

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
FAKULTA RIADENIA A INFORMATIKY
KATEDRA INFORMAČNÝCH SIETÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCA

Bc. Milan Janoňák

**Simulačný model prístupovej siete
v programe OPNET Modeler**

Vedúci práce: Mgr. Jana Uramová, PhD.

Registračné číslo: 71/2010

Január 2011

ŽILINA 2010

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE
FAKULTA RIADENIA A INFORMATIKY

Simulačný model prístupovej siete v programe OPNET Modeler
DIPLOMOVÁ PRÁCA

Študijný program:

Informačné systémy

Pracovisko (katedra/ústav):

Katedra informačných sietí

Žilina 2010

Bc. Milan JANOŤÁK

ZADANIE:

Pod'akovanie

Ďakujem Mgr. Jane Uramovej PhD., vedúcej diplomovej práce, za vedenie, ochotu, pripomienky a návrhy k diplomovej práci.

Prehlásenie

Prehlasujem, že som diplomovú prácu vypracoval samostatne, úplný zoznam použitých prameňov uvádzam v zozname literatúry a zdroje som využil spôsobom vo vede obvyklým.

V Žiline, dňa 14. novembra 2010

Podpis:

ABSTRAKT

JANOŤÁK, Milan: Simulačný model prístupovej siete v programe OPNET Modeler [diplomová práca] – Žilinská univerzita v Žiline. Fakulta riadenia a informatiky, Katedra informačných sietí. - Vedúci: Mgr. Jana Uramová PhD. – Stupeň odbornej kvalifikácie: Inžinier v odbore Informačné systémy. Žilina: FRI ŽU v Žiline, 2010 – 84 strán

Cieľom práce je vytvoriť simulačný model prístupovej siete s technológiami FTTH, ADSL, Ethernet v programe OPNET Modeler. Vo vytvorenom modeli zmerať štatistiky o oneskoreniach a stratách vzhľadom na Triple-play služby (hlas, video, internet). Ďalším cieľom je navrhnúť a zrealizovať vylepšenie existujúceho modelu chrbticovej MEN a MPLS siete z hľadiska odolnosti voči výpadkom liniek, uzlov a iným možným. Celé riešenie realizovať tak, aby bolo možné prepojiť novú prístupovú časť siete s už vytvorenou chrbticovou.

Práca tiež skúma technológie používané pre prístupové siete a požiadavky na kvalitu služieb. Popisuje implementáciu prístupovej siete a vylepšenia chrbticovej MPLS siete. Analyzuje simulačné pokusy s vytvoreným modelom siete.

Kľúčové slová: OPNET Modeler, simulácia, prístupová sieť, MPLS

ABSTRACT

JANOŤÁK, Milan: Access network simulation in OPNET Modeler [diploma thesis] – The University of Žilina. Faculty of Management Science and Informatics, Department of Information and Communication Networks. – Leader: Mgr. Jana Uramová, PhD. – Degree of qualification: Engineer in field Information Systems. Žilina: FRI ŽU v Žiline, 2010 – 84 pages.

The aim of diploma thesis is to create model of access network with FTTH, ADSL, Ethernet technologies in OPNET Modeler. Then in created model to measure statistics on delay and loses due to Triple-play services (voice, video, internet). Another objective is to design and implement improvements of the existing model of MEN and MPLS backbone networks for resistance to failure of lines, nodes and other potential. Implement the entire solution so that it is possible to link the new access part of the network with existing backbone.

The work also examines the technologies used for network access and quality of service requirements. It describes the implementation of the access network and MPLS backbone network improvements. The work analyzes simulation experiments with created network model.

Keywords: OPNET Modeler, simulation, access network, MPLS

Obsah

Obsah	9
Zoznam obrázkov	11
Zoznam tabuliek	12
Zoznam skratiek a značiek	13
Zoznam príloh	16
Úvod	17
1. Prístupová sieť	18
1.1 Technológie na metalických vedeniach.....	18
1.1.1 ADSL.....	19
1.1.2 ADSL 2+	21
1.1.3 Ethernet.....	21
1.2 Technológie na optických vedeniach	23
1.2.1 FTTx	24
1.2.2 Aktívne a pasívne optické siete	25
1.2.3 FTTH – Fiber to the home	27
1.2.4 EP2P (E-FTTH).....	29
1.2.5 GPON	29
1.2.6 E-FTTH oproti GPON	32
2. Chrbticová a agregáčna sieť	33
2.1 MEN - Metro Ethernet Network.....	33
2.2 MPLS – Multi protocol label switching	33
3. Triple-play služby	36
3.1 Kvalita služby QoS	37
3.2 Služby prenosu hlasu	39
3.2.1 Požiadavky na prenos hlasu.....	39
3.3 Služby prenosu obrazu	40
3.3.1 Požiadavky na prenos obrazu	41
3.4 Služby prenosu dát	42
3.4.1 Požiadavky na prenos dát	42
4. Využitie programu OPNET Modeler na modelovanie sietí	43
4.1 Základné prvky OPNET Modeler.....	43
4.2 Modelovanie sieťovej prevádzky	44
4.3 Nastavenie aplikácií a profilov	45
4.3.1 Nastavenie typu služby	47
5. Implementácia prístupových sietí	48
5.1 FTTH a GPON	48
5.2 ADSL.....	48
5.2.1 Prístupová a agregáčna topológia.....	49
5.2.2 Topológia na strane poskytovateľa služieb	51
5.3 Ethernet.....	52
5.3.1 Topológia prístupovej a agregáčnej siete	52
5.3.2 Topológia na strane poskytovateľa služieb	53
5.4 Nastavenie služieb v sieťach ADSL a Ethernet.....	53
5.4.1 Nastavenie aplikácií.....	53
5.4.2 Nastavenie profilov.....	56
5.4.3 Nastavenie prevádzky na pozadí	57

6. Implementácia chrbticovej siete MEN,MPLS.....	59
6.1 Analýza siete.....	59
6.2 Navrhované zmeny	60
6.3 Vytvorenie LSP ciest	61
6.4 Nastavenie všeobecných parametrov MPLS	62
6.5 Nastavenie smerovačov pre MPLS.....	63
7. Simulácia a analýza výsledkov simulačného modelu.....	65
7.1 Simulácia QoS parametrov v prístupovej sieti	65
7.1.1 Použité štatistiky	65
7.1.2 Vytvorené scenáre	66
7.1.3 Vyhodnotenie výsledkov	66
7.2 Simulácia výpadkov v MPLS sieti	70
7.2.1 Použité štatistiky	70
7.2.2 Vytvorené scenáre	70
7.2.3 Vyhodnotenie výsledkov	71
Záver	74
Zoznam použitej literatúry.....	75
Príloha A – nastavenie tokov jednotlivých scenárov a namerané výsledky simulácie	77
Príloha B – schémy zapojenia simulačných modelov	79
Príloha C – grafické porovnanie nameraných hodnôt jednotlivých scenárov	80

Zoznam obrázkov

Obr. 1.1 Frekvenčný plán pre ADSL. [2].....	19
Obr. 1.2 Architektúra ADSL	20
Obr. 1.3 Architektúry FTTx [5].....	25
Obr. 1.4 Aktívna optická sieť	26
Obr. 1.5 Pasívna optická sieť.....	27
Obr. 2.1 Príklad smerovania v MPLS sieti.....	34
Obr. 3.1 Dostupnosť služieb v závislosti od šírky pásma [11].....	37
Obr. 4.1 Project Editor a Object Palette	44
Obr. 4.3 Nastavenie profilov aplikácií.....	46
Obr. 4.4 Nastavenie typu služby ToS/DSCP	47
Obr. 5.1 Podsieť Local_ADSL.....	49
Obr. 5.2 Podsieť Customer1	49
Obr. 5.3 Podsieť Customer2	50
Obr. 5.4 Podsieť Aggregation.....	51
Obr. 5.5 Podsieť Provider.....	51
Obr. 5.6 Nastavenie aplikácie typu Voice	54
Obr. 5.7 Nastavenie aplikácie typu FTP.....	54
Obr. 5.8 Nastavenie aplikácie typu HTTP.....	55
Obr. 5.9 Nastavenie aplikácie typu Video conferencing	56
Obr. 6.1 Pôvodné zapojenie MPLS siete.....	60
Obr. 6.2 Nové zapojenie MPLS siete	62
Obr. 7.1 Oneskorenie vo fronte v porovnaní s celkovým zaťažením na linke medzi agregačnou a lokálnou sieťou (scenár Ethernet 5 – červená, Ethernet 6 - modrá).....	67
Obr. 7.2 Vplyv zaťaženia dátovej linky medzi lokálnym prepínačom a PC klientom na oneskorenie video a hlasovej služby a celkové zaťaženie linky medzi agregačnou a lokálnou sieťou (scenár ADSL1).....	68
Obr. 7.3 Vplyv zaťaženia linky medzi agregačnou a lokálnou sieťou na kolísanie oneskorenia pre služby VoIP a VoD (Ethernet 4)	69
Obr. 7.4 Rozdiel medzi odoslanými a prijatými paketmi pre službu VoIP medzi VoIP serverom a VoIP klientom (Ethernet6).....	69
Obr. 7.5 Zmena LSP cesty medzi LER_2 a LER_5 pri výpadku uzla a jej vplyv na oneskorenie hlasového toku.....	72
Obr. 7.6 Detail zmeny LSP cesty medzi smerovačmi LER_1 a LER_6	72
Obr. 7.7: Zmena LSP cesty medzi LER_1 a LER_6 pri výpadku linky a jej vplyv na oneskorenie video toku.....	73

Zoznam tabuliek

Tab. 1.1 Prehľad štandardov ADSL[2].....	21
Tab. 3.1 Subjektívne hodnotenie kvality MOS	39
Tab. 3.2 Odporúčané oneskorenie podľa ITU-T G.114	40
Tab. 3.3 Kodeky a požadovaná šírka pásma	40
Tab. 5.1 Výpočet dátového toku pre aplikáciu VoD	56
Tab. 6.1: Nové fyzické linky v chrbticovej MPLS sieti	61
Tab. 6.2: Nové LSP cesty	62

Zoznam skratiek a značiek

ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line

AON – Active Optical Network

APON – ATM Passive optical network

ARCNET - Attached Resource Computer NETWORK

ATM - Asynchronous Transfer Mode

BE – Best Effort

BPON – Broadband PON

CO – Central Office

CSMA/CD - Carrier Sense with Multiple Access and Collision Detection

DMT - Discrete Multi-tone Modulation

DOCSIS - Data Over Cable Service Interface Specification

DSCP - Differentiated Service Code Point

DSL – Digital Subscriber Line

DSLAM - Digital Subscriber Line Access Multiplexer

DVB-T - Digital Video Broadcasting — Terrestrial

EFM - Ethernet in the First Mile

E-FTTH – Ethernet FTTH

EP2P – Ethernet P2P

EPON – Ethernet PON

FDDI - Fiber Distributed Data Interface

FEC - Forwarding Equivalence Class

FSM - Finite State Machines

FTP - File Transfer Protocol

FTTB – Fiber To The Building or Fiber To The Basement

FTTC – Fiber To The Cabinet or Fiber To The Curb

FTTEx – Fiber To The Exchange

FTTH – Fiber To The Home

FTTN - Fiber To The Node

FTTO – Fiber To The Office

FTTP – Fiber To The Premises

FTTx – Fiber To The x

GEM – GPON Encapsulation Mode
GPON – Gigabit PON
HD – High Definition
HDTV – High Definition TV
HTTP - Hypertext Transfer Protocol
IEEE - Institute of Electrical and Electronics Engineers
IKS - Informačno Komunikačné Siete
IP – Internet Protocol
IPTV - Internet Protocol Television
ITU-T - Telecommunication Standardization Sector
LAN – Local Area Network
LDP - Label Distribution Protocol
LER – Label Edge Router
LSP - Label Switched Path
LSR – Label Switch Router
MAN – Metropolitan Area Network
MEN – Metro Ethernet Network
MOS – Mean Opinion Score
MPEG - Motion Pictures Experts Group
MPLS – Multi Protocol Label Switching
OAN – Optical Access Network
OLT – Optical Line Termination
ONT - Optical Network Termination
ONU - Optical Network Unit
P2MP – Point To Multipoint
P2P – Point To Point
PDSL – Power Line Digital Subscriber Line
PON – Passive Optical Network
PPP – Point To Point Protocol
PSTN - Public Switched Telephone Network
QoS – Quality of Service
SAN – Storage Area Network
SD – Standard Definition
SDH/SONET - Synchronous Digital Hierarchy / Synchronous Optical Networking

SDTV – Standard Definition TV
SNR – Signal To Noise Ratio
STP - Shielded Twisted Pair
TCP - Transmission Control Protocol
TDMA - Time Division Multiple Access
ToS – Type of Service
TP – Twisted Pair
USB – Universal Serial Bus
UTP – Unshielded Twisted Pair
VoD – Video on Demand
VoIP – Voice over IP
VPN – Virtual Private Network
WDD - Wavelength Division Duplex
WFQ - Weighted Fair Queuing
WiFi - Wireless Fidelity
WWW- World Wide Web

Zoznam príloh

Príloha A – nastavenie tokov jednotlivých scenárov a namerané výsledky simulácie

Príloha B – schémy zapojenia simulačných modelov

Príloha C – grafické porovnanie nameraných hodnôt jednotlivých scenárov

Príloha D – CD médium – elektronická verzia diplomovej práce

Úvod

So zvyšovaním záujmu o nové služby medzi domácnosťami, sa aj poskytovatelia internetu prípadne telekomunikačných služieb musia zaoberať nasadením nových technológií v prístupových sieťach. Ide o služby prenosu videa, hlasu a internetu v jednom balíku nazývanom Triple-play. Šírka pásma potrebná na tieto služby je oveľa vyššia, ako bola v minulosti potrebná napríklad na prenos telefónnych hovorov. S tým súvisia aj vyššie požiadavky na kvalitu služieb ako sú strata paketov, oneskorenie a kolísanie oneskorenia.

Simulácia umožňuje vykonávať pokusy s modelom siete ešte pred jej vybudovaním a tak získať obraz jej vlastností bez nutnosti veľkých investícií. Výsledky simulácie možno potom uplatniť pri budovaní siete.

Cieľom tejto práce je zistiť možnosti implementácie prístupových sietí v programe OPNET Modeler a vytvoriť simulačný model prístupovej siete, na ktorom by bolo možné odmerať štatistiky, ktoré ovplyvňujú nasadenie Triple-play služieb. Tento model potom prepojiť s existujúcou chrbticovou sieťou na báze MEN a MPLS s vylepšením odolnosti voči výpadkom uzlov a liniek.

Diplomová práca je rozdelená do siedmych kapitol. V prvej kapitole nájdeme popis technológií používaných v prístupových sieťach. Druhá kapitola sa zameriava na technológie chrbticovej a agregáčnej siete a to MEN a MPLS. V tretej kapitole sú vysvetlené služby triple-play a ich požiadavky na kvalitu služby.

Štvrtá kapitola stručne charakterizuje program OPNET Modeler a jeho využitie na simuláciu siete. Ďalšie dve kapitoly popisujú implementáciu simulačných modelov. V siedmej záverečnej kapitole nájdeme vyhodnotenie simulačných pokusov a analýzu výsledkov.

Na konci tejto práce nájdeme prílohy obsahujúce tabuľku s nameranými výsledkami, schémy zapojenia simulačných modelov a grafické porovnanie nameraných parametrov kvality služieb.

1. Prístupová sieť

Prístupová sieť (Access Network) je časťou komunikačnej siete, ktorá zabezpečuje prístup koncového zákazníka k agregáčnej sieti a tým k informačno-komunikačným službám (IKS). Z pohľadu koncového zákazníka domácnosti sú používané hlavne Triple-play služby - internet, video, hlas (viac v kapitole 6). S rozvojom IKS sa využíva čoraz viac nových technológií, ktoré umožňujú čo najefektívnejšie prenášať informácie až k zákazníkovi.

Na šírenie informácií je v súčasnosti možné využiť tri typy prenosových médií:

- metalické vedenia
- optické vlákna
- voľné prostredie (vzduch)

Každé prenosové prostredie má svoje výhody aj nevýhody. Metalické vedenia majú síce najnižšiu prenosovú rýchlosť, ale sú rozšírené prakticky v každej budove pretože sa používajú už dlhú dobu a sú cenovo výhodné. Niektoré z nich sú použiteľné aj na šírenie Triple-play služieb.

Niekoľkonásobne vyššiu prenosovú rýchlosť ponúkajú optické vlákna. Nevýhodou sú však vyššie náklady na koncové zariadenia, ale i polozenie optického vlákna až k zákazníkovi. Preto sa nové optické vedenia inštalujú tam, kde je perspektíva návratnosti investície.

Šírenie vzduchom ponúka dostupnosť aj v oblastiach, kde nie je možné použiť iné vedenia. Výhodou je tiež mobilita koncového zákazníka.

1.1 Technológie na metalických vedeniach

Z hľadiska konštrukcie môžeme metalické vedenia deliť na:

- symetrické – pár, krútená dvojlinka (xDSL – kapitola 1.1.1, Ethernet – kapitola 1.1.3)
- asymetrické - koaxiálne (DOCSIS – dátové prenosy po sieti káblovej televízie)
- energetické vedenia – primárne určené na distribúciu elektrickej energie (PDSL – Power Line DSL)

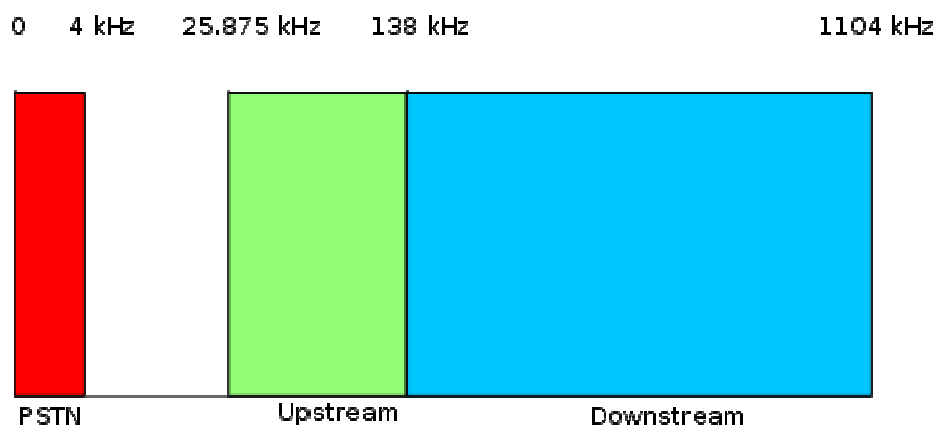
Symetrické metalické vedenia sú najrozšírenejšou prístupovou sieťou v mnohých krajinách sveta. V minulosti sa využívali takmer výhradne na analógový prenos hlasu (telefón) prípadne dát (fax, internet), ktorý sa prenášal pomocou jedného páru vodičov.

V súčasnosti sa tieto vedenia vďaka digitálnym účastníckym prípojkám DSL (Digital Subscriber Line) využívajú na prenos širokopásmového internetu prípadne služieb Triple-play (kapitola 1.1.1).

Krútená dvojlinka (twisted pair, TP) označuje štvorpárový kábel, kde jednotlivé vodiče sú uložené v pároch, pričom páry sú skrútené navzájom okolo seba. Tento typ kábla sa používa hlavne v sieťach typu Ethernet. (viac kapitola 1.1.3) [16]

1.1.1 ADSL

Jednou z foriem DSL je ADSL (Asymmetric DSL). Vyznačuje sa asymetrickosťou, teda rýchlosť dát smerom k používateľovi (download) je vyššia ako od používateľa (upload). Využíva sa hlavne ako širokopásmové pripojenie k internetu, ale v súčasnosti nachádza využitie aj v oblasti triple-play služieb. Zákazník pomocou klasickej telefónnej linky môže využívať súčasne analógový prenos hlasu i digitálny dátový prenos niekoľkonásobne vyššou rýchlosťou ako pomocou analógového modemu alebo ISDN. To sa dosahuje použitím frekvencií, ktoré sa bežne nepoužívajú pri hlasových telefonických hovoroch a to v rozmedzí 25,875kHz až 1104kHz. ADSL používa dve oddelené frekvenčné pásma, ktorým sa hovorí pásmo pre upload a pásmo pre download.

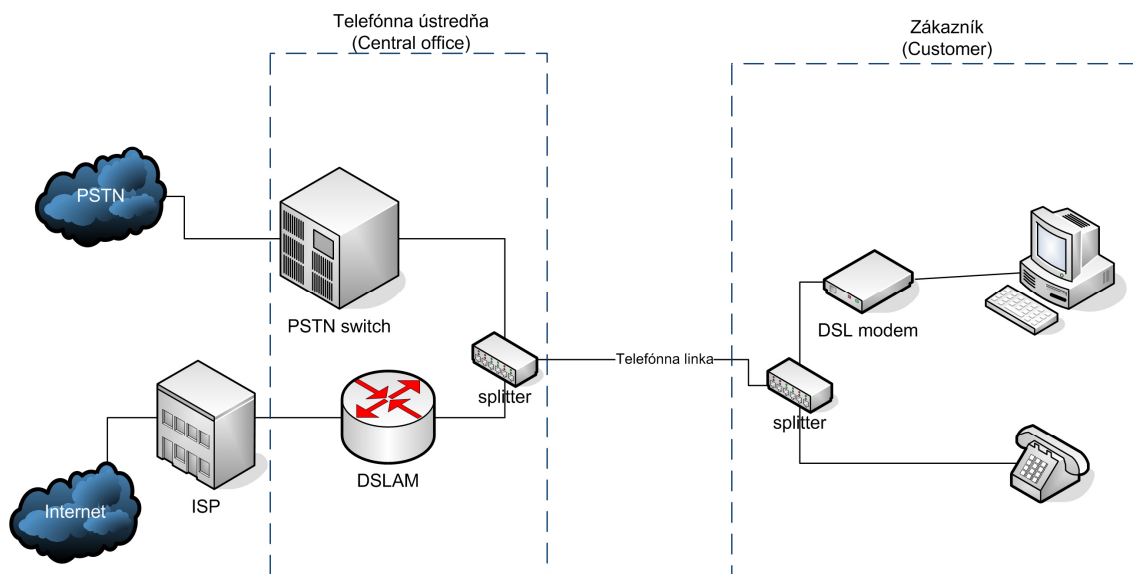


Obr. 1.1 Frekvenčný plán pre ADSL. [2]

Na obrázku 1.1 vidíme rozdelenie frekvencií na ADSL linke. Červená oblasť predstavuje frekvenčné pásmo používané normálnou hlasovou telefóniou, zelené a modré oblasti sa používajú pre ADSL. Každá z nich sa ďalej delí na užšie frekvenčné kanály po 4.3125 kHz. Na prenos signálu sa od štandardu ADSL G.992.1 a G.992.2 využíva DMT modulácia.

Pre súčasné využívanie klasickej telefónie PSTN a dátových prenosov na ADSL linke je potrebné použiť frekvenčný rozdeľovač – splitter (alebo aj DSL filter), ktorý oddeľuje pásma používané telefónnym a dátovým prenosom, a tým zabraňuje vzájomnému rušeniu. Ako koncové zariadenie pre dátové prenosy slúži ADSL modem. ADSL modem zabezpečuje autorizované pripojenie k poskytovateľovi internetu. Na pripojenie počítača, resp. siete k modemu slúži rozhranie USB, Ethernet, prípadne bezdrôtové WiFi.

Na strane poskytovateľa služieb je frekvenčné pásmo rozdelené rovnako na analógové, ktoré je pripojené do telefónnej siete PSTN a digitálne, ktoré končí v DSLAMe. DSLAM je zariadenie, ktoré spája mnoho užívateľských liniek k internetovej chrbticovej sieti využitím multiplexovania. (Obr. 1.2)



Obr. 1.2 Architektúra ADSL

Nevýhodou ADSL je, že signál je možné šíriť len do obmedzenej vzdialenosti od ústredne alebo DSLAMu, zvyčajne do 5km. Táto vzdialenosť je iba orientačná. Útlm signálu a pomer signálu k šumu (SNR) sú určujúcimi charakteristikami a môžu sa meniť úplne nezávisle na vzdialenosti (napr. využitie iného ako medeného kábla, priemer kábla). Výkon v praxi tiež

závisí od impedancie linky, ktorá sa môže dynamicky meniť v závislosti buď od počasia (veľmi časté pri starých nadzemných vedeniach), alebo od počtu a kvality spojov na danom úseku kábla. [2]

1.1.2 ADSL 2+

Vylepšenou verziou ADSL je ADSL2+. Na rozdiel od staršej technológie využíva vyššie frekvenčné pásmo až do 2,2MHz. Teoretická maximálna rýchlosť je 24Mbit/s.

ADSL2/2+ tiež ponúka možnosti transparentného spájania, čo umožňuje tvorbu liniek s vyšším útlmom alebo nižším pomerom signálu k šumu (SNR) spojiť do jedného a tak dosiahnuť teoreticky rýchlosť súčtu rýchlostí všetkých použitých liniek (t.j., do 50 Mbit/s pre dve linky, atď.), ako aj možnosti správy napájania a transparentnú adaptáciu rýchlosti bez nutnosti resynchronizácie.[2]

Najväčší poskytovateľ ADSL internetu na Slovensku Slovak Telekom (T-Com) používa technológie ADSL a ADSL2+. Maximálne teoretické rýchlosti pre jednotlivé štandardy sú uvedené v tabuľke 2., v praxi sa však v súčasnosti poskytuje rýchlosť downloadu 3,5Mbit pre ADSL a 12,3Mbit pre ADSL2+. Rýchlosť uploadu je v oboch prípadoch 512kBit/s.[3]

Štandardizovaný názov	Bežný názov	Rýchlosť downloadu	Rýchlosť uploadu
ANSI T1.413-1998 Issue 2	ADSL	8 Mbit/s	1.0 Mbit/s
ITU G.992.1	ADSL(G.DMT)	8 Mbit/s	1.0 Mbit/s
ITU G.992.2	ADSL Lite(G.Lite)	1.5 Mbit/s	0.5 Mbit/s
ITU G.992.3/4	ADSL2	12 Mbit/s	1.0 Mbit/s
ITU G.992.3/4 Annex J	ADSL2	12 Mbit/s	3.5 Mbit/s
ITU G.992.3/4 Annex L	RE-ADSL2	5 Mbit/s	0.8 Mbit/s
ITU G.992.5	ADSL2+	24 Mbit/s	1.0 Mbit/s
ITU G.992.5 Annex L	RE-ADSL2+	24 Mbit/s	1.0 Mbit/s
ITU G.992.5 Annex M	ADSL2+	24 Mbit/s	3.5 Mbit/s

Tab. 1.1 Prehľad štandardov ADSL[2]

1.1.3 Ethernet

Ethernet je súhrnný názov pre najrozšírenejšiu technológiu pre budovanie počítačových sietí LAN. Pre svoju jednoduchosť a nízku cenu vytlačil z trhu ostatne alternatívne technológie ako napr. ARCNET, ATM, FDDI.

Ethernet bol vyvíjaný firmou XEROX v sedemdesiatych rokoch 20. storočia. V roku 1980 ho IEEE štandardizovala pod označením 802.3.

Ako prenosové médium sa používal spočiatku koaxiálny kábel. Počítače komunikovali na spoločnom prenosovom médiu, ktoré tvorilo zbernicovú topológiu. Prístup k prenosovému médiu bol riadený metódou CSMA/CD (Carrier Sense with Multiple Access and Collision Detection). Maximálna rýchlosť bola 10 Mbit/s.

Postupne koaxiálne káble nahradila krútená dvojlinka UTP (Unshielded Twisted Pair) alebo STP (Shielded Twisted Pair). Topológia siete sa zmenila na hviezdicovú, v jej strede bol rozbočovač (hub). Dáta vysielané jednou stanicou boli cez rozbočovač kopírované do všetkých ostatných staníc. To vlastne kopírovalo komunikáciu po zdieľanej zbernici. Rozbočovače dnes nahradili prepínače (switche), ktoré sú na rozdiel od nich inteligentnejšie. Ukladajú prijaté rámce, analyzujú cieľovú adresu a posielajú ich do rozhrania, na ktorom je pripojená daná cieľová adresa. Na každom rozhraní beží nezávislý algoritmus CSMA/CD a o vysielanie na médiu sa pokúšajú len počítače pripojené na toto rozhranie. Tým sa oddeľujú kolízne domény. Dôsledkom je vyššia priepustnosť siete a tiež vyššia bezpečnosť.

Káble s krútenou dvojlinkou obsahujú 4 páry vodičov, a to umožňuje rozdeliť vodiče na príjem a odosielanie dát. V dnešnej dobe všetky Ethernetové zariadenia podporujú tento režim nazývaný full duplex. Odpadá teda problém s vysielaním na zdieľanom médiu a nasadzovanie prístupovej metódy CSMA/CD. Maximálna vzdialenosť medzi dvoma zariadeniami je 100 metrov.

Ethernet je definovaný i pre optické vlákno. Používajú sa jednovidové i mnohovidové optické vlákna. Vybudovanie optickej trasy je nákladnejšie, ale umožňuje prenos na väčšie vzdialenosti. Ďalšou výhodou je tiež odolnosť proti elektromagnetickému žiareniu. Optické vlákna sú zakončené media konvertormi, ktoré optický signál prevedú na elektrický. Dĺžka optickej trasy býva od niekoľko stoviek metrov až po desiatky kilometrov. Dosahované rýchlosti sú až po desiatky Gigabitov.[12] (Viac o technológiách v kapitole 1.2.4).

1.2 Technológie na optických vedeniach

S rozvojom nových technológií a s tým súvisiacich telekomunikačných služieb dochádza k neustálemu rastu požiadaviek na šírku prenosového pásma. Možnosťou je využitie optických technológií v prístupových sieťach OAN (Optical Access Network).

Optické vlákna sa vyrábajú na báze kremíkového skla aj keď sa perspektívne počíta s plastovými vláknami.

Historicky sa vyvinuli tri základne typy optických vlákien:

- Mnohovidové (multimode) so skokovou zmenou indexu lomu s priemerom jadra 100 – 400 μm .
- Mnohovidové (multimode) s gradientným priebehom indexu lomu s priemerom jadra 50 μm a plášťa 125 μm , prípadne 60,5 μm a 125 μm .
- Jednovidové (singlemode) s priemerom jadra 5 – 10 μm a plášťa 125 μm .

Behom doby sa podarilo eliminovať vplyv prímеси a znížiť merný útlm, čo je zásadné hlavne pre prenos na veľké vzdialenosti v chrbticových sieťach.

Hlavným obmedzujúcim faktorom pre nasadenie optických systémov je cena inštalácie optických káblov. Klasická metóda je založená na uložení ochranných trubiek do vopred pripravených výkopov a následné zafúknuť káblu do trubky.

V prístupových sieťach najmä v mestskej zástavbe sú náklady na výkop a opätovné uvedenie do pôvodného stavu veľké. Preto sa vyvíjajú metódy uloženia s elimináciou výkopových prác napr. uloženie do kanalizácie, vzduchom. Ďalšou možnosťou je kombinácia optickej a metalickej prístupovej siete podľa architektúry FTTx, popísanej nižšie.

Medzi základné funkčné celky optických prístupových sietí patria:

- Optické linkové zakončenie (Optical Line termination –OLT) – zabezpečuje funkcie sieťového rozhrania medzi prístupovou sieťou a sieťami telekomunikačných služieb.
- Optické sieťové jednotky (Optical Network Unit - ONU) – zabezpečuje funkcie rozhrania medzi optickou a metalickou časťou prístupovej siete.
- Optické ukončujúce jednotky (Optical Network Termination – ONT) – zabezpečuje funkciu účastníckeho rozhrania medzi koncovými zariadeniami účastníka a prístupovou sieťou

1.2.1 FTTx

Fiber to the x (FTTx) je všeobecný pojem pre všetky druhy širokopásmovej sieťovej architektúry, ktorá využíva optické vlákno pre nahradenie obvyklých kovových vedení, používaných pre tzv. poslednú míľu, to znamená prepojenie medzi koncovým bodom siete a účastníkom. Tento pojem vznikol ako zovšeobecnenie niekoľkých konfigurácií nasadenia, kde všetky názvy začínajú na FTT a rozlišujú sa podľa posledného písmena. [5]

Podľa spôsobu umiestnenia ukončujúcich jednotiek OLT,ONU a podľa toho, kde je vlákno ukončené a nahradené metalickým vedením, rozlišujeme rôzne typy prístupových sietí OAN.[4]

Najčastejšie sú používané [5]:

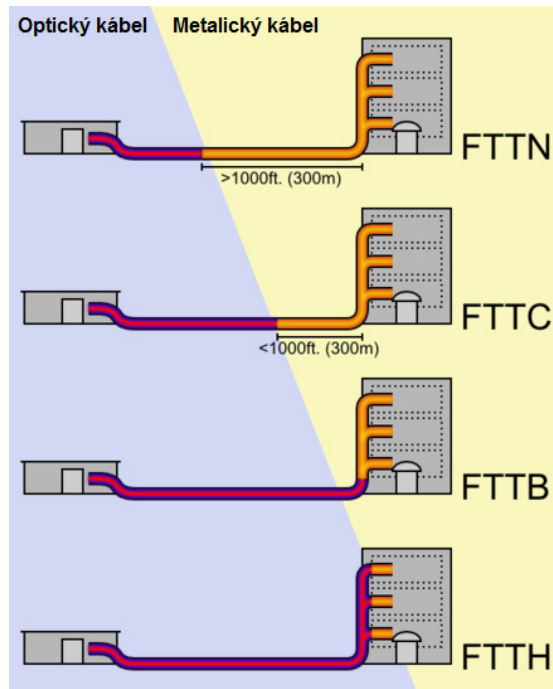
FTTN – Fiber to the node – vlákno je ukončené v uzle na ulici, niekoľko kilometrov od účastníka, odtiaľ je pripojený medeným káblom.

FTTC – Fiber to the cabinet (curb) – veľmi podobné ako FTTN s tým rozdielom, že účastnícky uzol je vzdialený len niekoľko metrov, zvyčajne 300m.

FTTB – Fiber to the building (basement) – vlákno dotiahnuté až za hranicu budovy, zvyčajne suterén panelových domov. Jednotlivý účastníci (byty) sú pripojení metalickým rozvodom vnútri budovy.

FTTH – Fiber to the home – vlákno dosiahne hranicu obytného priestoru, napríklad stena rodinného domu. (Obr. 1.3)

Okrem uvedených architektúr sa používajú ešte ďalšie, napríklad FTTO (Office), FTTE_x (Exchange), FTTP (Premises), rozdiely medzi nimi sa však strácajú.



Obr. 1.3 Architektúry FTTx [5]

Kabeláž, ktorá spája priestory operátora a zákazníka môže byť inštalovaná v rôznych topológiách:

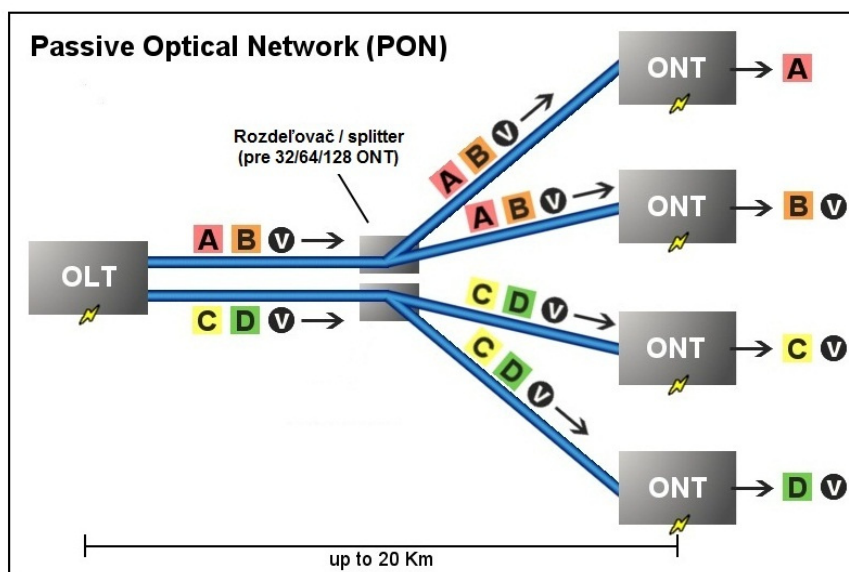
Point-to-point (P2P) – kabeláž spája priestory operátora a zákazníka tak, že táto cesta je vyhradená na prevádzku len medzi týmito dvoma bodmi. Vo všeobecnosti sa nazýva hviezdicová topológia. [10]

Point-to-Multipoint (P2MP) – kabeláž poskytuje vetvenie optických ciest od telekomunikačného operátora do jedného alebo viacerých súvislých miest, tak že prevádzka na tejto sieti je zdieľaná smerom k viacerým miestam a aj smerom naspäť. Nazýva sa tiež stromová topológia.

Ring (kruh) – kabeláž vytvára postupnosť optických ciest v uzatvorenej slučke, ktoré začínajú aj končia v prepínacom zariadení operátora a spája sériu viac ako jedného súvislého miesta, tak že tieto časti optickej siete zdieľajú prevádzku z niekoľko miest.

1.2.2 Aktívne a pasívne optické siete

Podľa typu optických rozbočovačov sa optické prístupové siete OAN principiálne delia dvomi spôsobmi:



Obr. 1.5 Pasívna optická sieť

1.2.3 FTTH – Fiber to the home

Fiber-to-the-Home je definované ako telekomunikačná architektúra, v ktorej prenosovú cestu tvorí optické vlákno od prepínača telekomunikačného operátora po obytný priestor bytu alebo kancelárie. Komunikačná cesta je vytvorená z dôvodu prevádzky pre jedného alebo viacerých zákazníkov a pre poskytovanie aspoň jednej služby napríklad prístup k internetu, telefón, televízia. [10]

Prístupové protokoly sú metódy komunikácie používané zariadeniami na koncoch optických ciest s cieľom zabezpečiť spoľahlivý a efektívny prenos informácií po optických cestách. Tieto protokoly sú definované podrobne štandardizačnými organizáciami ITU-T, IEEE a sú implementované výrobcami po celom svete.

Prístupové protokoly využívané dnes pre FTTH siete a v optickej časti FTTB sietí sú:

EP2P – definovaný ako Ethernet cez P2P 100baseFX, 100base LX, 100baseBX, 1000baseLX a 1000baseBX v štandarde IEEE 802.3ah. Na Slovensku sa tiež zvykne nazývať Aktívny

Ethernet (Active Ethernet) alebo E-FTTH. Využíva aktívne optické siete. (kapitola 4.2.2, 4.2.4).

EPON – definovaný ako Ethernet PON 1000basePX v IEEE 802.3ah. Názov Gigabit EPON je synonymom s EPON. EPON je IEEE štandard pre využitie Ethernetu pre paketové dáta, ktorý je súčasťou projektu Ethernet in First Mile (EFM). Prenosová rýchlosť je približne 1Gbit/s symetricky.

10G-EPON - IEEE 802.3av (10 Gigabit Ethernet PON) je pripravovaný štandard rýchlosti 10Gbit/s, ktorý je spätne kompatibilný s 802.3ah EPON. Komerčné využitie by malo byť v roku 2010.

APON – definovaný ako ATM Passive Optical Network štandardom ITU-T G.983 – APON bol prvým štandardom pre pasívne optické siete. Využíval sa prevažne na obchodné aplikácie a bol založený na ATM.

BPON – definovaný ako Broadband PON v štandarde ITU-T G.983. Štandard založený na APON. Rozšírený o podporu WDM, dynamickú alokáciu pásma pre smer od používateľa k poskytovateľovi a štandardné rozhranie pre manažment.

APON aj BPON poskytujú rýchlosti 622 Mbit/s pre downstream a 155 Mbit/s pre upstream.

GPON – definovaný ako Gigabit PON v štandarde ITU-T G.984. Je pokračovaním BPON štandardu. Podporuje vyššie rýchlosti, vylepšenú bezpečnosť a výber protokolu na druhej vrstve – ATM, GEM (GPON Encapsulation Method), Ethernet. Je nasledovníkom G.983. Podrobnejšie dole.

Vo svete sa využívajú všetky vyššie uvedené štandardy vo väčšej či menšej miere. Závisí to od preferencií danej krajiny alebo výberu technológie telekomunikačným operátorom. Technológia BPON a GPON sa využíva hlavne v Severnej Amerike, vo východnej Ázii zase EPON. Európske krajiny zavádzali spočiatku EP2P (E-FTTH), v súčasnosti existujú aj na Slovensku GPON prístupové siete. [8]

1.2.4 EP2P (E-FTTH)

E-FTTH (Ethernet FTTH) je aktívna optická sieť typu P2P (Point to point) podľa štandardu IEEE 802.3ah nazývaným tiež Ethernet in the First Mile (EFM) definovaným od roku 2007. Poskytuje prístup do siete rýchlosťou až do 1Gbps symetricky. Každý užívateľ je pripojený pomocou nezdieľaného jednovidového (singlemode) optického vlákna rýchlosťou najmenej 100Mbps. Dosah je minimálne 10 km. Aktívny Ethernet cez optické vlákno využíva hviezdicovú topológiu (star).

Užívatelia sú pripojení jedným vláknom (100BASE-BX10 / 1000BASE-BX10 Bi-directional) s obojsmernou prevádzkou alebo dvomi oddelenými vláknami (100BASE-LX10/1000BASE-LX10 duplex).

V prípade obojsmernej prevádzky sa smerom k zákazníkovi vysiela optický signál s vlnovou dĺžkou 1550nm a v smere od zákazníka do siete s vlnovou dĺžkou 1310nm. Ak ide o pripojenie pomocou dvojice vlákien (duplex), jedno sa používa na prenos v smere k zákazníkovi (downstream) a druhé na prenos od zákazníka (upstream). Na oboch vláknach sa používa rovnaká vlnová dĺžka 1310nm.

Aktívny Ethernet používa optické Ethernetové prepínače na distribúciu signálu, a tak zahŕňa zákaznicke priestory aj dátové centrum (CO) do jednej veľkej prepínanej Ethernetovej siete. Táto sieť je identická s počítačovou sieťou používanou v komerčnej oblasti alebo akademickej pôde, okrem jej účelu pripojiť domácnosti a budovy skôr, než pripojiť počítače a tlačiarne v rámci areálu.

Každé dátové centrum s optickým prepínačom zvládne do 1000 zákazníkov, zvyčajne však 400-500. Toto zariadenie vykonáva prepínanie a smerovanie na druhej a tretej vrstve, podporuje tiež smerovanie na tretej vrstve do prepínača v chrbticovej sieti. [17,18,10]

1.2.5 GPON

Gigabit Passive Optical Network (GPON) je pasívna optická sieť podľa štandardu ITU-T G.984. Poskytuje pripojenie zákazníkov zdieľaným optickým vláknom. Na jednom vlákne môže byť 32-128 koncových zariadení ONT. Celková rýchlosť dosahuje rýchlosť 2,5Gbps downstream a 1,25Gbps upstream. Pre jedného zákazníka to predstavuje šírku pásma približne 19,4Mbps / 9,7 Mbps. Dosah jedného vlákna je 20 km.

Typická štruktúra pasívnej optickej siete predstavuje rozvetvenú stromovú štruktúru s veľkým množstvom pripojených koncových zákazníkov.[12]

Obojsmernú prevádzku v PON sieťach je možné vyriešiť použitím dvojice oddelených vlákien, čo však zvyšuje náklady nielen na vlákna ale aj rozbočovače, optické jednotky, konektory a pod. Preto sa takmer výlučne používa vlnové delenie smeru prenosu teda varianty WDD (Wavelength Division Duplex). Jednotlivé vlnové dĺžky sú špecifikované odporúčaním ITU-T G.984.2. Pre smer k zákazníkovi (downstream) sa využívajú vlnové dĺžky 1480-1500 nm, v smere od užívateľa k poskytovateľovi (upstream) vlnové dĺžky 1260-1360 nm. Tolerancia 20 nm resp. 100nm je kvôli nižšej kvalite ONU/ONT jednotiek z dôvodu ich nižšej ceny.

Pre vytvorenie rozvetvenej stromovej štruktúry je potrebné vhodným spôsobom zaistiť rozdelenie prenášaných optických signálov. V PON sa využívajú pasívne optické rozbočovače – splittre. Tieto zariadenia v smere k zákazníkovi iba rozdeľujú prichádzajúci optický signál (výkon) z OLT rovnomerne na všetky výstupy rozbočovača. V opačnom smere sa skladajú jednotlivé dátové toky do vymedzených časových intervalov spoločne do jedného optického vlákna smerom k OLT. Preto je potrebné zaistiť správnu synchronizáciu a nastavenie vysielacích okamžikov všetkých koncových jednotiek ONU/ONT, aby nedochádzalo ku kolíziám v rozbočovači.

Výhodou pasívnych rozbočovačov je ich cena, nepotrebujú ďalšie napájanie ani špeciálnu údržbu. Vnútoraná štruktúra je tvorená niekoľkými Y-článkami tvorenými krátkymi optickými vláknami zapojenými v kaskáde. V rozbočovači pomer označovaný ako 1:N uvádza koľko výstupov daný rozbočovač obsahuje. Typicky 1:2, 1:4, 1:8 až 1:64. S pribúdajúcim počtom výstupov rastie útlm. Pre správnu funkčnosť pasívnej optickej siete je nutné dodržať útlm na jednotlivých koncových zariadeniach podľa odporúčania ITU-T.

Pretože koncové zariadenia ONU/ONT sú v rôznych vzdialenostiach od OLT a tým môžu mať rôzne útlmové charakteristiky, OLT priebežne monitoruje ich vysielacie výkony a na základe toho môže pomocou služobných správ upraviť vysielacie úrovne (-3,-6dB). Tým okrem správnej detekcie optického signálu v OLT predlžuje životnosť vysielacích zariadení a znižuje náklady na energiu.

Pre prenos v oboch smeroch sa využíva časové multiplexovanie TDM/TDMA, kde dátové jednotky sú umiestnené do spoločného časového rámca a prenášané zdieľaným optickým vláknom. Časový rámec sa označuje ako T-CONT (Transmission Container).

Prístup k zdieľanej prenosovej kapacite (MAC) je zabezpečený procedúrou DBA (Dynamic Bandwidth Assignment). Je to dynamický spôsob pridelovania časových intervalov

jednotlivým koncovým jednotkám ONU/ONT v prenosovom rámci v smere od zákazníka. Tento mechanizmus spolu s ochranným intervalom zabezpečuje, že nedôjde ku kolízii dát vysielaných rôznymi jednotkami.

V rámci siete GPON sú špecifikované dva módy pre pridelovanie vysielacej kapacity. Prvá SR-DBA (Status reporting DBA) - koncová jednotka ONU/ONT podáva správy o aktuálnych požiadavkách na pridelenie potrebnej kapacity na jednotlivé výzvy OLT. Druhá NSR-DBA (Non Status Reporting DBA) - jednotka OLT automaticky vyhradzuje koncovým jednotkám vysielacie okamžiky a prenosovú kapacitu na základe prechádzajúcich tokov.

Z princípu fungovania PON siete (kapitola 4.2.2) vyplýva, že všetky koncové jednotky ONU/OLT pripojené v rámci jednej siete prijímajú odoslané príspevky všetkým ostatným koncovým jednotkám. Aby nemohlo dôjsť k odchyťavaniu užívateľských dát určených pre iné jednotky bolo pre prenášané rámce v smere ku zákazníkovi použité šifrovanie a systém výmeny kľúčov. V smere od zákazníka toto riziko nehrozí, pretože potenciálny útočník by musel priamo narušiť štruktúru optickej siete, čo by obsluha dokázala detegovať. Rovnako ani iné útoky nepredstavujú v PON vážnejšie riziko.

Pre zabezpečenie sa používa štandard AES, čo je bloková šifra dĺžky 16 bajtov. Šifrujú sa len používateľke dáta v smere od zákazníka. Použité kľúče majú dĺžku obvykle 128 bajtov. Výmenu kľúča iniciuje jednotka OLT odoslaním služobnej správy koncovej jednotke pre vygenerovanie nového kľúča. Tá vygeneruje nový kľúč, uloží ho vo svojej pamäti a odošle jednotke OLT. Pokiaľ jednotka OLT správne prijme, uloží si hodnotu do registru a zvolí náhodný počet rámcov, pre ktoré bude daný kľúč používať. Pokiaľ by sa kľúč nepodarilo prijať, požiada jednotka OLT o vygenerovanie ďalšieho.

Ďalším mechanizmom zabezpečenia prenášaných dát a korekciou chýb sa používa kódovanie Reed-Salomon FEC. Po každých 239 bajtoch prenesených dát je prenesených ďalších 16 redundantných zabezpečujúcich bajtov. Indikáciu chýb v prípade služobných správ a informácií ponúka parita a kódovanie CRC.

Pasívne optické siete ponúkajú v súčasnosti dostatočne prenosové rýchlosti i pre náročné aplikácie. V Európe bola pre budovanie národných sietí zvolená práve GPON technológia. Vďaka znižujúcim sa nákladom na výstavbu optických trás a koncových zariadení, nahradia optické prístupové siete doteraz prevládajúce metalické prípojky. Tam, kde bude nutná úspora nákladov budú vybudované kombinované opticko-metalické siete s využitím moderných prípojok VDSL2. Z posledných prieskumov však vyplýva, že budúcim vývojovým stupňom budú siete založené na vlnovom multiplexe WDM.[6]

1.2.6 E-FTTH oproti GPON

Pri budovaní optických sietí je často s pohľadom operátora ťažké rozhodnúť, pre ktorý variant sa rozhodnúť. Pasívna optická sieť P2MP i Aktívny Ethernet P2P v architektúre FTTH prípadne FTTB majú svoje výhody i nevýhody. Preto treba zvážiť investičné náklady CAPEX ako aj prevádzkové náklady OPEX.

E-FTTH poskytuje každému zákazníkovi jedno vlákno. To má nesporné výhody v šírke poskytnutého pásma. Nevýhodou tohto riešenia je však nutnosť budovať hustú sieť dátových centier, kde budú umiestnené optické prepínače alebo smerovače.

Pasívna optická sieť P2MP zdieľa jedno vlákno typicky pre 64, maximálne však 128 užívateľov. Tým sa usporia náklady na inštaláciu, ale za cenu zníženia šírky pásma pre jedného zákazníka a tiež bezpečnosti. Siete PON majú menší počet aktívnych prvkov teda aj dátových centier, preto majú nižšie náklady na servis a vyššiu spoľahlivosť.

Ďalším dôležitým faktorom je stupňovanie investícií podľa rastu počtu zákazníkov. V P2P Ethernete je port prepínača obsadený až pri aktivácii zákazníka. Počet portov býva typicky 12/24/48. Pri aktivácii zákazníka v PON sieti sa obsadí port v OLT a tým zablokuje celú PON pre seba. Pri malom rozšírení je návratnosť tejto siete horšia.

Aktivácia portu v P2P vyžaduje zapojiť port prepínača, vyhľadať a spárovať vlákno. Pri aktivácii zákazníka na už oživenú PON sieť nie je nutné prepojiť vlákna v dátovom centre. Tým sa usporia náklady aktivácie.

Možnosť zmeny z aktívnych sietí P2P na PON je jednoduchá, naopak z PON na P2P je obmedzená. Ceny koncových zariadení pre P2P sú oveľa lacnejšie ako PON ONT.

PON siete majú podporu pre ATM a TDM štandardy, ktoré sa často ale nevyužívajú, taktiež je možné vysielat' analógovú TV cez RF overaly po tom istom vlákne. V prípade P2P je možné vysielat' RF video, to však vyžaduje separátne vlákno.

V P2P sieťach je tiež možnosť vytvárania niektorých špecifikácií Ethernetu ako sú VLAN, QoS, multicast a pod.

Po dôkladnom zvážení všetkých výhod a nevýhod ešte treba brať do úvahy priestor, kde sa má optická trasa inštalovať. V niektorých špeciálnych prípadoch, môže vyjsť drahšia technológia výhodnejšie, napr. použitie EP2P a existujúce rozvody UTP štruktúrovanej kabeláže.[9]

2. Chrbticová a agregáčn siet'

2.1 MEN - Metro Ethernet Network

Metro Ethernet (MEN) je počítačov siet' pokrývajúca územie mesta (Metropolitan Area Network), ktor je založen na sieti typu Ethernet. Je často používan ako mestsk prstupov siet' na pripojenie castnkov a firiem do väčšej siete alebo Internetu. Firmy môžu tiež využíť Metro Ethernet na pripojenie ich pobočiek do Intranetu.

Ethernet je technológia známa uŹ desiatky rokov. V porovnaní s SDH/SONET sú zariadenia oveľa lacnejšie pri podpore rovnakej prenosovej rýchlosti.

Využitie Ethernetu v MAN sieťach prináša veľa výhod pre poskytovateľov i zákazníkov siete. Prstupov siet' na báze Ethernetu je ľahko spojitelné so sieťou v domácnosti alebo firme.

Typicky sa Metro Ethernet siet' skladá s prepínačov a smerovačov druhej a tretej vrstvy prepojenými optickým vláknom. Topológia môže byť kruh, hviezda, pln alebo čiastočná siet'(mesh).

Tto siet' má tiež svoju hierarchiu. Chrbticov, agregáčn (distribučn) a prstupov. Chrbticov siet' je často uŹ existujúca IP/MPLS(viac kapitola 5.2), ale môže konvergovať do novších foriem Ethernetovej prenosovej siete v rýchlostiach 10Gbit/s alebo 100Gbit/s.

Ethernet v MAN môže byť použit ako čist Ethernet, Ethernet cez SDH, Ethernet cez MPLS alebo Ethernet cez DWDM. Čisto Ethernetov zapojenie je lacné ale menej spoľahlivé a pružné, preto sa používajú zvyčajne v menších rozmeroch alebo v experimentálnych zapojeniach. Ethernet cez SDH riešenia sú vhodné vtedy, keď je dostupn SDH infraštruktúra. Jeho hlavn nevýhoda v tomto zapojen je menej flexibiln manaŹment šírky pásma a to kvôli pevnej hierarchii predpísanou v SDH sieti. Využitie MPLS je finančne náročné, ale vysoko spoľahlivé a pružné. Využívajú ich preto hlavne veľk operátori a poskytovatelia sluŹieb.[15]

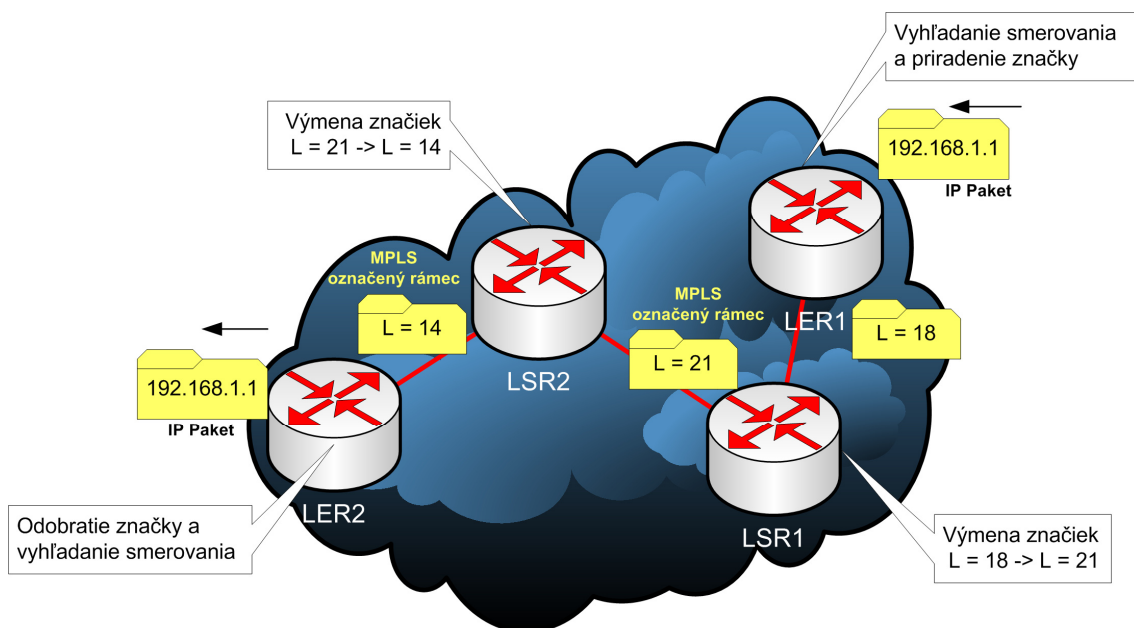
2.2 MPLS – Multi protocol label switching

Prudko rastúci objem prenášaných dát na všetkých úrovniach internetu nútil výrobcov smerovačov riešiť rýchle prepínanie paketov v sieti. Všeobecným trendom posledných rokov bol prechod na komunikačn architektúru, ktor presva podstatn časť operácií nad dátovými tokmi – smerovanie, administrtvnu stratégiu, QoS, ctovanie – do okrajových

častí komplexnej siete. Vnútorne uzly sú tak optimalizované pre čo najvyššie rýchlosti, to znamená sú im ponechané jednoduché funkcie, ktoré možno efektívne implementovať priamo v hardvéri. [1]

V tradičnej IP sieti sa pakety smerujú na základe cieľovej IP adresy a záznamu o ceste v smerovacej tabuľke smerovača. Prepínanie značiek (label switching) oddeluje proces smerovania od samotného prepínania paketov (packet forwarding). Sieť sa skladá so smerovačov na okraji siete LER – Label Edge Router a smerovačov vnútri siete LSR – Label Switch Router.

Smerovač na okraji siete LER vloží do paketu značku (label) v prípade vstupného smerovača (Ingress LER) alebo značku odoberie v prípade výstupného smerovača (Egress LER). Smerovače vnútri siete LSR potom paket posielajú ďalej výhradne na základe informácie v tejto značke. Tak sa výrazne obmedzuje záťaž smerovačov spôsobená prehľadávaním smerovacích tabuliek a urýchľuje sa celý proces prepínania paketov v sieti.



Obr. 2.1 Príklad smerovania v MPLS sieti

Značka MPLS obsahuje informácie o ďalšom skoku na ceste a môže tiež špecifikovať ďalšie parametre napr. QoS, takže je efektívnym riešením podpory QoS v sieti. Značka používaná pre rýchle prepínanie sa vkladá priamo do paketu, medzi hlavičku druhej a tretej vrstvy.

Značka môže byť paketu pridelená podľa kritérií:

- cieľová IP adresa a QoS parametre, ktoré majú byť splnené
- príslušnosť paketu do VPN konkrétneho zákazníka
- multicastová adresa

Pomocou týchto kritérií je definovaná FEC tabuľka (Forwarding Equivalence Class), teda množina paketov vyhovujúcich danému kritériu. Každá FEC získa svoju značku a tou je potom určené akou cestou budú smerované po MPLS sieti pakety patriace do jednej FEC. FEC je definovaná niektorým z polí IP hlavičky – ToS, protokol, adresa zdroja, cieľová adresa, port zdroja, port cieľa.

Každá značka má len lokálny význam medzi dvoma smerovačmi LSR vo vnútri siete. Všetky pakety s rovnakou značkou sa posielajú rovnakou cestou LSP (Label Switched Path) cez príslušné LSR prepínače. Na výmenu informácií o pridelených značkách medzi susednými smerovačmi sa ako signalizačný mechanizmus používa protokol LDP (Label Distribution Protocol).

Lokálna tabuľka značiek na smerovači jednoznačne určuje smerovacie rozhodnutie tak, že pre každú lokálnu hodnotu značky paketu prijatého z určitého rozhrania určuje, na ktoré výstupné rozhranie má byť tento paket ďalej smerovaný a jednak definuje novú hodnotu lokálnej značky. [1]

3. Triple-play služby

Pod názvom triple-play sa nazývajú služby prenosu hlasu, obrazu a dát poskytované zákazníčkovi zvyčajne telekomunikačným operátorom alebo poskytovateľom internetu cez jednu užívateľskú prípojku. S vývojom nových technológií na prístupových sieťach sa zákazníčkovi ponúkajú nové služby, ktoré doteraz neboli možné napríklad kvôli náročnosti na šírku pásma, oneskoreniu prenosu a pod. (pozri obr.3.1). V minulosti sa služby prenosu dát, hlasu aj obrazu poskytovali väčšinou oddelene. Dnes sa operátori snažia poskytovať kompletný balík služieb, čo má pre zákazníčka výhodu, že platí len jednému operátorovi za služby s pridanou hodnotou. Pre poskytovateľov sú to výhody väčších ziskov za služby, ktoré sú v súčasnosti na trhu žiadané.

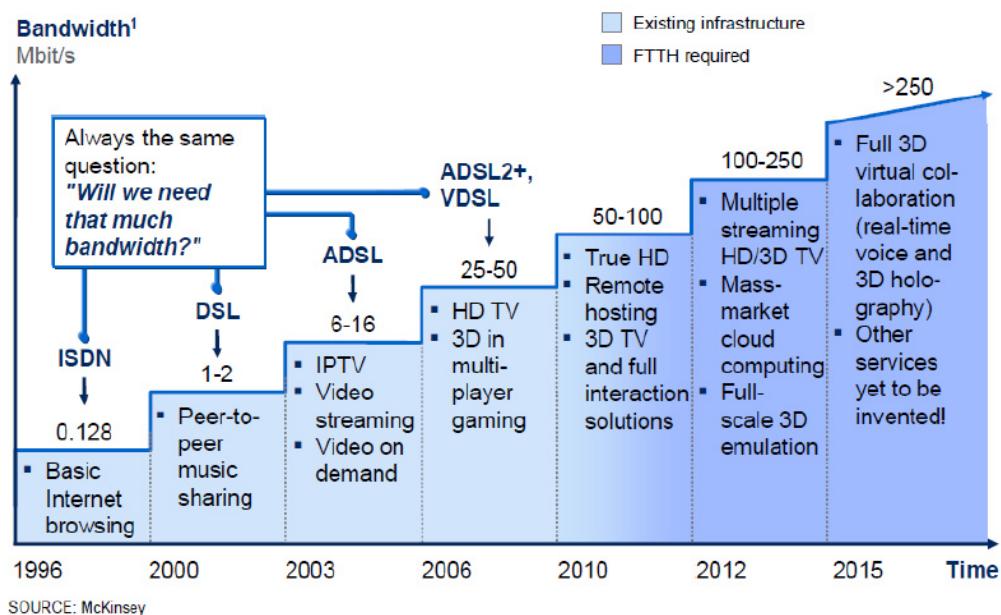
Podľa spôsobu poskytovania rozdeľujeme služby na:

- **interaktívne** – informácie zo zdroja sa vysielajú podľa požiadaviek zákazníčka – napríklad video na požiadanie (VoD).
- **distribučné** – rovnaká informácia sa zo zdroja šíri súčasne väčšiemu počtu používateľov, kde používatelia nemajú možnosť zmeniť časový alebo obsahový priebeh informácie- napríklad televízne a rozhlasové vysielanie

Podľa typu prístupovej siete môžeme služby deliť na služby po:

- metalických vedeniach – najmä ADSL, ADSL2+
- optických vedeniach – FTTH – vlákno do bytu
- opticko-metalických vedeniach – FTTB + kombinácia Ethernetu cez štruktúrovanú kabeľáž prípadne ADSL

Dostupnosť služieb v závislosti od šírky pásma



Obr. 3.1 Dostupnosť služieb v závislosti od šírky pásma [11]

3.1 Kvalita služby QoS

Aby sme služby mohli poskytovať v potrebnej kvalite, musíme do riadenia prenosu implementovať aj mechanizmy QoS (Quality of service).

Za kľúčové parametre kvality služieb komunikačnej linky sú považované: šírka pásma (bandwidth), oneskorenie (delay), kolísanie oneskorenia (jitter), strata paketov (packet loss).

Šírka pásma vyjadruje maximálne množstvo prenášanej informácie prostredníctvom komunikačnej linky a je udávaná v bitoch za sekundu. Službám s nízkou mierou interaktivity obvykle postačuje dostupná šírka pásma, ktorú sa snažia využiť čo najviac. Prenos hlasu alebo videa má podľa typu kódovania vopred známe požiadavky.

Oneskorenie prenášaného paketu udáva čas od vyslania paketu po jeho prijatie. Ak je merané medzi dvoma bodmi, je označované ako jednosmerné oneskorenie (one-way delay alebo end-to-end delay). Celkové oneskorenie sa skladá z jednotlivých čiastkových oneskorení:

- oneskorenie kódovaním a serializáciou (príprava paketov na prenos médiami),

- oneskorenie pri prenose (rýchlosť šírenia médiami v závislosti od dĺžky linky),
- oneskorenie spôsobené spracovaním paketu v zariadení (čakanie vo fronte smerovača).
- oneskorenie pri prepínaní v sieti (nájdanie ďalšej cesty v sieti a výstupného portu)

Kolísanie oneskorenia (jitter alebo packet delay variation) udáva odchýlky, ktoré boli zistené medzi príchodmi jednotlivých paketov. Kvôli premenlivým prenosovým podmienkam (serializácia, fronty) sú pakety doručované s rôznym oneskorením, čo má negatívny dopad hlavne na interaktívne služby ako VoIP.

Strata paketov udáva percentuálny alebo absolútny počet paketov, ktoré neboli doručené do cieľa z rôznych dôvodov. Medzi ne patria napríklad nekvalitné linky, zahadzovanie paketov niektorým so zariadení kvôli preplneným bufferom atď. Akákoľvek strata paketov je nežiaduca a preto sa tento jav snažíme potlačiť čo najviac použitím vhodných liniek, konfiguráciou zariadení a pod. [13]

Pre triedenie sieťovej prevádzky sú stanovené nasledujúce triedy:

- **Real-time (VoIP)** – táto trieda je zameraná na služby prenosu hlasu (VoIP) a videa (IPTV, VoD). Tieto požadujú nízke straty paketov – menej než 0,25% a nízky jitter – typicky 5-10ms. Real-time služby majú vopred známu šírku pásma (Tab. 3.3). Ich kvalita závisí od dodržania uvedených parametrov siete.
- **Obchodné dáta (Business)** – Táto trieda predstavuje interaktívne aplikácie ako napríklad telnet a intranetové webové aplikácie. Má špecifikované požiadavky na oneskorenie, ktoré by mali byť menšie ako 250ms. Strata paketov by mala byť menšia ako 1% a tiež je špecifikovaná šírka pásma a dostupnosť. Jitter nie je dôležitý a ani definovaný pre túto triedu.
- **Best Effort (BE)** – Táto trieda predstavuje celú prevádzku, ktorá nie je definovaná v predchádzajúcich dvoch triedach. Dosaiahnutý výkon je odvodený zo strát. Oneskorenie ani jitter nie sú definované. Trieda špecifikuje šírku pásma a dostupnosť.

3.2 Služby prenosu hlasu

Služby prenosu hlasu prostredníctvom dátovej siete Internet nazývame aj VoIP – Voice over Internet Protocol. Táto služba má spomedzi triple-play najnižšiu náročnosť na šírku pásma, avšak je citlivá na oneskorenie a kolísanie oneskorenia. Na komunikáciu sa na strane zákazníka používa tzv. IP telefón prípadne počítač. Dátová sieť poskytovateľa služby je spojená s telefónnou ústredňou zapojenou do siete verejnej telefónnej služby PSTN. To umožňuje volanie do akejkoľvek siete za často omnoho výhodnejšie poplatky ako v bežnej telefónnej službe, navyše volanie do siete poskytovateľa býva bez poplatkov.

3.2.1 Požiadavky na prenos hlasu

Pre zabezpečenie dostatočnej kvality prenosu hlasu v IP sieti je potrebné zohľadniť viaceré parametre komunikačnej trasy medzi koncovými účastníkmi. Sú to napríklad použité zariadenia, prenosové protokoly, kodeky ako aj poskytované služby. Pri hodnotení kvality hlasu sú najčastejšie využívané metódy, založené na subjektívnych hodnoteniach vybranej vzorky užívateľov.[13] Jeden z ukazovateľov subjektívneho hodnotenia kvality sa nazýva MOS (Mean Opinion Score) .

Vznikol na základe odporúčania ITU P.800. V intervale 1-5 číselne vyjadruje kvalitu počutého hlasu po prenose sieťou, ktorý je kódovaný vybratým kodekom. (Tab.3.1)[14]

Mean opinion score	
MOS	hodnotenie
5	Excellent / výborná
4	Good / dobrá
3	Fair / uspokojivá
2	Poor / neuspokojivá
1	Bad / zlá

Tab. 3.1 Subjektívne hodnotenie kvality MOS

V súčasnosti je však veľká pozornosť venovaná exaktným metódam hodnotenia kvality hlasu. Podľa odporúčania ITU-T G.114 (Tab.3.2) je akceptovateľné jednocestné oneskorenie 150 ms. Vyjadruje dĺžku trvania od vyslania paketu po jeho doručenie. Pri oneskorení 150-400 ms je služba prenosu hlasu degradovaná a pre užívateľov môže byť nedostačujúca.

Jednocestné oneskorenie ITU-T G.114	
0-150 ms	odporúčaný rozsah
150-400 ms	degradovaná služba VoIP
>400 ms	neprípustný rozsah

Tab. 3.2 Odporúčané oneskorenie podľa ITU-T G.114

Potrebná šírka pásma ako bolo uvedené vyššie je závislá od typu kodeku. Pre službu VoIP sa najčastejšie používajú kodeky G.711 , G. 729A a G 723.1. Ich šírka pásma je uvedená v tabuľke 3.3 [14]. Použitím kodekov G.729A alebo G.723 môžeme ušetriť bitovú rýchlosť, ale podľa subjektívneho hodnotenia (MOS) sa znižuje kvalita hovoru. Preto operátori VoIP využívajú najčastejšie kodek G.711.

Kodek	Šírka pásma	MOS
G.711 PCM	64 kbit/s	4.3
G.726 ADPCM	32 kbit/s	3.8
GSM FR	13 kbit/s	3.5
G.729 A	8 kbit/s	3.7
G.723.1 ACELP	5.3 kbit/s	3.62

Tab. 3.3 Kodeky a požadovaná šírka pásma

Na kvalitu služby vplýva vo veľkej miere aj Jitter, teda kolísanie oneskorenia. Toto kolísanie možno do istej miery eliminovať použitím vyrovnávacej pamäte (buffera) v koncovom zariadení (počítač, IP telefón). Maximálne kolísanie oneskorenia by malo byť pod 30 ms. Tolerovaná strata paketov je maximálne 1%. [17]

3.3 Služby prenosu obrazu

Pod pojmom služby prenosu obrazu nazývame prijímanie televízneho vysielania nazývaného aj IPTV alebo sledovanie videa na požiadanie (VoD) pomocou paketovej siete na obrazovke klasického televízneho prijímača, prípadne počítača. Služba video na požiadanie umožňuje používateľom prehrať ľubovoľný videosúbor dostupný v databáze poskytovateľa.

Signál sa v sieti IP prenáša rozdelený do paketov. V závislosti od technológie je možné šíriť niekoľko desiatok až stovky programov. Program sa postupne sťahuje z centrálnej distribučnej siete, ktorá spracováva TV kanály cez chrbticovú sieť do miestnej ústredne. TV program sa prístupovou sieťou zvyčajne ADSL alebo FTTH preniesie k jednotlivým

zákazníkom. Koncovým zariadením u zákazníka je Set-top-box, teda zariadenie prijímajúce zvolený televízny kanál pripojené na televízny prijímač.

Moderné set-top-boxy ponúkajú mnoho ďalších funkcií ako napríklad nahrávanie vysielania, time-shifting (pozeranie nahrávaného programu bez zastavenia záznamu) a pod. Výhodou IPTV je aj možnosť poskytovať službu NPVR (Network-based Personal Video Recorder), čiže osobný rekordér, ktorý dokáže nahrávať vybraný program na sieťový disk u poskytovateľa služieb a neskôr si ho pozrieť.

IPTV spolu so svojimi službami je konkurentom pozemskej, káblovej alebo satelitnej televízie. [18]

3.3.1 Požiadavky na prenos obrazu

Prenos obrazu vyžaduje z triple-play služieb najvyššiu šírku pásma. Veľkosť dátového toku závisí od použitého kodeku. Na kódovanie obrazu v IPTV sa používa najčastejšie starší MPEG-2 alebo modernejší MPEG-4 (H.264) kodek.

MPEG-2 bol vytvorený skupinou MPEG (Motion Pictures Experts Group) v roku 1995. MPEG-2 sa využíva doteraz hlavne na kódovanie diskov DVD a digitálne terestriálne vysielanie DVB-T.

MPEG-4 bol vytvorené rovnakou skupinou MPEG v roku 1998. Vývojom bolo vytvorených viacero verzií. Medzi posledné patria MPEG-4 ASP a MPEG-4 AVC (H.264).

Verzia AVC alebo H.264 bola štandardizovaná organizáciou ITU-T v roku 2003. Používa sa okrem vysielania v IPTV aj na HD DVD a Blue-ray diskoch. Pri porovnateľnej kvalite obrazu potrebuje oproti MPEG-2 približne polovičnú šírku pásma. To umožňuje nielen vysielat' viac programov v SD (Standard definition) kvalite, ale aj obrazu vo vysokom rozlíšení tzv. HD kvalite (High definition).

Vysielanie HD TV s kódovaním MPEG-2 by síce bolo možné, ale zaťažovalo by šírku pásma 18-20 Mbit/s, čo je príliš veľa na prenos prístupovou sieťou ADSL, preto sa používa kodek MPEG-4 (H.264).

S kodekom MPEG-4 postačí pre bežné rozlíšenie (SDTV) dátový tok 1,5-2Mbit/s. Vysielanie vo vysokom rozlíšení (HDTV) vyžaduje minimálne 4 -8Mbit/s. [7]

Aby bolo možné vysielat' IPTV alebo VoD prostredníctvom IP siete, je treba okrem dostatočnej šírky pásma dodržiavať aj požiadavky QoS, podobne ako pri VoIP (pozri kapitola 3.2.1). Oproti VoIP sú QoS požiadavky o čosi miernejšie. Jednosmerné oneskorenie paketov by malo byť do 250ms. Stratovosť paketov maximálne 2%.

3.4 Služby prenosu dát

Dátová prevádzka je najstaršou spomedzi triple-play služieb. Prenos informácií bol hlavným cieľom využitia internetu v jeho počiatkoch. S vývojom nových prenosových technológií až k zákazníkovi a novými službami s väčšími požiadavkami na šírku pásma rástla dostupná rýchlosť od desiatok Kbit/s až po súčasné desiatky Gbit/s.

K dátovým prenosom možno zaradiť služby ako e-mail, prenos súborov (FTP), prehliadanie stránok WWW, Instant Messaging (ICQ, MSN) alebo výmenné siete (DC++, BitTorrent).

3.4.1 Požiadavky na prenos dát

Dátová prevádzka na sieti je nezanedbateľnou časťou celkovej prevádzky siete. Základné pravidlá pre prevádzku, ktoré boli definované už v 70. rokoch sú:

- žiadnemu typu prevádzky nebude odmietnutý prístup do siete
- s akokoľvek prevádzkou sa bude zachádzať rovnako
- jediná garancia prevádzky je, že každý paket bude prenesený čo najlepším spôsobom (Best Effort) v závislosti na dostupných prostriedkoch, to znamená, že nebude zbytočne a umelo dochádzať ku oneskoreniu alebo zahadzovaniu paketov.

Na prenos dátových súborov alebo elektronickej služby nemá veľký vplyv oneskorenie alebo jeho kolísanie, avšak do tej doby, kým nedôjde k preťaženiu komunikačnej cesty. Neexistuje ale žiadna istota, že potrebná šírka prenosovej cesty bude zabezpečená celú dobu prenosu, pretože záťaž siete môže spôsobiť vyššie oneskorenie paketov alebo ich stratu. Tieto atribúty nie sú v prevádzke Best Effort ošetrené.

4. Využitie programu OPNET Modeler na modelovanie sieti

OPNET Modeler® vyvinula spoločnosť OPNET Technologies, Inc. so sídlom v USA. Svojimi možnosťami pre návrh a analýzu komunikačných sieti, zariadení, protokolov a aplikácií urýchľuje proces výskumu a vývoja sieti.

Užívatelia môžu analyzovať simulované siete a porovnať dosah použitia rozličných technológií. Modeler ponúka širokú podporu protokolov a technológií a ponúka vývojové prostredie pre všetky typy bežne používaných technológií vrátane VoIP, TCP, OSPFv3, MPLS, IPv6 a iné.

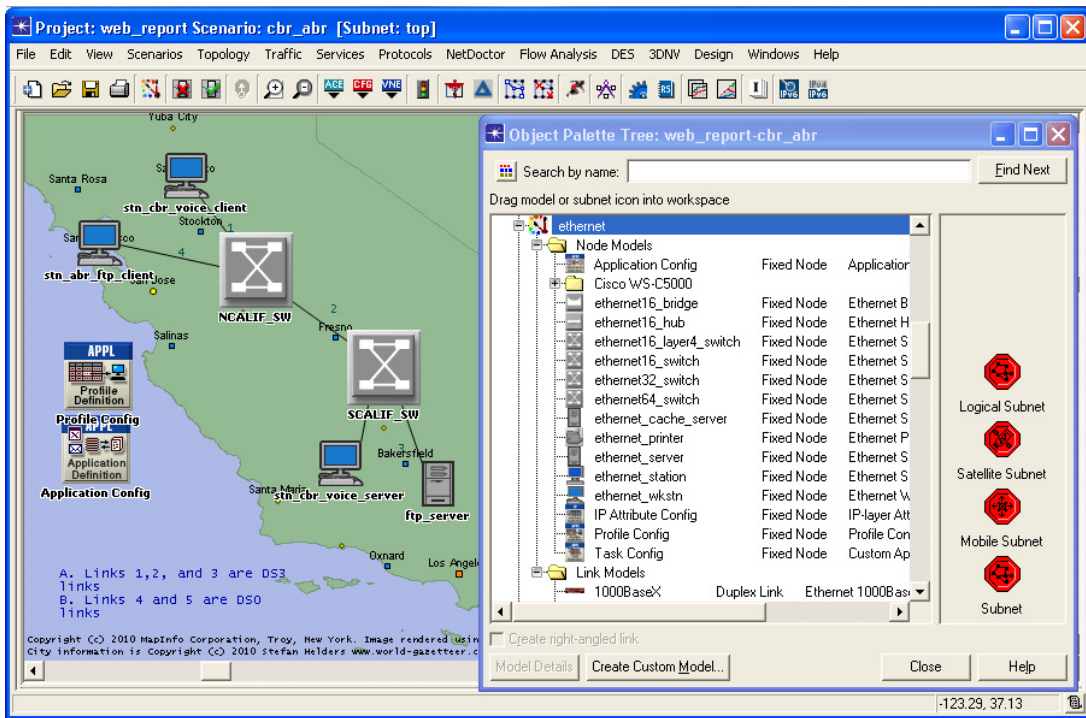
Obsahuje výkonné 32 alebo 64 bitové simulačné jadro diskretnej udalostnej simulácie s podporou analytickej simulácie. Výhodou sú tiež knižnice zariadení od svetoznámych výrobcov napr. CISCO, ktoré vďaka otvorenému kódu možno upravovať podľa požadovaných vlastností.

K vyhodnoteniu simulácií prispieva veľká podpora štatistík, grafov a analytických funkcií.

4.1 Základné prvky OPNET Modeler

Editor OPNET Modeler je zložený z troch základných editorov:

- Project Editor – grafický editor modelujúci topológiu a komunikáciu v sieti. Sieť možno zostaviť z uzlov (node) pomocou metódy drag and drop (ťahaj a pusť) z palety objektov (Object Palette). (Obr.4.1)
- Node Editor – editor uzlu predstavuje rozhranie nižšej úrovne ako editor projektu. Ukazuje architektúru sieťového zariadenia alebo systému a vzájomne vzťahy medzi funkčnými modulmi a funkciami.
- Process Editor – editor procesu je rozhranie najnižšej úrovne. Slúži pre tvorbu konečného stavového automatu FSM (Finite State Machines) prispôbeného snahe špecifikovať všetky úrovne modelu do detailu. Stavby a prechody sú definované v grafickom diagrame. Každý stav a proces modelu obsahuje kód v C/C++ podporovaný rozsiahlou knižnicou.



Obr. 4.1 Project Editor a Object Palette

4.2 Modelovanie sieťovej prevádzky

V OPNET Modeleri môžeme prevádzku siete definovať dvoma spôsobmi. Ako explicitnú (Explicit) alebo prevádzku na pozadí (Background).

Explicitná prevádzka simuluje vytvorenie každého paketu a čakanie vo fronte. Tento spôsob modelovania je presnejší, avšak má väčšie nároky na výpočtový výkon preto je pomalší.

Explicitnú prevádzku môžeme modelovať pomocou týchto metód:

- Simulovaním vytvárania paketov. Každému uzlu sú priradené generátory paketov podľa parametrov zadaných užívateľom. Tento spôsob je určený najmä pre skúmanie technológií druhej vrstvy OSI (Ethernet, ATM, Frame Relay). Na generovanie využívame objekty RPG (Raw Packet Generator) a IP_STATION z knižnice Shared.
- Modelovaním prevádzky aplikácií – Application traffic models. Pomocou preddefinovaných aplikácií v objekte Application Configuration z palety utilities môžeme jednoducho simulovať správanie niektorých aplikácií napríklad FTP, HTTP, Email.

- Modelovaním požiadaviek aplikácií – Application demands. Požiadavky aplikácií charakterizujú prevádzku ako veľkosť a rýchlosť požiadaviek medzi dvoma uzlami. Oproti modelovaniu prevádzky aplikácií sa konfigurujú jednoduchšie. Model požiadaviek je možné konfigurovať ako čisto explicitnú (All Explicit) alebo prevádzku na pozadí (All Background), prípadne kombináciu.

Prevádzka na pozadí liniek ovplyvňuje explicitnú prevádzku pridávaním variabilného oneskorenia, ktoré je spôsobené rôznymi dĺžkami vstupných a výstupných frontov. Tento typ prevádzky sa nezapočítava do výsledných štatistík. Na rozdiel od explicitnej prevádzky nie sú simulované jednotlivé pakety a tak je rýchlosť simulácie podstatne vyššia.

Prevádzku na pozadí liniek môžeme modelovať týmito spôsobmi:

- Toky prevádzky (Traffic Flows) – nastavenie toku dát modelov požiadaviek aplikácií medzi dvomi uzlami siete cez určené medziľahlé uzly.
- Modely požiadaviek aplikácií (Application Demands) – môžu obsahovať tiež prevádzku na pozadí. Viac v modelovaní explicitnej prevádzky.
- Základné zaťaženie (Baseline Loads) – tento typ prevádzky predstavuje zaťaženie linky alebo uzla. Na rozdiel od prevádzkového toku sa viaže na jeden objekt, linku (vyťaženie linky) alebo zariadenie (vyťaženie CPU).

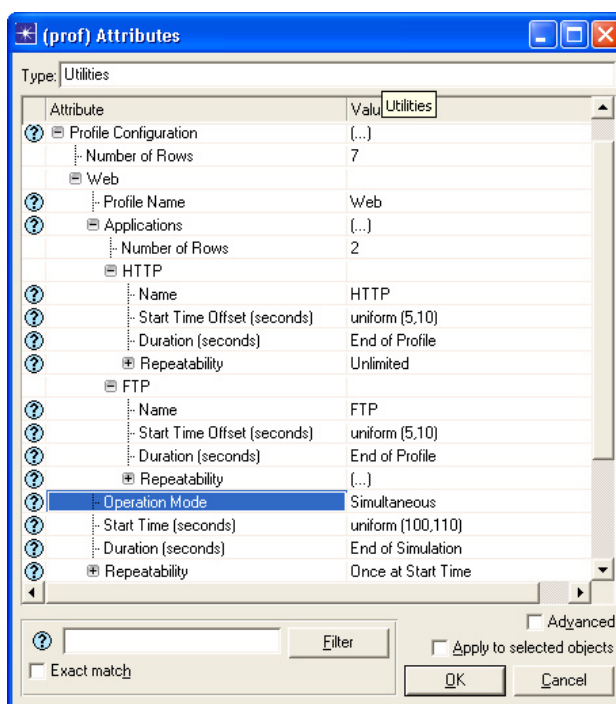
4.3 Nastavenie aplikácií a profilov

Nastavenie aplikácií a profilov robíme pomocou objektov Application Config a Profile Config. Podporované aplikácie sú:

- Custom – vlastná aplikácia
- Database
- Email
- FTP
- HTTP
- Print
- Remote Login
- Video Conferencing
- Voice

Všetky tieto aplikácie majú predefinované hodnoty vo variantoch Low Load, Medium Load, High Load. Na základe preddefinovaných aplikácií môžeme vytvoriť vlastnú aplikáciu úpravou nastavení ako napr. typ kodeku (Encoder), typ služby (ToS) – kapitola 4.3.1, typ prevádzky (Traffic Mix). (viac v kapitole 5.4.1)

Pre definíciu profilu aplikácie sa používa objekt Profile Config. Profily slúžia na využitie aplikácií definovaných v Application Config. V jednom profile môžeme použiť viacero aplikácií - rows.



Obr. 4.3 Nastavenie profilov aplikácií

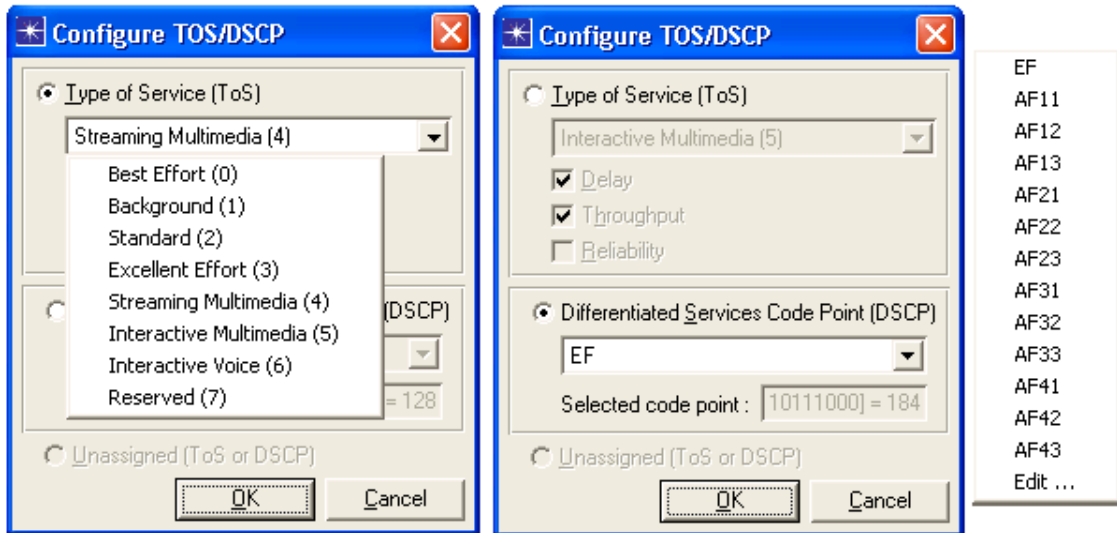
V danom profile môžeme nastaviť spôsob spúšťania aplikácií z profilu (Operation Mode) na súčasne (Simultaneous) prípadne sériovo (Serial), teda po sebe. Je možné tiež nastaviť čas začiatku (Start Time) a trvanie aplikácií (Duration).

Okrem vlastných profilov môžeme využiť aj niekoľko preddefinovaných a to vybrať možnosti Sample Profiles. Tieto profily reprezentujú vybrané typy užívateľov napríklad Engineer, Researcher, E-commerce Customer, Sales Person, Multimedia user.

Nastaveniam jednotlivých aplikácií a zariadení sa budem podrobnejšie venovať v kapitole 5.

4.3.1 Nastavenie typu služby

Pre zabezpečenie kvality služby (QoS) môžeme pre každú aplikáciu využiť nastavenie typu služby ToS. Toto nastavenie ponúka sedem profilov so stúpajúcimi nárokmi na kvalitu prenosu od Best Effort(0) až po Interactive Voice (7) – pozri obrázok 4.4 vľavo. Podľa typu služby sa každému paketu pridelí nastavenie prvých troch bitov (IP Precedence). Tieto bity sa nachádzajú v hlavičke paketu v poli TOS, teda ide o značkovanie na tretej vrstve.



Obr. 4.4 Nastavenie typu služby ToS/DSCP

Podobne ako ToS sa používa tiež značkovanie pomocou DSCP (Differentiated Service Code Point). Využíva 6+2 bity v najvyšších 6 bitoch poľa ToS. Poskytuje komplexnejšie a progresívnejšie možnosti klasifikácie. V dnešných riešeniach je preferovaná metóda, ktorá je čiastočne kompatibilná s IP Precedence. [13]

5. Implementácia prístupových sietí

Jedným z cieľov tejto diplomovej práce bolo preskúmať možnosti implementácie prístupových sietí v programe OPNET Modeler. Praktickú časť som implementoval v programe OPNET Modeler vo verzii 14.5 PL8 z roku 2008. V súčasnosti je dostupná už aj verzia 16.0 PL6, preto medzitým mohlo dôjsť k zmenám, hlavne čo sa týka knižníc zariadení prípadne podpory nových technológií. Projekty vytvorené v staršej verzii sú kompatibilné s novšími, nie však naopak.

Projekt diplomovej práce som rozdelil na podsiete (subnet) Backbone, Aggregation a ocal – teda na chrbticovú, agregáčnú (alebo distribučnú) a lokálnu sieť. Okrem toho som ešte použil podsieť Provider – podsieť poskytovateľa, kde sa nachádzajú servery a smerovače pre jednotlivé služby a aplikácie poskytované koncovým zákazníkom.

5.1 FTTH a GPON

Podpora optických sietí a zariadení v OPNET Modeler je obmedzená. Obsahuje knižnicu Fibre_chanel používajúcu optické vlákno. Fibre chanel je technológia, ktorá sa používa v úložnej sieti typu SAN(Storage area network). Je to vysokorýchlostná sieť obvykle s malým dosahom so špeciálnym účelom prepojiť rôzne typy úložných zariadení a dátové servery v podnikovej sieti. [1]

Knižnice programu OPNET Modeler vo verzii 14.5 neobsahujú optické prepínače, koncové zariadenia s optickým rozhraním ani pasívne rozbočovače pre siete PON. Knižnica Fibre chanel na tento účel nepostačuje, preto nebolo možné model prístupovej siete vytvoriť.

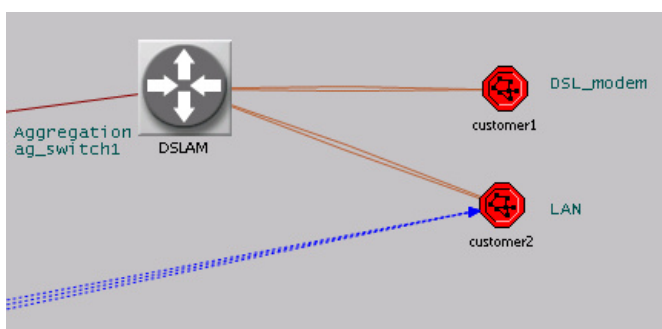
5.2 ADSL

Pre modelovanie sietí technológie DSL je v OPNETe určená knižnica „xDSL toolkit“. Obsahuje koncové zariadenie pre zákazníka „xDSL modem“ a pre poskytovateľa multiplexor DSLAM. Na prepojenie ponúka jednosmerné linky (simplex) pre upstream aj downstream.

5.2.1 Prístupová a agregačná topológia

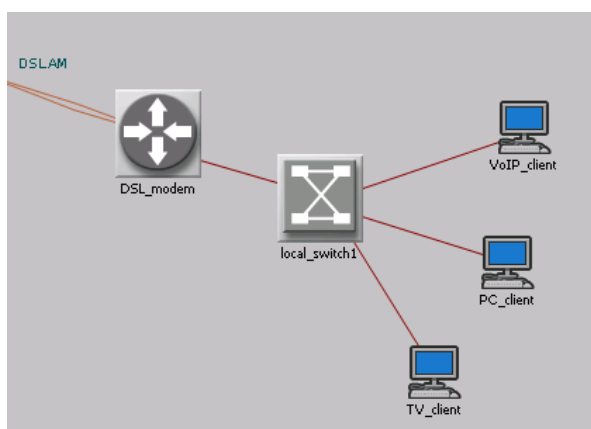
Hlavná časť topológie prístupovej siete sa nachádza v podsieti Local. Tá obsahuje objekt DSLAM a ďalšie dve podsiete Customer1 a Customer2 (Obr. 5.1).

Customer1 je podsieť, ktorá obsahuje koncové zariadenia zákazníka „VoIP_client“, „PC_client“ a „TV_client“. Tieto zariadenia sú typu „ethernet_wkstn“. Zariadenia sú pripojené do objektu local_switch1, čo je prepínač lokálnej siete u zákazníka. Tento prepínač je spojený s objektom DSL_modem. (Obr. 5.2) Na prepojenie všetkých spomenutých objektov využívam linku 100BaseT duplex Ethernet.



Obr. 5.1 Podsieť Local_ADSL

Objekt DSL modem je pripojený k uzlu DSLAM pomocou dvoch jednosmerných liniek ADSL_IP_upstrm a ADSL_IP_dwnstrm. V prípade upstream linky je v atribútoch (Edit Attributes) nastavená rýchlosť (datarate) 512,000 bit/s a pre downstream je nastavená rýchlosť 8,000,000 bit/s, čo je maximálna rýchlosť technológie ADSL (kapitola 3.1.2).

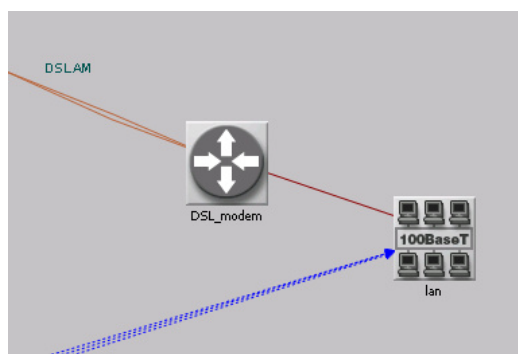


Obr. 5.2 Podsieť Customer1

K jednému objektu DSLAM v štandardnej konfigurácii môže byť pripojených až 32 zákazníkov (xDSL modemov).

Aby som mohol vyhodnotiť vplyv prevádzky prístupovej siete na kvalitu služieb u zákazníka v podsieti Customer1, vytvoril som si pre zjednodušenie podsieť Customer2. Touto sieťou som nahradil ostatných zákazníkov pripájajúcich sa na rovnaký DSLAM. Podsieť Customer2 teda slúži ako záťaž pre objekt DSLAM a tiež aj linku smerujúcu z agregáčnej siete do lokálnej siete.

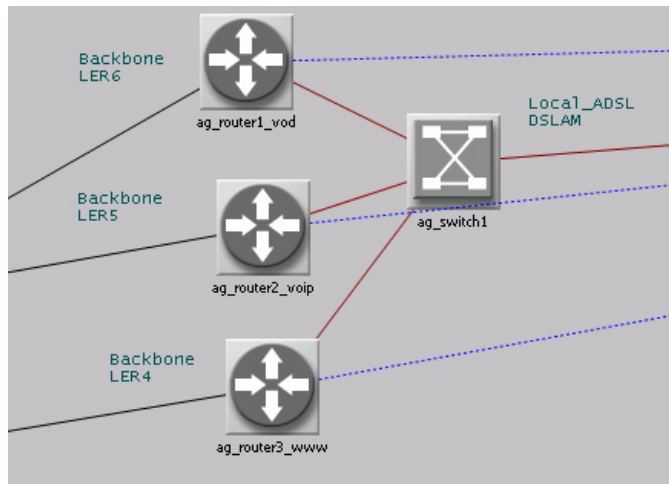
Sieť Customer2 obsahuje DSL modem rovnako ako u Customer1 a objekt 100BaseT_LAN (Obr. 5.3), ktorý predstavuje lokálnu sieť typu Ethernet s nastaviteľným počtom klientov. Rýchlosť linky medzi agregáčnou sieťou a DSLAMom je 100Mbit/s, preto som na výstupe smerom k podsieti Customer2 nastavil rýchlosť 96,000,000 bit/s. Táto rýchlosť v praxi nie je možná, ale pre modelovanie záťaže je ju možné nastaviť. Podsiete Customer1 a Customer2 teda majú teoreticky rýchlosť pripojenia smerom od DSLAMu spolu až do 104 000 000 bit/s, čo približne zodpovedá rýchlosti na vstupe do DSLAMu.



Obr. 5.3 Podsieť Customer2

DSLAM je v agregáčnej sieti pripojený do prepínača ag_switch1 pomocou 100BaseT duplex linky typu Ethernet (Obr. 5.4).

Agregačný prepínač spája z pravej strany linky vedúce k DSLAMom (v našom modeli jedna linka) a z ľavej strany linky idúce k smerovačom „ag_router1_vod“, „ag_router2_voip“, „ag_router3_www“. Každý smerovač je určený pre jeden druh prevádzky teda video na požiadanie (VoD), hlas (VoIP) a dáta (WWW). Tieto smerovače sú pripojené ďalej do chrbticovej siete (podsieť Backbone) pomocou liniek PPP (Point to Point Protocol) s nastaviteľnou rýchlosťou prenosu (Edit Attributes/Data rate). V tomto prípade som nastavil rýchlosť na SONET/OC24 čo je 1244,16Mbit/s (OC24=STM8). Viac o implementácii chrbticovej siete je v kapitole 6.1.

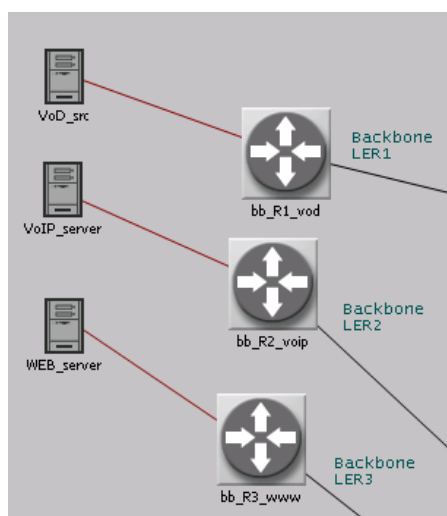


Obr. 5.4 Podsiet' Aggregation

5.2.2 Topológia na strane poskytovateľa služieb

Ako bolo spomenuté v úvode kapitoly 5. pre sprehľadnenie celého projektu som servery pre jednotlivé služby poskytovateľa oddelil do samostatnej podsiete nazývanej Provider. Táto podsiet' obsahuje server pre dátové služby „WEB_server“, pre služby VoIP „VoIP_server“ a pre službu video na požiadanie „VoD_src“.

Každý server je pripojený do osobitného smerovača podľa typu služby pomocou 1000BaseX duplex linky. WEB_server je pripojený na „bb_r3_www“, VoIP_server na „bb_r2_voip“ a „VoD_src“ na „bb_r1_vod“ smerovač. Všetky smerovače sú pripojené podobne ako agregáčna sieť k chrbticovej sieti pomocou PPP liniek s rýchlosťou SONET/OC24, ktorá predstavuje 1244,16Mbit/s (OC24=STM8). (Obr. 5.5)



Obr. 5.5 Podsiet' Provider

5.3 Ethernet

Siete typu Ethernet majú v OPNET Modeleri širokú podporu pre všetky typy metalických vedení 10BaseT, 100BaseT, 1000BaseX a dokonca aj 10Gbps_Ethernet. Ako ďalší typ prístupovej siete som sa rozhodol modelovať Ethernet na báze 100BaseT až k zákazníkovi.

5.3.1 Topológia prístupovej a agregáčnej siete

Zapojenie prístupovej siete typu Ethernet je podobné ako v prípade ADSL (kapitola 5.2.1) implementované v podsieti Local. Tá sa skladá z dvoch podsietí Customer1, Customer2 a Ethernet prepínača local_switch2.

V podsieti Customer1 sa nachádza zákaznícky smerovač „local_router“ spojený s prepínačom „local_switch1“. Na tento prepínač sú pripojené koncové zariadenia zákazníka „VoIP_client“, „PC_client“ a „TV_client“ typu „ethernet_wkstn“.

V podsieti Customer2 sa nachádza objekt „100BaseT_LAN“, teda lokálna sieť typu Ethernet u zákazníka.

Obidve podsiete Customer1 a Customer2 sú pripojené do prepínača „local_switch2“. Na prepojenie všetkým objektov v podsieti Local používam 100BaseT linku.

Podsieť Customer2 slúži rovnako ako v prechádzajúcom zapojení (kapitola 5.2.1) na vyťaženie objektov prístupovej siete ako sú „local_switch2“ a linky medzi prístupovou a agregáčnou sieťou.

Na prepojenie prepínača „local_switch2“ a „ag_switch1“ v agregáčnej podsieti používam linku 100BaseT.

Prepínač v agregáčnej vrstve „ag_switch1“ má okrem lokálnej podsiete pripojenie tiež smerom k chrbticovej podsieti a to cez smerovače „ag_router1_voip“, „ag_router2_vod“ a „ag_router3_www“. Tie slúžia na smerovanie paketov podľa typu služby medzi chrbticovou a agregáčnou sieťou. Na prepojenie smerovačov a prepínača pre potreby simulácie používam tiež linku 100BaseT.

Smerovače agregáčnej podsiete sú prepojené s chrbticovou podsieťou linkami typu PPP rýchlosti SONET/OC24 to je 1244,16Mbit/s (OC24=STM8).

5.3.2 Topológia na strane poskytovateľa služieb

Pretože cieľom simulačného modelu je modelovať prístupovú sieť, kvôli jednoduchosti som zvolil aj v zapojení Ethernet rovnakú podsieť poskytovateľa služieb. Tá pozostáva zo serverov pre dané služby, smerovačov a prepojenia na chrbticovú sieť. Viac v kapitole 5.2.2.

5.4 Nastavenie služieb v sieťach ADSL a Ethernet

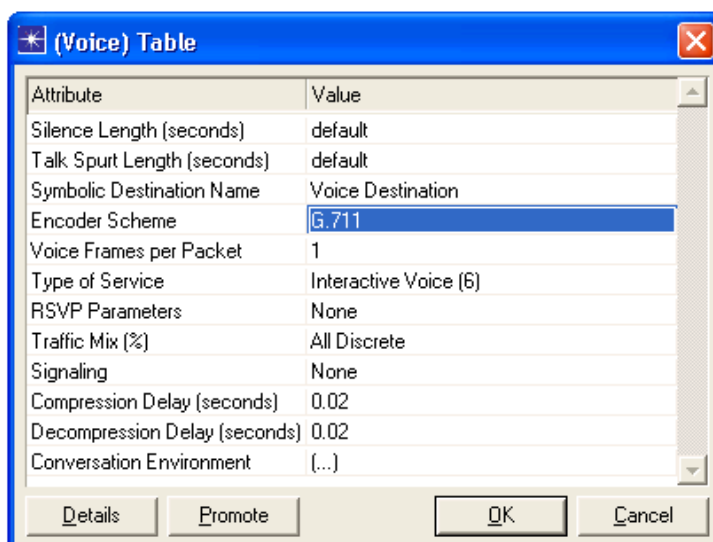
5.4.1 Nastavenie aplikácií

Pre simuláciu služieb triple-play, teda hlas, obraz a dáta som sa rozhodol využiť podporu modelovania prevádzky aplikácií (Application traffic models). Tento spôsob popísaný v kapitole 4.2 umožňuje vytvárať explicitnú prevádzku na základe predefinovaných alebo vlastných aplikácií. Aplikácie generujú explicitnú prevádzku. Vytvorené aplikácie som robil úpravou preddefinovaných typov aplikácií.

VoIP

Pre modelovanie hlasu som si vytvoril aplikáciu nazvanú VoIP. Tá obsahuje prevádzku typu „Voice-PCM Quality Speech“. Toto nastavenie štandardne obsahuje kodek G.711 („Encoder scheme“) a typ služby „Interactive Voice(6)“ („Type of Service“ – kapitola 4.3.1). Ostatné nastavenia možno vidieť na obrázku 5.6.

Použitý kodek zabezpečuje najvyššiu možnú kvalitu prenosu hlasu. Aplikácia VoIP predstavuje obojsmerný tok dát medzi volaným a volajúcim účastníkom siete.

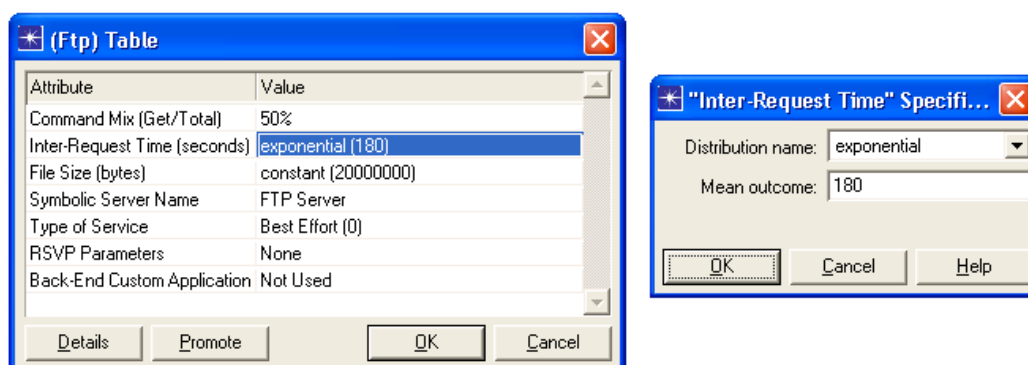


Obr. 5.6 Nastavenie aplikácie typu Voice

FTP a HTTP

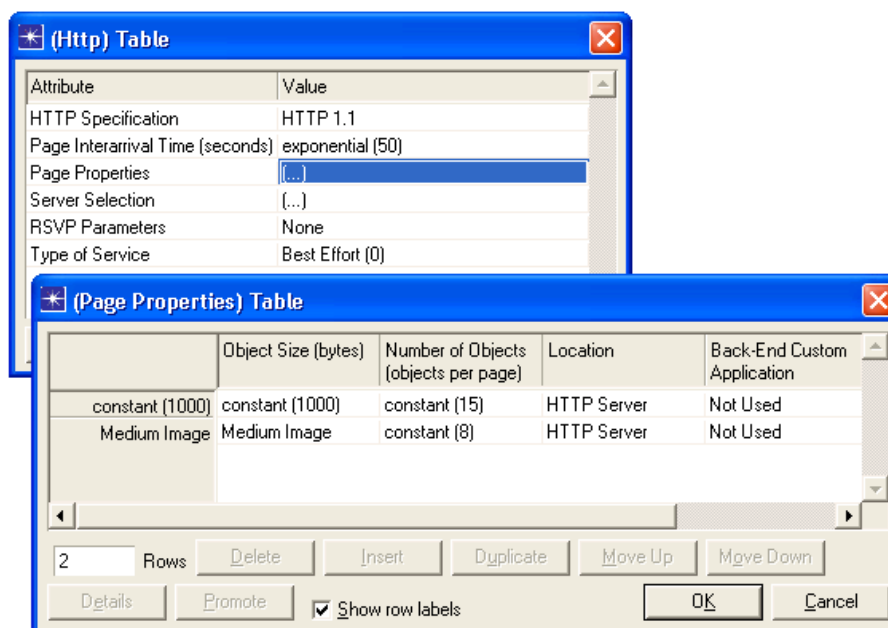
Aplikácie FTP a HTTP som využil pre modelovanie prenosu dát. Sú založené na podporovaných aplikáciách „Ftp-high load“ a „Http-heavy browsing“.

Pre nastavenie intenzity požiadaviek na stiahnutie súboru „Inter-Request Time“ môžeme vybrať jedno z rozdelení. Pre toto rozdelenie nastavíme v poli „Mean outcome“ hodnotu 180 (Obrázok 5.7), čo predstavuje strednú hodnotu rozdelenia 180 sekúnd. Veľkosť súboru je nastavená v atribúte „Files Size (bytes)“ na „constant(20,000,000)“, čo je konštantná veľkosť približne 20MB. Typ služby je štandardne „Best Effort(0)“ (kapitola 4.3.1). Ostatné parametre môžeme vidieť na obrázku 5.7.



Obr. 5.7 Nastavenie aplikácie typu FTP

HTTP má upravené atribúty „Page Interarrival Time(seconds)“ na „exponential(50)“, teda frekvenciu navštívenia stránok generovaných exponenciálnym rozdelením so strednou hodnotou 50 sekúnd (Obrázok 5.8). Ďalej sú zmenené vlastnosti stránky („Page properties“). Stránka obsahuje 15 objektov s veľkosťou 1000 bajtov („Number of Objects“, „Object Size“) a 8 obrázkov strednej veľkosti (Medium image). Obrázok typu Medium image má veľkosť v bajtoch generovaných rovnomerným rozdelením s parametrami 4000,75000 (uniform_int 4000,75000).



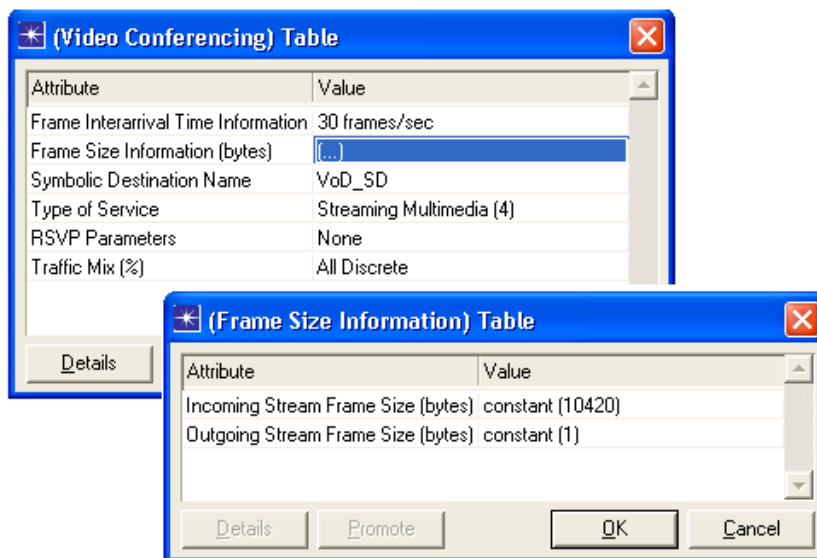
Obr. 5.8 Nastavenie aplikácie typu HTTP

VoD_SD a VoD_HD

Profily pre video na požiadanie (VoD) sú založené na aplikácii „Video Conferencing“. Táto aplikácia slúži na video hovor, ale po upravení som ju použil aj ako video stream pre užívateľov služby VoD. Podľa [7] je pre štandardne rozlíšenie SD potrebná šírka pásma 1-2Mbit/s . Pre vysoké rozlíšenie HD je to už 4-8Mbit/s. Ja som si stanovil 2,5Mbit/s pre SD a 6Mbit/s pre HD.

V prvom atribúte „Frame Interarrival Time Information“ som nechal nastavenie „30 frames/sec“, čo predstavuje generovanie 30 video rámcov za sekundu. Veľkosť rámca („Frame Size Information“ (bytes)) som si vypočítal podľa požadovaného dátového toku. Výpočtom som zistil, že pre downstream s dátovým tokom 2,5Mbit/s je potrebná veľkosť rámca 10420 B, teda v atribúte „Incoming Stream Frame Size“ som nastavil constant(10420)

(tabuľka 5.1). Aj keď služba video na posielanie prakticky neodosiela žiadny video tok smerom k serveru, aplikácia „Video conferencing“ vyžaduje nastavenie aj odchádzajúceho toku („Outgoing Stream Frame Size“(bytes)). Preto som nastavil hodnotu constant(1), čo pri intenzite 30 rámcov za sekundu predstavuje zanedbateľný tok veľkosti 17 000 B/s. Typ služby som nastavil na „Streaming Multimedia(4)“ (kapitola 4.3.1). Ostatné nastavenia na obrázku 5.9.



Obr. 5.9 Nastavenie aplikácie typu Video conferencing

Pre VoD_HD je rozdiel v nastavení veľkosti prichádzajúceho toku teda v atribúte „Incoming Stream Frame size“, kde som nastavil veľkosť constant(25000) bajtov, čo zodpovedá šírke dátového toku približne 6Mbit/s (tabuľka 5.1).

počet rámcov za sekundu	veľkosť rámca [B]	dátový tok [B]	dátový tok [b]	dátový tok Mbit/s
30	10420	312600	2500800	2,5008
30	25000	750000	6000000	6

Tab. 5.1 Výpočet dátového toku pre aplikáciu VoD

5.4.2 Nastavenie profilov

Pre použitie aplikácií som vytvoril profily pomocou objektu „Profile Definition“ (viac kapitola 4.3).

Web

Profil Web slúži pre dátový prenos medzi serverom „WEB_server“ a klientom „PC_client“. Skladá sa z dvoch aplikácií HTTP a FTP, ktoré sú spustené súčasne (Operation Mode – Simultaneous).

VoIP

Profil VoIP slúži pre prenos hlasu medzi serverom „VoIP_server“ a klientom „VoIP_client“. Obsahuje len jednu aplikáciu a to VoIP.

VoD_SD a VoD_2SD

Profil VoD_SD obsahuje jednu aplikáciu VoD_SD, teda jeden kanál pre video na požiadanie. Predstavuje prenos obrazovej informácie medzi serverom „VoD_src“ a klientom „TV_client“. V profile VoD_2SD sú na rozdiel od VoD_SD profilu dve aplikácie typu VoD_SD, čo predstavuje prenos dvoch kanálov typu Standard Definiton.

VoD_HD

Profil VoD_HD podobne ako VoD_SD slúži na prenos videa na požiadanie zo serveru „VoD_src“ ku klientovi „TV_client“. Skladá sa z jednej aplikácie VoD_HD, ktorá predstavuje video vo vysokom rozlíšení HD.

5.4.3 Nastavenie prevádzky na pozadí

Vytváranie linky medzi smerovačmi agregáčnej podsiete a lokálnou podsietou som realizoval pomocou tokov požiadaviek aplikácií „Application Demands“ (kapitola 4.2).

Vytvoril som tri toky. Každý začína v príslušnom smerovači podľa typu prevádzky a končí v objekte LAN v podsieti Local.Customer2.

Pri každom je nastavený typ služby podobne ako v aplikáciách v kapitole 4.3. Veľkosť jednotlivých tokov som vypočítal podľa pomeru prevádzky daného typu pre bežného zákazníka, a to nasledovne:

Jeden zákazník potrebuje na prenos jedného SD kanálu služby VoD šírku pásma približne 2,5Mbit/s. Na prenos hlasu službou VoIP potrebuje približne 120kBit/s. Na prenos dátových služieb (WWW,FTP) ponechám šírku pásma približne 2Mbit/s. Pre jedného zákazníka s uvedenými službami potrebujem teda približne 4,62Mbit/s.

Celková šírka modelovaného dátového toku je daná násobkom jednotlivých tokov tak, aby neprekročila kapacitu linky. Pre scenár s jedným SD kanálom, hlasom a dátami je to napríklad dvadsať násobok kapacity jedného zákazníka, teda spolu 92,4 Mbit/s. Zvyšná šírka pásma sa použije pre prenos dát k zákazníkovi v podsieti Customer1.

Všetky toky sú modelované prevádzkou na pozadí (kapitola 4.2). Výsledky pokusov a jednotlivých scenárov sú v kapitole 7.1.

6. Implementácia chrbticovej siete MEN,MPLS

Ďalším cieľom tejto diplomovej práce bolo preštudovať už hotový simulačný model agregáčnej a chrbticovej siete MEN a MPLS a navrhnúť a zrealizovať jeho vylepšenie z hľadiska odolnosti siete voči výpadkom liniek, uzlov a iným možným. Tento simulačný model vytvoril Ing. Martin Majerský ako diplomovú prácu „Simulačný model siete Metro Ethernet s MPLS chrbticovou sieťou v OPNET Modeler“ v máji 2010.

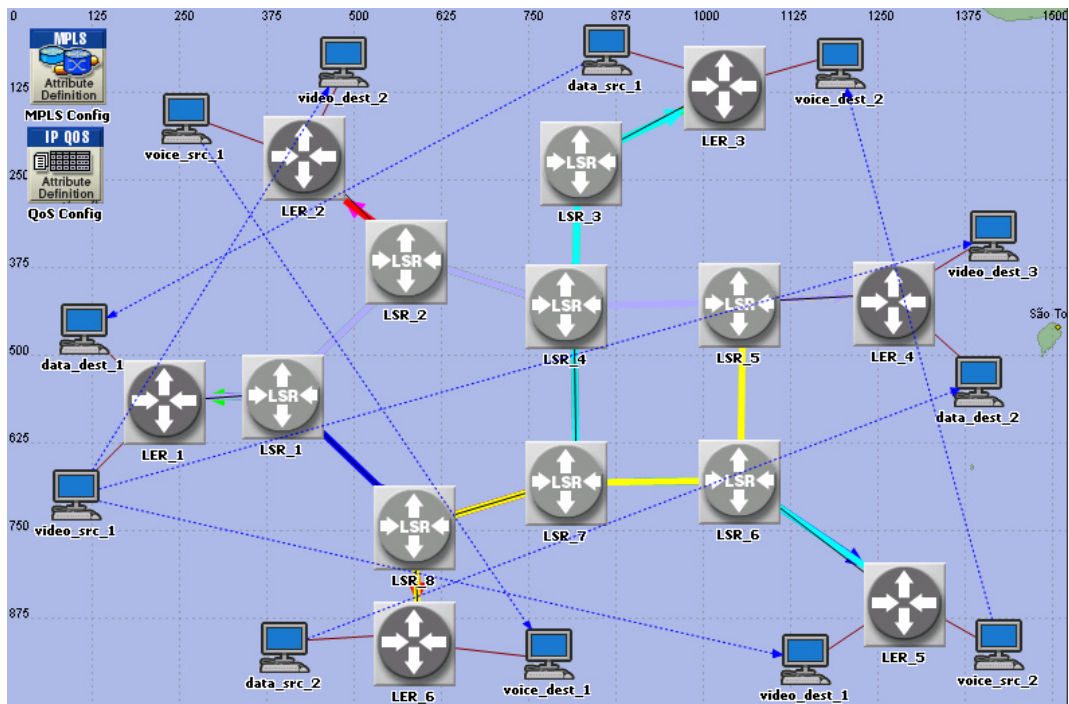
6.1 Analýza siete

Pôvodný simulačný model sa skladá z chrbticovej siete a klientskych pracovných staníc. (pozri obr. 6.1) Chrbticová sieť sa skladá z vnútorných smerovačov typu LSR označených LSR_1 až LSR_8. Ďalej sú to okrajové smerovače typu LER s označením LER_1 až LER_6. Smerovače sú prepojené linkami typu PPP s rýchlosťou DS3. Ku koncovým smerovačom sú pripojené klientske pracovné stanice, ktoré vysielajú alebo prijímajú údaje cez MPLS sieť. Dátové toky typu hlas, dáta, video sú medzi nimi definované pomocou požiadaviek aplikácií (Application demands).

Medzi smerovačmi sú definované cesty:

- LER1 → LER2
- LER1 → LER4
- LER1 → LER5
- LER3 → LER1
- LER2 → LER6
- LER5 → LER3
- LER6 → LER4

Na smerovačoch je nastavená QoS schéma WFQ(Weighted fair Queue), s prednastavenými hodnotami.



Obr. 6.1 Pôvodné zapojenie MPLS siete

6.2 Navrhované zmeny

Z analýzy v predchádzajúcej kapitole vyplýva, že pre jednotlivé toky nie sú definované žiadne záložné LSP cesty, čo v prípade výpadku smerovača LSR môže znamenať nefunkčnosť celého spojenia medzi dvomi okrajovými smerovačmi. Prepojenie smerovačov neumožňuje všade tieto záložné cesty vytvoriť z dôvodu nedostatku fyzických prepojení medzi nimi.

Pretože bolo potrebné túto chrbticovú sieť implementovať do prvej časti zadania, čo je vytvorenie prístupovej siete, všetky koncové zariadenia, dátové toky a cesty som zo simulačného modelu vylúčil. Použil som len samotné zapojenie smerovačov.

Na smerovače LER_1, LER_2 a LER_3 som napojil vstupy dát zo strany poskytovateľa služieb – podsieť Provider. Smerovače LER_4, LER_5 a LER_6 som použil ako výstupné do agregáčnej siete, teda smerom k užívateľom – podsieť Agregacion.

Podľa tohto zapojenia som navrhol tieto obojsmerné spojenia:

- LER3 → LER4 (LER4 → LER3) pre www
- LER2 → LER5 (LER5 → LER2) pre voip
- LER1 → LER6 (LER6 → LER1) pre vod

Ako vidíme na obrázku 6.1, smerovač LSR_3 má len jedno spojenie so smerovačom LSR_4. Keby došlo k výpadku linky medzi nimi alebo smerovača LSR_4, dátový tok medzi LER_3 a LER_4 by bol prerušený. Preto navrhujem vytvoriť nové prepojenie medzi LSR_3 a LSR_5. Podobne by pri výpadku LSR_4 bola cesta medzi LER_2 a LER_5 príliš dlhá. To by mohlo uľahčiť spojenie medzi LSR_2 a LSR_7.

Každý z okrajových smerovačov LER je pripojený iba k jednému vnútornému smerovaču LSR. Pri výpadku linky medzi LER a prvým LSR, prípadne prvého LSR by došlo k výpadku celej LSP cesty. Preto som posilnil tieto spojenia ešte ďalšou redundantnou linkou. Všetky navrhnuté zmeny a nové LSP cesty sú v tabuľke 6.1 a 6.2.

vnútorné smerovače:
LSR_3 - LSR_5
LSR_2 - LSR_7
okrajové smerovače:
LER_4 - LSR_6
LER_5 - LSR_5
LER_6 - LSR_6
LER_1 - LSR_8
LER_2 - LSR_1
LER_3 - LSR_2

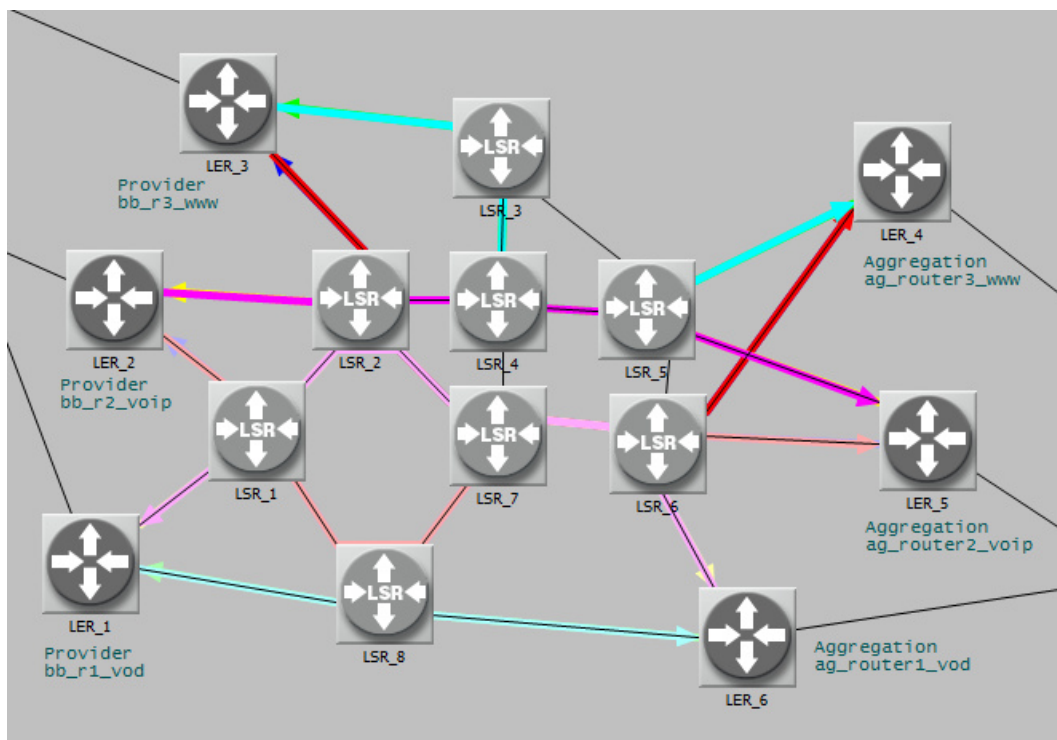
Tab. 6.1: Nové fyzické linky v chrbticovej MPLS sieti

6.3 Vytvorenie LSP ciest

Na vytvorenie LSP cesty slúži model cesty MPLS_E-LSP-STATIC v palete MPLS. Podobne ako pri vytváraní všetkých liniek, začneme kliknutím na prvý okrajový smerovač (LER) a pokračujeme označovaním vnútorných smerovačov (LSR) až na ďalší okrajový smerovač. Vytváranie cesty ukončíme kliknutím na voľnú plochu a vybratím voľby Finish path definition. Takto vytvoríme všetky požadované spojenia.

Po ukončení vytvárania ciest vyberieme v hlavnom paneli Protocols >Mpls>Update LSP Details, aby sa vytvorili definície pre vybrané cesty. Pre zobrazenie informácií o platných cestách vyberieme v hlavnom paneli Protocols > Mpls > Browse/Edit LSP Information.

Všetky definované cesty použité v simulácií sú uvedené v tabuľke 6.2. Výsledne zapojenie je na obrázku 6.2.



Obr. 6.2 Nové zapojenie MPLS siete

Primárne LSP	Záložné LSP
LER_3 - LER_4	LER_3 - LER_4
LER_4 - LSR_6 - LSR_7 - LSR_2 - LER_3	LER_4 - LSR_5 - LSR_4 - LSR_3 - LER_3
LER_3 - LSR_2 - LSR_7 - LSR_6 - LER_4	LER_3 - LSR_3 - LSR_4 - LSR_5 - LER_4
LER_2 - LER_5	LER_2 - LER_5
LER_5 - LSR_5 - LSR_4 - LSR_2 - LER_2	LER_5 - LSR_6 - LSR_7 - LSR_8 - LSR_1 - LER_2
LER_2 - LSR_2 - LSR_4 - LSR_5 - LER_5	LER_2 - LSR_1 - LSR_8 - LSR_7 - LSR_6 - LER_5
LER_1 - LER_6	LER_1 - LER_6
LER_6 - LSR_8 - LER_1	LER_1 - LSR_1 - LSR_2 - LSR_7 - LSR_6 - LER_6
LER_1 - LSR_8 - LER_6	LER_6 - LSR_6 - LSR_7 - LSR_2 - LSR_1 - LER_1

Tab. 6.2: Nové LSP cesty

6.4 Nastavenie všeobecných parametrov MPLS

Parametre pre sieť MPLS sa nastavujú v objekte „mpls_config“ z palety MPLS. V ňom treba definovať FEC tabuľku (FEC Specifications) a profily kanálov prevádzky (Traffic Trunk Profiles).

FEC tabuľka slúži na klasifikáciu paketov tak, aby všetky pakety danej skupiny boli preposlané rovnakým spôsobom. (viac 5.2)

Podľa záznamu typ služby (ToS) som si definoval tri triedy:

- video – Interactive Multimedia (5)
- data – Best Effort (0)
- voice – Interactive Voice (6)

Ostatné nastavenia ako IP adresy, porty a protokol som ponechal prázdne, to znamená, že pakety sa budú značkovať len podľa bitov ToS.

Traffic Trunk Profiles (profily kanálov prevádzky) slúžia na špecifikovanie čo sa má stať s tokom, ktorý je mimo parametrov určených v danom profile. Aplikovateľné akcie sú zahodenie alebo preposlanie s preznačením alebo bez. Pre Traffic Trunk je možné nastaviť rôzne charakteristiky prevádzky, ako sú maximálna rýchlosť, priemerná rýchlosť, veľkosť špičky, maximálna veľkosť vlny.

Pre potreby simulácie som si definoval tri profily s atribútmi:

- video_trunk – Traffic Class AF41 = ToS(5)
- data_trunk – Traffic Class AF11 = ToS(0)
- voice_trunk – Traffic Class EF = ToS(6)

Všetky uvedené profily majú navyše spoločné:

- Max Bit Rate (bits/sec) - 160 000 000
- Average Bit Rate (bits/sec) -100 000 000
- Peak Burst Size (bits) - 96 000
- Max Burst Size (bits) - 96 000
- Out of Profile Action – Transmit
- Remark Precedence – Transmit Unchanged

Okrem FEC tabuľky je možné ešte špecifikovať aj EXP<-->Drop Precedence a EXP<-->PHB – tieto atribúty určujú, ktoré mapovanie definované v MPLS Config bude použité pre daný smerovač. Pre tieto nastavenia ponecháme voľbu „Standard Mappings“.

6.5 Nastavenie smerovačov pre MPLS

Na každom okrajovom smerovači (LER) je potrebné nastaviť Traffic Mapping Configuration. Každý riadok v tabuľke Traffic Mapping Configuration špecifikuje rozdielne

riadenie prevádzky (TE – traffic engineering). Každý TE záznam špecifikuje pomocou FEC, traffic trunk a LSP cesty hodnotu návestia (značky), ktorá je aplikovaná na paket.

Toto nastavenie môžeme aplikovať v okne atribútov daného smerovača. Tam prejdeme na položku MPLS>MPLS parameters>Traffic Mapping Configuration. V dialógovom okne nastavíme nasledovné atribúty:

- Interface In – vstupné rozhranie, na ktoré budú prichádzať pakety
- FEC/Destination Prefix – vyberieme jeden z definovaných FEC záznamov
- Traffic Trunk – vyberieme jeden z definovaných Traffic Trunk
- LSP – Primary LSPs – pridáme primárnu LSP cestu
- LSP – Backup LSPs – pridáme záložnú LSP cestu

Pred týmto nastavením treba mať vytvorené LSP cesty, Traffic Trunk Profily a FEC tabuľku.

7. Simulácia a analýza výsledkov simulačného modelu

7.1 Simulácia QoS parametrov v prístupovej sieti

Cieľom simulácie bolo zmerať štatistiky pre oneskorenie a straty vzhľadom na QoS požiadavky pre jednotlivé typy scenárov. Kvalitu služieb (QoS) ovplyvňujú pri poskytovaní služieb triple-play najmä strata paketov, oneskorenie a kolísanie oneskorenia (kapitola 3.1).

Pre každú topológiu som vytvoril šesť scenárov s rôznym nastavením tokov, ktoré sú popísané v kapitole 7.1.2.

Dĺžka simulačného behu bola rovnaká u všetkých scenárov a to 20 minút. Pre každú štatistiku bolo odmeraných 1200 vzoriek (Configure/Run DES > Values per Statistic), teda každú sekundu jedna vzorka dát.

7.1.1 Použité štatistiky

Vo všetkých scenároch boli vyhodnocované štatistiky pre stratu paketov (Packet Loss), jednocestné oneskorenie (End-to-end delay) a kolísanie oneskorenia (Packet delay variation).

Oneskorenie

Pre oneskorenie je v OPNETe implementovaná štatistika Packet End-to-end delay(sec), ktorá sa nachádza v kategórií Node/Video conferencing pre video aplikácie alebo Node/Voice application pre hlasové aplikácie. Vyjadruje rozdiel medzi časom odoslania a časom prijatia paketu medzi dvomi zariadeniami v sieti, napríklad server a klient.

Kolísanie oneskorenia

Kolísanie oneskorenia môžeme zaznamenávať pomocou štatistiky Packet delay variation, ktorá sa tiež nachádza v kategórií Node/Video conferencing alebo Node/Voice application. Táto štatistika predstavuje rozdiel medzi oneskorením (Packet End-to-end delay) dvoch po sebe doručených paketov do vybraného zariadenia, v našom prípade klienta.

Strata paketov

Pre stratu paketov OPNET nemá vytvorenú štatistiku, ktorá by merala stratu paketov medzi dvoma zariadeniami podobne ako oneskorenie alebo kolísanie oneskorenia.

Stratu paketov môžeme však vypočítať ako rozdiel medzi odoslanými a prijatými paketmi v pomere s odoslanými paketmi. Počet odoslaných alebo prijatých paketov získame zo štatistiky Node Statistics/IP/Traffic sent resp. Node Statistics/IP/Traffic received (packets/sec). Súčet všetkých paketov získame vybratím voľby „sample_sum“ v nastaveniach grafu v objekte Result Browser.

7.1.2 Vytvorené scenáre

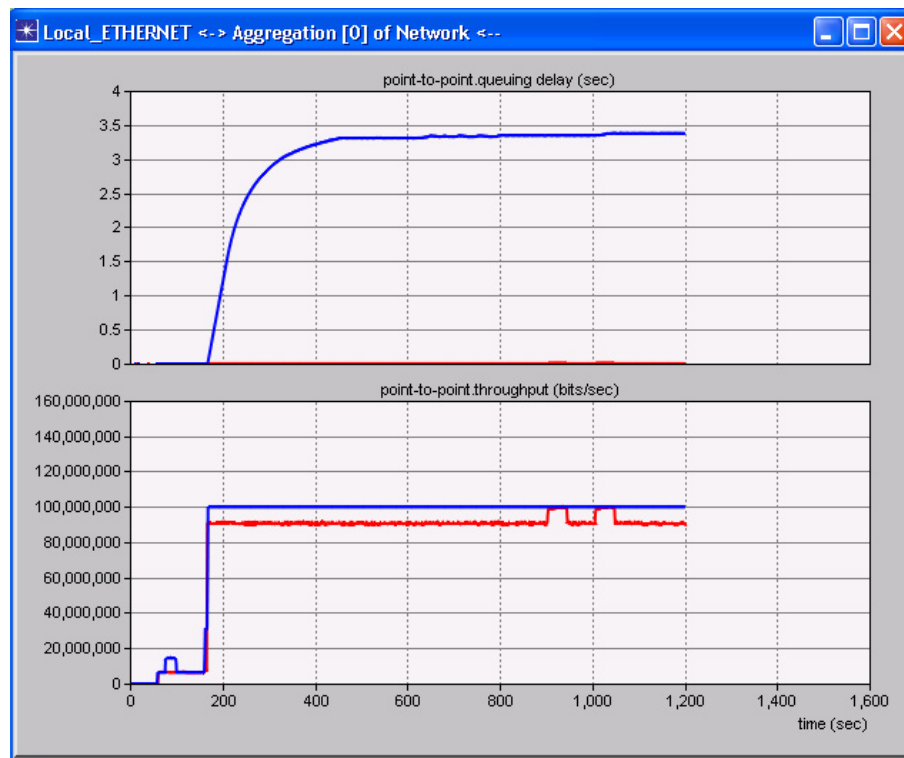
Pri vytvorení scenárov som uvažoval nad tromi možnosťami využitia služieb zákazníkom:

1. zákazník využíva súčasne jeden video tok v štandardnom rozlíšení VoD SD, jeden hlasový prenos VoIP a dátový tok využívajúci služby HTTP a FTP.
2. zákazník využíva súčasne dva video toky v štandardnom rozlíšení VoD SD, jeden hlasový prenos VoIP a dátový tok využívajúci služby HTTP a FTP.
3. zákazník využíva súčasne jeden video tok vo vysokom rozlíšení VoD HD, jeden hlasový prenos VoIP a dátový tok využívajúci služby HTTP a FTP.

Pre každú možnosť využitia som určil dve kombinácie zaťaženia linky (kapitola 5.4.3) a odčítal výsledky. Podrobné nastavenie jednotlivých scenárov je v tabuľke 1 v prílohe A. Namerané výsledky sú v tabuľke 2 v prílohe A.

7.1.3 Vyhodnotenie výsledkov

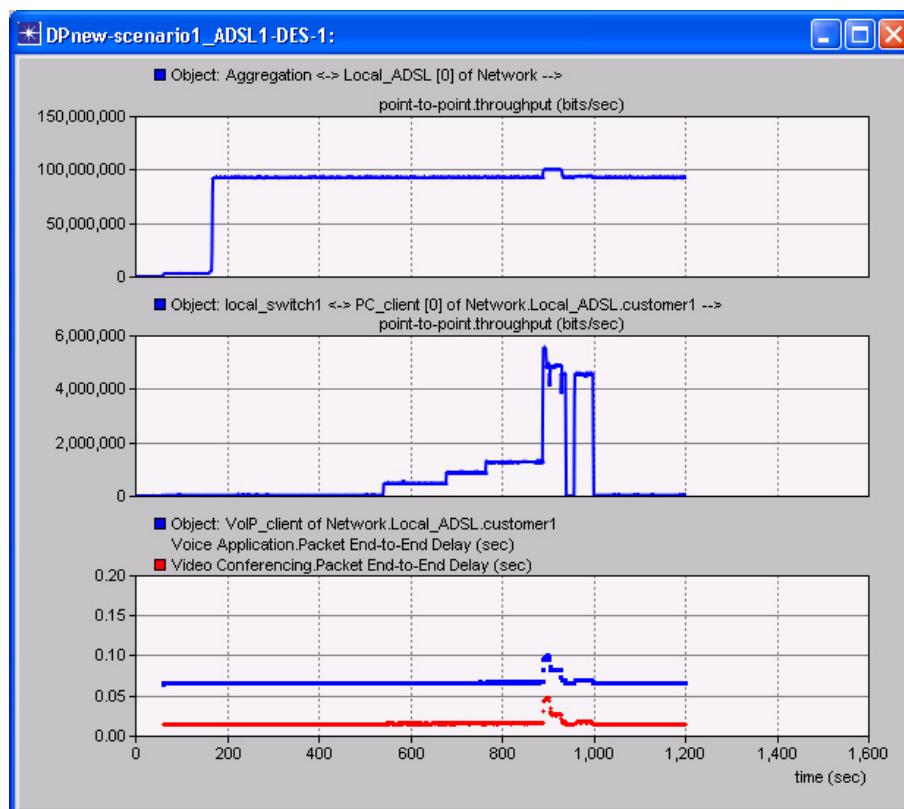
Z grafu na obrázku 7.1 vyplýva, že pri dosiahnutí maximálnej priepustnosti linky (Throughput) medzi agregáčnou a lokálnou podsietou stúpa aj oneskorenie vo fronte (Queuing delay). V prípade, že zaťaženie dosahuje trvalo 100% kapacity linky, oneskorenie vo fronte dosahuje hodnoty až do 3,5 sekundy. Toto oneskorenie sa nepriaznivo odrazí na parametroch nameraných na koncových zariadeniach služieb VoD a VoIP (Tab. 2, príloha A). V scenári ADSL6 a Ethernet6 oneskorenie služby VoIP dosahuje priemerne 2,8 sekundy, čo niekoľkokrát presahuje odporúčané hodnoty (kapitola 3.2.1). Rovnako je to aj pri službe VoD, kde priemerné oneskorenie dosahuje približne 500ms (kapitola 3.3.1).



Obr. 7.1 Oneskorenie vo fronte v porovnaní s celkovým zaťažením na linke medzi agregáčnou a lokálnou sieťou (scenár Ethernet 5 – červená, Ethernet 6 - modrá)

V prípade scenára s nižšími požiadavkami na priepustnosť napríklad ADSL1 na obrázku 7.2 hore vidíme, že k stopercentnému využitiu priepustnosti linky dochádza len v relatívne krátkom časovom intervale približne 100 sekúnd. To spôsobí oneskorenie na koncovom zariadení služby VoIP takmer 100 ms a pri VoD službe približne 50ms (Obr.7.2 dole). Tieto hodnoty môžu spôsobiť krátkodobé zhoršenie kvality služby, aj keď vyhovujú odporúčaným hodnotám (kapitola 3.2.1 a 3.3.1).

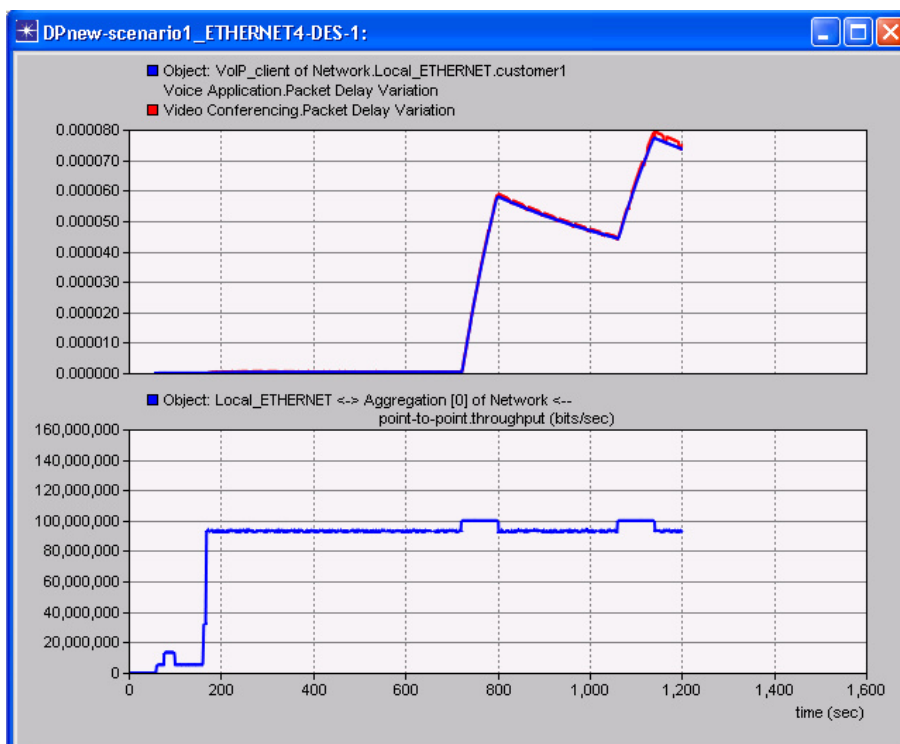
Nárazové zvýšenie prenosovej rýchlosti na linke medzi agregáčnou a lokálnou podsieťou je spôsobené začatím FTP prenosu ku koncovému zariadeniu PC_client. Tento prenos nemá zo strany servera obmedzenú rýchlosť, preto využíva dostupnú kapacitu ADSL linky (Obr. 7.2 v strede).



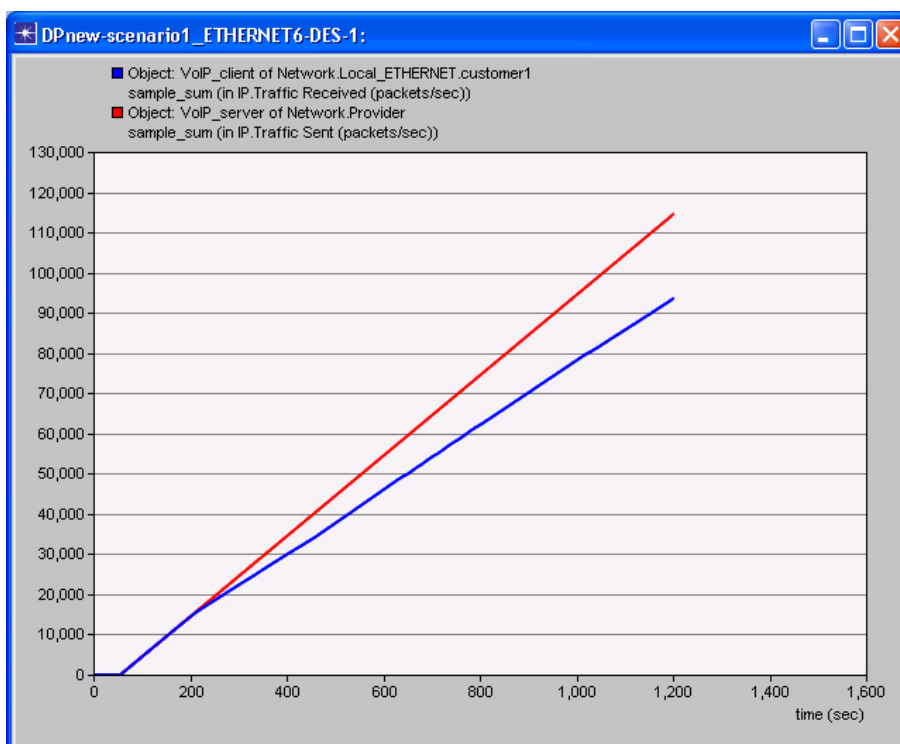
Obr. 7.2 Vplyv zaťaženia dátovej linky medzi lokálnym prepínačom a PC klientom na oneskorenie video a hlasovej služby a celkové zaťaženie linky medzi agregáčnou a lokálnou sieťou (scenár ADSL1).

Zaťaženie linky medzi agregáčnou a lokálnou podsieťou má vplyv aj na kolísanie oneskorenia (Packet Delay Variation). V scenári Ethernet 4 na obrázku 7.3 dole vidíme dva intervaly, v ktorých je priepustnosť linky na maximálnej úrovni. To spôsobí odchýlku oneskorenia doručených paketov pri druhom intervale v prípade VoIP 77 μ s a pre VoD 79 μ s. Ide však len o jednorazové stavy, namerané priemerné hodnoty vyhovujú požiadavkám na kvalitu služby (kapitola 3.2.1 a 3.3.1).

Pri simulácii scenárov ADSL6/Ethernet6 dochádza k značnej strate paketov. Pre službu VoD je to viac ako 51% a pre služby VoIP je to v prípade ADSL 14,2% a v prípade Ethernet až 18,32%. Tieto straty prakticky znemožňujú poskytovanie služieb. Z tabuľky 1 v prílohe A vidíme, že záťažový tok je v oboch prípadoch 97,14Mbit/s, čo je takmer celková priepustnosť spojenia medzi agregáčnou a lokálnou podsieťou. Z toho vyplýva, že požiadavky na ďalší prenos dát sú obmedzené. Odosielanie video a hlasového toku na takto preťaženej linke zvyšuje oneskorenie paketov až na niekoľko sekúnd a tiež spôsobuje stratu paketov (Obr. 7.4).



Obr. 7.3 Vplyv zaťaženia linky medzi agregáčnou a lokálnou sieťou na kolísanie oneskorenia pre služby VoIP a VoD (Ethernet 4)



Obr. 7.4 Rozdiel medzi odoslanými a prijatými paketmi pre službu VoIP medzi VoIP serverom a VoIP klientom (Ethernet6)

Na základe nameraných výsledkov môžeme pre danú konfiguráciu (kapitola 7.1.2) určiť maximálny počet zákazníkov. Pre prvú možnosť vyhovuje scenár s 21 zákazníkmi (ADSL1/Ethernet1). V druhom prípade vyhovujú oba scenáre (ADSL3,4/Ethernet3,4), preto môžeme na sieť pripojiť 13 alebo až 14 zákazníkov. Pre možnosť s vysielaním v HD rozlíšení vyhovuje len prvý scenár ADSL5/Ethernet5, ktorý obsahuje spolu 12 zákazníkov.

7.2 Simulácia výpadkov v MPLS sieti

Cieľom tejto simulácie bolo vylepšiť odolnosť existujúceho modelu chrbticovej MPLS siete voči výpadkom liniek, uzlov prípadne iným. Pre tento účel som vytvoril dva scenáre popísane v kapitole 7.2.2.

Simuláciu výpadkov uzlov alebo liniek môžeme v OPNETe simulovať vďaka objektu „Failure Recovery“ z palety objektov Utilities. V ňom môžeme naplánovať výpadok alebo obnovenie funkčnosti zariadenia v ľubovoľnom čase.

7.2.1 Použité štatistiky

Pre vyhodnotenie dátových tokov v MPLS sieti slúžia štatistiky z kategórie Path Statistics/LSP. Z nich som použil Traffic In (packets/sec) a Traffic Out(packets/sec), ktoré ukazujú dátový tok prijatý a odoslaný smerovačom MPLS siete.

7.2.2 Vytvorené scenáre

Obidva scenáre obsahujú model chrbticovej siete, ktorý je popísaný v kapitole 6.1 a 6.2. Nastavenie ostatných častí siete je rovnaký ako v scenári Ethernet5 (tabuľka 2, príloha A).

Ethernet failure

Scenár Ethernet_failure slúži na simuláciu výpadku uzla, v našom prípade LSR_2. Cez tento smerovač vedú dve primárne LSP cesty spájajúce LER_2 s LER_5 a LER_3 s LER_4. Výpadkom tohto smerovača by mohlo dôjsť k prerušeniu dátového toku zo servera WEB_server ku klientovi PC_client a súčasne zo servera VoIP_server ku klientovi

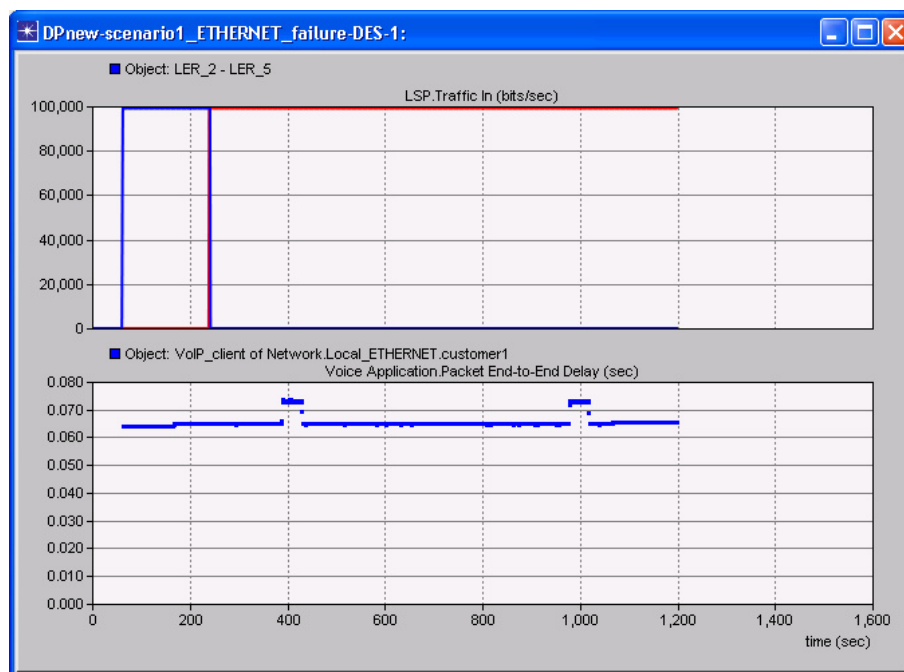
VoIP_client. Preto boli navrhnuté záložné LSP cesty (kapitola 6.2). Tento scenár simuluje výpadok uzla LSR_2 v čase 240 sekúnd od začiatku simulácie.

Ethernet failure2

Ďalší scenár označený ako Ethernet failure2 má za úlohu simulovať výpadok linky. Pre tento typ výpadku som si vybral linku medzi LER_1 a LSR_8. Ide o linku, ktorá tvorí časť cesty z okrajového smerovača LER_1 k LER_6. Po jej výpadku by došlo k prerušeniu video toku zo servera VoD_src ku klientovi TV_client. Pre tento prípad bola tiež navrhnutá záložná LSP cesta a pridaná fyzická linka (kapitola 6.2). K výpadku linky dôjde v simulačnom čase 240 sekúnd.

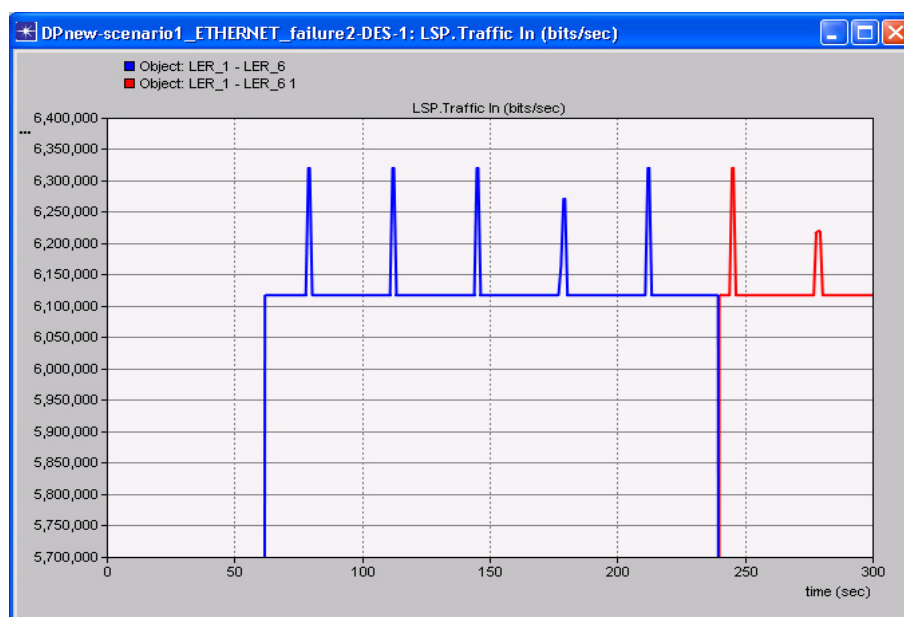
7.2.3 Vyhodnotenie výsledkov

V scenári Ethernet failure bol simulovaný výpadok uzla – smerovača LSR2. V prípade výpadku LSP cesty je dôležité, aby smerovač ak je to možné presmeroval tok na záložnú LSP cestu. V grafe na obrázku 7.5 hore vidíme zmenu toku po výpadku cesty „LER_2 – LER_5“ (modrá farba) na záložnú cestu „LER_2 - LER_5 1“ (červená farba). Táto zmena sa deje vo veľmi malom časovom okamžiku, rádovo niekoľko milisekúnd. Na grafe na obrázku 7.2 dole vidíme, že zmena smerovania nemá viditeľný vplyv na oneskorenie prenosu hlasového toku k zákazníkovi (Packet End-to-end delay).



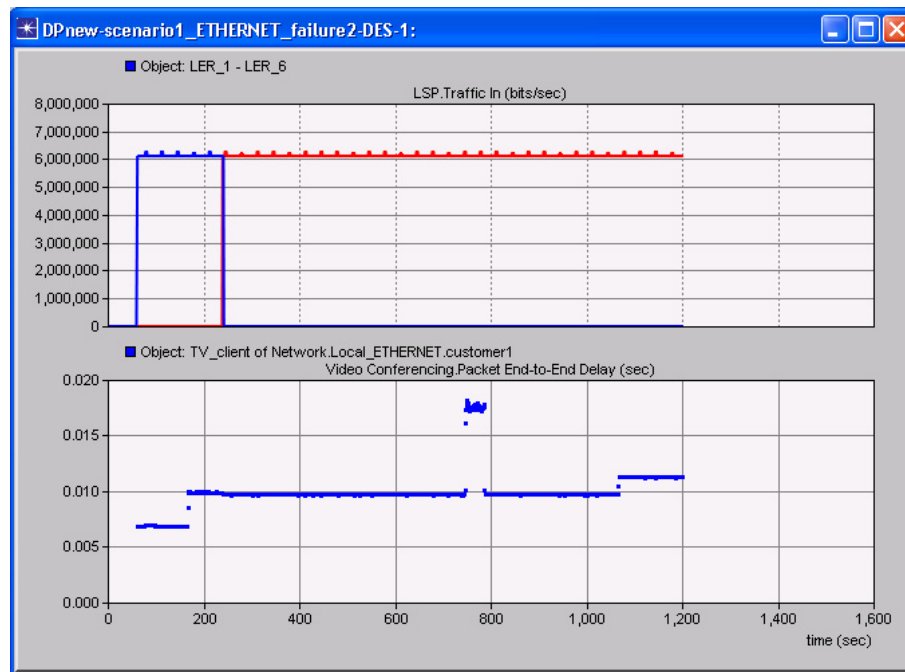
Obr. 7.5 Zmena LSP cesty medzi LER_2 a LER_5 pri výpadku uzla a jej vplyv na oneskorenie hlasového toku

Scenár Ethernet failure2 simuluje výpadok linky medzi LER_1 a LSR_8 a tým znefunkčnenie LSP cesty „LER_1 – LER_6“. V tomto prípade dôjde k presmerovaniu video toku na záložnú cestu „LER_1 – LER_6 1“. Na obrázku 7.6 vidíme, že ani v tomto prípade nedôjde k takmer žiadnemu oneskoreniu, podobne ako v prípade scenára Ethernet failure.



Obr. 7.6 Detail zmeny LSP cesty medzi smerovačmi LER_1 a LER_6

Vplyv zmeny LSP cesty v tomto prípade taktiež nemá viditeľný dopad na oneskorenie dátového toku medzi serverom VoD_src a klientom TV_client v lokálnej podsieti (Obr. 7.7).



Obr. 7.7: Zmena LSP cesty medzi LER_1 a LER_6 pri výpadku linky a jej vplyv na oneskorenie video toku

Záver

V tejto diplomovej práci sa mi podarilo vytvoriť model prístupovej siete pre technológie ADSL a Ethernet, ktorý je prepojitelný s existujúcou chrbticovou sieťou, ktorú vytvoril Ing. Martin Majerský (kapitola 6).

Na vytvorení modeli prístupovej siete som skúmal ako vplýva zaťaženie linky na dosahovanie požiadaviek kvality služieb. Na základe dosiahnutých výsledkov som určil, ktoré scenáre vyhovujú požiadavkám na kvalitu služieb (kapitola 7.1).

V chrbticovej časti siete som navrhol vytvorenie LSP ciest a pridanie ďalších liniek, tak aby sa zvýšila odolnosť siete voči výpadkom. V pokusoch som sa zameril na presmerovanie prevádzky z primárnej na záložnú LSP cestu po výpadku uzla respektíve linky a jej vplyv na kvalitu služieb na koncových zariadeniach v prístupovej sieti (kapitola 7.2).

Preštudoval som aj možnosti implementácie optickej prístupovej siete FTTH, ktorej teoretické základy som spísal v kapitole 1.2. Simuláciu som realizoval programom OPNET Modeler vo verzii 14.5 PL8, ktorá podľa mojich zistení neobsahovala zariadenia pre tento typ siete.

Predpokladám, že s vývojom programu by bolo v budúcnosti možné prácu rozšíriť aj o optické prístupové siete. Tiež by bolo možné simulovať napríklad šírenie video toku pomocou multicastu, využitie VPN sieti alebo skúmanie využitia QoS profilov na kvalitu služieb.

Zoznam použitej literatúry

1. PUŽMANOVÁ, Rita. Moderní komunikační síte od A do Z 2. aktualizované vydání. Brno: Computer Press, 2006. ISBN 80-251-1278-0
2. Wikipedia, Asymmetric Digital Subscriber Line, verzia článku 24.8.2010, dostupné na internete: <http://sk.wikipedia.org/wiki/Asymmetric_Digital_Subscriber_Line>
3. T-com – internet a tv, [cit. 6.11.2010], dostupné na internete: <<http://www.internetatv.sk/t-com.html>>
4. VODRÁŽKA – PRAVDA, Principy telekomunikačních systému, Praha: České vysoké učení technické, 2006, 137s., ISBN 80-01-03366-x
5. Wikipedia, Fiber to the x, verzia článku 30.10.2010, dostupné na internete: <http://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_to_the_x>
6. LAFATA, P. – VODRÁŽKA, J., Pasivní optická síť GPON, Access server, 23.05.2009. Dostupné na internete <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?navezclanku=pasivni-opticka-sit-gpon&cislocclanku=2009050002>>. ISSN 1214-9675.
7. PUŽMANOVÁ, Rita: IPTV vyžaduje nejen šířku pásma, ale vysokou kvalitu I., 01.11.2007. Dostupné na internete <<http://www.dsl.cz/clanek/891-iptv-vyzaduje-nejen-sirku-pasma-ale-vysokou-kvalitu-i>>.
8. UNGERMAN, Josef: FTTH Fibre to the Home, prezentácia, 14.7.2007, Dostupné na internete <<http://www.bloobble.com/broadband-presentations/presentations?itemid=537>>
9. BROUČEK, Jan: FTTH – topologie, technologie, ideologie, prezentácia, 22.10.2009. Dostupné na internete <http://www.profiber.cz/eshop/files/FTTH_Topologie_tecnologie_ideologie.pdf>
10. FTTH Council – Definitions of terms, revízia dokumentu 11.8.2006, dostupné na internete <<http://www.ftthcouncil.org/en/knowledge-center/ftth-council-documents/ftth-global-definitions>>
11. HLADKÝ, Miroslav: Starý dobrý Point to point, prezentácia, 18.3.2010, Dostupné na internete: <http://www.profiber.cz/eshop/files/A2_Hladky-Starý_dobry_point_to_point.pdf>
12. Wikipédia, Ethernet, verzia článku 6.10.2010, dostupné na internete: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Ethernet>>

13. JAKAB, František a kol., Možnosti zabezpečenia prenosu hlasu s požadovanou kvalitou – príspevok na konferenciu ECI, [cit. 29.10.2010], dostupne na internete <<http://voip.cnl.tuke.sk/node/4>>
14. HADEN, Rhys: VoIP – Data network resource, [cit. 7.11.2010], dostupné na internete: <<http://www.rhyshaden.com/voice.htm>>
15. Wikipedia, Metro Ethernet, verzia článku 17.9.2010, dostupné na internete <http://en.wikipedia.org/wiki/Metro_Ethernet>
16. Wikipedia, Krútená dvojlinka, verzia článku 7.10.2010, dostupné na internete <http://sk.wikipedia.org/wiki/Kr%C3%BAten%C3%A1_dvojlinka>
17. ZEMAN, Otto: Modelování chování páteřních směrovačů DiffServ domény, Bakalárska práca, Vysoké učení technické v Brne, máj 2006, Brno
18. Wikipedia, IPTV, verzia článku 12.11.2010, dostupné na internete <<http://en.wikipedia.org/wiki/IPTV>>

Príloha A – nastavenie tokov jednotlivých scenárov a namerané výsledky simulácie

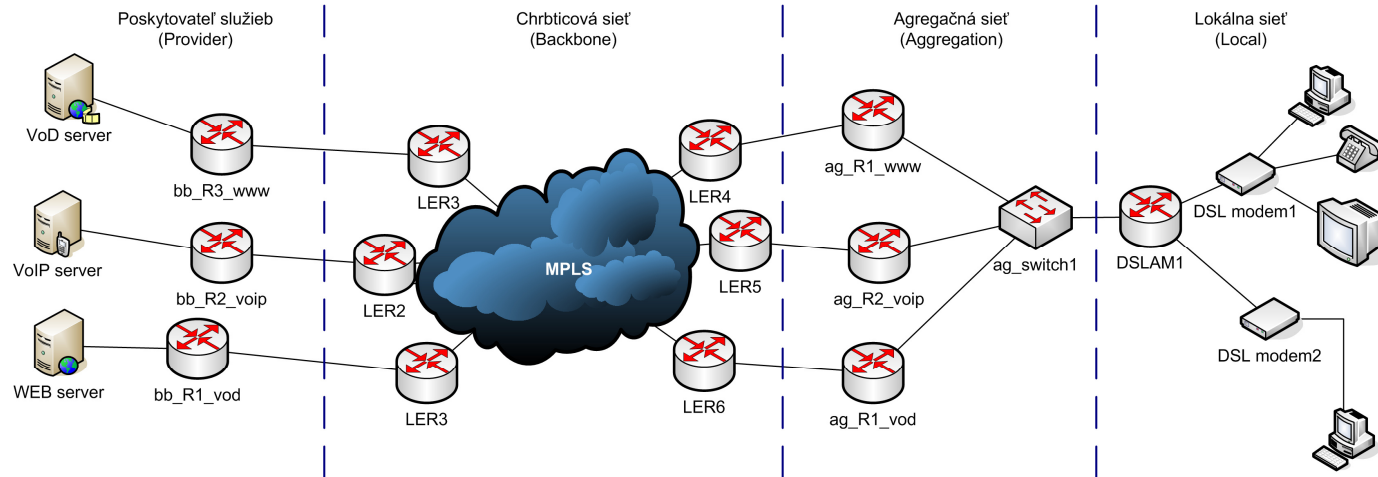
Scenár	meraný tok				zátťažový tok							
	VoD		VoIP		Spolu	VoD		VoIP		Dáta		Spolu Mbit/s
	typ	Šírka Mbit/s	typ	šírka Mbit/s		typ	šírka Mbit/s	typ	šírka Mbit/s	typ	šírka Mbit/s	
ADSL1/Ethernet1	SD	2,5	G.711	0,12	2,62	20xSD	50	20xG.711	2,4	20xBE	40	92,4
ADSL2/Ethernet2						21XSD	52,5	21xG.711	2,52	21xBE	42	97,02
ADSL3/Ethernet3	2SD	5			5,12	12x2SD	60	12xG.711	1,44	12xBE	24	85,44
ADSL4/Ethernet4						13x2SD	65	13xG.711	1,56	13xBE	26	92,56
ADSL5/Ethernet5	HD	6			6,12	11xHD	66	11xG.711	1,32	11xBE	22	89,32
ADSL6/Ethernet6						12xHD	72	12xG.711	1,44	12xBE	24	97,44

Tabuľka 1: Nastavenie tokov v simulačnom modeli

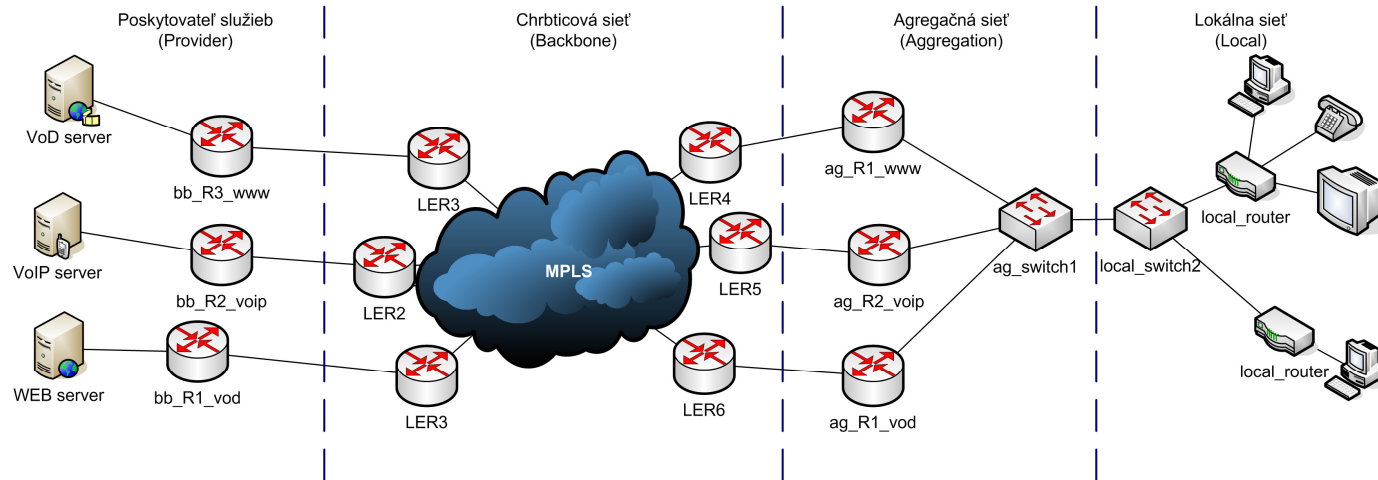
Scenár		Odoslané p	Prijaté p	straty v %	ETE min[s]	ETE max[s]	ETE average[s]	Jitter min[s]	Jitter max[s]	Jitter[s]
ADSL1	vod	273505	273504	0,0004	0,0152	0,0479	0,0163	0,000000	0,000019	0,000005
	voip	113920	113920	0,0000	0,0661	0,0999	0,0671	0,000005	0,000032	0,000014
ADSL2	vod	273505	273294	0,0771	0,0152	0,9060	0,3086	0,000000	0,103303	0,021297
	voip	113920	113836	0,0737	0,0661	0,9567	0,3591	0,000005	0,103341	0,021291
ADSL3	vod	547754	547750	0,0007	0,0152	0,0789	0,0197	0,000000	0,000242	0,000047
	voip	113916	113916	0,0000	0,0678	0,1329	0,0721	0,000011	0,000244	0,000059
ADSL4	vod	547754	547750	0,0007	0,0152	0,1099	0,0229	0,000000	0,000620	0,000121
	voip	113916	113916	0,0000	0,0677	0,1626	0,0752	0,000011	0,000628	0,000132
ADSL5	vod	649573	649561	0,0018	0,0301	0,1311	0,0398	0,000000	0,000845	0,000179
	voip	113920	113920	0,0000	0,0643	0,1777	0,0831	0,000044	0,000934	0,000242
ADSL6	vod	649573	313555	51,7291	0,0301	2,0987	0,4295	0,000000	0,228527	0,199882
	voip	113920	97741	14,2021	0,0643	2,1318	2,8534	0,000045	1,234782	1,313839
Ethernet1	vod	273889	273889	0,0000	0,0056	0,0131	0,0070	0,000000	0,000002	0,000001
	voip	114437	114437	0,0000	0,0642	0,0710	0,0649	0,000000	0,000002	0,000001
Ethernet2	vod	273889	273729	0,0584	0,0055	0,7060	0,1384	0,000000	0,034030	0,004455
	voip	114437	114374	0,0551	0,0643	0,7637	0,1961	0,000000	0,033927	0,004425
Ethernet3	vod	547482	547482	0,0000	0,0055	0,0078	0,0066	0,000000	0,000000	0,000000
	voip	114437	114437	0,0000	0,0642	0,0654	0,0646	0,000000	0,000000	0,000000
Ethernet4	vod	547482	547482	0,0000	0,0055	0,0339	0,0102	0,000000	0,000079	0,000022
	voip	114437	114436	0,0009	0,0642	0,0917	0,0682	0,000000	0,000077	0,000022
Ethernet5	vod	650485	650485	0,0000	0,0068	0,0184	0,0101	0,000000	0,000005	0,000002
	voip	114437	114436	0,0009	0,0642	0,0733	0,0657	0,000000	0,000005	0,000002
Ethernet6	vod	650485	316047	51,4136	0,0068	2,3102	0,5023	0,000000	0,243400	0,212375
	voip	114437	93463	18,3280	0,0642	2,3690	2,8794	0,000000	1,357063	1,385990

Tabuľka 2 : Namerané výsledky simulácie

Príloha B – schémy zapojenia simulačných modelov

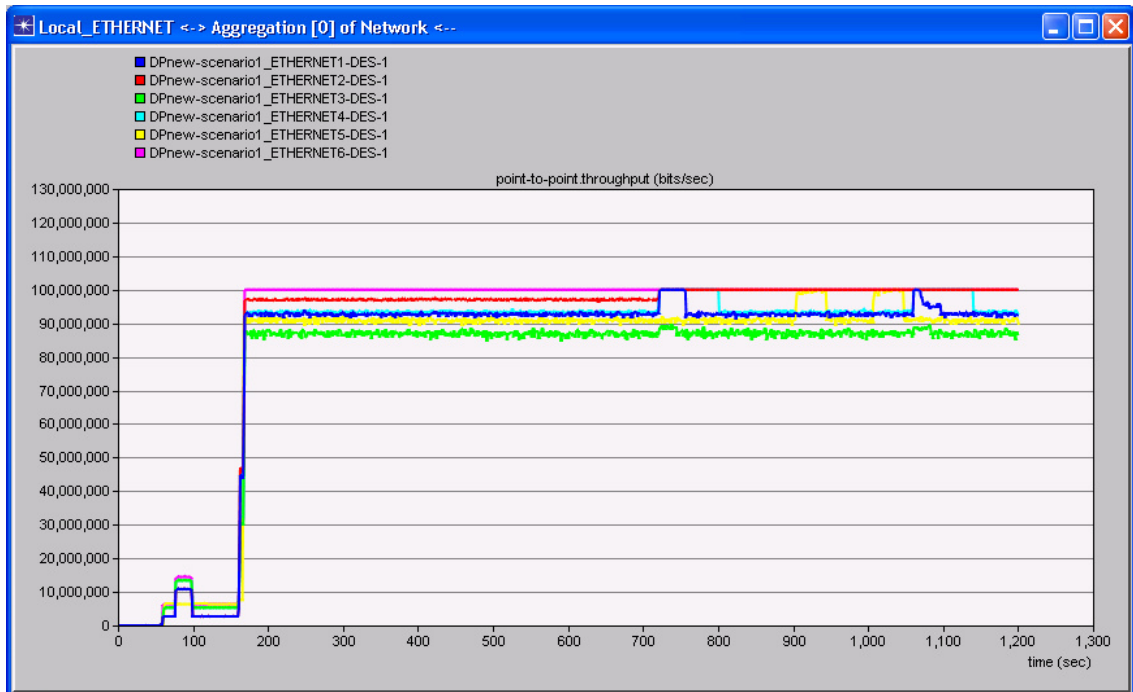


Obr. 1 Schéma zapojenia ADSL prístupovej siete

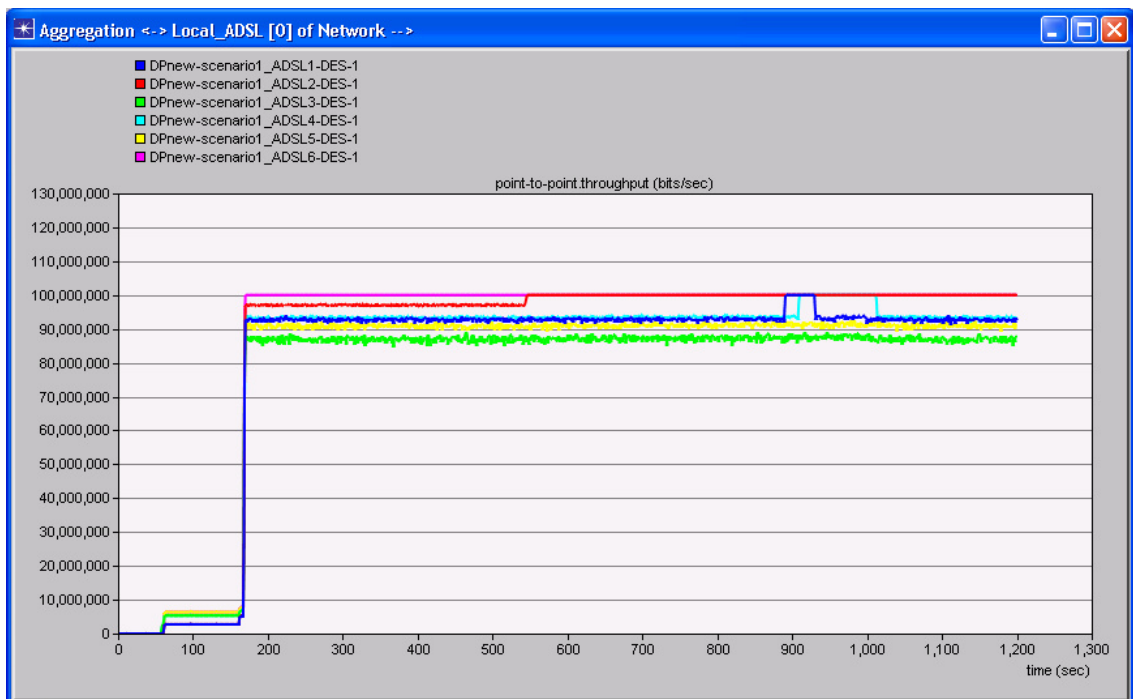


Obr. 2 Schéma zapojenia Ethernet prístupovej siete

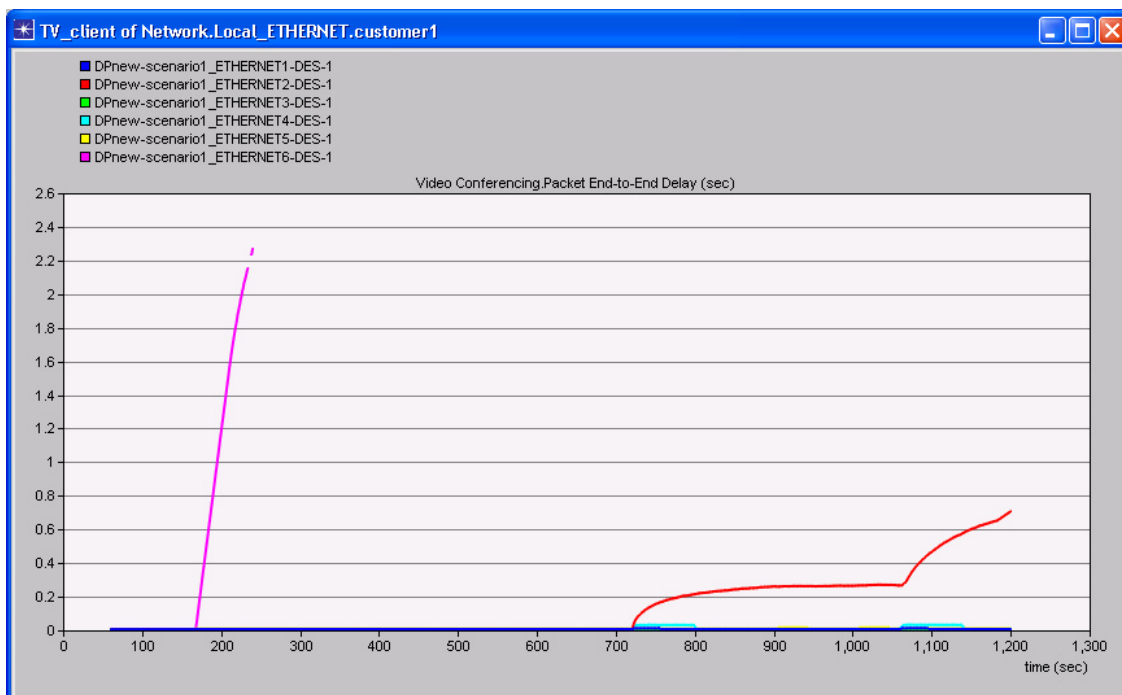
Príloha C – grafické porovnanie nameraných hodnôt jednotlivých scenárov



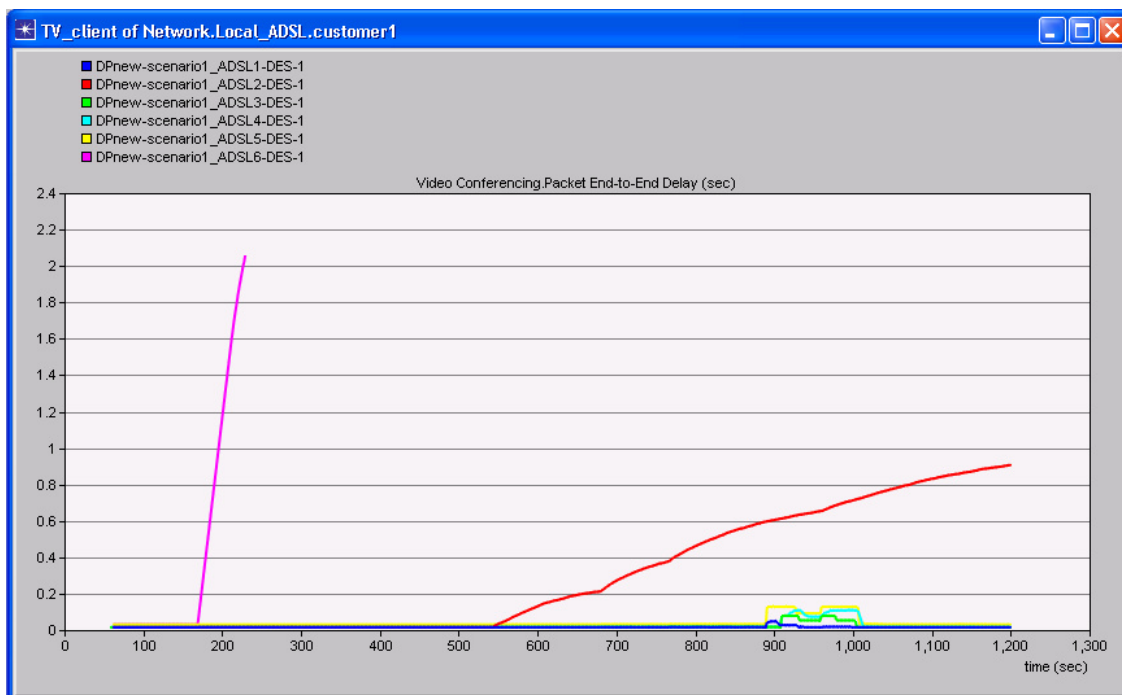
Obr.1 Preťaženie linky Agregáčná -Lokálna v Ethernet scenároch



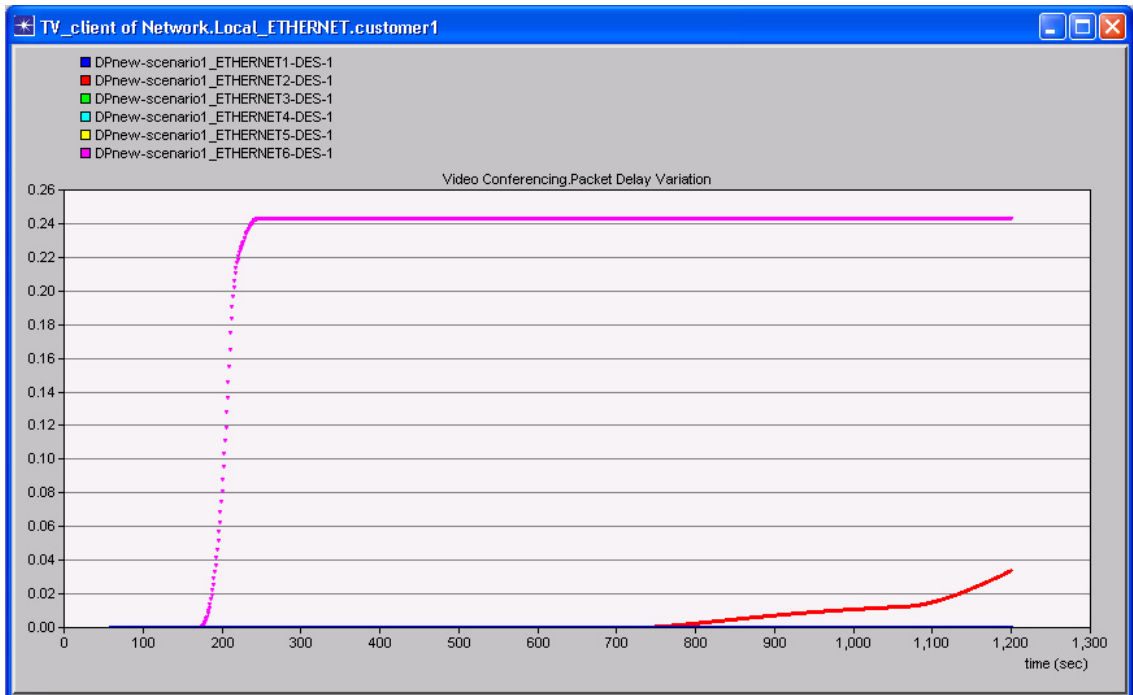
Obr.2 Preťaženie linky Agregáčná -Lokálna v ADSL scenároch



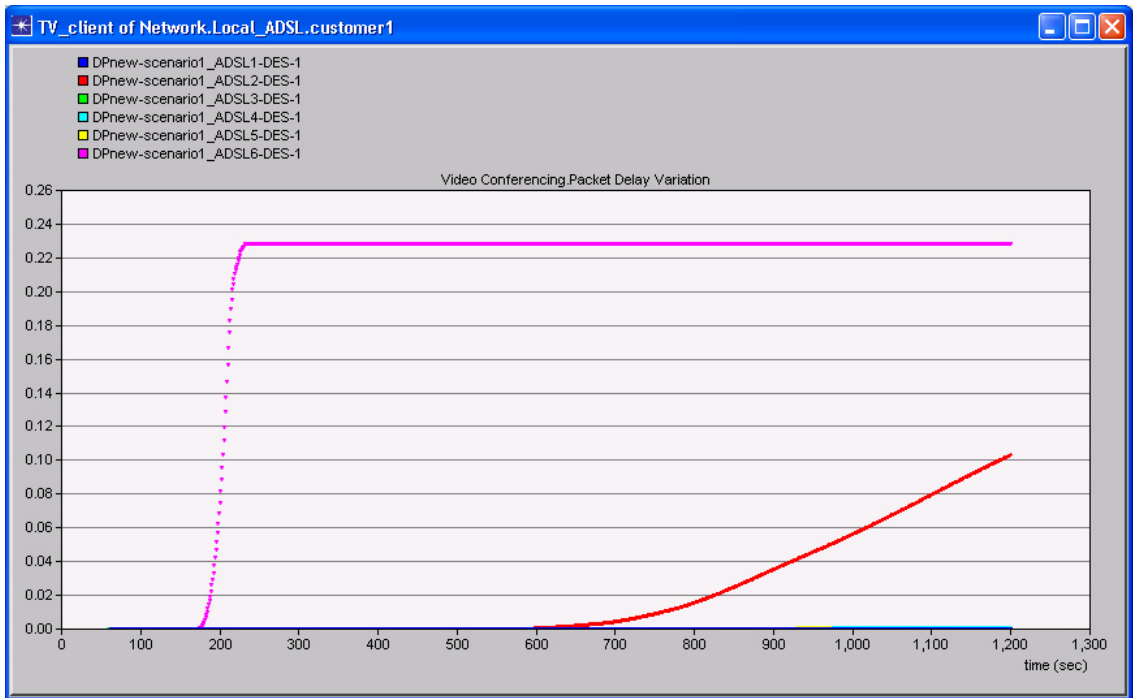
Obr.3 Oneskorenie pre TV v Ethernet scenároch



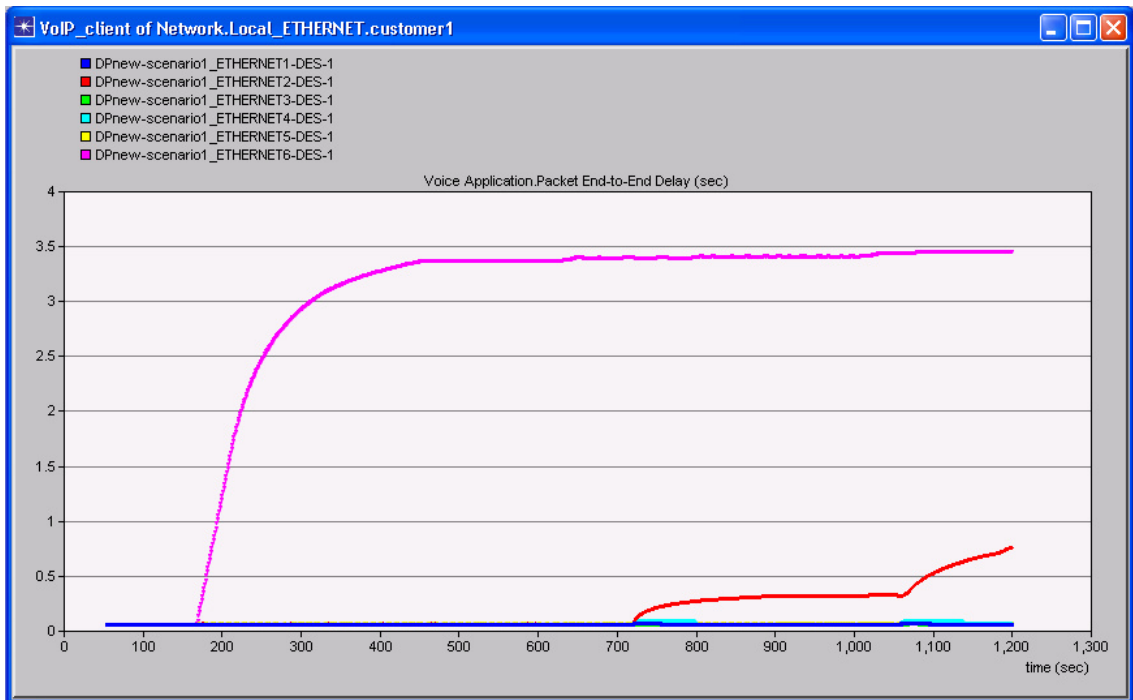
Obr.4 Oneskorenie pre TV v ADSL scenároch



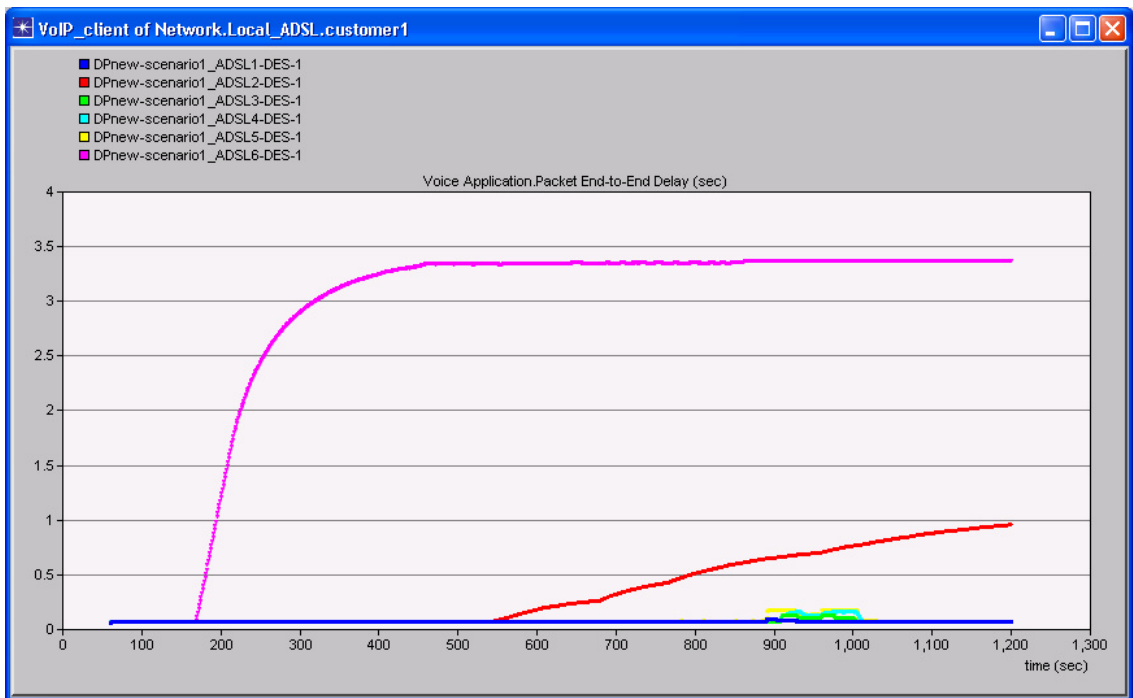
Obr.5 Kolísanie oneskorenia pre TV v Ethernet scenároch



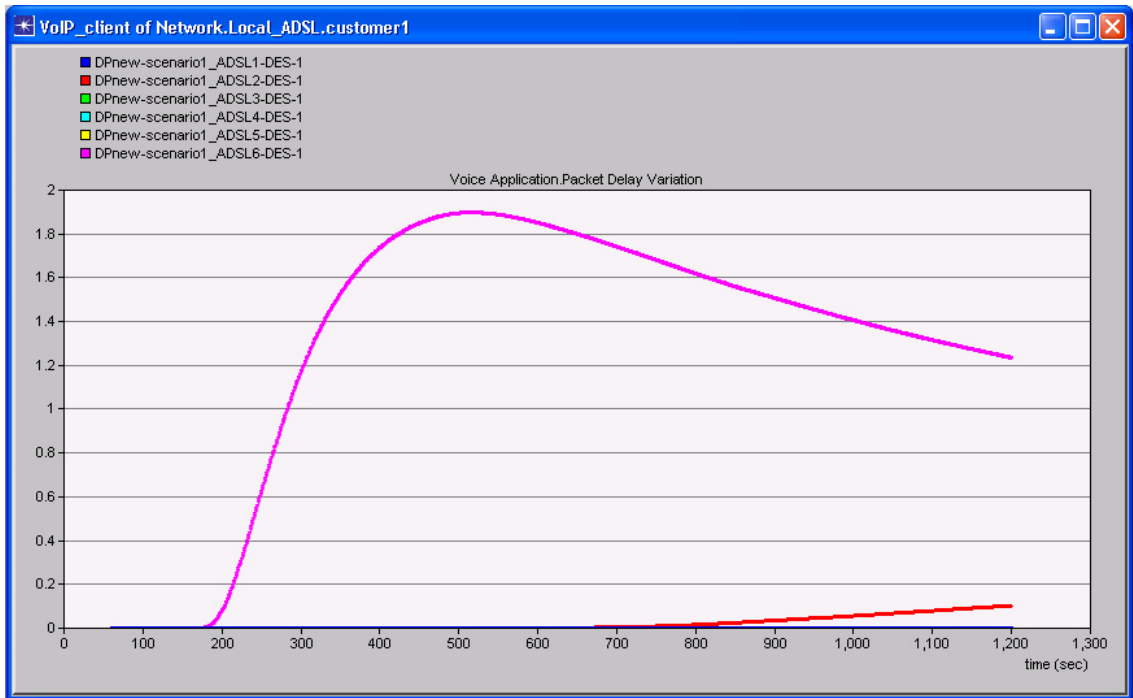
Obr.6 Kolísanie oneskorenia pre TV v ADSL scenároch



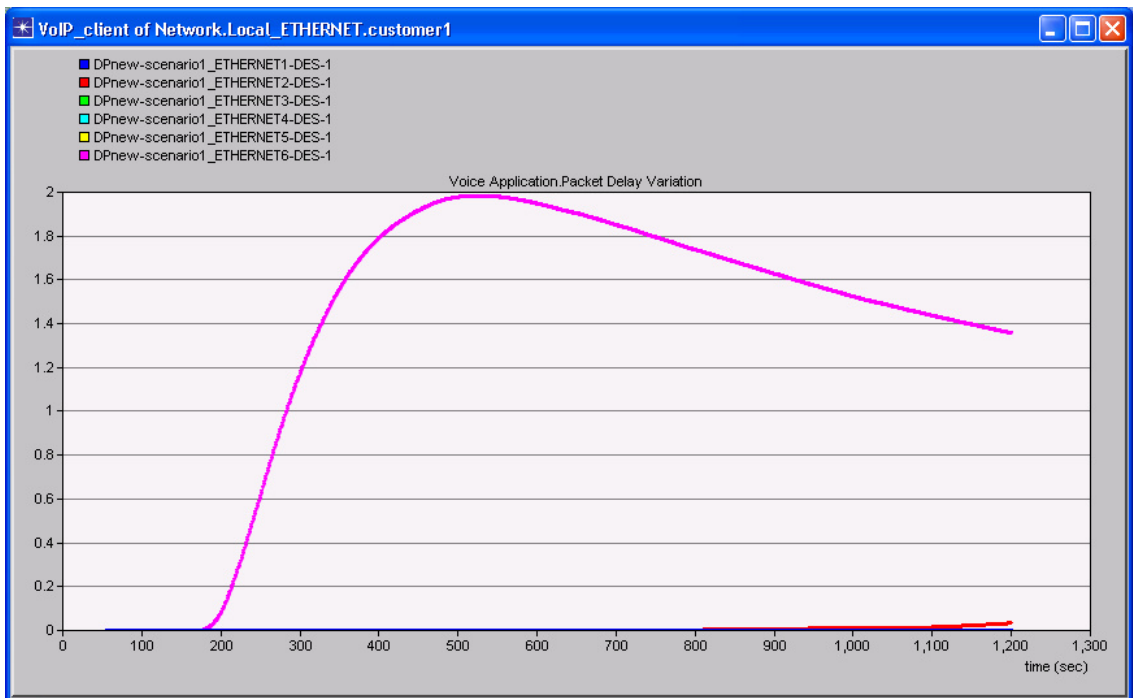
Obr.7 Oneskorenie pre VoIP v Ethernet scenároch



Obr.8 Oneskorenie pre VoIP v ADSL scenároch



Obr.9 Kolísanie oneskorenia pre VoIP v ADSL scenároch



Obr.10 Kolísanie oneskorenia pre VoIP v Ethernet scenároch