přepínači FOS je vytvořena značkováná VLAN (Virtual LAN - logicky nezávislá síť v rámci jednoho nebo několika zařízení) 300 se zapnutým IGMP (Internet Group Management Protocol - označení pro rozšíření původní IP verze 4 o možnost přeposílání datagramů z jednoho zdroje více koncovým stanicím). Přes optická vlákna je přepínač FOS připojený do uplink rozhraní od OLT. OLT řídí signály přenášené v sestupném i vzestupném směru a zajišťuje funkce síťového rozhraní mezi přístupovou sítí a sítěmi telekomunikačních služeb. Z OLT vede pasivní optická trasa do rozbočovače 1:8. Z tohoto rozbočovače je pak vyvedeno optické vlákno do ONT. ONT je zařízení umístěné na straně zákazníka a zabezpečuje funkce účastnického rozhraní mezi koncovými zařízeními a přístupovou sítí. Toto zařízení je pak metalickou kabeláží připojeno na koncové PC zařízení, na kterém lze přijímat vysílané video toky.

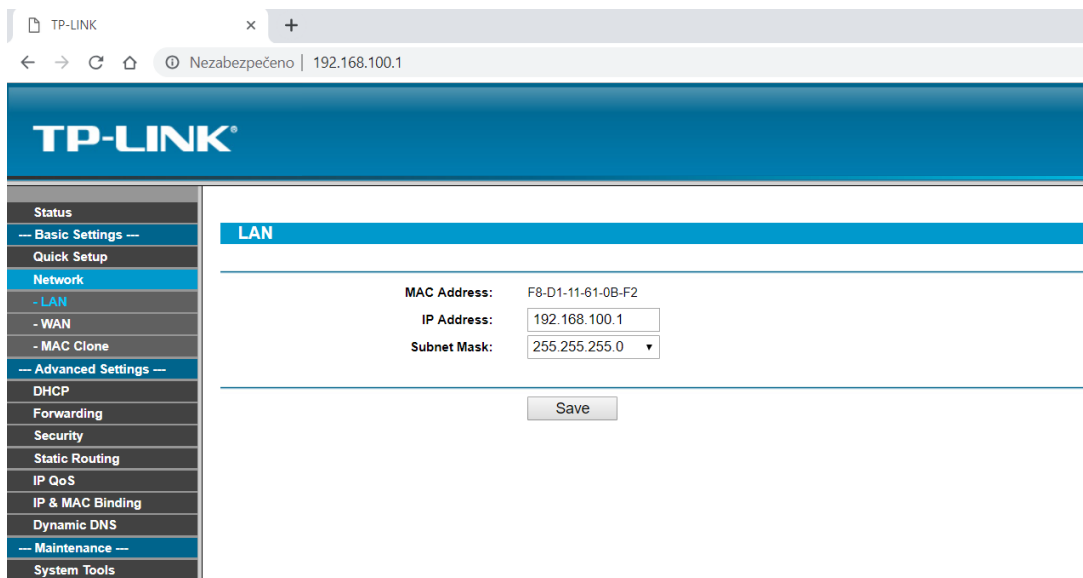


Obrázek 10: Topologie zapojení testované sítě

## 2.4 Konfigurace Wi-Fi směrovače TP-Link

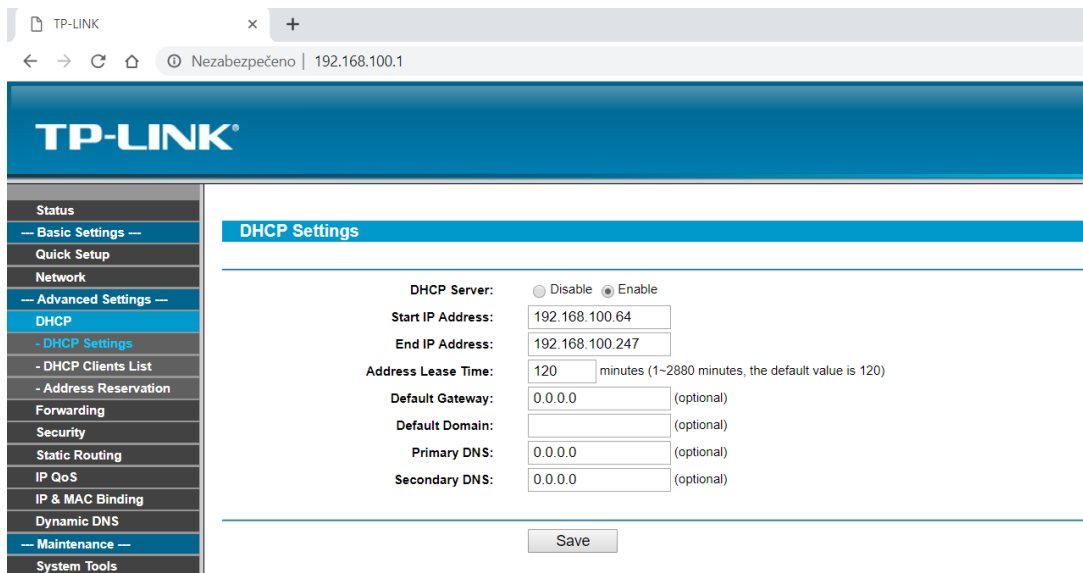
WiFi směrovač se konfiguruje pomocí webového rozhraní. Na toto rozhraní se dá připojit při zadání IP adresy 192.168.100.1 do webového prohlížeče. Přihlašovací jméno a heslo jsou *admin*.

### 1. Nastavení IP adresy na směrovači



Obrázek 11: IP adresa na směrovači TP-Link

### 2. Nastavení DHCP rozsahu

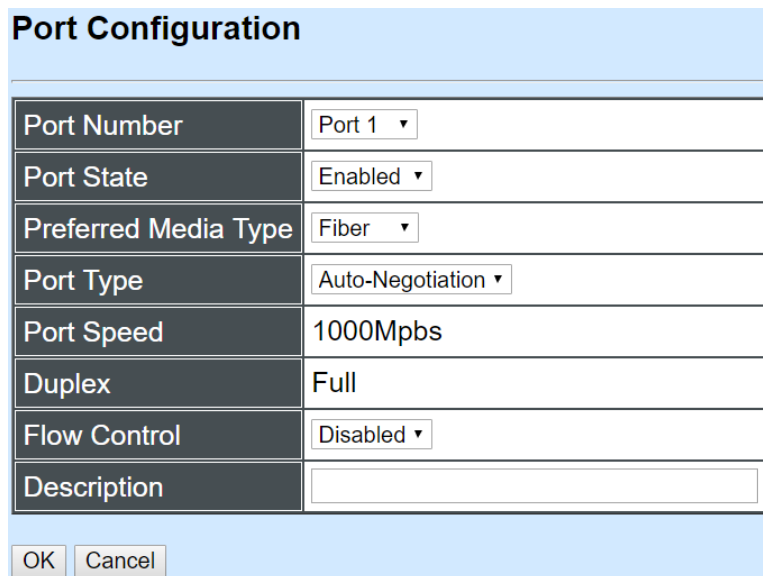


Obrázek 12: Nastavení DHCP na směrovači TP-Link

## 2.5 Konfigurace přepínače FOS-3126+

Na přepínač FOS-3126+ se také připojuje přes webový prohlížeč. V tomto případě je IP adresa 192.168.100.2. Uživatelské jméno je *admin* a přepínač nemá heslo.

1. Nastavení rozhraní se provádí kliknutím na ikonu Rozhraní.

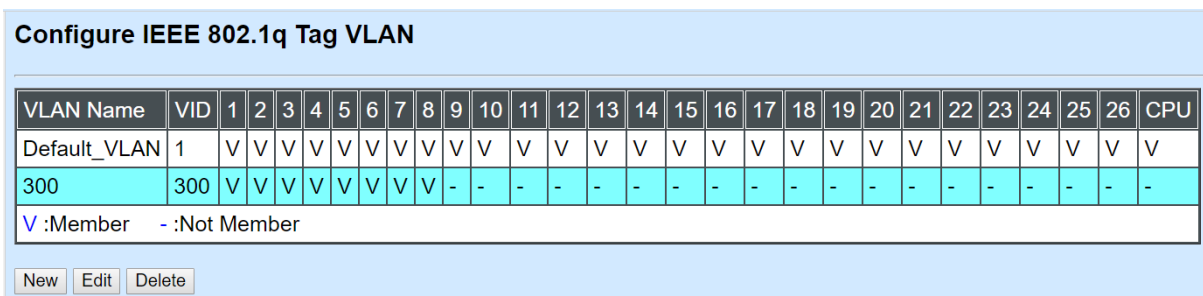


Port Number	Port 1 ▾
Port State	Enabled ▾
Preferred Media Type	Fiber ▾
Port Type	Auto-Negotiation ▾
Port Speed	1000Mbps
Duplex	Full
Flow Control	Disabled ▾
Description	

OK Cancel

Obrázek 13: Nastavení rozhraní na přepínači

2. Vytvoření značkové VLAN 300 a přiřazení na prvních osm rozhraní.



VLAN Name	VID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	CPU
Default_VLAN	1	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
300	300	V	V	V	V	V	V	V	V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

V :Member    -:Not Member

New Edit Delete

Obrázek 14: Vytvoření VLAN 300 na přepínači

3. Dále je potřeba zapnout VLAN Aware na prvních osm rozhraní.

**Tag VLAN Settings**

Select Setting: VLAN Aware

**VLAN Aware**

1	2	3	4	5	6	7
Enable ▾	Enable ▾	Enable ▾	Enable ▾	Enable ▾	Enable ▾	Enable ▾
8	9	10	11	12	13	14
Enable ▾	Disable ▾	Disable ▾	Disable ▾	Disable ▾	Disable ▾	Disable ▾
15	16	17	18	19	20	21
Disable ▾	Disable ▾	Disable ▾	Disable ▾	Disable ▾	Disable ▾	Disable ▾
22	23	24	25	26		
Disable ▾	Disable ▾	Disable ▾	Disable ▾	Disable ▾		

OK Cancel

Obrázek 15: Zapnutí VLAN Aware na přepínači

4. Přiřazení IGMP na VLAN 300.

**IGMP VLAN ID Configuration**

VID	VLAN Name	Snooping	Querying
1	Default_VLAN	Disable	Disable
300	300	Enable	Enable

Edit

Obrázek 16: Přiřazení IGMP na přepínači

5. Zapnutí IGMP Snooping na prvních osmi rozhraních.

### IGMP Configuration

Snooping	Enabled ▾	
Unregistered IPMC Flooding	Disabled ▾	
Query Interval	125	1~6000 (Second)
Query Response Interval	100	1~6000 (1/10 Sec)
Fast Leave	Disabled ▾	

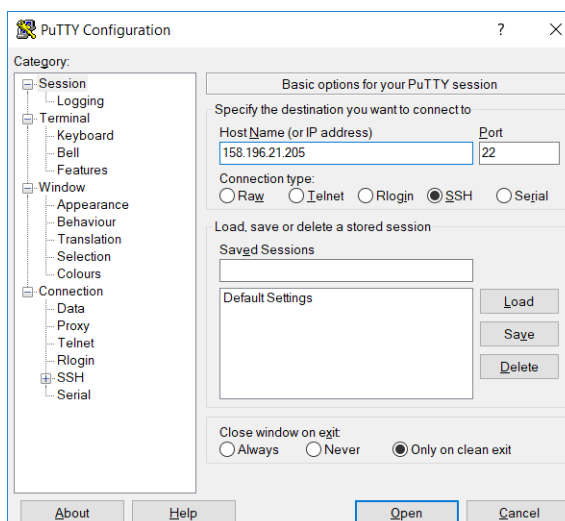
Router Port	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	Y ▾	Y ▾	Y ▾	Y ▾	Y ▾	Y ▾	Y ▾	Y ▾	N ▾	N ▾	N ▾	N ▾	N ▾
	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
	N ▾	N ▾	N ▾	N ▾	N ▾	N ▾	N ▾	N ▾	N ▾	N ▾	N ▾	N ▾	N ▾

OK Cancel

Obrázek 17: Zapnutí IGMP Snooping na přepínači

## 2.6 Konfigurace IPTV služby na OLT ZTE ZX10 C320 a ONT ZTE za použití CLI i webového grafického uživatelského rozhraní Ikarus

1. Připojení do CLI (Command Line Interface - příkazový řádek) od ONT se provádí například pomocí protokolu SSH (Secure Shell - zabezpečený komunikační protokol v počítačových sítích) v programu PuTTY.



Obrázek 18: SSH do ONT pomocí PuTTY

2. Uživatelské jméno a heslo jsou *zte*.

---

```
login as:zte
zte@ password:

*****
* Welcome to ZXAN GPON product of ZTE corporation *
*       VSB vyuka PON - ZTE GPON OLT           *
*       * Unauthorized access prohibited *     *
*****

GPON_VSB#
```

---

3. Nejdříve se vytvoří, popíše a pojmenuje VLAN 300, která bude přenášet DHCP a multicast (režim, kdy datagramy z jednoho zdroje jsou rozepisovány více koncovým stanicím) provoz.

---

```
GPON_VSB#conf t
GPON_VSB(config)#vlan 300
GPON_VSB(config-vlan)#description LAB_IPTV
GPON_VSB(config-vlan)#name VLAN300
GPON_VSB(config-vlan)#exit
```

---

4. Poté se VLAN 300 přiřadí IP adresa sítě, uvnitř které běží IP-DVB streamer.

---

```
GPON_VSB(config)#interface vlan 300
GPON_VSB(config-if[vlan300])#ip address 192.168.100.248 255.255.255.0
GPON_VSB(config-if[vlan300])#exit
```

---

5. Této VLAN se přiřadí uplink PON rozhraní, do kterého je připojen přepínač FOS.

---

```
GPON_VSB(config)#interface gei_1/4/2
GPON_VSB(config-if)#switchport default vlan 300
GPON_VSB(config-if)#exit
```

---

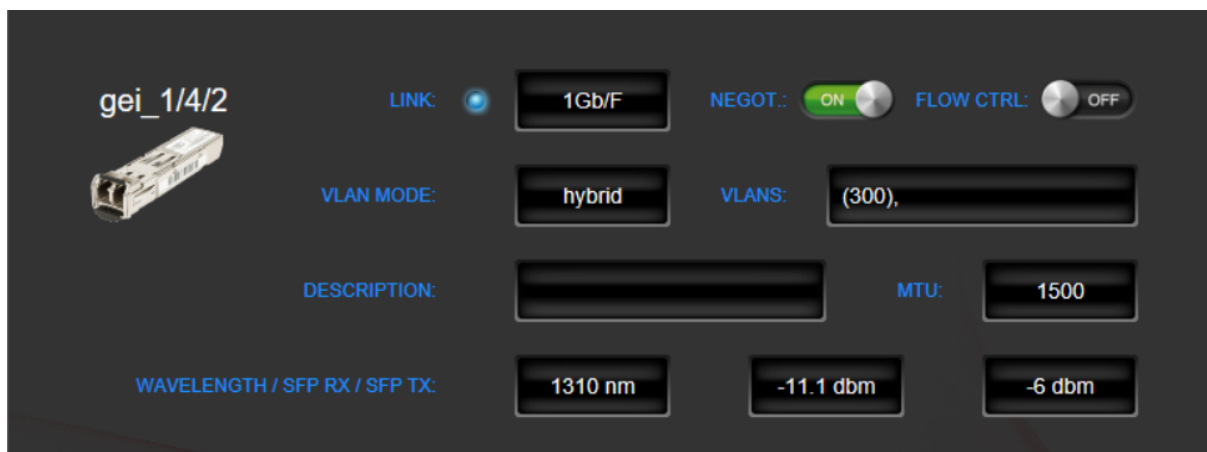
6. Je potřeba nakonfigurovat IGMP. Jako zdrojový port se použije uplink rozhraní gei 1/4/2 a cílový port je vport 1 na použitém ONT.

---

```
GPON_VSB(config)#igmp mvlan 300
GPON_VSB(config)#igmp mvlan 300 work-mode snooping
GPON_VSB(config)#igmp mvlan 300 group-filter disable
GPON_VSB(config)#igmp mvlan 300 source-port gei_1/4/2
GPON_VSB(config)#igmp mvlan 300 receive-port gpon-onu_1/1/1:1 vport 1
```

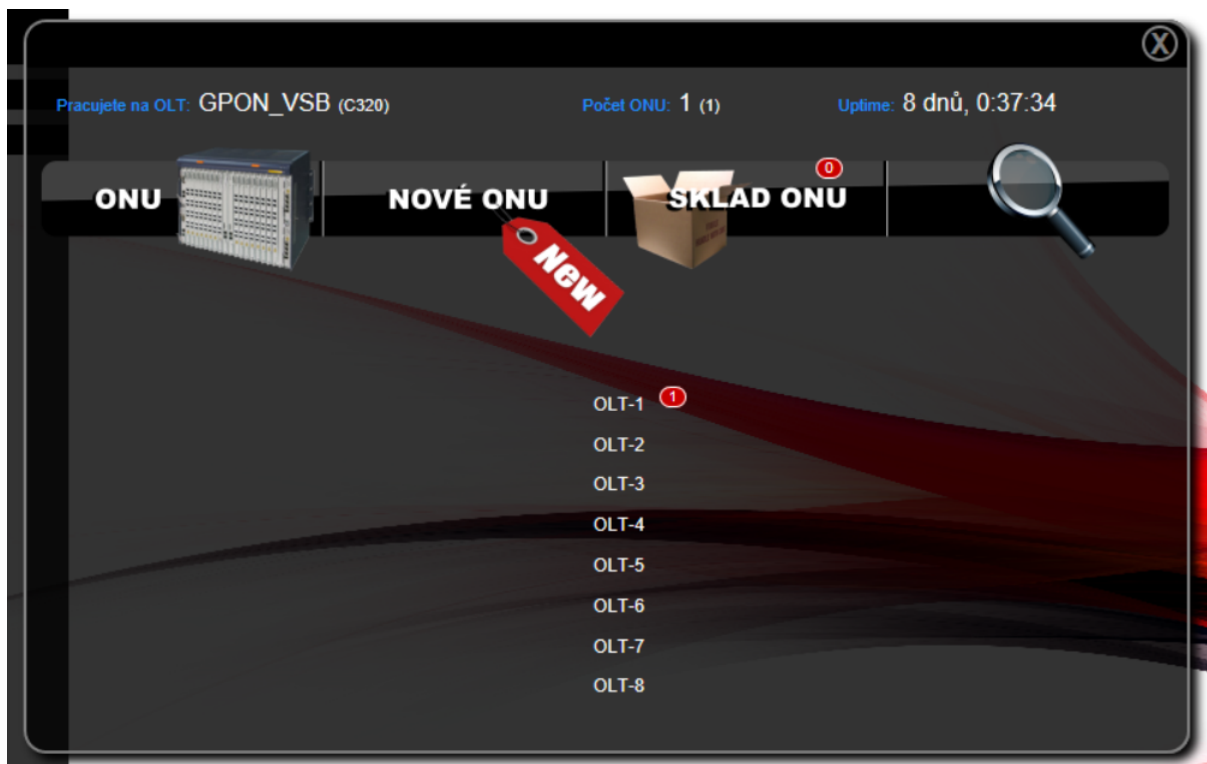
---

7. V grafickém uživatelském rozhraní Ikarus se ověří funkčnost uplink rozhraní.



Obrázek 19: Funkční uplink rozhraní

8. Následně se přejde do nastavení ONT(ONU) a vybere se OLT-1.



Obrázek 20: Výběr OLT



9. Poté se provádí výběr registrovaného ONT.



Obrázek 21: Výběr registrovaného ONT

10. Dále se přidá nová služba IPTV (IPTV - přenos TV vysílání prostřednictvím IP) s T-CONT-IPTV, danými rychlostmi a VLAN 300.



Obrázek 22: Výběr nové služby IPTV

11. ONT dostane IP adresu z DHCP a přetáhnutím služby na rozhraní ONT se přiřadí daná služba.



Obrázek 23: Nakonfigurované ONT

## 2.7 Konfigurace IP-DVB streameru

IP-DVB streamer se zapíná až po spuštění a konfiguraci směrovače, aby správně získal IP adresu pomocí DHCP. Streamer totiž vykonává DHCP discover během spuštění systému. Všechny následující příkazy se provádí v režimu superuživatele.

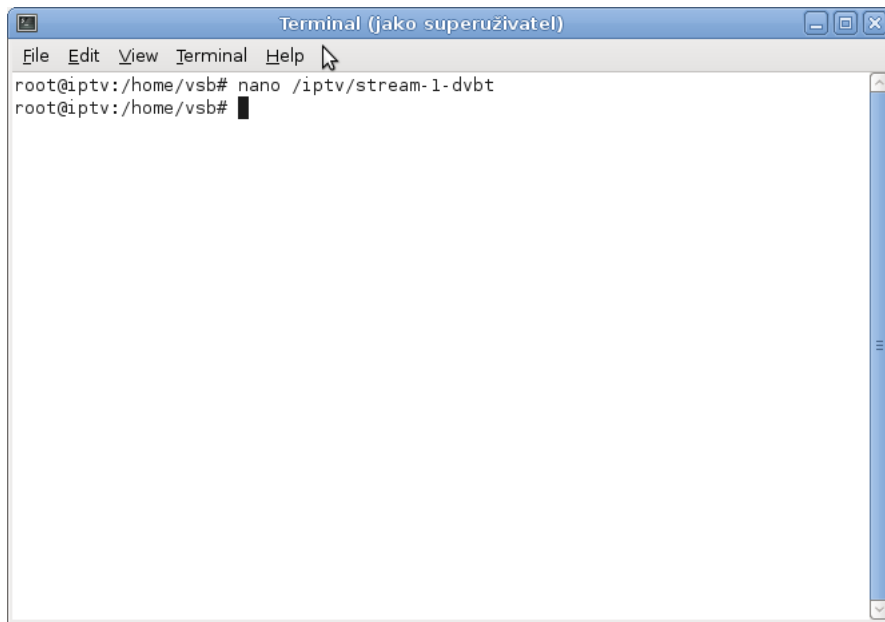
1. Kontrola přiřazené adresy pomocí DHCP.

```
root@iptv:/home/vsb# ifconfig eth0
eth0      Link encap:Ethernet  Hwaddr 00:25:22:c9:2d:c4
          inet addr:192.168.100.65  Bcast:255.255.255.255  Mask:255.255.255.0
          inet6 addr: fe80::225:22ff:fec9:2dc4/64  Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:345 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:4570561 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:36966 (36.0 KiB)  TX bytes:1965873176 (1.8 GiB)
          Interrupt:44 Base address:0x6000

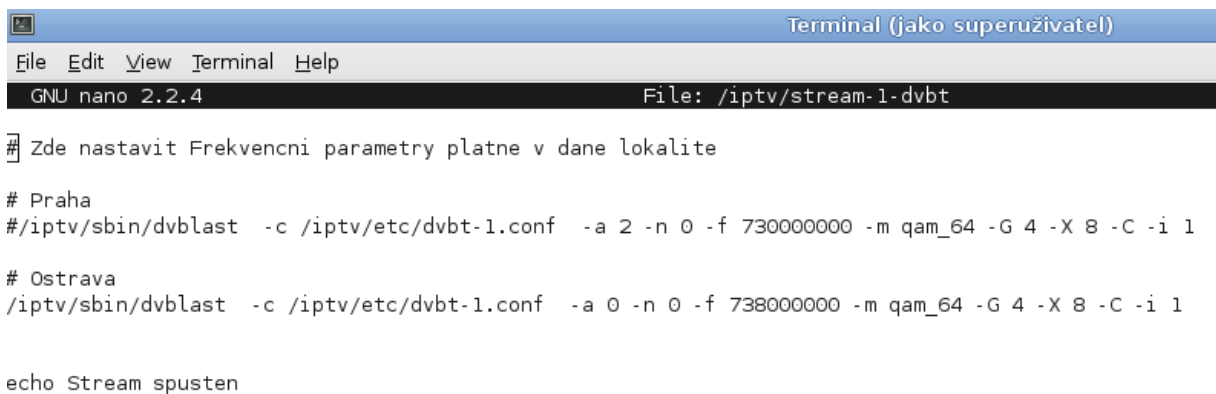
root@iptv:/home/vsb#
```

Obrázek 24: Ifconfig na IP-DVB streameru

2. Pomocí příkazu `nano /iptv/stream-1-dvbt` lze zkontrolovat nebo nastavit frekvenci a amplitudu, se kterými bude streamer přijímat DVB-T signál.

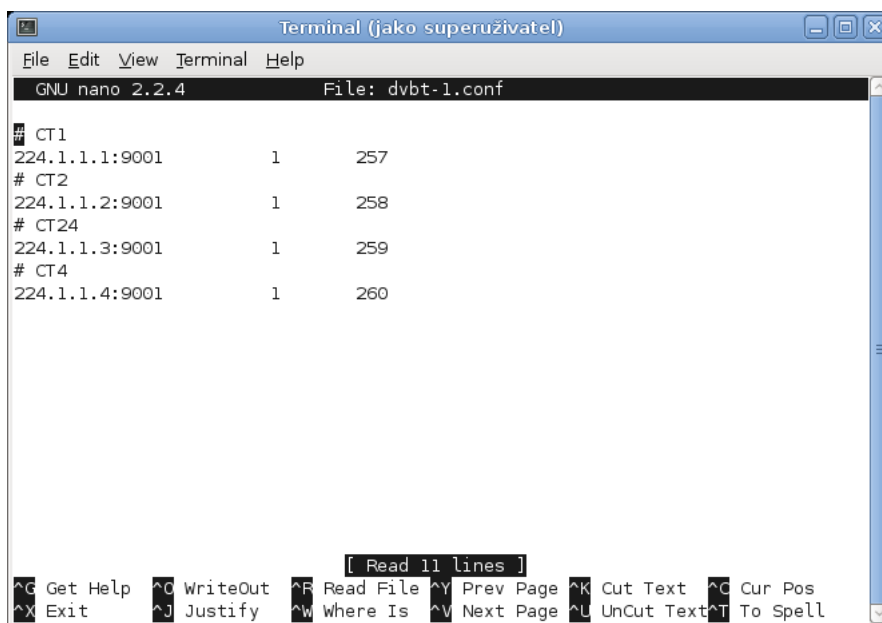


Obrázek 25: Nano stream-1-dvbt



Obrázek 26: Soubor stream-1-dvbt

3. Příkaz `nano /iptv/etc/dvbt-1.conf` slouží pro úpravu souborů, které obsahují záznamy o přiřazení konkrétních televizních stanic určitým multicast adresám a portům.

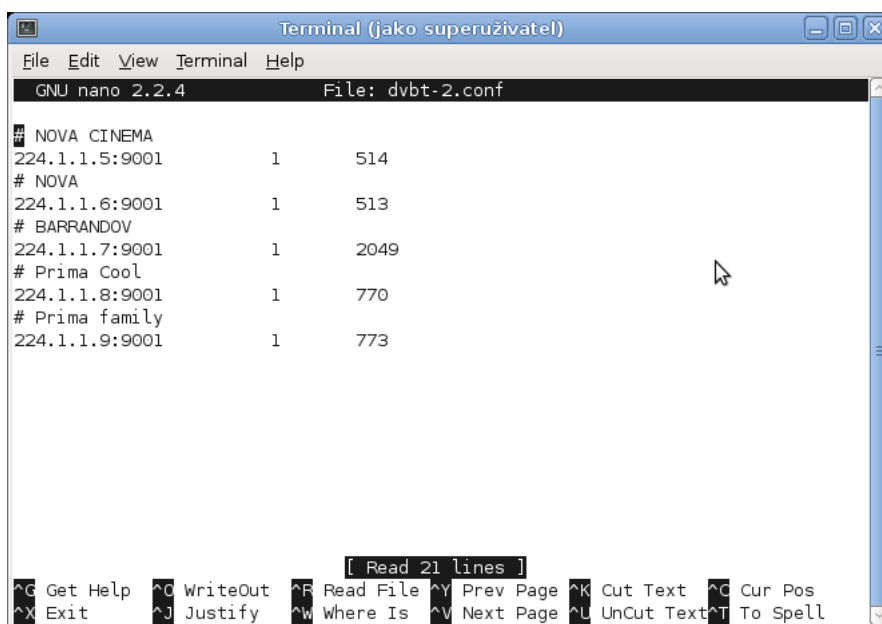


```
Terminal (jako superuživatel)
File Edit View Terminal Help
GNU nano 2.2.4 File: dvbt-1.conf

# CT1
224.1.1.1:9001      1      257
# CT2
224.1.1.2:9001      1      258
# CT24
224.1.1.3:9001      1      259
# CT4
224.1.1.4:9001      1      260

[ Read 11 lines ]
^G Get Help  ^O WriteOut  ^R Read File  ^Y Prev Page  ^K Cut Text   ^C Cur Pos
^X Exit      ^J Justify   ^W Where Is   ^V Next Page  ^L UnCut Text ^T To Spell
```

Obrázek 27: Soubor dvbt-1.conf

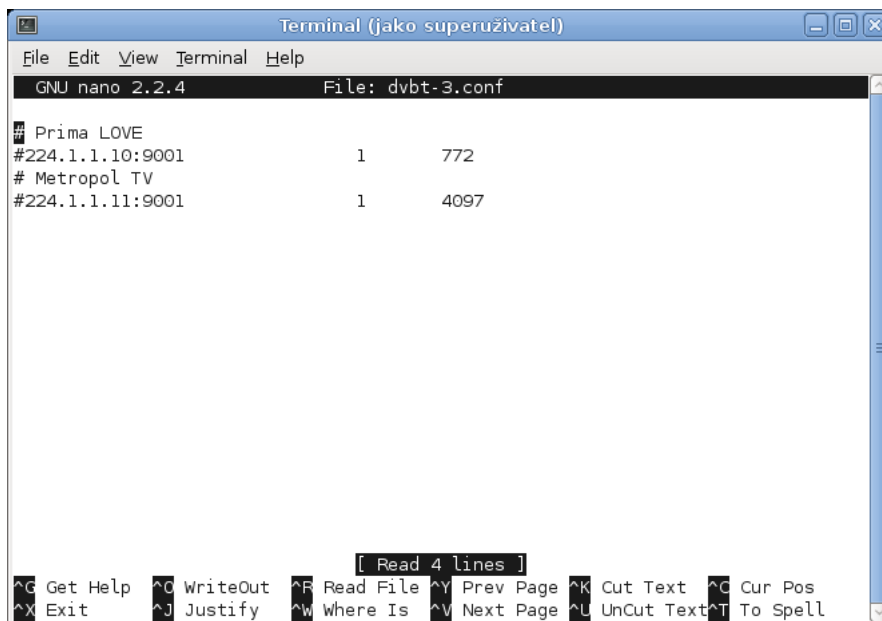


```
Terminal (jako superuživatel)
File Edit View Terminal Help
GNU nano 2.2.4 File: dvbt-2.conf

# NOVA CINEMA
224.1.1.5:9001      1      514
# NOVA
224.1.1.6:9001      1      513
# BARRANDOV
224.1.1.7:9001      1     2049
# Prima Cool
224.1.1.8:9001      1      770
# Prima family
224.1.1.9:9001      1      773

[ Read 21 lines ]
^G Get Help  ^O WriteOut  ^R Read File  ^Y Prev Page  ^K Cut Text   ^C Cur Pos
^X Exit      ^J Justify   ^W Where Is   ^V Next Page  ^L UnCut Text ^T To Spell
```

Obrázek 28: Soubor dvbt-2.conf

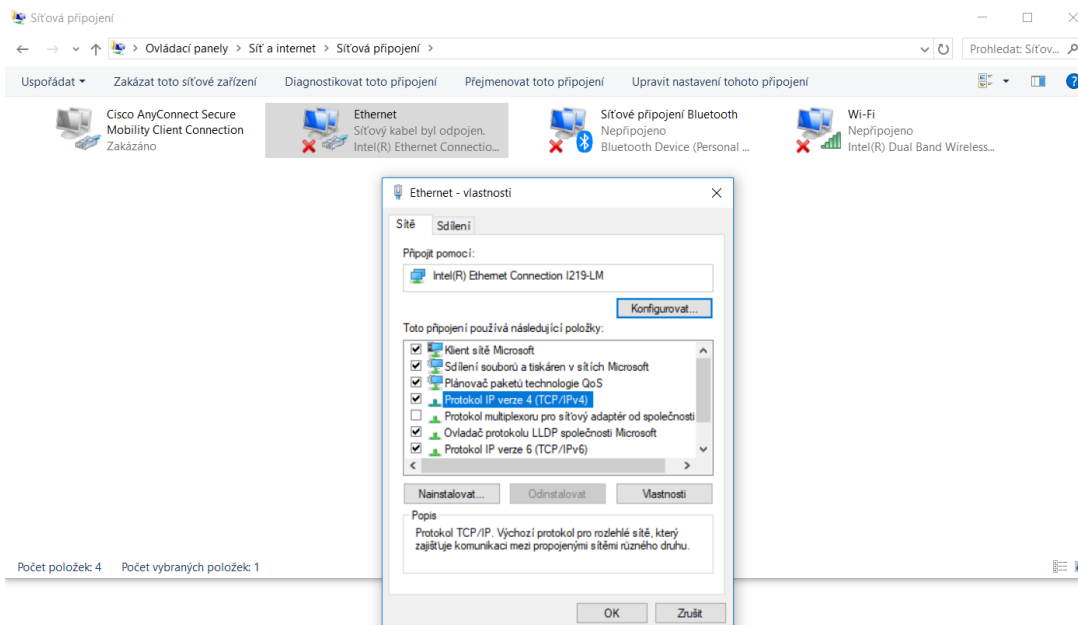


Obrázek 29: Soubor dvbt-3.conf

## 2.8 Nastavení koncového počítače

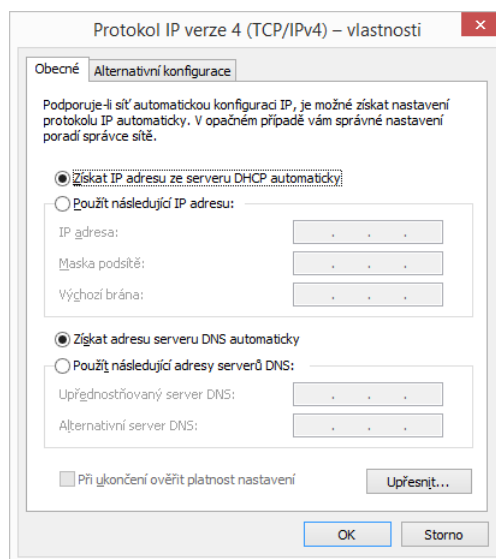
Na koncovém počítači je možné přijímat video toky vysílané IP-DVB streamerem. Tohoto cíle je možné dosáhnout pomocí následujících kroků.

1. Na koncovém počítači v záložce Ovládací panely - Síť a internet - Síťová připojení se zvolí možnost Ethernet a v tomto okně se zvolí možnost Protokol IP verze 4 (TCP/IPv4).



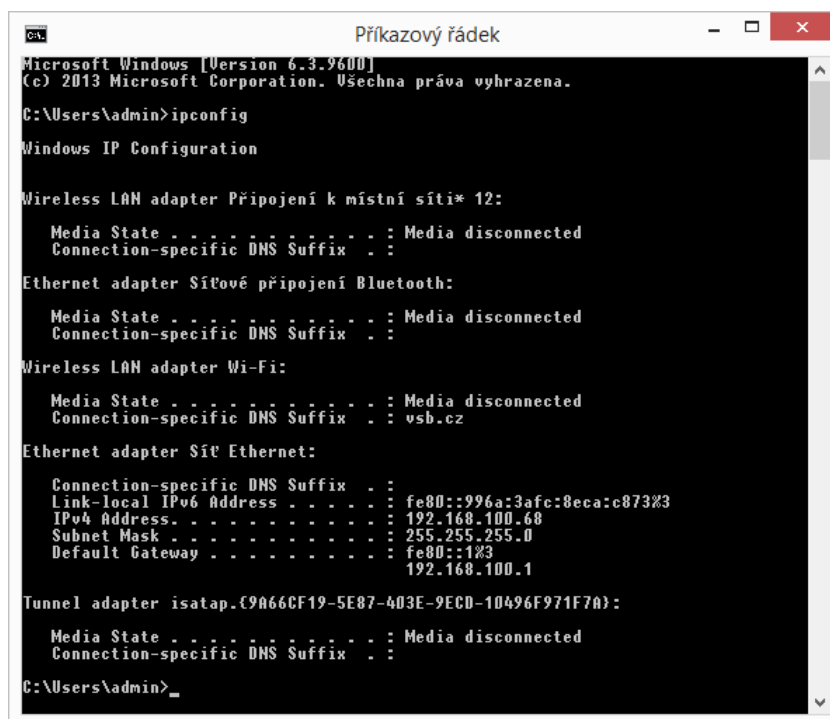
Obrázek 30: Síťová připojení - Ethernet

2. V okně Protokol IP verze 4 (TCP/IPv4) - vlastnosti se vybere možnost Získat IP adresu ze serveru DHCP automaticky. Při zvolení této možnosti dostane koncový počítač adresu pomocí DHCP z Wi-Fi směrovače TP-Link.



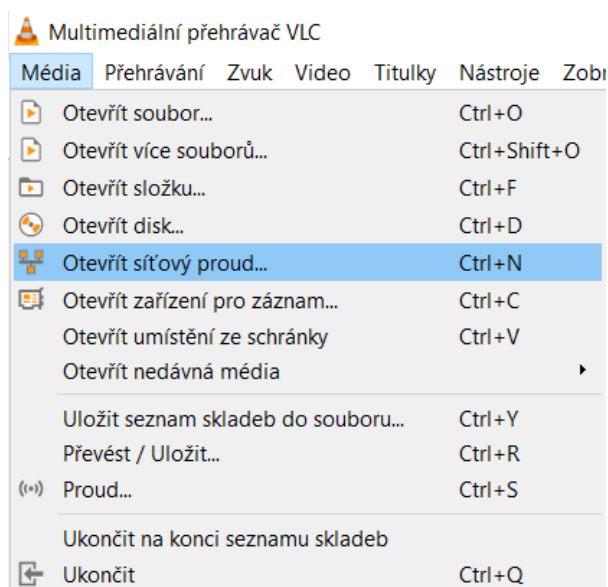
Obrázek 31: Nastavení DHCP na počítači

3. IP adresa přiřazená pomocí DHCP se zkontroluje v CMD (Command Prompt - příkazový řádek ve Windows).



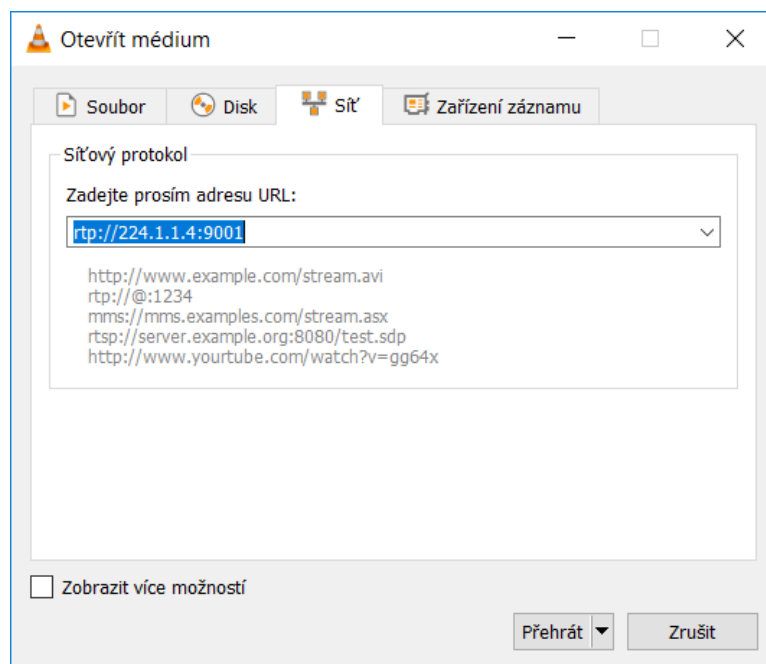
Obrázek 32: Kontrola správně přiřazené IP adresy na počítači

4. Po správně přiřazené adrese se pokračuje se otevřením Multimediálního přehrávače VLC a v tomto programu se otevře kliknutím na Média možnost Otevřít síťový proud.



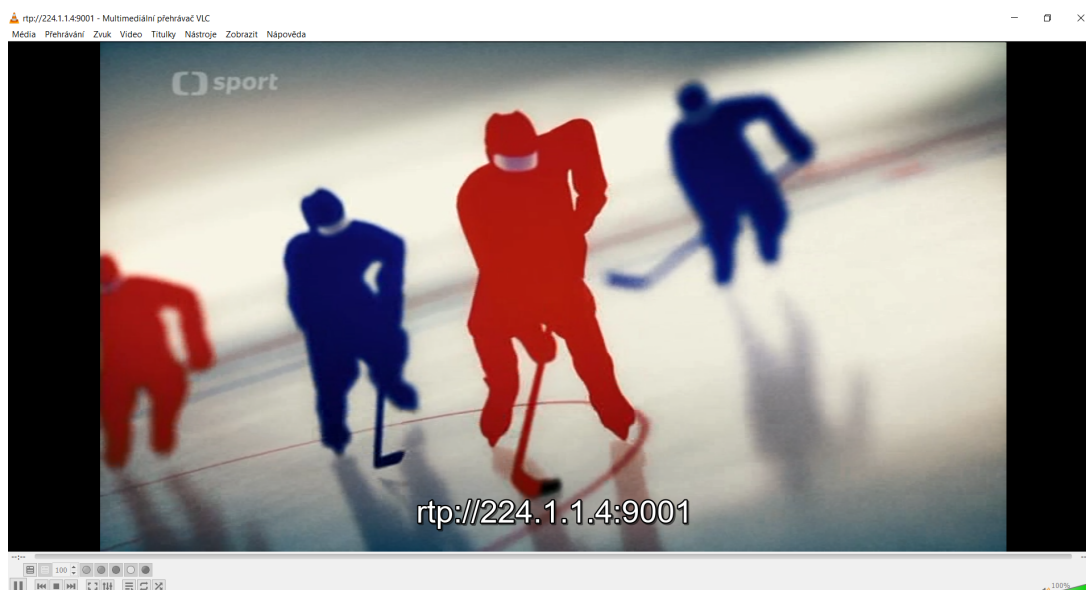
Obrázek 33: Média VLC

5. V záložce Síť je potřeba zadat vysílací multicast adresu s portem dané stanice.



Obrázek 34: Nastavení síťového proudu ve VLC

6. V tomto případě odpovídá multicast adresa 224.1.1.4:9001 stanici ČT sport.

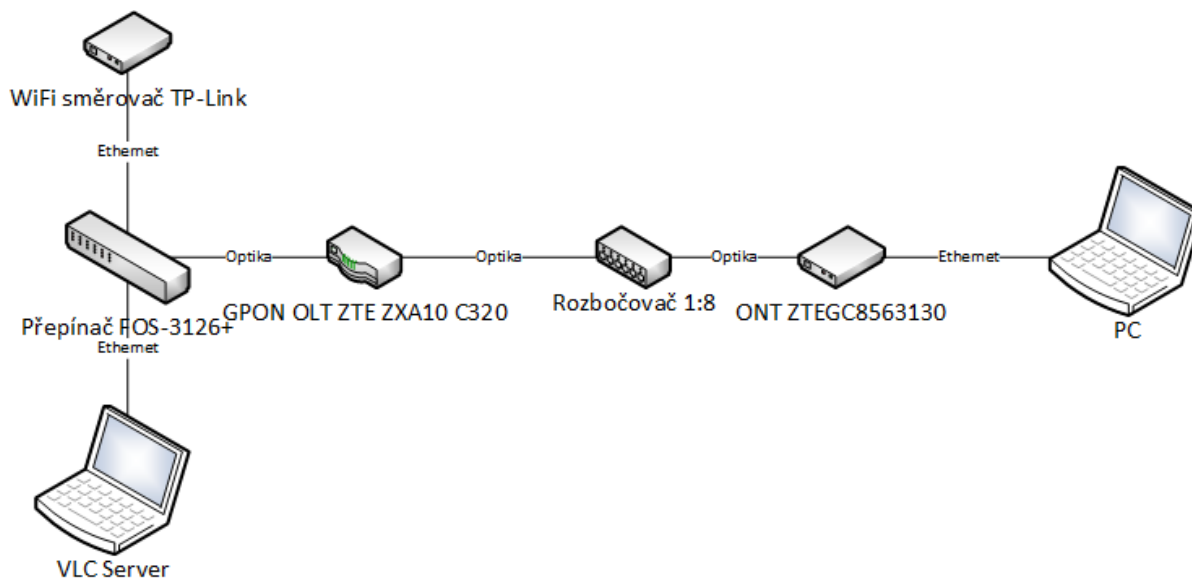


Obrázek 35: Stream stanice ČT sport

## 2.9 Topologie zapojení s VLC streamerem

Konfigurace směrovače TP-link, přepínače FOS-3126+, OLT ZTE ZXA10 C320 a ONT ZTE je totožná s konfigurací u topologie IP-DVB streameru.

Popis topologie odpovídá popisu u topologie IP-DVB streameru s rozdílem právě ve zdroji video toků. V topologii na Obrázku 36 je zdrojem video toků počítač, který slouží jako VLC streamer.

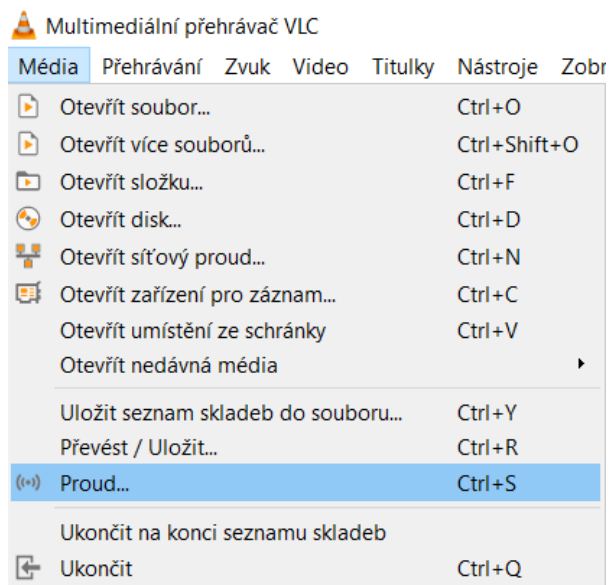


Obrázek 36: Topologie zapojení sítě s šířením videa pomocí VLC



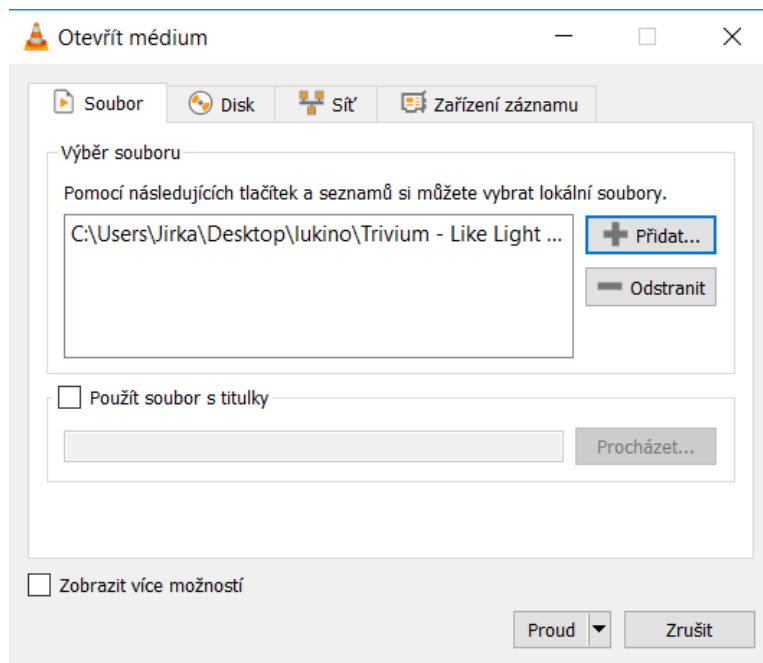
## 2.10 Nastavení VLC streameru

1. V programu VLC se otevře kliknutím na Média možnost Proud.



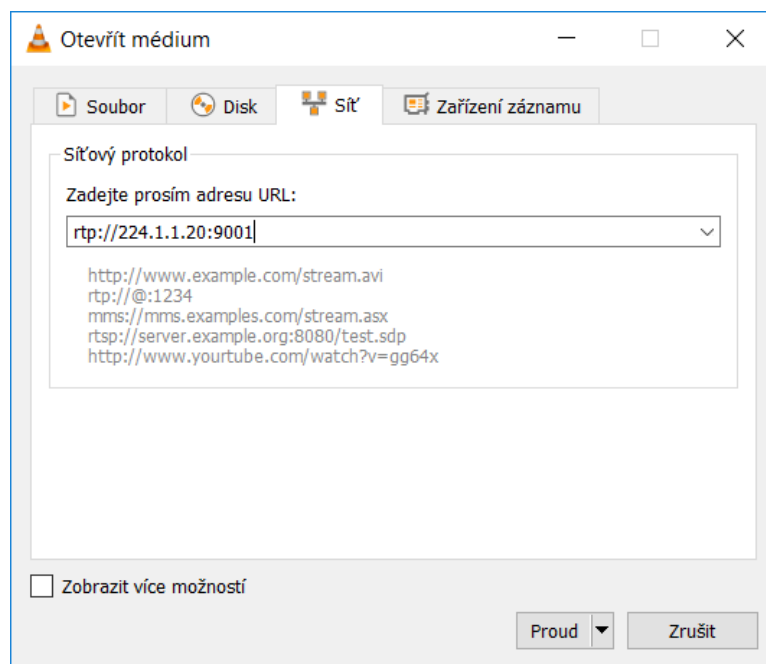
Obrázek 37: VLC možnost Proud

2. Kliknutím na ikonu Přidat se vybere soubor, který bude posílán.



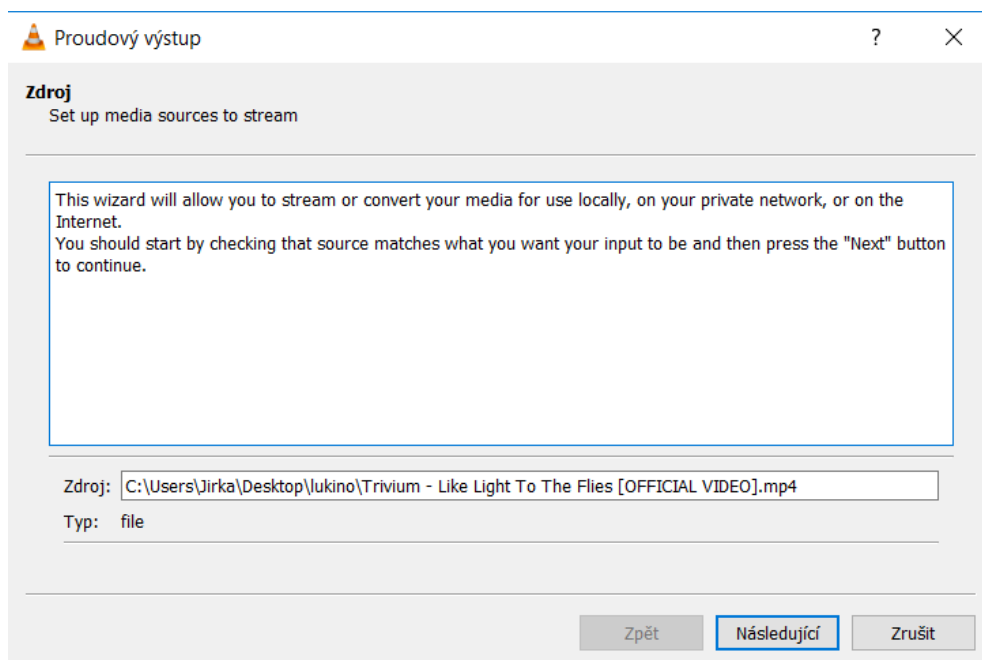
Obrázek 38: VLC záložka Soubor

3. Dále v záložce Síť je potřeba zadat vysílací multicast adresu s portem, na které se bude video přenášet. Potvrzení se provádí kliknutím na ikonu Proud.



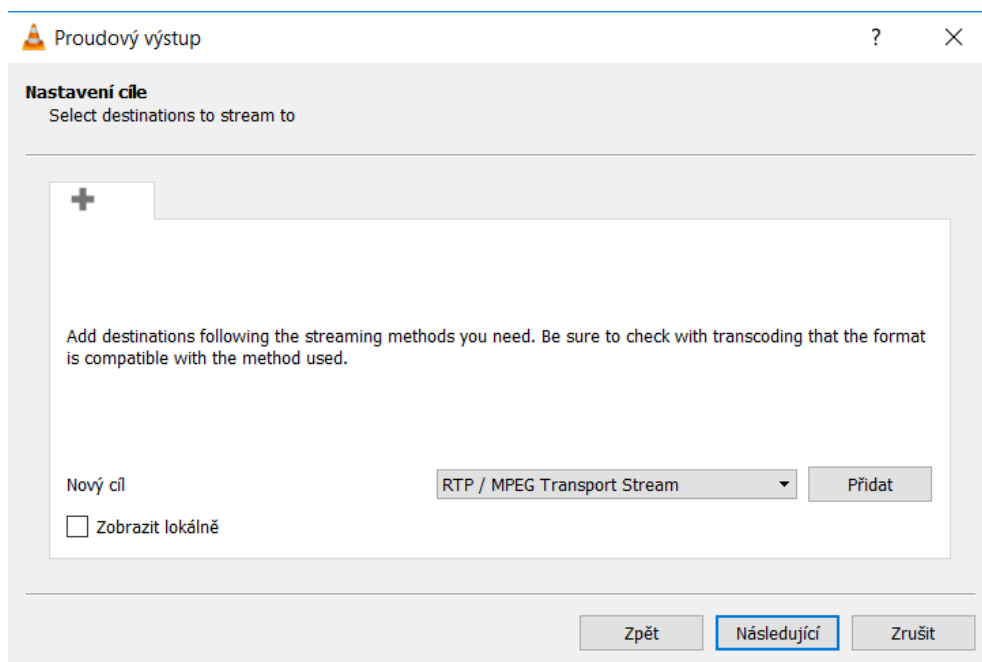
Obrázek 39: VLC záložka Síť

4. Opět potvrzení ikonou Následující.



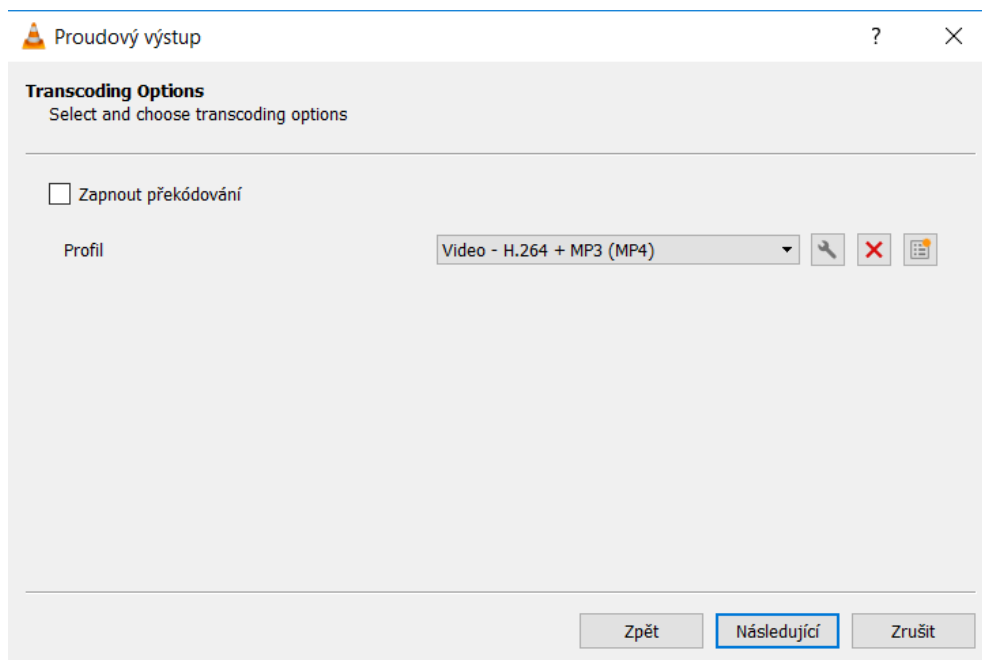
Obrázek 40: VLC možnost Následující

5. Dále se zvolí možnost formátu přenosu RTP / MPEG Transport Stream a potvrdí ikonou Následující.



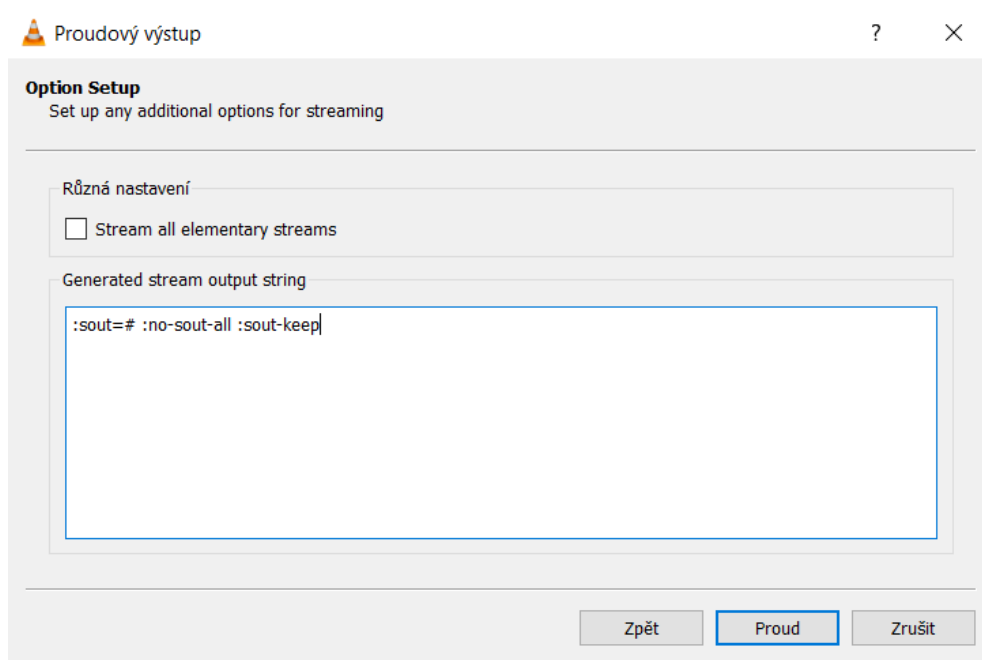
Obrázek 41: VLC formát přenosu

6. Vybere se příslušná možnost překódování, v tomto případě Video - H.264 + MP3 (MP4) potvrzením ikonou Následující.



Obrázek 42: VLC překódování

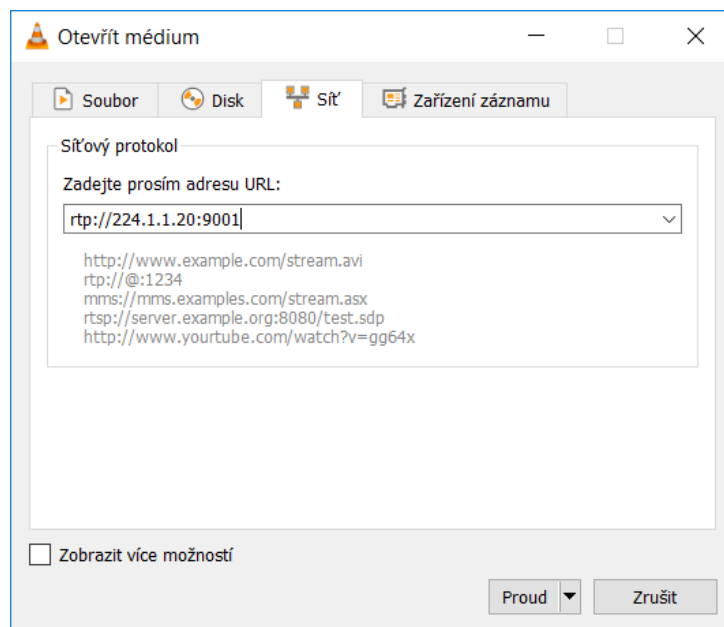
7. Nyní již stačí pouze potvrdit ikonou Proud a příslušné video se začne vysílat.



Obrázek 43: VLC potvrzení

## 2.11 Nastavení koncového počítače

Nastavení koncového počítače je opět totožné s nastavením u IP-DVB streameru s výjimkou vysílací multicast adresy s portem.



Obrázek 44: Nastavení síťového proudu ve VLC

V tomto případě se nastaví multicast adresa 224.1.1.20:9001, která byla zadána na vysílací straně.



Obrázek 45: Stream vysílaného videa

### 3 Měření výkonnostních parametrů optické sítě, dle platných doporučení

#### 3.1 Popis použitých měřicích zařízení

##### 3.1.1 EXFO PPM-350C a EXFO PPM-350B-EG

PPM (PON Power Meter - měřič úrovně optických signálů optimalizovaný pro použití v PON) funguje jako průchozí zařízení, které umožňuje souběžné měření a zobrazení všech PON signálů - hlasu, dat a videa. Tato technologie usnadňuje testování aktivace a odstraňování problémů.[5]



Obrázek 46: EXFO PPM-350C[5]

##### 3.1.2 EXFO FTB-1

FTB-1 je lehká kompaktní platforma, která umožňuje terénním technikům provádět speciální optické, ethernetové, multiservisní a rádiové testovací aplikace. Je vybavena 10/100/1000 Mbit/s LAN RJ45 porty, dvěma USB porty a slotem pro Micro SD kartu. Díky operačnímu systému Windows je tato platforma uživatelsky přívětivá.[5]



Obrázek 47: EXFO FTB-1[5]

### 3.1.3 EXFO FTB-880v2 NetBlazer

Tento modul řady NetBlazer obsahuje široké spektrum víceúčelových aplikací a je kompatibilní s platformou FTB-1. Slouží k měření skutečné přenosové rychlosti TCP (Transmission Control Protocol - jeden z protokolů na transportní vrstvě) založené na RFC 6349 pro nesporné vynucení SLA (Service Level Agreement - smlouva mezi poskytovatelem služeb a uživatelem obsahující dojednané parametry) pro ethernetové služby. Slouží také k obousměrnému testování UDP (User Datagram Protocol - jeden z přenosových protokolů na transportní vrstvě) provozu podle doporučení ITU-T Y.1564 a RFC 2544.[5]

### 3.1.4 EXFO FTB-500

FTB-500 je modulární platforma s masivním výkonem zpracování obsahující 8 slotů, do kterých je možné umístit samotné měřicí moduly.[5]



Obrázek 48: EXFO FTB-500[5]

### 3.1.5 FTB-5240BP

OSA (Optical Spectrum Analyzer - analyzátor optického spektra) je určen k měření optického výkonu a poměru optického signálu k šumu. Analyzátor optického spektra nabízí přenosnou spektrální charakterizaci, pro uvedení sítě DWDM (Dense WDM - husté vlnové dělení) do provozu, a také měření poměru signálů a šumu v pásmu in-band. 5240B je OSA s vysokým rozlišením určené pro přesné spektrální měření. Jedná se o tří-slotový model s řadičem polarizace pro automatizované testování v pásmu a lepší optický výkon.[5]

### 3.1.6 FTB-7000D

OTDR (Optical Time Domain Reflectometry - metoda analýzy optických vláken založená na vyhodnocování zpětných rozptylů a odrazů) modul optimalizovaný pro testování jednovidových a vícevidových optických vláken umožňuje charakterizovat optická vlákna a úseky optických vláken spojené svary a konektory. OTDR poskytuje vnitřní pohled na vlákno a může vypočítat délku vlákna, útlum, přerušeni, celkovou ztrátu a zpětné vazby.[5]

### 3.1.7 FTB-5800

Modul FTB-5800 nabízí rychlost, přesnost a vysoký výkon, kterých je potřeba k zajištění vysoce kvalitních služeb. Tento modul se vkládá do platformy FTB-500 a slouží k testování chromatických disperzí. Architektura analyzátoru umístí volič vlnových délek do přijímače, což zabraňuje nutnosti komunikace mezi přijímačem a zdrojem. To umožní provádět měření, i když je zdroj kilometry vzdálený, aniž by byla rušena přesnost výsledku.[5]

### 3.1.8 FTB-5500B

Modul FTB-5500B slouží ke měření PMD (Polarisation Mode Dispersion - polarizační vidová disperze) a využívá interferometrickou metodu, která nabízí rychlou a odolnou jednotku, která zvládne téměř každou situaci. Tento modul nabízí dynamický rozsah vyšší než 50 dB pro aplikace na dlouhé vzdálenosti, schopnost vícenásobného měření pro dlouhodobé monitorování a odhad PMD druhého řádu pro certifikaci vláken systému DWDM.[5]

### 3.1.9 EXFO FLS-5834A

FLS-5834A je doplňkem analyzátoru FTB-5800, jehož technologie je založena na metodě fázevého posunu. Tato dvě zařízení umožňují provádět měření chromatické disperze prostřednictvím zesilovačů. FLS-5834A se také používá s analyzátozem FTB-5500B, kde slouží jako vysoce polarizovaný zdroj pro měření PMD.[5]

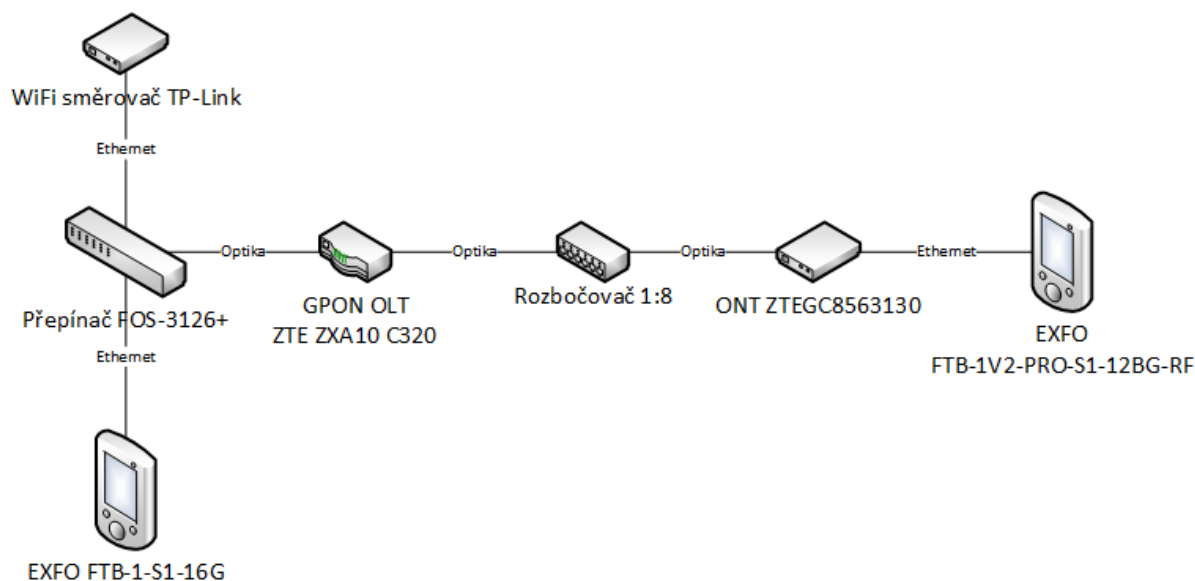


Obrázek 49: EXFO FLS-5834A[5]



### 3.2 Topologie zapojení s měřicími přístroji EXFO FTB-1

V této topologii se nahradí VLC/IP-DVB streamer a koncový počítač platformami EXFO FTB-1. Tyto platformy s modulem FTB-880v2 NetBlazer umožňují obousměrné testování, kdy je nejprve nutné přidělit každé platformě IP adresu, buďto staticky anebo dynamicky. Poté se vybere možnost "Discover Remote", kterou se vytvoří spojení mezi těmito platformami navzájem a je možné začít testovat jednotlivé normy a doporučení. Každá platforma si sama generuje provoz, který prvně posílá a poté přijímá, takže se měří jak směr vzestupný, tak také směr sestupný.



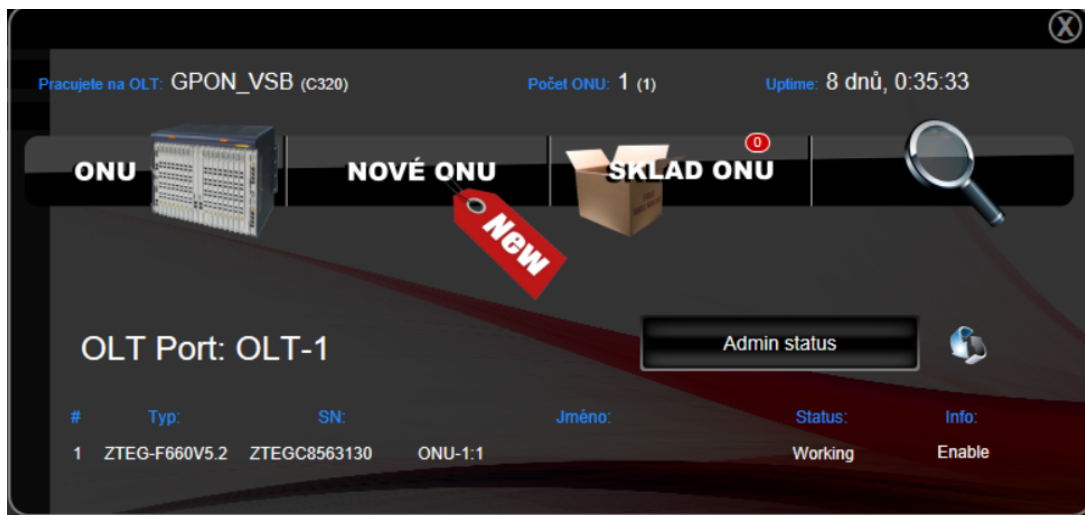
Obrázek 50: Topologie zapojení s měřicími přístroji EXFO FTB-1 pro vyhodnocení kvalitativních parametrů

Měření probíhalo vždy bez připojené optické trasy a poté s připojenou optickou trasou mezi OLT a rozbočovač.

### 3.2.1 Změna konfigurace

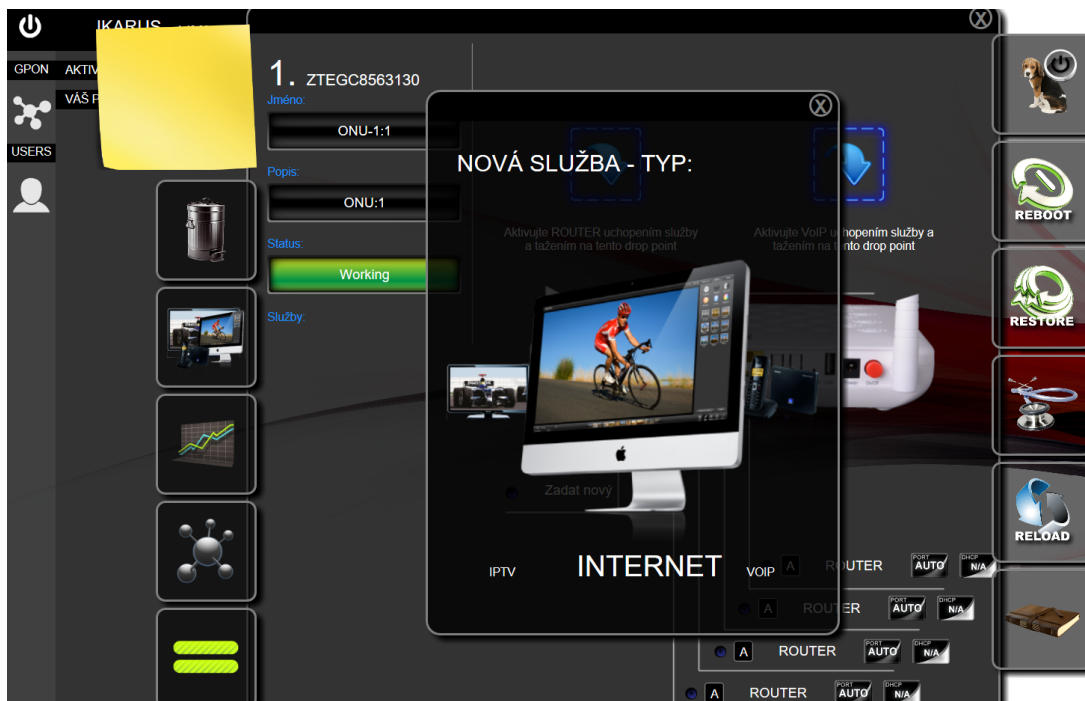
Při měření dle jednotlivých doporučení bylo potřeba změnit konfiguraci použitého T-CONT.

1. Ve webovém GUI ikarus se přejde do nastavení ONT(ONU) a vybere se již registrované ONT.



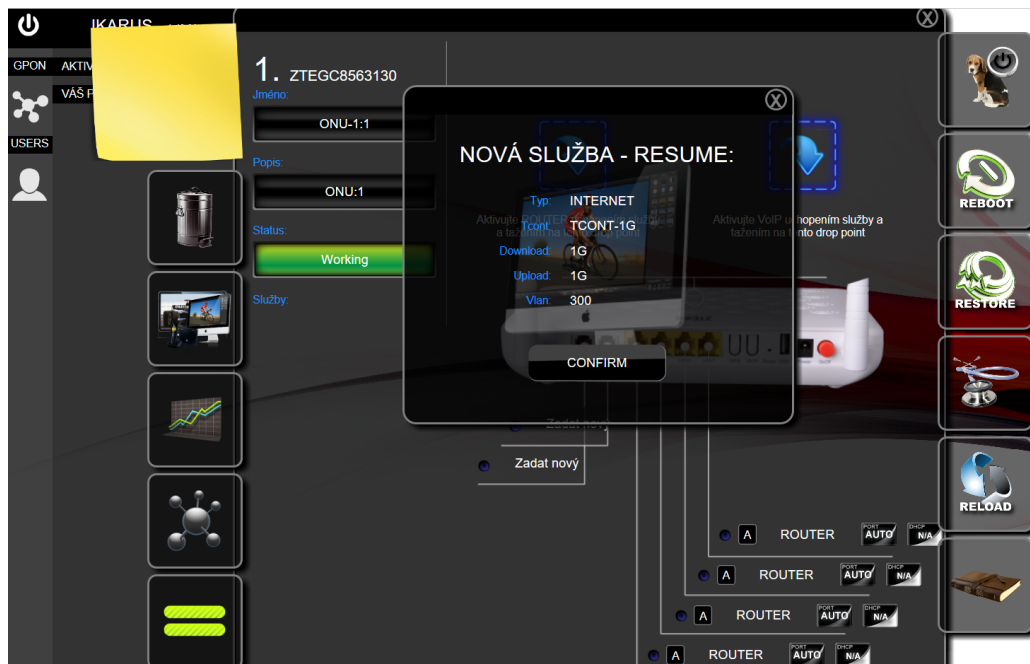
Obrázek 51: Výběr registrovaného OLT

2. Poté se přidá nová služba Internet.



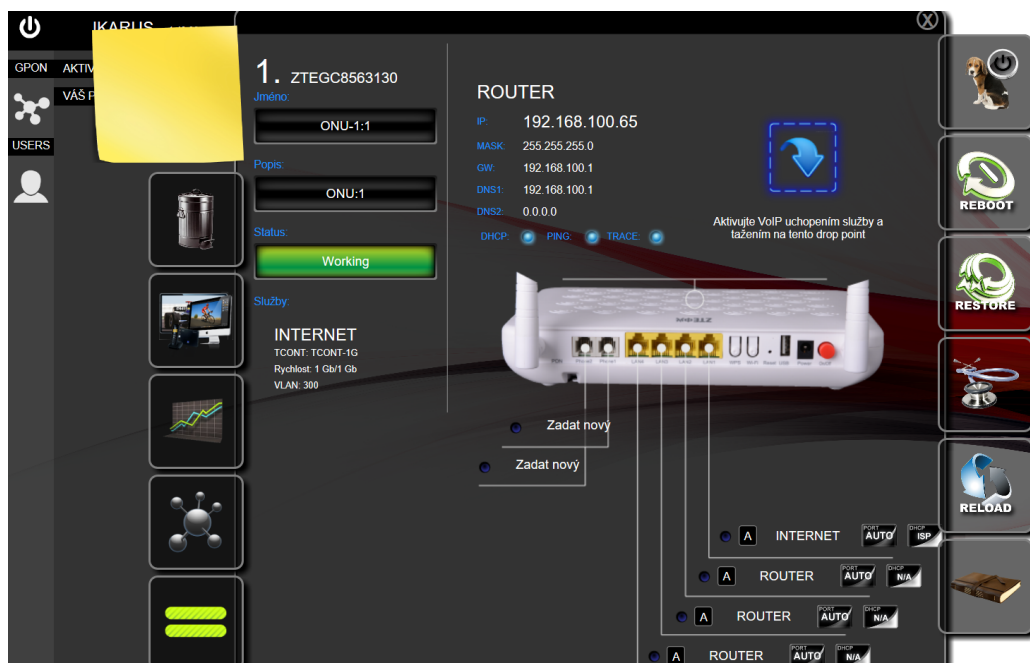
Obrázek 52: Přidání služby Internet

3. Službě Internet je nutné přiřadit přenosové rychlosti a VLAN 300.



Obrázek 53: Resume služby Internet

4. ONT dostane IP adresu z DHCP a přetáhnutím služby na rozhraní ONT se přiřadí daná služba.



Obrázek 54: Přiřazení služby Internet na ONT

### 3.3 Měření dle doporučení ITU-T Y.1564

Doporučení ITU-T Y.1564 neboli EtherSAM definuje metodiku testování, která může být použita při hodnocení správné konfigurace a výkonu ethernetové sítě pro poskytování služeb. Metodika testování se vztahuje na konektivitu PTP i PTM. Hlavní výhodou tohoto testování je široké spektrum měřených parametrů a charakteristik, mezi které patří propustnost (Throughput), ztráta a poškození rámců při přenosu (Frame Loss), zpoždění při přenosu (Latency) a kolísání zpoždění (Jitter). Tato měření umožňují vyhodnocení výkonnostních kritérií na základě smlouvy SLA mezi operátorem a uživatelem. Velkou výhodou tohoto doporučení je, že umožňuje test konfigurace služeb, což znamená testování každé jednotlivé služby zvlášť, a test výkonnosti služeb, což znamená testování všech tří triple play služeb najednou. Měření probíhá pomocí protokolu UDP.

**CIR** (Committed Information Rate - horní limit garantované přenosové kapacity pro danou službu).

**Propustnost** vyjadřuje objem dat, které je možné přenést za dobu jedné sekundy.

**Ztrátovost** je vyjádřena pomocí procent a spočívá ve vyslání určitého počtu testovacích rámců o definované velikosti, přičemž na přijímací straně se počítá, kolik rámců je úspěšně přijato.

**Zpoždění** určuje časovou prodlevu mezi vysláním daného rámce a jeho přijetím na místě určení.

**Kolísání zpoždění** vzniká při obecně různě dlouhému zpoždění při přenosu jednotlivých rámců. [6][9]

#### 3.3.1 Nastavení měření

Pro EtherSAM měření byly nastaveny základní nabízené služby v rámci triple play balíčku. Jedná se o službu VoIP, která byla nastavena na počet hovorů 500 s kodekem G.711, dále službu IPTV, která byla nastavena na počet kanálů 40 s kodekem MPEG-4 a službu pro přenos dat.

Tabulka 3: Nastavení parametrů testovaných služeb

Služba	Velikost rámců [B]	Horní limit přenosové kapacity [Mbit/s]
VoIP	138	63,2
IPTV	1374	423,708
Data	Náhodné	513

### 3.3.2 Výsledky měření bez připojené optické trasy

V Tabulce 4 se nachází průměr a medián jednotlivých testů, který byl vytvořen ze tří nezávislých měření. Test konfigurace služeb testuje každou jednotlivou službu zvlášť.

Tabulka 4: Výsledky měření testu konfigurace služeb dle ITU-T Y.1564 bez připojené trasy

Test konfigurace služeb									
Služba	Směr	Ztrátovost [%]		Max. zpoždění [ms]		Zpoždění [ms]		Propustnost [Mbit/s]	
		Průměr	Medián	Průměr	Medián	Průměr	Medián	Průměr	Medián
VoIP	Vzestupný směr	0,000	0,000	0,438	0,438	0,409	0,410	63,198	63,199
	Sestupný směr	0,000	0,015	0,015	63,205			58,909	58,918
IPTV	Vzestupný směr	0,000	0,000	0,441	0,442	0,543	0,548	424,677	423,704
	Sestupný směr	0,000	0,015	0,015	423,742			423,742	423,742
Data	Vzestupný směr	0,000	0,000	0,448	0,449	0,529	0,529	514,885	512,994
	Sestupný směr	0,000	0,038	0,038	513,041			512,255	512,256

Test výkonnosti služeb testuje všechny tři služby triple play najednou. Proto je možné v Tabulce 5 najít zvýšenou ztrátovost oproti testu konfigurace služeb. Ztrátovost v sestupném směru u služby VoIP byla způsobena velkým množstvím testovaných hovorů, konkrétně množstvím hlaviček u jednotlivých rámců. Ostatní hodnoty byly v porovnání s konfiguračním testem a nastavením velmi srovnatelné.

Tabulka 5: Výsledky měření testu výkonnosti služeb dle ITU-T Y.1564 bez připojené trasy

Test výkonnosti služeb									
Služba	Směr	Ztrátovost [%]		Kolísání zpoždění [ms]		Zpoždění [ms]		Propustnost [Mbit/s]	
		Průměr	Medián	Průměr	Medián	Průměr	Medián	Průměr	Medián
VoIP	Vzestupný směr	0,070	0,070	0,260	0,260	0,564	0,565	63,154	63,154
	Sestupný směr	6,644	6,683	0,032	0,033			58,909	58,918
IPTV	Vzestupný směr	0,505	0,506	0,259	0,260	0,564	0,565	421,533	421,533
	Sestupný směr	0,000	0,000	0,015	0,015			423,742	423,742
Data	Vzestupný směr	0,497	0,497	0,259	0,260	0,564	0,565	510,129	510,133
	Sestupný směr	0,683	0,682	0,015	0,015			512,255	512,256

### 3.3.3 Výsledky měření s připojenou optickou trasou

Po připojení optické trasy vykazovaly všechny jednotlivé testy velmi podobné hodnoty, což je způsobeno tím, že OLT dokáže regulovat svůj provozní výkon a ve chvíli, kdy je přidána do sítě trasa, jej zvýší.

Tabulka 6: Výsledky měření testu konfigurace služeb dle ITU-T Y.1564 s připojenou trasou

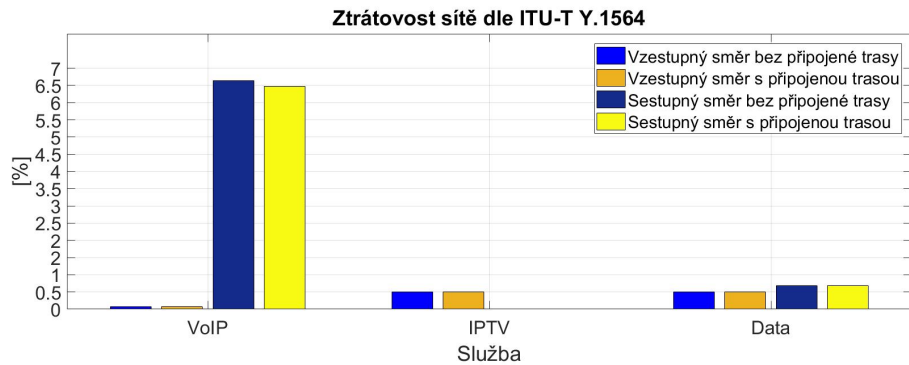
Test konfigurace služeb					
Služba	Směr	Ztrátovost [%]	Max. zpoždění [ms]	Zpoždění [ms]	Propustnost [Mbit/s]
VoIP	Vzestupný směr	0,000	0,443	0,499	63,197
	Sestupný směr	0,000	0,015		63,205
IPTV	Vzestupný směr	0,000	0,443	0,608	423,704
	Sestupný směr	0,000	0,015		423,742
Data	Vzestupný směr	0,000	0,437	0,582	512,996
	Sestupný směr	0,000	0,039		513,041

Tabulka 7: Výsledky měření testu výkonnosti služeb dle ITU-T Y.1564 s připojenou trasou

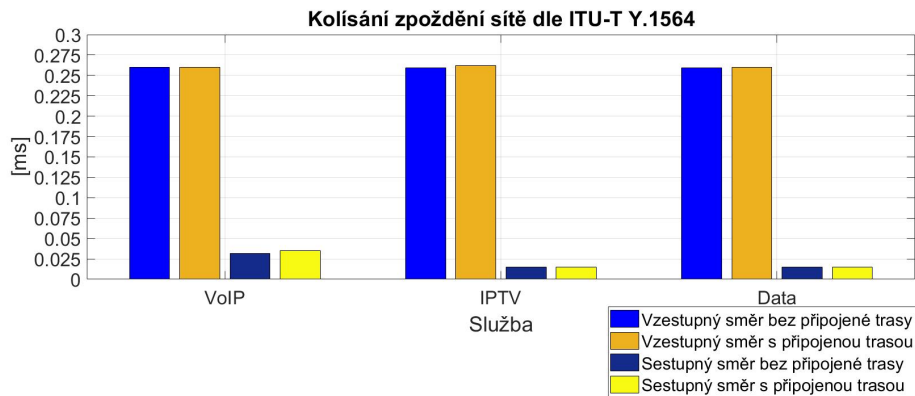
Test výkonnosti služeb					
Služba	Směr	Ztrátovost [%]	Max. zpoždění [ms]	Zpoždění [ms]	Propustnost [Mbit/s]
VoIP	Vzestupný směr	0,069	0,260	0,635	63,154
	Sestupný směr	6,478	0,035		58,984
IPTV	Vzestupný směr	0,501	0,262	0,635	421,542
	Sestupný směr	0,000	0,015		423,742
Data	Vzestupný směr	0,498	0,260	0,635	510,100
	Sestupný směr	0,678	0,015		512,26

### 3.3.4 Srovnání výsledků

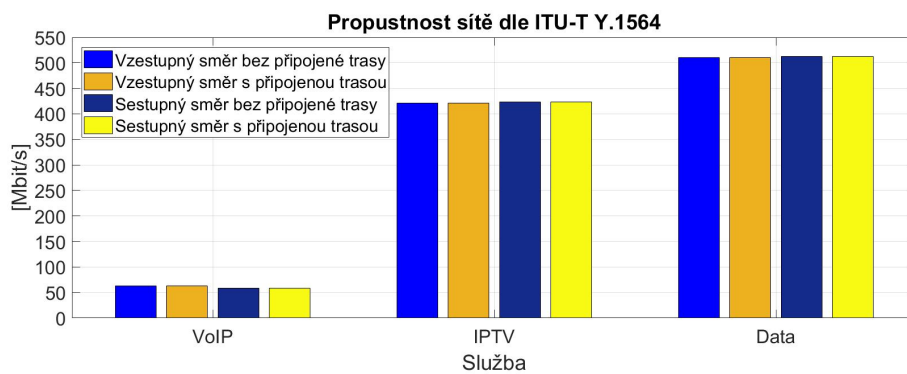
Srovnání výsledků měření bylo provedeno z testu výkonnosti služeb.



Obrázek 55: Srovnání hodnot ztrátovosti dle ITU-T Y.1564



Obrázek 56: Srovnání hodnot kolísání zpoždění dle ITU-T Y.1564



Obrázek 57: Srovnání hodnot propustnosti dle ITU-T Y.1564

### 3.4 Měření dle doporučení RFC 2544

Doporučení RFC 2544 je dnes již zastaralým, přesto ale stále využívaným testem základních přenosových parametrů na vrstvě Ethernetu. V tomto doporučení jsou specifikovány velikosti použitých testovacích rámců, které pro Ethernet jsou stanoveny na 64, 128, 256, 512, 1024, 1280 a 1518 bajtů. Testování by mělo probíhat vždy obousměrně, po skončení testu v jednom směru by měl být proveden tentýž cyklus i pro druhý směr. Toho lze dosáhnout dvojicí použitých analyzátorů. RFC 2544 podporuje základní typy testů, mezi které patří propustnost, zpoždění, ztrátovost a Back-to-Back.

**Propustnost** představuje nejvyšší rychlost, kterou je schopno určité zařízení přenášet rámce beze ztrát.

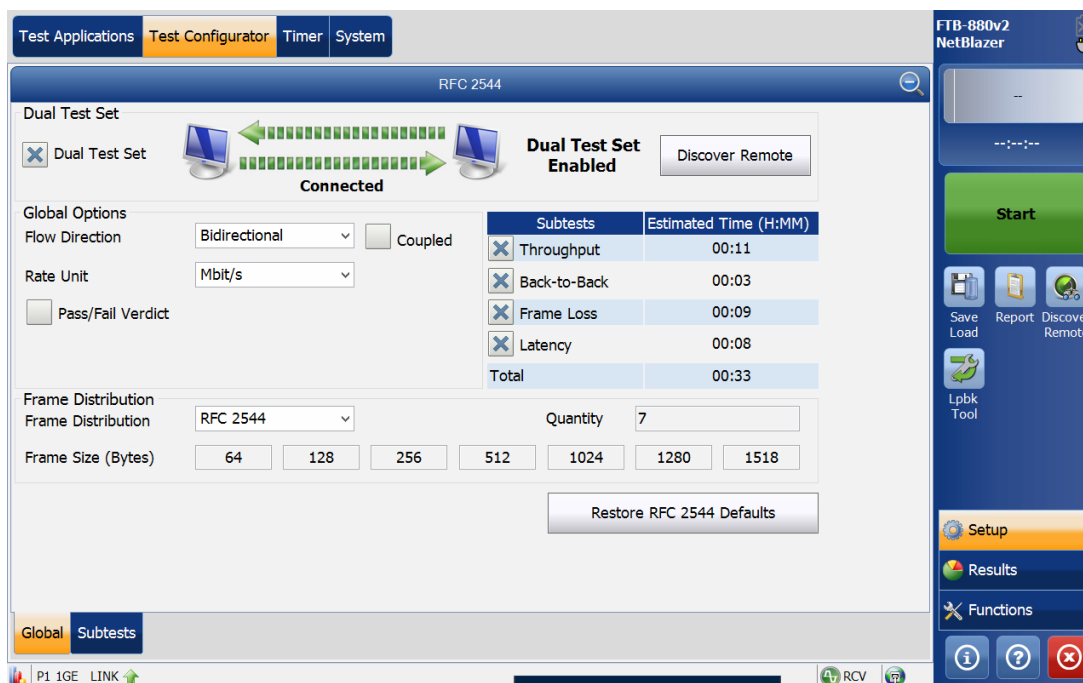
**Zpoždění** je v rámci RFC 2544 testu definováno jako čas, který uběhne od vyslání posledního bitu označeného rámce do doby, než testovací zařízení přijme první bit tohoto rámce.

**Ztrátovost** je vyjádřena pomocí procent a spočívá ve vyslání určitého počtu testovacích rámců o definované velikosti, přičemž na přijímací straně se počítá, kolik rámců je úspěšně přijato.

**Back-to-Back** je maximální počet rámců ve shluku, jenž testované zařízení dokáže zpracovat s nulovou rámcovou ztrátovostí.[7][9]

#### 3.4.1 Nastavení měření

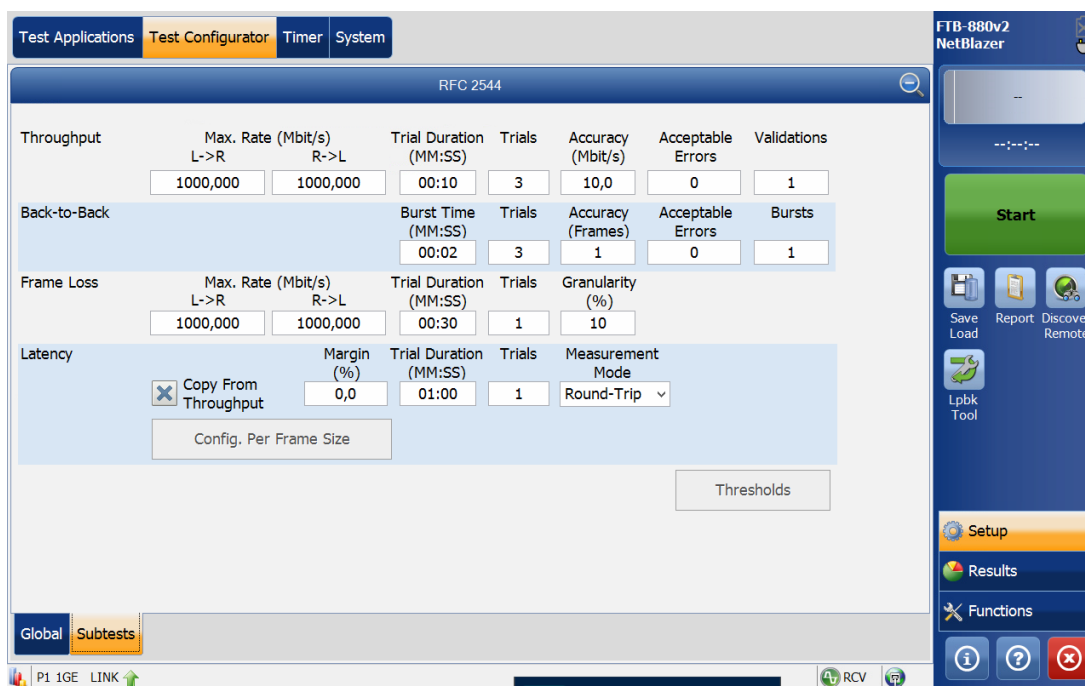
Testy provedené dle doporučení RFC 2544 byly spuštěny při následujícím nastavení. V globálním nastavení bylo definováno všech 7 velikostí použitých testovacích rámců.



Obrázek 58: Globální nastavení měření dle RFC 2544



V nastavení podsítí byla definována celková propustnost v obou směrech. Dále zde byly nastaveny počty pokusů a jejich časy pro jednotlivé typy testů.



Obrázek 59: Nastavení podsítí měření dle RFC 2544

### 3.4.2 Výsledky měření bez připojené optické trasy

V Tabulce 8 se nachází průměr a medián jednotlivých testů, který byl vytvořen ze tří nezávislých měření. Měření jednotlivých testů pro menší velikosti rámců dosahovalo nižších hodnot. To je způsobeno tím, že při menší velikosti rámců je těchto rámců posláno mnohonásobně více a dojde k zahlcení.

Tabulka 8: Výsledky měření dle RFC 2544 bez připojené trasy

Velikost rámců [B]	Směr	Propustnost [Mbit/s]		Back-to-Back [Mbit/s]		Ztrátovost [%]		Zpoždění [ms]	
		Průměr	Medián	Průměr	Medián	Průměr	Medián	Průměr	Medián
64	Vzestupný směr	400,000	400,000	0,028	0,028	35,937	35,970	0,054	0,045
	Sestupný směr	593,749	593,749	0,017	0,017	39,780	39,780		
128	Vzestupný směr	706,249	706,249	82,132	82,131	2,607	2,607	0,095	0,049
	Sestupný směr	968,749	968,749	85,171	85,172	2,614	2,614		
256	Vzestupný směr	981,249	981,249	152,552	152,548	1,404	1,404	0,239	0,242
	Sestupný směr	981,249	981,249	158,838	158,838	1,411	1,411		
512	Vzestupný směr	987,499	987,499	293,621	293,576	0,722	0,722	0,256	0,258
	Sestupný směr	987,499	987,499	306,193	306,193	0,729	0,729		
1024	Vzestupný směr	993,749	993,749	576,681	576,671	0,357	0,357	0,284	0,284
	Sestupný směr	993,749	993,749	601,582	601,581	0,364	0,364		
1280	Vzestupný směr	993,749	993,749	717,983	717,864	0,282	0,282	0,298	0,298
	Sestupný směr	993,749	993,749	748,975	748,975	0,289	0,289		
1518	Vzestupný směr	993,749	993,749	849,768	849,608	0,235	0,235	0,313	0,313
	Sestupný směr	993,749	993,749	886,696	886,698	0,242	0,242		

### 3.4.3 Výsledky měření s připojenou optickou trasou

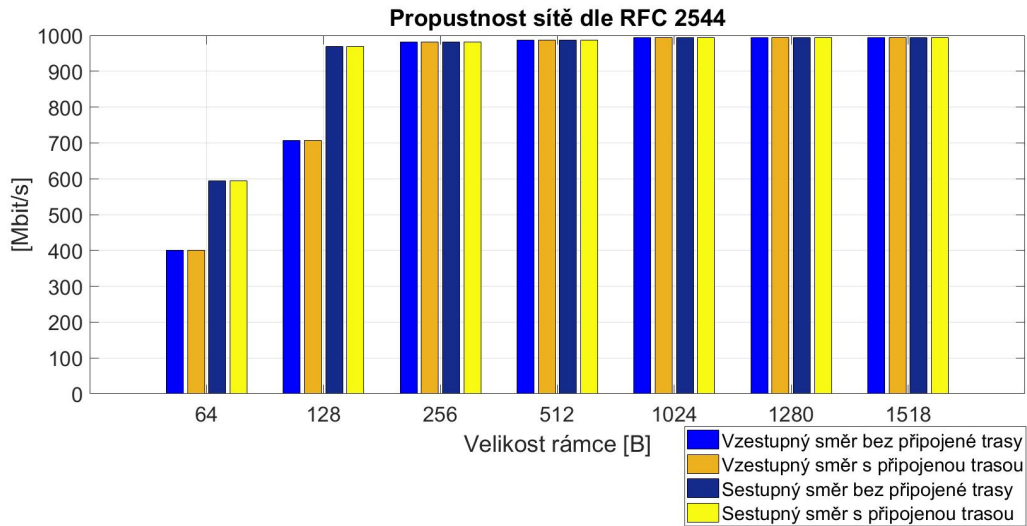
Při měření s optickou trasou již nebylo nutné dokazovat opakovatelnost měření, tudíž byl proveden pouze jeden test a výsledky z něj jsou uvedeny v Tabulce 9.

Tabulka 9: Výsledky měření dle RFC 2544 s připojenou trasou

Velikost rámců [B]	Směr	Propustnost [Mbit/s]	Back-to-Back [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	Vzestupný směr	400,000	0,028	35,970	0,115
	Sestupný směr	593,749	0,017	39,781	
128	Vzestupný směr	706,249	82,107	2,607	0,251
	Sestupný směr	968,749	85,172	2,614	
256	Vzestupný směr	981,249	152,677	1,404	0,320
	Sestupný směr	981,249	158,84	1,411	
512	Vzestupný směr	987,499	293,531	0,722	0,324
	Sestupný směr	987,499	306,193	0,729	
1024	Vzestupný směr	993,749	576,658	0,357	0,358
	Sestupný směr	993,749	601,589	0,364	
1280	Vzestupný směr	993,749	717,749	0,282	0,372
	Sestupný směr	993,749	748,96	0,289	
1518	Vzestupný směr	993,749	849,842	0,235	0,381
	Sestupný směr	993,749	886,704	0,242	

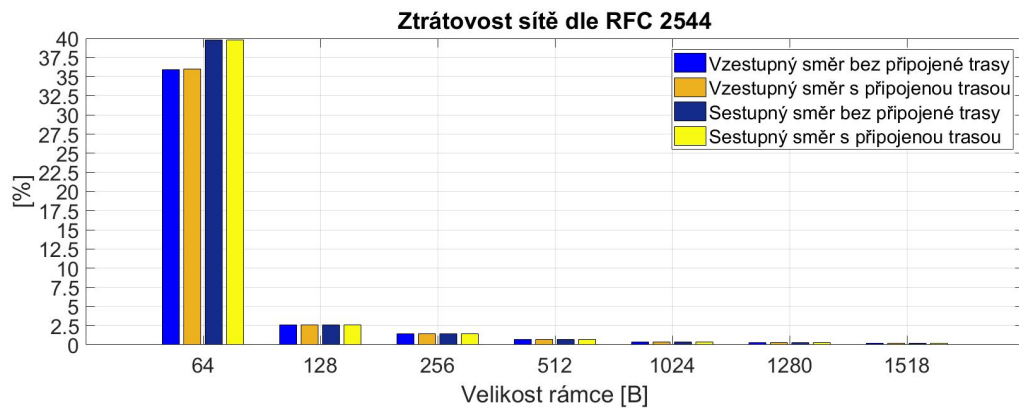
### 3.4.4 Srovnání výsledků

Ve srovnávacích grafech je možné vidět, že veškeré hodnoty naměřené bez připojené trasy jsou téměř totožné s naměřenými hodnotami s připojenou trasou. To je způsobeno tím, že OLT je schopné regulovat svůj provozní výkon a ve chvíli, kdy je přidána do sítě trasa, jej zvýší.



Obrázek 60: Srovnání hodnot propustnosti dle RFC 2544

V grafu srovnání hodnot ztrátovosti se taktéž nenacházejí žádné odchylky.



Obrázek 61: Srovnání hodnot ztrátovosti dle RFC 2544

### 3.5 Měření dle doporučení RFC 6349

Doporučení RFC 6349 provádí měření na transportní (L4) vrstvě ISO/OSI modelu s využitím protokolu TCP pro přenos dat. Dle RFC 6349 je doporučeno provádět test propustnosti v obou směrech nezávisle na sobě a poté testy spustit v obou směrech současně. V doporučení slouží jako reference práh 5% ztráty paketů a Jitter s hodnotou 150 ms. Pokud jsou podle tohoto doporučení naměřené hodnoty vyšší, naznačuje to poruchový nebo mimořádný stav sítě. Podle doporučení RFC 6349 lze měřit aktuální L4 propustnost, TCP efektivitu a zpoždění Bufferu.

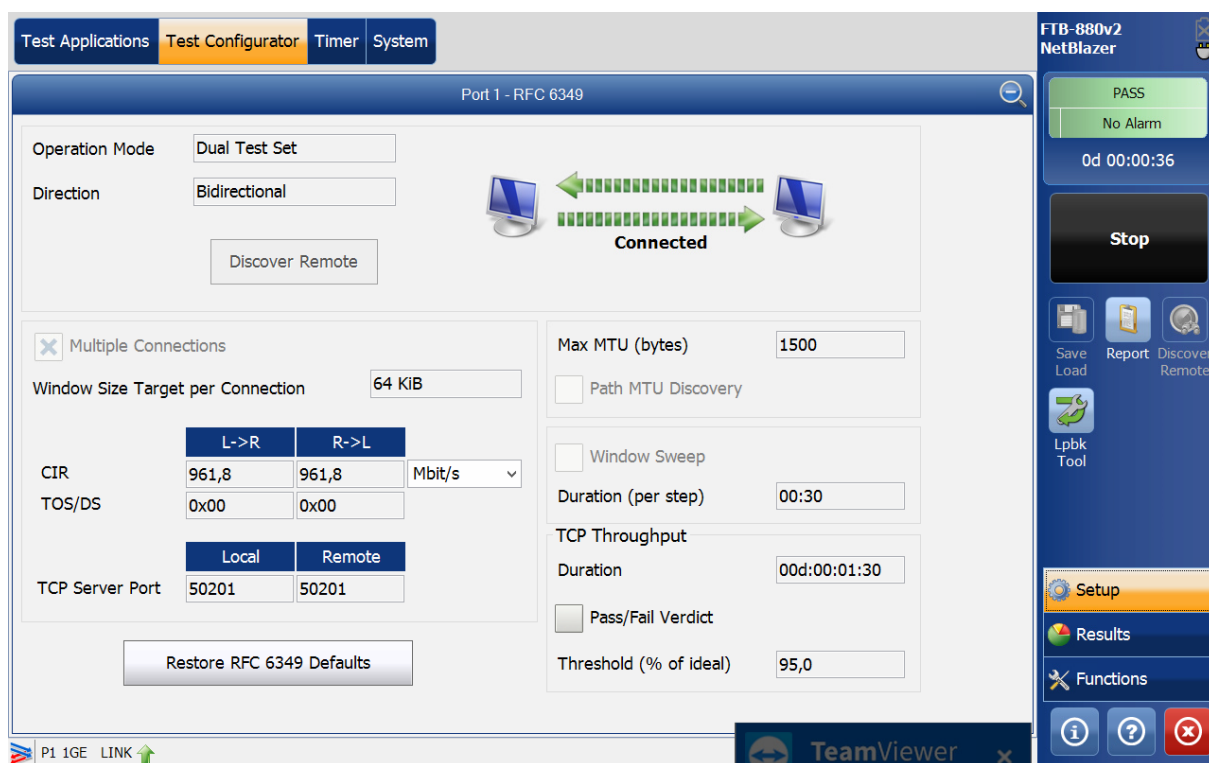
**Aktuální L4 propustnost** vyjadřuje objem dat na transportní vrstvě ISO/OSI modelu, které je možné přenést za dobu jedné sekundy.

**TCP efektivita** představuje efektivitu protokolu TCP, vyjádřenou v procentech.

**Zpoždění Bufferu** vyjadřuje zpoždění vyrovnávací paměti.[8][11]

#### 3.5.1 Nastavení měření

Hodnota CIR byla vypočítána při velikosti rámců 1500 bajtů a propustnosti na fyzické vrstvě 1000 Mbit/s.



Obrázek 62: Nastavení měření dle RFC 6349

### 3.5.2 Výsledky měření bez připojené optické trasy

Měření bez připojené trasy bylo provedeno třikrát a v Tabulce 10 můžeme vidět průměr a medián z jednotlivých hodnot měření. Vzhledem k jednotlivým měřením hodnoty nevykazovaly výchyly a tudíž byla ověřena opakovatelnost měření.

Tabulka 10: Výsledky měření dle RFC 6349 bez připojené trasy

	Velikost okna [kB]	Ideální propustnost [Mbit/s]		Aktuální propustnost [Mbit/s]		TCP efektivita [%]		Zpoždění bufferu [%]	
		Průměr	Medián	Průměr	Medián	Průměr	Medián	Průměr	Medián
Vzestupný směr	10	903	903	688,9	689	99,99	99,99	47,35	47,35
Sestupný směr	10	903	903	704,6	704,6	99,99	99,99	44,07	44,07

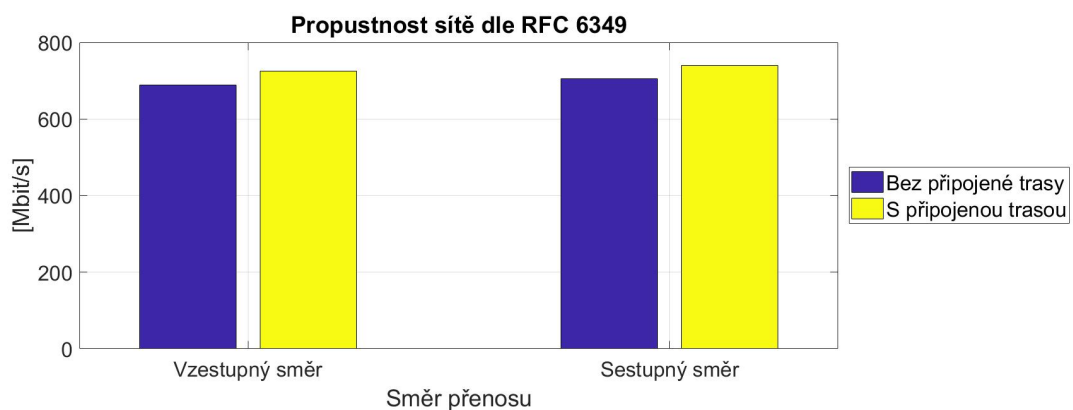
### 3.5.3 Výsledky měření s připojenou optickou trasou

Poněvadž byla prokázána opakovatelnost měření bylo měření s připojenou trasou provedeno již pouze jednou.

Tabulka 11: Výsledky měření dle RFC 6349 s připojenou trasou

	Velikost okna [kB]	Ideální propustnost [Mbit/s]	Aktuální propustnost [Mbit/s]	TCP efektivita [%]	Zpoždění bufferu [%]
Vzestupný směr	17	903	724,6	100	37
Sestupný směr	17	903	739,3	100	34,27

### 3.5.4 Srovnání výsledků



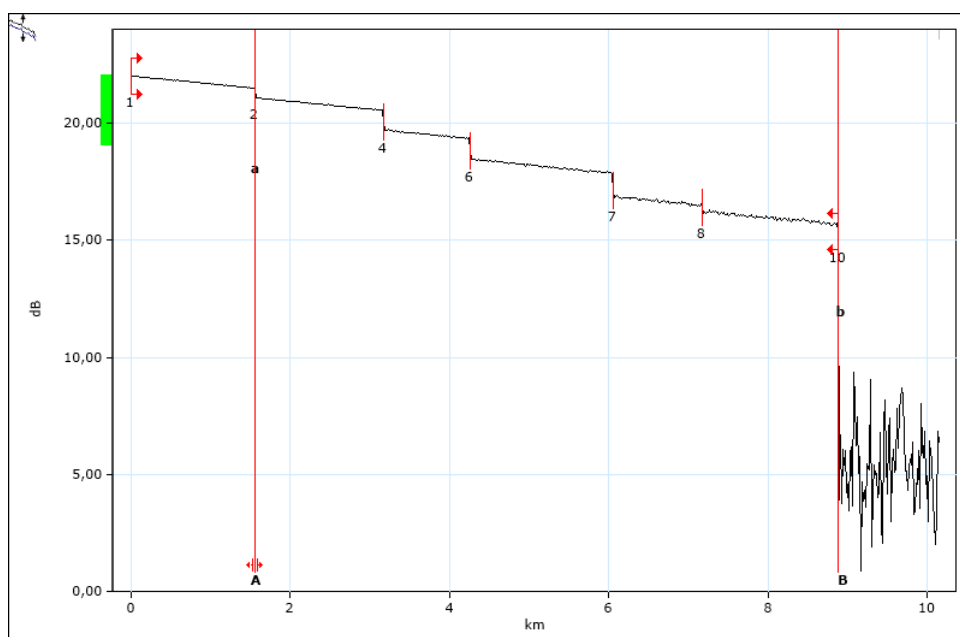
Obrázek 63: Srovnání hodnot propustnosti dle RFC 6349

### 3.6 Měření optické reflektometrie OTDR

Metoda zpětného rozptylu, která je nazývána optickou reflektometrií OTDR, je založena na periodickém vysílání velmi krátkých optických impulzů do vlákna. V důsledku Rayleighova rozptylu na mikronehomogenitách v jádru optického vlákna se část optického výkonu odrazí zpět k začátku vlákna. Pomocí Fresnelova odrazu je možné dobře lokalizovat hrubé nehomogenity způsobené například nekorektními konektorovými propojeními, svary, případně přerušením optického vlákna. Tato metoda nám umožňuje zjistit délku měřeného vlákna, útlum vlákna, útlum určitých úseků, svarů a konektorů.[9]

#### 3.6.1 Měření OTDR na vlnové délce 1310 nm

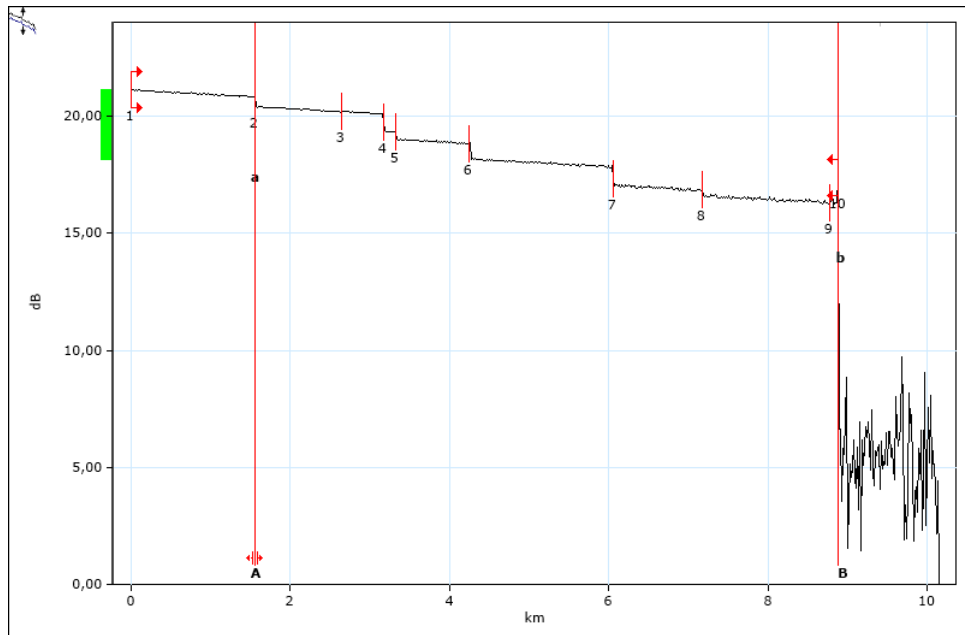
Při měření OTDR na vlnové délce 1310 nm bylo použito předřadné vlákno, jehož velikost dle měření byla 1,5588 km a na obrázku se nachází mezi označením 1 a 2. V bodě 2 je předřadné vlákno připojeno konektorem na optickou trasu, která má několik špulek obsahujících svary a konektory. Celková trasa od bodu A do bodu B pak byla dle měření dlouhá 7,3189 km a měla útlum 5,398 dB.



Obrázek 64: OTDR na vlnové délce 1310 nm

### 3.6.2 Měření OTDR na vlnové délce 1550 nm

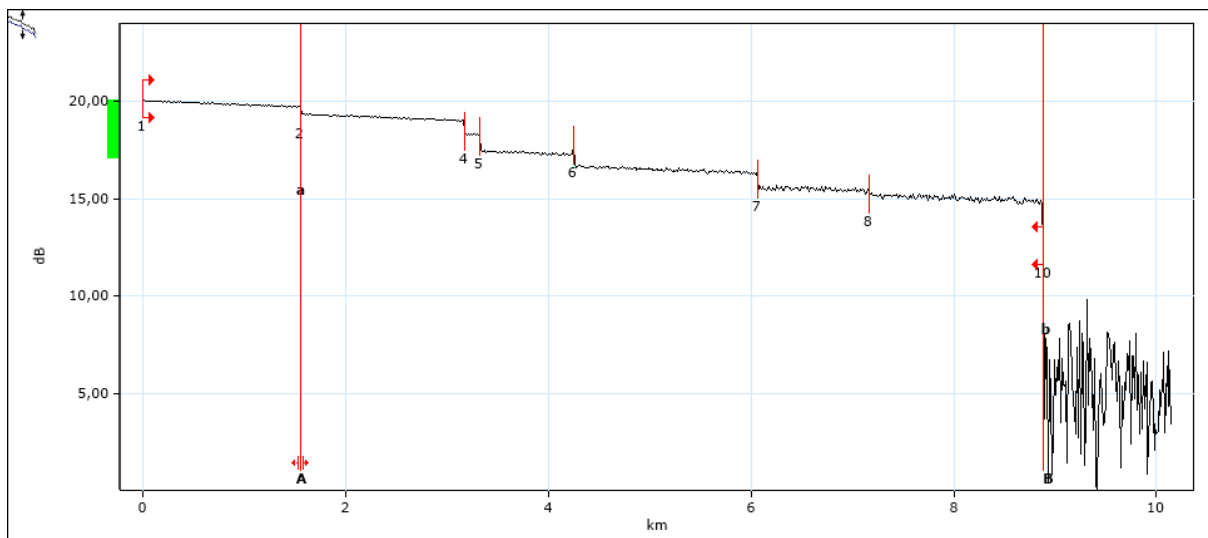
Při měření OTDR na vlnové délce 1550 nm bylo použito předřadné vlákno, jehož velikost dle měření byla 1,5594 km a na obrázku se nachází mezi označením 1 a 2. V bodě 2 je předřadné vlákno připojeno konektorem na optickou trasu, která má několik špulek obsahujících svary a konektory. Celková trasa od bodu A do bodu B pak byla dle měření dlouhá 7,3183 km a měla útlum 4,166 dB.



Obrázek 65: OTDR na vlnové délce 1550 nm

### 3.6.3 Měření OTDR na vlnové délce 1625 nm

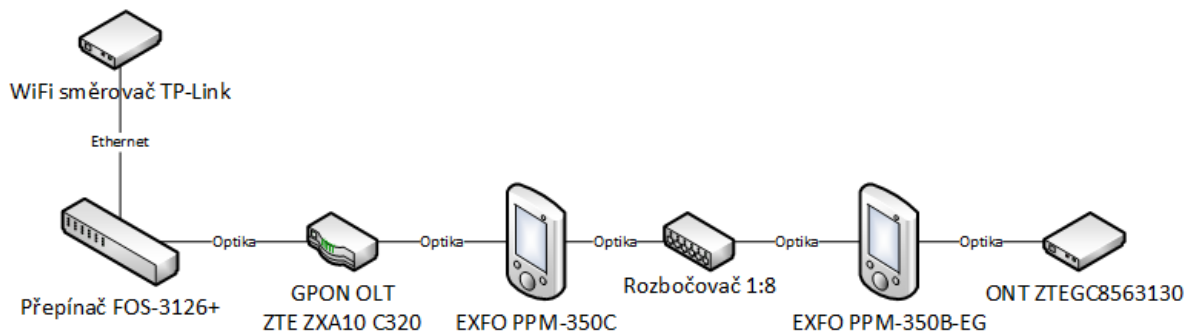
Při měření OTDR na vlnové délce 1625 nm bylo použito předřadné vlákno, jehož velikost dle měření byla 1,5589 km a na obrázku se nachází mezi označením 1 a 2. V bodě 2 je předřadné vlákno připojeno konektorem na optickou trasu, která má několik špulek obsahujících svary a konektory. Celková trasa od bodu A do bodu B pak byla dle měření dlouhá 7,3188 km a měla útlum 4,972 dB.



Obrázek 66: OTDR na vlnové délce 1625 nm

### 3.7 Měření výkonových úrovní pomocí zařízení PON Power Meter

Specializovaným prostředkem pro měření úrovní určeným pro pasivní optické sítě je PON Power Meter. Přístroj v sobě kombinuje soustavu vlnových filtrů pro vydělení všech pásem a umožňuje současné měření na vlnových délkách určených pro provoz pasivních optických sítí.[9]



Obrázek 67: Topologie zapojení se dvěma zařízeními PPM

Tabulka 12: Výsledky měření výkonových úrovní bez připojené trasy

	Bez připojené trasy		
	OLT	ONT	
Vlnová délka [nm]	Úroveň [dBm]	Útlum [dB]	
1310	-17,8	0,5	18
1490	-0,7	-18,7	18,3



Tabulka 13: Výsledky měření výkonových úrovní s připojenou trasou

	S připojenou trasou		
	OLT	ONT	
Vlnová délka [nm]	Úroveň [dBm]	Útlum [dB]	
1310	-23,6	0,5	23,1
1490	-0,7	-23,8	24,1

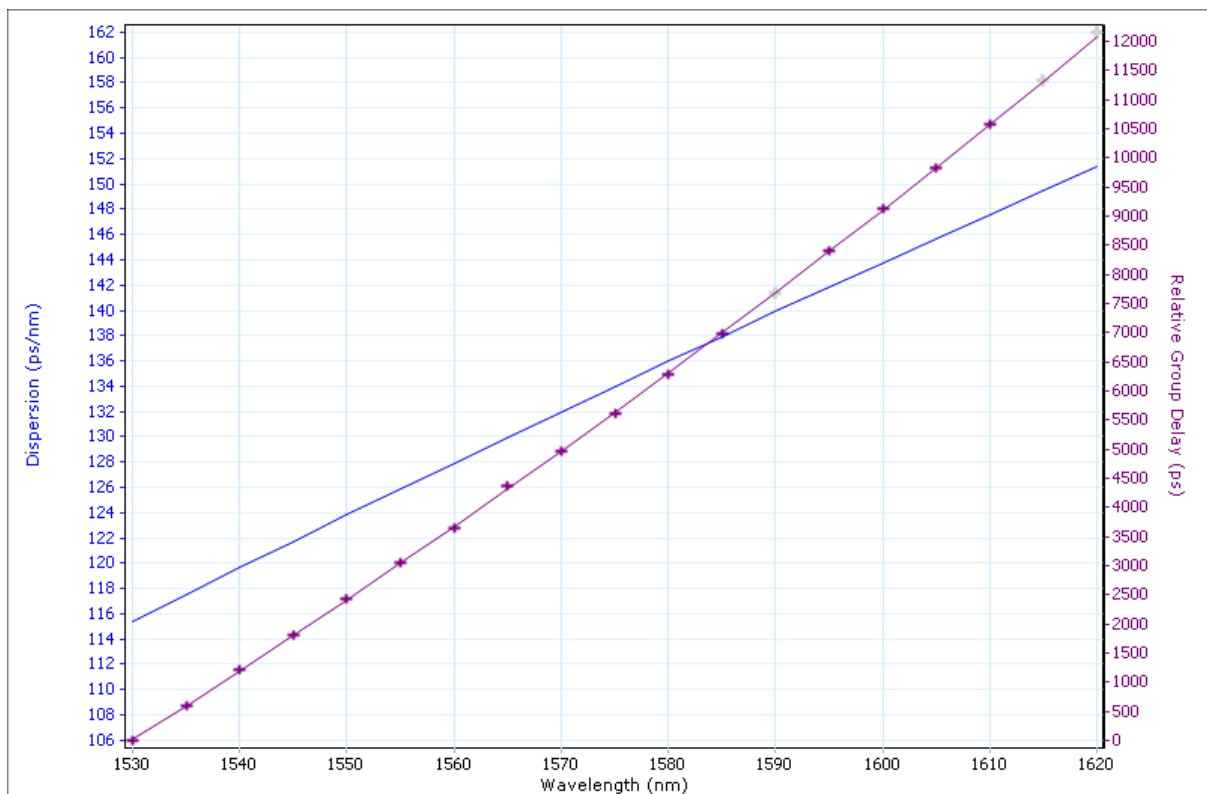
Hodnoty útlumu trasy se vypočítají odečtením hodnot bez připojené trasy od hodnot s připojenou trasou. Tyto hodnoty se pak rovnaly 5,8 dB na vlnové délce 1310 nm a 5,1 dB na vlnové délce 1490 nm.

### 3.8 Měření chromatické disperze

CD (Chromatic Dispersion - chromatická disperze) vzniká ve všech typech optických vláken. Tato disperze je způsobena tím, že zdroje světla mají konečnou šířku pásma. Dále také tím, že index lomu závisí na vlnové délce světla. Se vzrůstající vlnovou délkou index lomu klesá a v tom případě se jednotlivé spektrální složky šíří vláknem rozdílnou rychlostí. Chromatická disperze se skládá z materiálové a vlnovodné disperze. Materiálová disperze je zapříčiněna rozdílnou rychlostí šíření paprsků o různých vlnových délkách. Vlnovodná disperze je způsobena rozdílnou rychlostí šíření světla v jádře a plášti vlákna.[12]

Chromatická disperze na vlnové délce 1550 nm při délce vlákna 7,319 km je 123,813 ps/nm. Tato hodnota pak odpovídá podle výpočtu  $\frac{1}{4 \cdot 123,813 \cdot 10^{-12}}$  přibližně 2 Gbit/s což je hodnota na kterou chromatická disperze omezuje rychlost šíření na této trase. Řešením chromatické disperze je provozování optických komunikačních systémů s vysoce monochromatickými zdroji světla, nebo provozování komunikačních systémů na vlnových délkách v oblastech nízké neboli nulové chromatické disperze.

Koeficient chromatické disperze na vlnové délce 1550 nm odpovídá 16,917 ps/(nm\*km).[12]

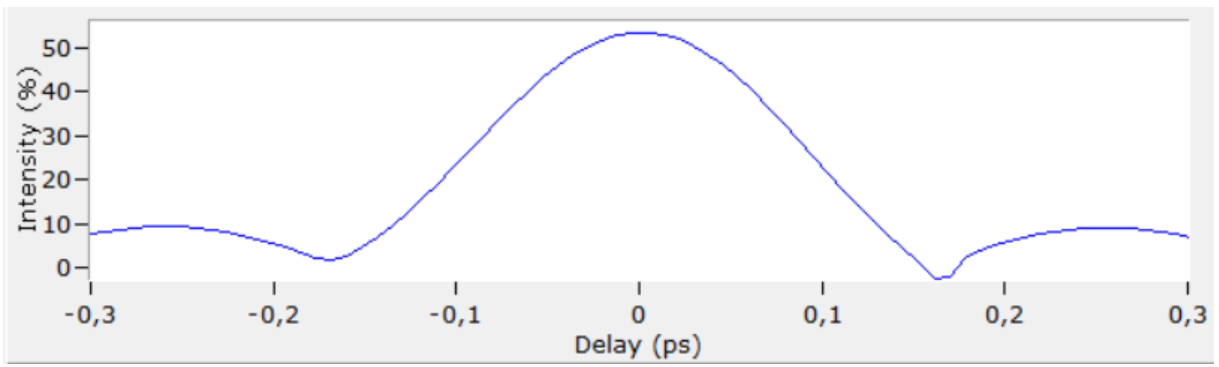


Obrázek 68: Vykreslení chromatické disperze v programu FastReporter 2

### 3.9 Měření polarizační vidové disperze

Polarizační vidová disperze je lineární efekt. V ideálním kruhově symetrickém vlákne mají dva ortogonálně polarizované režimy stejné skupinové zpoždění. Ve skutečnosti však vlákna vykazují určité množství dvojlomu v důsledku nedokonalostí výrobního procesu. PMD způsobuje různá zpoždění pro různé polarizace, a když se rozdíl ve zpožděních blíží významnému zlomku bitové periody, vede ke zkreslení pulsu.[10]

Měření polarizačně vidové disperze probíhalo na vlnové délce 1527,95 - 1624,06 nm při délce vlákna 7,319 km. Průměrná hodnota PMD, která byla vypočítána programem FTB-5500B Tool-Box dosahovala hodnoty 0,077 ps. Průměrný koeficient PMD byl v tomto případě  $0,028 \text{ ps/km}^{1/2}$



Obrázek 69: Vykreslení polarizačně vidové disperze v programu ToolBox

## Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vybudovat optickou síť GPON, ve které bude zapojen VLC/IP-DVB streamer jako zdroj video toků, a otestovat výkonnost této optické sítě. Tato síť byla vybudována v laboratoři EB316 na katedře telekomunikační techniky.

V teoretické části práce byly popsány optické přístupové sítě a základní funkční celky těchto sítí, specifikace přenosu optického signálu a základní dělení optických sítí. Dále zde byla popsána pasivní optická síť, a to především gigabitová pasivní optická síť. V této části byly shrnuty funkce gigabitové pasivní optické sítě, její bezpečnost a ochrana, přenos v sestupném i vzestupném směru a metody zapouzdření. Nachází se zde také popis optického rozbočovače, digitální televize a útlumové bilance.

V praktické části byla v laboratoři sestavena gigabitová pasivní optická síť skládající se z těchto komponentů: směrovač představující DHCP server, VLC/IP-DVB streamer vysílající video toky, ZXA10 C320 představující optické linkové zakončení této sítě, jádrový přepínač propojující směrovač, streamer a OLT, rozbočovač 1:8, ZXHN F660 představující optické síťové zakončení této sítě a koncového PC. Po sestavení a nakonfigurování této sítě byly vysílány video toky ze streameru na koncový počítač.

Další část práce se týkala měření výkonnostních parametrů této sítě dle doporučení ITU-T Y.1564, RFC 2544 a RFC 6349. Měření bylo provedeno pomocí dvou platform FFB-1, které obsahovaly moduly FFB-880v2 NetBlazer, vše od firmy EXFO. Testy byly provedeny na dvou variantách sítě. Jedna varianta sestávala z optické sítě bez připojené optické trasy. Druhá varianta byla optická síť s připojenou optickou trasou 7,319 kilometrů. Při měření veškerých testů dle všech doporučení byly hodnoty naměřené na obou variantách velmi podobné. Tato podobnost vyplývá z faktu, že OLT je schopno regulovat svůj provozní výkon a jakmile byla trasa přidána, OLT svůj výkon zvýšilo. Měření na první variantě sítě bez trasy bylo provedeno nejméně třikrát pomocí každého doporučení. Tato tři měření měla za účel zjistit opakovatelnost měření. Z naměřených hodnot lze s jistotou říci, že veškeré hodnoty dle všech doporučení měly téměř nulové odchylky ve všech testech a tudíž byla opakovatelnost úspěšně prokázána.

Ostatní testování sítě tvořilo měření typických optických parametrů jako jsou disperze, útlumy a úrovně. Při měření OTDR byla zjištěna trasa odpovídající délce 7,319 kilometrů, která měla odlišný útlum na různých vlnových délkách. Tento útlum se pohyboval od 4,166 dB na vlnové délce 1550 nm až po 5,398 dB na vlnové délce 1310 nm. Měření chromatické disperze prokázalo na vlnové délce 1550 nm hodnotu 123,813 ps/nm, která se vztahuje na celou trasu a po přepočtu odpovídá omezení rychlosti šíření na 2 Gbit/s na této trase. Měření polarizačně vidové disperze probíhalo na vlnové délce 1527,95-1624,06 nm a prokázalo průměr disperze 0,077 ps vztažený

k celkové trase. Měření pomocí přístrojů PPM vykázalo útlum optické trasy 5,8 dB na vlnové délce 1310 nm a 5,1 dB na vlnové délce 1490 nm.

Veškeré měření a testování bylo provedeno v téměř ideálním prostředí a za vhodných podmínek, proto tyto výsledné hodnoty mohou sloužit jako referenční pro následující měření a testy.

# Seznam příloh

## Obsah přiloženého CD

CD.exfocd

Soubor obsahující informace o chromatické disperzi  
vygenerovaný měřicím přístrojem

EtherSAM\_(Y.1564)\_Bez\_pripojene\_trasy\_1.pdf

EtherSAM\_(Y.1564)\_Bez\_pripojene\_trasy\_2.pdf

EtherSAM\_(Y.1564)\_Bez\_pripojene\_trasy\_3.pdf

EtherSAM\_(Y.1564)\_S\_pripojenou\_trasou.pdf

PDF soubory obsahující informace o měření dle doporučení ITU-T Y.1564  
vygenerované měřicím přístrojem

OTDR\_smer1.trc

Soubor obsahující informace o OTDR  
vygenerovaný měřicím přístrojem

OTDR\_smer2.trc

Soubor obsahující informace o OTDR  
vygenerovaný měřicím přístrojem

PMD.pmdB

Soubor obsahující informace o polarizačně vidové disperzi  
vygenerovaný měřicím přístrojem

RFC\_2544\_Bez\_pripojene\_trasy\_1.pdf

RFC\_2544\_Bez\_pripojene\_trasy\_2.pdf

RFC\_2544\_Bez\_pripojene\_trasy\_3.pdf

RFC\_2544\_S\_pripojenou\_trasou.pdf

PDF soubory obsahující informace o měření dle doporučení RFC 2544  
vygenerované měřicím přístrojem

RFC\_6349\_Bez\_pripojene\_trasy\_1.pdf

RFC\_6349\_Bez\_pripojene\_trasy\_2.pdf

RFC\_6349\_Bez\_pripojene\_trasy\_3.pdf

RFC\_6349\_S\_pripojenou\_trasou.pdf

PDF soubory obsahující informace o měření dle doporučení RFC 6349  
vygenerované měřicím přístrojem

## Literatura

- [1] SCHLITTER, P. *Optické přístupové sítě* [online]. Access server, 2004, [cit. 12.12.2018]. ISSN 1214-9675. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=opticke-pristupove-site&cisloclanku=2004072807>
- [2] LAM, Cedric. *Passive Optical Networks: Principles and Practice*. Boston: Academic Press, 2007. ISBN 0-12-373853-9.
- [3] CALE, Ivica, SALIHOVIC, Aida a IVEKOVIC, Matija. *Gigabit Passive Optical Network – GPON* [online]. 29th International Conference on Information Technology Interfaces, 2007, [cit. 14.12.2018]. 679-684 s. DOI 10.1109/ITI.2007.4283853. ISBN 953-7138-09-7. ISSN 1330-1012. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/4283853/>
- [4] ZHANG, Naiqian a JIN, Libiao. *Design of GPON for Digital Video Broadcast Signal Transmission* [online]. International Conference on Management and Service Science, 2009, [cit. 14.12.2018]. 1-3 s. DOI 10.1109/ICMSS.2009.5305858. ISBN 978-1-4244-4638-4. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5305858/>
- [5] EXFO. NETWORK TEST, MONITORING AND ANALYTICS EXPERTS [online]. EXFO Inc., [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <https://www.exfo.com/en/>
- [6] ITU-T Recommendation Y.1564. *Ethernet service activation test methodology* [online]. ITU, 2016, [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <https://www.itu.int/rec/T-REC-Y.1564-201602-I/en>
- [7] BRADNER, S. a MCQUAID, J. *Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices* [online]. Network Working Group, 1999, [cit. 18.04.2019]. DOI 10.17487/RFC2544. Dostupné z: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc2544>
- [8] CONSTANTINE, B., FORGET, G. a kol. *Framework for TCP Throughput Testing* [online]. Internet Engineering Task Force, 2011, [cit. 18.04.2019]. DOI 10.17487/RFC6349. Dostupné z: <https://www.rfc-editor.org/info/rfc6349>
- [9] LAFATA, Pavel a VODRÁŽKA, Jiří. *Optické přístupové sítě a přípojky FTTx*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05463-5.
- [10] KAMINOW, Ivan a LI, Tingye. *Optical fiber telecommunications IV-B: Systems and Impairments*. San Diego: Academic Press, 2002. ISBN 0-12-395172-0.
- [11] ČESKÝ TELEKOMUNIKAČNÍ ÚŘAD. *Měření datových parametrů sítí pomocí TCP protokolu* [online]. ČTÚ, 2014, [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <https://www.ctu.cz/sites/default/files/obsah/stranky/937/soubory/merenidatovychparametrusitipomocitcpprotokolu.pdf>

- [12] ŠIŠKA, Petr a kol. *Optoelektronika* [online]. Ostrava: VŠB-TUO, 2015, [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: [https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/850769/mod\\_resource/content/1/Skripta%200pte.pdf](https://lms.vsb.cz/pluginfile.php/850769/mod_resource/content/1/Skripta%200pte.pdf)
- [13] TP-LINK. *TL-R460-4portový kabelový/DSL směrovač* [online]. TP-Link Technologies Corporation, [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <https://www.tp-link.com/cz/home-networking/wifi-router/tl-r460/>
- [14] CTS-Connection Technology Systems. *FOS-3126-PLUS* [online]. CTS, Inc. [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <https://www.ctssystem.com/en/support/download.php?fid=&keyw=fos-3126-plus>
- [15] ZTE. *ZXA10 C320: Industry's First Compact Optical Access Platform* [online]. ZTE Corporation, [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <https://www.zte.com.cn/global/products/access/xpon/pon%20olt/424195>
- [16] ZTE, OFA. *ZXA10 C320: OLT* [online]. OFA s.r.o., [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <http://ztegpon.cz/index.php?page=c320>
- [17] ZTE, OFA. *ZXHN F660: ONT* [online]. OFA s.r.o., [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <http://www.ztepon.com/index.php?page=660>
- [18] ZTE. *PON ONT* [online]. ZTE Corporation, [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <https://www.zte.com.cn/global/products/access/cpe/2017071810/2017071813>
- [19] VIDEO LAN ORGANIZATION. *VLC* [online]. VideoLAN, [cit. 18.04.2019]. Dostupné z: <https://www.videolan.org/vlc/features.html>
- [20] ASM. *IP TV stream server ITS-DVB2IP-S2T2M2 - Uživatelský návod*. ASM spol. s.r.o., 6 s.