

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

**Měření chybovosti na PON síti**

**The Error Rate Measurement in PON Network**

**2013**

**Bc. Lukáš Bednárek**

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

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lukáš Bednárek**  
Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie  
Studijní obor: 2601T013 Telekomunikační technika  
Téma: **Měření chybovosti na PON síti**  
**The Error Rate Measurement in PON Network**

Zásady pro vypracování:

1. Popis technologie GePON.
2. Teoretický rozbor metod měření útlumu v optických sítích a jejich vliv na síť.
3. Měření chybovosti pomocí RFC 2544 a ITU-T Y.1564 v optických sítích.
4. Vyhodnoťte na vytvořených topologiích měření chybovosti.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] KAZOVSKY, Leonid G., et al.; *Broadband Optical Access Networks*. Canada: Wiley, 2011. 283 p.. ISBN 978-0-470-18235-2.
- [2] MA, Maode. *Current Research Progress of Optical Networks*. 1st Edition. [s.l.]: Springer, 2009. 282 p. ISBN 978-1402098888
- [3] LAM, Cedric. *Passive Optical Networks: Principles and practice*. Oxford: Elsevier Onc., 2007. 324 p. ISBN 978-0-12-373853-0
- [4] DHAINI, Ahmad R. *Next-Generation Passive Optical Networks*. Saarbrücken: VDM Verlag, 2008. 132 p. ISBN 978-3836435062

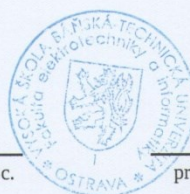
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

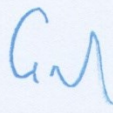
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Šiška, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

  
prof. RNDr. Vladimír Vašínek, CSc.  
vedoucí katedry




  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## Prohlášení studenta

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

Dne: 30. 4. 2013

  
.....  
podpis studenta

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Petru Šiškovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této diplomové práce.

## **Abstrakt**

Celá práce se zabývá problematikou pasivních optických sítí, konkrétně technologií GEAPON. Hlavním cílem práce je proměření chybovosti pomocí testu RFC 2544 a EtherSAM na vytvořených topologiích. Teoretická část se zabývá popisem technologie GEAPON, dále pak teoretickým rozbohem metod měření útlumu v optických sítích a jejich vlivem na danou síť. Praktická část obsahuje popis daných testů, jejich způsoby testování a prezentaci výsledků. Dále pak v praktické části jsou popsány vytvořené topologie, nalezen jejich maximální možný dosah fungování a taktéž následné vyhodnocení všech naměřených výsledků, spolu se zhodnocením dané topologie z pohledu porovnání výsledků obou testovaných metod.

## **Klíčová slova**

PON, GEAPON, OLT, ONU, Metody měření útlumu, RFC 2544, EtherSAM, VoIP, IPTV

## **Abstract**

The entire work is focused on passive optical networks, specifically the GEPON technology. The main aim of this work is to measure the error rate test RFC 2544 and EtherSAM on created topologies. The theoretical part deals with the description of the GEPON technology, theoretical analysis of attenuation measurement methods in optical networks and their impact on the network. The practical part includes a description of the tests, their ways of testing and presentation of the results. The practical part describes the created topology, found their maximum range of operation and also the subsequent evaluation of all the results obtained, together with the appreciation of the topology as seen from the comparison of the results of both test methods.

## **Key Words**

PON, GEPON, OLT, ONU, Methods of measurement of attenuation, RFC 2544, EtherSAM, VoIP, IPTV

## Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotky	Význam symbolu
$\lambda$	nm	Vlnová délka
A	dB	Útlum
BR	Gbit/s	Přenosová rychlost
P	W	Výkon
a	dB/km	Měrný útlum
l	m	Délka

## Seznam použitých zkratk

Zkratka	Anglický význam	Český význam
<b>10GEAPON</b>	10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network	10 gigabitová ethernetová pasivní optická síť
<b>AON</b>	Active Optical Network	Aktivní optická síť
<b>APD</b>	Avalanche Photo Diode	Lavinová fotodioda
<b>BER</b>	Bit Error Rate	Bitová chybovost
<b>CIR</b>	Committed Information Rate	Maximální garantovaná přenosová rychlost
<b>CRC</b>	Cyclic Redundancy Check	Cyklický redundantní součet
<b>EIR</b>	Excess Information Rate	Maximální negarantovaná přenosová rychlost
<b>EPON</b>	Ethernet Passive Optical Network	Ethernetová pasivní optická síť
<b>FCS</b>	Fibre Channel Standard	Zabezpečovací pole
<b>FTTB</b>	Fiber to the Building	Vlákno přivedené k budově
<b>FTTC</b>	Fiber to the Curb	Vlákno přivedené k chodníku
<b>FTTH</b>	Fiber to the Home	Vlákno přivedené k bytu
<b>FTTN</b>	Fiber to the Node	Vlákno přivedené k uzlu
<b>FTTO</b>	Fiber to the Office	Vlákno přivedené ke kanceláři
<b>FTTx</b>	Fiber to the x	Vlákno přivedené k bodu x
<b>GEAPON</b>	Gigabit Ethernet Passive Optical Network	Gigabitová ethernetová pasivní optická síť
<b>HDTV</b>	High-Definition television	Televize ve vysokém rozlišení
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut elektrických a elektronických inženýrů
<b>IL</b>	Insert Loss	Vložné ztráty
<b>IP</b>	Internet Protocol	Internetový protokol
<b>IPTV</b>	Internet Protocol Television	Televize přes internetový protokol
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization	Mezinárodní organizace pro standardizaci
<b>ITU-T</b>	International Telecommunication Union	Mezinárodní telekomunikační unie
<b>KPI</b>	Key Performance Indicators	Klíčové výkonové ukazatele



---

<b>LLID</b>	Logical Link ID	Logický linkový identifikátor
<b>MAC</b>	Media Access Control	Identifikátor síťového zařízení
<b>MPCP</b>	Multi-Point Control Protocol	Multibodový kontrolní protokol
<b>MPEG-4</b>	Moving Picture Expert Group - 4	Kodek na zpracování videa
<b>ODN</b>	Optical Distribution Network	Optická distribuční síť
<b>OLT</b>	Optical Line Termination	Optické linkové ukončení
<b>ONT</b>	Optical Network Terminal	Optický síťový terminál
<b>ONU</b>	Optical Network Unit	Optická síťová jednotka
<b>OR</b>	Overshoot Rate	Hranice překročení
<b>OTDR</b>	Optical time-domain reflectometer	Optický časový reflektometr
<b>PC</b>	Point Contact	Bodový styk
<b>PON</b>	Passive Optical Network	Optická pasivní síť
<b>QoS</b>	Quality of services	Kvalita služeb
<b>RFC</b>	Request for Comments	Žádost o komentáře
<b>RTT</b>	Round Trip Time	Doba odezvy
<b>RX</b>	Receive	Příjem
<b>SDH</b>	Synchronous Digital Hierarchy	Synchronní digitální hierarchie
<b>SLA</b>	Service Level Agreement	Smlouva o kvalitě poskytovaných služeb
<b>TDM</b>	Time Division Multiplexing	Časový multiplex
<b>TX</b>	Transmission	Vysílání
<b>VoIP</b>	Voice Over IP	Hlas přes internet
<b>WDM</b>	Wavelength Division Multiplexing	Vlnový multiplex
<b>xDSL</b>	x Digital Subscriber Line	x digitální účastnická linka

---

# Obsah

1	Úvod .....	1
2	PON síť.....	2
2.1	Rozdělení zakončení vlákna podle umístění.....	3
2.2	Základní funkční bloky PON sítí.....	4
2.3	Topologie PON .....	5
3	EPON síť .....	7
3.1	Struktura multirámců GEAPON .....	7
3.2	Princip přenosu v síti GEAPON.....	9
3.3	MPCP protokol .....	10
3.3.1	Proces hledání .....	10
3.3.2	REPORT operace .....	12
3.3.3	GATE operace.....	12
3.3.4	Synchronizace hodin .....	12
4	Metody měření útlumu.....	13
4.1	Metoda dvou délek.....	13
4.2	Metoda vložných ztrát.....	14
4.2.1	Dvoustepňová modifikace .....	15
4.2.2	Čtyřstepňová modifikace .....	15
4.3	Varianty metody vložných ztrát .....	16
4.3.1	Metoda 1a.....	17
4.3.2	Metoda 1b .....	17
4.3.3	Metoda 1c.....	18
4.4	Metoda zpětného rozptylu.....	18
4.4.1	Princip funkce OTDR.....	19
4.4.2	Klíčové parametry OTDR .....	20
5	Metody měření chybovosti.....	21
5.1	Metoda RFC 2544.....	21
5.1.1	Test propustnosti .....	21
5.1.2	Test zatížitelnosti.....	21

5.1.3	Test ztrátovosti .....	21
5.1.4	Test zpoždění .....	22
5.2	Metoda ITU-T Y.1564 EtherSAM .....	22
5.2.1	Test konfigurace služeb .....	22
5.2.2	Test výkonnosti služeb .....	22
6	Měřicí pracoviště .....	23
6.1	OLT jednotka .....	23
6.2	ONU jednotka .....	23
6.3	Pasivní děliče .....	23
6.4	Simulátor vedení .....	23
6.5	Optická trasa .....	24
6.6	Měřicí přístroj EXFO ASX 200/850 .....	24
6.7	Měřicí přístroj EXFO FTB-1/860 NetBlazer .....	24
6.8	Konfigurace OLT .....	24
6.9	Nastavení měřicího přístroje EXFO ASX 200/850 .....	24
6.10	Nastavení měřicího přístroje EXFO FTB-1/860 NetBlazer .....	25
6.10.1	Nastavení testu EtherSAM .....	25
6.10.2	Nastavení testu RFC 2544 .....	28
6.11	Vytvořené topologie .....	28
6.11.1	Topologie 1 .....	29
6.11.2	Topologie 2 .....	30
6.11.3	Topologie 3 .....	31
6.11.4	Topologie 4 .....	32
6.11.5	Topologie 5 .....	33
7	Naměřené výsledky .....	34
7.1	Měření topologie 1 .....	34
7.1.1	Měření RFC 2544 .....	34
7.1.2	Měření EtherSAM .....	37
7.1.3	Zhodnocení topologie 1 .....	42
7.2	Měření topologie 2 .....	42
7.2.1	Měření RFC 2544 .....	42

7.2.2	Měření EtherSAM .....	45
7.2.3	Zhodnocení topologie 2 .....	50
7.3	Měření topologie 3 .....	51
7.3.1	Měření RFC 2544 .....	51
7.3.2	Měření EtherSAM .....	54
7.3.3	Zhodnocení topologie 3 .....	59
7.4	Měření topologie 4 .....	60
7.4.1	Měření RFC 2544 .....	60
7.4.2	Měření EtherSAM .....	63
7.4.3	Zhodnocení topologie 4 .....	68
7.5	Měření topologie 5 .....	69
7.5.1	Měření RFC 2544 .....	69
7.5.2	Měření EtherSAM .....	72
7.5.3	Zhodnocení topologie 5 .....	78
8	Závěr .....	79
9	Použitá literatura .....	81
10	Seznam příloh .....	83

## Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Rozdělení optických sítí .....	2
Obrázek 2.2: Rozdělení FTTx .....	4
Obrázek 2.3: Návaznost bloků v PON síti .....	5
Obrázek 2.4: Stromová topologie .....	5
Obrázek 2.5: Kruhová topologie.....	5
Obrázek 2.6: Sběrníková topologie.....	6
Obrázek 2.7: Hvězdicová topologie.....	6
Obrázek 3.1: Struktura rámce v GEPON síti .....	7
Obrázek 3.2: Struktura multirámce v sestupném směru.....	8
Obrázek 3.3: Struktura multirámce ve vzestupném směru.....	8
Obrázek 3.4: Princip přenosu v sestupném směru .....	9
Obrázek 3.5: Princip přenosu ve vzestupném směru.....	10
Obrázek 3.6: Registrace ONU jednotky.....	11
Obrázek 4.1: Měření útlumu metodou dvou délek.....	13
Obrázek 4.2: Princip měření metodou vložných ztrát .....	14
Obrázek 4.3: Dvoustupňová modifikace metody vložných ztrát.....	15
Obrázek 4.4: Čtyřstupňová modifikace metody vložných ztrát .....	16
Obrázek 4.5: Varianta 1a metody vložných ztrát .....	17
Obrázek 4.6: Varianta 1b metody vložných ztrát.....	18
Obrázek 4.7: Varianta 1c metody vložných ztrát .....	18
Obrázek 4.8: Blokové schéma uspořádání OTDR .....	19
Obrázek 6.1: Nastavení EXFO FTB-1/860 záložka PORT .....	25
Obrázek 6.2: Nastavení EXFO FTB-1/860 karta GLOBAL .....	26
Obrázek 6.3: Nastavení služby IPTV .....	27
Obrázek 6.4: Nastavení služby VoIP .....	27
Obrázek 6.5: Nastavení služby DATA .....	28
Obrázek 6.6: Topologie 1 .....	29
Obrázek 6.7: Topologie 2 .....	30
Obrázek 6.8: Topologie 3 .....	31
Obrázek 6.9: Topologie 4 .....	32
Obrázek 6.10: Topologie 5 .....	33

## Seznam tabulek

Tabulka 4.1: Parametry OTDR .....	20
Tabulka 6.1: Mezní hodnoty parametrů IPTV .....	26
Tabulka 6.2: Mezní hodnoty parametrů VoIP .....	28
Tabulka 7.1: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 1 pro útlum 15,6 dB .....	35
Tabulka 7.2: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 1 pro útlum 15,5 dB .....	35
Tabulka 7.3: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 1 pro útlum 15,4 dB .....	36
Tabulka 7.4: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 1 pro útlum 15,3 dB .....	37
Tabulka 7.5: Test konfigurace EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,75 dB .....	37
Tabulka 7.6: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,75 dB .....	38
Tabulka 7.7: Test konfigurace EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,7 dB .....	38
Tabulka 7.8: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,7 dB .....	39
Tabulka 7.9: Test konfigurace EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,6 dB .....	39
Tabulka 7.10: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,6 dB .....	39
Tabulka 7.11: Test konfigurace EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,5 dB .....	40
Tabulka 7.12: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,5 dB .....	40
Tabulka 7.13: Test konfigurace EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,4 dB .....	41
Tabulka 7.14: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,4 dB .....	41
Tabulka 7.15: Test konfigurace EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,3 dB .....	41
Tabulka 7.16: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,3 dB .....	42
Tabulka 7.17: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 2 pro útlum 15,9 dB .....	43
Tabulka 7.18: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 2 pro útlum 15,8 dB .....	44
Tabulka 7.19: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 2 pro útlum 15,7 dB .....	45
Tabulka 7.20: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 2 pro útlum 15,6 dB .....	45
Tabulka 7.21: Test konfigurace EtherSAM topologie 2 pro útlum 16,05 dB .....	46
Tabulka 7.22: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 2 pro útlum 16,05 dB .....	46
Tabulka 7.23: Test konfigurace EtherSAM topologie 2 pro útlum 16 dB .....	47
Tabulka 7.24: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 2 pro útlum 16 dB .....	47
Tabulka 7.25: Test konfigurace EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,9 dB .....	47
Tabulka 7.26: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,9 dB .....	48
Tabulka 7.27: Test konfigurace EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,8 dB .....	48
Tabulka 7.28: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,8 dB .....	49
Tabulka 7.29: Test konfigurace EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,7 dB .....	49
Tabulka 7.30: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,7 dB .....	49
Tabulka 7.31: Test konfigurace EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,6 dB .....	50
Tabulka 7.32: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,6 dB .....	50
Tabulka 7.33: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 3 pro útlum 18,4 dB .....	52
Tabulka 7.34: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 3 pro útlum 18,3 dB .....	52
Tabulka 7.35: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 3 pro útlum 18,2 dB .....	53

Tabulka 7.36: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 3 pro útlum 18,1 dB .....	54
Tabulka 7.37: Test konfigurace EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,5 dB .....	54
Tabulka 7.38: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,5 dB .....	55
Tabulka 7.39: Test konfigurace EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,45 dB .....	55
Tabulka 7.40: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,45 dB .....	56
Tabulka 7.41: Test konfigurace EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,4 dB .....	56
Tabulka 7.42: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,4 dB .....	56
Tabulka 7.43: Test konfigurace EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,3 dB .....	57
Tabulka 7.44: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,3 dB .....	57
Tabulka 7.45: Test konfigurace EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,2 dB .....	58
Tabulka 7.46: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,2 dB .....	58
Tabulka 7.47: Test konfigurace EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,1 dB .....	58
Tabulka 7.48: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,1 dB .....	59
Tabulka 7.49: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 4 pro útlum 18,85 dB .....	60
Tabulka 7.50: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 4 pro útlum 18,8 dB .....	61
Tabulka 7.51: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 4 pro útlum 18,7 dB .....	62
Tabulka 7.52: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 4 pro útlum 18,6 dB .....	62
Tabulka 7.53: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 4 pro útlum 18,5 dB .....	63
Tabulka 7.54: Test konfigurace EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,9 dB .....	64
Tabulka 7.55: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,9 dB .....	64
Tabulka 7.56: Test konfigurace EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,85 dB .....	64
Tabulka 7.57: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,85 dB .....	65
Tabulka 7.58: Test konfigurace EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,8 dB .....	65
Tabulka 7.59: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,8 dB .....	66
Tabulka 7.60: Test konfigurace EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,7 dB .....	66
Tabulka 7.61: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,7 dB .....	67
Tabulka 7.62: Test konfigurace EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,6 dB .....	67
Tabulka 7.63: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,6 dB .....	67
Tabulka 7.64: Test konfigurace EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,5 dB .....	68
Tabulka 7.65: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,5 dB .....	68
Tabulka 7.66: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 5 pro útlum 16,65 dB .....	70
Tabulka 7.67: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 5 pro útlum 16,6 dB .....	70
Tabulka 7.68: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 5 pro útlum 16,5 dB .....	71
Tabulka 7.69: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 5 pro útlum 16,4 dB .....	72
Tabulka 7.70: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 5 pro útlum 16,3 dB .....	72
Tabulka 7.71: Test konfigurace EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,7 dB .....	73
Tabulka 7.72: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,7 dB .....	73
Tabulka 7.73: Test konfigurace EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,65 dB .....	74
Tabulka 7.74: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,65 dB .....	74
Tabulka 7.75: Test konfigurace EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,6 dB .....	75
Tabulka 7.76: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,6 dB .....	75

Tabulka 7.77: Test konfigurace EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,5 dB.....	75
Tabulka 7.78: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,5 dB .....	76
Tabulka 7.79: Test konfigurace EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,4 dB.....	76
Tabulka 7.80: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,4 dB .....	77
Tabulka 7.81: Test konfigurace EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,3 dB.....	77
Tabulka 7.82: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,3 dB .....	77



# 1 Úvod

Tato práce se zabývá oblastí optických přístupových sítí. Myslím si, že v dnešní době optické přístupové sítě již neslouží pouze jako páteří sítě, ale stále častěji jsou pomocí těchto sítí připojovány i domácnosti a celé kancelářské objekty. Dnes jsou nejpoužívanější technologie optických přístupových sítí, známé jako EPON sítě popřípadě WDM PON sítě. V práci se konkrétně zabývá měřením chybovosti na GEPON síti. Cílem celé práce tedy je zjištění maximálního dosahu této sítě v různých vytvořených topologiích, dále pak proměření a následné vyhodnocení změřených výsledků.

Celá práce má dvě hlavní části, a to teoretickou zabývající se prvními dvěma body zadání a praktickou část, v níž jsou vytvořené dané topologie a provedené měření chybovosti.

Teoretickou část tvoří několik kapitol. První z těchto kapitol se zabývá základními rozděleními zakončení vlákna v PON sítích, dále pak funkčními bloky a taktéž topologiemi. Další kapitolu tvoří EPON sítě, konkrétně je zde popsána technologie GEPON, její specifiky, princip přenosu a protokol MPCP. Poslední teoretickou kapitolou je kapitola metody měření útlumu, ve které jsou teoreticky rozebrány všechny metody měření útlumu, jejich principy a vlivy na síť.

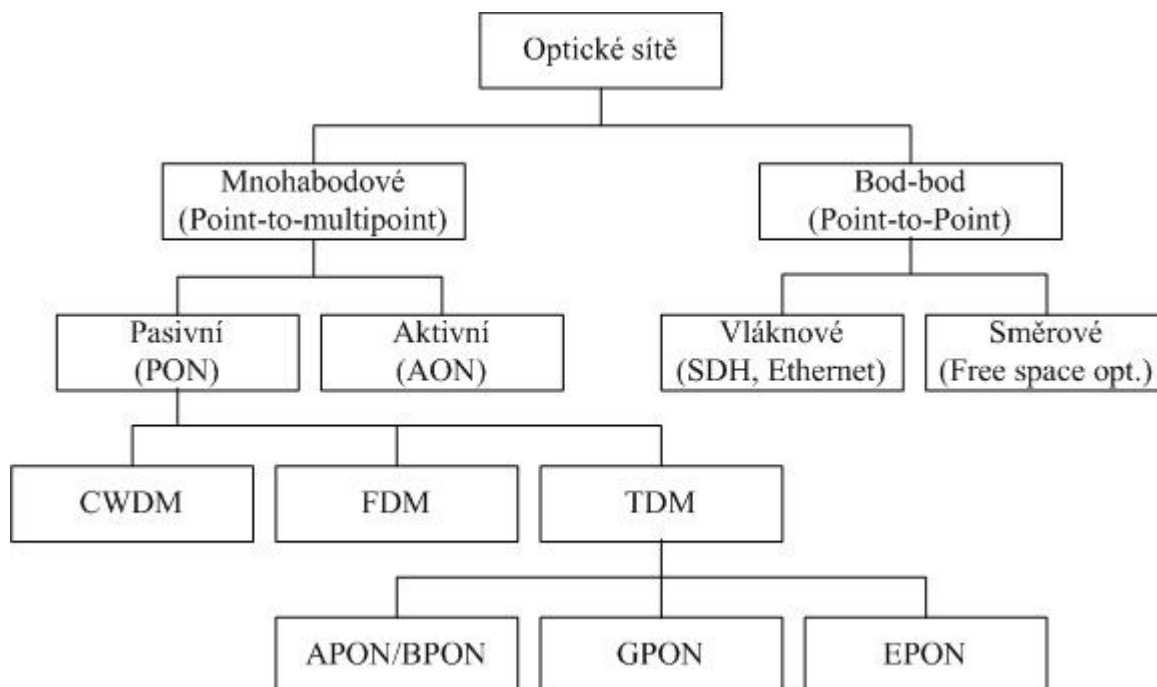
Praktickou část diplomové práce tvoří třetí a čtvrtý bod zadání. První kapitolou praktické části je kapitola, ve které jsou teoreticky popsány metody měření chybovosti. Jsou zde popsány jednotlivé testy, jejich způsob testování a prezentace výsledků jednotlivých testů. Následující kapitola je již praktická. Je v ní popsána OLT a ONU jednotka a další prvky celé PON sítě. Taktéž jsou zde popsány měřicí přístroje použité k získání výsledků, dále pak jejich konfigurace a nastavení parametrů jednotlivých testů. V poslední části této kapitoly jsou popsány vytvořené topologie a jejich zjištěný maximální dosah, při kterém je síť ještě funkční. Největší a také nejdůležitější kapitolou celé práce je poslední kapitola praktické části. V této kapitole jsou všechny naměřené výsledky u jednotlivých vytvořených topologií. Popsány jsou postupně naměřená data obou testů, u každé části testu je vyhodnocení dané části. Po vyhodnocení všech testů a parametrů dané topologie následuje zhodnocení celé topologie z hlediska obou metod měření chybovosti. Grafické zpracování výsledků testu RFC 2544 je v tištěných přílohách, naměřená data ve formě pdf souborů jsou přiložena na CD.

Poslední kapitolou celé práce je závěr, ve kterém jsou shrnuty výsledky obou částí práce.

## 2 PON síť

Passive Optical Network (PON) neboli česky pasivní optická síť je technologie používaná v přístupových sítích. Pro přenos užitečné informace používá jako prostředek optické vlákno. Výhodami PON sítí jsou přenosová kapacita, která je mnohonásobně větší než u metalických vedení, dále pak vysoká bezpečnost přenosu, protože optický přenos dat je velmi těžké odposlouchávat. Dalšími výhodami jsou použití pouze jednoho optického vlákna pro obsluhu více zákazníků, kterého je dosaženo pomocí optického rozbočovače. Nejspíše největší výhodou této technologie je, že pro přenos informace mezi ústřednou poskytovatele a koncovým uživatelem není potřeba žádných aktivních napájecích síťových prvků, proto je nazývána pasivní optická síť.

Základní rozdělení optických sítí je na síť typu bod-více bodů (point-to-multipoint) a bod-bod (point-to-point). Dále se práce věnuje pouze sítím typu bod-více bodů, které se dále dělí na PON síť a AON síť (Active Optical Network), neboli aktivní optická síť. Práce je věnována PON sítím a to konkrétně sítím s využitím časově sdruženého přístupu ke sdílenému médiu TDM (Time Division Multiplexing) a částečně i vlnovému dělení WDM (Wavelength Division Multiplexing). Základní rozdělení optických sítí je na obrázku 2.1 [1].



Obrázek 2.1: Rozdělení optických sítí

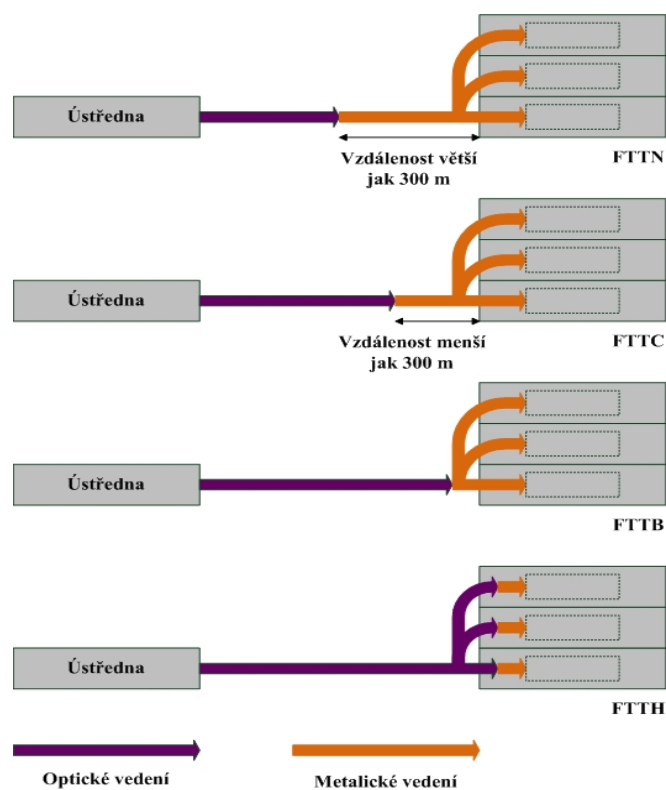
Na základě architektury bod-více bodů je patrná další výhoda PON sítí a to, že pro obsluhu většího počtu účastníků je potřeba jediné optické vlákno. Toho je docíleno tak, že po optickém vlákne jsou přenášeny zašifrované informace, kvůli nemožnosti odposlechu od jiného uživatele, které na konci přenosové trasy jsou pomocí optického děliče tzv. splitteru rozděleny na datové toky jednotlivých účastníků. Tímto se přenosová kapacita rozdělí mezi určitý počet koncových uživatelů [1], [2].

## 2.1 Rozdělení zakončení vlákna podle umístění

Architektura PON sítí využívá pro popis vystavěné sítě často termínů FTTx (Fiber to the x), kde x znamená bod ukončení optického vedení vlákna. Tato technologie se používá na tzv. poslední míli komunikace tedy, od koncového bodu sítě, typicky ústředny, až k zákazníkovi. V tomto úseku nahradila optická vedení starší metalické vedení. Po ukončení optického vlákna v přípojně skříni (uzlu) je přípojka vedena k uživateli v jiné podobě. Nejčastější variantou je metalický ethernet, bezdrátová síť, popřípadě některá digitální xDSL technologie.

- **FTTN** (Fiber to the Node) – optické vlákno je zakončeno v uzlu ve vzdálenosti 300 metrů až několik kilometrů od koncového uživatele. Konečná přípojka je pak metalická.
- **FTTC** (Fiber to the Cabinet/Curb) – optické vlákno je podobně jako v realizaci FTTN přivedeno do uzlu, který je ovšem umístěn blíže ke koncovému uživateli. V případě realizace Cabinet je vlákno ukončeno cca 300 metrů od koncového uživatele, kde je dále vedení realizováno pomocí metalického kabelu. V curb realizaci je optické vlákno vedeno až k chodníku v blízkosti budov.
- **FTTB** (Fiber to the Building/Basement) – optické vlákno je přivedeno až k hranici budovy koncového uživatele, kde přípojná skříň je nejčastěji umístěna v suterénu budovy, odkud je vedení realizováno alternativními způsoby.
- **FTTO** (Fiber to the Office) – optické vlákno je přivedeno až do budov s kanceláři a ke koncovým uživatelům s velkými požadavky na přenosovou rychlost. Tato architektura využívá pouze optické vedení.
- **FTTH** (Fiber to the Home) – optické vlákno je přivedeno až ke koncovému bodu sítě, nejčastěji do účastnické zásuvky. Ta je umístěna na vnější zdi budovy, případně jednotlivě bytové jednotky.

Graficky znázorněné rozdělení FTTx ukončení optických vláken je znázorněno na obrázku 2.2 [3].



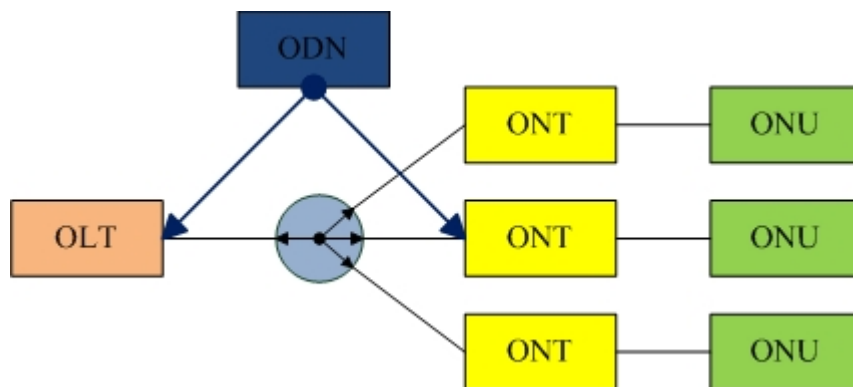
Obrázek 2.2: Rozdělení FTTx

## 2.2 Základní funkční bloky PON sítě

Pasivní optická síť je tvořena několika základními funkčními bloky, které zajišťují všechny potřebné funkce pro bezproblémové fungování této sítě.

- **OLT** (Optical Line Termination) – optické linkové rozhraní slouží k zakončení linky na straně poskytovatele. Tvoří rozhraní mezi telekomunikační a přístupovou sítí. Je připojena k páteřní síti nejčastěji pomocí Ethernet rozhraní nebo pomocí místního muldexu SDH.
- **ODN** (Optical Distribution Network) – optická distribuční síť je soubor všech optických přenosových prostředků, které jsou mezi OLT a jednotkami ONU. Řadí se zde hlavně optické vlákna, pasivní optické rozbočovače (splittery), konektory a spojky.
- **ONT** (Optical Network Termination) – optický síťový ukončovač zajišťuje funkci účastnického rozhraní mezi koncovými zařízeními účastníků a přístupovou sítí.
- **ONU** (Optical Network Unit) – optická síťová jednotka zabezpečuje funkci rozhraní mezi optickou a metalickou popřípadě bezdrátovou částí sítě.
- **Splitter** – optický rozbočovač je nenapájené zařízení, které umožňuje více zákazníkům sdílet přenosovou šířku pásma jednoho optického vlákna.

Na obrázku 2.3 je zobrazena návaznost jednotlivých bloků [1], [4].



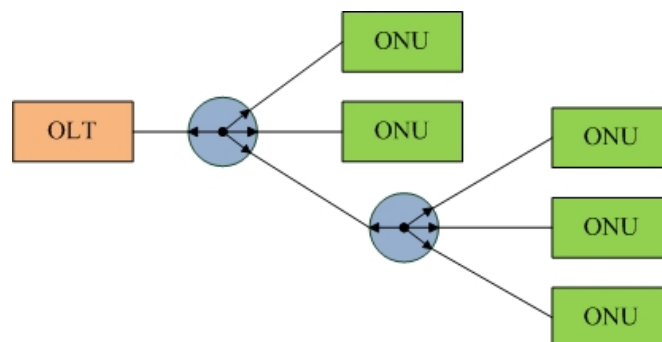
Obrázek 2.3: Návaznost bloků v PON síti

### 2.3 Topologie PON

Pasivní optické sítě používají následující 4 známé topologie:

- Stromová topologie viz. obrázek 2.4 [1].

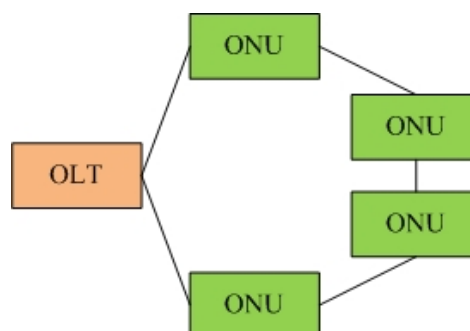
Používá se nejvíce pro připojení domácností, kde využívá architekturu bod-více bodů.



Obrázek 2.4: Stromová topologie

- Kruhová topologie viz. obrázek 2.5 [1].

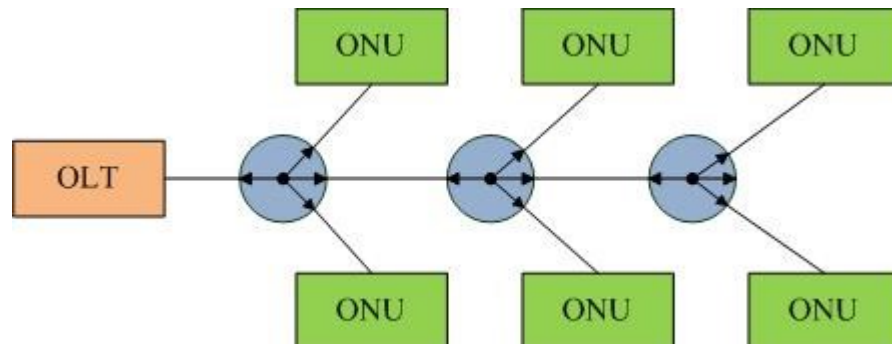
Používá se ve variantě chráněné kruhové topologie a to pro obchodní účely.



Obrázek 2.5: Kruhová topologie

- Sběrníková topologie viz. obrázek 2.6 [1].

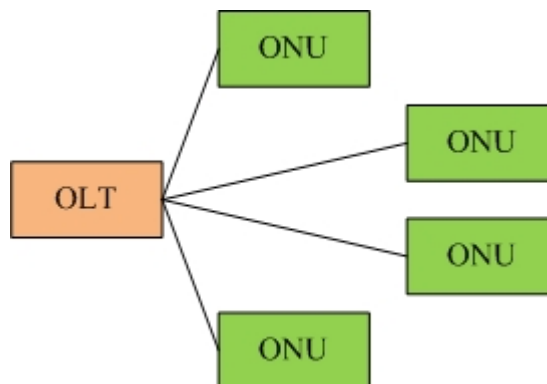
Tato topologie se používá hlavně pro univerzitní účely.



Obrázek 2.6: Sběrníková topologie

- Hvězdicová topologie viz. obrázek 2.7 [1].

Uspořádání dle této topologie bývá velmi neobvyklé.



Obrázek 2.7: Hvězdicová topologie

### 3 EPON síť

EPON (Ethernet Passive Optical Network) je pasivní optická síť založená na Ethernet protokolu. Standardizována byla standardem IEEE 802.3 a v jejích rychlejších variantách IEEE 802.3ah jako GEPON a IEEE 802.3av jako 10GEPON. Pro přenos dat tato technologie využívá TDM multiplikaci.

Standard IEEE 802.3ah rozlišuje 2 typy sítí. Oba dva pracují na vlnové délce 1310 nm pro směr od ONU jednotky do OLT (upstream) a vlnové délce 1490 nm pro směr od OLT k ONU jednotkám (downstream) [4].

- **EPON typ 1**

Tento typ bývá označován jako 1000BASE-PX10. Pro přenos je použito jednovidové vlákno. Tato varianta umožňuje překlenout až 10 km vzdálenost při přenosové rychlosti 1,25 Gbit/s. Nevýhodou je, že tento typ umožňuje připojit pouze 16 koncových ONU jednotek a proto se s touto variantou v budoucnu již nepočítá [4].

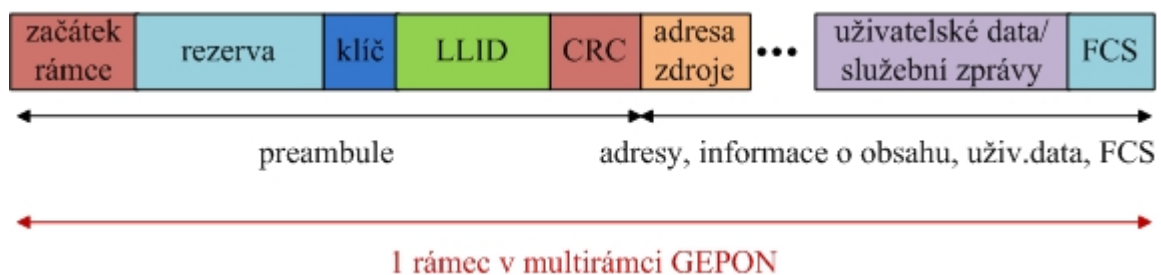
- **EPON typ 2**

EPON typu 2 je označován jako 1000BASE-PX20. Opět je použito jedno jednovidové vlákno pro přenos. Oproti prvnímu typu umožňuje překlenout až 20 km vzdálenost a taktéž je možno připojit až 32 koncových jednotek ONU. Přenosová rychlost je shodná se sítí typu 1 [4].

Vzhledem k tomu, že v dnešní době se již používá téměř výhradně síť EPON typu 2, označována taktéž jako GEPON síť, bude se tento text dále zabývat pouze specifikami této sítě.

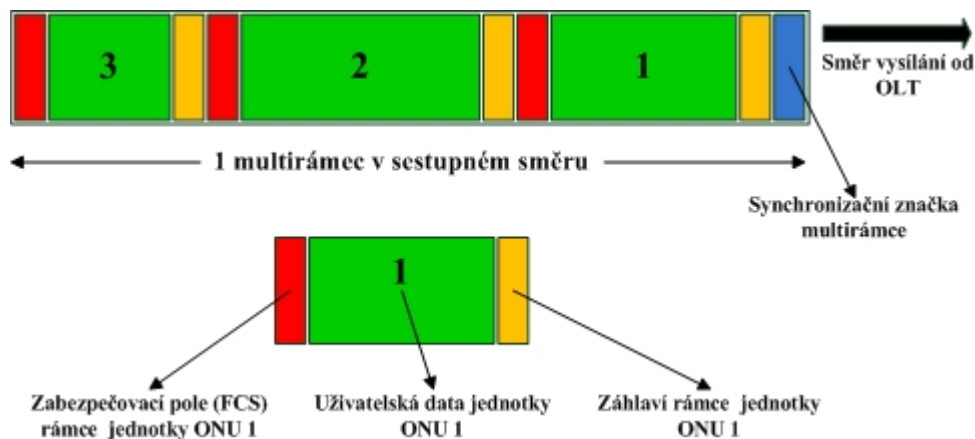
#### 3.1 Struktura multirámce GEPON

Přenos vlastních uživatelských dat probíhá pomocí standardních rámců protokolu Ethernet. Každý rámec obsahuje preambuli, zdrojovou a cílovou MAC adresu (fyzická adresa), informaci o typu a délce přenášeného obsahu, vlastní obsah (uživatelská data nebo služební zprávy) a pole zabezpečení pro indikaci chyb. V rámci GEPON technologie bylo pouze změněno pole obsahující preambuli, kde byl doplněn šifrovací klíč (velikost 1 byte), dále pak identifikátor LLID (Logical Link ID – 2 byty), pole zabezpečení CRC (1 byte) a zbylé 3 byty jsou prozatím rezervní. Schéma rozložení jednotlivých částí je na obrázku 3.1 [5].



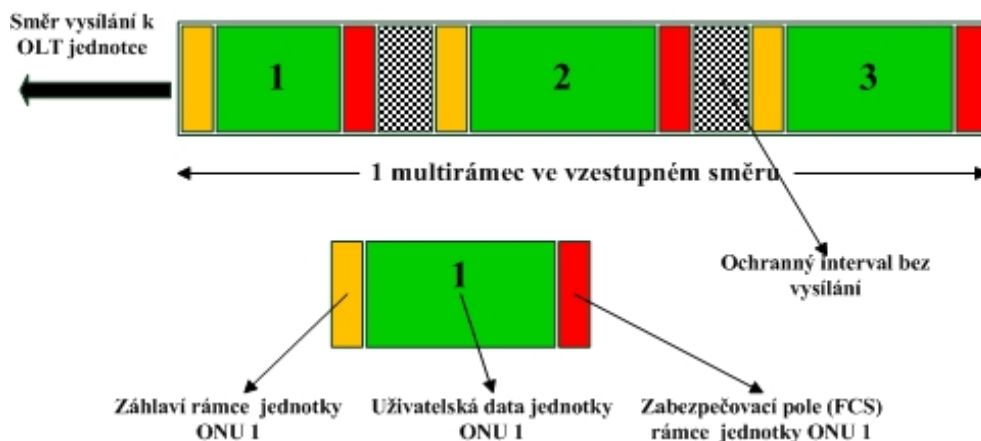
Obrázek 3.1: Struktura rámce v GEPON síti

V sestupném směru, tedy od poskytovatele k uživatelům, začíná OLT jednotka vysílat nejprve synchronizační značku multirámece. Poté následuje záhlaví rámce jednotky ONU 1. Následují samotná uživatelská data, po kterých je vysíláno zabezpečovací pole (FCS) rámce jednotky ONU 1. Následuje vysílání záhlaví rámce ONU jednotky 2 atd. Na obrázku 3.2 [5] je celý multirámeec znázorněn graficky [5].



Obrázek 3.2: Struktura multirámece v sestupném směru

Ve vzestupném směru, tedy od uživatele k poskytovateli multirámeec začíná vysláním záhlaví rámce ONU jednotky 1. Následují uživatelská data ONU 1 a zabezpečovací pole FCS. Po vyslání celého rámce ONU 1 následuje ochranný interval bez vysílání, aby nedocházelo ke kolizím. Poté začne vysílat jednotka ONU 2 a celý proces se opakuje. Schematické znázornění multirámece je zobrazeno na obrázku 3.3 [5].

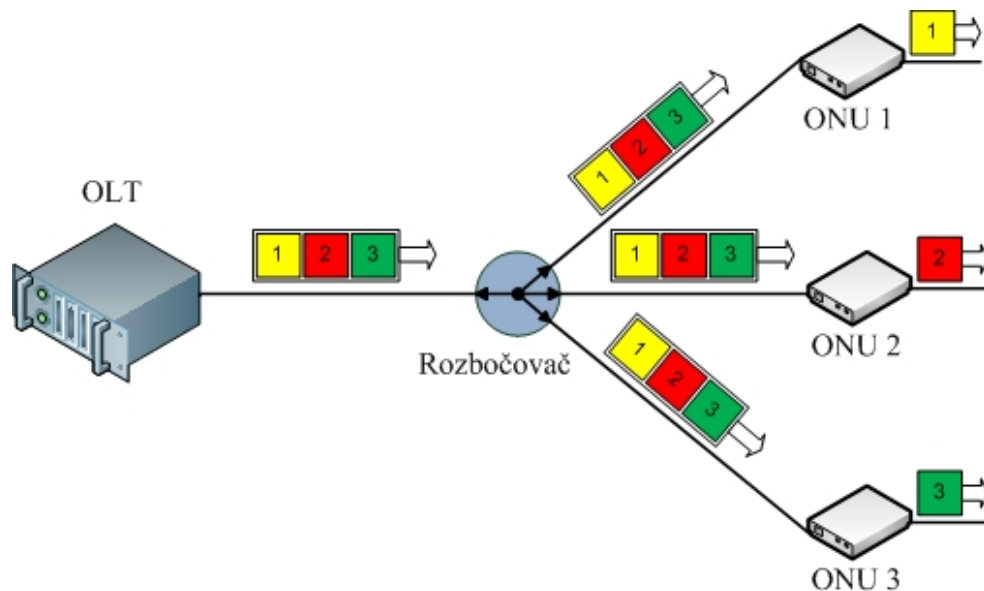


Obrázek 3.3: Struktura multirámece ve vzestupném směru



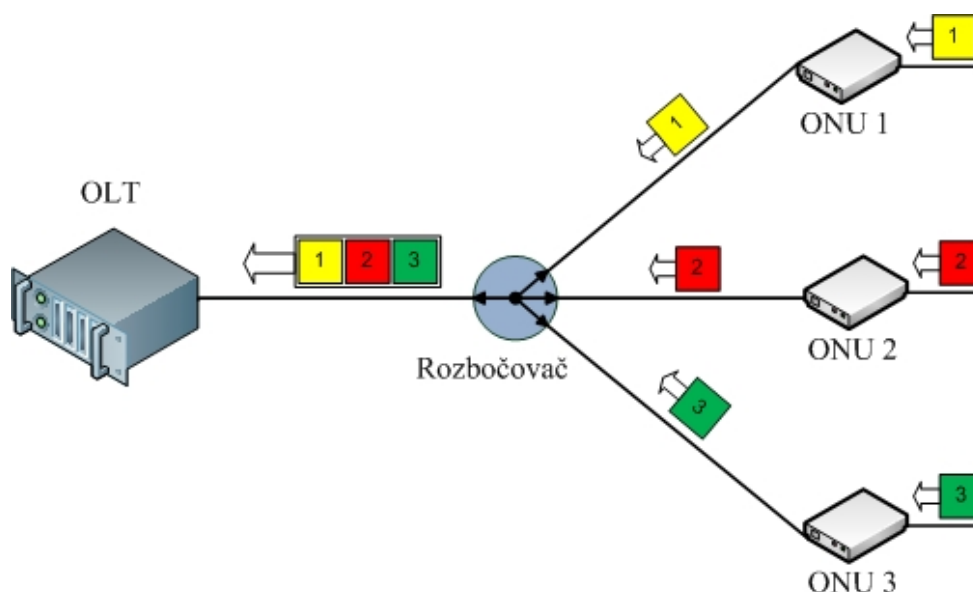
### 3.2 Princip přenosu v síti GEAPON

Ve směru od poskytovatele k uživateli vysílá OLT časový multirámeček, který obsahuje uživatelská data pro všechny ONU jednotky připojené k dané OLT. Pasivní rozbočovač pak rozešle celý multirámeček všem připojeným ONU jednotkám, kterých je typicky 8 až 32. V cílové ONU jednotce je pak vybrána na základě logického identifikátoru spojení (LLID) pouze ta část příslušející dané ONU jednotce. LLID získá každá ONU při registraci do sítě. Obrázek 3.4 [5] znázorňuje celý postup [1], [5].



Obrázek 3.4: Princip přenosu v sestupném směru

Ve směru od uživatelů k poskytovateli je postup vysílání rámců odlišný. Vzhledem k tomu, že může chtít vysílat více ONU jednotek najednou, což by způsobilo kolizi, je zapotřebí zavést pro každou ONU jednotku vyhrazený časový interval, kdy může vysílat. Jakmile rozbočovač přijme celý rámec od jednotky ONU 1, vloží za tento rámec ochranný interval, kdy není možné vysílat. Poté vyšle svůj rámec ONU 2 atd. Jakmile bude mít rozbočovač datové rámce od všech připojených ONU, sloučí je do multirámečku a odešle do OLT. Postup je znázorněn na obrázku 3.5 [1], [5].



Obrázek 3.5: Princip přenosu ve vzestupném směru

### 3.3 MPCP protokol

Multi-Point Control Protocol (MPCP) je podporující protokol pro usnadnění dynamického přidělování časových rámců jednotlivým ONU. Používá se ve směru od ONU jednotek k OLT. Snaží se definovat signalizační protokol mezi OLT a ONU jednotkami, ale ne jakýmkoliv způsobem. Definuje jakékoliv šířky pásma pro zajištění schémata. MPCP se skládá z 3 funkcí.

- **Proces hledání** (Discovery processing)

Tato funkce zajišťuje nalezení a registraci do sítě buď novým ONU jednotkám, nebo ONU, které jsou aktivovány z offline režimu. Kompenzuje dobu odezvy (RTT).

- **REPORT operace** (Report handling)

ONU jednotky generují tzv. REPORT zprávy, prostřednictvím, kterých předávají požadavky na šířku pásma OLT. OLT potřebují proces REPORT zpráv, aby mohli přiřadit požadovanou šířku pásma.

- **GATE operace** (Gate handling)

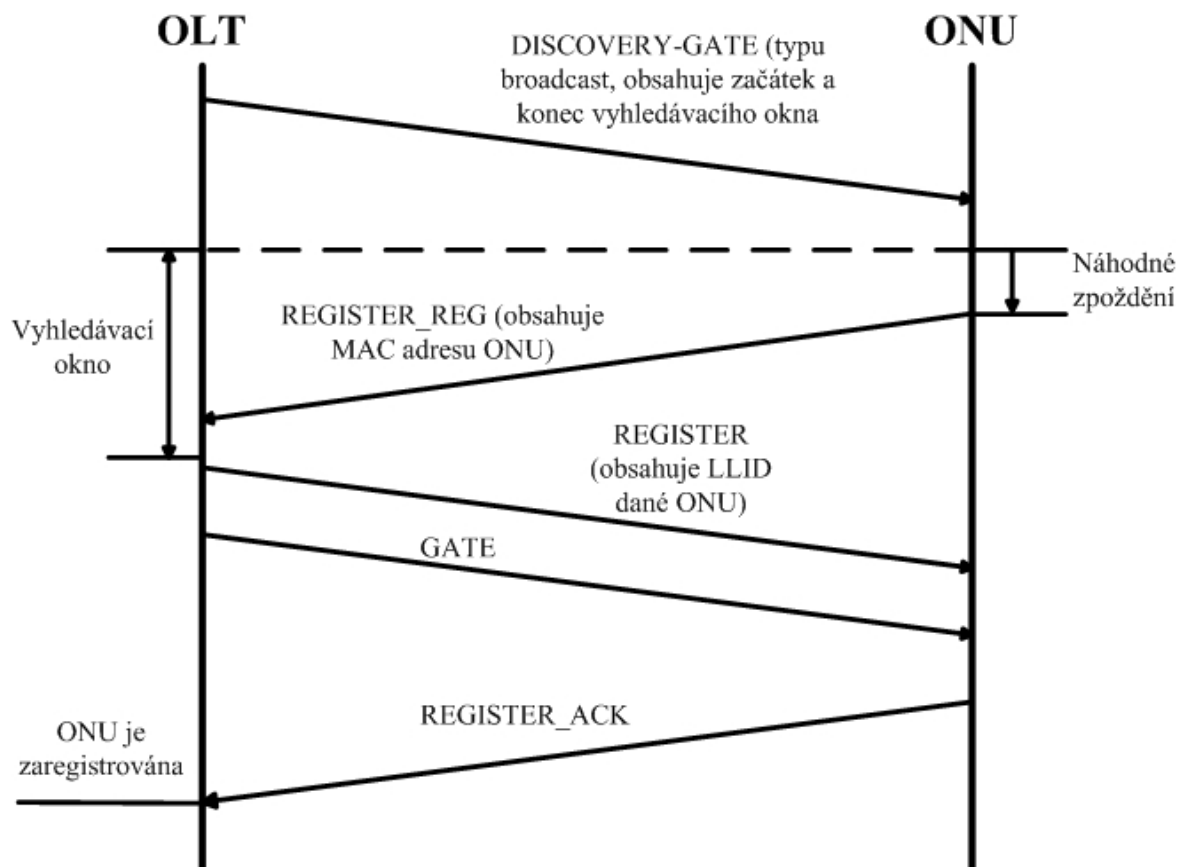
GATE zprávy jsou používány OLT, při přidělení časového rámce, na kterém může ONU jednotka vysílat. Časové rámce jsou vypočítány na OLT při přidělení šířky pásma jednotlivé OLT jednotce [5], [6], [7].

#### 3.3.1 Proces hledání

1. OLT pravidelně zpřístupňuje hledací časové okno, během kterého mají nové nebo offline ONU jednotky možnost zaregistrovat se sami u OLT. Vysílaná zpráva DISCOVERY-GATE je vysílána pro všechny ONU, obsahuje začátek a konec vyhledávacího okna.

2. Všechny offline jednotky ONU, které chtějí být zaregistrovány, vyčkají náhodně dlouhý čas v okně vyhledávání a následně přenášejí REGISTER\_REG zprávu. Tato zpráva obsahuje MAC adresu ONU jednotky. Náhodná délka čekání je požadována kvůli snížení pravděpodobnosti kolizí více REGISTER\_REG zpráv, vyslaných více jednotkami ONU najednou.
3. Jakmile OLT obdrží platnou REGISTER\_REG zprávu, zaregistruje si danou ONU jednotku a přidělí ji LLID. Poté OLT vyšle REGISTER zprávu, která obsahuje LLID dané nové ONU jednotky.
4. Nyní OLT vyšle, standardní GATE zprávu s uvedením časového rámce pro přenos dat.
5. Po obdržení GATE zprávy, odpoví ONU jednotka zprávou REGISTER\_ACK v přiděleném časovém rámci. Po obdržení této zprávy na OLT je celý proces registrace kompletní a může začít normální provoz [5], [6], [7].

Celý proces je znázorněn na obrázku 3.6 [7].



Obrázek 3.6: Registrace ONU jednotky

### 3.3.2 REPORT operace

REPORT zprávy jsou odesílány ONU jednotkami v jejich přiděleném časovém okně spolu s datovými rámci. Tato zpráva je generována v MAC vrstvě řízení klienta a je na ní vyraženo časové razítko v MAC řadiči.

Typicky REPORT zpráva obsahuje požadovanou velikost dalšího časového rámce na základě velikosti fronty na ONU. REPORT zprávy jsou generovány pravidelně, i když se neprovádí žádný požadavek na šířku pásma. Tímto se zabrání OLT, aby zrušila registraci dané ONU jednotce. Tedy pro správnou funkci celého mechanismu je potřeba, aby OLT přidělovala ONU jednotce přenosové okno pravidelně. Na OLT je REPORT zpráva zpracována a data jsou použita pro další kolo přiřazení šířky pásma [5], [6], [7].

### 3.3.3 GATE operace

Přenosové okno ONU jednotky je označeno ve zprávě GATE, kterou vysílá OLT. Zahájení přenosu a délka přenosu je přesně zadána. Po obdržení zprávy GATE jednotkou ONU s odpovídajícím LLID, si tato jednotka naprogramuje lokální registry na začátek přenosu a časovou délku přenosu.

ONU jednotka také ověří podle vlastních hodin, že doba doručení zprávy GATE je hodnota časového razítka obsaženého v předchozí zprávě. Jestliže rozdíl hodnot překročí předdefinovanou mez, bude ONU jednotka předpokládat ztrátu své synchronizace a sama se přepne do offline režimu. Pokusí se znovu zaregistrovat pomocí dalšího procesu hledání [5], [6], [7].

### 3.3.4 Synchronizace hodin

Správná funkce MPCP protokolu závisí na synchronizaci hodin mezi OLT a ONU, která je kompenzována dobou odezvy RTT. U RTT se očekává, že může být rozdílná pro každou ONU jednotku tak jak jsou rozmístěny v různých vzdálenostech od OLT. Hodinová synchronizace pomocí RTT je důležitá, protože OLT nemusí udržovat přehled o různých RTT, které mají různé ONU jednotky, když vydává časové rámce v GATE zprávě.

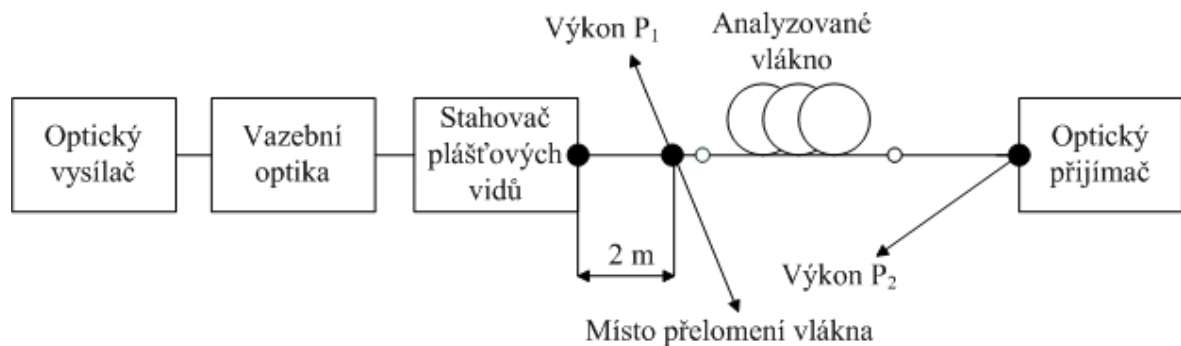
Takto je dosaženo synchronizace hodin. Kdykoliv ONU obdrží zprávu MPCP nastaví svůj lokální čas podle časového razítka z této zprávy. Když MPCP zprávu obdrží OLT, vypočte RTT jako rozdíl mezi svým časem a časovým razítkem uvedeným ve zprávě. Jestliže rozdíl bude významný OLT, vyhodnotí ztrátu synchronizace s danou ONU a této jednotce ONU pošle zprávu DEREGISTER, která tuto jednotku odregistrované. ONU se bude muset pokusit znovu registrovat pomocí procesu hledání [5], [6], [7].

## 4 Metody měření útlumu

Jedním ze základních parametrů každé optické sítě je bezesporu velikost útlumu dané optické trasy. Návrh tzv. útlumového plánu je nedílnou součástí návrhu celé optické sítě. V následujícím textu budou teoreticky rozebrány metody měření útlumu a jejich vliv na celou síť. Základní rozdělení metod je na přímé a nepřímé metody, a dále pak na destruktivní a nedestruktivní metody.

### 4.1 Metoda dvou délek

Metoda dvou délek patří do kategorie přímých metod měření útlumu a zároveň jako jediná je destruktivní. Vzhledem k tomu, že tato metoda vychází přímo ze vzorce pro výpočet útlumu, je ze všech známých metod nejpřesnější a tudíž se v mnoha případech používá jako metoda referenční. Tato metoda se používá pro měření optických tras bez provozu a to na vlnových délkách 1310/1383/1490/1550/1625 nm. Odchylka této metody se reálně pohybuje kolem hodnoty útlumu maximálně 0,1 dB. Přesnost této metody je ovšem dána velkou časovou náročností měření.



Obrázek 4.1: Měření útlumu metodou dvou délek

Na obrázku 4.1 [10] je zobrazeno schéma pro měření metodou dvou délek. V prvním kroku se po navázání optického výkonu do vlákna a průchodu vláknem o délce  $l$ , změní výstupní výkon  $P_2$  na detektoru. Druhým krokem je odlomení vlákna ve vzdálenosti cca 2 metry od zdroje záření a po úpravě se změní vstupní výkon  $P_1$ . Toto je možné provést, jelikož útlum krátkého úseku vlákna je téměř zanedbatelný. Při celém měření by měli být zachovány stejné podmínky. Výsledný výkon se následně vypočte pomocí vztahu 4.1 a 4.2.

$$A = 10 * \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \quad [\text{dB}; \text{W}; \text{W}] \quad (4.1)$$

$$a = \frac{A}{l} \quad [\text{dB} * \text{km}^{-1}; \text{dB}; \text{km}] \quad (4.2)$$

kde:  $A$  = celkový útlum,  $P_1$  = vstupní výkon,  $P_2$  = výstupní výkon,  $a$  = měrný útlum vlákna,  $l$  = délka vlákna.

Jako zdroje optického signálu se nejčastěji používají polovodičové lasery s úzkou spektrální čarou, které pracují na vlnových délkách 1310 nm a 1550 nm. Přičemž střední vlnová

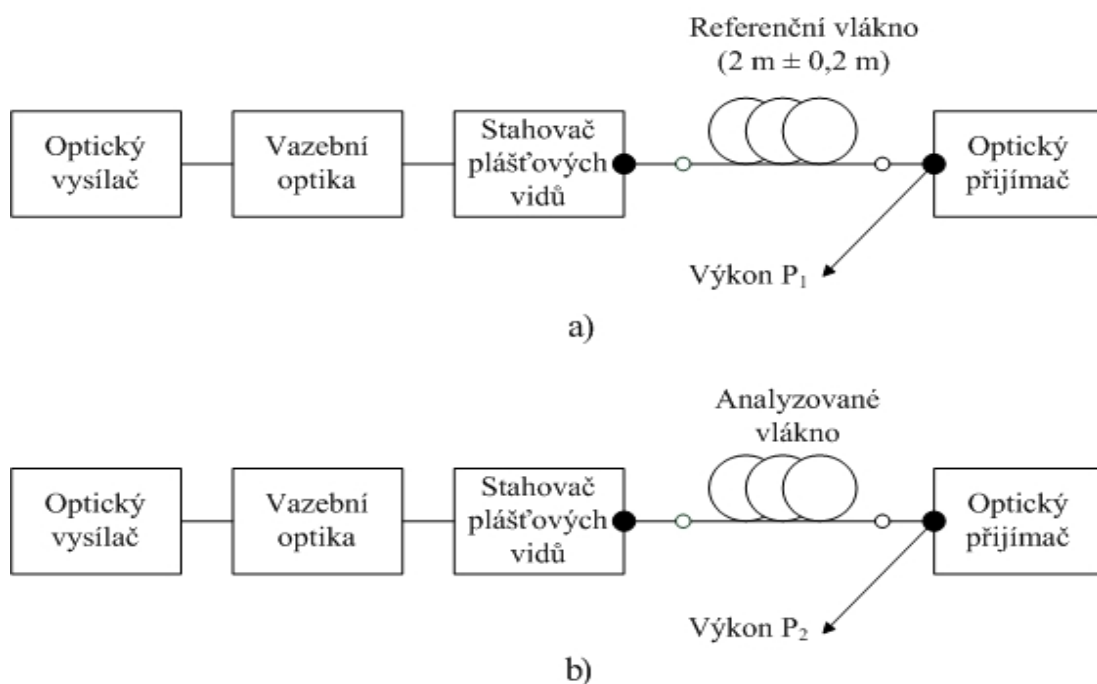
délka zdroje záření by se neměla lišit od střední vlnové délky vlákna o více jak 10 nm. Buzení neboli navázání světla do vlákna zajišťuje krátký optický kabel – pigtail. Do spoje mezi budící vlákno a měřené vlákno je potřeba použít imerzní gel, aby nedocházelo ke vzniku odrazů.

Pro odstranění nežádoucích vidů je použit tzv. vidový filtr. Je tvořen předřadným vláknem smotaným do spirály, tímto se docílí posunutí mezní vlnové délky, pod vlnovou délkou, při které provádíme měření. Tento filtr není třeba použít při měření na vlnových délkách 1310 nm a 1550 nm. Velkou pozornost je ovšem potřeba věnovat plášťovým vidům. Plášťové vidy nejvíce ovlivňují měření referenční hodnoty výkonu na 2-metrovém měřeném úseku, a tím výrazně ovlivňují výsledek měření útlumu celého vlákna. Pro odstranění plášťových vidů se používá stahovač plášťových vidů. Ten je dnes zajišťován primární ochranou vlákna, která je tvořena materiálem s vyšším indexem lomu, než je index lomu pláště vlákna. Tím dojde k vyvázání nežádoucích plášťových vidů ven z vlákna.

Měření pomocí metody dvou délek nám umožňuje měřit velice přesně útlum celé trasy, ovšem nelze již měřit útlum v konkrétních místech trasy. Další nevýhodou je lámání vlákna, které tuto metodu vylučuje z nasazení do praxe. Tato metoda je použita hlavně v laboratořích vědeckých pracovníků nebo firem vyrábějících optická vlákna [8], [9], [10].

## 4.2 Metoda vložených ztrát

Metoda vložených ztrát je rovněž přímou metodou měření útlumu. Od předchozí se liší v tom, že je nedestruktivní, ale zároveň méně přesná. Princip metody je podobný metodě dvou délek, avšak postup měření je odlišný.



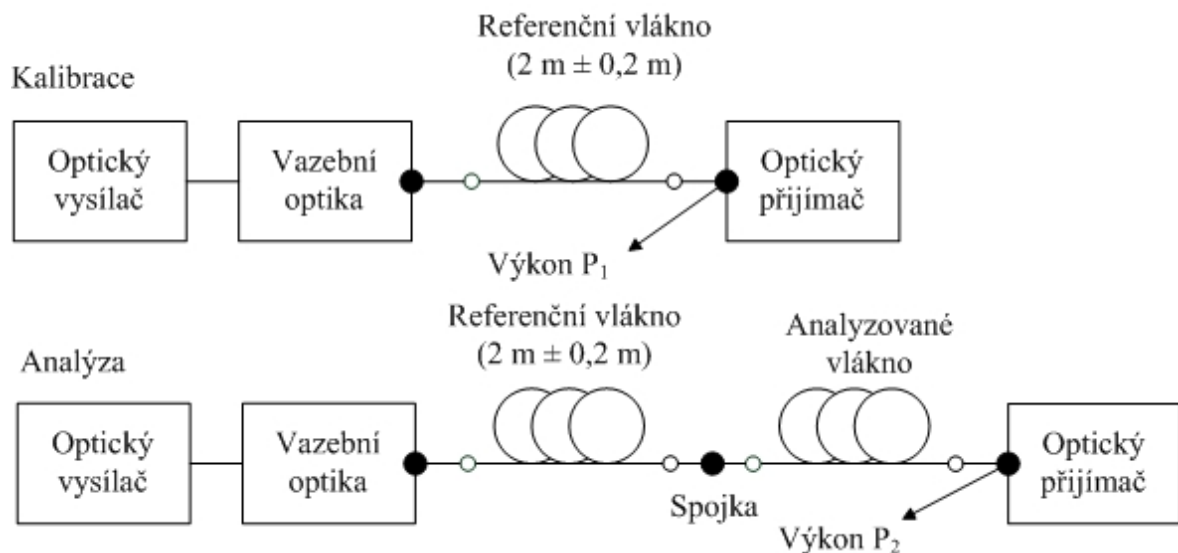
Obrázek 4.2: Princip měření metodou vložených ztrát

Na obrázku 4.2 a) [8] je zobrazen postup kalibrace měřicí soustavy. Zprvč zmĚříme vstupní výkon  $P_1$ , který získáme propojením zdroje zářeni a detektoru pomocí 2-metrového vlákná. PotĚ dle obrázku 4.2 b) [8] nahradíme krátké vláknó mĚřenou trasou a odečteme hodnotu výstupního výkonu  $P_2$ . Podle vztahů 4.1 a 4.2 dopočetme hodnotu útlumu trasy, popřípadĚ koeficient mĚrného útlumu vlákná. Při celĚm mĚřeni by mĚli opĚt být zajišřeny konstantní vnĚjši podmínky.

Vzhledem k tomu, že tato metoda předpokládá, že ztráty způsobené připojením zdroje a detektoru jsou totožné, což není možné dosáhnout, je zapotřebí alespoň použít referenční vláknó, které má co nejvíce společné parametry jako mĚřené vláknó. Tato metoda se používá pro mĚření optických kabelů, spojovacích modulů a dalších optických součástek. V praxi je použita pro mĚření mnohovidových vláken, které je potřeba zmĚřit z obou konců vlákná, a taktĚž k mĚření útlumu pasivních součástek. Metoda vložných ztrát obsahuje dvě modifikace, a to dvoustupňovou a čtyřstupňovou [8], [9], [10].

#### 4.2.1 Dvoustupňová modifikace

V praxi se tato modifikace používá hlavnĚ pro mĚření mnohovidových optických vláken. Přesnost vyplývá z čistoty a úpravy čel konců optických vláken, tato nepřesnost je v řádu desetin dB. Při mĚření mnohovidových vláken je nutné vláknó promĚřit z obou konců a výsledné hodnoty následně zpřůmĚřovat, tímto dojde k eliminaci rozdílného šířeni optického svazku. Nákras této varianty je na obrázku 4.3 [8].



Obrázek 4.3: Dvoustupňová modifikace metody vložných ztrát

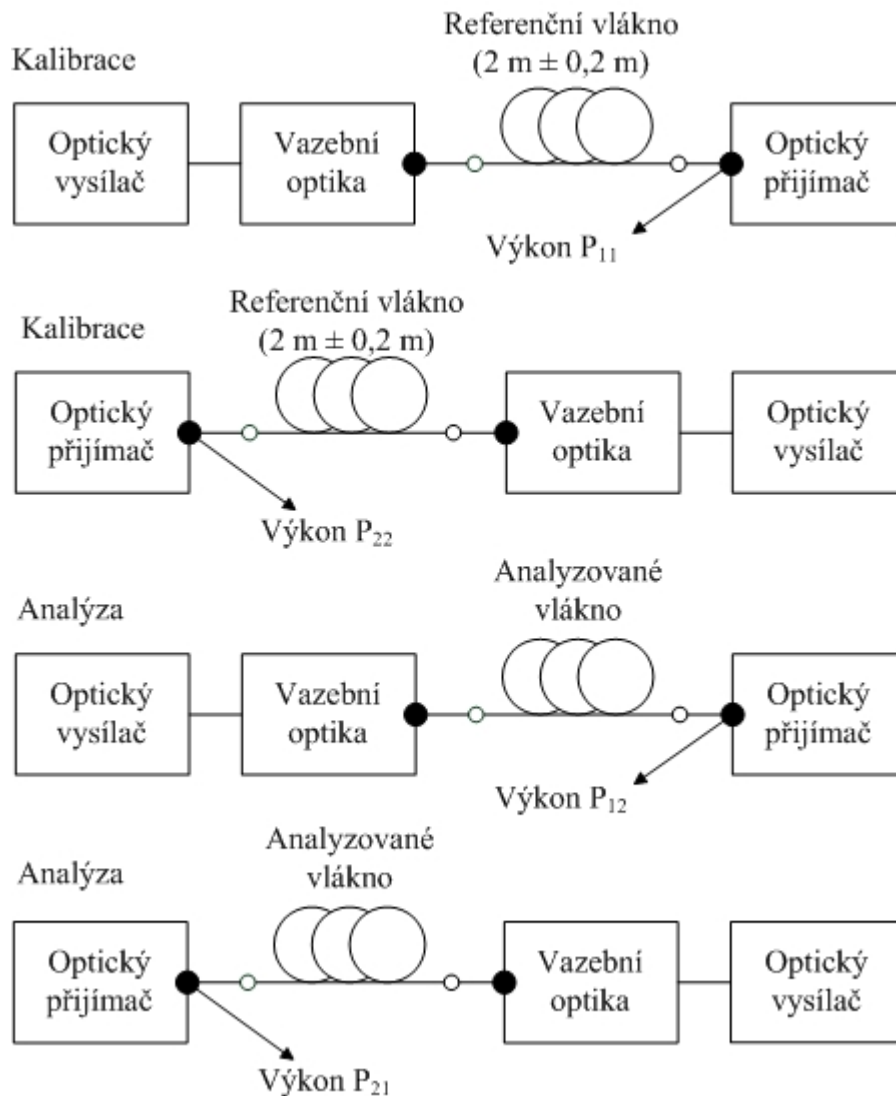
#### 4.2.2 Čtyřstupňová modifikace

Obrázek 4.4 [8] zobrazuje modifikaci čtyřstupňovou, kde je pro zvýšení přesnosti použito dvou páru optických vysílačů a přijímačů. První pár je použit pro mĚření krátkého úseku vlákná z obou konců a výsledkem jsou vstupní výkony  $P_{11}$  a  $P_{22}$ . Druhá souprava je použita pro zmĚření

samotného měřeného vlákna, taktéž z obou konců a výslednými hodnotami v tomto případě jsou výstupní výkony  $P_{12}$  a  $P_{21}$ . Celkový výsledný útlum se pak spočítá dle vztahu 4.3 [8].

$$A = 10 * \log_{10} \left( \sqrt{\frac{P_{12} * P_{21}}{P_{11} * P_{22}}} \right) \quad [\text{dB}; W; W; W; W] \quad (4.3)$$

kde:  $A$  = celkový útlum,  $P_{11}$  = vstupní výkon referenčního vlákna,  $P_{22}$  = vstupní výkon referenčního vlákna,  $P_{12}$  = výstupní výkon měřeného vlákna,  $P_{21}$  = výstupní výkon měřeného vlákna.



Obrázek 4.4: Čtyřstupňová modifikace metody vložných ztrát

### 4.3 Varianty metody vložných ztrát

Norma ISO 14763-3 doporučuje pro měření metodou vložných ztrát tři nové referenční metody. Pro měření vybudované trasy, tedy mezi patchpanely, se používá metoda 1a, kde reference se měří pomocí jednoho patchcordu. Měření na kompletní přenosové trase (patchcord - patchcord),

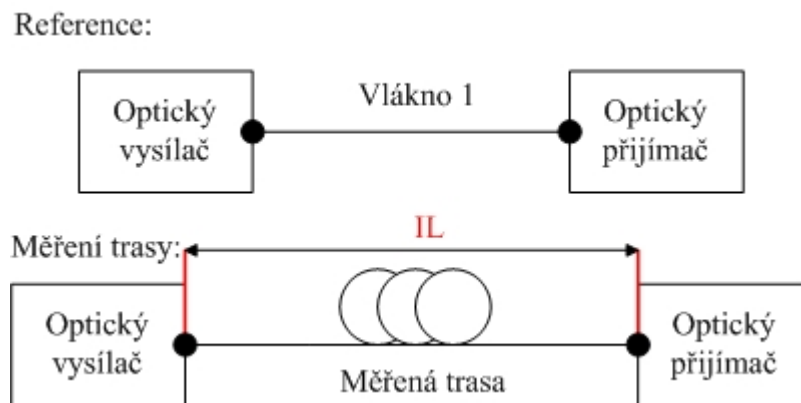


je realizováno pomocí metody 1c, která při referenčním měření používá tři patchcordů. Poslední, avšak nedoporučovanou metodou je 1b, která používá dvou patchcordů pro změření reference.

Jak lze vidět z výše uvedeného, tak se jednotlivé metody od sebe liší použitím rozdílného počtu referenčních vláken. Délka těchto vláken je okolo 2 metrů. Jelikož tyto varianty vycházejí z metody vložných ztrát, je celé měření dvoustupňové, postup měření je popsán níže. Výsledný útlum se dopočítá dle vztahu 4.1 [8].

#### 4.3.1 Metoda 1a

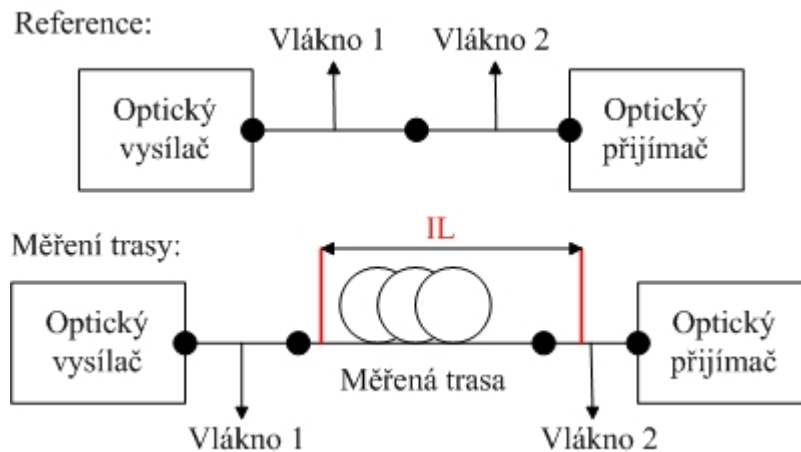
Tato metoda je dnes nejpoužívanější. Princip (obrázek 4.5 [8]) spočívá v tom, že po kalibrování přístrojů se referenční vlákno odpojí, kde místo něj se zapojí měřená trasa. Výsledný útlum je pak dán útlumem celé trasy (útlumy spojek, kabelů, konektorů) [8].



Obrázek 4.5: Varianta 1a metody vložných ztrát

#### 4.3.2 Metoda 1b

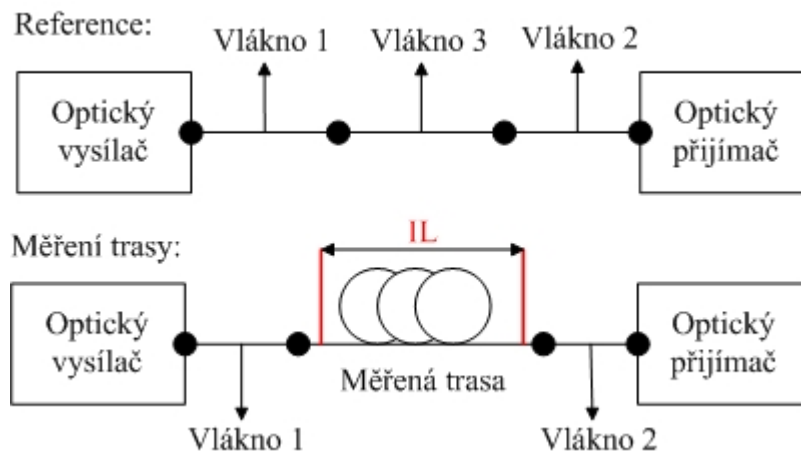
V této metodě je použito dvou referenčních vláken. Po kalibraci se tyto vlákna rozpojí a mezi ně připojí měřená trasa. V praxi se tato metoda nepoužívá, kvůli chybě měření. Ta je dána tím, že referenční vlákna byla spojena jedním konektorem, ovšem po připojení měřené trasy je potřeba použít konektory dva. Tedy výsledný útlum obsahuje jak útlum trasy, tak i útlum druhého konektoru a vzniká tedy chyba měření. Blokové schéma této metody je na obrázku 4.6 [8].



Obrázek 4.6: Varianta 1b metody vložných ztrát

#### 4.3.3 Metoda 1c

Poslední variantou je metoda, která využívá tři referenčních vláken. Využívá se pro měření kompletních přenosových tras. Principem (obrázek 4.7 [8]) je po kalibrování pomocí referenčních vláken, odpojit prostřední vlákno a nahradit jej měřenou trasou. Výsledný útlum bude tedy dán pouze měřenou trasou [8].



Obrázek 4.7: Varianta 1c metody vložných ztrát

#### 4.4 Metoda zpětného rozptylu

Metoda zpětného rozptylu je metodou nepřímou a nedestruktivní. Často se tato metoda označuje jako OTDR (Optical time-domain reflectometer). Využívá Rayleighova rozptylu a Fresnelových odrazů, kdy při průchodu světla vláknem dochází pomocí těchto odrazů k malému odrazu optického výkonu zpět k čelu vlákna. U Rayleighova rozptylu se část tohoto rozptylu šíří vláknem zpět, a můžeme tedy sledovat ztrátu energie způsobenou útlumem vlákna. Fresnelovy odrazy vznikají při dopadu světla na rozhraní dvou prostředí s různým indexem lomu, tím nám určují polohu útlumové události, popřípadě útlum konektorů, svarů, porušení a přerušení vlákna.

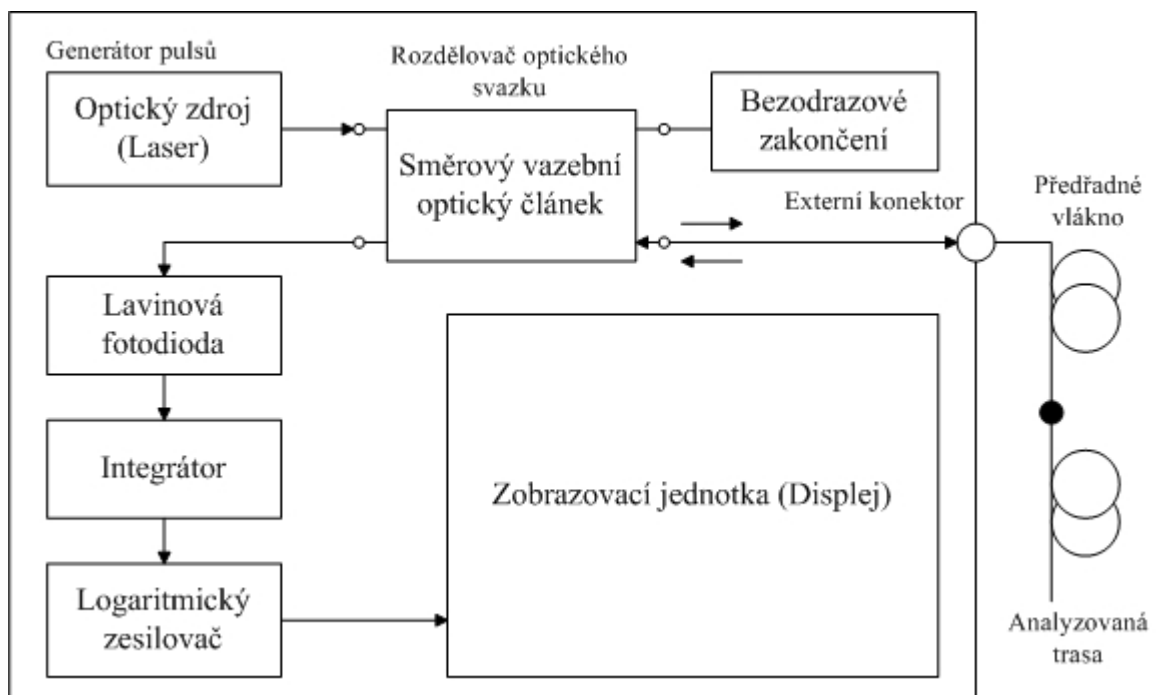
Do vlákna se vysílají krátké optické impulsy a vyhodnocuje se časová závislost výkonu světla odraženého zpět.

Pomocí OTDR je taktéž možné měřit podélnou homogenitu útlumu. Tato se určuje jako odchylka útlumu měřeného úseku vlákna s průměrným útlumem celého vlákna, u kvalitních vláken dosahuje hodnoty 0,05 dB/km.

I přes nižší přesnost měření celkového útlumu vlákna je metoda OTDR nedocenitelná z důvodu měření útlumu v konkrétním místě trasy s velmi velkou přesností. Oproti předchozím metodám má tato metoda řadu výhod, které se využívají zejména při měření v terénu.

Pro větší přesnost měření se doporučuje měřit vlákno z obou konců [8], [9], [10].

#### 4.4.1 Princip funkce OTDR



Obrázek 4.8: Blokové schéma uspořádání OTDR

Na obrázku 4.8 [8] je blokové schéma OTDR. Jako generátor optických pulsů je použit tzv. injekční laser generující krátké impulsy s frekvencí několika kHz. Potřebná šířka měřících impulsů se zvyšuje s délkou měřeného vlákna. Dále pak vygenerovaný impuls je vyslán pomocí směrového vazebního optického článku BTFSC, popřípadě vazební optikou doplněnou o poloodrazné zrcátko či optickým děličem do analyzovaného vlákna. Zpět odražené nebo rozptýlené záření vracející se z měřeného vlákna prochází opět optickým děličem a je detekováno např. lavinovou fotodiódou APD. Následně je detekovaný elektrický signál veden do analogového nebo digitálního integrátoru a to z důvodu, že vracející se signál má velice nízkou úroveň (-45 až -60 dB<sub>r</sub>) a navíc je zatížen šumem. Proto je nutné použít průměrování. Upravený signál z integrátoru je zaveden do logaritmického zesilovače nebo je logaritmování zprůměrovaného

signálu pro získání hodnot útlumu v dB provedeno digitálně. Výsledné naměřené hodnoty jsou pak zobrazeny na zobrazovací jednotce (displeji) [8], [10].

Předřadné vlákno se u OTDR využívá, jednak protože eliminuje vstupní mrtvou zónu OTDR, a tím pádem můžeme analyzované vlákno měřit již od prvních centimetrů. A druhé využití je, že neopotřebováváme konektory OTDR, jelikož opakovaně připojujeme analyzované vlákno na předřadné vlákno nikoliv přímo na OTDR [9].

### 4.4.2 Klíčové parametry OTDR

Základní měřicí parametry každého OTDR metru jsou [8], [9]:

- Vstupní mrtvá zóna – tato udává nejkratší vzdálenost od přístroje, na které lze spolehlivě měřit, je způsobena Fresnelovým odrazem při navázání světla do vlákna. Odstraňuje se pomocí předřadného vlákna.
- Identifikační mrtvá zóna – udává nejkratší vzdálenost dvou poruch, tak aby je mohl přístroj identifikovat jako dvě poruchy. Jedná se o vzdálenost od začátku odrazu do místa, kde signál poklesne o 1,5 dB od maxima odrazu.
- Útlumová mrtvá zóna – udává vzdálenost za Fresnelovým odrazem, od které je již možné měřit útlum. Ten je možné měřit až po poklesu Fresnelova odrazu na hodnotu 0,5 dB.
- Dynamický rozsah – udává maximální rozdíl mezi navázaným a měřitelným výkonem. Definuje se pro nejdelší puls. Využitelný rozsah je dynamický rozsah zmenšený o úroveň šumu.

Tabulka 4.1 [8] ukazuje základní parametry OTDR.

*Tabulka 4.1: Parametry OTDR*

Šířka pulzu [ns]	Délka pulzu [s]	Útlumová mrtvá zóna [m]	Dynamický rozsah [dB]	Doporučená délka předřadného vlákna [m]
10	1	30	9,7	100
30	3	50	12,1	200
100	10	70	21,0	200
275	28	100	24,1	500
1 000	100	200	27,3	500
2 500	250	400	30,0	1 000
10 000	1 000	1 200	40,0	2 000
20 000	2 000	2 300	42,9	3 000

## 5 Metody měření chybovosti

Existují dva základní standardy pro měření chybovosti na PON sítích starší RFC 2544, a novější ITU-T Y.1564 neboli EtherSAM.

### 5.1 Metoda RFC 2544

Tato metoda se nazývá Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices, neboli česky Metodika testování pro propojení mezi síťovými prvky. Vznikla v roce 1999 jako náhrada za starší metody testování integrity sítí. Pro testování sítě založené na Ethernetu používá následující délky rámců a to 64 B, 128 B, 256 B, 512 B, 1024 B, 1280 B, 1518 B. Pro každý z těchto rámců metoda testuje tyto parametry [11]:

- Throughput (propustost),
- Back-to-Back (zatížitelnost),
- Frame Loss (ztrátovost),
- Latency (zpoždění).

#### 5.1.1 Test propustnosti

Tento test zjišťuje maximální přenosovou rychlost v dané síti. Testování se provádí tak, že je vyslán určitý počet rámců a sleduje se, kolik rámců bylo zpracováno. Jestliže se počet vyslaných rámců shoduje s počtem zpracovaných rámců, zvýší se přenosová rychlost a test se opakuje. V opačném případě se přenosová rychlost sníží a opět se test opakuje do doby, než je počet rámců roven. Výsledná hodnota se udává v Mbit/s. Výsledek testu by taktéž měl být prezentován jako graf, kde na ose x jsou velikosti rámců a na ose y výsledné hodnoty přenosové rychlosti [11].

#### 5.1.2 Test zatížitelnosti

Test zatížitelnosti vysílá rámce s pevnou délkou za sebou. Jestliže se počet zpracovaných rámců ve shluku shoduje s počtem vyslaných rámců, zvýšíme počet rámců ve shluku a test opakujeme. V případě nerovnosti mezi těmito rámci počet rámců snížíme a opět test opakujeme. Test každé délky rámce by měl trvat 2 sekundy a opakovat se nejméně 50 krát, aby bylo možné vytvořit aritmetický průměr hodnot. Výsledkem testu je tedy velikost rámců v nejdelším shluku aniž by došlo ke ztrátě rámce [11].

#### 5.1.3 Test ztrátovosti

Ztrátovost určuje procentuální poměr mezi přijatými a odeslanými rámci. Nejprve rámce vyšleme s maximální teoretickou rychlostí, dojde-li ke ztrátě rámců, postupně snižujeme rychlost po krocích 10 %. Test je ukončen, jakmile je ve dvou po sobě jdoucích krocích dosažena nulová ztrátovost [11].

### 5.1.4 Test zpoždění

Zpoždění je doba od vyslání prvního bitu rámce po dobu přijetí posledního bitu stejného rámce v zařízení. Pro každou definovanou velikost rámce by se měl test provádět v délce 120 sekund, kdy po 60 sekundách se vloží do toku rámců testovací rámec. Celý test se opakuje minimálně 20 krát, a výsledek je udáván v milisekundách jako aritmetický průměr těchto hodnot [11].

## 5.2 Metoda ITU-T Y.1564 EtherSAM

EtherSAM je od roku 2010 nový standard pro testování služeb na bázi Ethernetu. Pro všechny služby se testují parametry jako je propustnost, zpoždění, ztrátovost a variabilita zpoždění neboli jitter. Variabilita zpoždění znamená, že každý přenášený paket má jiné přenosové zpoždění. EtherSAM umožňuje testovat všechny tyto parametry najednou v jednom kroku. Testování se provádí ve dvou fázích, první fáze je testování konfigurace služeb a druhá fáze je testování výkonnosti služeb. Základními pojmy jsou [12], [13], [14]:

- **SLA** (Service Level Agreement) – tento parametr je vlastně smlouva mezi zákazníkem a dodavatelem o garantované kvalitě všech parametrů služeb. Hodnoty SLA se mohou lišit pro konkrétní službu i parametr.
- **CIR** (Committed Information Rate) – maximální přenosová rychlost služeb, kde jsou garantovány všechny parametry služeb např. zpoždění. Parametry jsou obvykle definovány pomocí SLA.
- **EIR** (Excess Information Rate) – maximální přenosová rychlost služeb, kde již nejsou garantovány všechny parametry dohodnuté v SLA. Nedochozí zde ke ztrátám paketů. Tento provoz je nad hranicí CIR.
- **OR** (Overshoot Rate) – hranice, při níž jsou již všechny pakety zahazovány, jedná se o provoz nad pásmem EIR.
- **KPI** (Key Performance Indicators) – jsou konkrétní provozní charakteristiky pro jednotlivé typy provozu, které určují minimální výkon konkrétního provozního profilu.

### 5.2.1 Test konfigurace služeb

Test konfigurace služeb probíhá pro každou službu zvlášť. Je založen na ramp testu, kdy jsou sekvenčně generovány 3 fáze velikosti datového toku a to fáze minimálního datového toku až CIR, druhá fáze je mezi CIR a EIR a třetí fáze je v pásmu nad EIR. V každé fázi se vyhodnocují všechny SLA parametry. Výsledek je vhodnost testované sítě pro danou službu a dále pak jestli je vhodná konfigurace CIR a EIR dané služby. Délka testu je přibližně 1 minutu pro každou službu [12], [13], [14].

### 5.2.2 Test výkonnosti služeb

V tomto testu jsou všechny služby generovány najednou při CIR rychlosti do sítě. V každém okamžiku jsou měřeny všechny SLA parametry pro jednotlivé služby. Výsledek testu je verdikt vyhovuje/nevyhovuje. Délka testu je proměnná od 30 s až do několika dnů [12], [13], [14].

## 6 Měřicí pracoviště

V této části jsou rozebrány základní vlastnosti a jejich konfigurace popřípadě nastavení komponent PON sítě a všech měřicích přístrojů. V další části kapitoly jsou popsány vytvořené topologie a jejich konkrétní nastavení pro měření.

### 6.1 OLT jednotka

Základním prvkem celého měření je OLT MiniMAP 9102. Tato jednotka obsahuje celkem čtyři sloty, tři jsou určeny pro instalaci účastnických modulů a čtvrtý je pro správu této jednotky. Modul GEAPON – EPON2 (TN-118-B) je stěžejní pro tuto práci, proto jsou zde uvedeny základní parametry tohoto modulu. Hlavní částí je SFP modul s touto OLT optickou specifikací [15]:

- Fiberxon SFP FTM-9712S-SL20
- Kompatibilita s IEEE 802.3ah 1000BASE-PX20-D
- Provozní podmínky 0 až 70 °C
- Optický výkon (1480 až 1500 nm): min TX výkon = 2 dBm (end of Life), max TX výkon = 7 dBm
- citlivost fotodetektoru (1310 nm): max RX citlivost = -30 dBm, min RX = - 10 dBm, min RX zničení = 0 dBm

Na této kartě je port 2.0, pomocí něhož probíhá optická komunikace. V modulu pro správu jednotky se nachází metalický CONSOLE port, pomocí něhož probíhá konfigurace OLT jednotky. Taktéž je zde port 4.0, na který se připojuje pomocí metalického kabelu přístroj EXFO AXS 200/850, který slouží jako Loop Back jednotka.

### 6.2 ONU jednotka

Jednotkou ONU v laboratoři je Mediakonvektor AT-ON1000. Tato jednotka může zpracovávat propustnost až 1 Gbit/s v obou směrech. Její úkol je konverze optických signálů na elektrické a naopak [15].

### 6.3 Pasivní děliče

Jsou to optické komponenty umístěné v racku v laboratoři. Pomocí těchto děličů jsou zapojeny různé topologie v této práci. Jsou použity děliče s dělicími poměry 1:32, 1:7, 1:4, 1:3 a 1:2. Všechny děliče jsou typu SC s rovným zakončením PC (modré).

### 6.4 Simulátor vedení

Tato optická komponenta má za úkol pomocí vložného útlumu simulovat délku trasy. Pro přepočítání útlumu na délku trasy je použito vlákno ITU-T G. 652 D s měrným útlumem 0,28 dB/km. Vnitřní útlum simulátoru je 0,5 dB, tento útlum je v práci pro přepočítání na délku trasy zanedbáván.

## 6.5 Optická trasa

Tato trasa je vlastně spojení racku s měřicím pracovištěm a ONU jednotkou.

## 6.6 Měřicí přístroj EXFO ASX 200/850

V této práci tento přístroj slouží jako Loop Back jednotka. Ovšem má i další funkce jako například obousměrné testování pomocí metody RFC 2544, monitorování provozu, BER test, ping a tracerout. Nejdůležitější funkce je Smart Loop, pomocí které tento přístroj slouží jako zmiňovaná Loop Back jednotka.

## 6.7 Měřicí přístroj EXFO FTB-1/860 NetBlazer

Tento přístroj obsahuje mnoho testovacích aplikací. Pro Ethernetové služby to jsou například RFC 2544, EtherSAM, popřípadě BER test. V této práci jsou použity první dvě zmiňované funkce.

## 6.8 Konfigurace OLT

Následná konfigurace OLT jednotky je stejná pro všechny topologie, proto je uvedena pouze jednou.

Pomocí konsolového kabelu připojíme konfigurační PC k OLT jednotce. Spustíme program Putty a nastavíme bitovou rychlost na 9600 bps, datové bity na hodnotu 8, paritu a řízení na žádné a nakonec stop bit na hodnotu 1. Nyní se otevře dialogové okno a je nutno zadat přihlašovací údaje:

```
NAME : OFFICER  
PASSWORD: OFFICER
```

Nyní je potřeba nastavit IP adresu modulu rozhraní EPON pomocí příkazu:

```
SET INTERFACE=2.0 EPON IPADDRESS=192.168.2.1
```

Poslední konfigurací je vytvoření a přiřazení ONU jednotky a to pomocí příkazu:

```
CREATE ONU=ONU2 ONUID=2 INTERFACE=2.0 MAC=<MAC adresa jednotky>
```

Kontrolu správného přiřazení a taktéž kontrolu správné funkce ONU jednotky zjistíme příkazem:

```
SHOW ONU 2.0
```

Položka *state*, musí být ve stavu **up-up** [15].

## 6.9 Nastavení měřicího přístroje EXFO ASX 200/850

Po zapnutí přístroje přejdeme v hlavním menu na položku **SETUP**. V záložce **INTERFACE** nastavíme pomocí klávesy **F1** následující parametry:



- Transceiver mode: Electrical
- Auto-Negotiation: Enable
- Speed: 100 Mbps
- Duplex: Full
- Flow control: None

Nyní klávesou **F2** nastavíme parametry sítě a to:

- DHCP: Disabled
- IP Address: 192.168.0.2
- Subnet Mask: 255.255.255.0
- Default Gateway: Disabled

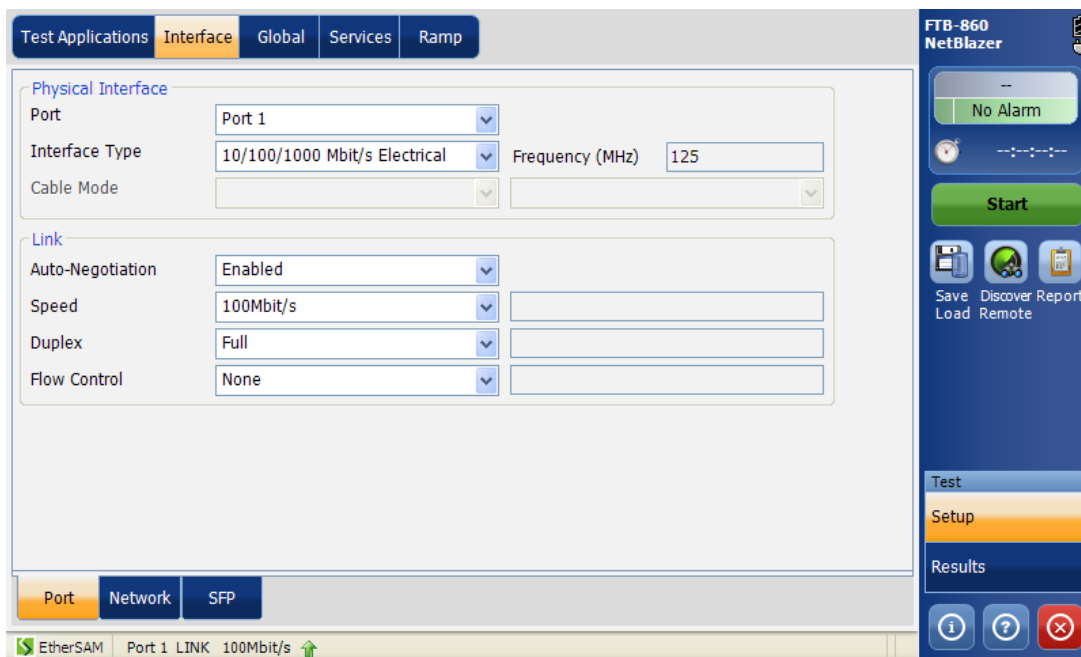
Nyní se vrátíme do hlavního menu a vybereme funkci **SMART LOOPBACK**. Po chvíli nám naběhne tato funkce a tlačítkem **START** uvedeme přístroj do stavu kdy je možno přijímat a odesílat zpět data.

## 6.10 Nastavení měřicího přístroje EXFO FTB-1/860 NetBlazer

Po zapnutí přístroje poklepnáním na ikonu **NETBLAZER** spustíme testovací aplikaci, kde zvolíme jedinou možnost a to **FTB-1/860**. V tomto menu jsou jednotlivé testy, které tento přístroj zvládá.

### 6.10.1 Nastavení testu EtherSAM

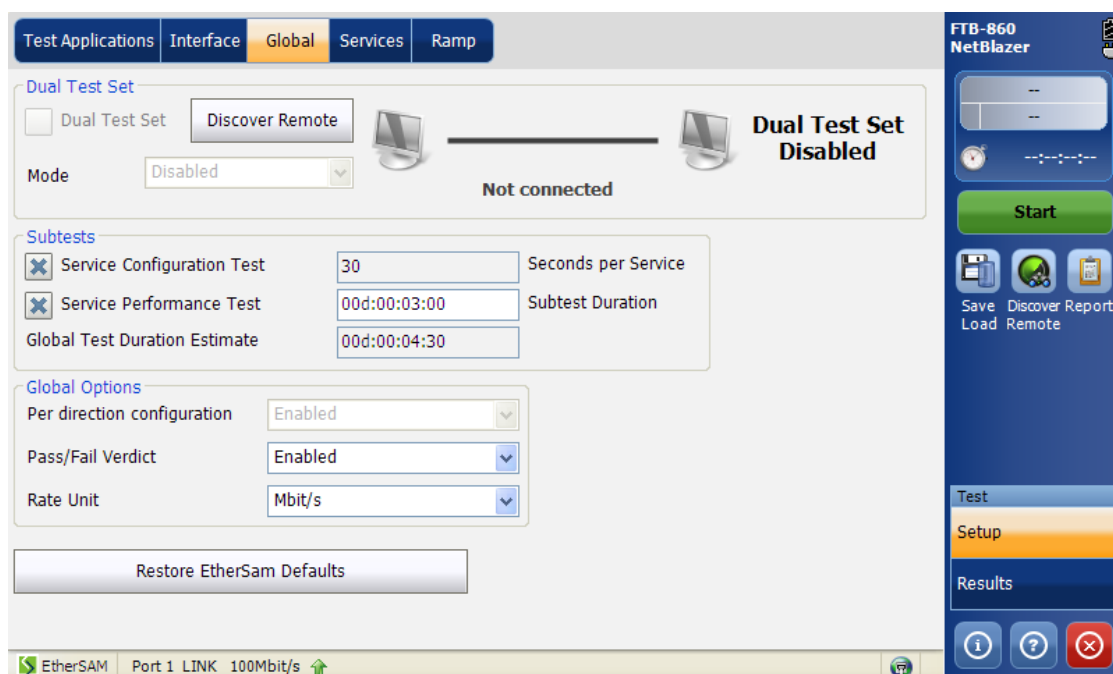
V základním menu zvolíme aplikaci EtherSAM. Jakmile bude aplikace připravena k použití, v položce **INTERFACE**, nastavíme parametry dle obrázku 6.1.



Obrázek 6.1: Nastavení EXFO FTB-1/860 záložka PORT

Na kartě **INTERFACE** v záložce **NETWORK** dále nastavíme parametry sítě, které jsou shodné s nastavením přístroje EXFO ASX 200/850, jediná změna je v IP adrese, kterou je potřeba nastavit na 192.168.0.1.

Délku trvání jednotlivých testů nastavíme v kartě **GLOBAL** (viz. obrázek 6.2), pomocí tlačítka **Discover Remote**, se dostaneme do okna, kde vyhledáme Loop Back jednotku a tlačítkem **Loop UP** tuto jednotku spárujeme s měřicím přístrojem EXFO FTB-1/860.

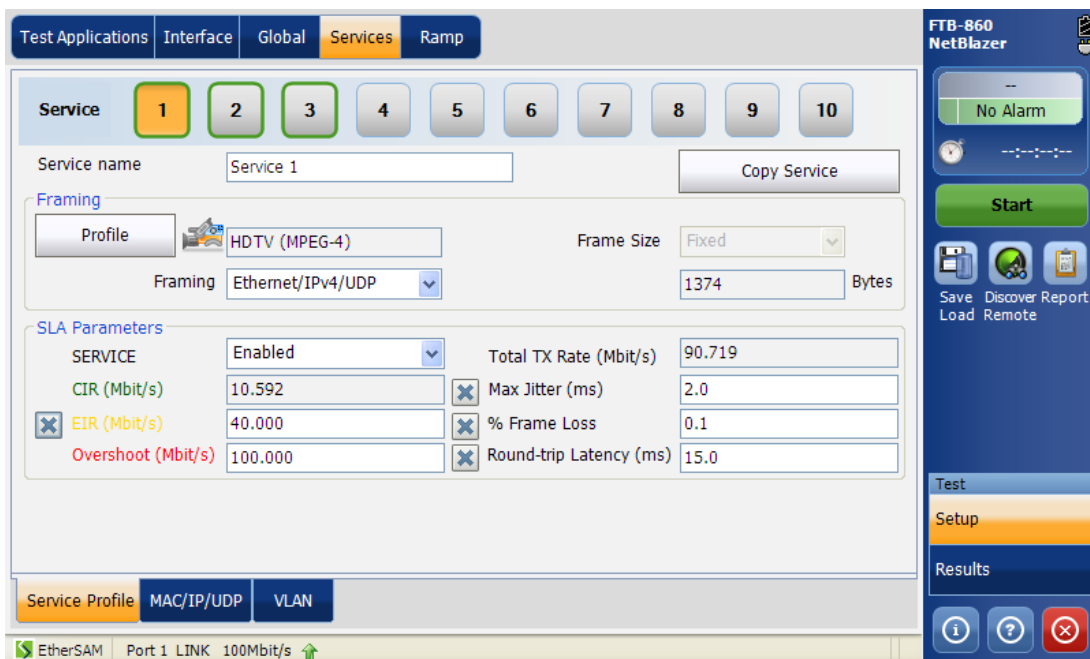


Obrázek 6.2: Nastavení EXFO FTB-1/860 karta GLOBAL

Následně na kartě **SERVICES** nastavíme parametry testu pro jednotlivé služby. První službou je IPTV, nastavení parametrů je na obrázku 6.3. Hodnoty u parametrů Jitter, Frame Loss a Round-trip Latency slouží pouze jako ukazatel jestli je tato služba vhodná či nikoliv. Ovšem v této práci se parametry a jejich hodnoty vyhodnocují dle tabulky 6.1 [16].

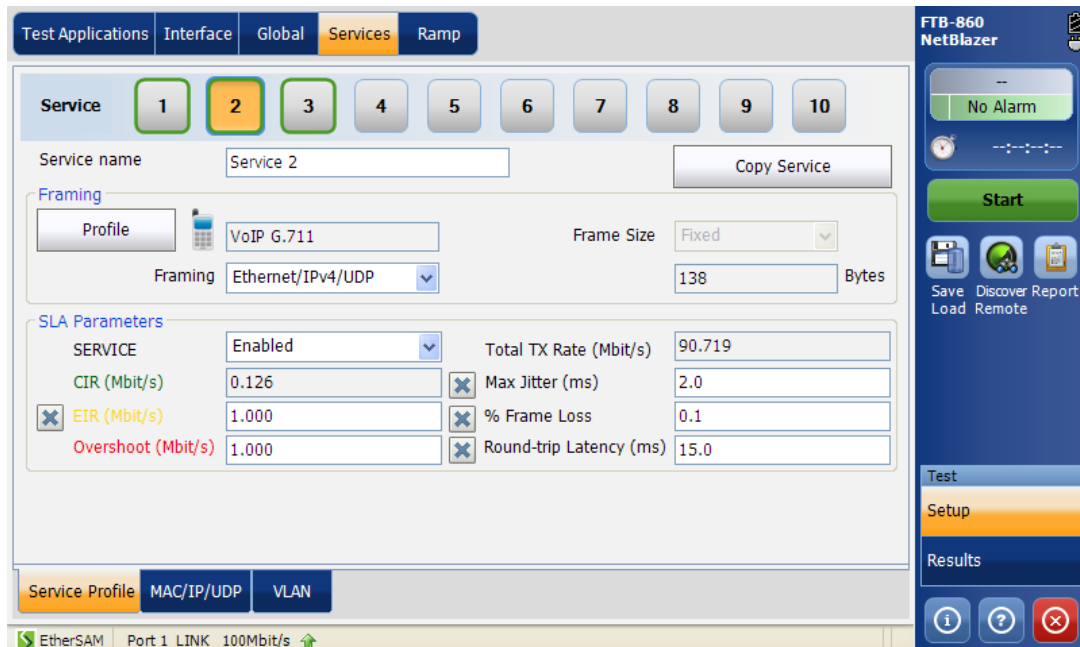
Tabulka 6.1: Mezní hodnoty parametrů IPTV

Parametr sítě	Zpoždění	Variabilita zpoždění	Ztrátovost
HDTV (MPEG-4)	< 200 ms	< 50 ms	< 14 %



Obrázek 6.3: Nastavení služby IPTV

Službu VoIP nastavíme dle obrázku 6.4. Opět hodnoty u parametrů Jitter, Frame Loss a Round-trip Latency bereme pouze jako orientační. V práci se tyto parametry vyhodnotí dle tabulky 6.2 [16].

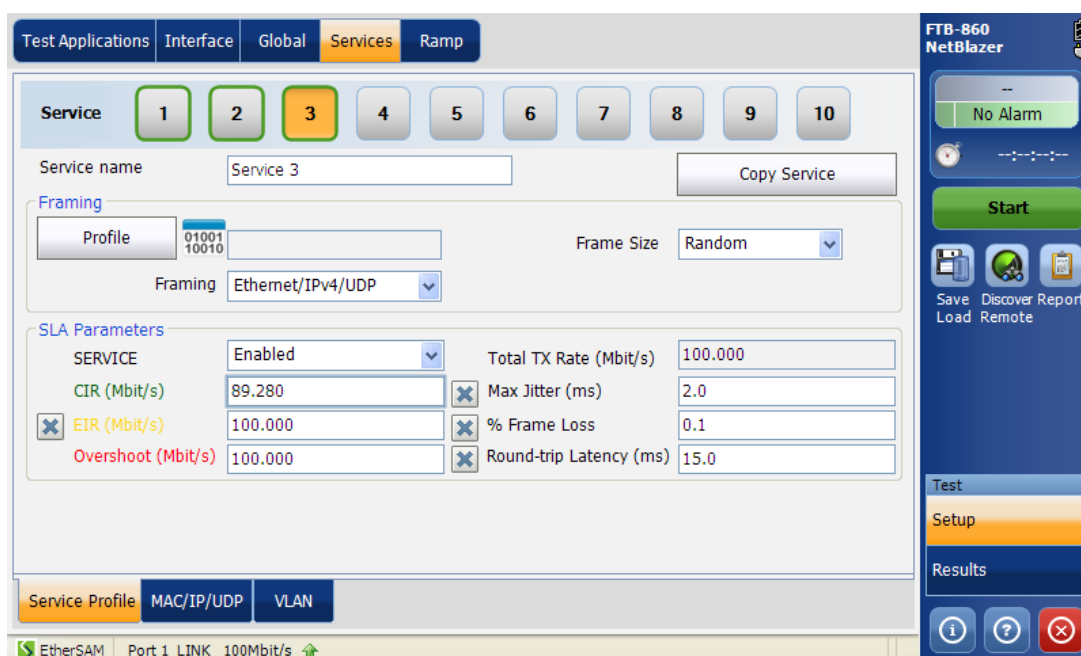


Obrázek 6.4: Nastavení služby VoIP

Tabulka 6.2: Mezní hodnoty parametrů VoIP

Parametr sítě	Zpoždění	Variabilita zpoždění	Ztrátovost
Dobrý	0 - 150 ms	0 - 20 ms	0 - 0,5 %
Akceptovatelný	150 - 300 ms	20 - 50 ms	0,5 - 1,5 %
Nevyhovující	nad 300 ms	nad 50 ms	nad 1,5 %

Službu DATA nastavíme dle obrázku 6.5. Parametry Jitter, Frame Loss a Round-trip Latency jsou opět pouze orientační.



Obrázek 6.5: Nastavení služby DATA

### 6.10.2 Nastavení testu RFC 2544

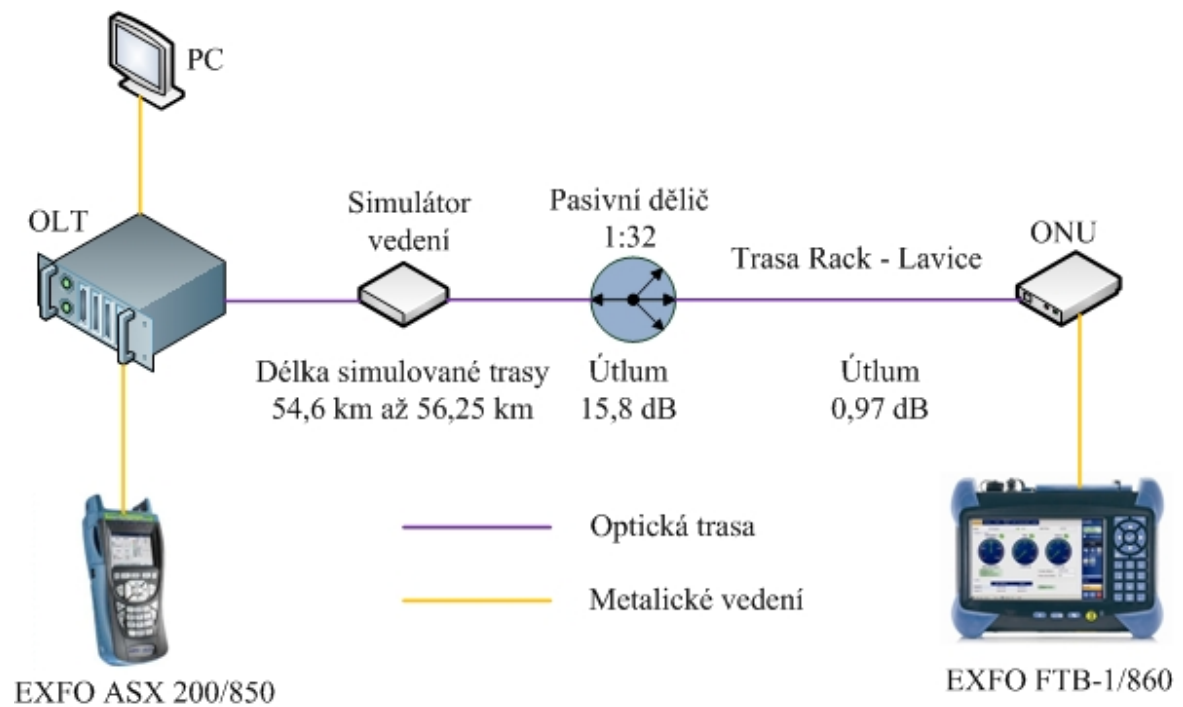
Nastavení karty **INTERFACE** zůstává stejné jako u testu EtherSAM. Na kartě **GLOBAL** pouze zkontrolujeme jestli, jsou aktivovány všechny testy.

## 6.11 Vytvořené topologie

Měření probíhalo na pěti vytvořených topologiích. Topologie se lišili pouze počtem použitých děličů a tudíž i délkou simulované trasy pomocí simulátoru vedení.

## 6.11.1 Topologie 1

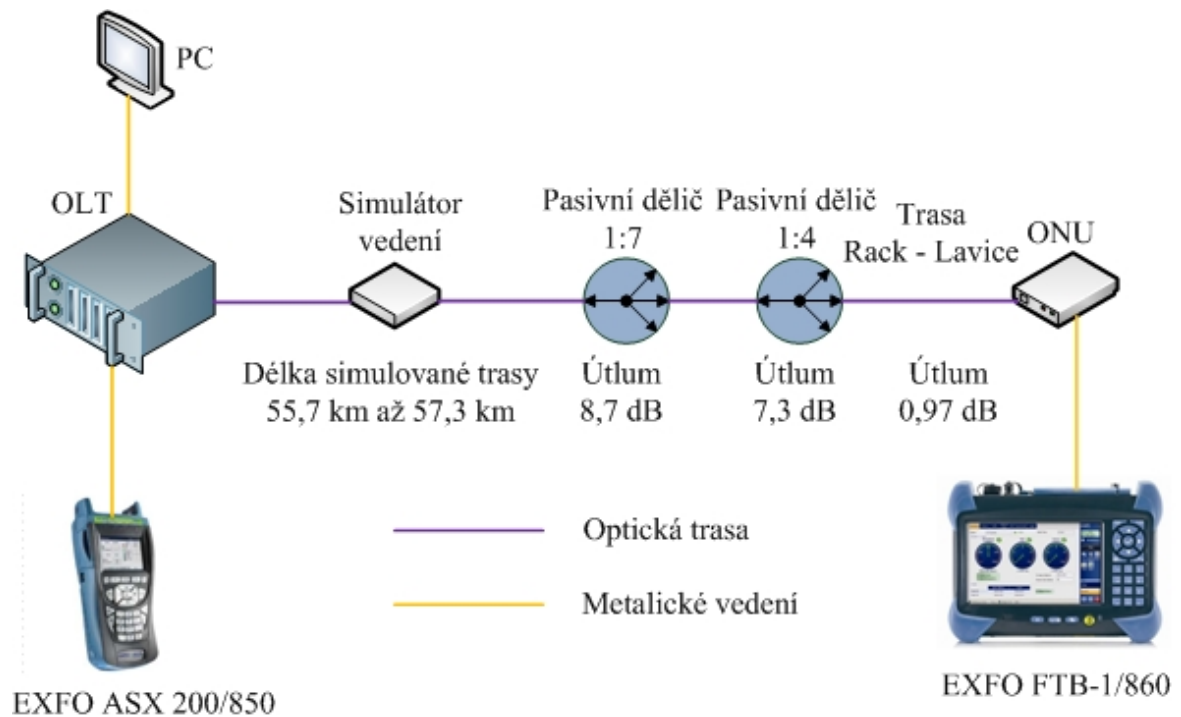
V první topologii zobrazené na obrázku 6.6, je použit dělič s dělicím poměrem 1:32. Útlum tohoto děliče je 15,8 dB při vlnové délce 1550 nm. Tato hodnota je průměr z 10 měření, aby toto měření mělo statistickou váhu. Útlum trasy z racku do lavice je 0,97 dB při vlnové délce 1550 nm, taktéž je tato hodnota výsledný průměr z 10 měření. Maximální útlum nastavený na simulátoru vedení, při kterém ještě tato síť fungovala, byl 15,75 dB. Opět tato hodnota je výsledek zjištěný při více měřeních, aby se minimalizovala chyba měření. Měření proběhlo v rozsahu 15,3 dB až 15,75 dB s krokem 0,1 dB. Délka simulované trasy přepočtená pomocí výše uvedeného vlákna tedy činila 54,6 km až 56,25 km.



Obrázek 6.6: Topologie 1

## 6.11.2 Topologie 2

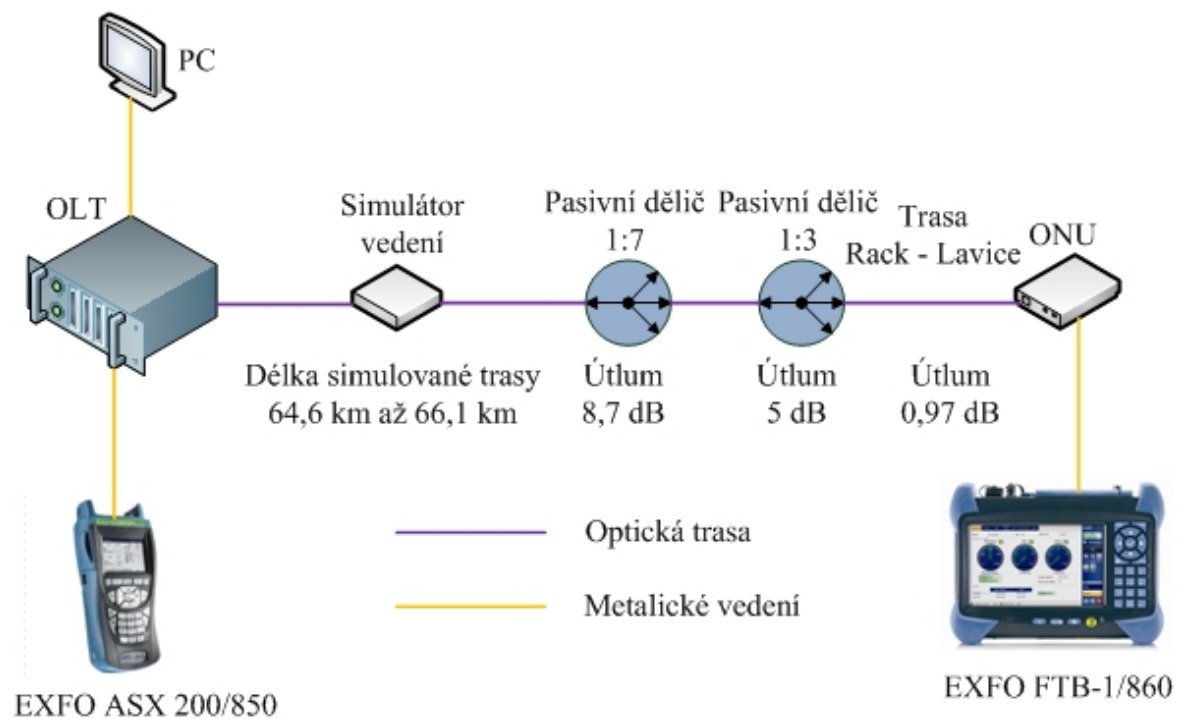
Na obrázku 6.7 je zobrazena druhá měřená topologie. Jsou zde použity dva děliče a to dělič s dělicím poměrem 1:7 a dělič s dělicím poměrem 1:4. Útlumy těchto děličů jsou 8,7 dB pro první zmiňovaný a 7,3 dB pro druhý, oba změřené při vlnové délce 1550 nm. Tyto hodnoty jsou průměr z několika měření. Útlum trasy z racku do lavice je totožný s útlumem v topologii 1, jelikož tato trasa se nikterak neměnila. Maximální útlum na simulátoru vedení byl 16,05 dB, při vyšší hodnotě již síť nefungovala. Tento útlum byl opět zjištěn vícero měřeními. Rozsah měření pak byl 15,6 dB až 16,05 dB, opět s krokem 0,1 dB. Rozsah délky trasy tedy činil 55,7 km až 57,3 km.



Obrázek 6.7: Topologie 2

## 6.11.3 Topologie 3

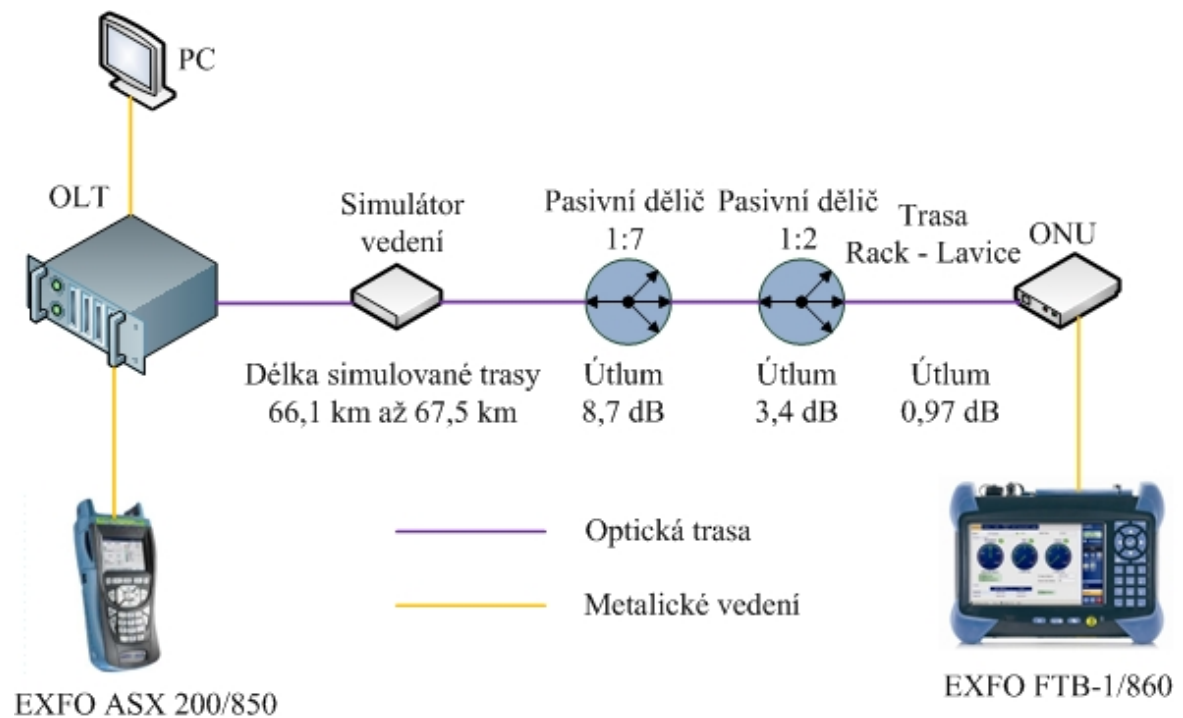
Obrázek 6.8 znázorňuje třetí měřenou topologii. Zde je použit dělič s dělicím poměrem 1:7, který má stejný útlum jako v topologii 2 a dále pak dělič s dělicím poměrem 1:3. Útlum druhého děliče je 5 dB při vlnové délce 1550 nm, opět změřen několika měřeními a zprůměrován. Trasa z racku do lavice má opět stejný útlum jako v předešlých případech. Útlum nastavený na simulátoru, při kterém ještě síť fungovala, byl 18,5 dB. Opět pro nalezení tohoto útlumu bylo provedeno několik měření. Měření proběhlo na velikostech útlumu 18,1 dB až 18,5 dB, s krokem 0,1 dB. Délka trasy se tedy pohybovala v rozmezí 64,6 km až 66,1 km.



Obrázek 6.8: Topologie 3

## 6.11.4 Topologie 4

Předposlední topologií je zapojení dle obrázku 6.9. Je zde opět použit dělič s dělicím poměrem 1:7 a jako druhý je použit dělič s dělicím poměrem 1:2 s poměrem dělení 50 % / 50 %. Útlum prvního děliče je opět totožný jako v topologii 2, útlum druhého děliče je pak 3,4 dB při 1550 nm. Spojení racku a lavice má opět útlum 0,97 dB, jelikož opět nedošlo v této části sítě k žádné změně. Maximální útlum na simulátoru, aby síť byla ještě funkční, byl 18,9 dB. Opět byla tato hodnota nalezena pomocí více měření, aby se minimalizovala chyba měření. Samotné měření tedy proběhlo v rozsahu útlumů 18,5 dB až 18,9 dB, opět s krokem 0,1 dB. Délka trasy, která odpovídá tomuto rozsahu, pak je 66,1 km až 67,5 km.

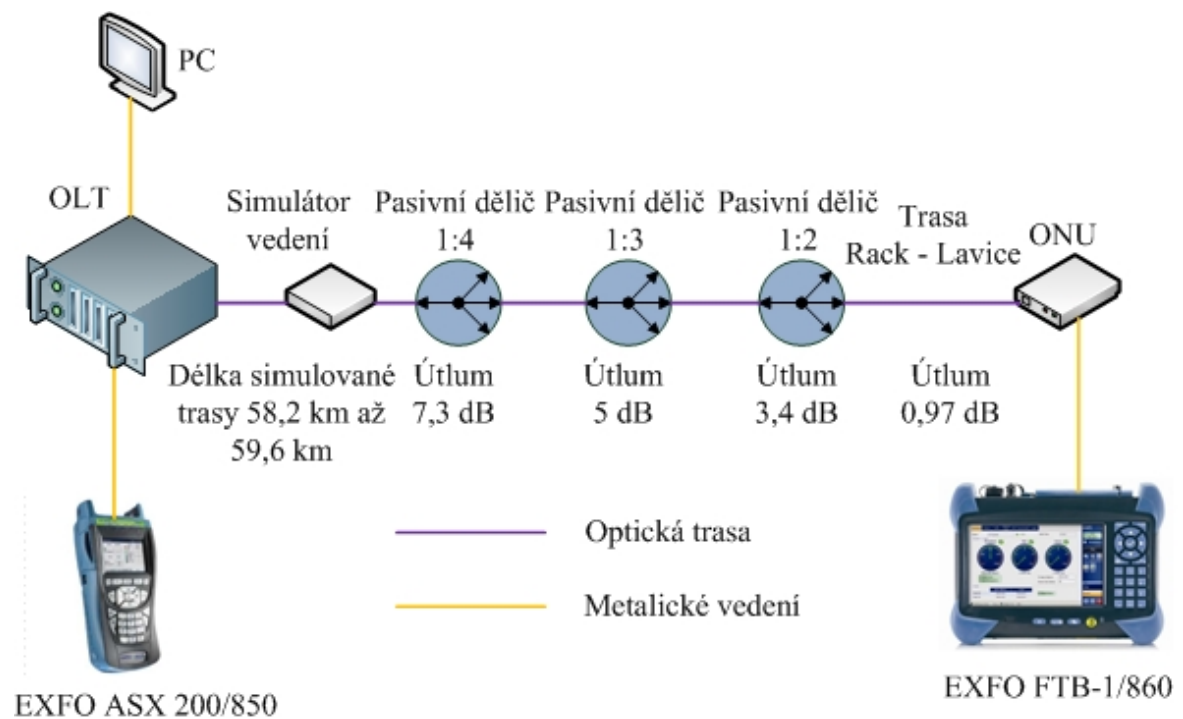


Obrázek 6.9: Topologie 4



## 6.11.5 Topologie 5

Pátou topologií byla topologie zobrazená na obrázku 6.10. Zde jsou použity celkem tři děliče, první s dělicím poměrem 1:4, druhý s dělicím poměrem 1:3 a třetí s dělicím poměrem 1:2 50 % / 50 %. Útlumy těchto děličů jsou následující, 7,3 dB pro dělič 1:4, 5 dB pro dělič 1:3 a 3,4 dB pro dělič 1:2. I v tomto případě útlum rack-lavice byl 0,97 dB. Hodnota maximálního útlumu, kdy síť ještě funguje, byl 16,7 dB. Tato hodnota je opět nalezena pomocí více měření. Měření bylo provedeno na nastavených útlumech 16,3 dB až 16,7 dB, s krokem 0,1 dB. Trasa tedy měla délku 58,2 km až 59,6 km.



Obrázek 6.10: Topologie 5

## 7 Naměřené výsledky

Měřicí přístroj EXFO FTB-1/860 NetBlazer všechny parametry testu a jeho výsledky zpracuje do pdf souboru. V případě testu RFC 2544 zobrazí i grafické zpracování výsledků ve formě sloupcových grafů. Tyto pdf soubory následně jsou analyzovány a vybrány z nich výsledné naměřené hodnoty.

### 7.1 Měření topologie 1

#### 7.1.1 Měření RFC 2544

Pro tento test byly nastaveny parametry bez jakéhokoliv omezení ve formě QoS. Proto je síť ověřena pro všechny maximální parametry.

##### **Nastavený útlum 15,75 dB (délka trasy 56,25 km)**

Při nastavení této hodnoty nebylo možné celý test dokončit. Proběhl pouze test propustnosti, který ovšem ve všech velikostech rámců měl nulové hodnoty. Test zatížitelnosti proběhl pouze pro velikost rámce 64 B, kdy hodnota byla opět nulová. Při testování dalších rámců se test již přerušil. Test ztrátovosti a test zpoždění nebyl testován. Celé toto měření bylo opakováno vícekrát ovšem, pokaždé proběhl pouze test propustnosti se stejným výsledkem. Výsledek testu tedy je, že pro tuto vzdálenost je síť velice nestabilní a tudíž provoz v této vzdálenosti není vhodný.

##### **Nastavený útlum 15,7 dB (délka trasy 56,07 km)**

Opět při tomto nastaveném útlumu nebyl test dokončen celý. Proběhl pouze necelý test propustnosti a to i při opakování testu vícekrát. Výsledné hodnoty změřené propustnosti jsou pro rámce 64 B a 128 B jako nulové hodnoty, v případě rámce 256 B byla propustnost 1,25 Mbit/s. Test propustnosti ostatních velikostí rámců již neproběhl, taktéž neproběhli ani zbývající testy zatížitelnosti, ztrátovosti a zpoždění. Konečný verdikt tohoto testu pro síť je, že pro tuto vzdálenost je opět síť nevhodná pro jakýkoliv provoz, jelikož je velice nestabilní.

##### **Nastavený útlum 15,6 dB (délka trasy 55,71 km)**

Při této vzdálenosti již proběhl kompletní test a nebylo potřeba jej vícekrát opakovat. Výsledné naměřené hodnoty jsou v tabulce 7.1. Změřené hodnoty testu propustnosti jsou již v relativně přijatelných mezích. Ovšem ani pro jednu velikost rámce nedosáhli na maximální propustnost sítě, největší propustnosti dosáhl rámeček o velikosti 1 280 B a to 97,014 Mbit/s. Propustnost tedy vyšla jako vyhovující. Test zatížitelnosti vyšel nejlépe pro rámeček 512 B a to 56,287 Mbit/s. Vyhovující zatížitelnost měli taktéž rámce o velikosti 1 024 B a 1 280 B, pro všechny tyto rámce je test zatížitelnosti vyhovující ovšem pro ostatní velikosti rámců je test vyhodnocen jako nevyhovující. Ztrátovost se nejvíc projevila u nejmenšího rámce a to s výsledkem 2,85 %. Ztrátovost ostatních rámců byla mnohem menší a tudíž i ve vyhovujících mezích. Zpoždění je pro tuto síť v povolených mezích i přes markantní nárůst při velikosti rámce 1 518 B. Celkově je možné říct, že vzhledem k naměřeným hodnotám je síť z hlediska propustnosti a zpoždění vhodná pro všechny služby, ovšem z hlediska ztrátovosti není vhodná pro službu hlas

při velikosti rámce 64 B, pro rámec 1 518 B je akceptovatelná. Pro ostatní rámce je kvalita této služby na dobré úrovni.

Tabulka 7.1: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 1 pro útlum 15,6 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	37,004	6,449	2,85	0,59805
128	82,681	0,147	0,436	0,63683
256	79,538	7,107	0,292	0,66456
512	35,632	56,287	0,32	0,56775
1 024	59,016	25,226	0	0,73354
1 280	97,014	12,516	0	0,87516
1 518	32,001	2,614	0,677	7,03976

#### Nastavený útlum 15,5 dB (délka trasy 55,36 km)

Celý test při této vzdálenosti opět proběhl celý bez problémů. Výsledné hodnoty jsou již celkově lepší než v případě nastaveného útlumu 15,6 dB. Všechny hodnoty jsou zapsány v tabulce 7.2. Hodnoty testu propustnosti nedosáhli na maximální hranici ani pro jednu velikost rámce. Největší propustnosti dosáhl největší rámec a to 95,055 Mbit/s. Celkový verdikt propustnosti na této vzdálenosti je, že vyhovuje provozu pro všechny druhy služeb. Test zatížitelnosti ukázal, že při velikostech rámců 256 B a 512 B bylo dosaženo maximální zatížitelnosti sítě. Vyhovující parametry měla i velikost rámce 1 280 B, pro ostatní délky rámců byl test vyhodnocen jako nevyhovující. Ztrátovost byla ve všech velikostech rámců. Největší ztrátovosti bylo dosaženo při velikosti rámce 64 B s výsledkem 1,867 %. Ztrátovost tedy neovlivňuje služby video a data, ovšem službu hlas ovlivňuje ve větší míře než při předešlém nastaveném útlumu. Zpoždění bylo pro všechny testované rámce ve vyhovujících mezích. Celkově tato síť z hlediska propustnosti a zpoždění vyhovuje pro všechny služby. Ztrátovost ovlivňuje službu hlas a to tak, že při nejmenším rámci je ztrátovost nevyhovující, při rámcích 256 B, 1 024 B a 1 280 B je akceptovatelná, pro zbylé rámce je na dobré úrovni.

Tabulka 7.2: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 1 pro útlum 15,5 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	83,168	0,198	1,867	0,62701
128	32,385	2,167	0,216	0,49738
256	42,857	100	0,601	0,65021
512	92,521	100	0,303	0,71965
1 024	75	0,204	0,627	0,79316
1 280	70,537	51,76	0,625	0,83565
1 518	95,055	1,494	0,284	0,94409

**Nastavený útlum 15,4 dB (délka trasy 55 km)**

Test při této vzdálenosti již proběhl rychleji než v předešlých případech. Výsledné hodnoty se již příliš neliší od měření při útlumu 15,5 dB, je to dáno tím, že síť je již docela stabilní pro provoz. Všechny naměřené hodnoty jsou v tabulce 7.3. Propustnost je pro toto nastavení vzdálenosti ve vyhovujících mezích pro všechny služby. Nebylo dosaženo maximální propustnosti ani v jednom případě, největší propustnosti dosáhl rámec o velikosti 1 024 B a to 95,255 Mbit/s. Test zatížitelnosti měl pro velikosti rámců 256 B, 1 024 B a 1 518 B hodnotu maximální zatížitelnosti 100 Mbit/s. Pro tyto rámce je verdikt testu vyhovující, pro ostatní síť je výsledek testu vyhodnocen jako nevyhovující. Ztrátovost byla relativně velká u rámce 64 B s hodnotou 2,391 %. Ostatní rámce měly ztrátovost v přijatelných mezích. Zpoždění i přes velkou hodnotu u rámce 1 518 B, je vyhodnoceno jako vyhovující. Celkově je síť vhodná pro provoz služeb video a data po všech stránkách. Službu hlas ovlivňuje ztrátovost, která je nepřijatelná u rámce 64 B. Pro rámce 1 024 B a 1 280 B je akceptovatelný provoz. Ztrátovost ostatních rámců nemá na službu hlas vliv, a proto je kvalita na dobré úrovni.

*Tabulka 7.3: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 1 pro útlum 15,4 dB*

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	47,727	0,208	2,391	0,52423
128	48,208	7,446	0	0,56528
256	70,05	100	0,237	0,62001
512	77,101	10,963	0,337	0,7159
1 024	95,255	100	0,685	0,8213
1 280	55,77	1,221	0,604	0,92654
1 518	38,125	100	0	4,86651

**Nastavený útlum 15,3 dB (délka trasy 54,64 km)**

Posledním měření na této topologii bylo proměření délky trasy 54,64 km. V tomto případě je síť již stabilní, a tudíž nastavování menších hodnot útlumu není již potřeba, jelikož by se výsledné hodnoty příliš nelišily. Změřené parametry sítě jsou v tabulce 7.4. Test propustnosti má vyhovující výsledek pro všechny velikosti rámců, a tudíž i pro všechny služby. Největší propustnosti bylo dosaženo u rámce 1 518 B, propustnost měla hodnotu 95,055 Mbit/s. Maximální zatížitelnosti nedosáhl ani jeden z testovaných rámců, nejvyšší zatížitelnost měl rámec 128 B, taktéž jako vyhovující zatížitelnost se dají brát i hodnoty u velikosti rámců 512 B a 1 024 B. Pro ostatní rámce je test vyhodnocen jako nevyhovující. Ztrátovost se opět projevila ve všech délkách rámců. Opět rámec s délkou 64 B, měl nejvyšší ztrátovost a to 1,965 %. Verdikt ztrátovosti tedy byl vyhovující pro všechny rámce. Zpoždění trasy je opět velmi malé, a proto vyhovuje ve všech rámcích. Celkové zhodnocení tohoto nastavení sítě tedy je, že je vhodná pro službu video a data ve všech oblastech. Službu hlas opět ovlivňuje ztrátovost při nejmenší velikosti rámce. V ostatních velikostech rámců je služba hlas na akceptovatelné až dobré úrovni.

Tabulka 7.4: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 1 pro útlum 15,3 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	71,186	0,149	1,965	0,59887
128	30,02	59,485	0,418	0,55772
256	57,861	0,342	0,623	0,66044
512	83,125	52,05	0,29	0,68632
1 024	62,891	32,242	0,009	0,79439
1 280	71,783	1,185	0,552	0,80067
1 518	95,055	9,387	0,579	0,92701

### 7.1.2 Měření EtherSAM

Testem EtherSAM byly proměřeny parametry sítě pro službu video neboli IPTV, kdy test byl proveden pro kvalitu videa HDTV s kodekem MPEG-4, parametr CIR je u této služby 10,592 Mbit/s. Druhou testovanou službou byla služba VoIP s kodekem G.711, kde parametr CIR je 0,126 Mbit/s. Poslední službou je služba DATA, která má hodnotu CIR nastavenou na 89,280 Mbit/s.

#### Nastavený útlum 15,75 dB (délka trasy 56,25 km)

Při této vzdálenosti byla síť velice nestabilní. První test konfigurace služeb proběhl pouze pro službu video. Proto bylo potřeba provést tento test ještě jednou pro zjištění konfigurací zbylých služeb. Výsledné hodnoty testu konfigurace jsou v tabulce 7.5. V této vzdálenosti je již propustnost na asi poloviční úrovni oproti maximu. Z hlediska nastaveného CIR pro jednotlivé služby je propustnost vyhovující pro službu video a VoIP, pro službu Data je vyhodnocena jako nevyhovující. Parametr variability zpoždění je vyhovující pro služby video a Data, pro službu VoIP je tento parametr akceptovatelný, tudíž kvalita této služby již není vynikající. Ovšem ztrátovost u všech služeb je vysoká, pouze u služby video se tato ztrátovost dá akceptovat, pro zbylé služby je výsledek jako nevyhovující. I přes vyšší hodnoty zpoždění, je výsledek tohoto testu vyhodnocen jako vyhovující. Celkový výsledek této konfigurace je vhodnost této sítě pouze pro službu video, která ovšem bude mít zhoršenou kvalitu. Ostatní služby nejsou vhodné provozovat na této síti v této vzdálenosti.

Tabulka 7.5: Test konfigurace EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,75 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	29,226	29,865	6,237	30,954
VoIP	0,957	22,299	6,224	28,33
Data	60,736	23,69	37,924	25,064

Test výkonnosti služeb proběhl v této vzdálenosti na první pokus, jeho výsledky jsou v tabulce 7.6. Jak lze vidět z tabulky hodnoty propustnosti jsou nevyhovující pro všechny služby. Hodnoty jitteru a zpoždění jsou v přijatelných mezích pro všechny služby, tudíž tyto parametry neomezují kvalitu na této síti. Ztrátovost je vyhodnocena jako nevyhovující ve všech případech, jelikož dochází k opravdu velké ztrátě rámců. Celkový výsledek této sítě je, že není vhodná pro provoz všech služeb najednou, při této vzdálenosti.

Tabulka 7.6: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,75 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	0,335	5,083	29,268	6,395
VoIP	0,005	5,446	11,538	6,393
Data	2,917	5,083	19,955	6,396

#### Nastavený útlum 15,7 dB (délka trasy 56,07 km)

Test konfigurace na této vzdálenosti již proběhl na první pokus, síť je stabilnější než v předešlém případě. Výsledné hodnoty zobrazuje tabulka 7.7. S ohledem na nastavenou hodnotu CIR, je propustnost této sítě vyhodnocena jako vyhovující pro všechny tři služby, ovšem hodnota propustnosti není na maximální možné úrovni. Parametr jitter i přes vyšší hodnoty opět vyhovuje všem službám. Ztrátovost nemá větší vliv na službu video, kvalitu služby VoIP zhorší na akceptovatelnou úroveň, i přes docela vysokou hodnotu ztrátovosti u dat je výsledek vyhodnocen jako vyhovující. Zpoždění je v přijatelných mezích, a proto je také vyhovující pro všechny služby. Celkově je tato síť, z hlediska konfigurace, vhodná pro všechny typy služeb, ovšem za cenu snížené kvality u služeb hlas a data.

Tabulka 7.7: Test konfigurace EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,7 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	95,355	14,964	1,179	16,6
VoIP	0,998	13,32	0,803	15,75
Data	96,881	8,346	15,501	9,235

Test výkonnosti služeb opět proběhl bez problému, v tabulce 7.8 jsou výsledné hodnoty. Výsledek propustnosti vyšel jako vyhovující pouze pro službu VoIP, ostatní služby se sice blíží k nastavenému CIR, ovšem nedosáhnou na tuto hodnotu. Hodnoty parametrů variability zpoždění a zpoždění jsou pro všechny služby v akceptovatelných mezích, proto neovlivní kvalitu služeb. Parametr ztrátovost je vyhodnocen jako vyhovující pro služby video a data. Služba hlas, z hlediska ztrátovosti měla nevyhovující výsledek. Tato síť je vhodná pro provoz služeb video a data najednou, pro službu hlas není vhodná pro provoz s vícero službami.

Tabulka 7.8: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,7 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,112	8,373	4,533	9,155
VoIP	0,123	8,232	2,416	9,156
Data	86,119	8,327	3,132	9,156

**Nastavený útlum 15,6 dB (délka trasy 55,71 km)**

Test konfigurace při této vzdálenosti má již celkově lepší všechny parametry viz. tabulka 7.9. Parametr maximální propustnost je pro všechny služby téměř na maximální úrovni, služby tedy nejsou ovlivněny tímto parametrem. Hodnoty parametru jitter jsou velmi kvalitní a neovlivňují kvalitu služeb na síti. Taktéž hodnoty ztrátovosti jsou nulové, v případě dat velmi nízké až zanedbatelné, tedy vyhovují pro provoz služeb. Zpoždění je také velmi nízké a nemělo by příliš ovlivnit kvalitu služeb. Celkově lze říci, že tato síť má vhodnou konfiguraci pro všechny typy služeb a jejich bezproblémový provoz.

Tabulka 7.9: Test konfigurace EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,6 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,819	6,989	0	8,66
VoIP	1	6,552	0	8,536
Data	99,976	8,378	0,152	9,231

Naměřené hodnoty testu výkonnosti služeb jsou zobrazeny v tabulce 7.10. Průměrná propustnost při generování všech služeb najednou dosáhla požadované hodnoty CIR pouze pro službu hlas. U ostatních služeb je blízko této hodnotě, a tudíž se dá taktéž říci, že vyhovují. Parametry jitter a ztrátovost mají velmi nízké hodnoty, proto jsou vyhodnoceny jako vyhovující a neovlivňují provoz na síti. Zpoždění má u všech služeb vyšší hodnotu, ale z hlediska hodnocení kvality jsou v přijatelných mezích. Tato síť je vhodná pro provoz všech služeb najednou.

Tabulka 7.10: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,6 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,567	3,117	0,237	22,197
VoIP	0,126	3,113	0	22,192
Data	89,144	3,118	0,094	22,197

**Nastavený útlum 15,5 dB (délka trasy 55,36 km)**

Naměřené hodnoty při tomto útlumu se již příliš neliší od hodnot předchozího nastaveného útlumu. Zobrazuje je tabulka 7.11. Propustnost této sítě dosahuje téměř maximálních hodnot, výsledek testu pro tento parametr tedy je vyhovující pro všechny služby. Parametr jitter má minimální hodnotu u služby data, pro ostatní služby je taktéž vyhodnocen jako vyhovující. Ztrátovost v tomto případě dosahuje nulových hodnot a zpoždění sítě má taky velmi nízké hodnoty. Síť má vhodnou konfiguraci pro provoz všech služeb, při zachování vysoké kvality jednotlivých služeb.

*Tabulka 7.11: Test konfigurace EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,5 dB*

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,989	6,995	0	8,781
VoIP	1	6,543	0	8,418
Data	99,983	0,376	0,006	3,472

Výsledky testu výkonnosti služeb ukazuje tabulka 7.12. Hodnoty propustnosti opět splňují požadavek CIR pouze u služby VoIP, pro ostatní služby mají menší odchylku. I tak lze říci, že propustnost této sítě je vhodná pro provoz všech služeb najednou. Hodnoty parametrů variability zpoždění a ztrátovosti jsou velice nízké a nemají větší vliv na kvalitu provozovaných služeb. Všechny služby mají vyšší zpoždění, které ovšem také příliš neovlivní kvalitu provozu. Celkově je provoz všech typů služeb na této síti bezproblémový.

*Tabulka 7.12: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,5 dB*

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,567	5,806	0,238	22,21
VoIP	0,126	5,802	0	22,21
Data	89,146	5,803	0,094	22,212

**Nastavený útlum 15,4 dB (délka trasy 55 km)**

Celkové hodnoty testu konfigurace při této vzdálenosti jsou vypsány v tabulce 7.13. Maximální propustnost je nejvyšší u služby video, od maximální hodnoty se liší pouze o 0,004 Mbit/s, což je vynikající výsledek. Výsledek tohoto testu je i pro ostatní služby jako vyhovující. Hodnota jitteru je pro službu data velmi nízká, pro zbylé služby je o něco vyšší, ale opět v přijatelných mezích. U služby data došlo k zanedbatelné ztrátě rámců, pro ostatní služby je hodnota tohoto parametru nulová. Nízké hodnoty zpoždění zaručují kvalitní konfiguraci sítě. Konfigurace sítě na této vzdálenosti je vhodná pro provoz všech typů služeb.



Tabulka 7.13: Test konfigurace EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,4 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,996	7,009	0	8,787
VoIP	1	6,584	0	8,425
Data	99,984	0,411	0,002	5,621

Hodnoty parametrů testu výkonnosti služeb jsou v tabulce 7.14. Při nastavení tohoto útlumu je parametr propustnost vyhovující opět pouze pro VoIP, u ostatních služeb se propustnost velmi blíží nastavenému CIR, ale nedosahuje ho. Přesto je propustnost vyhodnocena jako vyhovující. Parametr jitter má velmi nízké hodnoty a je zanedbatelný pro ovlivnění provozu na síti. Taktéž ztrátovost dosahuje minimálních hodnot, proto kvalitu služeb nesníží. Zpoždění má vyšší hodnoty, ale pro provoz sítě jsou ve vyhovujících mezích. Parametry této konfigurace sítě jsou vhodné pro souhrnný provoz všech typů služeb.

Tabulka 7.14: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,4 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,558	7,119	0,319	19,924
VoIP	0,126	7,066	0,006	19,923
Data	89,155	7,149	0,087	19,924

#### Nastavený útlum 15,3 dB (délka trasy 54,64 km)

Posledním testem konfigurace byla nastavená vzdálenost 54,64 km. Výsledné hodnoty zobrazuje tabulka 7.15. Propustnost se velmi blíží maximální hodnotě u všech služeb, je tedy vyhovující pro tuto síť. Variabilita zpoždění je vyšší u služeb video a hlas, ovšem má vyhovující hodnoty. U služby data dosahuje velmi nízké hodnoty. Ztrátovost je zanedbatelná až nulová u všech služeb. Velikost zpoždění je nejnižší pro službu data, ovšem i pro zbývající služby je tento parametr pro provoz vyhovující. Síť dle tohoto nastavení je opět vhodná pro provoz všech druhů služeb.

Tabulka 7.15: Test konfigurace EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,3 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,994	7,018	0	8,792
VoIP	1	6,551	0	8,429
Data	99,981	0,436	0,003	4,189

Generováním všech služeb najednou do sítě byly zjištěny hodnoty parametrů zobrazené v tabulce 7.16. Výsledná průměrná propustnost má vyhovující hodnotu pro službu VoIP. Další služby mají propustnost lehce pod hodnotou CIR. Variabilita zpoždění je v tomto případě nejmenší

ze všech měření, a tudíž vyhovuje kvalitnímu provozu všech služeb. Ztráty v síti jsou minimální a nemají vliv na kvalitu služeb. Zpoždění je pro všechny služby podobné a pohybuje se v povolených mezích. Test výkonnosti služeb ukázal, že tato síť je vhodná pro provoz všech služeb najednou.

Tabulka 7.16: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 1 pro útlum 15,3 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,558	2,612	0,317	19,933
VoIP	0,126	2,619	0,011	19,921
Data	89,158	2,617	0,083	19,933

### 7.1.3 Zhodnocení topologie 1

Z naměřených výsledků plyne, že při nastavení maximálního dosahu sítě, je provoz prakticky nemožný pro všechny druhy služeb. Nastavením útlumu na hodnotu 15,7 dB se parametry sítě již zlepšily, ovšem výsledkem testu RFC 2544 bylo opět nevhodnost provozu všech služeb. Test EtherSAM v tomto případě již umožnil provoz služeb, ovšem za velmi nízké kvality. Postupným zmenšováním útlumu se všechny parametry sítě zlepšovaly. Tudíž dle testu EtherSAM od hodnoty nastaveného útlumu 15,6 dB, je síť vhodná pro veškerý provoz bez většího omezení. Tuto skutečnost potvrdil i test RFC 2544, který měl ovšem mírně zhoršené parametry při všech měřených délkách tras. Měřením bylo zjištěno, že stačí minimálně zmenšit délku trasy nebo celkový útlum trasy od maximálního možného útlumu, při kterém síť funguje, abychom dosáhli na vhodné podmínky provozu. Měření této topologie bylo provedeno s Jiřím Vlčkem, jelikož jeho bakalářská práce má tuto část shodnou.

Naměřená data taktéž ukazují na výhody testu EtherSAM oproti testu RFC 2544. Test EtherSAM prověří konfiguraci sítě a její parametry v jednom kroku, přímo pro konkrétní typy služeb. Je taktéž mnohem rychlejší než test RFC 2544. Délka testu RFC 2544 se pohybovala okolo půl hodiny, přičemž celkový test EtherSAM proběhl během pár minut.

Sloupcové grafy testu RFC 2544 pro všechny parametry a nastavené útlumy jsou v tištěné příloze I. Soubory pdf jako výstup měření z měřicího přístroje EXFO FTB-1/860 NetBlazer jsou k nalezení v příloze VI na CD.

## 7.2 Měření topologie 2

### 7.2.1 Měření RFC 2544

Testování této topologie pomocí testu RFC 2544 proběhlo bez jakéhokoliv nastavení QoS.

#### Nastavený útlum 16,05 dB (délka trasy 57,32 km)

Test při této vzdálenosti nebyl dokončen celý. Proběhl pouze částečný test propustnosti, který proměřil pouze první tři velikosti rámců. Výsledné hodnoty byly vždy nulové. Pro ostatní

velikosti rámců se test již přerušil. Testy zatížitelnosti, ztrátovosti a zpoždění nebyli vůbec provedeny. Celý test byl několikrát opakován, ale pokaždé po změření pár rámců testem propustnosti se přerušil, vždy se stejným výsledkem nulové propustnosti. O síti na této vzdálenosti tedy lze říci, že není vhodná pro jakýkoliv provoz z důvodu velké nestability sítě.

#### Nastavený útlum 16 dB (délka trasy 57,14 km)

Test na této vzdálenosti opět neproběhl kompletní. Byl proveden pouze celý test propustnosti a částečný test zatížitelnosti. Test propustnosti měl velmi nízké hodnoty. Pro rámce 64 B a 256 B byla propustnost nulová. Rámce velikosti 512 B a 1 280 B měli propustnost 0,625 Mbit/s, rámeček 128 B měl největší propustnost a to 1,25 Mbit/s, rámeček 1 024 B dosáhl propustnosti 0,5 Mbit/s a rámeček 1 518 B měl propustnost 0,75 Mbit/s. Test zatížitelnosti proběhl pouze pro první dva rámce a to s výsledky pro rámeček 64 B 0,048 Mbit/s a pro rámeček 128 B 0,39 Mbit/s. Při dalším rámcu se test zatížitelnosti přerušil a to i přes opakované měření. Zbylé testy neproběhly vůbec. Tedy síť při nastavení tohoto útlumu nespĺňuje požadavky pro jakýkoliv provoz, jelikož je sice stabilnější než v předchozím případě, ale výsledné hodnoty ukazují na velmi špatné parametry sítě.

#### Nastavený útlum 15,9 dB (délka trasy 56,79 km)

Při této vzdálenosti poprvé proběhl celý test a nebylo potřeba jej vícekrát opakovat. Naměřené hodnoty jsou zapsány v tabulce 7.17. Hodnoty propustnosti jsou již na velmi vysoké úrovni. Ovšem ani pro jednu velikost rámce nedosáhly maximální hodnoty propustnosti. Největší propustnost měl rámeček 256 B a to 99,638 Mbit/s, naopak nejmenší propustnost měl rámeček 1 518 B s velikostí 38,125 Mbit/s. I přes menší hodnotu propustnosti u posledního rámce je test vyhodnocen jako vyhovující. Test zatížitelnosti ukázal, že rámce velikosti 1 024 B a 1 518 B dosahují maximální možné zatížitelnosti. Rámeček 64 B dosáhl zatížitelnosti 25,783 Mbit/s, proto pro tento a výše zmiňované rámce je test vyhodnocen jako vyhovující, pro ostatní rámce je nevhovující. Test ztrátovosti je nejvyšší pro rámeček 64 B, kdy je ztrátovost 2,055 %. Pro ostatní rámce je mnohem menší a tudíž i ve vyhovujících mezích. Zpoždění je ve všech případech v povoleném rozmezí a to i přes poměrně vysokou hodnotu u největšího rámce. Tedy síť při této vzdálenosti z hlediska propustnosti a zpoždění vhodná pro všechny provoz, ovšem z hlediska ztrátovosti je méně vhodná pro službu hlas a to při rámcích 64 B a 1 518 B.

Tabulka 7.17: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 2 pro útlum 15,9 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	87,5	25,783	2,055	0,62773
128	66,968	6,641	0,323	0,63611
256	99,638	1,58	0	0,69373
512	99,068	8,109	0	0,7392
1 024	68,774	100	0	0,75262
1 280	80,645	0,171	0	0,90581
1 518	38,125	100	0,69	6,4876

**Nastavený útlum 15,8 dB (délka trasy 56,43 km)**

Nastavením této vzdálenosti se parametry sítě mírně zlepšily oproti předešlé vzdálenosti. Celý test proběhl bez problémů. Výsledné parametry sítě jsou v tabulce 7.18. Propustnost této sítě dosáhla v případě rámců 256 B a 512 B maximální velikosti 100 Mbit/s. Rámec 1 518 B dosáhl nejmenší propustnosti velikosti 38,125 Mbit/s. Test propustnosti na této síti je tedy vyhodnocen jako vyhovující, i přes nižší hodnoty u některých rámců. Zatížitelnost měla taktéž u rámců velikosti 256 B a 512 B maximální hodnotu. Pro rámec 1 280 B má hodnotu 28,656 Mbit/s. Tyto rámce mají tedy vyhovující parametr zatížitelnosti, ostatní rámce jsou vyhodnoceny jako nevyhovující. Ztrátovost se vyskytuje ve většině rámců. Větší ztrátovost má rámec 64 B, ovšem i tak je celý test pro všechny rámce vyhodnocen jako vyhovující. Parametr zpoždění měl u posledního rámce obrovský nárůst, i tak je ale zpoždění vyhovující. Celá síť je vhodná pro provoz všech služeb, omezená je pouze pro nejmenší a největší velikost rámce díky menší propustnosti. Ztrátovost na této síti omezuje pouze službu hlas, která při velikosti rámce 64 B, by neměla být provozována, u ostatních rámců je na akceptovatelné úrovni. Zpoždění nijak neovlivňuje provoz na síti, jelikož hodnoty jsou velice nízké.

*Tabulka 7.18: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 2 pro útlum 15,8 dB*

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	46,927	1,279	2,85	0,65211
128	80,434	14,502	0,714	0,64362
256	100	100	0	0,84383
512	100	100	0,524	0,99542
1 024	63,157	16,173	0,502	0,76636
1 280	99,54	28,656	0,749	0,90103
1 518	38,125	0,553	0,443	7,08483

**Nastavený útlum 15,7 dB (délka trasy 56,07 km)**

I při této vzdálenosti proběhl celý test v pořádku. Výsledné změřené hodnoty zobrazuje tabulka 7.19. Test propustnosti ukázal na maximální hodnotu u velikosti rámců 512 B a 1 280 B. Nejmenší a méně vyhovující propustnost měl rámec 64 B, pro ostatní rámce je propustnost vyhovující pro provoz. Zatížitelnost vyšla nejlépe pro rámec 512 B, kdy dosáhla maxima. Zatížitelnost je taktéž vyhovující pro velikosti rámců 256 B a 1 518 B, zbylé rámce jsou vyhodnoceny jako nevyhovující. Test ztrátovosti ukázal, že ke ztrátě rámců dochází u menších rámců, poslední tři největší velikosti rámců jsou již beze ztrát. Opět největší ztrátovost vykazuje nejmenší rámec 64 B. Celý test ztrátovosti je tedy vyhovující, jelikož se ztrátovost pohybuje v malých hodnotách. Zpoždění se pohybuje u všech rámců okolo 1 ms, pouze u největšího rámce je přibližně 4 ms. Parametr zpoždění je tedy vyhovující. Síť je tedy vhodná pro veškerý typ služeb, z hlediska propustnosti, ovšem pro krajní velikosti rámců je omezena. Z hlediska ztrátovosti je síť nevhodná pro provoz služby hlas při nejmenším rámci. Pro další rámce je tato služba na akceptovatelné až dobré úrovni. Zpoždění nemá na provoz sítě žádný vliv.

Tabulka 7.19: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 2 pro útlum 15,7 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	28,187	0,096	2,759	0,47372
128	71,497	7,421	0,744	0,60895
256	63,157	63,256	0,329	0,64213
512	100	100	0,443	1,11569
1 024	99,051	3,386	0	0,85278
1 280	100	8,21	0	1,14213
1 518	38,125	81,427	0	4,06446

### Nastavený útlum 15,6 dB (délka trasy 55,71 km)

Poslední nastavenou vzdáleností byla vzdálenost 55,71 km. Všechny hodnoty shrnuje tabulka 7.20. Při této vzdálenosti všechny parametry sítě dosáhly nejlepších parametrů ze všech nastavených vzdáleností. Propustnost dosahovala velmi vysokých hodnot, nejvyšší byla pro rámec velikosti 128 B, na druhou stranu nejmenší byla pro rámec 256 B. I tak je pro všechny rámce vyhodnocena jako vyhovující. Test zatížitelnosti měl již velmi dobré výsledky u všech rámců, pouze pro rámce 64 B a 128 B nedosahoval požadovaných hodnot a byl vyhodnocen jako nevyhovující. Ostatní rámce měly tento parametr vyhovující. Ztrátovost byla nejvyšší pro rámec 64 B, kdy se ztráta rámců pohybovala okolo 1,818 %. Zbylé rámce dosáhli ztrátovosti do 0,5 %, což je vyhovující výsledek. Zpoždění v tomto případě mělo horní hranici u rámce velikosti 128 B, a to téměř 5 ms. I tak je celý test zpoždění díky nízkým hodnotám vyhodnocen jako vyhovující. Celkově lze o síti říci, že je vhodná pro provoz všech služeb bez omezení, pouze službu hlas opětovně omezuje ztrátovost. Ostatní parametry neovlivňují provoz služeb.

Tabulka 7.20: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 2 pro útlum 15,6 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	90,322	0,441	1,818	0,64964
128	99,328	2,344	0	4,91013
256	38,174	26,379	0,455	0,64131
512	56,898	20,19	0,298	0,68724
1 024	92,882	63,644	0	0,83148
1 280	70,537	51,801	0	0,83827
1 518	96,547	41,187	0,247	0,95237

### 7.2.2 Měření EtherSAM

Měření proběhlo pro služby a jejich parametry, které jsou vypsány na začátku kapitoly 7.1.2.

**Nastavený útlum 16,05 dB (délka trasy 57,32 km)**

Test konfigurace služeb sice s problémy, ale nakonec úspěšně proběhl na první pokus. Problémy byly způsobeny nestabilitou sítě, jelikož se nedařilo spojit Loop Back jednotku s měřicím přístrojem. Změřené parametry sítě jsou v tabulce 7.21. Maximální propustnost nedosahovala zdaleka maximálních hodnot sítě. S ohledem na nastavené hodnoty CIR je propustnost u služeb video a hlas vyhovující pro službu data je nevyhovující. Parametr variability zpoždění neboli jitter měl i přes vyšší hodnoty vyhovující hodnocení. Ztrátovost nejvíce limituje službu data, kdy se ztráta rámců pohybuje v třetině všech odeslaných rámců. Nevyhovující ztrátovost tedy má služba data a taktéž služba hlas, pro službu video je výsledek vyhovující. Zpoždění je sice trochu vyšší, ale neovlivňuje konfiguraci této sítě pro žádnou službu. Konfigurace sítě je tedy vhodná pro provoz služby video, ale v nepříliš velké kvalitě, pro ostatní služby je konfigurace nevhodná.

*Tabulka 7.21: Test konfigurace EtherSAM topologie 2 pro útlum 16,05 dB*

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	81,795	20,926	9,145	22,352
VoIP	0,983	14,315	2,96	22,353
Data	66,291	32,046	33,321	32,816

Výsledky testu výkonnosti služeb při této vzdálenosti jsou v tabulce 7.22. Již na první pohled jsou parametry velmi špatné. Propustnost je u všech služeb dosti pod úroveň nastaveného CIR, a tudíž je tento parametr pro všechny služby vyhodnocen jako nevyhovující. Jitter se pohybuje okolo 8 ms, a verdikt je taktéž vyhovující. Ztrátovost nejvíce ovlivnila provoz všech služeb, jelikož její hodnoty překročily povolené meze o několik procent. Výsledek ztrátovosti je tedy nevyhovující pro všechny služby. Zpoždění je velmi malé, proto vyhovuje požadavkům pro provoz služeb. Celkově je tedy provoz všech služeb najednou na této síti nevhodný z důvodu snížené propustnosti a velké ztrátovosti.

*Tabulka 7.22: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 2 pro útlum 16,05 dB*

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	7,791	8	21,751	8,911
VoIP	0,107	8,054	10,166	8,91
Data	69,815	7,627	14,974	8,913

**Nastavený útlum 16 dB (délka trasy 57,14 km)**

Test konfigurace při této vzdálenosti již proběhl bez problému celý najednou. Hodnoty parametrů jsou v tabulce 7.23. Hodnoty maximální propustnosti se již velmi blíží k maximální hodnotě propustnosti sítě, ovšem nedosáhnou ji ani u jedné služby. Propustnost je u všech služeb vyhodnocen jako vyhovující. Kolísání zpoždění má nejnižší hodnotu u VoIP, pro ostatní služby je ovšem taktéž nízké a tudíž vyhovující. Ztrátovost u všech služeb dosáhla nízkých hodnot, kdy

prakticky neovlivní kvalitu služeb. Zpoždění je u všech služeb podobné a jeho hodnota je v povolených mezích. Síť při této konfiguraci je tedy vhodná pro všechny typy služeb.

Tabulka 7.23: Test konfigurace EtherSAM topologie 2 pro útlum 16 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,373	7,022	0,023	8,776
VoIP	0,999	6,511	0	8,426
Data	99,657	8,189	1,309	8,979

Výsledné parametry sítě při generování všech služeb najednou jsou v tabulce 7.24. Hodnoty průměrné propustnosti nedosahují hodnoty CIR, ovšem blíží se k ní. Rozdíly jsou zanedbatelné. Proto je výsledek testu vyhodnocen jako vyhovující. Maximální jitter byl u všech služeb na velmi nízké hodnotě, verdikt je tedy vyhovující. Ztrátovost ovlivnila službu hlas, tato služba má mírně zhoršenou kvalitu díky vyšší ztrátovosti. Ostatní služby ztrátovost neovlivní. Zpoždění je zanedbatelné u všech typů služeb. Celkový výsledek této vzdálenosti na této síti je, vhodnost pro všechny služby provozované najednou, ovšem služba hlas má zhoršenou kvalitu.

Tabulka 7.24: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 2 pro útlum 16 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,512	3,627	0,766	4,692
VoIP	0,126	3,631	0,35	4,692
Data	88,754	3,637	0,523	4,702

#### Nastavený útlum 15,9 dB (délka trasy 56,79 km)

Konfigurace sítě při této vzdálenosti má lepší parametry než v předešlém případě. Hodnoty jsou v tabulce 7.25. Maximální propustnost se již pohybuje velmi blízko maximálním hodnotám. Konfigurace sítě je, z hlediska propustnosti vhodná pro všechny typy služeb. Jitter je nejnižší u služby data, kdy dosáhl hodnoty 0,393 ms. Pro ostatní služby je taktéž v povolených mezích. Ztrátovost je u všech služeb nulová a tudíž i vyhovující. Zpoždění je vyhodnoceno jako vyhovující, jelikož dosahuje nízkých hodnot. Celkově je tedy konfigurace sítě vhodná pro provoz všech služeb.

Tabulka 7.25: Test konfigurace EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,9 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,994	7,007	0	8,754
VoIP	0,999	6,511	0	8,593
Data	99,987	0,393	0	3,954

Naměřené parametry testu výkonnosti shrnuje tabulka 7.26. Průměrná propustnost jednotlivých služeb se blíží hodnotám CIR, ovšem jen u služby VoIP této hodnoty dosáhne. I tak je vyhodnocena propustnost jako vyhovující. Jitter vzhledem k malým hodnotám neovlivňuje kvalitu služeb na této síti. Jelikož se ztrátovost pohybuje u všech služeb na nízké hodnotě a služby hlas dokonce na nulové hodnotě je taktéž test ztrátovosti vyhodnocen jako vyhovující. Zpoždění i přes vyšší hodnoty neovlivní kvalitu služeb, je tedy vyhovující. Konečný výsledek sítě na této vzdálenosti je, že provoz všech služeb dohromady je bezproblémový.

Tabulka 7.26: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,9 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,559	4,777	0,313	19,925
VoIP	0,126	4,781	0	19,911
Data	89,157	4,787	0,085	19,926

#### Nastavený útlum 15,8 dB (délka trasy 56,43 km)

Při této vzdálenosti se výsledné parametry sítě změřené pomocí testu konfigurace již příliš neliší od hodnot změřených při předchozí nastavené vzdálenosti. Je to dáno dobrou stabilitou sítě. Hodnoty této vzdálenosti jsou v tabulce 7.27. Hodnoty propustnosti mají již téměř maximální hodnoty u všech služeb, jsou tedy vyhovující. Parametr jitter je vyšší u služeb video a hlas, u služby data je téměř nulový. Hodnoty ztrátovosti jsou na nulových hodnotách, tudíž tento parametr a parametr jitter neovlivňují kvalitu služeb. Zpoždění je velmi nízké u všech služeb, taktéž je tedy vyhovující. Tedy síť s touto konfigurací je vhodná pro provoz všech typů služeb.

Tabulka 7.27: Test konfigurace EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,8 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,992	7,007	0	8,7
VoIP	0,999	6,575	0	8,543
Data	99,988	0,423	0,002	3,505

Výsledné hodnoty testu výkonnosti služeb na této vzdálenosti ukazuje tabulka 7.28. Průměrná propustnost opět nedosahuje u služeb video a data na hodnotu CIR. Její hodnoty jsou téměř identické s výsledky testu výkonnosti u nastaveného útlumu 15,9 dB. Tudíž i její verdikt je vyhovující pro všechny služby. Parametr variability zpoždění je u všech služeb na nízké úrovni. Ztrátovost sice je u každé služby, ovšem její velikost je téměř nulová, proto vyhovuje předepsaným mezím. Zpoždění má hodnoty okolo 20 ms, proto příliš neovlivní kvalitu služeb. Z těchto výsledků vyplývá, že provoz všech typů služeb v jednom okamžiku, je na této síti bez jakýkoliv omezení.



Tabulka 7.28: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,8 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,559	0,249	0,31	19,917
VoIP	0,126	0,254	0,006	19,912
Data	89,16	0,251	0,08	19,917

**Nastavený útlum 15,7 dB (délka trasy 56,07 km)**

Změřené parametry při tomto útlumu jsou již téměř ideální viz. Tabulka 7.29. Maximální propustnost je téměř na hranici maximální propustnosti sítě. Její velikost je tedy vhodná pro všechny služby. Variabilita zpoždění se pohybuje okolo 7 ms, tudíž tento parametr nijak zvlášť neovlivní provoz na síti. Ztrátovost je ideální a to nulová pro všechny služby. Zpoždění i přes vyšší hodnoty u služeb video a hlas je vyhovující pro výbornou kvalitu služeb. Konfigurace sítě tedy vyhovuje všem typům služeb po všech stránkách.

Tabulka 7.29: Test konfigurace EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,7 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,998	7,001	0	8,763
VoIP	1	6,536	0	8,414
Data	99,986	6,536	0	1,376

Test výkonnosti služeb má přibližně stejné výsledky jako v předešlém případě. Hodnoty jednotlivých parametrů jsou v tabulce 7.30. Výsledky propustnosti opět u služeb video a data nedosahují hranice CIR, i přes to jsou vyhodnoceny jako vyhovující. Jitter se pohybuje v hodnotách okolo 0,2 ms, neovlivňuje tedy kvalitu ani u jedné služby. Nulové ztrátovosti v tomto případě nedosáhla žádná služba, ovšem hodnoty jsou minimální a tudíž ztrátovost je vyhovující. Zpoždění dosáhlo u všech služeb stejné hodnoty a je vyhovující. Síť je tedy vhodná pro provoz všech služeb najednou bez větší ztráty kvality.

Tabulka 7.30: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,7 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,566	0,231	0,236	22,197
VoIP	0,126	0,247	0,011	22,197
Data	89,152	0,231	0,086	22,197

**Nastavený útlum 15,6 dB (délka trasy 55,71 km)**

Tento útlum je poslední nastavený jelikož výsledné hodnoty se opět příliš neliší od předchozího nastaveného útlumu, je tedy možné říct, že síť zde již pracuje bez problémů. Hodnoty parametrů jsou vypsány v tabulce 7.31. Propustnost je opět na téměř maximální hodnotě u všech služeb. Je tedy vyhodnocena jako vyhovující. Hodnoty jitteru se pohybují v přijatelných mezích, a proto taktéž vyhovují. Nulová ztrátovost a nízké zpoždění zaručují taktéž bezchybnou konfiguraci sítě pro jednotlivé typy služeb. Z celkového pohledu je tedy síť vhodná pro všechny provoz.

*Tabulka 7.31: Test konfigurace EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,6 dB*

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,99	7,002	0	8,757
VoIP	1	6,576	0	8,588
Data	99,985	0,413	0	2,716

Výsledné hodnoty parametrů získané pomocí testu výkonnosti služeb ukazuje tabulka 7.32. Hodnoty jsou opět velmi podobné předchozímu měření. Propustnost dosahuje hodnoty CIR pouze u služby hlas, pro ostatní služby je o malinko menší než požadovaná hodnota. I tak je vyhodnocena jako vyhovující. Hodnoty kolísání zpoždění jsou velmi nízké, téměř nulové, proto vyhovují kvalitnímu provozu všech služeb. Ztrátovost je taktéž velmi nízká, dochází tedy k zanedbatelné ztrátě rámců. Zpoždění, které je okolo 22 ms, je taktéž nelimitujícím parametrem této sítě. Celkově tedy síť s tímto, nebo s menším útlumem splňuje všechny požadavky pro provoz všech služeb v síti najednou.

*Tabulka 7.32: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 2 pro útlum 15,6 dB*

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,569	0,225	0,215	22,208
VoIP	0,126	0,268	0,006	22,185
Data	89,15	0,228	0,088	22,208

**7.2.3 Zhodnocení topologie 2**

Z výše uvedených výsledků plyne to, že při nastavení maximální vzdálenosti sítě, kdy je tato síť ještě provozu schopná, byl výsledek obou testů negativní. To znamená, že při této vzdálenosti dochází k velké ztrátovosti a snížené propustnosti, tudíž provoz na této síti je nevhodný. Při nastavení útlumu na 16 dB již síť vykazovala známky zlepšení, ovšem dle testu RFC 2544, byl výsledek pořád nevyhovující. Test EtherSAM zde ukázal již vhodnost provozu pro všechny služby, ovšem kvalita byla zhoršená. Dalším zmenšením útlumu a s tím související délkou trasy, byli již dle testu EtherSAM výsledné parametry sítě vhodné pro všechny druhy služeb. Snižováním útlumu se výsledky již příliš nelišily, spíše se mírně zlepšovaly. Tuto skutečnost více

méně potvrdil i test RFC 2544, který ovšem měl zhoršené všechny parametry oproti testu EtherSAM. Tento fakt opět ukazuje na výhody testu EtherSAM oproti testu RFC 2544. Měření ukázalo, že stačí trasu minimálně zkrátit od její maximální možné délky, abychom dosáhli ideálních podmínek pro provoz všech typů služeb na síti. Tento fakt potvrzuje teorii GEPON sítě, kdy síť funguje na maximální možné úrovni, následně při překročení dosahu sítě stačí minimální změna útlumu sítě a celá síť přestane fungovat.

Pdf soubory jako výsledné reporty ze všech měření této topologie jsou v příloze VII na CD. Grafické zpracování výsledků testu RFC 2544 pro všechny měřené parametry a útlumy jsou v tištěné příloze II.

### 7.3 Měření topologie 3

#### 7.3.1 Měření RFC 2544

Parametry tohoto testu nejsou omezeny nastavením žádného QoS.

##### **Nastavený útlum 18,5 dB (délka trasy 66,07 km)**

Tento útlum je nastaven na hranici fungování sítě, tudíž je síť velmi nestabilní. Proto nebylo možné celý test dokončit. I přes opakované pokusy vždy proběhl nekompletní test propustnosti. Změřeny byly pouze rámce velikosti 64 B a 128 B a to vždy s nulovou hodnotou. Test zbylých rámců již neproběhl, z důvodu spadnutí sítě. Taktéž i ostatní testy nebylo možné provést. Z pohledu test RFC 2544 je tedy síť na této vzdálenosti neschopná provozovat jakékoli služby.

##### **Nastavený útlum 18,45 dB (délka trasy 65,89 km)**

Při této vzdálenosti opět nebyl celý test dokončen. Proměřil se pouze test propustnosti pro první čtyři velikosti rámců. U všech byli výsledné hodnoty nulové. Zbylé rámce i přes opakované pokusy nebyli proměřeny. Ostatní testy standardu RFC 2544 ani nebylo možné spustit, tudíž nejsou známy jejich výsledky. Síť na této vzdálenosti je opět nevhodná pro jakýkoliv provoz z důvodu velké nestability.

##### **Nastavený útlum 18,4 dB (délka trasy 65,71 km)**

Síť na této vzdálenosti již byla natolik stabilní, aby bylo možné bez problému dokončit celý test. Naměřená data jsou zobrazena v tabulce 7.33. Už na první pohled jsou hodnoty propustnosti velmi nízké. Nejvyšší propustnosti dosáhli dva nejdelší rámce, propustnost měla hodnotu 15 Mbit/s. Propustnost je tedy vyhodnocena jako nevyhovující. Test zatížitelnosti vyšel pro všechny rámce jako nevyhovující, jelikož největší hodnoty zatížitelnosti dosáhl rámec 128 B a to zatížitelnosti 3,125Mbit/s. Ztrátovost se vyskytuje u všech velikostí rámců, její hodnoty jsou nejčastěji okolo 1 procenta, nejvyšší ztrátovost vykazují rámec 64 B, celkem 2,133 %. Hodnoty zpoždění jsou u všech rámců docela vysoké, ale i přes to je zpoždění v povoleném rozmezí. Celkově lze říci, že síť díky malé propustnosti, relativně velké ztrátovosti u všech rámců není vhodná pro provoz ani jednoho typu služeb v požadované kvalitě.

Tabulka 7.33: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 3 pro útlum 18,4 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	1,5	0,104	2,133	3,85165
128	3,875	3,125	0,584	8,34347
256	6,5	0,22	0,778	4,83652
512	8,375	1,564	0,345	6,50057
1 024	13,125	0,488	1,237	1,62238
1 280	15,001	0,197	1,093	4,70622
1 518	15	0,153	0,96	6,76996

#### Nastavený útlum 18,3 dB (délka trasy 65,36 km)

Jak lze vidět z tabulky 7.34 parametry sítě při nastavení tohoto útlumu, se již výrazně zlepšily oproti předešlému měření. Maximální propustnost byla změřena u rámce velikosti 1 518 B, naopak nejnižší propustnost měl rámec 128 B a to 36,274 Mbit/s. Dá se tedy říci, že u většiny rámců je propustnost vyhovující, pouze u dvou nejkratších rámců je vyhovující, ale se zhoršením kvality služeb. Nejvyšší zatížitelnosti dosáhli rámce 1 024 B a 1 518 B a to maximální možné hranice 100 Mbit/s. Vyhovující zatížitelnost měl, taktéž rámec velikosti 128 B. Ostatní rámce mají již nevyhovující hodnoty zatížitelnosti. Opět došlo ke ztrátám paketů u všech testovaných rámců. Největší ztráty byly zjištěny u rámce 64 B, s hodnotou 1,52 %. Hodnoty parametrů zpoždění jsou již na velmi nízké úrovni, proto jsou všechny vyhodnoceny jako vyhovující. Celkově je tedy síť z hlediska propustnosti až na výjimky vyhovující pro všechny služby, ovšem z hlediska ztrátovosti je zde omezení pro službu hlas kdy u všech rámců poklesne její kvalita na akceptovatelnou úroveň. Parametr zpoždění je natolik nízký, že nemá vliv na provoz a kvalitu služeb na této síti.

Tabulka 7.34: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 3 pro útlum 18,3 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	39,436	3,521	1,52	0,60072
128	36,274	51,562	0,742	0,61466
256	97,872	1,641	0,544	0,68272
512	50,57	15,408	0,728	0,65144
1 024	52,173	100	0,46	0,75761
1 280	89,041	4,227	0,666	0,84697
1 518	100	100	0,726	1,13117

#### Nastavený útlum 18,2 dB (délka trasy 65 km)

Předposledním měřením této trasy je měření na délce trasy 65 km. Výsledné naměřené hodnoty jsou v tabulce 7.35. Maximální možné propustnosti nedosáhl žádný rámec. Nejvyšší propustnost byla změřena u rámce velikosti 512 B, s výsledkem 95,511 Mbit/s. Nejnižší

propustnost byla u rámce 256 B, u tohoto rámce je tedy propustnost sice vyhovující, ale za cenu ztráty kvality služeb. Zbylé rámce měly propustnost v přijatelném rozmezí. I zde dosáhly rámce velikosti 1 024 B a 1 518 B maximální zatížitelnosti 100 Mbit/s. Změřená zatížitelnost u rámců 256 B a 1 280 B se taktéž dá považovat za vyhovující. Zbylé rámce mají zatížitelnost vyhodnocenou jako nevyhovující. Ztrátovost se projevila u všech rámců, nejvíce pak u nejkratšího rámce 64 B, kdy dosáhla hodnoty 2,168 %. U ostatních rámců byla ztrátovost nižší, a tudíž i v povolených mezích. Hodnoty zpoždění nepřesáhli hodnotu 1 ms, proto jsou taktéž vyhovující pro jakýkoliv provoz na síti. Obecně tedy síť je z pohledu propustnosti vyhovující pro všechny typy služeb, taktéž zpoždění neovlivní kvalitu ani jedné služby. Pouze ztrátovost ovlivňuje službu hlas a to při nejmenším rámci je hodnota ztrátovosti pro tuto službu nevyhovující. Ostatní rámce mají kvalitu této služby alespoň na akceptovatelné úrovni.

Tabulka 7.35: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 3 pro útlum 18,2 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	48,554	3,125	2,168	0,55293
128	93,67	12,713	0,624	0,66368
256	38,386	29,016	0,305	0,57073
512	95,511	14,874	0,307	0,71744
1 024	49,385	100	0,644	0,80597
1 280	80,645	30,601	0,011	0,84208
1 518	74,515	100	0,394	0,83246

#### Nastavený útlum 18,1 dB (délka trasy 64,64 km)

Tato vzdálenost byla poslední měřenou vzdáleností, jelikož už při předchozím měření byly parametry sítě na dost kvalitní úrovni. Všechna naměřená data shrnuje tabulka 7.36. Propustnost je celkově v tomto případě o něco nižší než v předešlém měření. Nejvyšší propustnosti dosáhl rámec velikosti 1 280 B, hodnota propustnosti byla 93,795 Mbit/s. Nejmenší hodnota propustnosti byla, zjištěna u rámce 256 B. Vyhovující propustnost tedy mají všechny rámce, pouze u rámců 256 B a 1 518 B je sice vyhovující ovšem s menším zhoršením kvality služeb. Zatížitelnost nedosáhla ani v jednom případě na nejvyšší hodnotu. Dalo by se říci, že vyhovující zatížitelnost mají všechny velikosti rámců, kromě rámce 64 B a rámce 1 024 B. Test ztrátovosti ukázal na velké rozdíly ve ztrátách rámců mezi jednotlivými velikostmi rámců. Pro rámec 64 B dosáhla ztrátovost hodnoty 2,719 %, naopak u rámce 512 B je ztrátovost nulová. Tedy ztrátovost se dá považovat za vyhovující u všech rámců. Parametr zpoždění je vyhodnocen jako vyhovující a to i přes vyšší hodnotu u rámce velikosti 1 518 B. Kvalitu služeb video a data příliš neovlivní parametry ztrátovosti a zpoždění, pouze parametr propustnost v některých případech zhorší lehce kvalitu. Službu hlas ovlivňuje pouze ztrátovost, kdy při nejmenším rámci je tato služba nemožné provozovat, pro ostatní rámce je pak v akceptovatelných mezích.

Tabulka 7.36: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 3 pro útlum 18,1 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	47,457	0,788	2,719	0,63282
128	53,623	51,235	0,48	0,52593
256	36,898	40,738	0,482	0,5607
512	43,894	52,786	0	0,66255
1 024	78,911	3,248	0,644	0,82263
1 280	93,795	66,044	0,666	0,88128
1 518	38,75	58,302	0,468	4,37984

### 7.3.2 Měření EtherSAM

Použité nastavení a parametry jednotlivých služeb jsou opět shodné se začátkem kapitoly 7.1.2.

#### Nastavený útlum 18,5 dB (délka trasy 66,07 km)

První měření testu konfigurace bylo potřeba opakovat pro jednotlivé služby, jelikož na první pokus byla proměřena pouze služba video, zbylé služby byly doměřeny v opakovaném pokusu. Výsledná změřená data jsou zapsána v tabulce 7.37. Z tabulky lze vyčíst, že hodnoty propustnosti jsou v tomto případě hodně pod maximální úroveň, proto je vyhovující pro službu video a hlas, ale se značnou ztrátou kvality, služba data má nevyhovující propustnost. Variabilita zpoždění i přes docela vysoké hodnoty je u všech služeb vyhodnocena jako vyhovující. Všechny služby mají vysokou hodnotu ztrátovosti, kdy u služby data je ztracena téměř třetina odeslaných paketů. Proto je pro službu hlas a data ztrátovost nevyhovující, pro službu video je vyhovující, ale dochází k zhoršení kvality. Zpoždění má sice vyšší hodnoty, ale pro konfiguraci služeb na této síti nemá větší vliv. Síť je tedy nevhodně nakonfigurována pro služby hlas a data, služba video má vyhovující konfiguraci, ovšem dojde k většímu zhoršení kvality.

Tabulka 7.37: Test konfigurace EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,5 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	73,795	22,62	5,811	24,333
VoIP	0,943	18,942	3,085	22,999
Data	60,808	20,439	32,497	24,76

Test výkonnosti služeb proběhl s problémy, ale nakonec úspěšně. Naměřené hodnoty ukazuje tabulka 7.38. Parametry propustnosti jsou velmi špatné, u všech měřených služeb dosáhly pouze nulové hodnoty, proto je propustnost vyhodnocena jako nevyhovující ve všech případech. Hodnoty jitteru jsou pro všechny služby v bezproblémových mezích. Nejvíce ovlivňující parametr služeb je určitě ztrátovost, která dosahuje obrovských hodnot u všech služeb, proto je vyhodnocena

jako nevyhovující ve všech případech. Zpoždění se pohybuje okolo 13 ms, což zaručuje vyhovující podmínky provozu. Vzhledem k malé propustnosti a obrovské ztrátovosti je tato síť nevhodná pro všechny typy služeb.

Tabulka 7.38: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,5 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	0	7,549	34,657	12,851
VoIP	0	11,935	16,667	12,843
Data	0	9,569	24,745	12,852

### Nastavený útlum 18,45 dB (délka trasy 65,89 km)

Celý test konfigurace proběhl bez větších problémů. V tabulce 7.39 jsou všechny naměřené parametry. Hodnoty všech parametrů jsou již o poznání lepší než v předešlém měření. Hodnoty propustnosti jsou pořád zhoršené oproti maximální propustnosti celé sítě. Propustnost je vyhovující pro službu video a hlas, kde je ovšem malá ztráta kvality. Maximální propustnost u služby data nedosáhla na vyhovující úroveň. Hodnoty parametru jitter jsou u všech sledovaných služeb okolo 15 ms, což je přijatelná hodnota. Ztrátovost se nejvíce projevuje u služby data, kde dosahuje hodnot okolo 24 %, proto je vyhodnocena pro tuto službu jako nevyhovující. Taktéž velká ztrátovost u služby hlas je pro tuto službu nevyhovující. Malou a tudíž vyhovující ztrátovost má pouze služba video. Zpoždění je u všech služeb sice vyšší, ale bez většího vlivu na provoz. Celkově je tedy konfigurace sítě vhodná pouze pro službu video, s malou ztrátou kvality.

Tabulka 7.39: Test konfigurace EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,45 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	87,197	14,797	2,927	16,571
VoIP	0,983	14,479	2,529	16,593
Data	56,346	16,115	24,394	16,93

Simulováním provozu pomocí testu výkonnosti služeb, byly změřeny hodnoty parametrů, které zobrazuje tabulka 7.40. Průměrná propustnost nedosahuje ani u jedné služby hodnoty CIR. Rozdíly mezi hodnotou CIR a naměřenou propustností jsou velké, proto je tento parametr vyhodnocen jako nevyhovující. Parametr kolísání zpoždění má minimální hodnoty u všech služeb, je tedy vyhodnocen jako vyhovující. Ztrátovost nejvíce ovlivňuje službu video, kdy její hodnota je 10,709 %. Ztráta rámců je vyhovující pro službu video a data, u služby hlas dochází k velké ztrátě, a tudíž i k nízké kvalitě této služby na síti. Zpoždění se opět pohybuje v nízkých hodnotách, proto je vyhodnoceno jako bezproblémové u všech typů služeb. Celkově síť neovlivňují parametry zpoždění a jitter, ale pouze parametry propustnost a ztrátovost. Provoz všech služeb najednou na této síti není možný, jelikož vyhovující parametry má pouze služba video, a to ještě s určitou ztrátou kvality.

Tabulka 7.40: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,45 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	8,102	0,409	10,709	2,287
VoIP	0,102	1,338	5,76	2,287
Data	70,27	0,349	7,396	2,287

#### Nastavený útlum 18,4 dB (délka trasy 65,71 km)

Test konfigurace sítě v tomto případě již ukázal výrazné zlepšení všech parametrů. Jednotlivé hodnoty jsou vypsány v tabulce 7.41. Hodnoty propustnosti jsou již velmi vysoké, téměř dosahují maxima propustnosti sítě. Proto je tento parametr vyhodnocen jako vyhovující pro všechny služby. Kolísání zpoždění je trošku vyšší v případě služby video, ale i tak je vyhodnoceno jako vyhovující pro tuto i ostatní služby. Nulové ztrátovosti dosáhly služby video a VoIP, takřka zanedbatelnou ztrátovost má služba data. Ztrátovost je tedy opět vyhovující. Změřené zpoždění u služby video je dvakrát vyšší než u ostatních služeb, ale i tak ve vyhovujících mezích. O konfiguraci této sítě, je tedy možné říct, že je připravena pro bezproblémový provoz jakýkoliv typů služeb.

Tabulka 7.41: Test konfigurace EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,4 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,536	14,428	0	16,519
VoIP	1	6,477	0	8,541
Data	99,708	8,122	0,446	8,845

Výsledky testu výkonnosti služeb jsou v tabulce 7.42. Již na první pohled je parametr průměrná propustnost lepší oproti předchozímu nastavenému útlumu. Ovšem pouze v případě služby hlas dosáhne na hodnotu CIR. U ostatních služeb je lehce pod touto úrovní, i proto je vyhodnocena pro všechny služby jako vyhovující. Parametr sítě jitter je u všech služeb na nízké hodnotě, proto je taktéž vyhovující pro provoz bez ztráty kvality. Nejvyšší ztrátovost dosahuje služba video a to 0,204 %, ale i tak je vyhodnocena jako vyhovující pro každou službu. Zpoždění je poněkud vyšší, ale nemá větší vliv na správnou funkčnost sítě. Z pohledu reálného provozu je tato síť vhodná pro provoz všech typů služeb najednou, a to bez větších ztrát kvality.

Tabulka 7.42: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,4 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,57	7,891	0,204	22,207
VoIP	0,126	8,161	0,023	22,203
Data	89,147	5,839	0,103	22,207



**Nastavený útlum 18,3 dB (délka trasy 65,36 km)**

Výsledné hodnoty (tabulka 7.43) se již příliš neliší od hodnot parametrů zjištěných v předchozím měření. Je to dáno dobrou stabilitou sítě. Hodnoty propustnosti jsou již téměř na maximální možné hranici, proto jsou vyhovující pro všechny služby. Parametr jitter je nejnižší u služby data, zbylé služby mají tento parametr vyšší, ale přesto vyhodnocen jako vyhovující. Ztrátovost je u všech služeb na nulové hranici, nemá tedy vliv na kvalitu služeb. Zpoždění se taktéž pohybuje v povolených mezích, vyhovuje tedy všem požadavkům. Celková konfigurace sítě na této vzdálenosti je vhodná pro provoz všech typů služeb.

*Tabulka 7.43: Test konfigurace EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,3 dB*

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,995	7,058	0	8,691
VoIP	1	6,511	0	8,402
Data	99,985	0,406	0,004	6,972

Změřená data výkonnostního testu jsou v tabulce 7.44. Průměrná propustnost opět splňuje požadavky pouze u služby hlas. Pro ostatní služby je pod hranicí CIR, ale rozdíl není velký, proto je vyhodnocena jako vyhovující ve všech případech služeb. Variabilita zpoždění se pohybuje okolo 7,5 ms u všech jednotlivých služeb, je proto taktéž brána jako vyhovující. Ztrátovost je změřena u všech typů služeb, její hodnoty jsou ovšem velmi nízké až zanedbatelné. Zpoždění má stejnou hodnotu 22,196 ms pro všechny služby, i přes tuto poněkud vyšší hodnotu je ve vyhovujících mezích. Tudíž tato síť splňuje bez větší ztráty kvality všechny požadavky pro provoz všech služeb najednou.

*Tabulka 7.44: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,3 dB*

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,568	7,522	0,228	22,196
VoIP	0,126	7,521	0,006	22,196
Data	89,146	7,521	0,094	22,196

**Nastavený útlum 18,2 dB (délka trasy 65 km)**

Hodnoty parametrů při tomto nastaveném útlumu jsou v tabulce 7.45. Maximální propustnost je již na úrovni zaručující bezvadnou kvalitu všech služeb. Parametr jitter je vyšší u služeb video a hlas, u služby data je minimální hodnotě. Proto je tento parametr z hlediska konfigurace sítě vhodný u všech typů služeb. Každá služba dosáhla nulové ztrátovosti, což je ideální výsledek. Zpoždění je v tomto případě v hodnotách okolo 8 ms, je tedy vyhovující. Nastavená vzdálenost a konfigurace sítě je vhodná pro provoz všech služeb bez problémů.

Tabulka 7.45: Test konfigurace EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,2 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,992	6,983	0	8,743
VoIP	1	6,543	0	8,438
Data	99,985	0,407	0,001	5,932

Výsledky testu výkonnosti jsou zapsány v tabulce 7.46. Hodnoty se opět oproti předchozímu měření příliš nezměnily. Ideálně vhodné propustnosti dosáhla pouze služba hlas, další služby měly propustnost pod hranicí CIR, ovšem se zanedbatelným rozdílem, proto maximální propustnost vyhovuje všem službám. Variabilita zpoždění je v tomto případě na hodnotě cca. 4 ms, neovlivní tedy kvalitu služeb na síti. Nejvyšší ztrátovosti dosáhla služba video, ovšem ztrátovost byla minimální. Je tedy u této i zbylých služeb vyhodnocena jako vyhovující. Zpoždění mělo opět vyšší hodnoty, ale bez většího vlivu na provoz služeb na síti. Zhodnocením naměřených parametrů tedy vyšlo, že tato síť je vhodná pro provoz bez ztrát kvality u všech služeb.

Tabulka 7.46: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,2 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,568	4,27	0,227	22,199
VoIP	0,126	4,262	0	22,186
Data	89,149	4,268	0,091	22,199

#### Nastavený útlum 18,1 dB (délka trasy 64,64 km)

Poslední měření této topologie je na tomto nastaveném útlumu, jelikož již předchozí měření ukázali na velmi kvalitní parametry sítě, které se dle předpokladu se snižujícím útlumem zlepšují. Hodnoty získané tímto testem konfigurace jsou v tabulce 7.47. Maximální propustnost opět dosahuje téměř ideálních parametrů, proto je vyhodnocena jako vyhovující. Jitter má vyšší hodnoty u služeb video a hlas, ale i tak je vyhovující. Jednotlivé služby dosahují nulové ztrátovosti, ztrátovost tedy neovlivní kvalitu. Díky malým hodnotám zpoždění, ani tento parametr sítě neovlivňuje kvalitu služeb. Celková konfigurace při tomto nastaveném útlumu je tedy vhodná pro provoz každé služby bez ztráty kvality.

Tabulka 7.47: Test konfigurace EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,1 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,99	7,002	0	8,695
VoIP	1,001	6,486	0	8,417
Data	99,986	0,433	0	5,402

Výsledky získané simulováním reálného provozu na síti, pomocí testu výkonnosti služeb, jsou zapsány v tabulce 7.48. Průměrná propustnost se pohybuje s malým rozdílem pod úrovní CIR, ovšem nemá větší vliv na kvalitu jednotlivých služeb. Kolísání zpoždění má u všech služeb hodnoty v povolených mezích, proto je vyhovující pro reálný provoz. Výsledky naměřené u ztrátovosti jsou velmi nízké, nejvyšší ztrátovost má opět služba video, ovšem hodnota je natolik nízká, že nemá vliv na kvalitní poskytování této ani ostatních služeb. Zpoždění dosahuje stejných hodnot u všech testovaných služeb, i přes vyšší hodnoty je vyhodnoceno jako vyhovující. Provoz všech typů služeb najednou přes síť, je tedy bezproblémový, a proto síť vyhovuje všem požadavkům jednotlivých služeb.

Tabulka 7.48: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 3 pro útlum 18,1 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,567	5,51	0,235	22,203
VoIP	0,126	5,5	0,011	22,203
Data	89,149	5,511	0,091	22,203

### 7.3.3 Zhodnocení topologie 3

Změřené výsledky ukazují na velkou nestabilitu sítě při nastavení a měření maximální vzdálenosti fungování sítě. Služby na této vzdálenosti není možné provozovat, což potvrdily oba dva testy. Nastavením útlumu na 18,45 dB již některé parametry sítě, dle testu EtherSAM, splnily požadavky pro provoz, ovšem reálný provoz na tomto útlumu není možný ani pro službu hlas ani pro službu data. Služba video zde má velmi nízkou kvalitu. Test RFC 2544 vyhodnotil tuto vzdálenost jako nevyhovující pro jakýkoliv provoz. Dalším snížením útlumu na 18,4 dB test RFC 2544 naměřil všechny parametry sítě, ovšem propustnost nebyla vhodná pro jakýkoliv provoz. Test EtherSAM, při tomto útlumu již povolil provoz všech služeb bez větších omezení. Postupným snižováním útlumu se parametry získané pomocí testu již příliš nelišily, výsledek byl vždy, že síť je vhodná pro provozování všech typů služeb. Tento fakt potvrdil i test RFC 2544, i když jeho výsledné hodnoty byly zhoršené, jelikož test RFC 2544 je starší a není konfigurován na přímé měření kvality jednotlivých služeb jako je tomu u testu EtherSAM. Měření bylo provedeno pouze pro útlum zmenšený o 0,5 dB od maximálního možného útlumu, jelikož dle výše uvedených výsledků se síť v případě mírného snížení útlumu chová již velmi stabilně a její parametry zaručují výbornou kvalitu všech služeb.

Sloupcové grafy zajišťující grafické zpracování všech parametrů u všech nastavených hodnot útlumu jsou zobrazeny v tištěné příloze III. Reporty z měřicího přístroje EXFO FTB-1/860 NetBlazer jsou v příloze VIII na příloženém CD.

## 7.4 Měření topologie 4

### 7.4.1 Měření RFC 2544

Při měření opět nebylo použito žádné omezení ve formě QoS. Byly ponechány všechny výchozí nastavené parametry jednotlivých testů.

#### Nastavený útlum 18,9 dB (délka trasy 67,5 km)

Celá síť byla velmi nestabilní, proto nebylo možné dokončit kompletní test. Proběhl nekompletní test propustnosti a to pro první čtyři velikosti rámců. Výsledek byl u všech stejný a to nulová hodnota propustnosti. Zbylé rámce tento test již neproměřil. Při opakovaném pokusu byl částečně dokončen test propustnosti se stejným výsledkem. Test zatížitelnosti, ztrátovosti a zpoždění při tomto nastaveném útlumu nebylo možné dokončit. Z důvodu velké nestability není tato síť vhodná pro jakýkoliv provoz služeb.

#### Nastavený útlum 18,85 dB (délka trasy 67,32 km)

V tomto případě je síť stabilnější, ovšem i tak nebylo možné dokončit všechny testy kompletní. Proběhli testy propustnosti, zatížitelnosti a částečný test ztrátovosti viz. Tabulka 7.49. Hodnoty propustnosti jsou velmi nízké, nejvyšší hodnoty dosahuje propustnost u rámce 1 024 B a to 5 Mbit/s. Z tohoto důvodu je propustnost vyhodnocena jako nevyhovující. Test zatížitelnosti taktéž proběhl bez problému, ovšem hodnoty zatížitelnosti jsou hluboko pod tolerovatelnou hranicí, proto jsou všechny taktéž vyhodnoceny jako nevyhovující. Test ztrátovosti byl dokončen pouze pro první čtyři velikosti rámců. Ztrátovost zjištěna u všech změřených rámců byla poměrně vysoká a tudíž nevyhovující. Test zpoždění nebyl proměřen, jelikož síť spadla. Zjištěné parametry sítě naznačují, že i u tohoto nastaveného útlumu není síť vhodná pro jakýkoliv provoz.

Tabulka 7.49: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 4 pro útlum 18,85 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	0,25	0,08	2,83	Nezměřeno
128	0	0,152	0,16	Nezměřeno
256	1,875	0,085	1,966	Nezměřeno
512	1,875	0,074	2,137	Nezměřeno
1 024	5	0,121	Nezměřeno	Nezměřeno
1 280	0,875	0,129	Nezměřeno	Nezměřeno
1 518	0,625	0,203	Nezměřeno	Nezměřeno

#### Nastavený útlum 18,8 dB (délka trasy 67,14 km)

Snížením útlumu na tuto hodnotu již proběhl kompletní test. Jeho výsledky jsou zapsány v tabulce 7.50. Hodnoty parametrů jsou již o něco lepší než u předchozího měření, ovšem opět zdaleka nedosahují nejlepších možných hodnot. Nejvyšší propustnost je naměřena u rámce velikosti 256 B a to s výsledkem 15,628 Mbit/s. Hodnoty ostatních rámců jsou nižší, a tudíž pro všechny rámce je propustnost vyhodnocena jako nevyhovující. Zatížitelnost má nejlepší nejdlejší

rámec a to 0,818 Mbit/s. Z tohoto důvodu je i zatížitelnost vyhodnocena jako nevyhovující. Testem ztrátovosti byla zjištěna ztráta, u všech testovaných délkách rámců. Nejvyšší ztrátovost má rámec délky 64 B a to skoro 2 %. Proto je ztrátovost u nejkratšího a nejdelšího rámce vyhodnocena jako nevyhovující, ztrátovost ostatních rámců se pohybuje v přijatelných mezích. K většímu nárůstu zpoždění došlo od rámce 512 B, kdy zpoždění vzrostlo o skoro 4 ms, ale i tak je výsledek testu zpoždění vyhodnocen jako vyhovující. Z důvodu velmi malé propustnosti a zatížitelnosti tato síť na této vzdálenosti není vhodná pro jakýkoliv provoz služeb.

Tabulka 7.50: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 4 pro útlum 18,8 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	10	0,09	1,959	0,4946
128	2,25	0,538	0,691	0,53796
256	15,628	0,15	0,279	0,50566
512	12	0,129	0,111	4,35926
1 024	14,376	0,146	0,777	2,90782
1 280	15,001	0,4	0,937	4,40185
1 518	15	0,818	1,859	5,59475

#### Nastavený útlum 18,7 dB (délka trasy 66,79 km)

Tabulka 7.51 zobrazuje parametry, které se již výrazně zlepšily oproti měření při nastaveném útlumu 18,8 dB. Výsledné hodnoty propustnosti jsou mnohem lepší. Žádná velikost rámce neměla maximální možnou propustnost, nejvyšší propustnost má nejdelší rámec 1 518 B a to 90,046 Mbit/s. Propustnost je tedy vyhodnocena jako vyhovující, ovšem u rámců 128 B a 1 024 B s jistou ztrátou kvality služeb. Hodnoty zatížitelnosti jsou dosti rozdílné mezi jednotlivými velikostmi rámců. Nejlepší zatížitelnosti 84,632 Mbit/s, dosahuje rámec 1 518 B. Vyhovující zatížitelnost je ještě u rámců o velikostech 256 B a 1 280 B, pro ostatní rámce je zatížitelnost nevyhovující. Ztrátovost je nejvyšší u rámce velikosti 64 B, kde její hodnota je 1,448 %. Ztrátovosti u ostatních rámců jsou nižší, proto výsledek testu ztrátovosti je vyhovující. Zpoždění nepřesáhne hranici 1 ms ani v jednom případě, proto je pro provoz sítě nelimitující. Z výše uvedených důvodů je síť při této vzdálenosti vhodná pro bezproblémový provoz služeb video a data. Jediné omezení skýtá ztrátovost a to pro službu hlas, kdy je u většiny rámců pouze na akceptovatelné úrovni.

Tabulka 7.51: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 4 pro útlum 18,7 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	83,168	3,32	1,448	0,62608
128	43,916	15,631	0	0,60813
256	59,482	78,177	0,641	0,62726
512	88,225	0,806	0,277	0,70952
1 024	46,052	3,152	0,543	0,79115
1 280	63,137	53,158	0,562	0,79661
1 518	90,046	84,632	0,394	0,87768

#### Nastavený útlum 18,6 dB (délka trasy 66,43 km)

Test této vzdálenosti proběhl za kratší čas než předešlé měření. Výsledné hodnoty se příliš nezměnily, jak lze vidět z tabulky 7.52. U rámce 1 518 B byla změřená maximální možná propustnost 100 Mbit/s. Naopak nejnižší propustnost má rámec 128 B, kdy je již propustnost na hranici vyhovujících podmínek. Pro ostatní rámce je propustnost v přijatelných mezích, ovšem u rámce 256 B ještě může dojít k zhoršení kvality služeb. Test zatížitelnosti vyšel pro všechny rámce jako nevyhovující, jelikož nejvyšší zatížitelnost dosahuje rámec 1 024 B, kde zatížitelnost je 24,458 Mbit/s, což je dosti nízké číslo vzhledem k maximální propustnosti sítě. Ztrátovost je u rámců velikostí 64 B, 256 B, 512 B a 1 518 B. Vzhledem k relativně nízkým hodnotám ztrátovosti je výsledek testu vyhovující. Zpoždění se zvětšující se velikostí rámce mírně zvětšovalo, ale i tak je pořád ve vyhovujících mezích. Z celkového hlediska je síť vyhovující pro všechny druhy služeb, pouze u služby hlas dochází k poklesu kvality díky ztrátovosti.

Tabulka 7.52: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 4 pro útlum 18,6 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	67,2	31,46	1,961	0,60088
128	32,104	12,549	0	0,61569
256	38,174	3,128	0,224	0,65833
512	46,02	0,587	0,439	0,71708
1 024	53,129	24,458	0	0,72809
1 280	99,009	3,192	0	0,87901
1 518	100	14,161	0,714	1,25643

#### Nastavený útlum 18,5 dB (délka trasy 66,07 km)

S ohledem na předchozí výsledky měření je tento nastavený útlum poslední, jelikož opět se zmenšováním útlumu by se výsledky příliš nelišili. Naměřená data jsou v tabulce 7.53. Maximální propustnosti nedosahuje žádný rámec. Nejbližší k maximu je rámec velikosti 1 024 B, kde propustnost dosahuje hodnoty přes 99 Mbit/s. Propustnost je tedy vyhodnocena jako vyhovující pro

všechny velikosti rámců, u rámců 128 B a 1 518 B je ovšem zhoršená a tudíž i kvalita provozu služeb je horší. Test zatížitelnosti ukázal na vyhovující parametry u většiny rámců, pouze u rámce 128 B je vyhodnocen jako nevyhovující. U tří velikostí rámců je dokonce zatížitelnost 100 Mbit/s. Nejvyšší ztrátovost je u rámce 64 B, kde hodnota se blíží k 3 %. Z tohoto pohledu je test ztrátovosti vyhodnocen u tohoto rámce jako nevyhovující, ostatní rámce mají ztrátovost v normálních mezích. Zpoždění se pohybuje v hodnotách do 1 ms, pouze u posledního rámce se výrazně zvýšilo na hodnotu přesahující 7 ms. I přes tuto vyšší hodnotu je celý test vyhovující. O síti při nastavení tohoto útlumu, je tedy možné říci, že je vhodná pro bezproblémový provoz služeb video a data, službu hlas ovlivňuje parametr ztrátovost, jelikož je u většiny velikostí rámců tato služba na akceptovatelné úrovni kvality.

Tabulka 7.53: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 4 pro útlum 18,5 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	71,794	31,25	2,807	0,59084
128	36,907	0,123	0,231	0,48822
256	45,024	100	0,667	0,61718
512	85,668	100	0,622	0,70854
1 024	99,051	100	0,234	0,8321
1 280	98,559	52,186	0	0,89141
1 518	38,75	97,028	0,247	7,27613

#### 7.4.2 Měření EtherSAM

Pro měření tohoto testu u této topologie byly opět použity nastavené parametry jednotlivých služeb, které jsou popsány na začátku kapitoly 7.1.2.

##### Nastavený útlum 18,9 dB (délka trasy 67,5 km)

Celý test konfigurace proběhl bez problému hned u prvního měření. Výsledné parametry (Tabulka 7.54) jsou hned u nejvyššího nastaveného útlumu, relativně kvalitní. Propustnost nedosáhla maximální hodnoty ani u jedné služby. I přes to, že žádná služba nedosahuje maximální možné propustnosti je tento parametr vyhodnocen jako vyhovující. Změřené hodnoty parametru jitter jsou vyšší u každé služby. Ovšem pohybují se v povolených mezích, proto jejich výsledek je vyhovující. Ztráty rámců se nejvíce projevily u služby data, kde ztrátovost dosahuje hodnoty skoro 10 %. Celkově je ovšem ztrátovost vyhovující pro všechny služby, ztráty kvality způsobené tímto parametrem jsou minimální. Zpoždění se pohybuje v přijatelné mezi okolo 16 ms, proto je pro konfiguraci jednotlivých služeb vyhovující. Nastavená konfigurace této sítě vyhovuje provozu všech služeb, pouze se zmenší kvalita každé služby, ovšem tato změna je malá.

Tabulka 7.54: Test konfigurace EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,9 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	97,017	14,688	0,716	15,979
VoIP	0,998	13,204	0,401	16,165
Data	98,193	16,091	9,904	16,896

Test výkonnosti služeb dělal při měření potíže, jelikož se nedařilo navázat spojení měřicího přístroje s Loop Back jednotkou. Nakonec měření proběhlo na první pokus s výsledky vypsány v tabulce 7.55. Průměrná propustnost je v případě služby video o 0,8 Mbit/s menší než hodnota CIR, nepatrný rozdíl propustnosti a hodnoty CIR je taktéž u VoIP a docela velký rozdíl 7 Mbit/s je v případě služby data. I tak je propustnost vyhodnocena jako vyhovující, ovšem dojde k větší ztrátě kvality všech služeb. Parametry variabilita zpoždění a zpoždění jsou v přijatelných mezích a tudíž i vyhovující pro všechny provoz na síti. Naměřená ztrátovost příliš neovlivní služby video a data, ale ovlivní kvalitu služby hlas, kde kvalita poklesne z dobré úrovně na akceptovatelnou úroveň. Simulace reálného provozu tedy ukázala, že je provoz na této síti možný pro všechny služby najednou s určitou ztrátou kvality, díky menší propustnosti.

Tabulka 7.55: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,9 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	9,773	2,913	3,018	3,958
VoIP	0,119	2,915	1,243	3,957
Data	82,879	2,917	2,11	3,959

#### Nastavený útlum 18,85 dB (délka trasy 67,32 km)

Naměřené hodnoty v této nastavené vzdálenosti se mírně zlepšily oproti předešlému měření. Všechny výsledky jsou v tabulce 7.56. Maximální propustnosti jednotlivých služeb se pohybují lehce pod hranicí maximální možné propustnosti celé sítě. Propustnost je tedy vhodná pro všechny služby. Kolísání zpoždění je nejmenší u služby data, ovšem i pro ostatní služby je pořád ve vyhovujících mezích. I přes vyšší ztrátovost u služby data je vzhledem k maximální propustnosti tato ztrátovost zanedbatelná, proto i tento parametr sítě vyhovuje. Zpoždění je nejmenší opět u služby data, ovšem i pro ostatní služby má vyhovující parametry. Konfigurace sítě tedy vyhovuje požadavkům všech služeb.

Tabulka 7.56: Test konfigurace EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,85 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,233	14,318	0,056	15,57
VoIP	0,999	13,316	0	14,039
Data	99,325	8,315	1,634	8,985



Test výkonnosti služeb taktéž naměřil výsledky, které jsou mírně zlepšené, než u měření s nastaveným útlumem 18,9 dB viz. Tabulka 7.57. Hodnoty průměrné propustnosti nedosahují nastaveného CIR, ani pro jednu službu. Ale i tak je rozdíl naměřené průměrné propustnosti malý, a tudíž i propustnost je vyhovující. Variabilita zpoždění se pohybuje u všech služeb okolo 7 ms, což je hodnota zaručující výbornou kvalitu každé služby. Hodnoty ztrátovosti jsou dobré, jediné omezení je u služby hlas, kde není kvalita služby na dobré nýbrž na akceptovatelné úrovni. Parametr zpoždění je nízký, proto kvalitu služeb neovlivňuje. Test výkonnosti služeb tedy ukázal, že takto nakonfigurovaná síť je vhodná pro provoz všech služeb najednou.

Tabulka 7.57: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,85 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,43	7,886	1,538	8,872
VoIP	0,125	6,58	0,784	7,703
Data	88,261	7,885	1,013	8,872

#### Nastavený útlum 18,8 dB (délka trasy 67,14 km)

Hodnoty testu konfigurace jsou zobrazeny v tabulce 7.58. Jak lze vyčíst z tabulky, tak se veškeré hodnoty mírně zlepšily, oproti předešlému nastavenému útlumu. Propustnost se u všech služeb pohybuje na hranici maximální propustnosti sítě, tedy tento parametr je vyhodnocen jako vyhovující. Variabilita zpoždění dosahuje maximální hodnoty u služby data. Ostatní služby mají tento parametr nižší, a tudíž i vyhovující. Ke ztrátě rámců došlo pouze v případě služby data, její velikost je ovšem malá, proto taktéž neomezuje žádnou službu. Zpoždění se pohybuje u všech služeb v relativně malých hodnotách, tudíž ani tento parametr nijak neomezuje konfiguraci jednotlivých služeb. Test konfigurace ukázal, že síť je vhodná pro provoz všech typů služeb bez většího omezení.

Tabulka 7.58: Test konfigurace EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,8 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,366	7,013	0	8,763
VoIP	1	6,535	0	8,509
Data	99,552	8,384	1,724	8,939

I test výkonnosti služeb (Tabulka 7.59) v tomto případě ukázal na mírné zlepšení všech parametrů. Vzhledem k nastaveným parametrům CIR, je vyhovující pouze služba VoIP. Ovšem zbylé služby se tomuto parametru velmi blíží a tudíž jejich ztráta kvality je zanedbatelná a průměrná propustnost je vyhovující. Parametr jitter je u všech služeb do 6 ms, což je výsledek zaručující bezproblémový provoz těchto služeb na síti. Ztrátovost u všech služeb nepřesahuje povolenou mez, proto je taktéž vyhodnocena jako vyhovující. Zpoždění je u všech služeb podobné

a navíc i velmi nízké, samozřejmě je vyhodnoceno jako vyhovující. Celkově na této síti je provoz všech služeb najednou bez větších ztrát kvality, a proto je tato síť vhodná pro tento provoz.

Tabulka 7.59: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,8 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,521	5,741	0,68	6,684
VoIP	0,126	5,861	0,377	6,671
Data	88,824	5,738	0,455	6,685

#### Nastavený útlum 18,7 dB (délka trasy 66,79 km)

Hodnoty všech sledovaných parametrů testu konfigurace pro tento nastavený útlum jsou v tabulce 7.60. Maximální propustnost se opět mírně zlepšila. Její hodnota se opět pohybuje těsně pod hranicí maxima sítě. Je tedy vyhovující pro jednotlivé služby. Parametr jitter je nejmenší u služby data, ovšem rozdíl mezi touto a zbylými službami není velký, proto i parametr jitter je vyhovující pro jednotlivé konfigurace služeb. Ztrátovost je u služeb video a hlas nulová, u služby data je velmi malá. Ztrátovost tedy neovlivňuje kvalitu žádné služby. Zpoždění se u všech služeb pohybuje okolo 8 ms, tudíž jeho hodnota je vyhovující. Nastavení sítě je tedy vhodné pro provoz jednotlivých služeb bez omezení.

Tabulka 7.60: Test konfigurace EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,7 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,997	6,991	0	8,688
VoIP	1	6,486	0	8,571
Data	99,988	3,426	0,064	8,11

Simulací reálného provozu pomocí testu výkonnosti byly zjištěny hodnoty parametrů služeb vypsané v tabulce 7.61. Průměrná propustnost dosahuje hodnoty CIR pouze u služby hlas. Další služby dosahují hodnot menších než CIR, ovšem rozdíl je velmi nízký. Dá se tedy říct, že parametr propustnost vyhovuje požadavkům pro provoz všech služeb bez větších ztrát kvality. Kolísání zpoždění se u všech služeb příliš neliší, jeho hodnota je okolo 7,6 ms, verdikt testu tohoto parametru je tedy vyhovující. Ztráta rámců je největší u služby video, ovšem hodnota je minimální, proto pro tuto i zbylé služby je ztrátovost vyhovující. Zpoždění dosahuje poněkud vyšších hodnot, ale i tak je v povolených mezích. Celkově tedy síť zvládá provoz všech služeb bez větších problémů.

Tabulka 7.61: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,7 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,567	7,696	0,238	22,202
VoIP	0,126	7,69	0,006	22,202
Data	89,148	7,693	0,093	22,205

#### Nastavený útlum 18,6 dB (délka trasy 66,43 km)

Výsledné hodnoty testu konfigurace při této vzdálenosti znázorňuje tabulka 7.62. Většina parametrů se oproti předchozímu měření příliš nezměnila, je to dáno již velkou stabilitou sítě. Maximální propustnost je dosažena pouze u služby hlas, a to z důvodu omezení parametrů této služby v nastavení testu. Propustnost ostatních služeb se oproti maximálním hodnotám sítě liší minimálně, proto je vyhodnocena u všech služeb jako vyhovující. Jitter je opět nižší u služby data, kde dosahuje téměř nulových hodnot. Další služby mají tento parametr okolo 7 ms, jsou tedy taktéž vyhovující. Ztrátovost je u všech služeb nulová, proto v žádném případě neomezí kvalitu. Zpoždění se pohybuje okolo 8 ms u služeb video a hlas a okolo 1,5 ms u služby data, je tedy vždy v bezproblémových mezích. Síť je tedy vhodně nakonfigurována pro provoz každého typu služeb.

Tabulka 7.62: Test konfigurace EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,6 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,996	6,992	0	8,761
VoIP	1	6,543	0	8,399
Data	99,988	0,414	0	1,487

Naměřená data testu výkonnosti jsou v tabulce 7.63. S ohledem na nastavené CIR, je průměrná propustnost u všech služeb vyhodnocena jako vyhovující. Pro služby video a data propustnost nedosahuje požadované hodnoty CIR, ovšem rozdíl je minimální. Hodnoty variability zpoždění u žádné služby nepřesáhly 1 ms, což zaručuje velmi dobré podmínky provozu. Ztrátovost se projevila u služeb video a hlas, s minimálními hodnotami, proto je vyhodnocení vyhovující u všech služeb. Zpoždění je okolo 22 ms, i přes tuto vyšší hodnotu je stále ve vyhovujících mezích. Výsledky tedy ukazují na vhodnost sítě pro bezproblémový provoz všech služeb najednou.

Tabulka 7.63: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,6 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,567	0,23	0,227	22,207
VoIP	0,126	0,312	0	22,201
Data	89,151	0,229	0,086	22,208

**Nastavený útlum 18,5 dB (délka trasy 66,07 km)**

Tento nastavený útlum je poslední nastavený, jelikož výsledky jsou již velmi podobné výsledkům naměřeným u předchozích dvou měření. Hodnoty jednotlivých parametrů jsou v tabulce 7.64. Maximální propustnost je vyhovující pro každou službu, jelikož změřené hodnoty se od teoretického maxima liší pouze minimálně. Největšího jitteru dosahuje služba video a to necelých 7 ms. Vzhledem k takto nízké hodnotě je tento parametr vyhovující pro každou jednotlivou službu. Taktéž výbornou kvalitu služeb zaručuje ztrátovost, která je vždy nulová. Zpoždění dosahuje přijatelných mezí u všech služeb, nejmenší je u služby data. Vyhovuje tedy požadavkům každé služby. Celkový výsledek konfigurace je vyhovující pro každý typ služby.

*Tabulka 7.64: Test konfigurace EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,5 dB*

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,997	6,976	0	8,727
VoIP	1	6,478	0	8,407
Data	99,988	0,393	0	1,215

Naměřené hodnoty parametrů testu výkonnosti vypisuje tabulka 7.65. Jak je vidět z tabulky, všechny parametry jsou opět velmi podobné předchozímu měření. Průměrná propustnost se pohybuje mírně pod hranicí CIR, vyhovuje tedy požadované hodnotě. Variabilita zpoždění je u všech služeb nízká téměř nulová, proto má vyhovující výsledek. Díky velmi nízké ztrátovosti je kvalita každé služby na nejvyšší možné úrovni. Kvalitu neovlivní ani vyšší hodnoty zjištěné u zpoždění. Výsledky tedy opět potvrdili schopnost sítě provozovat všechny služby najednou bez jakéhokoli omezení nebo ztráty kvality.

*Tabulka 7.65: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 4 pro útlum 18,5 dB*

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,569	0,269	0,207	22,212
VoIP	0,126	0,255	0	22,206
Data	89,149	0,269	0,088	22,212

**7.4.3 Zhodnocení topologie 4**

Jelikož tato síť měla celkový útlum nejmenší ze všech topologií, je i dosah této sítě nejdelší. Test RFC 2544 ukázal nevhodnost této sítě pro provoz jakékoli služby při nastavení maximálního dosahu sítě, ovšem test EtherSAM ukázal opačný výsledek, i když s určitou ztrátou kvality. Snížením útlumu na další měřenou hodnotu opět test RFC 2544 ukázala nevhodnost sítě pro provoz. Na druhou stranu EtherSAM ukázal již velmi dobré parametry u všech služeb. Snížením nastaveného útlumu na hodnotu 18,8 dB test RFC 2544 již proměřil celou síť, ale parametry ještě nedosáhly na požadovanou kvalitu. Test EtherSAM opět naměřil velmi kvalitní výsledky, které se s každým zmenšením útlumu nepatrně zlepšovaly. Tento fakt potvrzuje i test

RFC 2544, který od nastaveného útlumu 18,7 dB, měl taktéž povětšinou vyhovující parametry sítě. I když výsledky získané pomocí testu RFC 2544, jsou horší než v případě druhého testu, jelikož test RFC 2544 není konfigurován na testování jednotlivých služeb, ale pouze pro testování parametrů celé sítě. Měření bylo opět provedeno v rozsahu 0,5 dB od maximální vzdálenosti, jelikož bylo zjištěno, že síť má již ideální podmínky provozu každé služby a další měření nejsou potřeba.

Všechna naměřená data, ve formě pdf souborů, z měřicího přístroje EXFO FTB-1/860 NetBlazer jsou v příloze IX na příloženém CD. Grafické zpracování jednotlivých parametrů testu RFC 2544 jsou zobrazeny v tištěné příloze IV.

### 7.5 Měření topologie 5

#### 7.5.1 Měření RFC 2544

Při měření bylo ponecháno nastavení měřicího přístroje bez změn, proto je měření provedeno bez jakéhokoli omezení v podobě QoS.

##### **Nastavený útlum 16,7 dB (délka trasy 59,64 km)**

Jelikož síť na této vzdálenosti byla dosti nestabilní, nebylo možné dokončit celý test. Proběhl pouze nekompletní test propustnosti. Tento test proběhl pouze pro první čtyři velikosti rámců a to i přes opakované měření. Výsledky testu jsou velmi špatné, jelikož propustnost má hodnotu 0,625 Mbit/s u rámce 64 B, u rámce 128 B má hodnotu 0,25 Mbit/s a u rámců velikosti 256 B a 512 B má nulovou hodnotu. Zbylé rámce nebylo možné změřit, výsledek testu tedy je nevyhovující. Další testy zatížitelnosti, ztrátovosti a zpoždění neproběhli vůbec. Z těchto důvodů je síť na této vzdálenosti nevhodná pro provoz jakýkoliv služeb.

##### **Nastavený útlum 16,65 dB (délka trasy 59,46 km)**

Na této vzdálenosti proběhl kompletní test RFC 2544, ovšem výsledné hodnoty jsou dosti nepříznivé. Všechny jsou zaznamenány v tabulce 7.66. Propustnost dosahuje velmi nízkých hodnot u všech velikostí rámců. Nejvyšší propustnost má rámeček 256 B a to 7,5 Mbit/s. Parametr propustnost je tedy vyhodnocen jako nevyhovující. Test zatížitelnosti vyšel pro všechny rámce s velmi nízkými hodnotami. Nejvyšší zatížitelnosti dosahuje rámeček velikosti 512 B, zatížitelnost zde má hodnotu 1,564 Mbit/s, což je nevyhovující výsledek. Taktéž je nevyhovující výsledek i u ostatních rámců. Ztrátovost se vyskytuje u všech délek rámců. Nejvyšší ztráta nastává u rámce 1 280 B a to 3,131 %. Test ztrátovosti je vyhodnocen jako nevyhovující, jelikož se naměřené hodnoty pohybují v relativně vyšších číslech. Zpoždění dosahuje u všech rámců hodnot okolo 5 ms, i přes tyto poněkud vyšší hodnoty je celý tento test vyhodnocen jako vyhovující. Z těchto výsledků vyplývá, že síť není vhodná pro provoz jakýkoliv služeb.

Tabulka 7.66: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 5 pro útlum 16,65 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	1,875	0,101	1,459	7,632
128	1,875	0,098	0,087	5,67222
256	7,5	0,202	0,939	5,13189
512	5,625	1,564	0,916	4,48776
1 024	5,625	0,125	1,195	5,67001
1 280	4,375	0,098	3,131	4,24722
1 518	4,375	0,689	2,744	6,40813

**Nastavený útlum 16,6 dB (délka trasy 59,29 km)**

Zde již proběhl kompletní test s výrazně zlepšenými parametry sítě. Výsledky ukazuje tabulka 7.67. Propustnost nedosáhne ani u jednoho rámce na maximální možnou hranici. Její hodnoty jsou sice vyšší než u předešlého měření, ale pořád nejsou plně vyhovující. Nejvyšší propustnost má rámec velikosti 1 024 B, hodnota je zde 85,016 Mbit/s. Přesto je test propustnosti vyhodnocen jako vyhovující, ovšem s určitou ztrátou kvality jednotlivých služeb. Hodnoty zatížitelnosti jsou opět nižší, pouze u rámců 128 B, 256 B a 1 280 B se dají považovat za relativně vyhovující, ostatní rámce jsou vyhodnoceny jako nevyhovující. Ztrátovost se pohybuje do 1 %, pouze v případě nejkratšího rámce je vyhodnocena jako nevyhovující, jelikož hodnota dosahuje 2,43 %. Zpoždění u každého rámce nepřesáhne hodnotu 1 ms, proto tento parametr nemá vliv na provoz sítě a je vyhovující. Celkově je tedy síť vhodná provozu služeb video a data, ale tyto služby budou mít díky menší propustnosti zhoršenou kvalitu. Síť pro službu hlas je vhodná z hlediska propustnosti, ale ztrátovost sníží kvalitu této služby.

Tabulka 7.67: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 5 pro útlum 16,6 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	26,751	0,589	2,43	0,60484
128	45,121	50	0,225	0,62351
256	38,764	25,83	0,619	0,56199
512	26,882	2,096	0,728	0,68555
1 024	85,016	12,748	0,477	0,81338
1 280	42,511	62,539	0,604	0,89841
1 518	54,002	8,274	0,776	0,79635

**Nastavený útlum 16,5 dB (délka trasy 58,93 km)**

V tabulce 7.68 jsou zapsány naměřené hodnoty této vzdálenosti. Opět došlo ke zlepšení propustnosti, a tím i ostatních parametrů sítě. Nejvyšší hodnota propustnosti je u rámce velikosti 512 B, hodnota je 82,098 Mbit/s. Propustnost dalších rámců je sice nižší ovšem celkově ve

vyhovujících mezích pro provoz všech služeb bez větších ztrát kvality. Maximální zatížitelnosti dosahují dva rámce a to rámeček 256 B a rámeček 512 B, u těchto rámců je zatížitelnost vyhovující, pro zbylé rámce je výsledek nevyhovující, jelikož hodnoty jsou velmi nízké. Největší ztrátu rámců má nejmenší rámeček 64 B, hodnota ztrátovosti zde je 2,465 %, a tudíž je nevyhovující. Další rámce mají sice taktéž nenulovou ztrátovost, ovšem její hodnoty jsou nízké, a proto se dají akceptovat. Zpoždění i přes větší nárůst u nejdelšího rámcu je pořád v přijatelných mezích. Parametry propustnosti a zpoždění prakticky neovlivní kvalitu ani jedné služby. Omezení této sítě je pouze pro službu hlas a to ve formě větší ztrátovosti u všech velikostí rámců, proto je kvalita služby hlas mírně zhoršená, ovšem i tak je možno ji pomocí této sítě provozovat.

Tabulka 7.68: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 5 pro útlum 16,5 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	77,064	16,711	2,465	0,6108
128	73,267	1,66	0,71	0,65859
256	61,883	100	0,341	0,64455
512	82,098	100	0,677	0,70283
1 024	45,629	7,14	0,577	0,74866
1 280	76,786	12,89	0,292	0,78395
1 518	38,258	14,887	0,591	3,69661

#### Nastavený útlum 16,4 dB (délka trasy 58,57 km)

Všechny změřené parametry sítě při této vzdálenosti ukazuje tabulka 7.69. Propustnost na této vzdálenosti dosahuje u rámců 128 B a 1 280 B maximální možné hodnoty 100 Mbit/s. Nejnižší propustnosti dosahují nejkratší a nejdelší rámeček, hodnoty se zde pohybují okolo 40 Mbit/s, i přes tuto nižší hodnotu je celý test propustnosti vyhodnocen jako vyhovující pro všechny služby. Taktéž maximální možné hodnoty zatížitelnosti dosahují dvě velikosti rámců 256 B a 1 024 B, jako vyhovující zatížitelnost se dá považovat i hodnota u rámcu 512 B. Méně vyhovující jsou pak hodnoty zatížitelnosti u ostatních rámců, proto jsou vyhodnoceny jako nevyhovující. Ztrátovost je opět nejvyšší u rámcu 64 B, proto je u tohoto rámcu nevyhovující, zbylé rámce mají podstatně nižší ztrátovost a tudíž i vyhovující výsledek. Hodnoty parametrů jsou v přijatelných mezích, a to i přes výrazně vyšší hodnoty u rámcu 128 B a 1 518 B. Síť při tomto útlumu tedy má vhodnou konfiguraci pro provoz všech služeb bez většího omezení, dojde pouze k zhoršení kvality služby hlas díky větší ztrátovosti.

Tabulka 7.69: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 5 pro útlum 16,4 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	40,776	13,479	1,924	0,57089
128	100	26,758	0,705	9,1195
256	69	100	0,464	0,6751
512	99,625	50,101	0,401	0,73627
1 024	81,308	100	0,543	0,82315
1 280	100	15,631	0,604	1,09522
1 518	38,125	25,395	0,726	4,06276

#### Nastavený útlum 16,3 dB (délka trasy 58,21 km)

Jelikož se výsledky předešlých testů již dostaly do vyhovujících mezí pro každou službu, je měření na této vzdálenosti poslední. Naměřené hodnoty se příliš neliší od předchozího měření a jsou vypsány v tabulce 7.70. Nejvyšší možné propustnosti, dosahuje pouze rámec o velikosti 512 B. Naopak nízké hodnoty propustnosti jsou změřeny u rámců velikosti 128 B a 1 518 B. Celkový výsledek propustnosti je vyhovující. Vyhovující zatížitelnost je u rámců velikosti 1 024 B a 1 280 B, kde je maximální zatížitelnost. Taktéž u rámců velikosti 256 B a 1 518 B se dá zatížitelnost uvést jako vyhovující. Zbylé rámce mají zatížitelnost malou, proto nevyhovující. Rámce 512 B, 1 024 B a 1 280 B mají nulovou ztrátovost, vyhovující ztrátovost je taktéž u zbylých rámců s výjimkou rámce 64 B, kde dosti ztrátovost omezuje službu hlas. Parametr zpoždění je nízký u všech rámců, pouze u posledního nejdelšího rámce je hodnota výrazně vyšší, ale celkově je zpoždění vyhovující. Dá se tedy říci, že celá síť je vhodná pro provoz všech služeb bez většího omezení. Zhoršená bude pouze kvalita služby hlas, ovšem toto zhoršení nebude velké.

Tabulka 7.70: Naměřené hodnoty RFC 2544 topologie 5 pro útlum 16,3 dB

Velikost rámce [B]	Propustnost [Mbit/s]	Zatížitelnost [Mbit/s]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
64	50,909	1,723	1,509	0,53889
128	29,423	12,696	0,205	0,48915
256	56,097	39,064	0,334	0,62644
512	100	0,391	0	0,9374
1 024	98,583	100	0	0,83112
1 280	72,262	100	0	0,90036
1 518	38,75	25,29	0,763	7,46034

#### 7.5.2 Měření EtherSAM

Jednotlivé nastavení testu a nastavení parametrů CIR každé služby opět zůstalo stejné, jako je popsáno na začátku kapitoly 7.1.2.



**Nastavený útlum 16,7 dB (délka trasy 59,64 km)**

Test konfigurace při nastavení této vzdálenosti proběhl bez větších problémů hned na první pokus. Naměřené výsledky jsou v tabulce 7.71. I přes to, že je nastaven maximální dosah fungování sítě, jsou výsledky testu konfigurace velmi příznivé. Propustnost je u každé služby sice pod maximální hranicí, ovšem je vyhovující pro všechny služby. Hodnoty variability zpoždění se pohybují okolo 14 ms, což není sice nejmenší hodnota, ale pohybuje se v povolených mezích pro kvalitní provoz jednotlivých služeb. U všech služeb dojde k ztrátě rámců, pro služby video a hlas je tato ztráta zanedbatelná, ovšem u služby video je již ztráta velká a tudíž i nevyhovující. Zpoždění má všechny hodnoty v bezproblémových mezích a vyhovuje požadavkům jednotlivých služeb. Takto nakonfigurovaná síť je tedy vhodná pro provoz služeb video a hlas bez větších ztrát kvality. Pro službu data je síť z hlediska konfigurace nevhodná.

*Tabulka 7.71: Test konfigurace EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,7 dB*

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	95,851	14,777	0,716	16,436
VoIP	0,996	14,282	0,224	15,786
Data	96,703	12,64	17,193	16,754

Provozem všech služeb najednou pomocí testu výkonnosti služeb byly zjištěny hodnoty jednotlivých parametrů zobrazené v tabulce 7.72. Průměrná propustnost ani v jednom případě nedosáhne na požadovanou hodnotu CIR. Rozdíl mezi těmito hodnotami je větší, ovšem i tak je propustnost vyhodnocena jako vyhovující s určitou ztrátou kvality každé služby. Parametr jitter má vyšší hodnoty u služeb video a data, ale pořád jsou v mezích zaručujících výbornou kvalitu. Největší vliv na kvalitu každé služby má určitě ztrátovost. V případě služby video dojde k mírnému zhoršení kvality, ovšem služba hlas má tento parametr nevyhovující. Ztrátovost u služby data je malá. Hodnoty zpoždění nepřesáhnou ani u jedné služby 10 ms, proto je zpoždění vyhovující. Celkově je tedy provoz všech služeb najednou na této síti vhodný pro službu video a data, kde dojde k určité ztrátě kvality. Službu hlas je nevhodné provozovat s ostatními službami, jelikož dochází k velké ztrátovosti.

*Tabulka 7.72: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,7 dB*

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	9,906	8,338	6,478	9,118
VoIP	0,122	0,431	3,272	2,575
Data	84,832	8,081	4,407	9,118

**Nastavený útlum 16,65 dB (délka trasy 59,46 km)**

Nastavením tohoto útlumu na simulátoru vedení se parametry zlepšily. Výsledky jsou v tabulce 7.73. Hodnoty maximální propustnosti se oproti předchozímu měření zlepšily v případě

služeb video a data o přibližně 2 Mbit/s, v případě služby hlas je taktéž nepatrné zlepšení vzhledem k omezení, které bylo provedeno pomocí nastavení testu konfigurace. Propustnost je tedy vyhovující u všech služeb. Jitter se pohybuje ve vyšších hodnotách, ale nepřesáhne mez, kdy by došlo ke zhoršení kvality jednotlivé služby. Ztrátovost je vyhovující pro službu video, u služby hlas dojde k poklesu kvality na akceptovatelnou úroveň. Služba data má ztrátovost okolo 7 %, je to vyšší ztrátovost, ale nemá větší vliv na kvalitu poskytování této služby. Zpoždění i přes vyšší hodnoty nemá žádný vliv na kvalitu služeb, a proto je vyhovující. Konfigurace sítě je tedy vhodná pro každou službu, u služby hlas dojde pouze ke zhoršení kvality díky větší ztrátovosti.

Tabulka 7.73: Test konfigurace EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,65 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	97,838	14,86	0,379	16,336
VoIP	0,999	13,163	0,6	15,185
Data	98,508	16,229	7,182	16,854

I test výkonnosti služeb ukázal zlepšení všech parametrů oproti předešlému nastavenému útlumu. Hodnoty jsou zapsány v tabulce 7.74. Průměrná propustnost je opět něco málo pod hranici CIR, ovšem rozdíl není ani u jedné služby velký. Proto je propustnost vyhovující, i když opět dojde k malé ztrátě kvality. Kolísání zpoždění se pohybuje okolo 8 ms u všech služeb, jeho verdikt tedy je vyhovující. I když dochází ke ztrátovosti, tento parametr ovlivní pouze službu hlas, zbylé služby mají hodnoty ztrátovosti ve výborných mezích. Zpoždění u všech služeb je nízké, a proto i vyhovující. Provoz všech typů služeb najednou v síti je tedy možný, omezena bude pouze kvalita služby hlas z důvodu vyšší ztrátovosti.

Tabulka 7.74: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,65 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,34	8,408	2,388	9,233
VoIP	0,125	8,276	1,171	9,231
Data	87,594	8,627	1,666	9,233

#### Nastavený útlum 16,6 dB (délka trasy 59,29 km)

Nastavením tohoto útlum se opět všechny parametry sítě zlepšily. Výsledky zobrazuje tabulka 7.75. Propustnost se u všech služeb pohybuje velmi blízko maximální možné hodnotě sítě. Je tedy vyhovující u všech typů služeb. Parametr variability zpoždění se pohybuje kolem hodnoty 7 ms, u služeb video a hlas, u služby data je výrazně menší, a tudíž i vyhovující u každé služby. Hodnoty ztrátovosti jsou u jednotlivých služeb velmi nízké, proto neovlivní ani jednu službu natolik, aby došlo ke ztrátě kvality. Parametr sítě zpoždění je vyšší u služeb video a hlas, ovšem i tak je pro všechny služby vyhovující. Celkový výsledek konfigurace jednotlivých služeb tedy je, vhodnost této sítě pro provoz každé služby bez většího omezení kvality.

Tabulka 7.75: Test konfigurace EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,6 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,978	6,992	0,056	8,783
VoIP	1	6,298	0	8,387
Data	99,981	0,4	0,019	1,214

Zlepšení všech parametrů ukázal i test výkonnosti služeb, naměřené výsledky jsou v tabulce 7.76. Průměrná propustnost se opět blíží k hodnotě nastaveného CIR, ale dosáhne jí pouze v případě služby hlas. I tak je tento parametr vyhodnocen jako vyhovující. Kolísání zpoždění je u jednotlivých služeb na podobné úrovni a to okolo hodnoty 7 ms, je taktéž vyhovující pro provoz bez ztrát kvality. Minimální ztrátovost každé služby zaručuje taktéž bezchybné poskytování všech služeb. Hodnoty zpoždění jsou v tomto případě vyšší než u předešlého testu výkonnosti služeb, ale i tak jsou v přijatelném rozmezí, a proto vyhovují. Výsledky tedy ukazují na vhodnost sítě poskytovat výbornou kvalitu všech služeb při reálném provozu.

Tabulka 7.76: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,6 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,566	7,271	0,245	22,197
VoIP	0,126	7,267	0,006	22,188
Data	89,143	7,267	0,098	22,198

#### Nastavený útlum 16,5 dB (délka trasy 58,93 km)

Test konfigurace naměřil parametry vypsané v tabulce 7.77. Již na první pohled je patrné, že parametry sítě se velmi podobají nebo mají mírně zlepšené hodnoty. Parametr propustnosti má podobné hodnoty jako u předešlé konfigurace sítě, je to dáno tím, že síť je již velmi stabilní. Z tohoto důvodu je propustnost vyhovující u všech služeb. Jitter dosahuje velmi nízkých hodnot u služby data, ovšem výsledky u ostatních služeb jsou taktéž vyhovující. Nulová ztrátovost u služeb video a VoIP, a ztrátovost téměř nulová u služby data, zaručuje výbornou kvalitu každé jednotlivé služby. Zpoždění ani u jedné služby nepřekročí hranici, kdy by došlo ke zhoršení kvality té dané služby, proto je vyhovující. Takto nakonfigurovaná a nastavená síť tedy splňuje všechny požadavky pro provoz všech typů služeb bez jakéhokoli omezení.

Tabulka 7.77: Test konfigurace EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,5 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,99	6,991	0	8,673
VoIP	1,001	6,502	0	8,495
Data	99,982	0,393	0,006	5,408

Test výkonnosti dosáhl obdobným výsledků jako u předchozího měření. Došlo pouze k mírnému zlepšení sledovaných parametrů. Výsledné hodnoty jsou v tabulce 7.78. Průměrná propustnost je na hodnotě CIR pouze u služby hlas, ostatní služby mají propustnost o něco nižší, tento rozdíl je minimální, proto je tento parametr vyhovující pro každou službu. Kolísání zpoždění se pohybuje na hodnotě okolo 3 ms, neovlivní tedy provoz ani jedné služby. Minimální hodnoty ztrátovosti u jednotlivých služeb jsou taktéž v povolených mezích. Zpoždění je přibližně 22 ms, je to vyšší, ale pro kvalitu služeb neomezující hodnota. Výsledek testu výkonnosti služeb je tedy, že síť je vhodná pro jakýkoliv provoz bez větších problémů se ztrátou kvality.

Tabulka 7.78: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,5 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,567	3,017	0,229	22,202
VoIP	0,126	3,01	0	22,189
Data	89,147	3,013	0,09	22,202

#### Nastavený útlum 16,4 dB (délka trasy 58,57 km)

V tabulce 7.79 jsou ukázány naměřené výsledky testu konfigurace u této vzdálenosti. Výsledky jsou opět velmi podobné předchozímu měření, jelikož se pouze zmenšila vzdálenost mezi OLT a ONU jednotkou. Maximální propustnost je téměř rovna maximální možné hodnotě sítě, proto je u všech služeb vyhodnocena jako vyhovující. Hodnoty parametru jitter jsou u služeb video a hlas poněkud vyšší v porovnání se službou data, ovšem i tak jsou pořád v přijatelných mezích a vyhovují všem požadavkům. Zanedbatelná až nulová ztrátovost u každé služby taktéž neovlivní kvalitu a vyhovuje. U zpoždění došlo u služby data k výraznému poklesu oproti ostatním službám. Ovšem celkově tento parametr je nízký a vyhovuje požadavkům služeb. Konfigurace této sítě je tedy vhodná pro každý typ provozovaných služeb.

Tabulka 7.79: Test konfigurace EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,4 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,991	7	0	8,698
VoIP	1,001	6,519	0	8,414
Data	99,985	0,387	0,003	1,842

Výsledky změřené pomocí testu výkonnosti služeb při této vzdálenosti jsou vypsány v tabulce 7.80. Průměrná propustnost je prakticky stejná jako u měření útlumu 16,5 dB. Jak již bylo řečeno, síť již je velmi stabilní a pracuje na plný výkon i v této vzdálenosti. Proto je propustnost vyhodnocena jako vyhovující. Hodnoty jitteru pohybující se okolo 3,5 ms u všech služeb jsou opět bezproblémové. Parametr ztrátovost má díky nízkým hodnotám taktéž vyhovující výsledek u všech služeb. Zpoždění má opět hodnoty okolo 22 ms u každé služby, ovšem tato hodnota je v přijatelná

z pohledu kvalitního provozu. Síť tedy v simulaci reálného provozu obstála a je vhodná pro provoz všech služeb najednou beze ztrát.

Tabulka 7.80: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,4 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,567	3,587	0,229	22,191
VoIP	0,126	3,577	0	22,185
Data	89,148	3,583	0,09	22,191

#### Nastavený útlum 16,3 dB (délka trasy 58,21 km)

Jelikož výsledky předchozích měření jsou již z hlediska kvality parametrů téměř ideální, je tato vzdálenost poslední měřenou vzdáleností. Při dalším zmenšování útlumu se hodnoty parametrů již příliš nemění. Naměřené výsledky tohoto testu konfigurace jsou v tabulce 7.81. Maximální propustnost je vyhovující u každé služby, jelikož naměřená hodnota je téměř identická s maximální možnou hodnotou sítě. Variabilitu zpoždění má nejmenší hodnota u služby data, pro ostatní služby je vyšší, ale i tak je vyhovující. U všech služeb je nulová ztrátovost. Parametr zpoždění má služba data nižší než ostatní služby. Ale i tak je pro každou službu tento parametr v povolných mezích. Síť je tedy vhodně nakonfigurována pro provoz každého typu služeb bez omezení.

Tabulka 7.81: Test konfigurace EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,3 dB

Služba	Max. Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	99,987	6,995	0	8,763
VoIP	1,001	6,543	0	8,542
Data	99,987	0,45	0	5,807

Data získané testem výkonnosti služeb vypisuje tabulka 7.82. Hodnoty všech parametrů jsou opět velmi podobné předešlému měření. Průměrná propustnost dosáhne nastavené hodnoty CIR pouze u služby hlas. Další služby mají propustnost lehce pod touto nastavenou hodnotou, výsledek testu propustnosti tedy je vyhovující. Kolísání zpoždění má u všech služeb hodnoty okolo 7 ms, což jsou vyhovující hodnoty. Nejvyšší ztrátovosti dosahuje služba video, ale naměřená hodnota je velmi nízká, stejně tomu je i u ostatních služeb, proto ztrátovost nijak neovlivní kvalitu. Zpoždění má i přes vyšší hodnoty vyhovující charakter. Celkově, je tedy síť na této vzdálenosti vhodná pro provoz všech typů služeb najednou.

Tabulka 7.82: Test výkonnosti služeb EtherSAM topologie 5 pro útlum 16,3 dB

Služba	Propustnost [Mbit/s]	Max. Jitter [ms]	Ztrátovost [%]	Zpoždění [ms]
Video	10,565	6,741	0,253	22,203
VoIP	0,126	6,734	0,006	22,196
Data	89,15	6,738	0,092	22,204

### 7.5.3 Zhodnocení topologie 5

Testem RFC 2544 bylo zjištěno, že síť při nastavení maximálního možného dosahu není z pohledu tohoto testu vhodná pro jakýkoliv provoz. Ovšem pomocí testu EtherSAM byly zjištěny parametry sítě vhodné pro provoz služeb video a data, dojde k určité ztrátě kvality, tato ztráta není příliš velká. Pro službu hlas není síť při maximální vzdálenosti vhodná. Zmenšením útlumu na hodnotu 16,65 dB test RFC 2544 proběhl celý, ovšem opět nebyly zjištěny vhodné podmínky pro provoz žádné služby. Pomocí EtherSAMu byly změřeny vhodné podmínky pro provoz všech služeb, bez větší ztráty kvality. Pouze služba hlas má nižší kvalitu díky relativně velké ztrátovosti. Dalším zmenšením útlumu na útlum 16,6 dB, parametry sítě změřené EtherSAMem, jsou již vhodné pro provoz všech typů služeb bez větších ztrát kvality. Postupným zmenšováním útlumu se všechny parametry sítě velmi podobají, dochází pouze k mírným odchylkám jednotlivých parametrů. Tuto skutečnost potvrzuje i test RFC 2544, který od nastaveného útlumu 16,6 dB, taktéž vykazuje bezproblémový provoz všech typů služeb s minimálními ztrátami kvality, které se nejvíce projevují u služby hlas. Test RFC 2544 má ve všech případech zhoršené výsledky jednotlivých parametrů, jelikož není konfigurován přímo pro testování služeb, ale pouze pro zjišťování jednotlivých parametrů celé sítě. Zvolený rozsah měření, vzhledem k výsledkům výše, je správný, jelikož stačí minimální zmenšení útlumu od maximálního možného, kdy síť funguje, aby došlo k tak výraznému zlepšení všech sledovaných parametrů sítě pro ideální provoz každého typu služeb beze ztrát kvality.

Tištěná příloha V obsahuje všechny sloupcové grafy získané pomocí testu RFC 2544 pro jednotlivé nastavené útlumy a parametry. Naměřená data z měřicího přístroje EXFO FTB-1/860 NetBlazer jsou k nalezení v příloze X na přiloženém CD.

## 8 Závěr

Diplomová práce se zabývala problematikou pasivních optických sítí, konkrétně GEAPON sítí. Práce byla rozdělena do dvou částí a to teoretické, která obsahovala první dva body zadání a praktické, ve které jsou řešeny zbylé dva body zadání.

Teoretická část popisovala v první kapitole základní rozdělení, způsoby zakončení vlákna u uživatelů, dále pak základní funkční bloky pasivní sítě a základní používané topologie. Druhá kapitola se zabývala technologií GEAPON, jelikož pro praktické měření bylo potřeba nastudovat základní principy činnosti sítí, kde se používá tato technologie. Tato kapitola obsahovala základní informace o technologii GEAPON, dále pak principy přenosu informací mezi OLT a ONU jednotkami. Taktéž zde byl popsán protokol MPCP, který je použit pro registraci a komunikaci mezi jednotkou OLT a ONU jednotkami.

Druhý bod a taktéž poslední kapitolu teoretické části tvořilo teoretické rozebrání metod měření útlumu v optických sítích a jejich vliv na tyto sítě. V této kapitole byly postupně rozebrány jednotlivé metody, vysvětlen jejich princip měření, taktéž uveden výpočet pro jednotlivé metody. U každé metody byl popsán vliv na optickou síť, s uvedením v jakém případě, se která metoda měření útlumu používá.

Praktická část byla zaměřena na měření chybovosti na vytvořených topologiích.

V první kapitole této části byly popsány jednotlivé metody měření chybovosti, jejich specifika a způsoby testování. Další kapitola obsahovala vytvořené topologie, jejich schémata a parametry jednotlivých komponent sítě. Taktéž se zde objevil popis jednotlivých použitých přístrojů, konfigurace OLT jednotky a nastavení obou měřících přístrojů. Nastavení parametrů jednotlivých testů bylo taktéž uvedeno v této kapitole. Maximální útlum, při kterém ještě byla možná komunikace OLT jednotky s ONU jednotkami, byl nastaven pomocí simulátoru vedení. Tento útlum pak byl přepočten pomocí měrného útlumu standardního jednomódového vlákna na délku simulované trasy, kterou je možné, v dané topologii, překlenout.

Hlavní částí práce tedy byla poslední kapitola, ve které byly uvedeny a zhodnoceny všechny dosažené výsledky u všech vytvořených topologií, taktéž bylo provedeno zhodnocení jednotlivých topologií, při jaké vzdálenosti jsou vhodné k použití a při jaké ne. Všechna naměřená data byla získána pomocí měřícího přístroje EXFO FTB-1/860 NetBlazer. Měření topologie 1 bylo provedeno společně s Jiřím Vlkem, jelikož jeho bakalářská práce na téma Pasivní optické sítě na bázi ethernetového rámce, měla tuto část shodnou, bylo tedy z časových důvodů provedeno pouze společné měření, následné vyhodnocení již proběhlo samostatně. Měření a vyhodnocení zbylých topologií bylo provedeno již samostatně.

Zhodnocením všech měření bylo dospěno k závěru, že nejdůležitějším parametrem sítě je propustnost. Jelikož se snižující se propustností byli zhoršené i ostatní parametry sítě. Měření topologie 1 taktéž ukázalo, že maximální překlenutelná vzdálenost sítě se pohybuje okolo 56 km. Tato hodnota je uvedena, jelikož byla naměřena v síti s děličem 1:32, která se dnes nejčastěji používá. Maximální překlenutelnou vzdálenost potvrdily i ostatní topologie, u nich sice byli

vzdálenosti větší než u první topologie, ale toto bylo dáno rozdílnými útlumy na použitých děličích. Tedy s menším útlumem vzrostla délka trasy, ale následným porovnáním útlumu a délky trasy v dané topologii, s útlumem a délkou trasy u první topologie, bylo zjištěno, že se tyto hodnoty přibližně rovnají.

Jelikož měření byla provedena s maximálním výkonem GEAPON sítě, byla maximální překlenutelná vzdálenost přibližně dvakrát delší, než je uváděna vzdálenost výrobcí. Tento fakt je dán rezervou pro případ stárnutí sítě, kdy se počítá s tím, že se útlum trasy zvýší. Hodnota této rezervy je 3 dB, tedy případ, kdy výkon sítě poklesne na polovinu.



## 9 Použitá literatura

- [1] *Pasivní optické přístupové sítě - PON*. [online]. [cit. 2012-12-20]. Dostupné z: [www.comtel.cz/files/download.php?id=4149](http://www.comtel.cz/files/download.php?id=4149)
- [2] *G.983.1. Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON)*. 2005-04-28 [cit. 2012-12-20]. Dostupné z: <http://www.itu.int/rec/T-REC-G.983.1-200501-I/en>
- [3] VODRÁŽKA, J. *Základy FTTx*. [online]. 2006 [cit. 2012-12-20]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=zaklady-fttx&cisloclanku=2006051702>
- [4] VODRÁŽKA, J. *Optické přístupové sítě EPON a CWDM*. [online]. 27. 07. 2005. [cit. 2012-12-20]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=opticke-pristupove-site-epon-a-cwdm&cisloclanku=2005070401>
- [5] LAFATA, P. *Pasivní optická přístupová síť EPON*. [online]. 23. 05. 2009 [cit. 2012-12-20]. Dostupné z: <http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009050003>
- [6] LAM, Cedric F. *Passive optical networks: principles and practice*. Boston: Elsevier/Academic Press, c2007, xliv, 324 p. ISBN 978-0-12-373853-0.
- [7] MUKHERJEE, Biswanath. *Optical WDM networks: principles and practice*. New York: Springer, c2006, xliii, 953 p. ISBN 978-0-38-7290-553.
- [8] LÁTAL, J. a P. KOUDELKA. *Měření v PON*. Ostrava, 2011 VŠB - TUO, Katedra telekomunikační techniky. [cit. 2013-01-03].
- [9] AMBROŽ, Jan. *Měření optických přenosových tras* [online]. Brno, 2009 [cit. 2013-01-03]. Bakalářská práce. VUT Brno, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací. Dostupné z: [http://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=18616](http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=18616).
- [10] PRAVDA, Ivan. *Metody měření útlumu optického vlákna*. [online]. [cit. 2013-01-03]. Dostupné z: [www.comtel.cz/files/download.php?id=4088](http://www.comtel.cz/files/download.php?id=4088)
- [11] BRADNER, S. a J. MCQUAID. *RFC 2544 Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices*. [online]. 1999. [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://tools.ietf.org/html/rfc2544>
- [12] EXFO. *EtherSAM: THE NEW STANDARD IN ETHERNET SERVICE TESTING*. [online]. 2011. [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://documents.exfo.com/appnotes/anote230-ang.pdf>

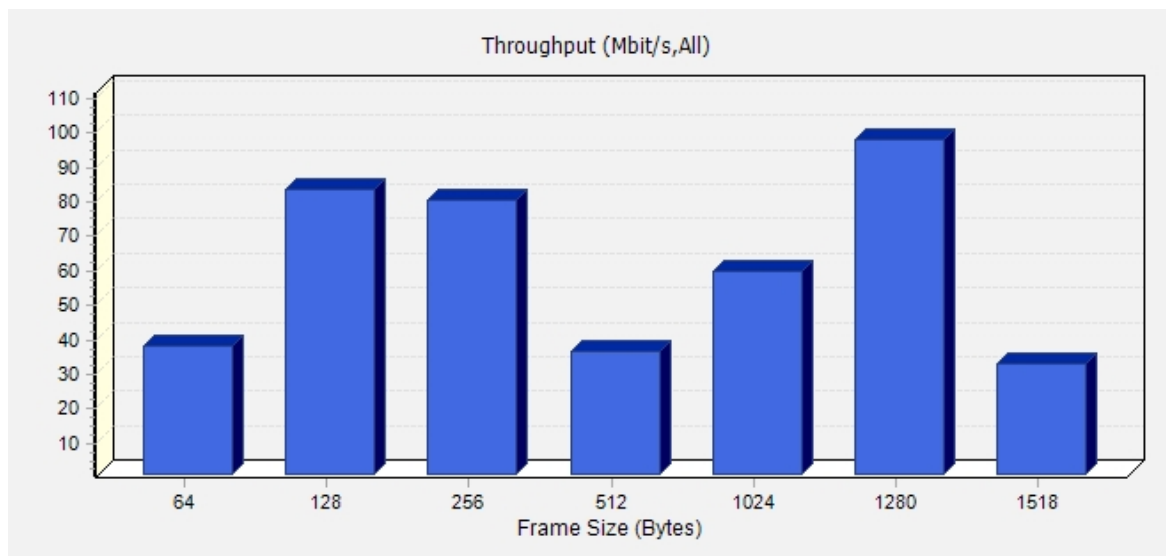
- [13] POTROK, Peter. *EtherSAM jak jít po kvalitě služeb Triple Play*. [online]. 2011 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: [http://www.profiber.eu/files/B4\\_Hladky\\_Potrok\\_EtherSAM\\_jak\\_jit\\_po\\_kvalite\\_sluzeb\\_TriplePlay.pdf](http://www.profiber.eu/files/B4_Hladky_Potrok_EtherSAM_jak_jit_po_kvalite_sluzeb_TriplePlay.pdf)
- [14] KOCIAN, Radek. *Měření a kvalita IPTV streamu na reálné síti*. [online]. 2012 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: [http://www.lica.cz/pool/vzor/upload/seminar/Radek%20Koci%3%A1n\\_Profiber\\_M%C4%9B%C5%99en%C3%AD%20a%20kvalita%20IPTV%20streamu%20na%20re%C3%A1ln%C3%A9%20s%C3%ADti.pdf](http://www.lica.cz/pool/vzor/upload/seminar/Radek%20Koci%3%A1n_Profiber_M%C4%9B%C5%99en%C3%AD%20a%20kvalita%20IPTV%20streamu%20na%20re%C3%A1ln%C3%A9%20s%C3%ADti.pdf)
- [15] LÁTAL, J. a P. KOUDELKA. *Výstavba optické přístupové sítě na bázi EPON*. [online]. 2012 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: [http://kat440.vsb.cz/optice/\\_data/FRVS/2.%20Vystavba%20opticke%20pristupove%20site%20na%20bazi%20EPON.pdf](http://kat440.vsb.cz/optice/_data/FRVS/2.%20Vystavba%20opticke%20pristupove%20site%20na%20bazi%20EPON.pdf)
- [16] LÁTAL, J. a P. KOUDELKA. *Optické přístupové sítě OAN na bázi technologie EPON a jejich integrita*. [online]. 2012 [cit. 2013-04-03]. Dostupné z: [http://kat440.vsb.cz/optice/\\_data/FRVS/3.%20Opticke%20pristupove%20site%20OAN%20na%20bazi%20EPON%20a%20jejich%20integrita.pdf](http://kat440.vsb.cz/optice/_data/FRVS/3.%20Opticke%20pristupove%20site%20OAN%20na%20bazi%20EPON%20a%20jejich%20integrita.pdf)

## 10 Seznam příloh

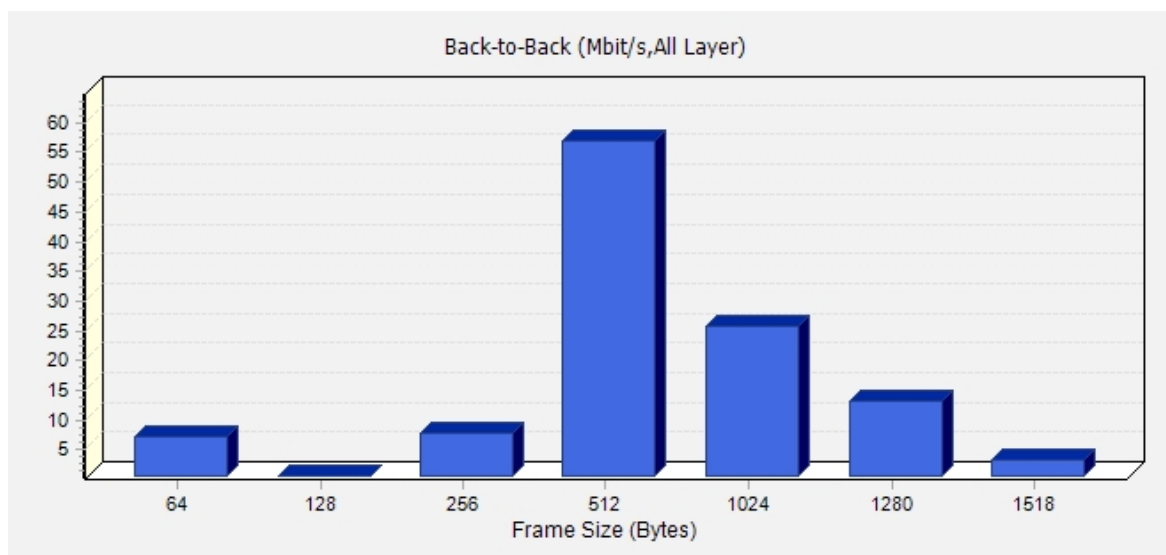
I.	Sloupcové grafy topologie 1.....	1
II.	Sloupcové grafy topologie 2.....	9
III.	Sloupcové grafy topologie 3.....	18
IV.	Sloupcové grafy topologie 4.....	26
V.	Sloupcové grafy topologie 5.....	36
VI.	Příloha na CD – soubory pdf s naměřenými hodnotami topologie 1 (složka Topologie 1)	
VII.	Příloha na CD – soubory pdf s naměřenými hodnotami topologie 2 (složka Topologie 2)	
VIII.	Příloha na CD – soubory pdf s naměřenými hodnotami topologie 3 (složka Topologie 3)	
IX.	Příloha na CD – soubory pdf s naměřenými hodnotami topologie 4 (složka Topologie 4)	
X.	Příloha na CD – soubory pdf s naměřenými hodnotami topologie 5 (složka Topologie 5)	

## Příloha I – Sloupcové grafy topologie 1

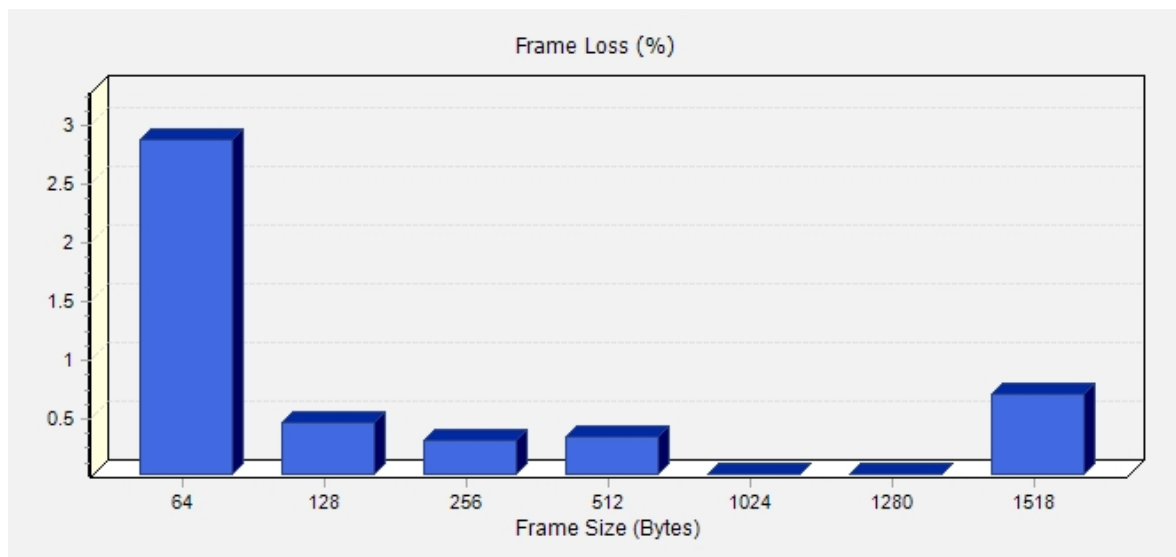
Nastavený útlum 15,6 dB (délka trasy 55,71 km)



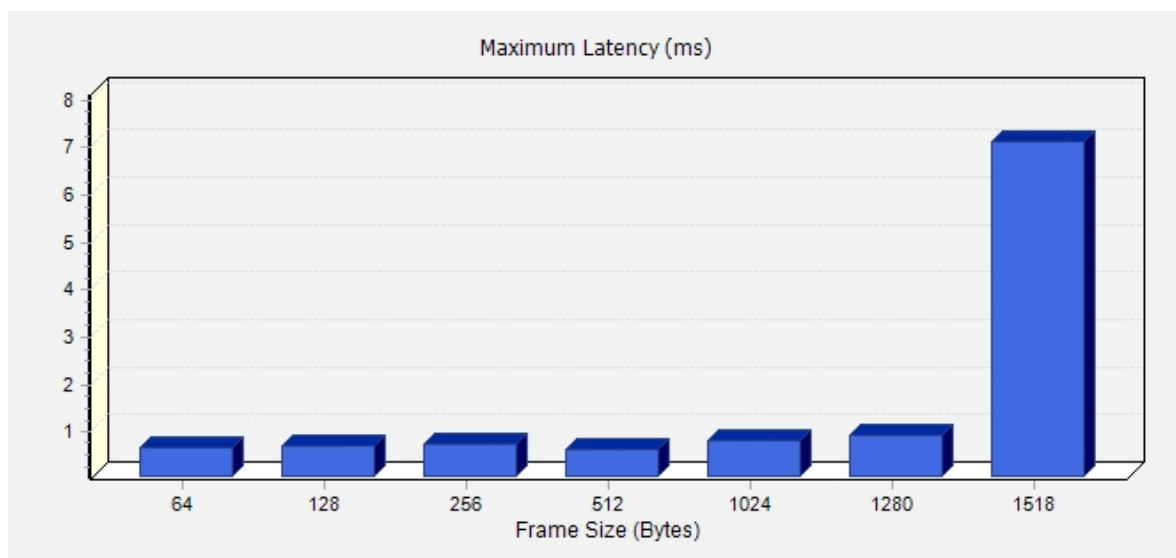
*Propustnost*



*Zatížitelnost*

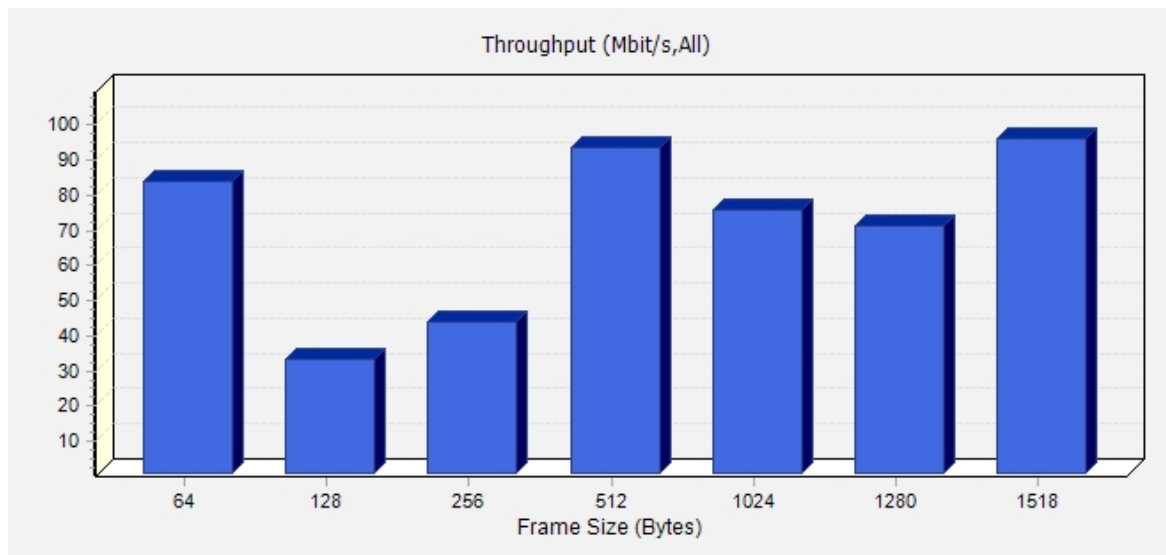


*Ztrátovost*

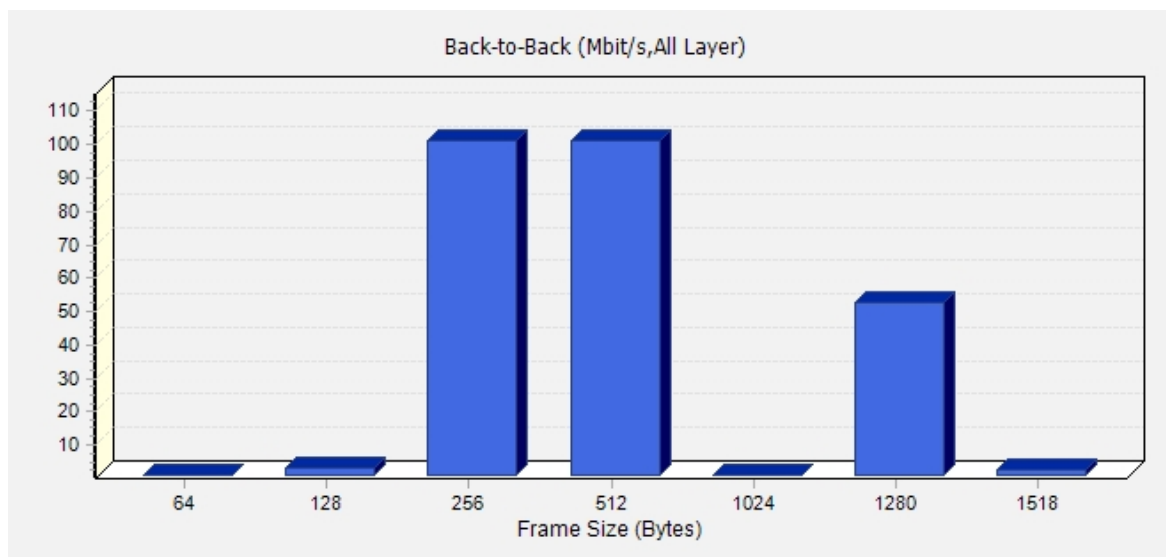


*Zpoždění*

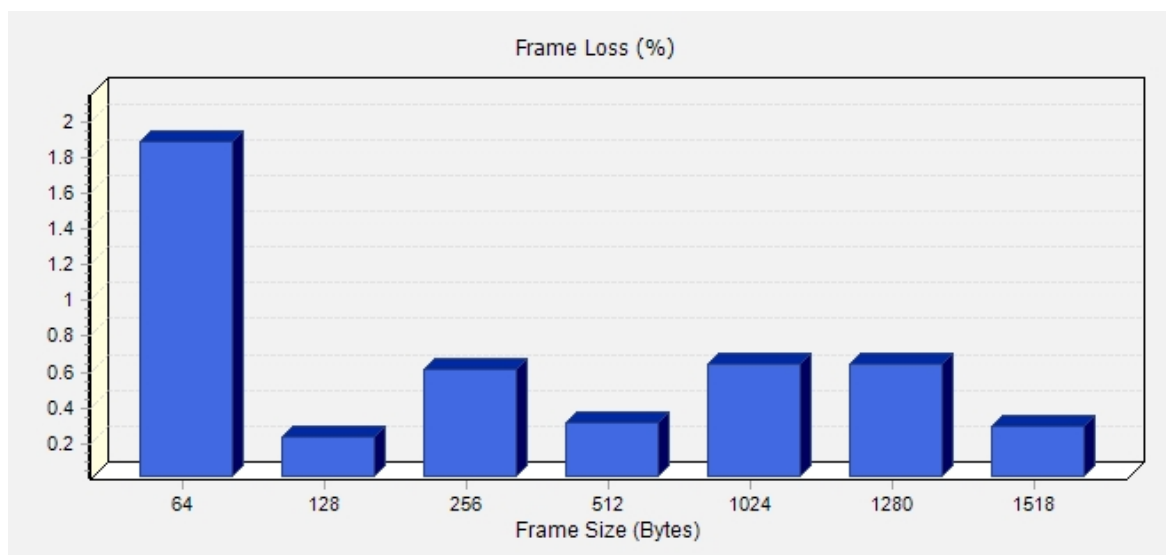
Nastavený útlum 15,5 dB (délka trasy 55,36 km)



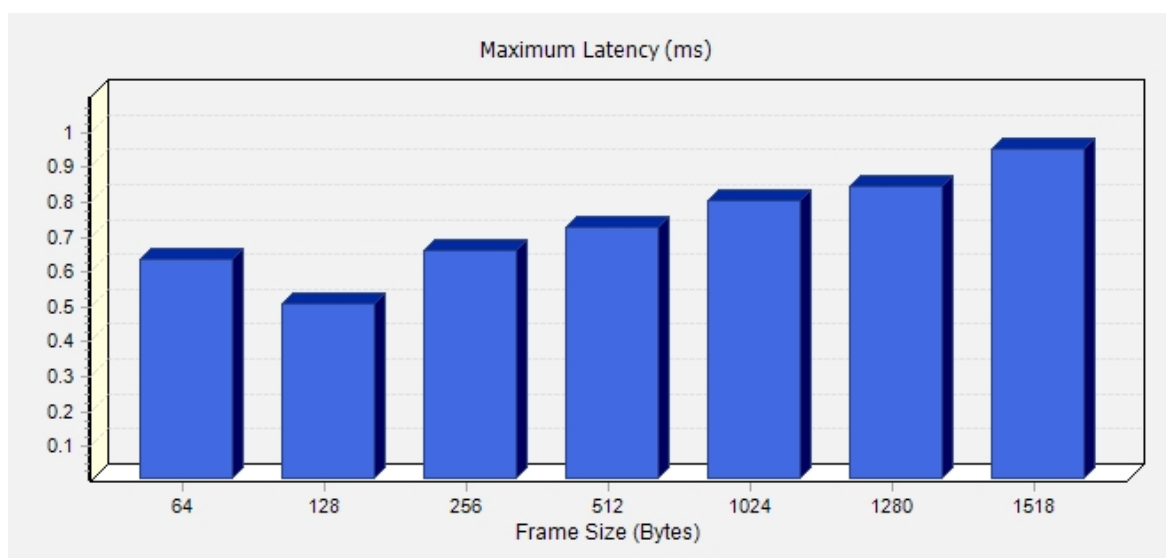
*Propustnost*



*Zatžitelnost*

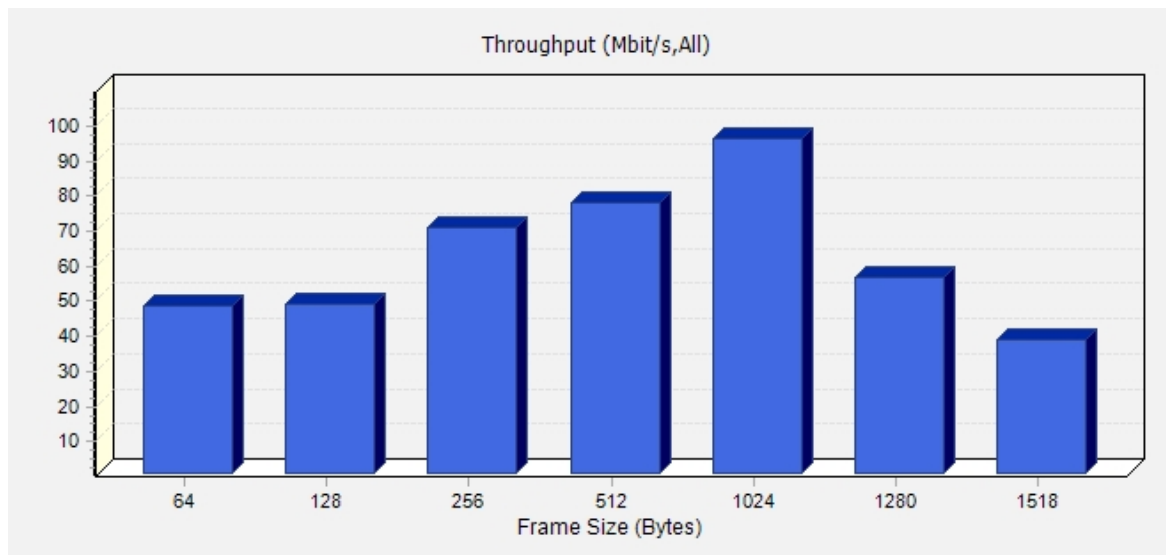


*Zrátovost*

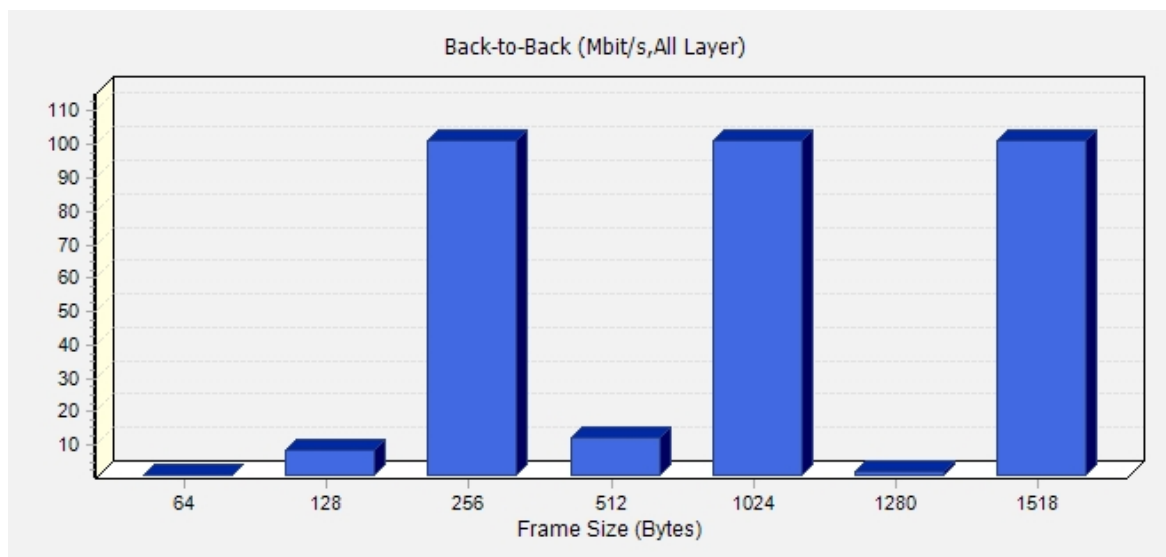


*Zpoždění*

Nastavený útlum 15,4 dB (délka trasy 55 km)

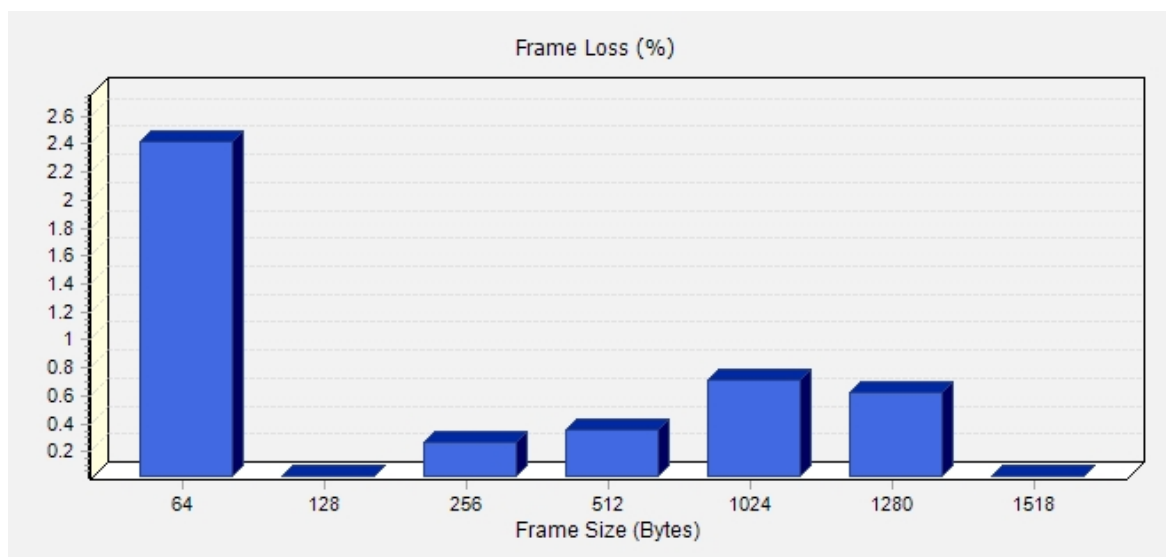


*Propustnost*

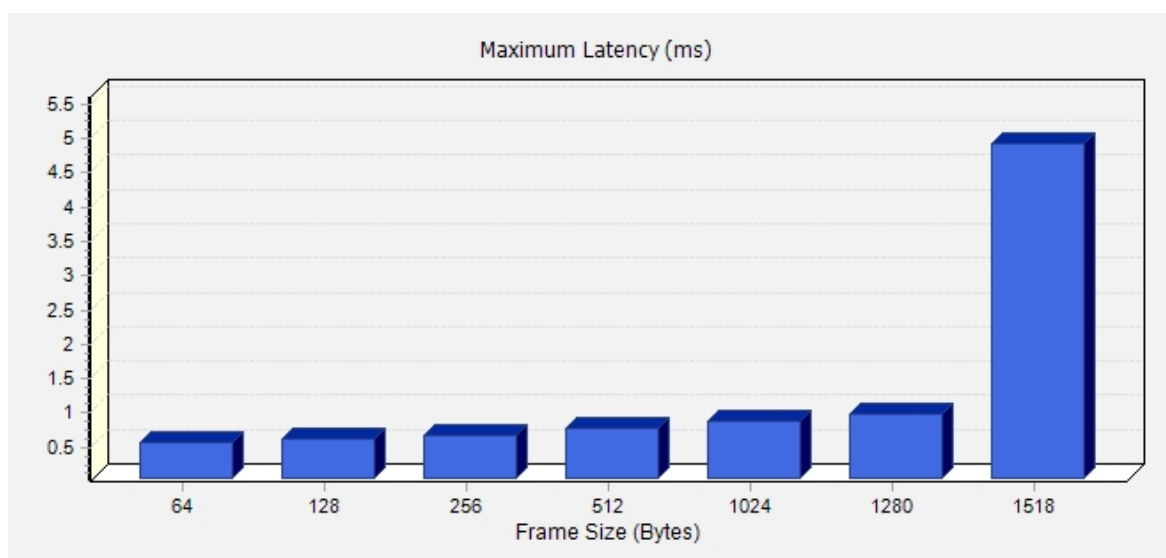


*Zatžitelnost*



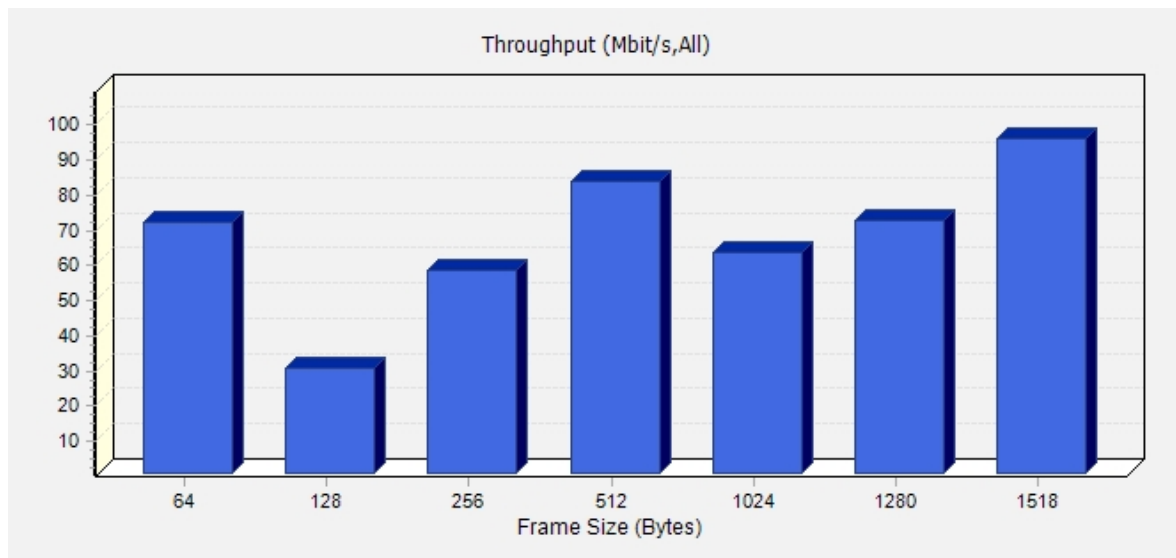


*Ztrátovost*

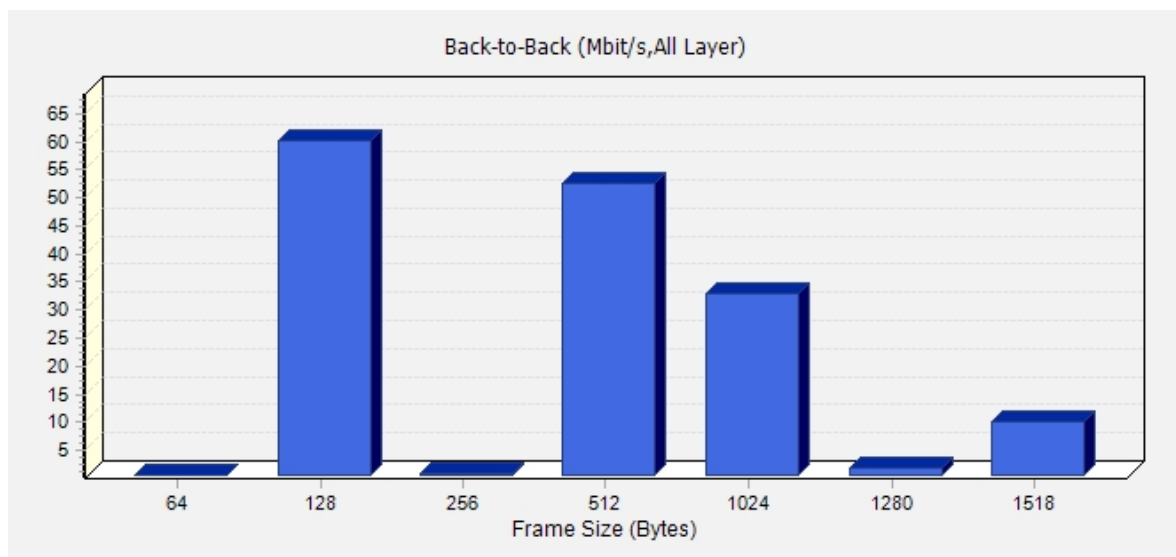


*Zpoždění*

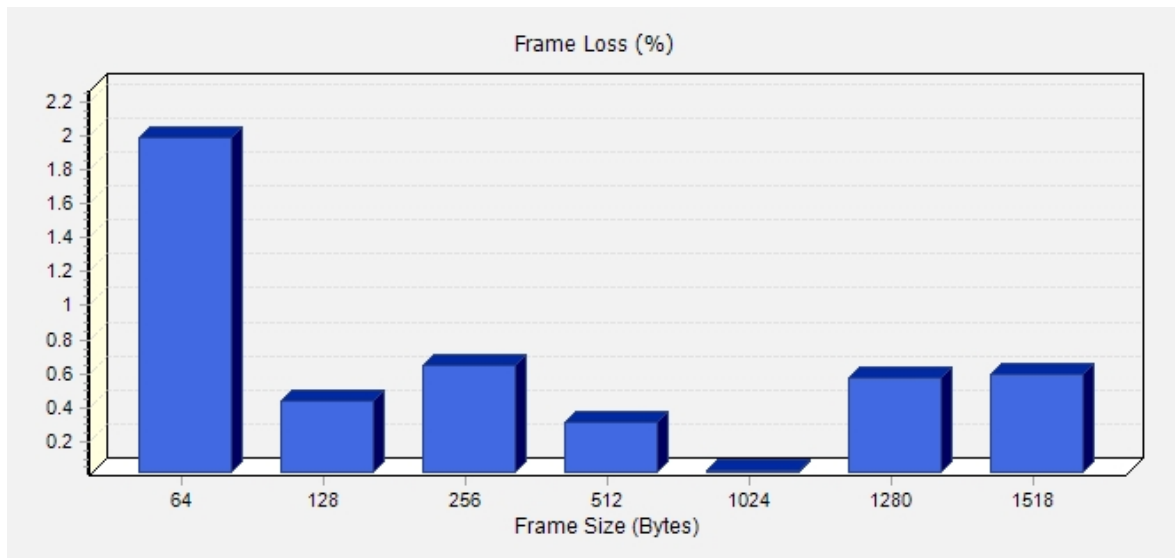
Nastavený útlum 15,3 dB (délka trasy 54,64 km)



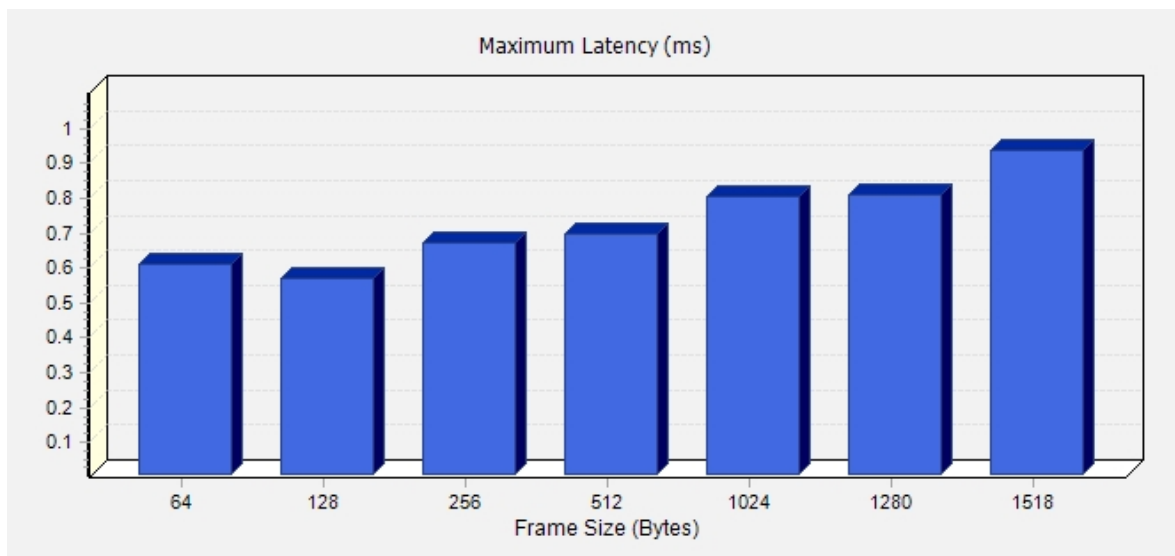
*Propustnost*



*Zatžitelnost*



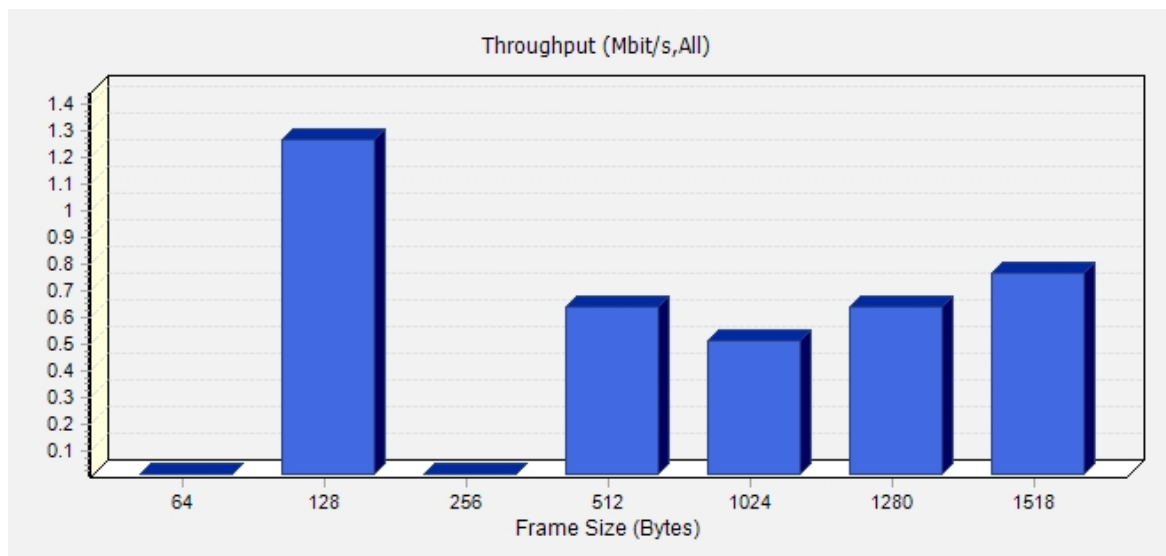
*Ztrátovost*



*Zpoždění*

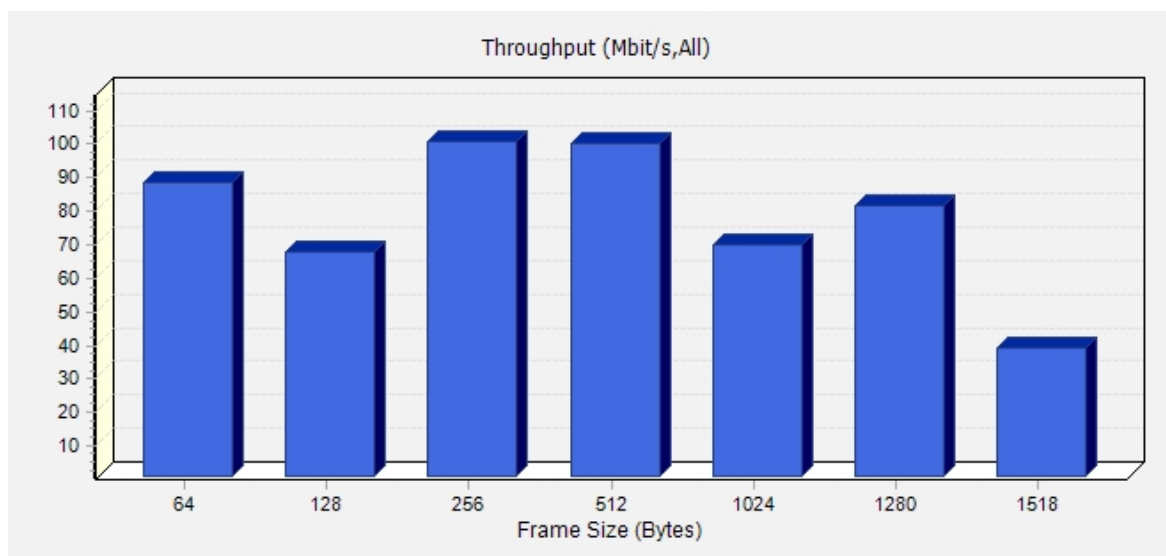
## Příloha II – Sloupcové grafy topologie 2

Nastavený útlum 16 dB (délka trasy 57,14 km)

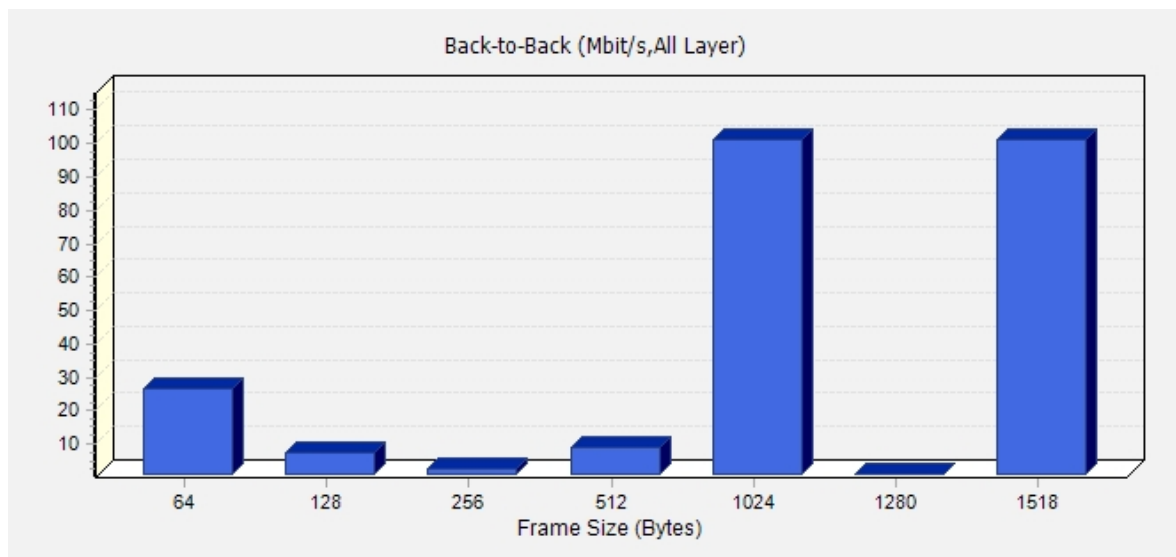


*Propustnost*

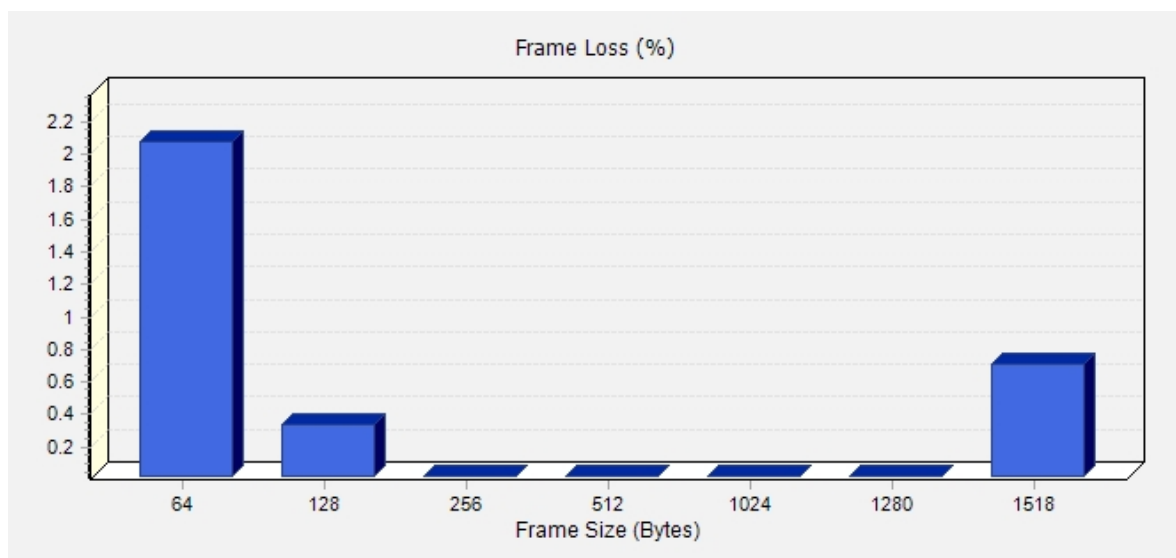
Nastavený útlum 15,9 dB (délka trasy 56,79 km)



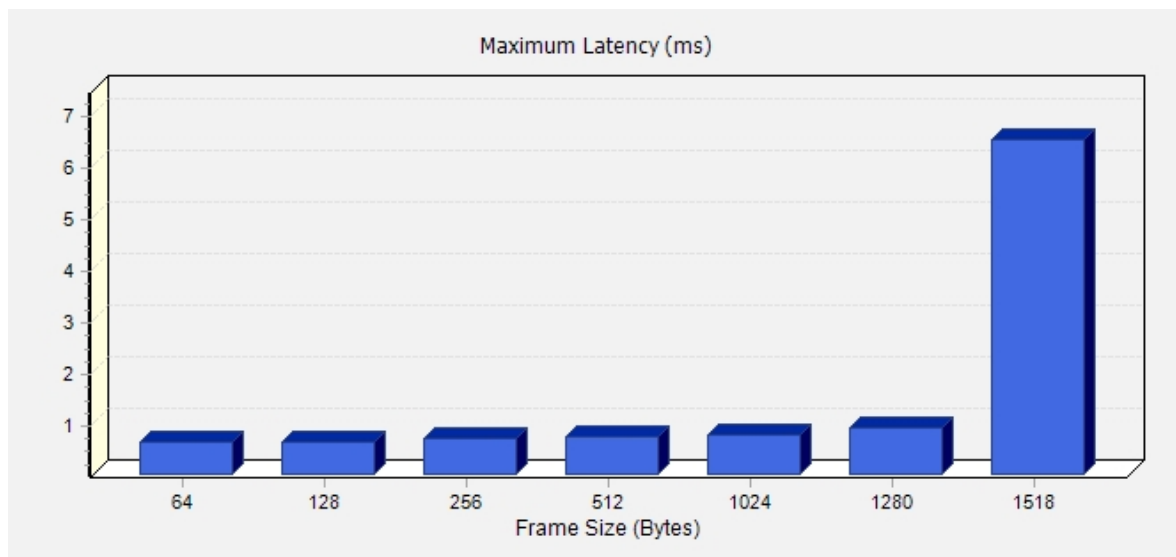
*Propustnost*



*Zatížitelnost*

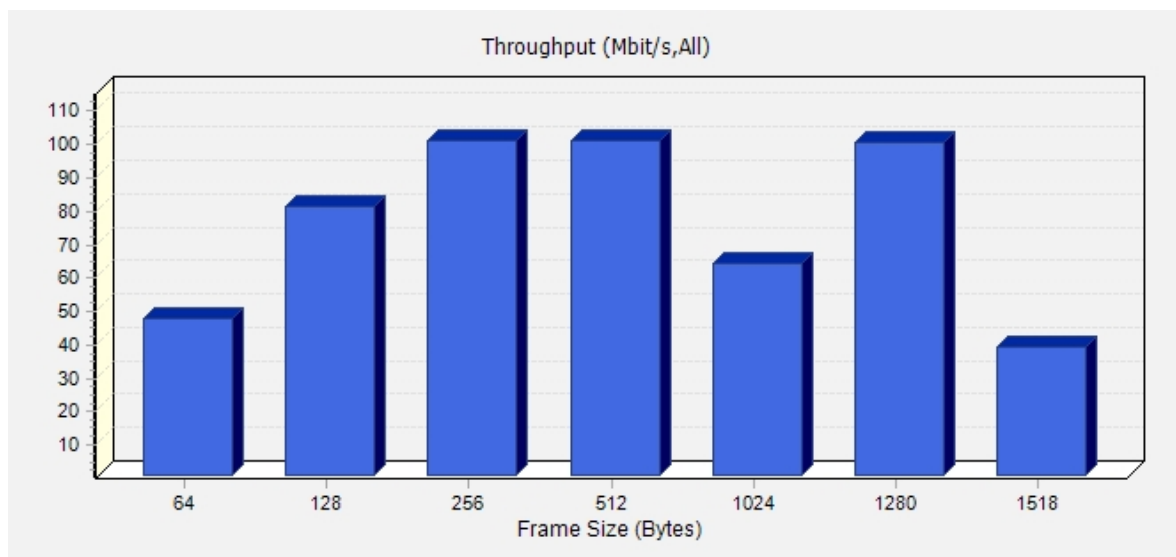


*Ztrátovost*

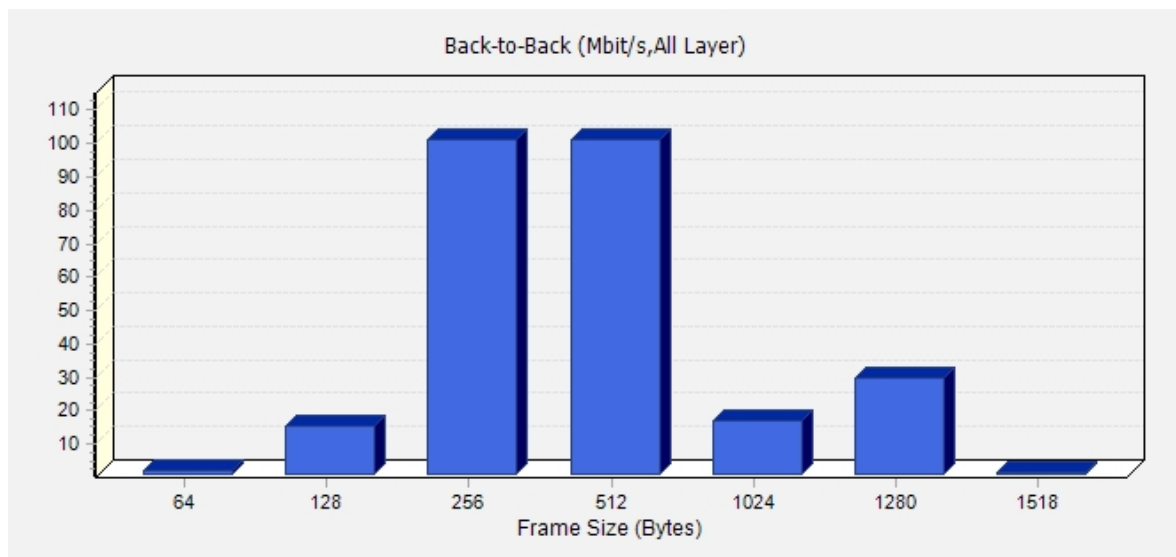


*Zpoždění*

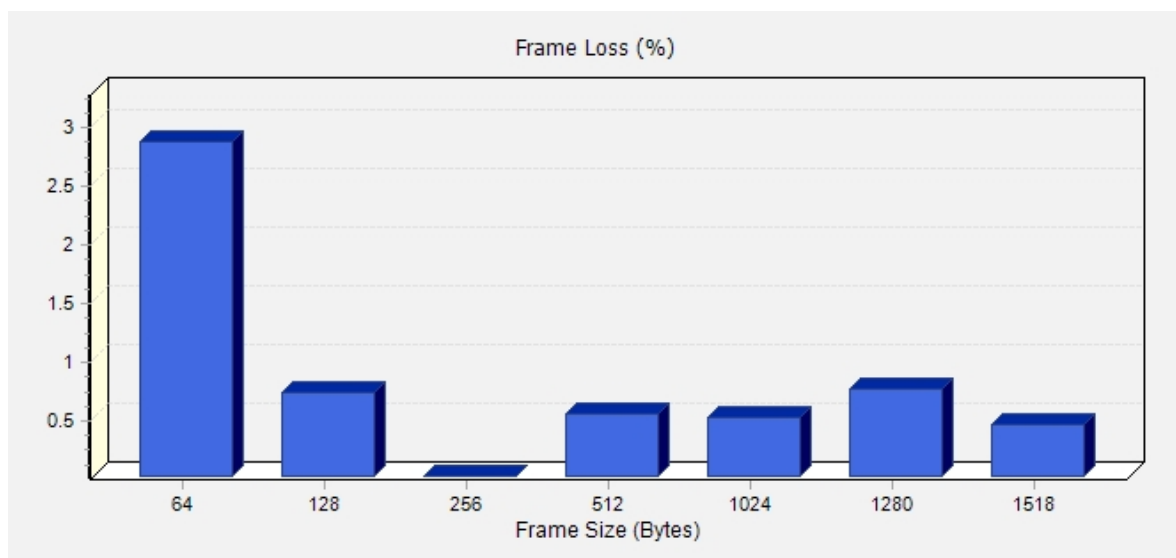
**Nastavený útlum 15,8 dB (délka trasy 56,43 km)**



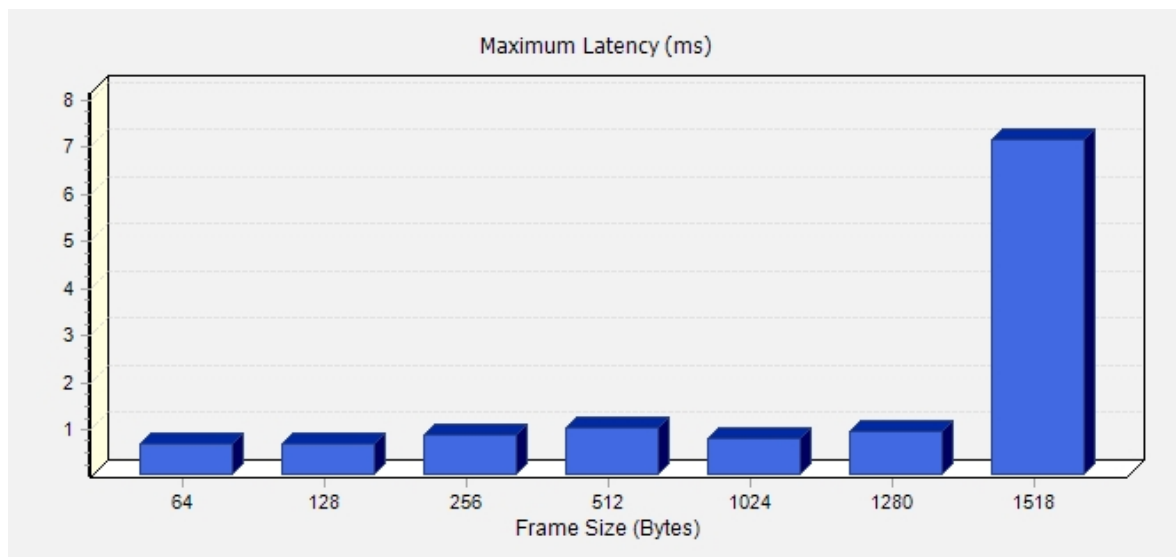
*Propustnost*



*Zatížitelnost*

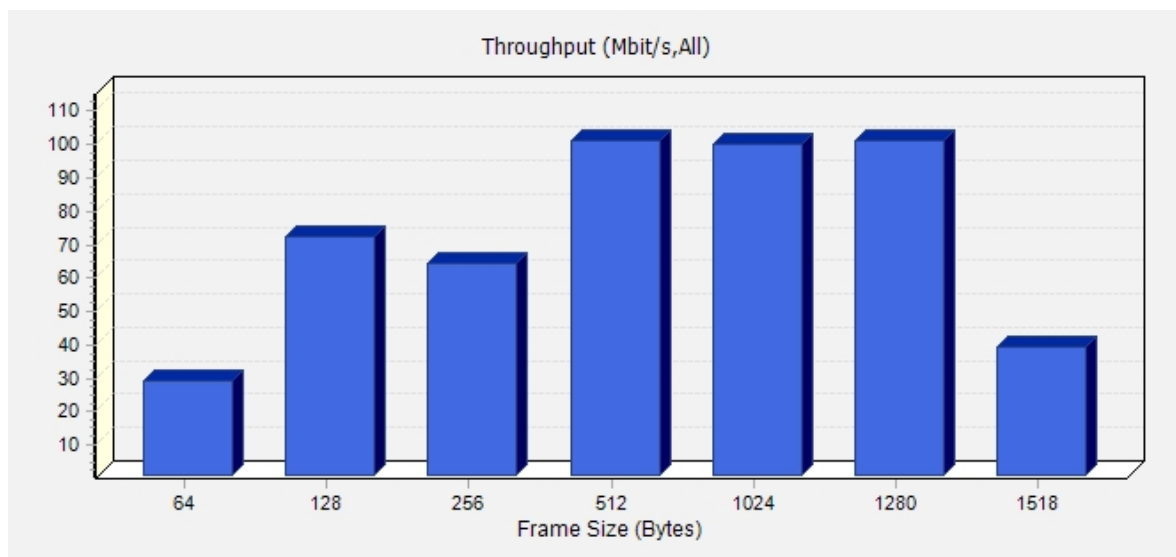


*Ztrátovost*



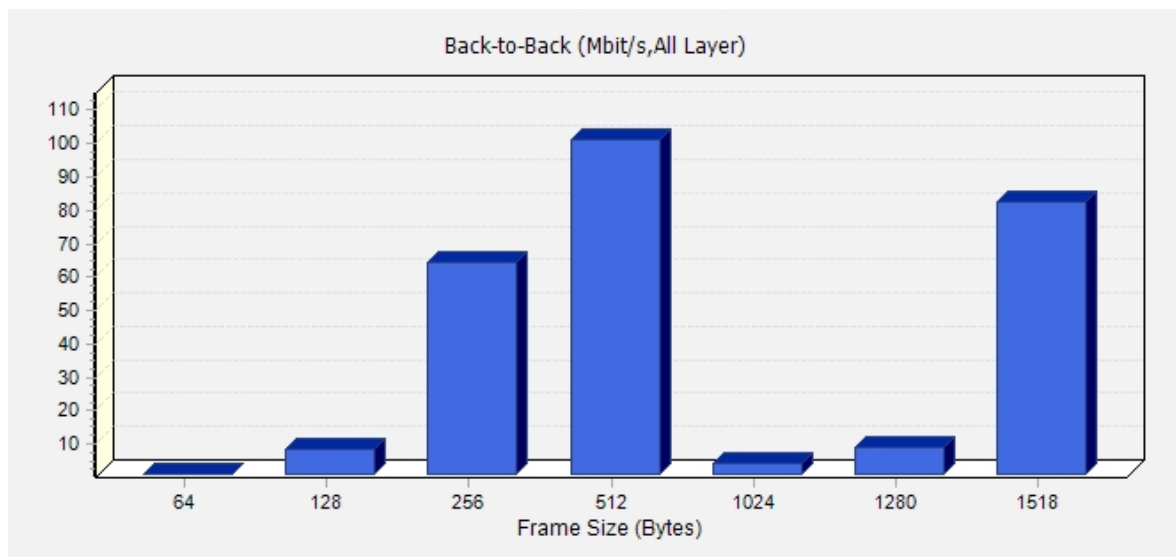
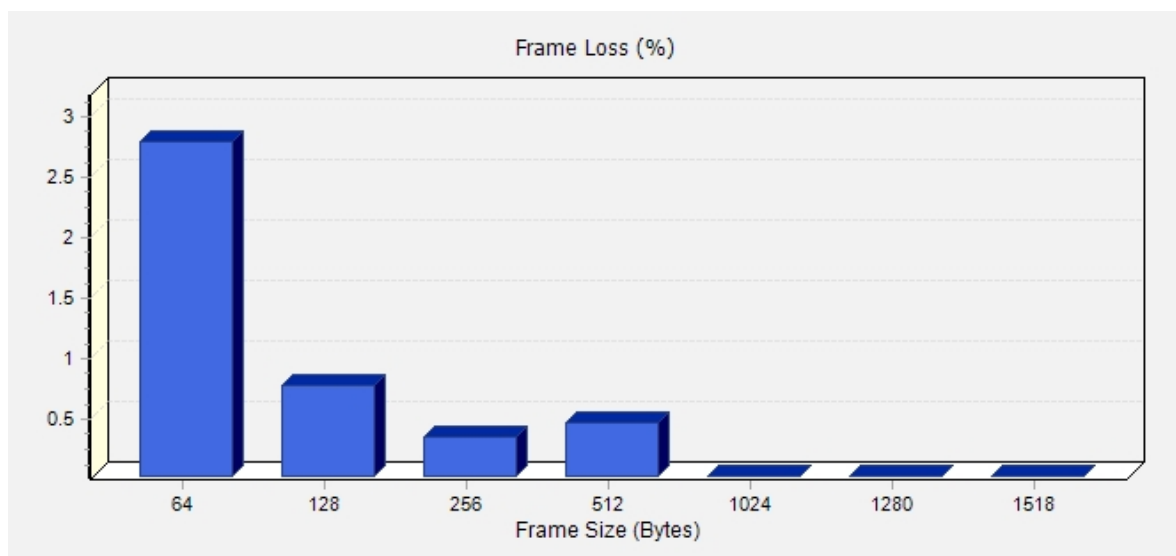
*Zpoždění*

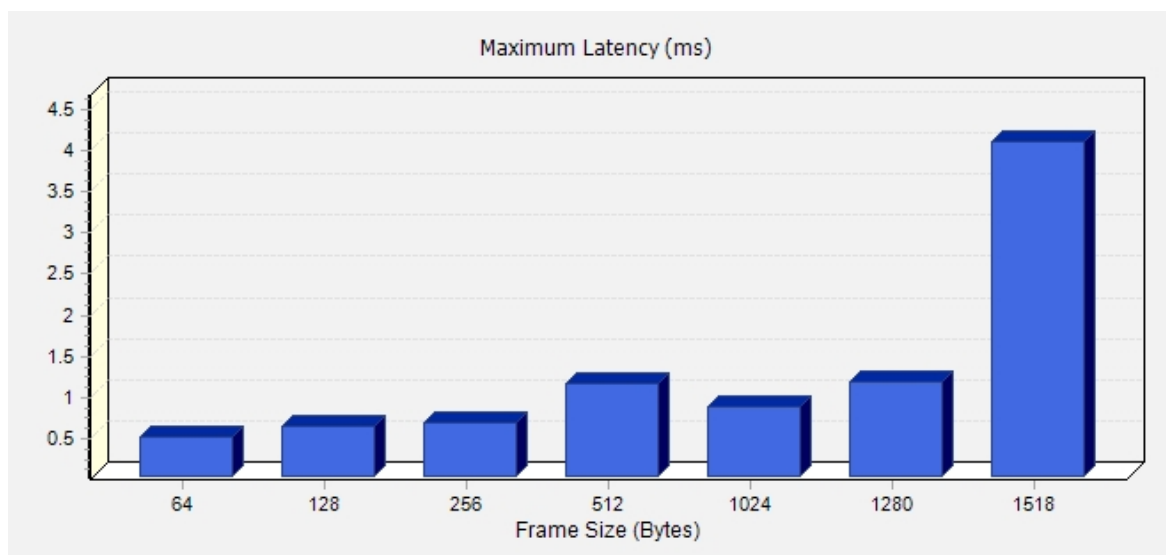
**Nastavený útlum 15,7 dB (délka trasy 56,07 km)**



*Propustnost*

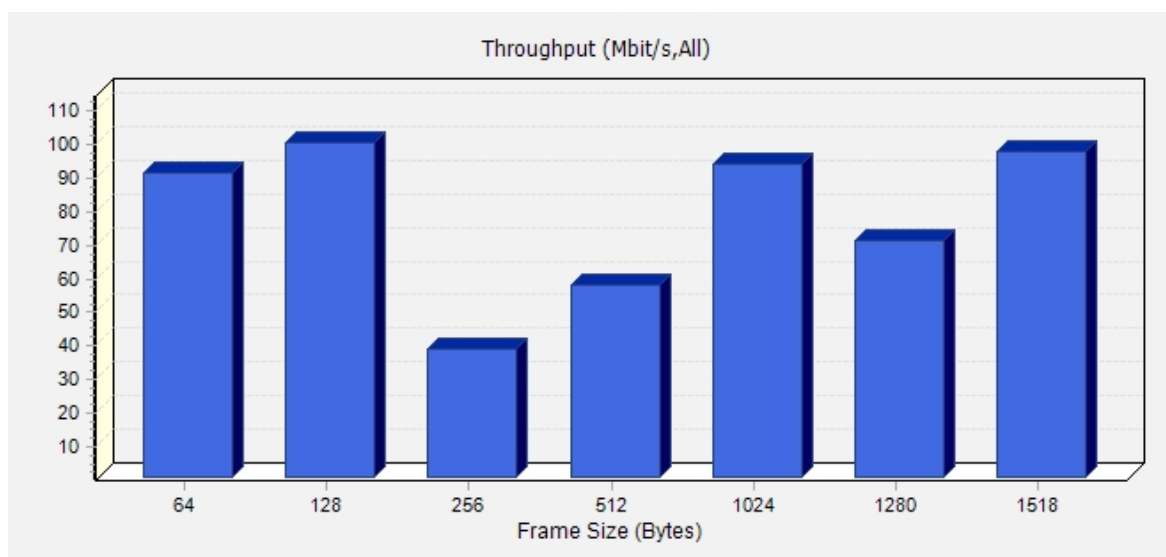


*Zatížitelnost**Ztrátovost*

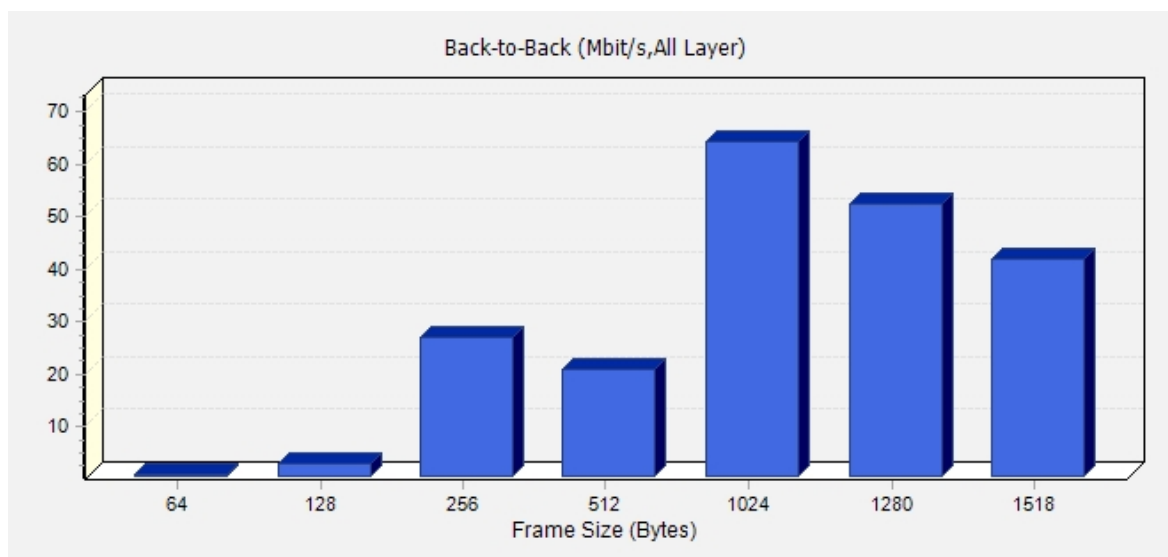


*Zpoždění*

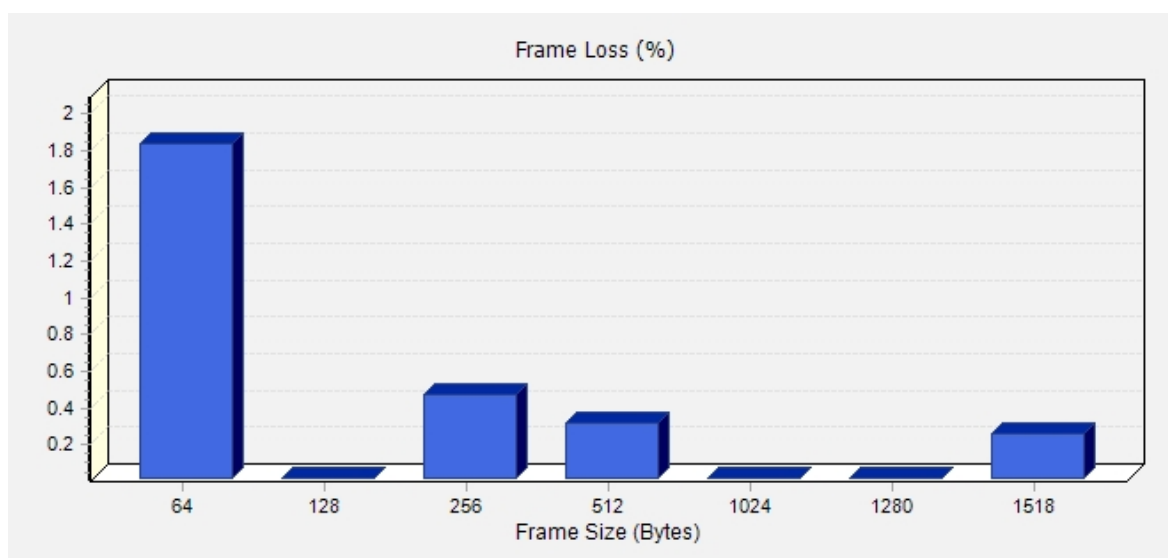
**Nastavený útlum 15,6 dB (délka trasy 55,71 km)**



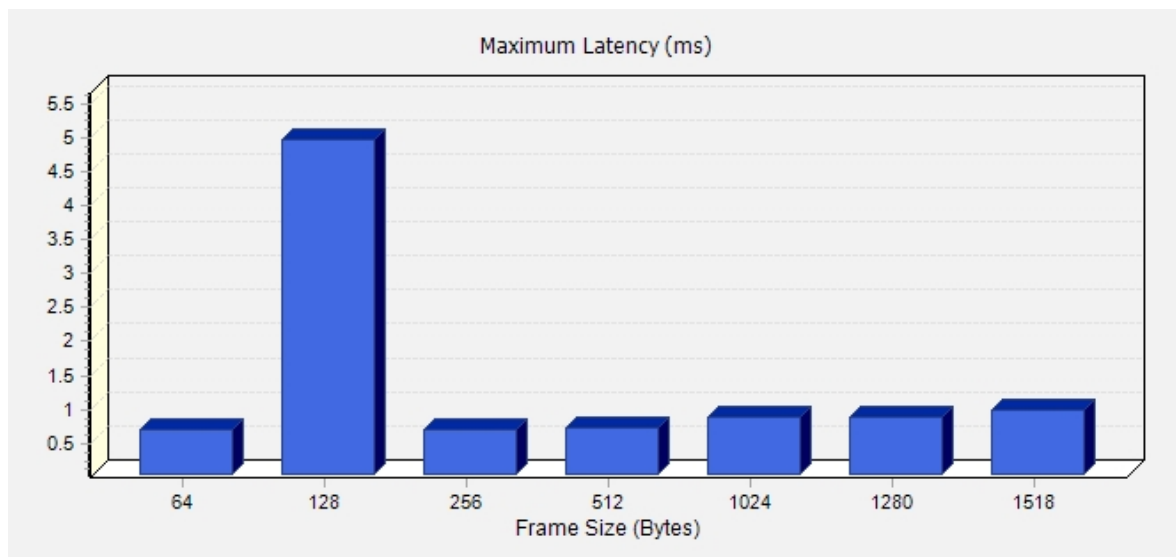
*Propustnost*



*Zatížitelnost*



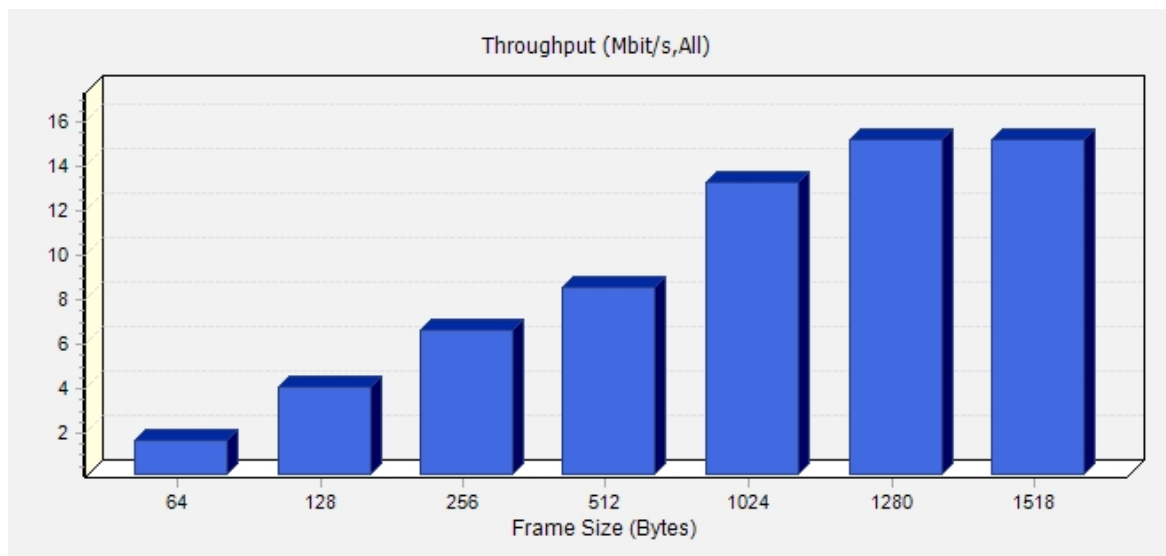
*Ztrátovost*



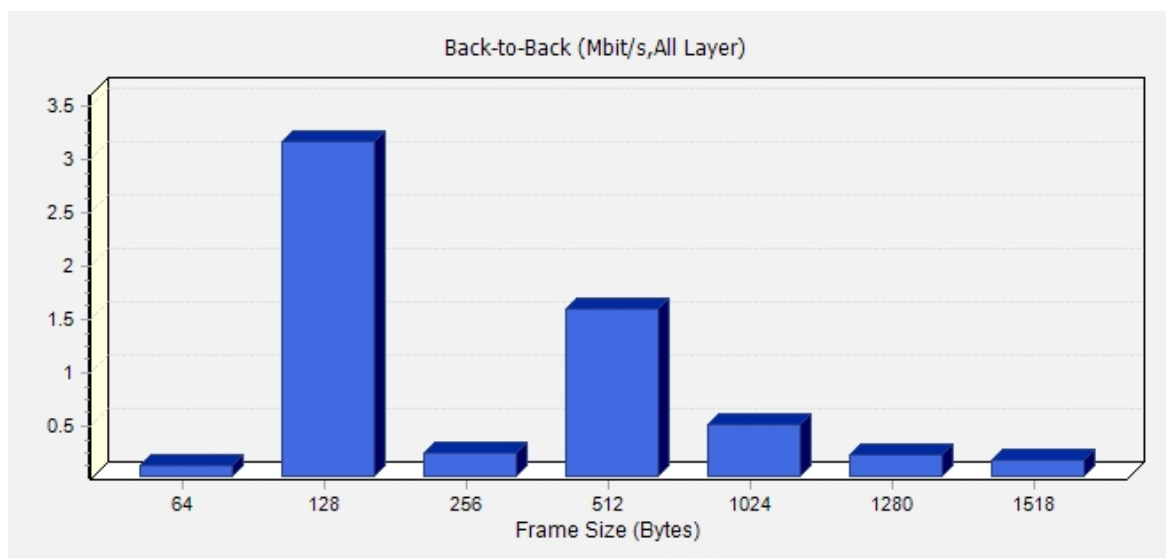
*Zpoždění*

### Příloha III – Sloupcové grafy topologie 3

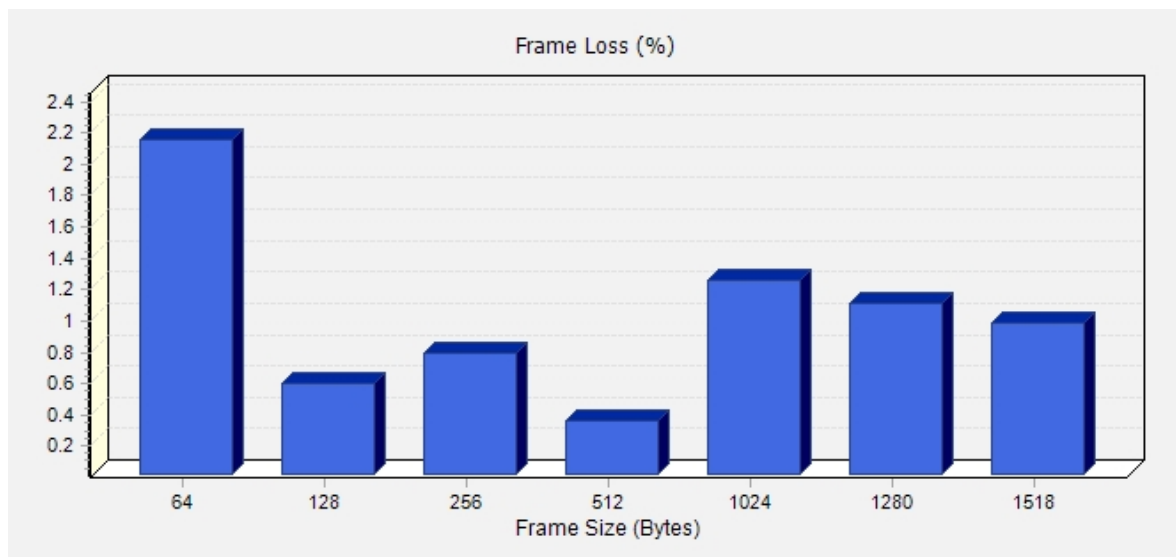
Nastavený útlum 18,4 dB (délka trasy 65,71 km)



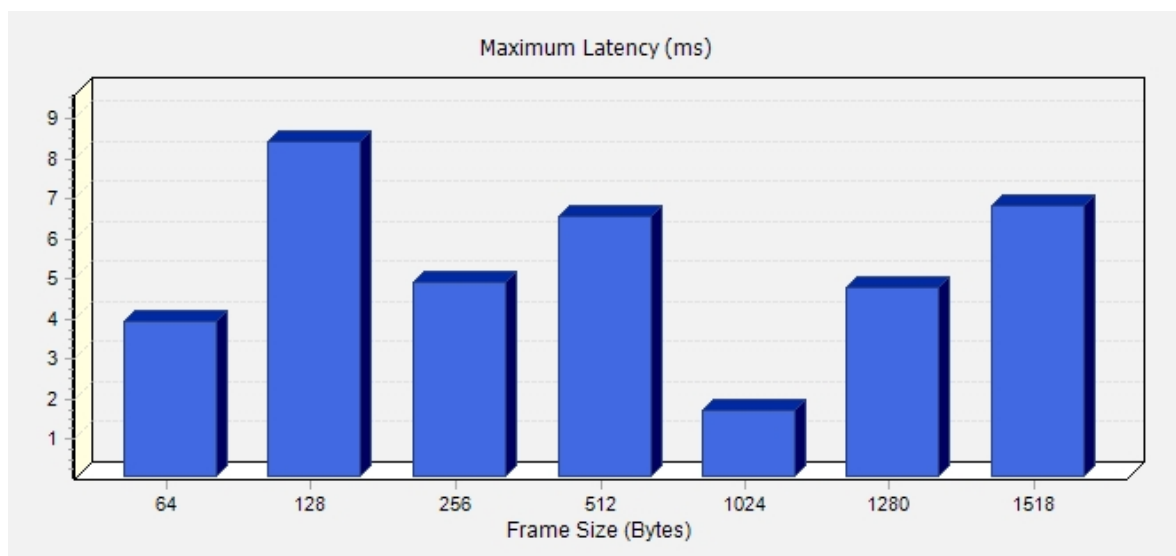
*Propustnost*



*Zatížitelnost*

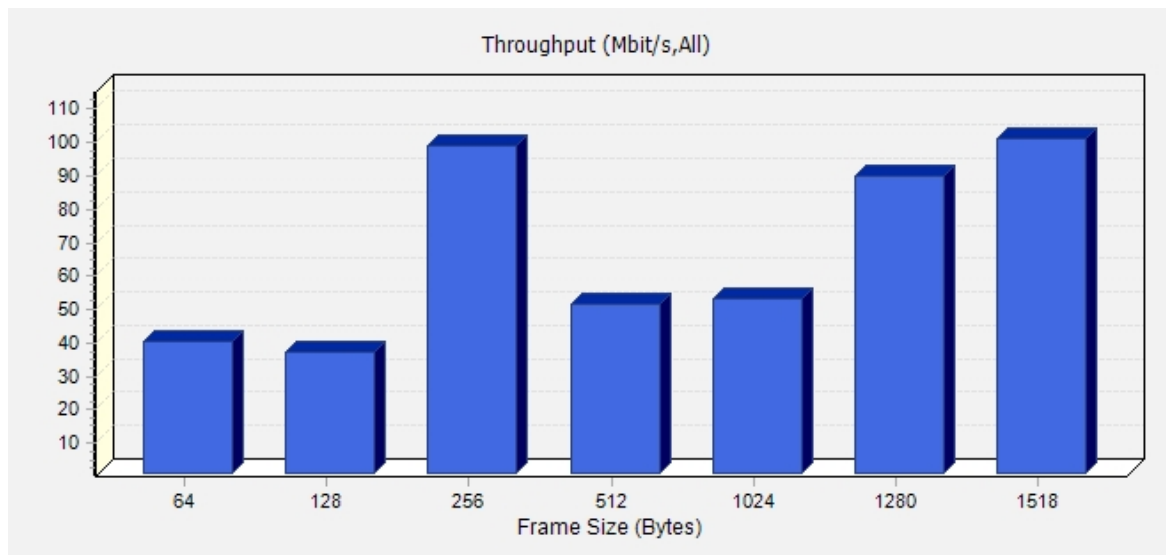


*Ztrátovost*

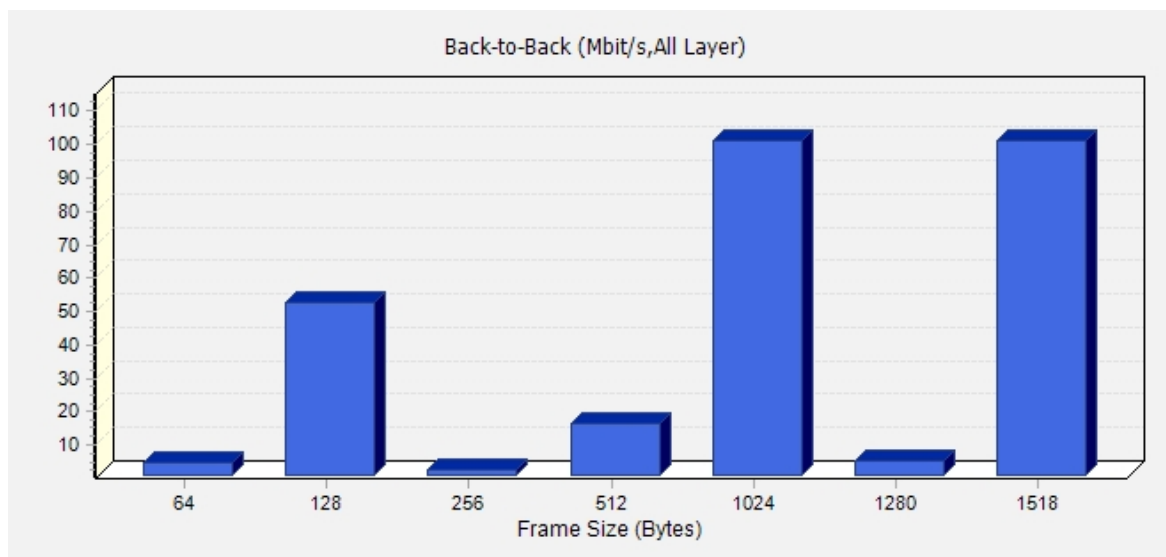


*Zpoždění*

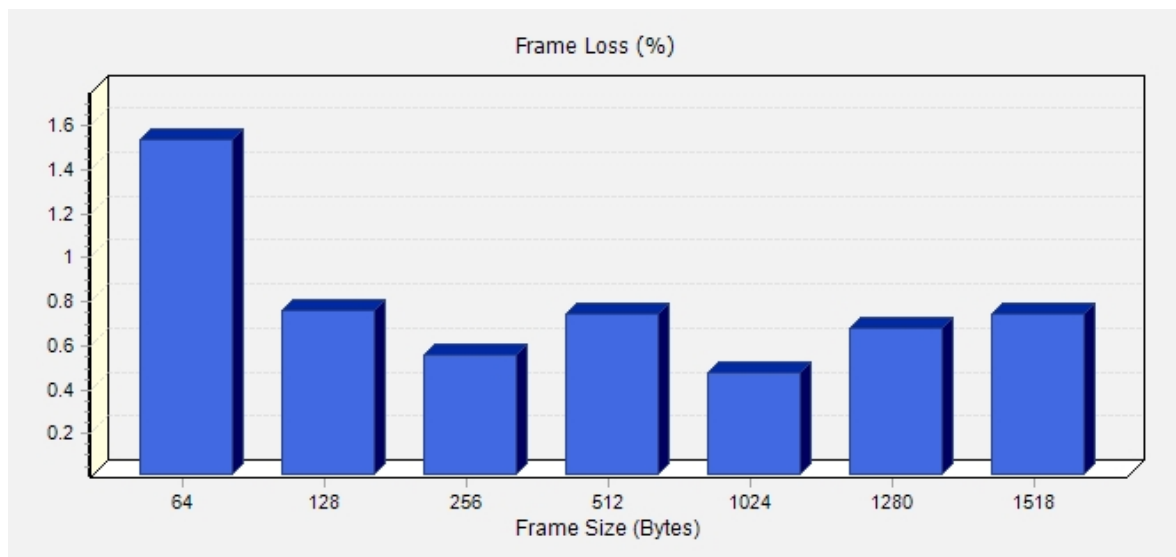
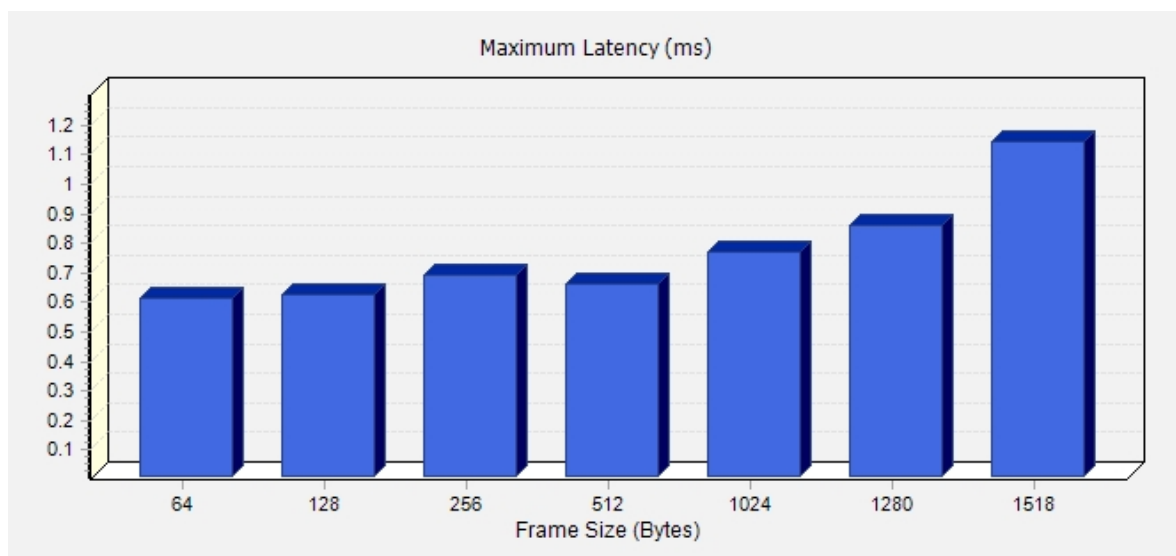
Nastavený útlum 18,3 dB (délka trasy 65,36 km)



*Propustnost*

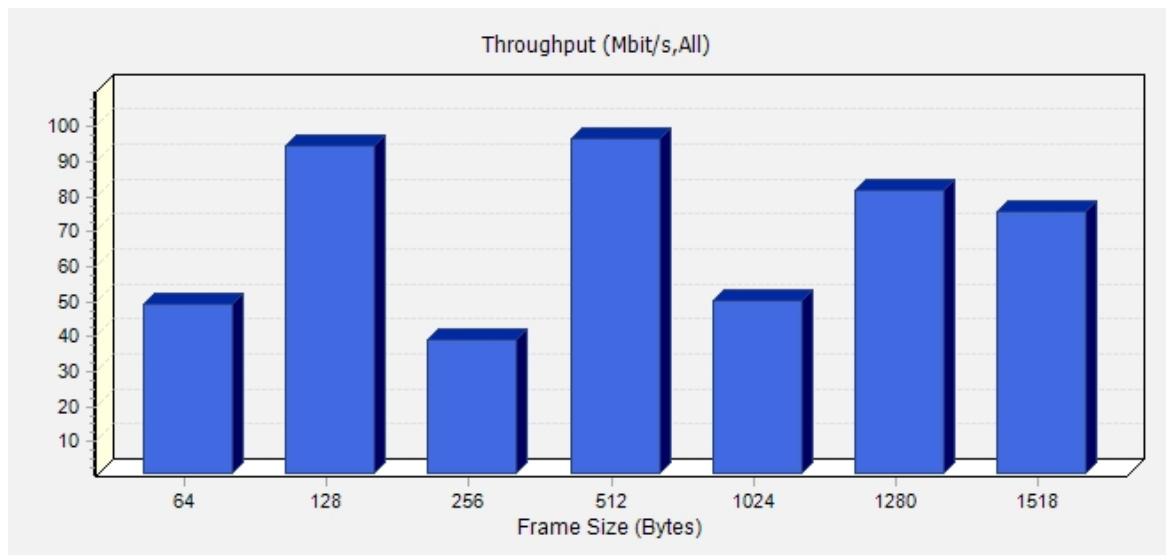


*Zatžitelnost*

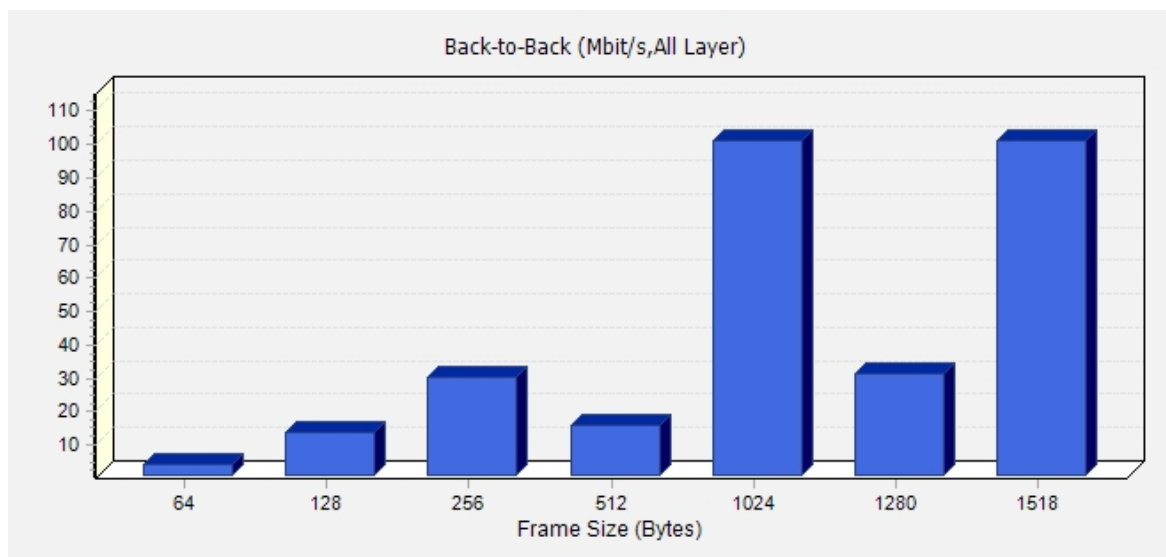
*Ztrátovost**Zpoždění*



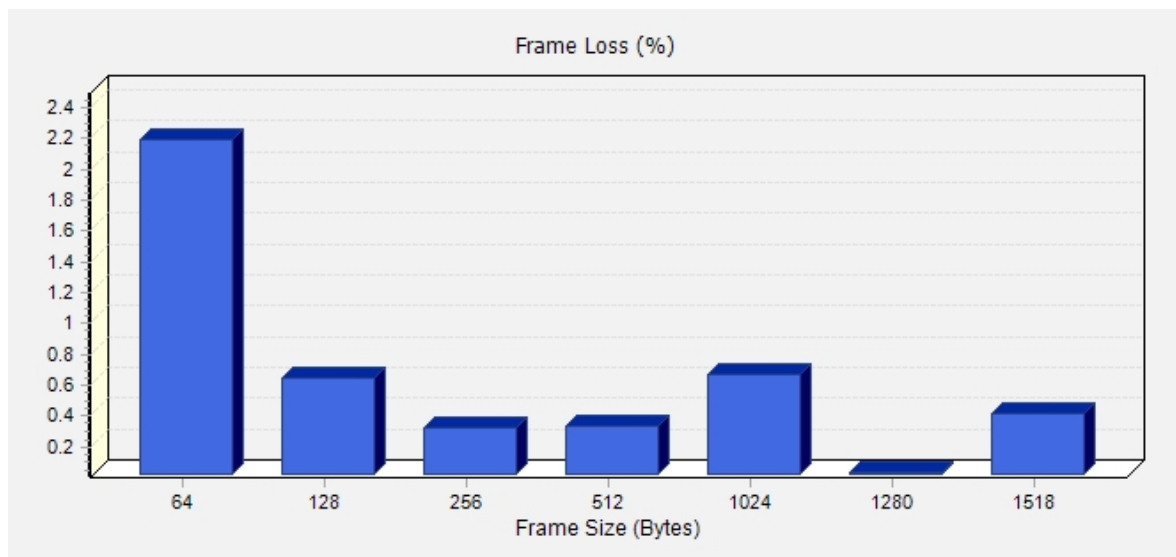
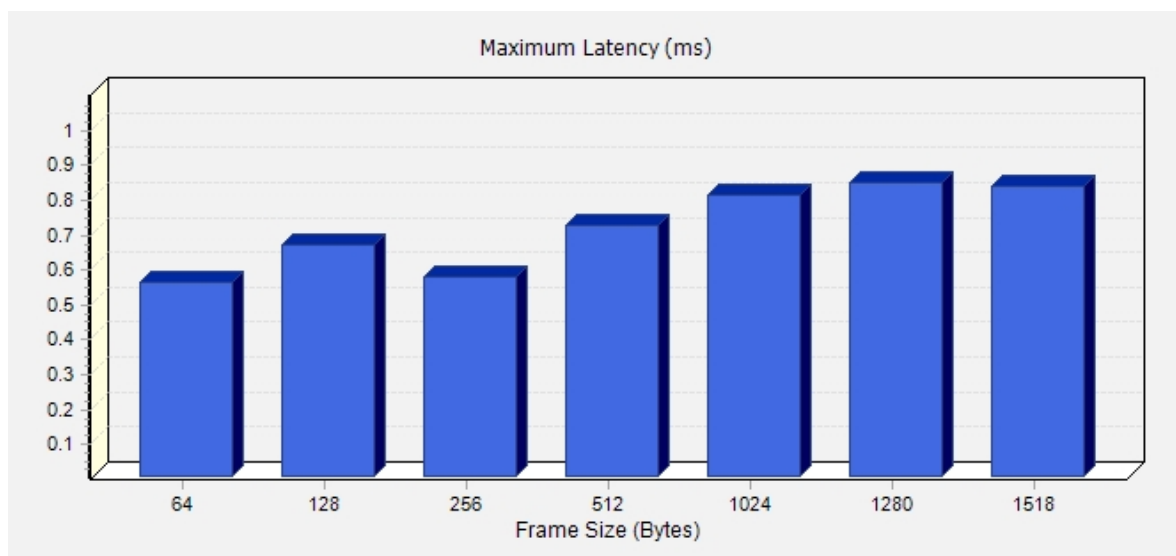
Nastavený útlum 18,2 dB (délka trasy 65 km)



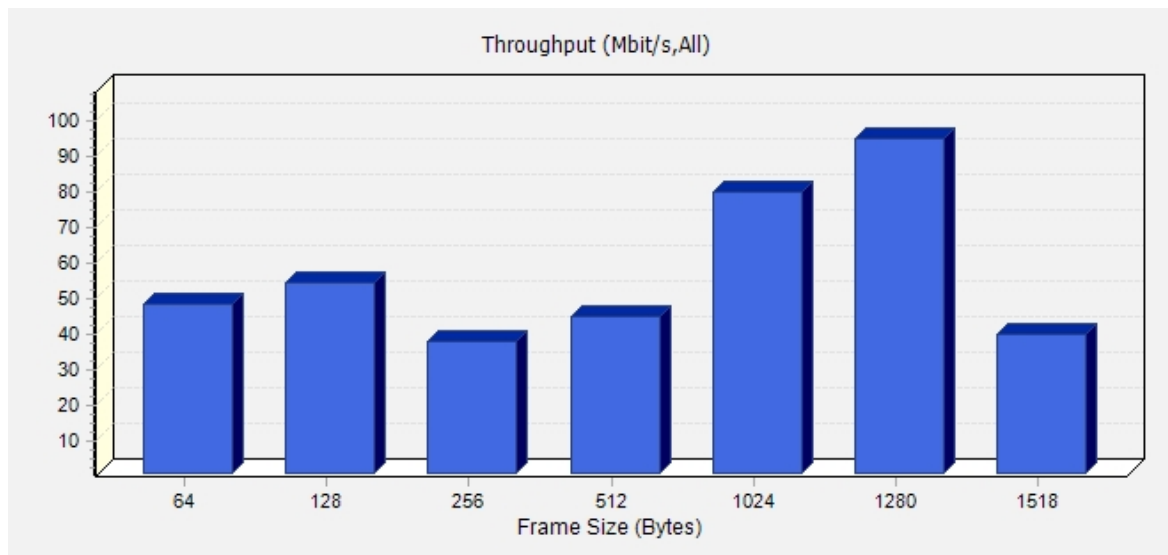
*Propustnost*



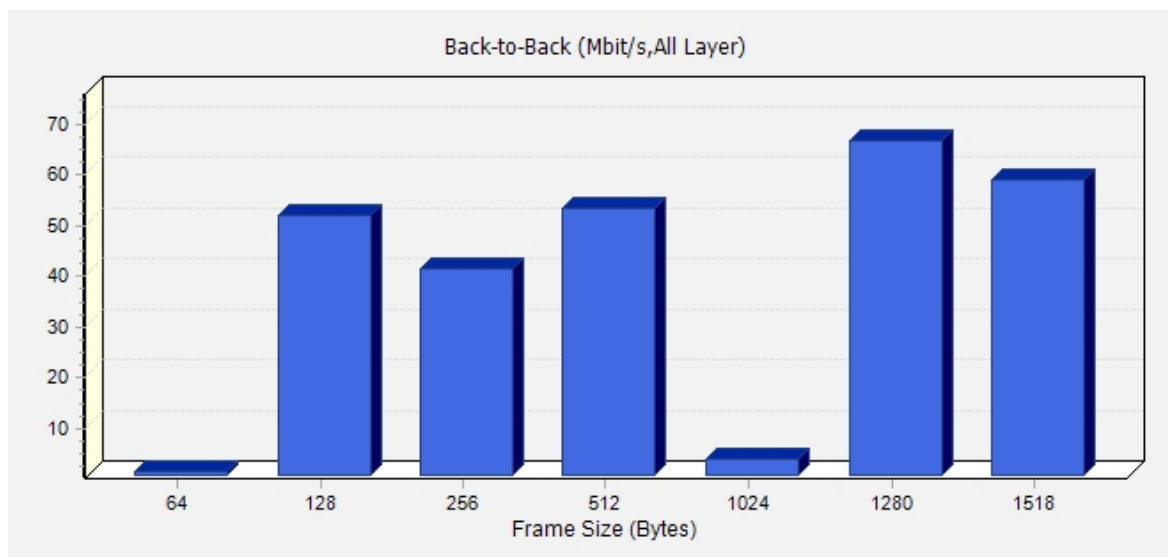
*Zatžitelnost*

*Ztrátovost**Zpoždění*

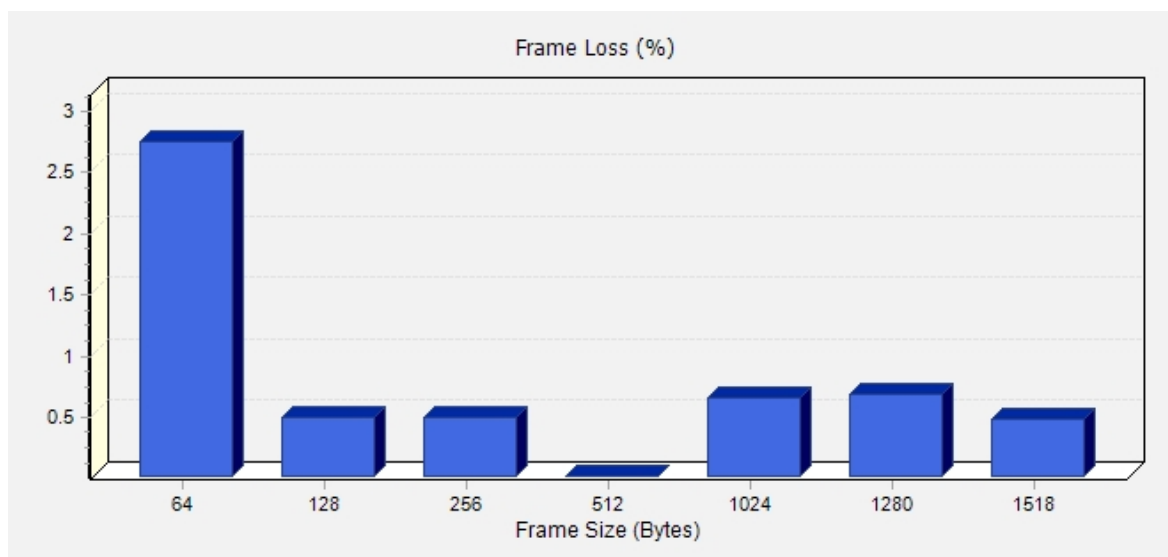
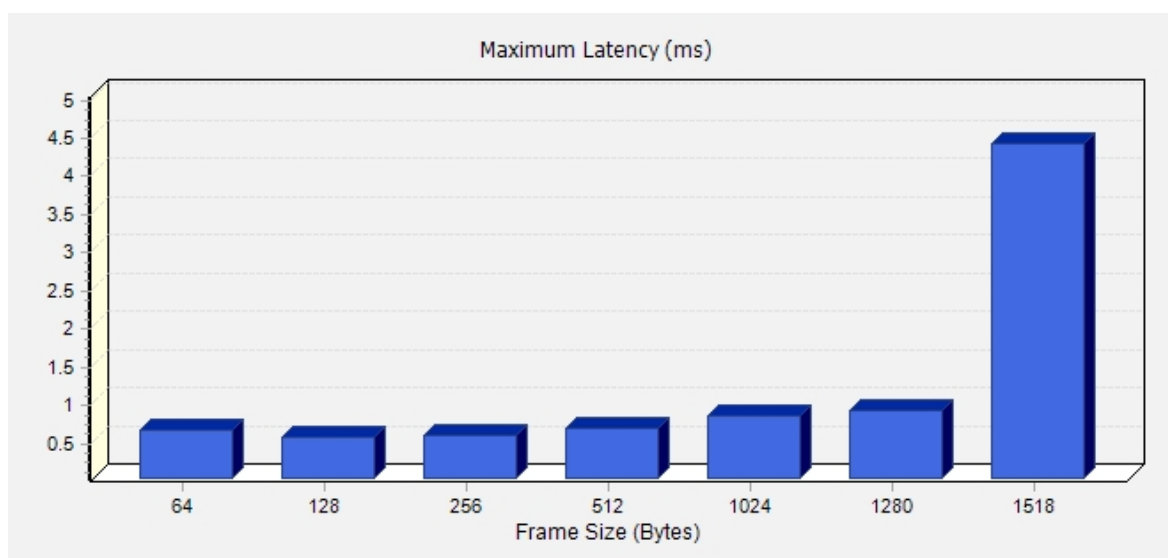
Nastavený útlum 18,1 dB (délka trasy 64,64 km)



*Propustnost*

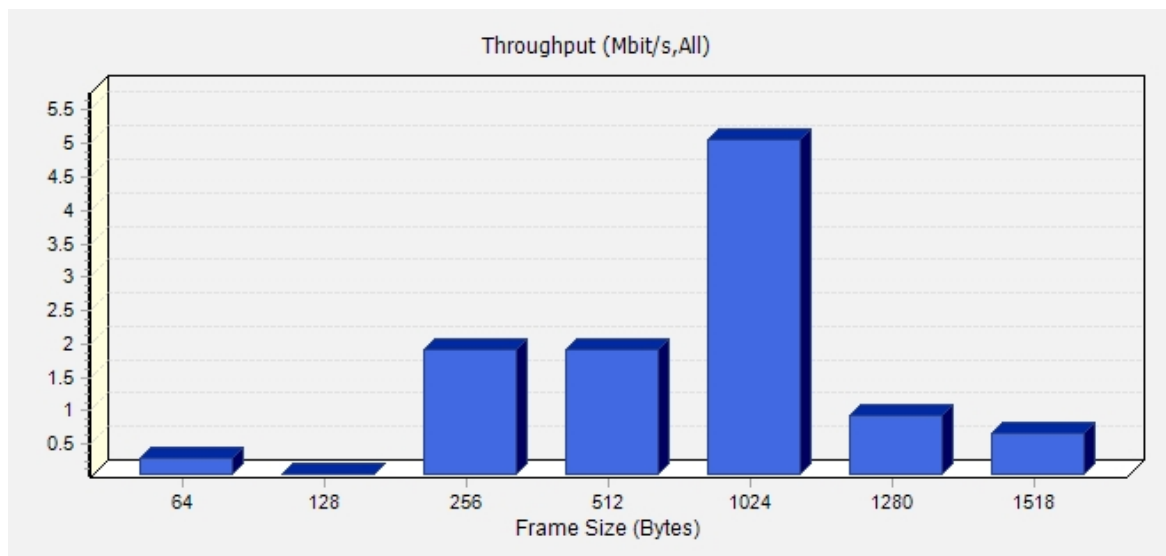


*Zatžitelnost*

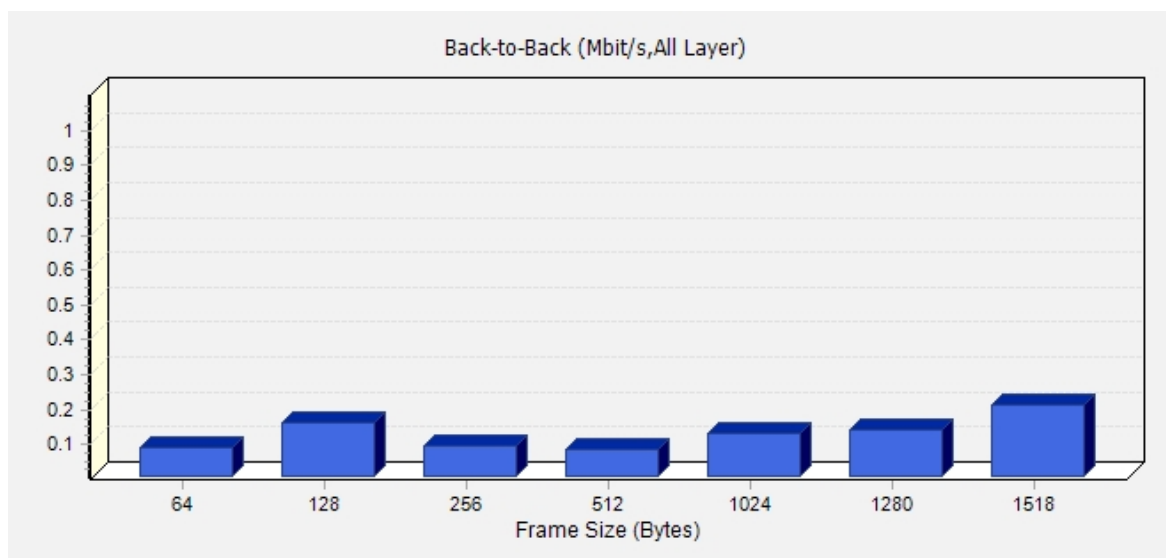
*Ztrátovost**Zpoždění*

## Příloha IV – Sloupcové grafy topologie 4

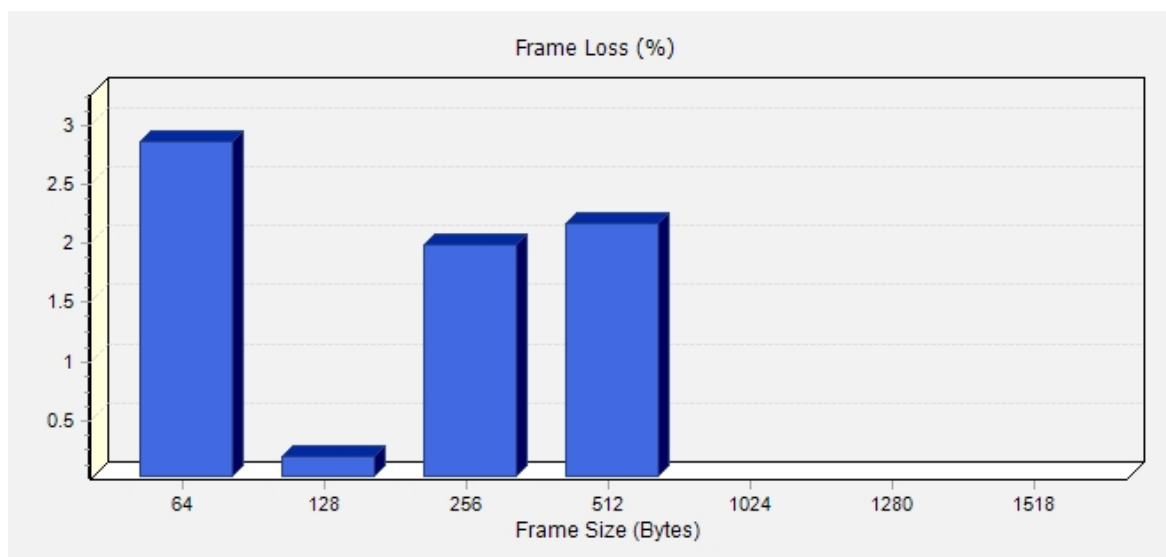
Nastavený útlum 18,85 dB (délka trasy 67,32 km)



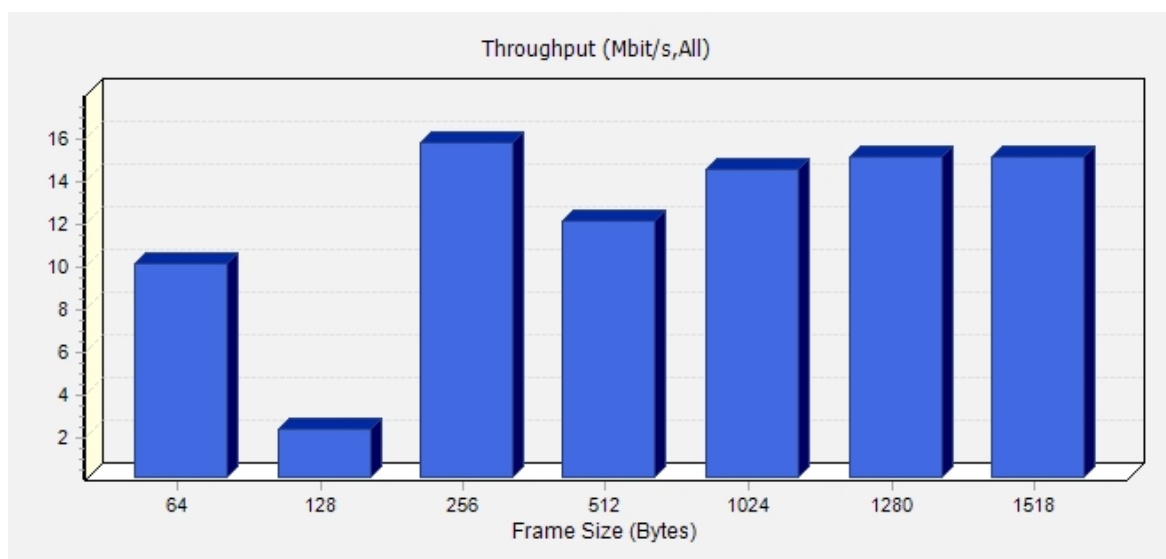
*Propustnost*

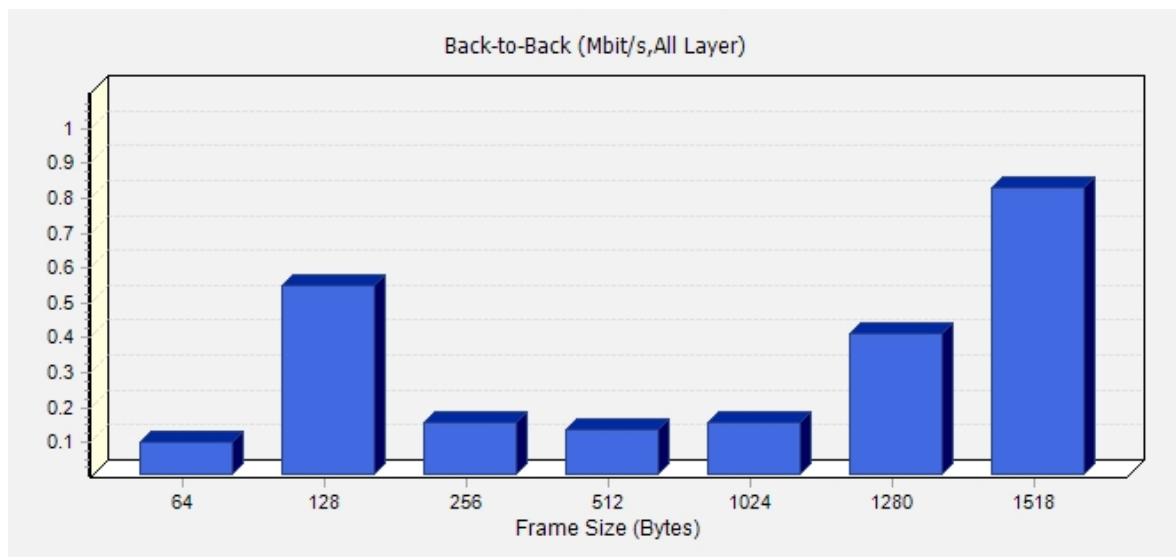
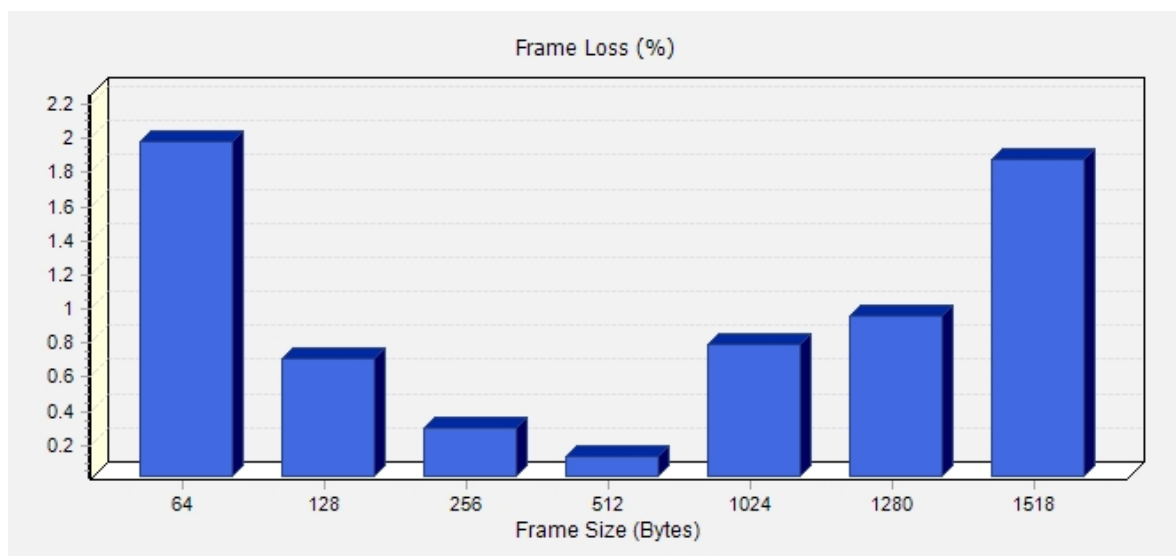


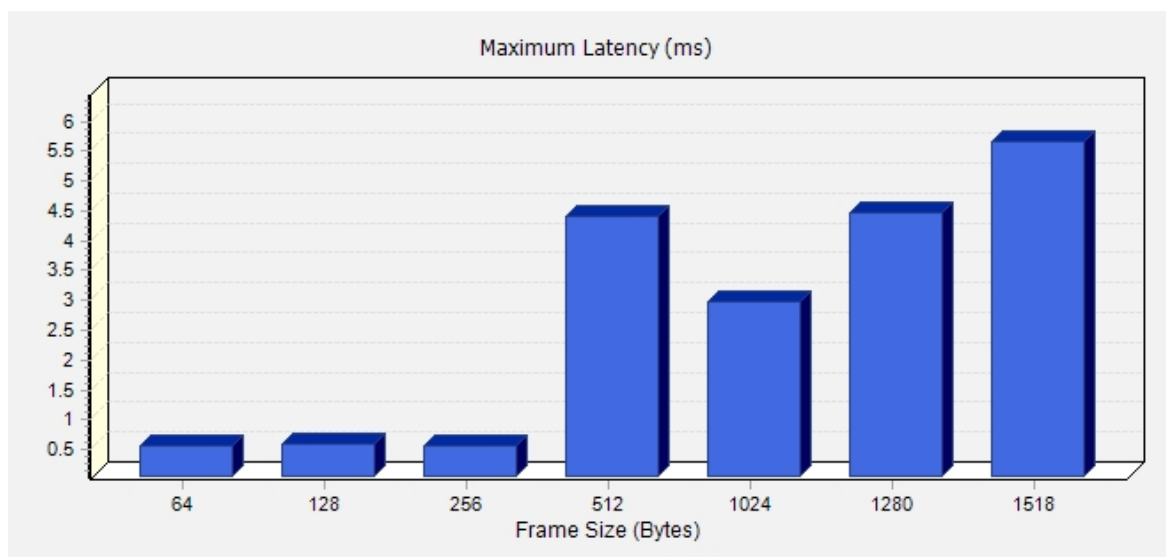
*Zatížitelnost*

*Ztrátovost*

**Nastavený útlum 18,8 dB (délka trasy 67,14 km)**

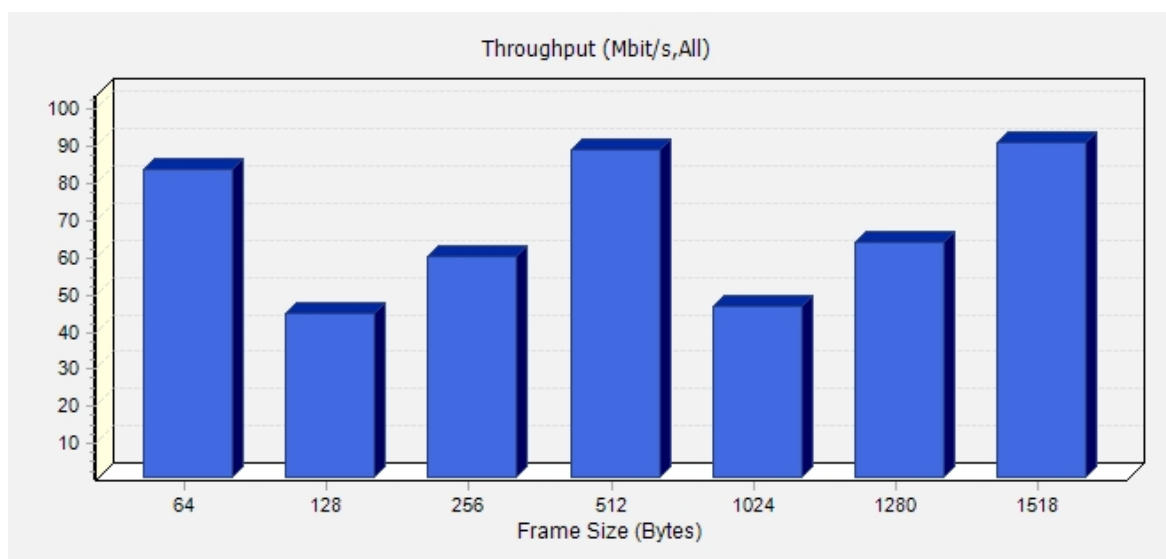
*Propustnost*

*Zatížitelnost**Ztrátovost*



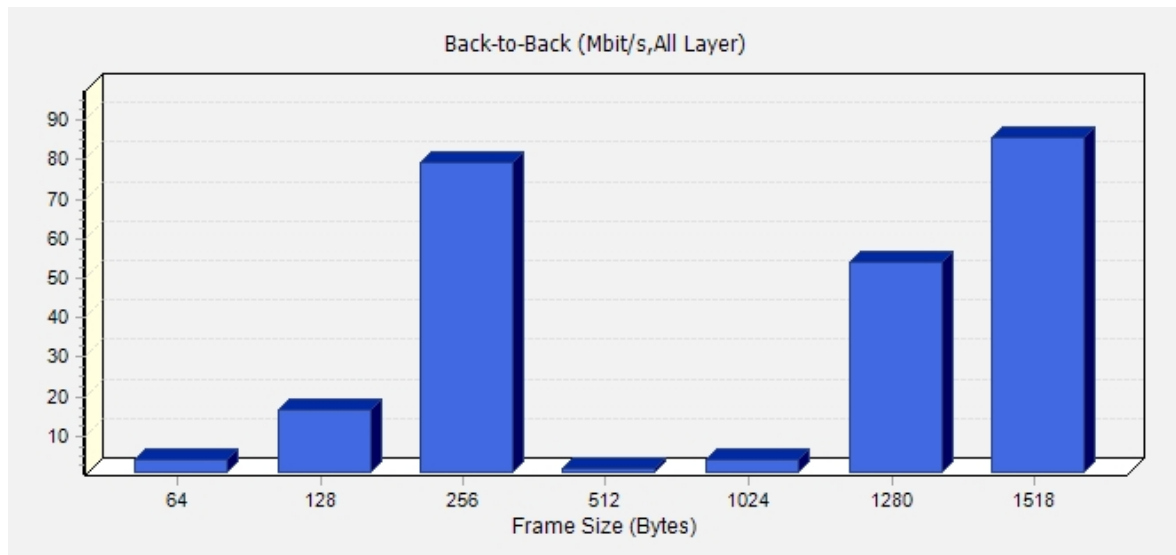
*Zpoždění*

**Nastavený útlum 18,7 dB (délka trasy 66,79 km)**

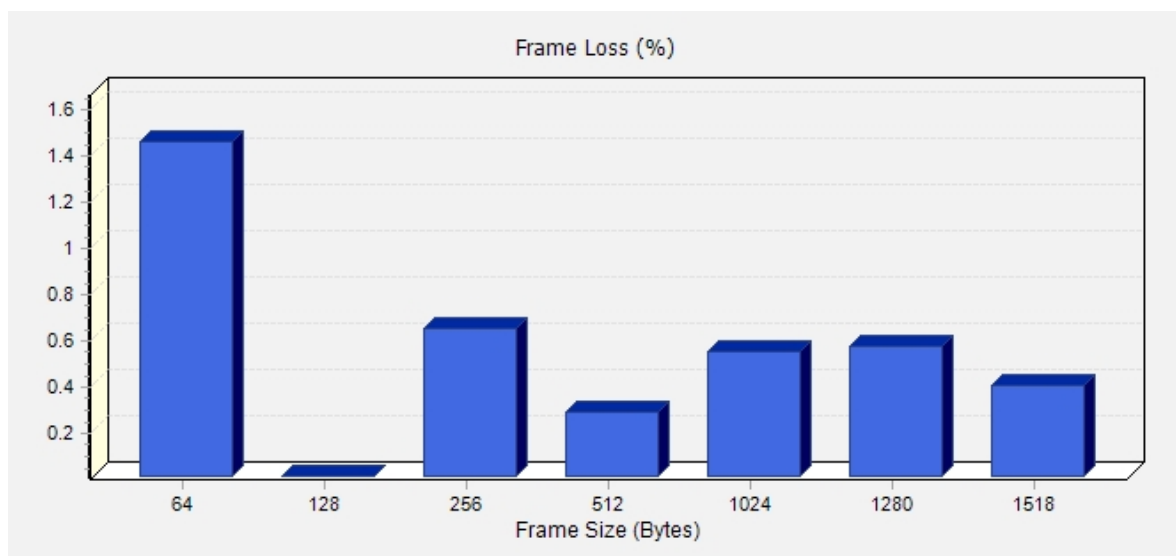


*Propustnost*

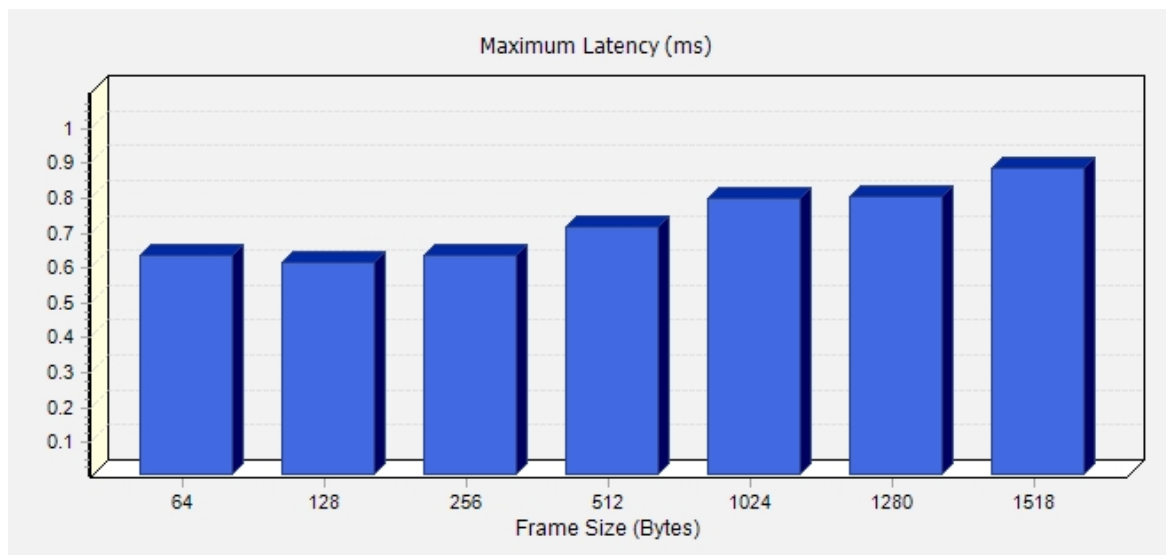




*Zatížitelnost*

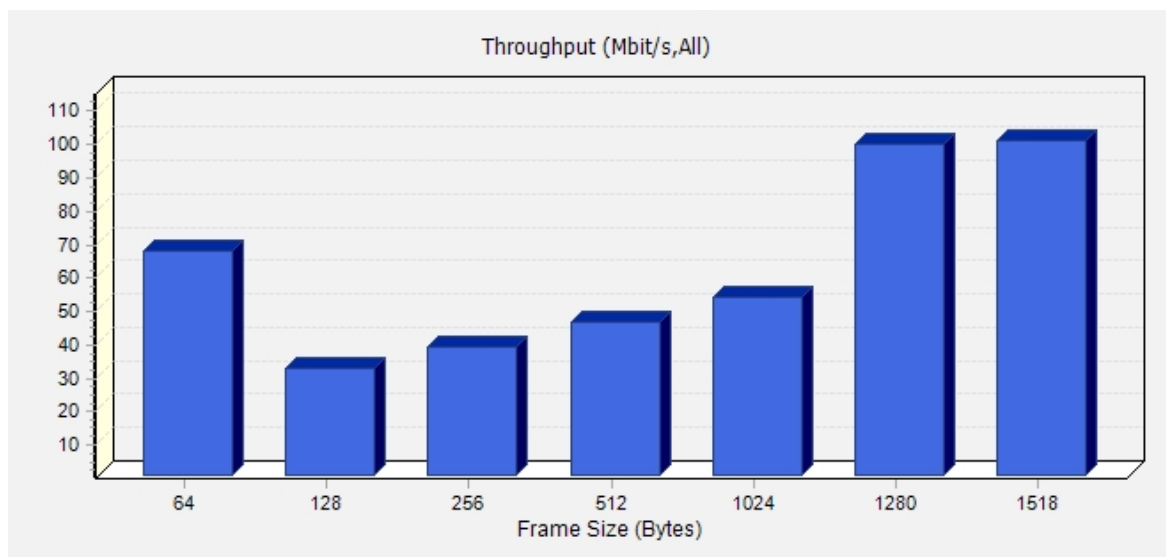


*Ztrátovost*

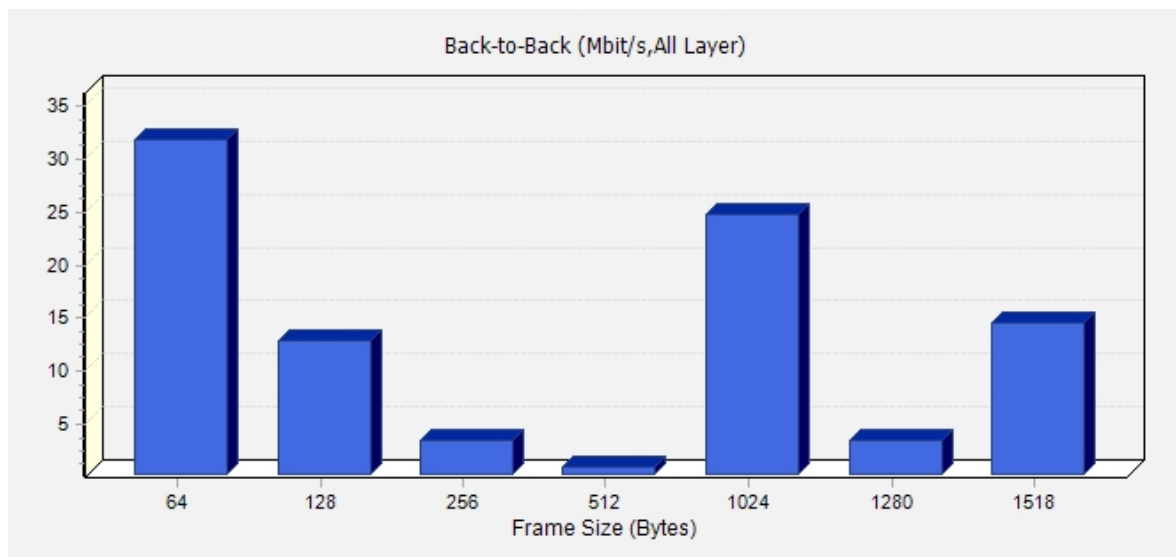
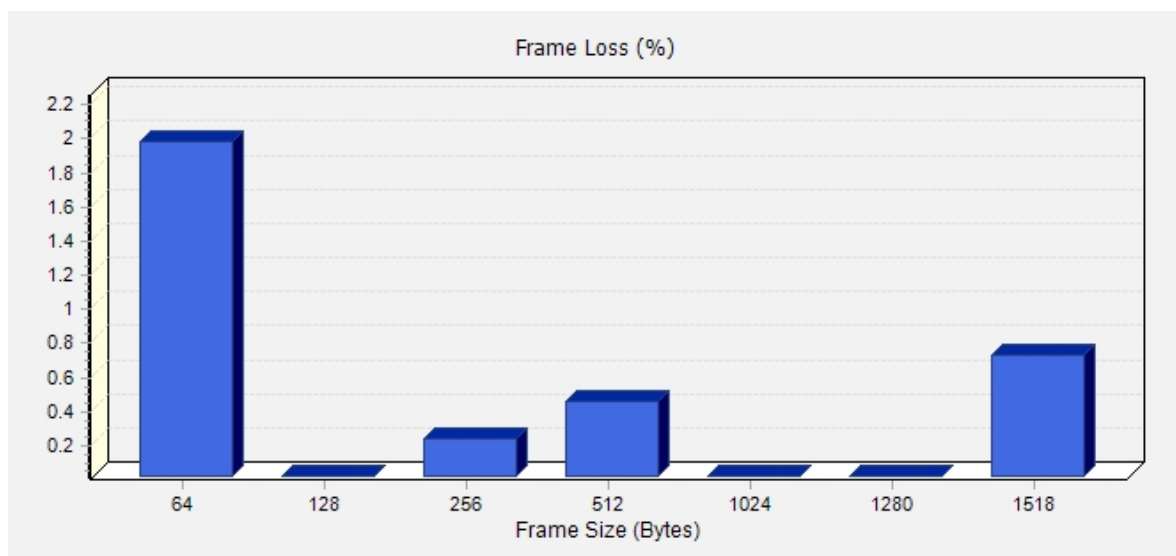


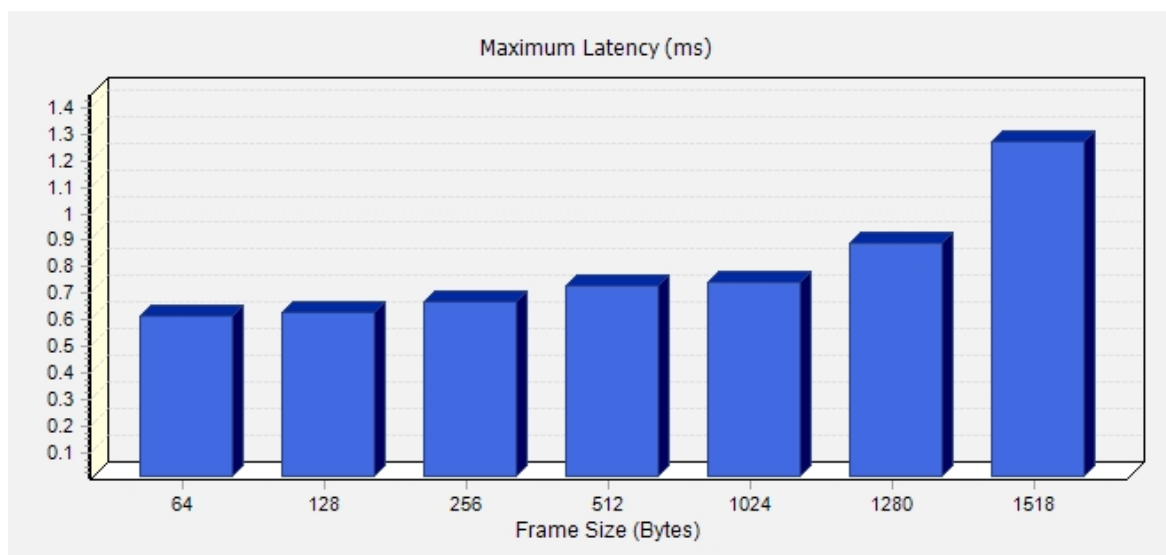
*Zpoždění*

**Nastavený útlum 18,6 dB (délka trasy 66,43 km)**



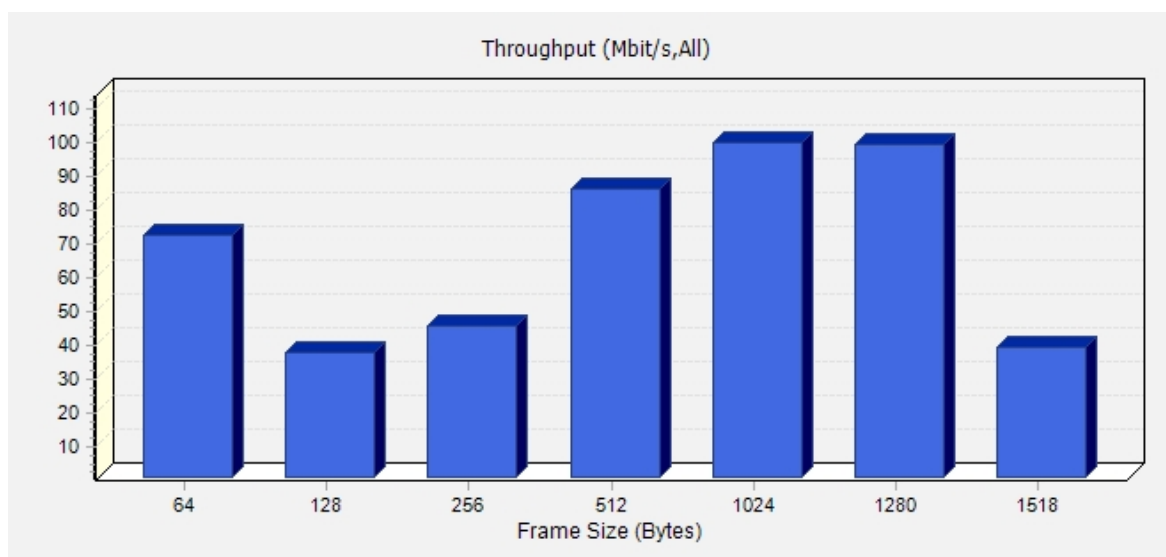
*Propustnost*

*Zatížitelnost**Ztrátovost*

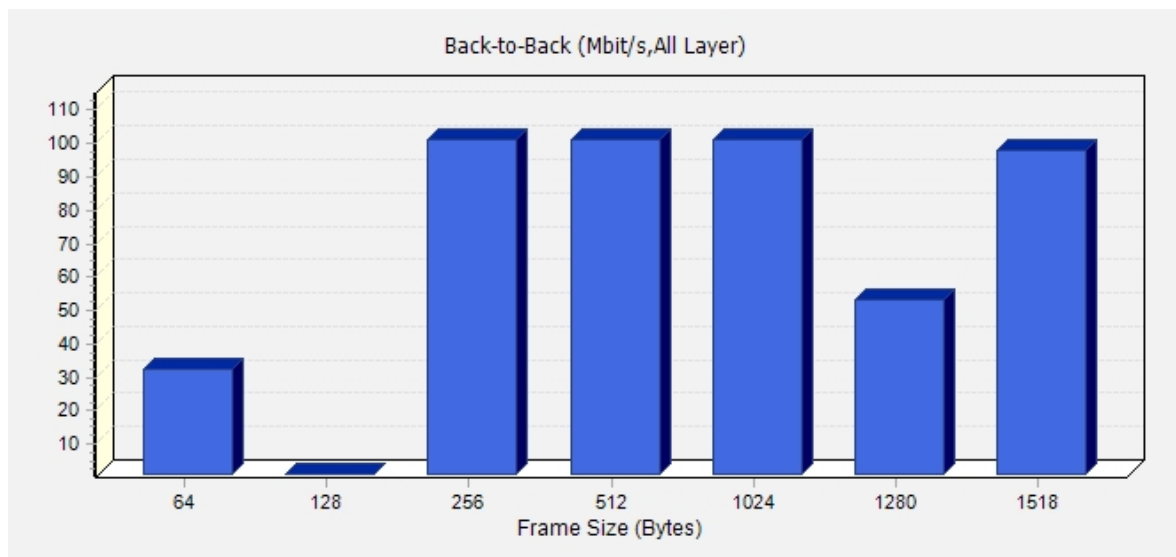
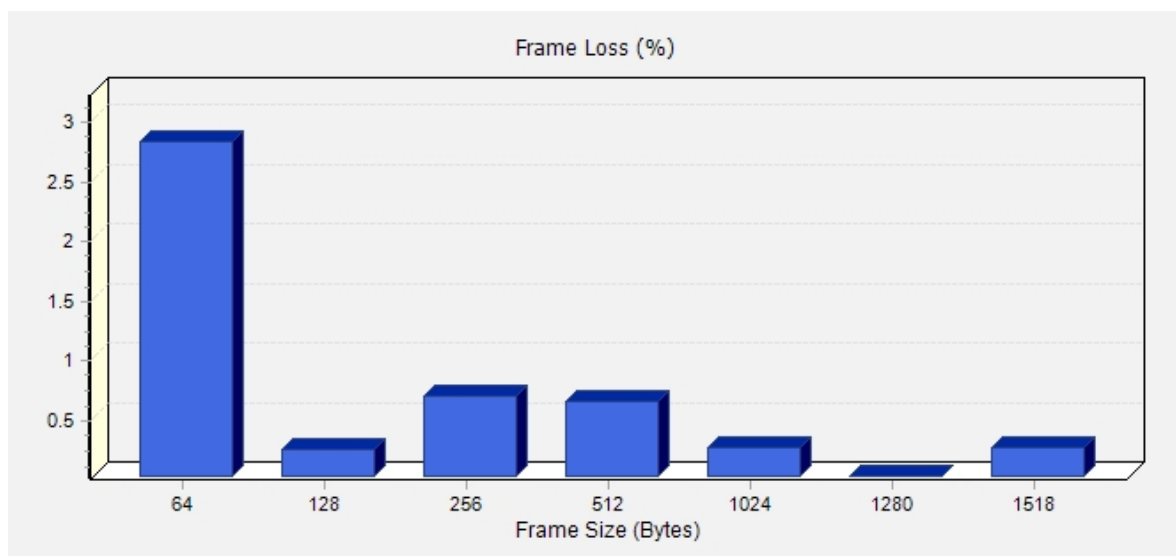


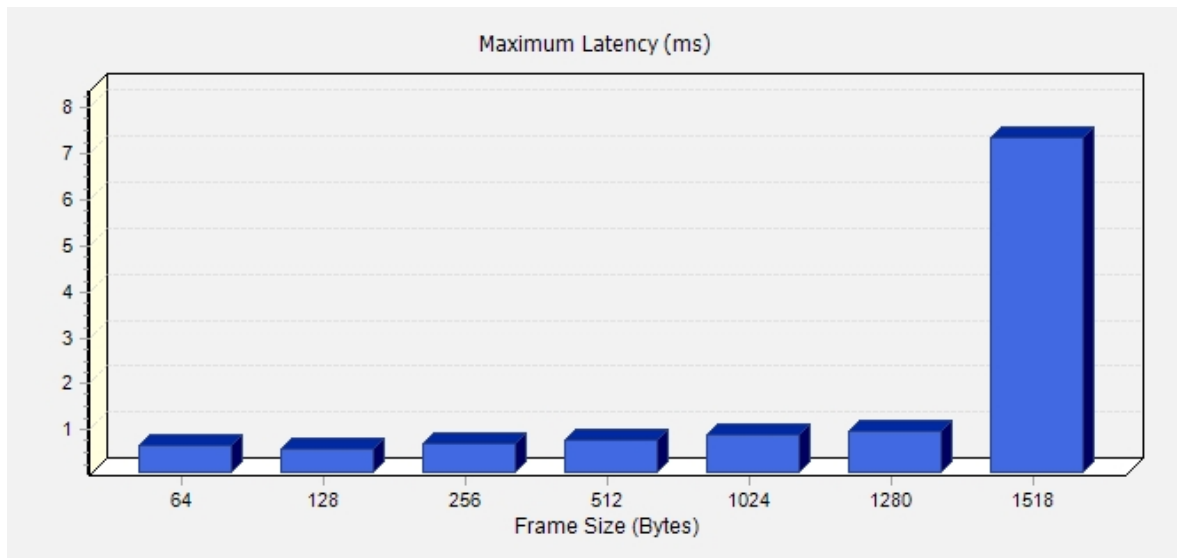
*Zpoždění*

**Nastavený útlum 18,5 dB (délka trasy 66,07 km)**



*Propustnost*

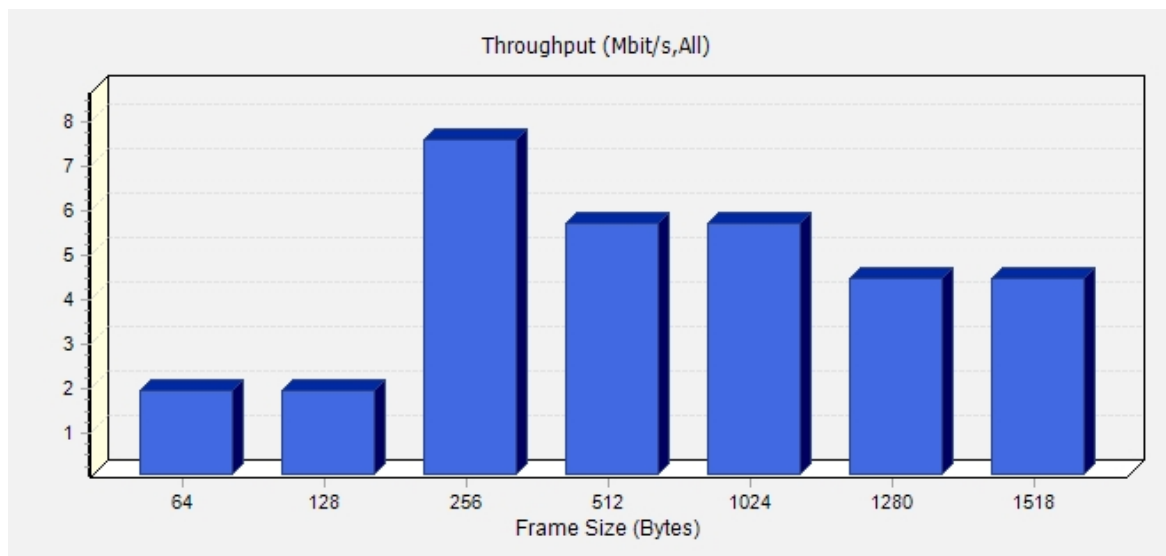
*Zatížitelnost**Ztrátovost*



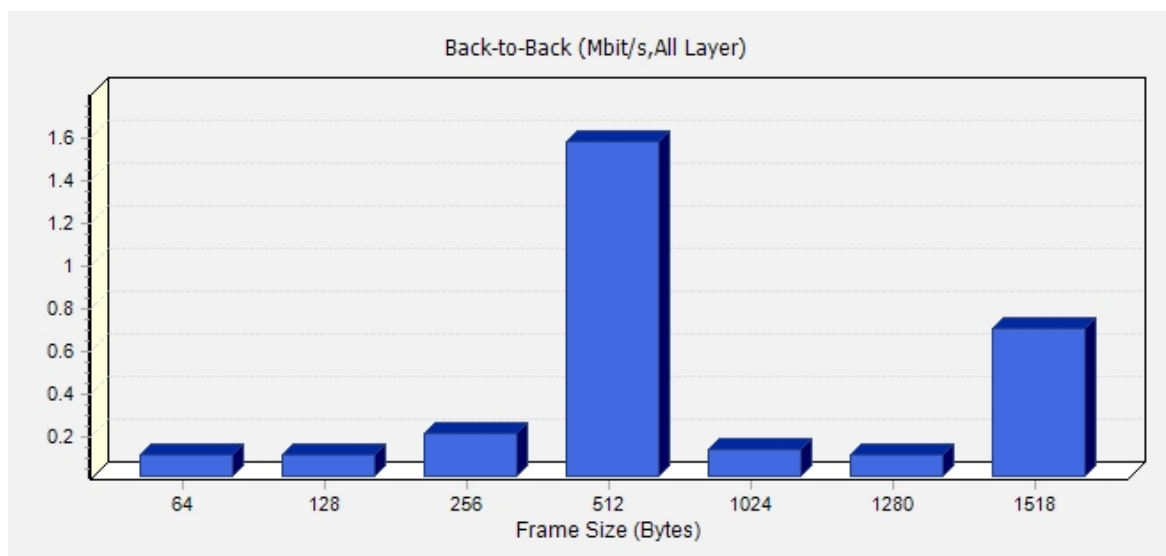
*Zpoždění*

## Příloha V – Sloupcové grafy topologie 5

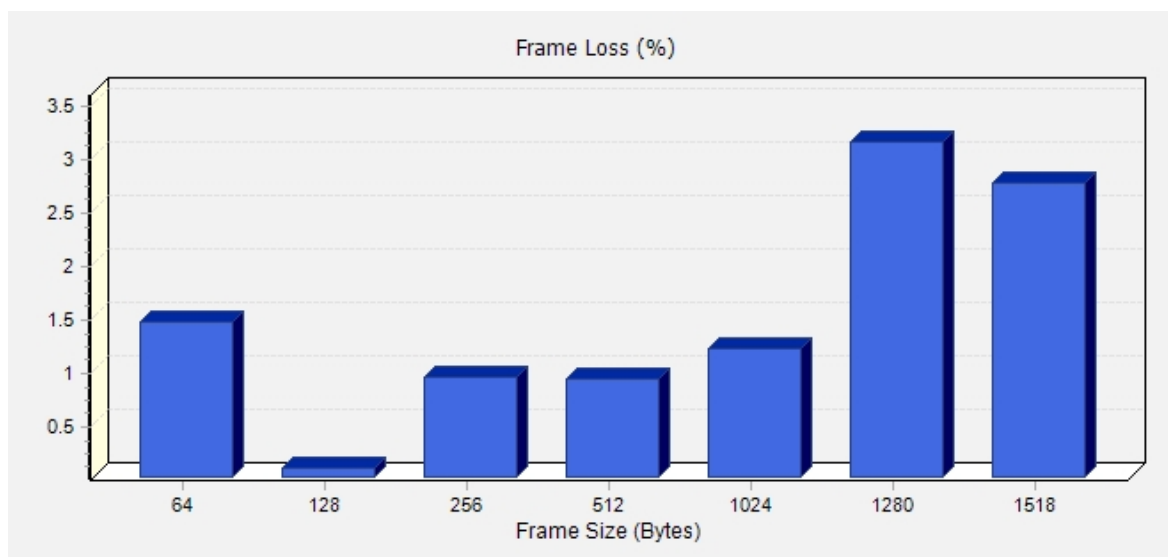
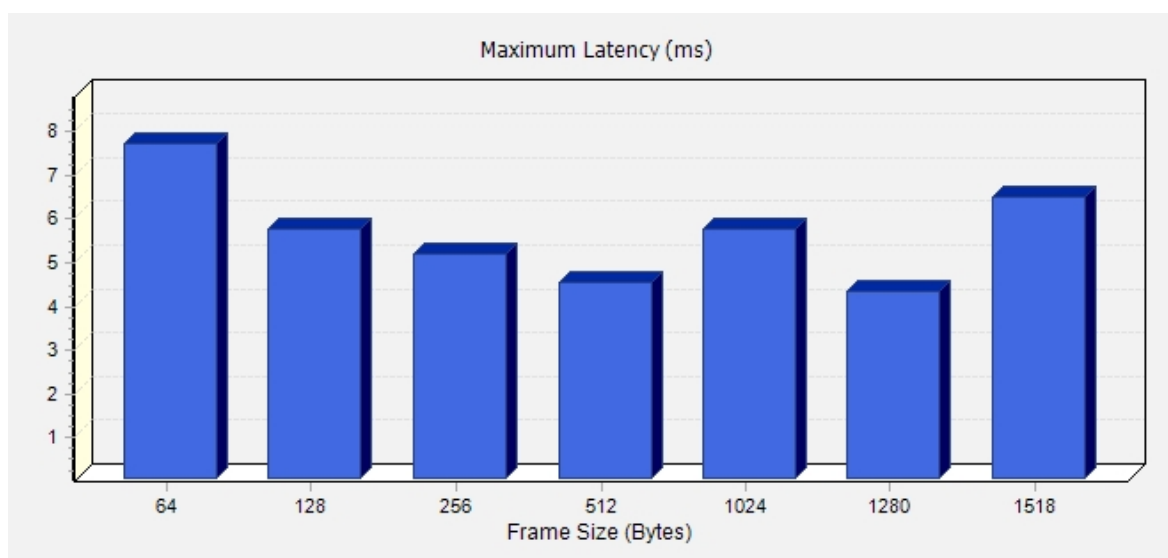
Nastavený útlum 16,65 dB (délka trasy 59,46 km)



*Propustnost*

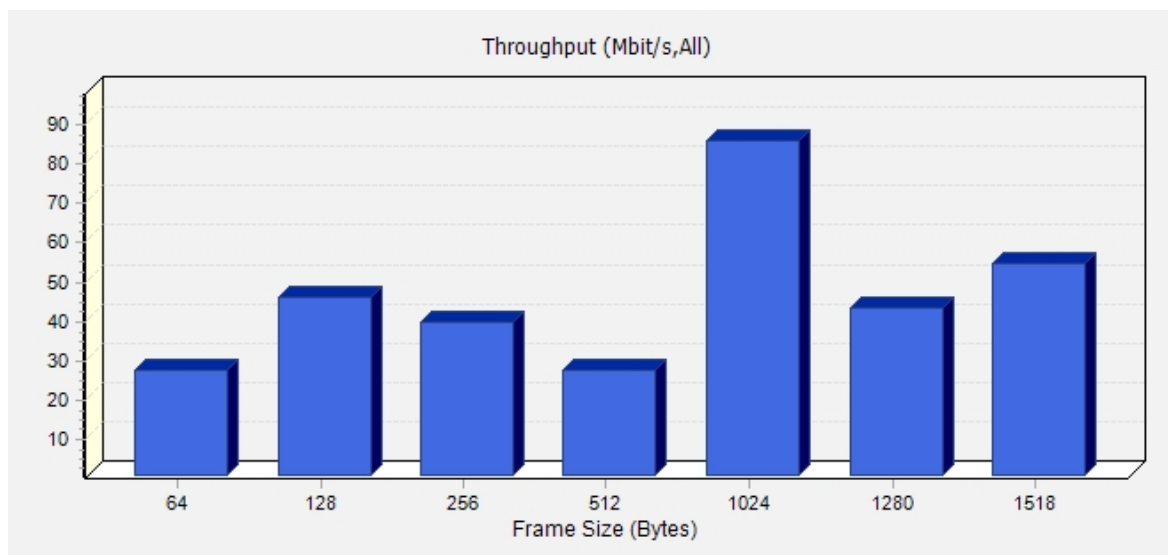


*Zatížitelnost*

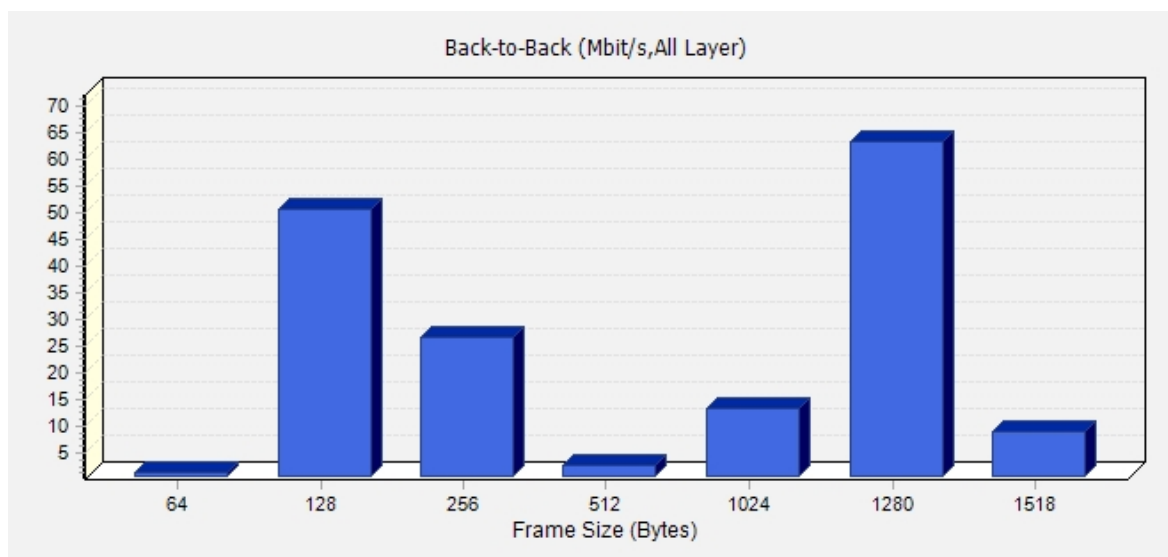
*Ztrátovost**Zpoždění*



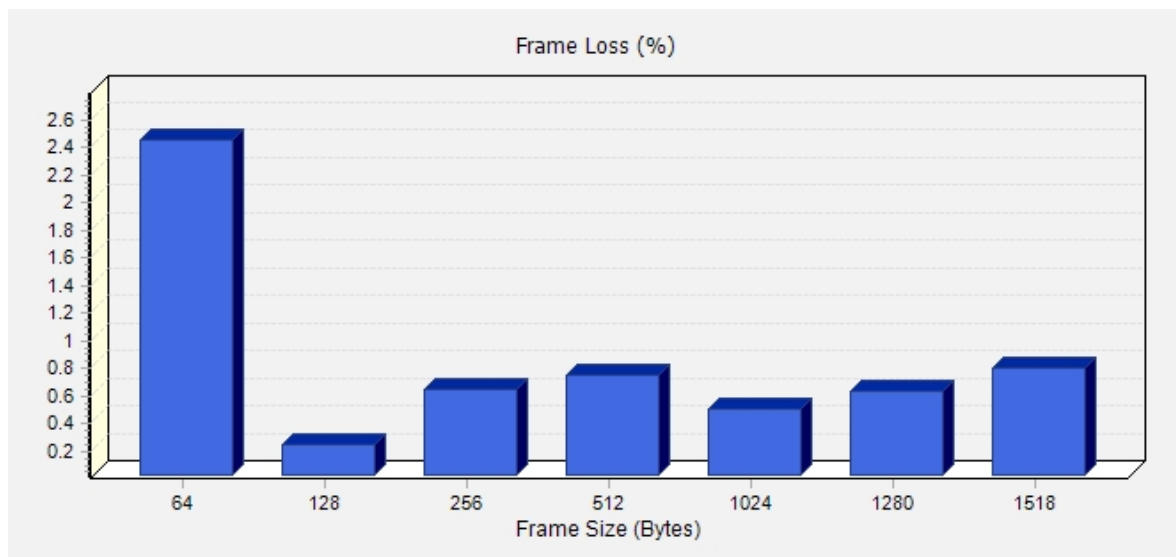
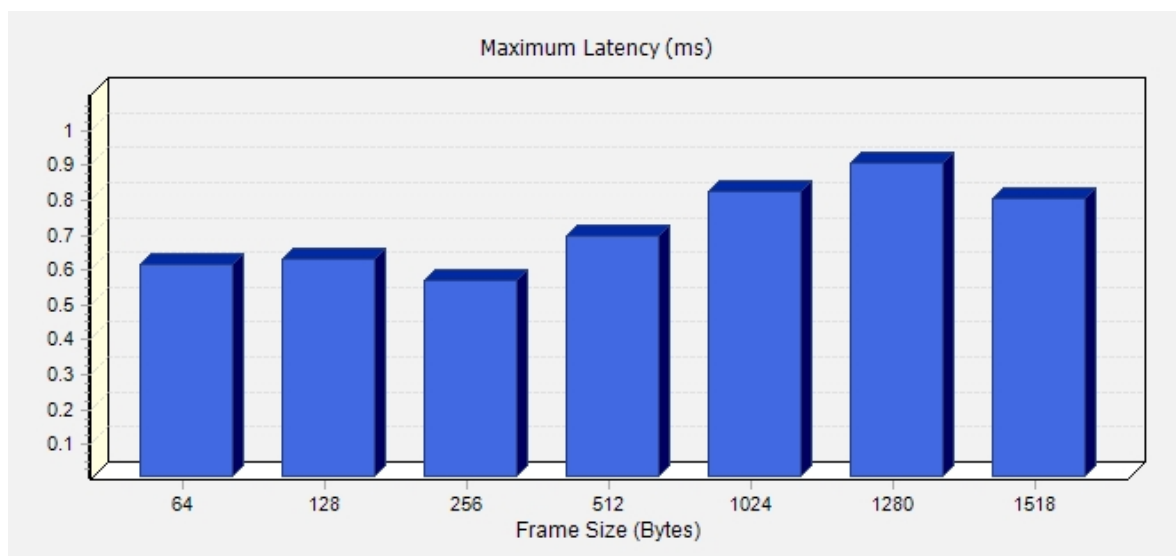
Nastavený útlum 16,6 dB (délka trasy 59,29 km)



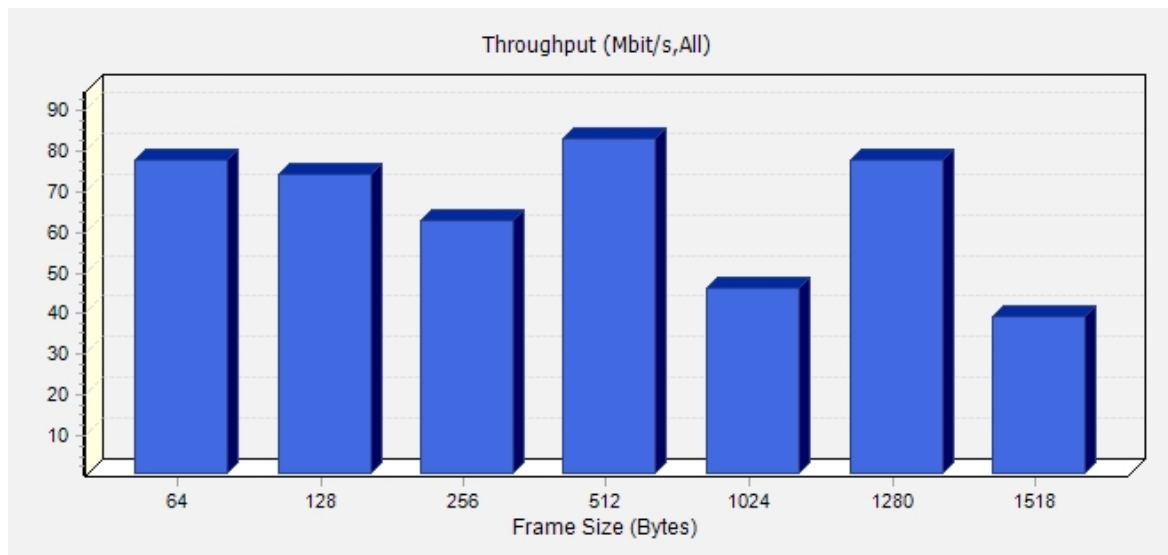
*Propustnost*



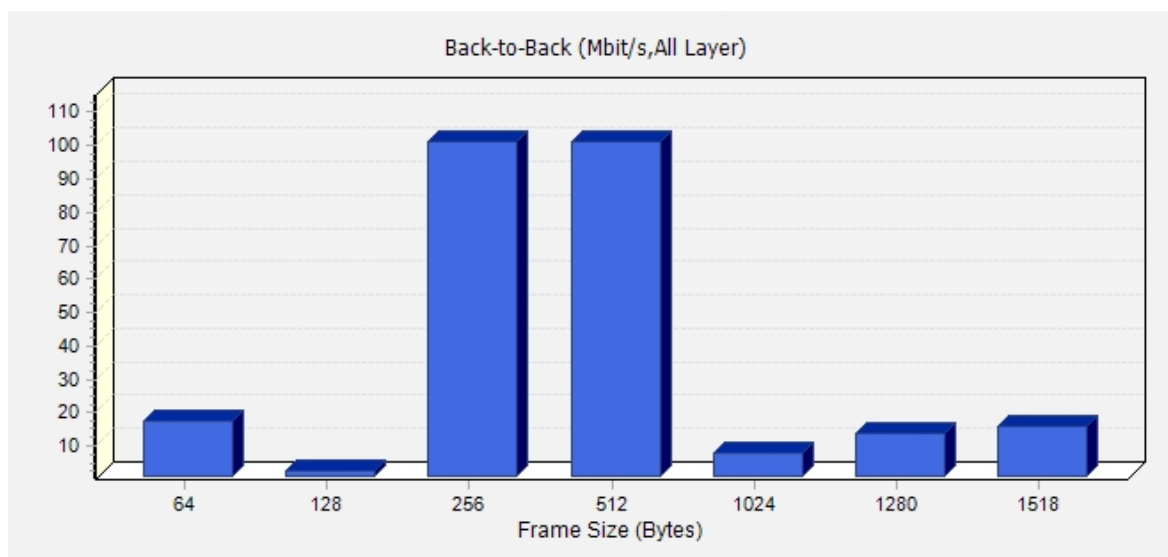
*Zatžitelnost*

*Zrátovost**Zpoždění*

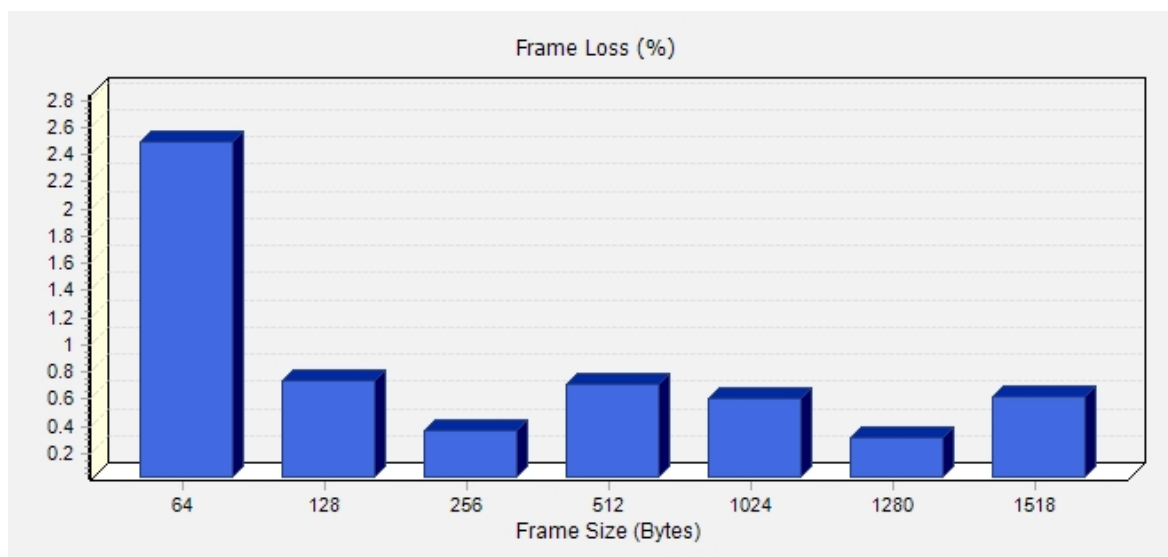
Nastavený útlum 16,5 dB (délka trasy 58,93 km)



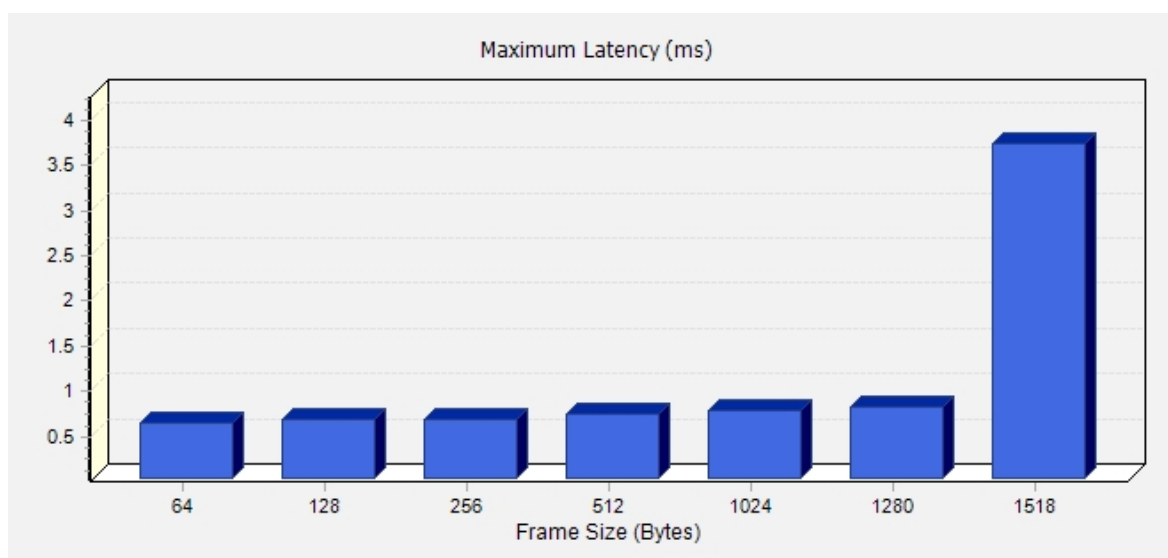
*Propustnost*



*Zatžitelnost*

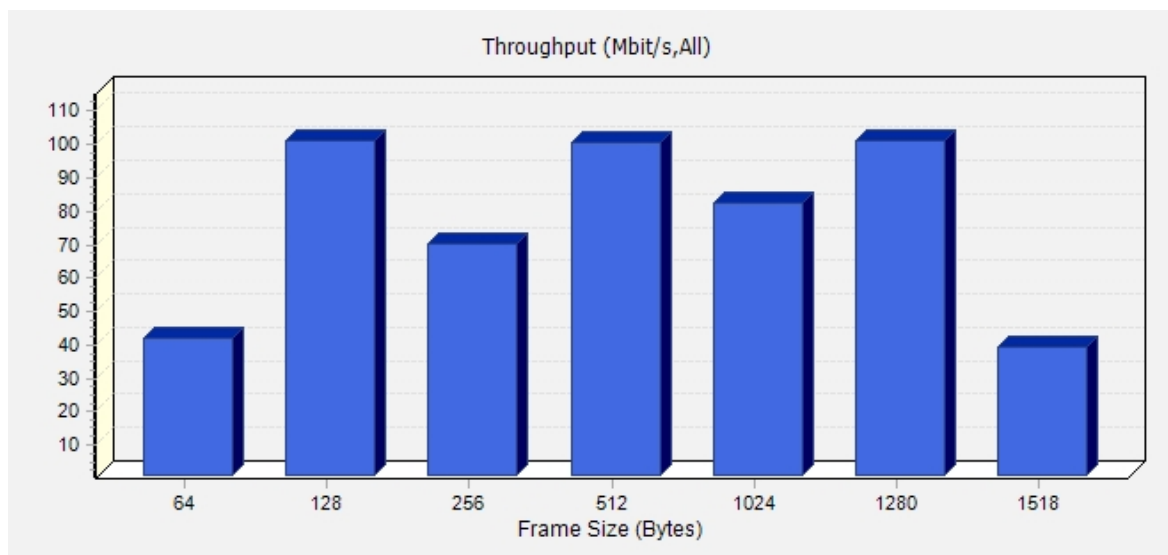


*Ztrátovost*

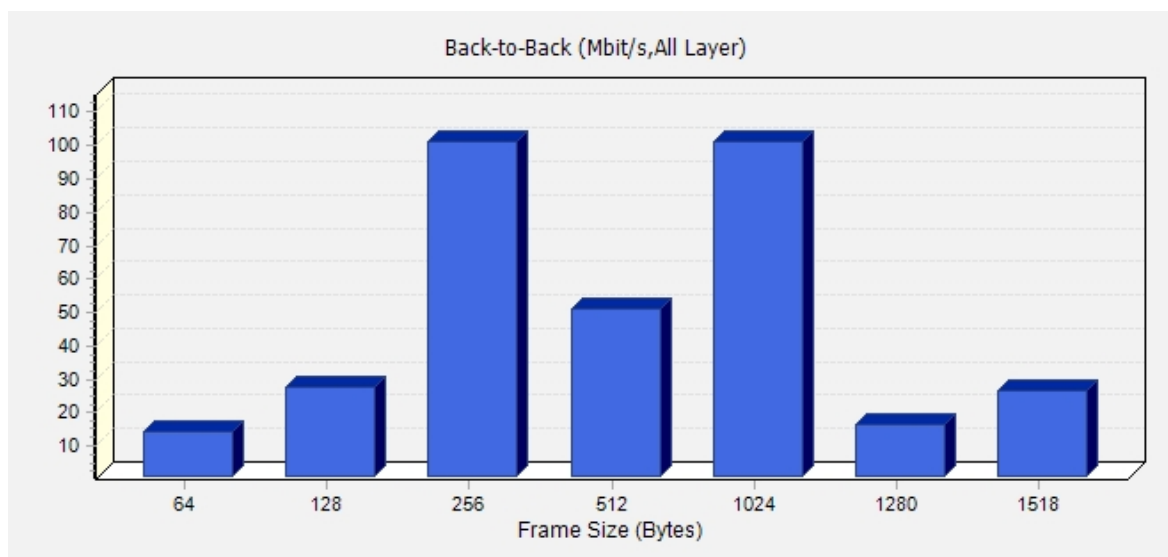


*Zpoždění*

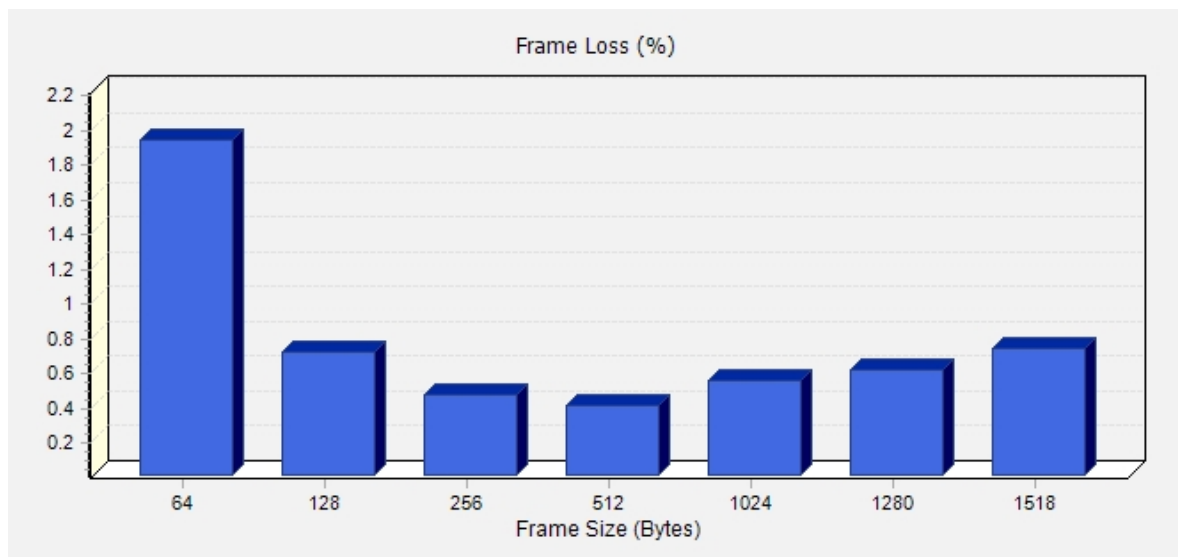
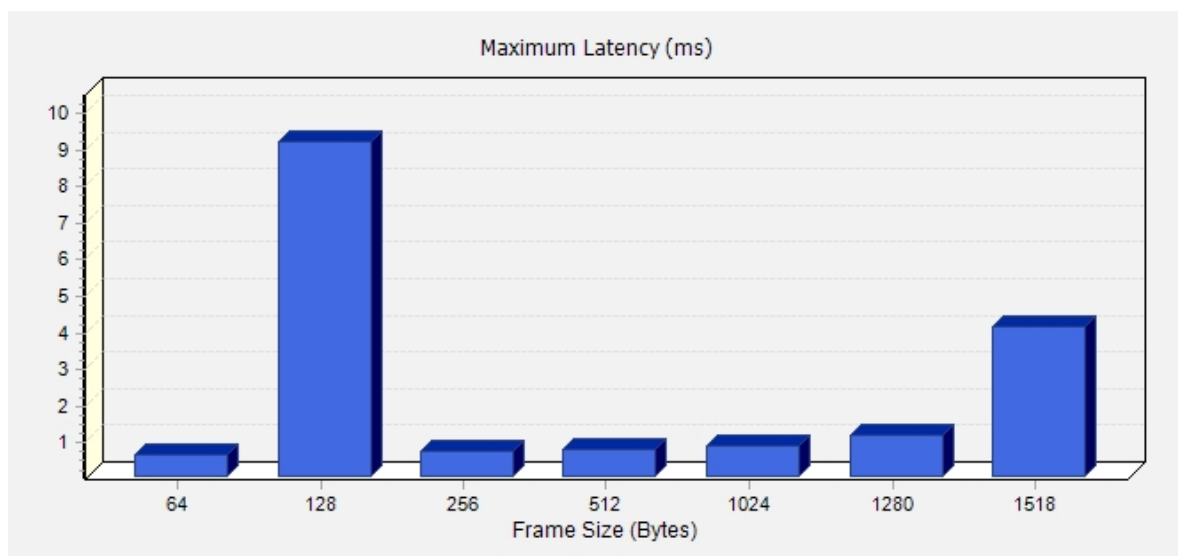
Nastavený útlum 16,4 dB (délka trasy 58,57 km)



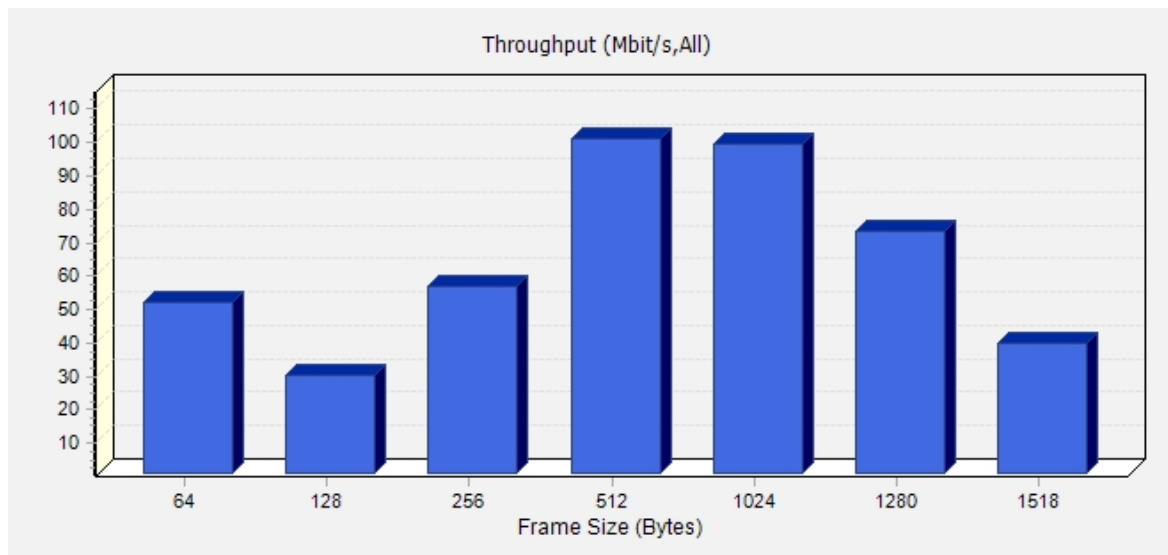
*Propustnost*



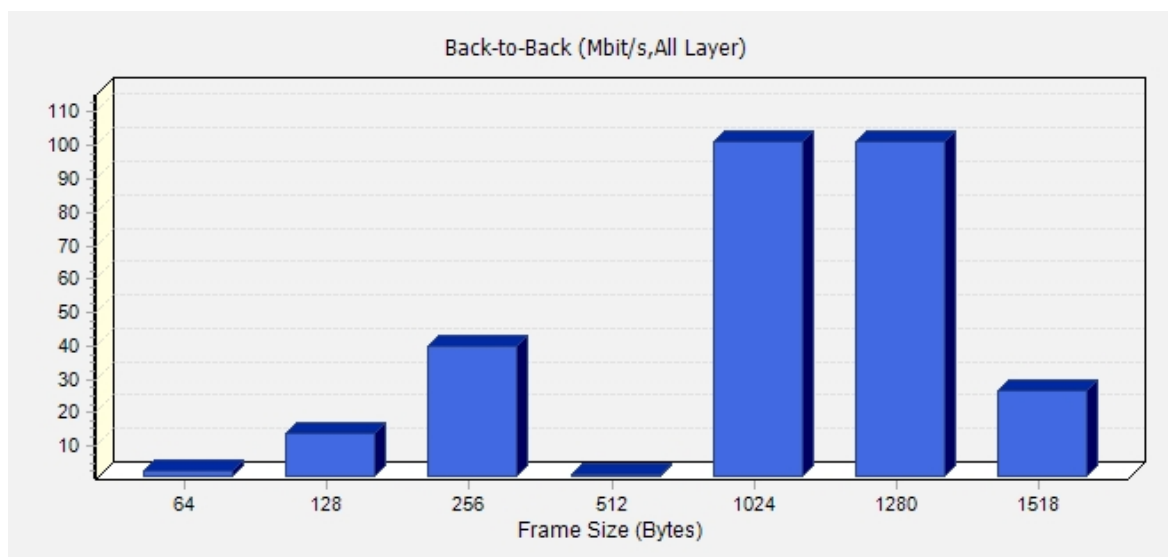
*Zatžitelnost*

*Ztrátovost**Zpoždění*

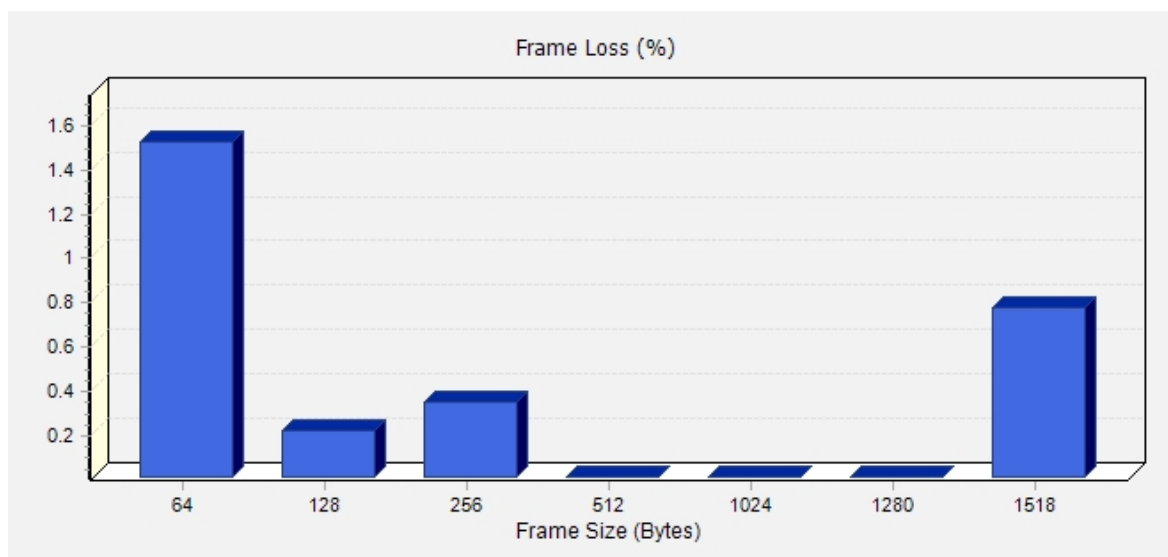
Nastavený útlum 16,3 dB (délka trasy 58,21 km)



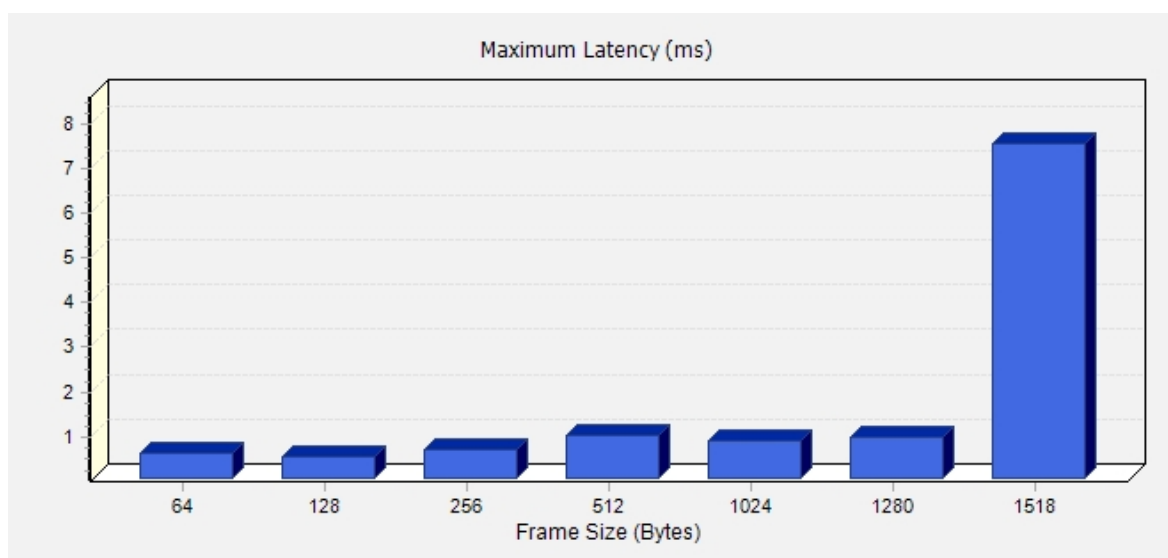
*Propustnost*



*Zatžitelnost*



*Ztrátovost*



*Zpoždění*