



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKACNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS**

# **ANALÝZA PŘENOSU DAT V KONVERGOVANÉ SÍTI**

**ANALYSIS OF DATA TRANSPORT IN CONVERGED NETWORK**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. DAVID MENŠÍK**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**DOC. ING. VLADISLAV ŠKORPIL, CSC.**

BRNO 2011

## **ANOTACE**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou přenosu dat aplikací v konvergované síti se zaměřením na WiFi síť IEEE 802.11. V teoretické části je popsán důvod a podstata konvergentních sítí. Další část práce je věnována popisu standardu IEEE 802.11, kde je vedle jednotlivých standardů a doplňků popsána architektura, koordinace přístupu i řešení QoS sítí zmíněného standardu.

Praktická část je založena na návrhu vlastní konvergované sítě s prvky WiFi a to v prostředí grafického simulačního programu OPNET Modeler. V navržené síti byl dále simulován provoz služeb, jako je hlasová služba, videokonference, FTP a HTTP přenos. Výsledky simulace provozu dat v síti jsou následně analyzovány. V Konečné části práce je v programu OPNET Modeler vytvořen návrh laboratorní úlohy, jejíž podstatou je srovnání provozu konvergované sítě s podporou a bez podpory kvality služeb.

### **Klíčová slova:**

analýza, konvergence, konvergované sítě, QoS, Opnet, nastavení, simulace

## **ABSTRACT**

This thesis deals with data transmission applications in the converged network, focusing on the WiFi network IEEE 802.11. The theoretical part describes the cause and nature of converged networks. One chapter is devoted to a description of IEEE 802.11, which is next to different standards and options described architecture, coordination and access network QoS solution to that standard.

The research is based on custom design converged networks, and WiFi elements in the environment of graphic simulation software OPNET Modeler. In the proposed network was also simulated the operation of services such as voice, video conferencing, FTP and HTTP streaming. Results of simulation data traffic in the network are then analyzed. At the Conclusion of the thesis, is in OPNET Modeller program created the role of laboratory. The essence here is the comparison of operating a converged network, with and without quality support services.

### **Keywords:**

analysis, convergence, converged networks, QoS, Opnet, setting, simulation

MENŠÍK, D. *Analýza přenosu dat v konvergované síti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 69 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Analýza přenosu dat v konvergované síti“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

.....  
podpis autora

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu práce panu doc. Ing. Vladislavovi Škorpilovi, CSc. za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

V Brně dne .....

.....

Podpis autora

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>1 Konvergentní síť</b> .....	<b>9</b>
1.1 QoS .....	10
1.2 Metriky QoS.....	10
<b>2 Bezdrátové síť standardu IEEE 802.11</b> .....	<b>12</b>
2.1 Standardy .....	12
2.2 Koordinace přístupu .....	17
2.2.1 DCF .....	17
2.2.2 PCF.....	18
2.3 Architektura WiFi sítě.....	18
2.3.1 Přístupový bod .....	18
2.3.2 Bezdrátový most .....	19
2.3.3 Wireless Workgroup Bridge.....	19
2.3.4 Bandwidth Control Unit (BCU).....	19
2.4 QoS ve WiFi.....	20
2.4.1 Rozšíření WLAN pro QoS: 802.11e.....	20
2.4.2 Centralizované protokoly pro QoS.....	21
<b>3 Navržení a simulace konvergentní sítě v programu OPNET Modeler</b> .....	<b>22</b>
3.1 OPNET Modeler.....	22
3.2 Vytvoření nového projektu a sítě.....	22
3.2.1 Konfigurace jednotlivých segmentů sítě .....	26
3.2.2 Nastavení sledovaných parametrů .....	34
3.3 Simulace .....	35
<b>4 Hodnocení výsledků simulace</b> .....	<b>37</b>
4.1 Propustnost aplikací.....	37
4.2 Hlasová aplikace.....	38
4.2.1 Objem a rychlost přenášených dat .....	38
4.2.2 Zpoždění .....	40
4.2.3 Jiter .....	41
4.3 Videokonference .....	42
4.3.1 Rychlost přenášených dat .....	42
4.3.2 Zpoždění .....	43
4.4 FTP aplikace.....	44
4.5 Http aplikace .....	46
4.6 Server .....	47

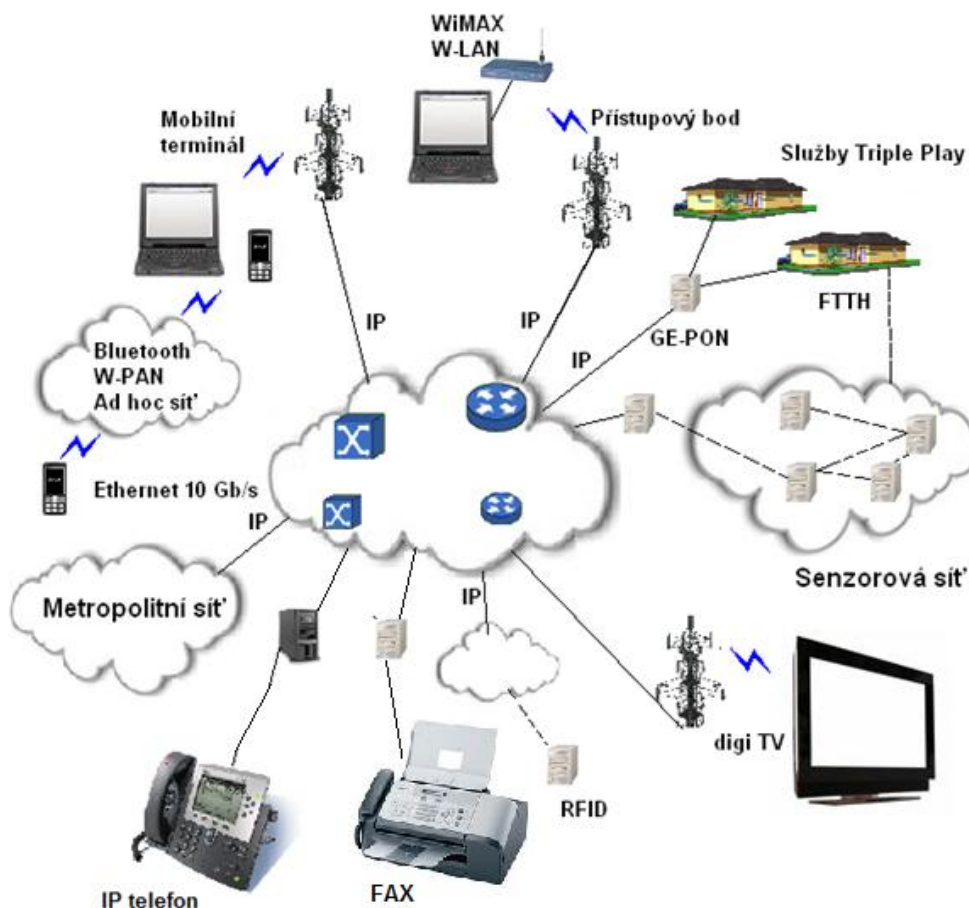
4.7	Switch .....	48
<b>5</b>	<b>Návrh laboratorního měření.....</b>	<b>50</b>
5.1	Zadání měření .....	50
5.2	Postup měření .....	50
5.2.1	Vytvoření projektu a sítě.....	50
5.2.2	Nastavení služeb.....	52
5.2.3	Nastavení bezdrátové sítě.....	54
5.2.4	Nastavení stanic.....	54
5.2.5	Vytvoření dalšího scénáře .....	57
5.2.6	Nastavení sledovaných parametrů .....	57
5.2.7	Simulace scénářů.....	57
5.2.8	Zobrazení výsledků simulace .....	58
5.2.9	Kontrolní otázky .....	58
5.3	Výsledky měření .....	59
5.3.1	Grafy průběhů sledovaných parametrů .....	59
5.3.2	Odpovědi na otázky .....	63
	<b>Závěr .....</b>	<b>64</b>
	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>65</b>
	<b>Seznam zkratk .....</b>	<b>66</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>67</b>

## ÚVOD

V této práci jsem se věnoval problematice provozu konvergované sítě s prvky bezdrátové sítě standardu IEEE 802.11. Konvergovaná síť má schopnosti přenášet různé typy datových toků jako je hlas, video či data, a přitom také splnit jejich požadavky na parametry přenosu. Práce dále stručně popisuje bezdrátové sítě standardu IEEE 802.11. včetně výčtu a popisu jednotlivých standardů a doplňků. V další části práce je popsáno vytvoření konvergované sítě, její následné simulace v prostředí programu OPNET Modeler a rozvaha nad získanými výsledky, zahrnující také grafické znázornění průběhů přenosů jednotlivých služeb a provozu některých síťových prvků. Závěrečná kapitola je věnována návrhu laboratorního měření na zjednodušené konvergentní síti. Návrh laboratorního měření se skládá ze zadání, podrobného návodu, kontrolních otázek, výsledků simulace a zodpovězených kontrolních otázek.

# 1 KONVERGENTNÍ SÍŤ

Pojem „konvergence“ je tradičně vysvětlován jako termín označující sbíhání, sbíhavost, sblížení, popř. vývoj, který vede ke sblížení. V případě telekomunikací můžeme chápat konvergenci jako proces spojení dvou do té doby separátních přenosových infrastruktur (telekomunikačních a datových sítí), který je reakcí na zejména technologické možnosti. Jedná se tedy o strukturu schopnou přenášet různé typy dat ať už klasická data, hlas, či multimédia. Právě takovou sítí je síť dříve nazývaná NGN (dnes Národní síť), která sjednocuje obě technologie sítí do jedné s plně centralizovaným řízením, založená na směrování a spojování paketů. V dnešní době již dochází ke konvergenci služeb. Konvergovaná síť přenáší tedy hlas a video datovou sítí s ostatními daty prostřednictvím internetového protokolu IP. Příklad konvergentní sítě je zachycen na obr.1.1.



Obr. 1.1 Příklad konvergentní sítě

Nesporná výhoda v provozování jen jedné sítě plyne pro poskytovatele ve formě znatelného snížení nákladů. Aby však bylo možné v konvergované síti poskytovat přenosy v náležitě kvalitě, bylo třeba vyvinout celou kolekci protokolů [5].

Konvergence je v současné době velice žhavé téma moderní telekomunikační infrastruktury. Jedná se o řešení potřeby funkčního provozu služeb nezávislých na používané technologii přístupové části sítě. Virtuální domácí prostředí je podstatná vlastnost konvergovaných sítí, kdy stanice klientů mohou využívat volného roamingu v rámci rozdílných sítí a to samozřejmě s dostupností téže kolekce funkcí a služeb. Přitom je možno použít jak pevného tak mobilního terminálu přes kterýkoliv dostupný přístupový bod. Toto vše je specifikováno v souhrnu doporučení umožňujících poskytovat a zajišťovat konzistentní soubor služeb ať už s mobilním či pevným připojením v rámci mobilní, pevné a privátní nebo veřejné sítě [5].

## 1.1 QOS

QoS (Quality of Services) obecně je schopnost sítě poskytovat různé priority pro různé aplikace. Jednoduše řečeno je to soubor technik, které řídí zpoždění, kolísání zpoždění (jitter), ztrátovost paketů a šířku pásma pro toky dat v síti. Je to tedy v podstatě výchozí schopnost sítě udržovat skrz směrovače a přepínače v kooperaci s koncovými zařízeními (ať už telefonními nebo video) parametry přenosu tak, aby byla zajištěna kvalita služeb, jako hlasu a multimédií bez ohledu na to, jak je síť vytížena. Přitom každý typ aplikace vyžaduje odlišné nároky. Datové přenosy kladou důraz na spolehlivost spojení a dostatečnou šířku pásma, zatímco hlasové a video služby preferují garantovanou dobu doručení a konstantní pásmo. Do jisté míry je připuštěna ztráta informace, přičemž je možné se s ní vyrovnat opravnými mechanismy. Co se týče Internetu, pracuje na bázi protokolu TCP/IP, který kvalitu služeb nemá možnost zajistit. TCP/IP není schopen od sebe rozeznávat jednotlivé služby a nakládá tedy se všemi daty stejně. Datagramový přenos pomocí IP protokolu má jedinou úroveň „best effort“.

## 1.2 METRIKY QOS

- koncové zpoždění: časový interval mezi vysláním paketu zdrojem a jeho doručení příjemci
- jitter: diference v intervalech mezi přijímanými pakety

- ztrátovost paketů: podíl doručených a vyslaných paketů za jednotku času
- šířka pásma související s propustností: objem úspěšně přenesených dat za jednotku času

**Tab. 1. Nároky služeb na síť**

	Hlas	Data	Multimedia
Zpoždění	Nízké	Vysoké	Nízké
Kolísání zpoždění	Nízké	Vysoké	Nízké
Dostupnost a spolehlivost	Vysoká	Nízká	Vysoká
Ztráty paketů	Nízké	Vysoké	Nízké

## **2 BEZDRÁTOVÉ SÍTĚ STANDARDU IEEE 802.11**

Bezdrátová síť je typ datové sítě, ve které je spojení mezi jednotlivými účastníky sítě zajišťováno prostřednictvím bezdrátové komunikace. Bezdrátové technologie, které jsou dnes nejrozšířenější, jsou standardizovány mezinárodní organizací IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers). Wi-Fi je standardem pro lokální bezdrátové sítě vycházející ze specifikace IEEE 802.11. Rozmach a úspěch Wi-Fi se dostavil zejména pro využití několika bezlicenčních pásem, z čehož plyne pro uživatele výhoda bezplatného užívání. Maximální vysílací výkon je omezen na 100mW z důvodu minimalizování vzniků interferencí s jinými zařízeními pracujícími ve stejném pásmu. Z tohoto omezení na druhou stranu plyne možnost využití pouze na krátké vzdálenosti.

Kompetentními orgány bylo určeno, že pro bezdrátová Wi-Fi zařízení je možno využívat pásma ISM (Industrial, Scientific and Medical), které pokrývá frekvenční spektrum 2,4 – 2,5 GHz. Jinde ve světě může být použito i pásmo UNII (Unlicensed National Information Infrastructure). Pásmo 5GHz UNII obsahuje tři jednotlivá 100MHz široká pásma. Bývají označována jako nižší, střední a vyšší pásmo. Každé z těchto tří pásem obsahuje čtyři vzájemně nepřekrývající se OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) kanály, mezi nimiž je 5MHz mezera [3]. U nás zatím není pásmo UNII zcela bezlicenční. Zařízení využívající toto pásmo mohou být používány, pouze však v rámci budov.

### **2.1 STANDARDY**

IEEE je mezinárodní nezisková profesionální organizace usilující o vzestup technologie související s elektrotechnikou, sdružuje přes 350 000 elektroinženýrů a inamatiků v cca 150 zemích ve všech světadílech. Právě tato organizace standardizovala v současnosti nejpoužívanější bezdrátové technologie. Tím se přesně vymezily funkce a rozhraní dané technologie. Na základě takových definicí - standardů může být pak dotyčná technologie v masivní míře vyráběna a podporována výrobci hardware i software [1].

**Tab. 2. Přehled standardů WiFi**

Standard	Rok vydání	Popis
IEEE 802.11	1997	Technologie DSSS i FHSS, rychlost až 2Mbps v pásmu 2,4 GHz
IEEE 802.11a	1999	Modulace OFDM, rychlost až 54 Mbps v pásmu 5 GHz
IEEE 802.11b	1999	CCK, rychlost až 11 Mbps v pásmu 2,4 GHz
IEEE 802.11c	2003	Přemostění (bridge)
IEEE 802.11d	2001	Mezinárodní roamingový dodatek - kde není pásmo 2,4 GHz dostupné
IEEE 802.11e	2005	Podpora QoS
IEEE 802.11F	2003	Kooperace přístupových bodů
IEEE 802.11g	2003	Modulace OFDM, rychlost až 54 Mbps v pásmu 2,4 GHz
IEEE 802.11h	2003	Dynamický výběr kanálu a řízení vysílacího výkonu
IEEE 802.11i	2004	Šifrování AES
IEEE 802.11j	2004	Využití pásma 4,9 - 5 GHz (Japonsko)
IEEE 802.11k	2008	Optimalizace na základě měření rádiových prostředků
IEEE 802.11m	2007	Revize stávající normy
IEEE 802.11n	2009	MIMO technologie, zvýšení datové propustnosti
IEEE 802.11p	2010	Podpora přístupu mobilních zařízení
IEEE 802.11r	2008	Podpora přístupu v phybu (rychlý roaming)
IEEE 802.11s	2010	Multi-hopping
IEEE 802.11.2	ukončeno 2008	Měření a testování WLAN zařízení
IEEE 802.11u	2010	Kooperace se sítěmi mimo standard 802.
IEEE 802.11v	2010	Management bezdrátových zařízení
IEEE 802.11w	2009	Podpora integrity, autenticity, utajení a ochrany dat
IEEE 802.11y	2008	Využití kmitočtové pásmo 3,65 – 3,7 GHz (USA)

#### IEEE 802.11

Byl úplně prvním standardem zabývajícím se oblastí bezdrátových lokálních datových sítí. Zahrnuje veškeré soudobé přenosové technologie, jako DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) nebo IR (Infrared). DSSS a FHSS technologie standardizované v této specifikaci dosahují rychlostí přenosu jen 1 Mbps a 2 Mbps. Tento standard využívá kmitočtové pásmo 2,4 - 2,4835 GHz.

#### IEEE 802.11a

Je standardem, který specifikuje technologii využívající kmitočtové pásmo UNII, což přineslo možnost znatelně vyšších přenosových rychlostí na úkor nekompatibility se systémy pracujícími v kmitočtovém pásmu ISM. Používá se modulace OFDM. Standard vytyčuje maximální rychlost 54 Mbps, ale jsou známy alternativy, kdy je možno dosáhnout rychlosti až 108 Mb/s. Přímou jsou specifikovány rychlosti 6, 9, 12, 18, 36, 48 a maximální

54 Mbps. U IEEE 802.11a je povolen znatelně vyšší vyzařovací výkon (v nejvyšším UNII pásmu až 800mW), funguje tedy i na větší vzdálenosti.

#### IEEE 802.11b

Oproti rychlostem prvního standardu, které byly záhy nedostačujícími, definuje tento standard maximální rychlost až 11 Mb/s. K takovému zvýšení rychlosti se dospělo použitím jiného kódování, a to doplňkové kódové klíčování (Complementary Code Keying, CCK). Systém vychází z technologie DSSS, technologie FHSS v tomto standardu již zahrnuta není. Technologie pracuje na kmitočtovém pásmu ISM. Standard říká především, že se rychlost dynamicky mění v závislosti na momentálním rušení prostředí.

#### IEEE 802.11c

Tento standard se věnuje práci komunikačních mostů (Bridge) v bezdrátových zařízeních, a to v rámci podvrstvy MAC (Media Access Control), která je podvrstvou vrstvy linkové. Dále doplňuje mezinárodní normu o transparentních mostech IS 10038 (IEEE 802.1d) o 802.11 rámce. Doplněk byl schválen v roce 1998.

#### IEEE 802.11d

Standard upravující IEEE 802.11b pro jiné kmitočty, vyzařovací výkony a propustnosti signálu. Cílem je použití takovýchto sítí tam, kde není pásmo 2,4 GHz dostupné, tedy zejména v zemích, ve kterých nejsou povoleny systémy specifikované jinými standardy IEEE 802.11. Doplněk byl schválen v roce 2001.

#### IEEE 802.11e

Rozšiřuje standard o podporu QoS, což je nepostradatelné pro provoz aplikací citlivých na zpoždění jako např. proudová multimedia nebo Voice over WirelessIP. Také nahrazuje doposavadní přístupové metody DCF (Distributed Coordination Function) a PCF (Point Coordination Function) za nové EDCF (Enhanced DCF) a HCF (Hybrid Coordination Function).

#### IEEE 802.11F

Standard specifikuje protokol IAPP (Inter-Access Point Protocol), který zajišťuje kooperaci přístupových bodů napříč spektrem výrobců. Výsledkem je spolehlivý proces předávání stanic během přechodu mezi rádiovými kanály nebo mezi sousedními přístupovými body. Doplněk byl schválen v roce 2003

#### IEEE 802.11g

Standard rozšiřující technologii 802.11b pracující v pásmu ISM, o použití efektivnějšího kódování OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ve vyšších rychlostech. Maximální nominální rychlost tedy dosahuje hodnoty až 54 Mbps. Pro nižší rychlosti je zachováno použití původního kódování, systém tedy zůstává plně kompatibilní s původním 802.11b. Díky zachování kompatibility se systémy 802.11g. Modulační schéma se používá podle hodnoty odstupů signálu od šumu QPSK, BPSK, 16-QAM či 64-QAM. Podporované rychlosti v závislosti na modulaci jsou následující: 54 Mbit/s (64-QAM), 48, 36 a 24 Mbit/s (16-QAM), 18 a 12 Mbit/s (QPSK), 9 a 6 Mbit/s (BPSK). Další rychlosti jsou stejné jako u 802.11b: 11 Mbit/s (CCK), 5,5 Mbit/s (CCK), 2 Mbit/s (DQPSK) a 1 Mbit/s (DBPSK). Doplněk byl schválen v roce 2003.

#### IEEE 802.11h

Doplňuje IEEE 802.11a o vylepšení řízení využití kmitočtového spektra s ohledem na evropské podmínky. Jde tedy o použití dynamického výběru kanálu (*Dynamic Channel Selection*) pro venkovní i vnitřní komunikaci a řízení vysílacího výkonu (*Transmit Power Control*) pro zařízení pracujících v pásmu UNII. V případě, že bezdrátové zařízení detekuje rušení, omezí vysílací výkon či kanál, na kterém rušení rozpoznalo opustí. Doplněk schválený v roce 2003.

#### IEEE 802.11i

Doplněk přináší nové zabezpečení, místo WEP (*Wired Equivalent Privacy*) je zaveden nový způsob šifrování AES (*Advanced Encryption Standard*) s použitím dynamicky generovaného klíče. Schváleno v roce 2004.

#### IEEE 802.11j

Doplněk pro Japonsko schválený v roce 2004, umožňuje použití pásma 4,9 – 5 GHz.

#### IEEE 802.11k

Doplněkem se zvyšuje kvalita spojení na základě měření kvality kanálů, šumu, zahlcení a vzájemného rušení. Vyhodnocení těchto měření vede k optimalizaci konfigurace klientů a sítě.

#### IEEE 802.11m

Dokumenty vydané ostatními skupinami jsou skupinou IEEE 802.11m kontrolovány a jsou upravovány případné nesrovnalosti nebo chyby v původních specifikacích.

#### IEEE 802.11n

Cílem tohoto standardu je upravit MAC podvrstvu vedoucí ke zvýšení datové propustnosti a k dosažení reálné rychlosti nad 100 Mbps. K tomu se využívá použití více antén, změn kódovacích schémat a změn MAC protokolů. Zvýšení rychlosti je dosahováno použitím MIMO (multiple input multiple output) technologie, která využívá více vysílacích a přijímacích antén. Standard navíc zajišťuje zvýšení odolnosti proti rušení a vyšší dosah při co nejvyšší rychlosti.

#### IEEE 802.11p

Podporuje připojení rádiových stanic v automobilech k pevným bezdrátovým přístupovým bodům. Definuje spojení mezi automobilem a pevnou dopravní infrastrukturou.

#### IEEE 802.11r

Vylepšuje MAC k realizaci rychlejšího přechodu uživatelů mezi přístupovými body v rámci ESS (Extended Service Set) pro realtime aplikace. Umožňuje připojení v pohybu např. ve vozidle. Přechody jsou podporovány již standardy „a“, „b“ i „g“, ale jen pro data přenášená prostřednictvím doplňku IEEE 802.11F neboli IAPP (Inter – Acces Point Protocol). Výpadek během přechodu je příliš dlouhý k provozování audio nebo video aplikací. Protokol umožňuje bezdrátovému klientu vytvořit zabezpečené připojení k novému přístupovému bodu s QoS ještě než se k němu provede samotný přechod. Výpadek spojení je pak minimální respektive kratší než 50 ms.

#### IEEE 802.11s

Zavádí tzv. samoorganizující se bezdrátové sítě. Tedy podporuje topologie mesh sítě s použitím automatické konfigurace. Každý klient bude plnit současně úlohu přístupového bodu a naopak. Tato technologie nese označení multi-hopping.

#### IEEE 802.11t (IEEE 802.11.2)

Standard, který vytváří soubor metrik, metodologií pro měření a podmínky pro testování zařízení WLAN.

#### IEEE 802.11u

Standard specifikuje spolupráci s externími sítěmi, tedy sítěmi mimo standardy 802.

## IEEE 802.11v

Definuje jednotné rozhraní pro management zařízení v bezdrátové síti. Ať už centralizovaně, nebo distribuovaně bude možné provádět stanicí funkce managementu včetně konfigurace a monitoringu. Jedná se tedy o konfiguraci klientských zařízení během připojení.

## IEEE 802.11w

Cílem tohoto standardu je vyšší stupeň zabezpečení management rámců. Dochází tedy k rozšíření stávající MAC podvrstvy o mechanismy na podporu integrity dat, autenticity zdroje dat, utajení dat a prevence před útoky typu replay pro rámce managementu.

## IEEE 802.11y

Je standardem, který specifikuje technologii využívající frekvenční pásmo 3650 - 3700 MHz.

## 2.2 KOORDINACE PŘÍSTUPU

Standard 802.11 specifikuje dvě funkce pro koordinaci přístupu k médiu:

- funkce distribuované koordinace DFC (Distributed Coordination Function)
- funkce koordinace jedním bodem PCF (Point Coordination Function)

### 2.2.1 DCF

Běžně nasazovaný mechanismus DCF koordinuje přístup k rádiovému kanálu bez priority přístupu, používající metodu přístupu CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance). DCF zajišťuje službu best-effort bez podpory požadavků na QoS. Klient před vysláním naslouchá, nevysílá-li jiný klient. Jako ochrana proti kolizím se používá buď vkládání mezery mezi rámce (InterFrameSpace) nebo odklad vysílání (backoff). Interval DIFS (DCF IFS) koresponduje s časovým intervalem povinného čekání pro zjištění volného vysílacího kanálu, než bezdrátová stanice začíná vysílat. V případě, že v tomto okamžiku začne vysílání jiná stanice, vysílání je odloženo. Interval odkladu vysílání si volí každý klient náhodně z intervalu mezi nulou a velikostí tzv. Contention Window (CW). Ovšem neustále může nastat kolize, v případě, že se o stejný vysílací kanál uchází nejeden klient. Velikost CW se při každé kolizi zdvojnásobí (exponential backoff). Když interval odkladu uplyne a médium je volné, stanice začne vysílat. AP

(Access Point) po obdržení paketu vyčkává po dobu SIFS (Short IFS, kratší než DIFS), poté vysílá potvrzení přijetí paketu. K chybám přenosu může docházet kvůli kolizím, nebo z důvodu nedostatečné kvality kanálu a proto je ve WLAN potvrzování důležité [3].

## 2.2.2 PCF

PCF mechanismus je vymezen pro synchronní datové přenosy, je to volitelný mechanismus přístupu, který nelze používat v ad-hoc sítích. AP cyklicky vysílá rámce typu beacon obsahující specifické parametry pro identifikaci a management. Mezi vysíláním rámců beacon dělí AP časový interval na dva úseky: contention-free (doba bez boje o médium) a contention (doba, kdy probíhá boj o médium). Klient s prioritními daty získá na základě výzvy souhlas s garantovaným přenosem během doby, po kterou nemusí s nikým soupeřit o médium. Pro stanice s prioritou vysílání se ohlašuje interval bez kolizí, k čemuž PCF využívá interval PIFS (PCF IFS), jež je delší než SIFS a kratší než DIFS [3].

## 2.3 ARCHITEKTURA WIFI SÍŤE

### 2.3.1 Přístupový bod

Přístupový bod neboli AP (Access Point) je podstatnou součástí infrastruktury bezdrátové sítě poskytující bezdrátovým klientům přístup do sítě. AP můžeme, co se funkčnosti týče, přirovnat k přepínači v ethernet síti. Komunikace mezi AP a klientským zařízením probíhá na jednom zvoleném kanále definovaném technologií DSSS, komunikace má tedy charakter half-duplex. AP může pracovat ve třech pracovních módech (root, bridge a repeater mode) [3].

Jako výchozí pracovní režim AP můžeme označit root mode. AP je v tomto případě připojen metalikou k pevné síti a poskytuje skrz rádiové rozhraní spojení bezdrátovým klientům, kteří jsou ke spojení oprávněni a nalézají se v prostoru rádiového pokrytí AP. Když připojíme ke stejné LAN více AP, budou spolu komunikovat přes pevnou síť. Konfigurace AP musí být potom korektně provedena tak, aby byla zajištěna koordinace funkcí AP, což je důležité zejména z důvodu bezchybných handoverů mobilních stanic [6]. Pro takto situované sítě bývá doporučováno překrytí rádiových pokrytí 20 – 30%.

Další pracovní režim představuje tzv. bridge mode, čili AP vykonává funkci mostu mezi dvěma částmi pevné sítě.

Repeater mode představuje pracovní režim, kdy AP není připojen do LAN metalicky, ale přes jiný AP. Během spojení jsou data přenášena přes dva AP, což způsobuje pokles propustnosti asi 50%. Tato konfigurace by se měla realizovat pouze v případech, kdy není možné jiné východisko [6].

### **2.3.2 Bezdrátový most**

Bezdrátový most plní funkci AP v pracovním režimu bridge mode. V případě použití směrových antén můžou být bezdrátové mosty od sebe vzdáleny až několik desítek km. Realizace propojení může mít dvě podoby: bod – bod a bod – skupina bodů. Bezdrátové mosty mohou pracovat ve čtyřech režimech (root, non-root, AP a repeater mode). Jeden z mostů při propojení sítě musí být v režimu root mode [6]. Pokud je most v root režimu může komunikovat s ostatními mosty jen v non-root režimu. Některá přístroje mají možnost nastavení AP režimu, pak jsou schopny fungovat současně jako most i AP. Dalším pracovním režimem je repeater, do něhož se nastaví most v případě potřeby využití mostu jako opakovače [3].

### **2.3.3 Wireless Workgroup Bridge**

Tímto mostem se realizuje připojení skupiny pevných LAN klientů, tato skupina se však před bezdrátovou sítí tváří jako jeden bezdrátový klient. Z toho důvodu bezdrátový most pracovní skupiny uskutečňuje překlad MAC adres pevných LAN stanic [6].

### **2.3.4 Bandwidth Control Unit (BCU)**

Technologie pro WLAN vychází ze sdílení společného média, tedy kmitočtového pásma. Při výchozím nastavení je pravděpodobnost přístupu shodná pro všechny bezdrátové klienty, což je v rámci vnitřní domácí nebo podnikové sítě zcela dostačující. V případě vnějšího provozování bezdrátového připojení poskytovatelem je však obvykle potřeba klienty rozčlenit do více skupin. Ať již z důvodu rozdílů v dodávaných službách tak v účtování. Řízení úrovně služby je řešitelné nastavením přenosové rychlosti, kterou má klient k dispozici. Tuto situaci řeší BCU neboli jednotka pro přidělování šířky pásma, která

filtruje provoz dle MAC adres klientů. Podle konfigurace BCU jsou klienti tříděni do jednotlivých front, které mají různé nastavení parametrů. BCU je umístěná mezi LAN a AP [6].

## 2.4 QOS VE WIFI

### 2.4.1 Rozšíření WLAN pro QoS: 802.11e

Již zmíněná norma IEEE 802.11e sloužící jako doplněk k normám 802.11a/b/g specifikuje podporu QoS ve WLAN. Výchozí specifikace 802.11 protokolu pro přístup k médiu umožňuje dva komunikační módy: DCF a PCF. Protože ani jeden z nich není schopen rozlišit typ provozu, QoS není podporováno. Pro podporu QoS rozšiřuje mechanismy DCF a PCF standard IEEE 802.11e, přičemž je zajištěna i kompatibilita se zařízeními bez QoS, tedy podle původních standardů [4].

Rozšířený mechanismus DCF je **EDCF** (Enhanced Distribution Coordination Function), což je pravděpodobnostní prioritní mechanismus alokující šířku pásma v závislosti na provozu. Jsou specifikovány čtyři třídy provozu na podporu osmi úrovní priority viz Tabulka [3].

**Tabulka 3. Mapování priority na třídu přístupu**

Třída přístupu	0	1	2	3
Priorita	0	1, 2	3, 4, 5	6, 7
Služba	best effort	na pozadí	video	hlas

Když medium není obsazeno, je možno z klientského zařízení vysílat, ale musí být dodržen interval čekání (Arbitration Interframe Space) odpovídající třídě provozu. Čím vyšší priorita provozu tím kratší AIFS. Stanice s vyšší prioritou provozu čeká tedy kratší dobu než stanice s nižší prioritou provozu. Provoz s vyšší prioritou je tedy upřednostňován před provozem nižší priority. Z důvodu předejití kolizím provozů stejné priority je nutné, aby stanice před odesláním dat vyčkala navíc jistý časový interval, který odpovídá oknu sváru (contention window) [3].

## 2.4.2 Centralizované protokoly pro QoS

K zajištění náležitě QoS se dále využívá centralizovaných protokolů, prostřednictvím kterých si klientské zařízení vyžádá od AP právo na přístup k rádiovému kanálu. AP vykonává řízení přístupu do sítě, ke kanálu a přiděluje šířku pásma. Nejčastěji jsou do bezdrátových sítí navrhovány TDMA, či mechanismy výzvy a plánování vysílání. Centralizovaným protokolem WiFi je PCF, který funguje na principu výzvy. PCF je rozšířen 802.11e o hybridní funkci HCF (Hybrid Coordination Function). AP vysílá v časovém úseku bez boje o médium stanici výzvu. Když potřebuje stanice vysílat, je jí přidělen určitý čas zahájení vysílání a doba trvání vysílání [4].

## 3 NAVRŽENÍ A SIMULACE KONVERGENTNÍ SÍŤE V PROGRAMU OPNET MODELER

### 3.1 OPNET MODELER

Firmou Opnet Technologies Inc. byl vyvinut software Opnet Modeler pro návrhy, simulace a analýzy nejrůznějších síťových technologií. Tento a jemu podobné programy, prostřednictvím kterých je možno modelovat a simulovat události vně různých sítí, jsou v dnešní době velice užitečné, protože vybudování sítě bez spolehlivé předběžné informace o její potřebné funkčnosti je značně nákladné. Program Opnet Modeler umožňuje právě provádět návrhy i velmi rozsáhlých sítí, nastavení jejich různých parametrů, následně uskutečňovat simulace provozu a tyto simulace analyzovat. U těchto simulací je samozřejmě možné nastavit libovolnou délku trvání, která se od reálné doby značně liší. Reálná doba simulace se odvíjí především od výkonu použitého hardware a samozřejmě od složitosti simulačního modelu. Nespornou výhodou je u programu Opnet Modeler jeho grafické prostředí, díky kterému je práce v něm uživatelsky přívětivá. Opnet Modeler nabízí po uskutečnění simulaci z naměřených hodnot spoustu statistik, které je možno jak prohlížet přímo v Opnetu, tak exportovat pro další zpracování do formátů jako jsou HTML či XML. Opnet Modeler dále skýtá možnost výsledky simulace uložit do tabulkového editoru.

### 3.2 VYTVOŘENÍ NOVÉHO PROJEKTU A SÍŤE

Pro vytvoření projektu byl použit Opnet Modeler 16.0 A.PL1 přístupný v laboratořích fakulty. Po spuštění programu jsem zvolil **File** → **New** → **Project**. Do pole v řádku **Project Name** v otevřeném okně se vyplní název projektu „WiFi“ a název scénáře je doplněn do pole v řádku **Scenario**. Dále zůstane zatrhnuto okénko *Use Startup Wizard when creating new scenarios*. Po potvrzení **OK**, se otevře další dialogové okno ve kterém se zvolí hned první možnost **Create Empty Scenario** a pokračuje se klikem na tlačítko **Next**. V následujícím dialogovém okně *Choose network scale* se zvolí položka **World** a možnost zatrnutí *Use metric maps* je opět zanechána zatržena. Po potvrzení volby tlačítkem **Next** se otevře okno *Choose map* rozdělené na dvě podokna, v levém seznamu map *Available* se označí položka **Europe** a tlačítkem **>>** je přesunuta do pravého okna *Selected (background first)*. Opačně orientovaným tlačítkem **<<** je přesunuta položka **World** do okna

*Available* a opět se pokračuje tlačítkem *Next*. V následujícím dialogovém okně *Select Technologies* je k dispozici seznam technologií. Ze seznamu jsou zvoleny potřebné technologie následujícím postupem: ve sloupci *Include*, se klikem označí **atm**, **ethernet**, **frame\_relay** a **wireless\_lan** a pokračuje se tlačítkem *Next*. V posledním dialogovém okně *Review* je rekapitulace všech provedených voleb, kterou je třeba potvrdit tlačítkem *Finish*.

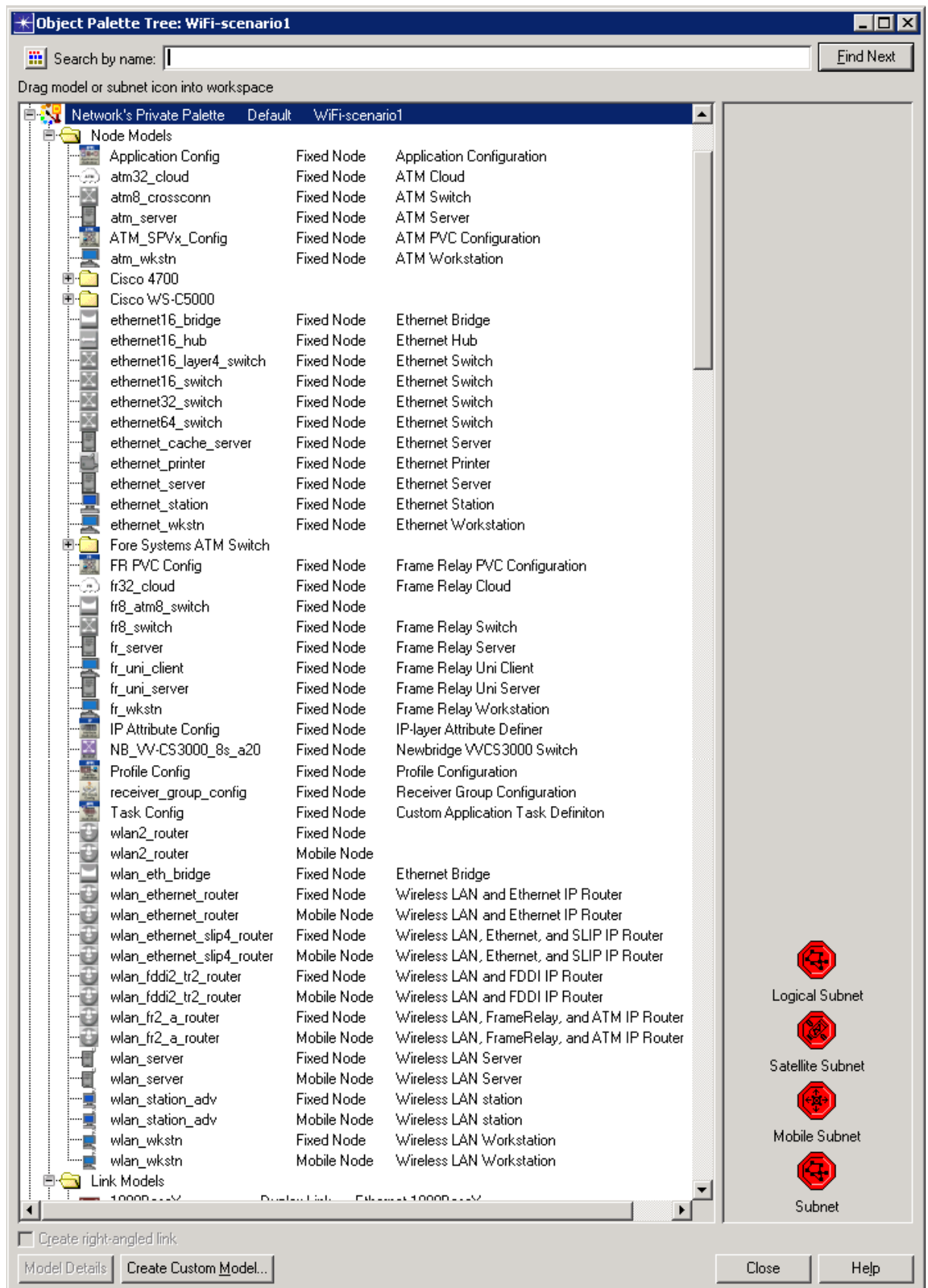
Následuje otevření dvou oken. V jednom je mapa světa na které se zvolí místo realizace projektu. Pro tento projekt byl zvolen prostor v České republice. Druhé okno je nazváno *Object Palette* a poskytuje k výběru prvky jednotlivých technologií viz obr.3.1.

Ze seznamu nabízeného *Object Palette* viz obr.3.1. jsou vybrány tyto segmenty:

- Aplikation Config
- atm32\_could
- atm8\_crossconn
- 4x atm\_wkstn
- 2x ethernet16\_switch
- ethernet\_server
- ethernet\_wkstn
- fr32\_cloud
- fr8\_switch
- Profile Config
- 2x wlan\_ethernet\_router
- 2x wlan\_fr2\_a-router
- 11x wlan\_wkstn

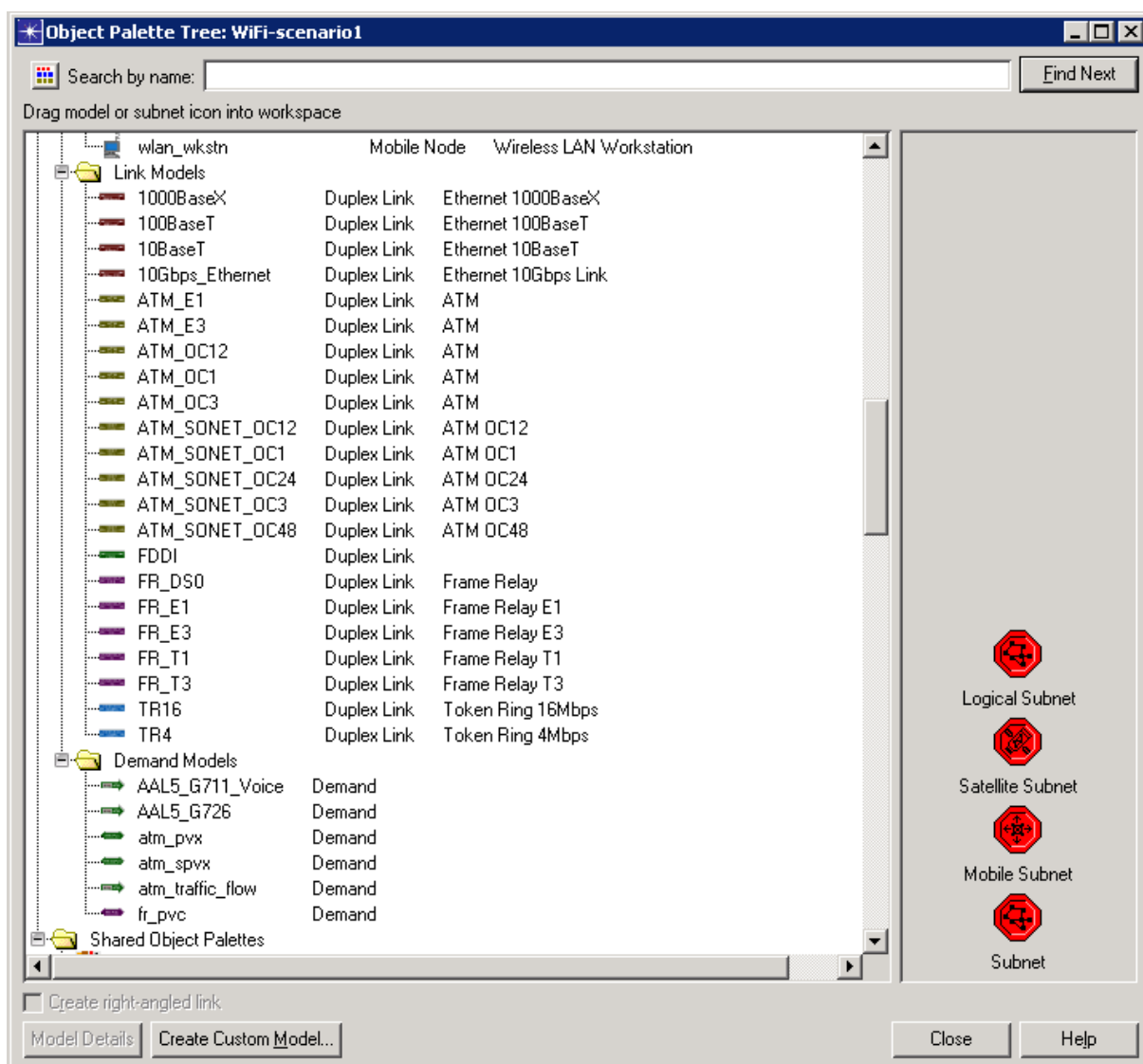
Dále jsou potřeba další prvky, které se jednoduše vyhledají pomocí vyhledávacího pole v horní části *Object Palette*. Do vyhledávacího pole stačí zadat alespoň část názvu žádaného prvku a poté je obvyklým způsobem přidán do sítě projektu. Jedná se o následující části:

- 2x ip\_phone
- 2x ip32\_cloud
- QoS Attribute Config

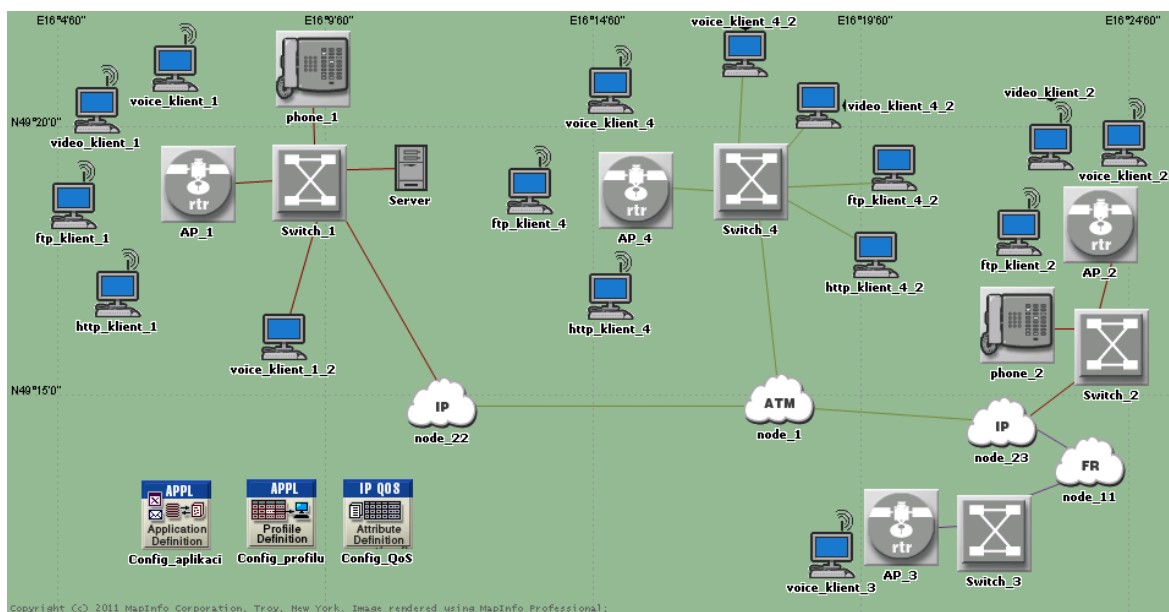


Obr. 3.1 Nabídka komponentů Object Palette

Zvolené objekty se následně musí propojit kabeláží, která se také volí z *Object Palette* viz obr.3.2. Kabeláž typu **10BaseT** se použije na propojení komponentů na **switch\_1** a **switch\_2**, na propojení ATM části sítě se zvolí kabeláž **ATM\_E1** a propojení frame relay sítě se realizuje pomocí kabeláže **FR\_E1**. Celá navržená síť včetně kabeláže je zachycena na obr.3.3.



**Obr. 3.2 Nabídka kabeláže v Object Palette**



Obr. 3.3 Navržená konvergentní síť

### 3.2.1 Konfigurace jednotlivých segmentů sítě

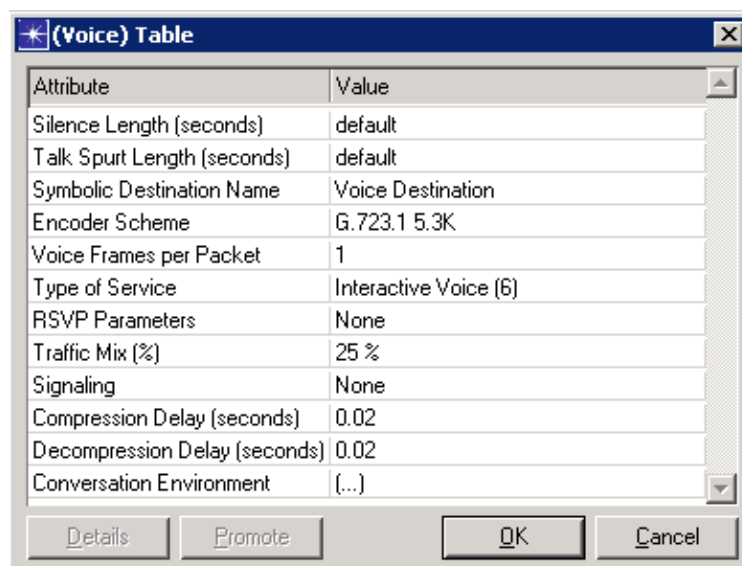
Konfigurace prvků se v OPNETU provádí tak, že se klikne na konfigurovaný prvek pravým tlačítkem myši a zvolí se první položka z menu, tedy **Edit Attributes**. Poté se vždy nastaví jméno daného prvku, což již dále v popisu konfigurací nebudu zmiňovat.

#### Konfigurace Application Config

Tento objekt se v OPNETu používá pro definici aplikací. V **Edit Attributes** se nejprve nastaví kodek hlasu a to v položce **Voice Encoder Schemes**, kde je implicitně nastaveno 30 řádků nastavení. Ponechám pouze jeden s kodekem MP-MLQ, který podporuje kódování G.723.1, které se použije u dalšího nastavení hlasových služeb. Potom se zvolí položka **Application Definition** a zde se nastaví **Numer of Rows** na hodnotu 4, čímž se definuje počet provozovaných aplikací (Voice, Video, FTP a http).

#### Nastavení Voice aplikace

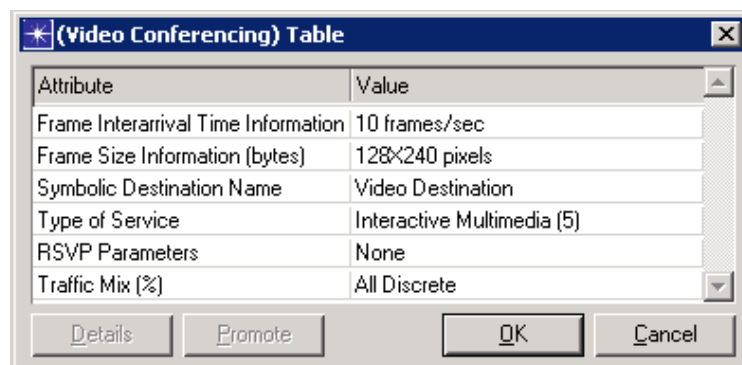
Rozklikne se první z řádků, tedy **Row 0** a do řádku **Name** se vyplní název aplikace. V tomto případě **Voice**. Dále se rozbalí řádek **Description** a vybere se aplikace **Voice**, řádek **Edit** a jednotlivým řádkům se nastaví hodnoty dle obr.3.4.



Obr. 3.4 Nastavení hlasové aplikace

### Nastavení Video aplikace

Tak jako u Voice aplikace se zvolí další řádek **Row 1** a zadá se název aplikace – **Video**. V **Description**→**Edit** se zvolí řádek **Video Conferencing** a vyplní se hodnoty dle obr.3.5.



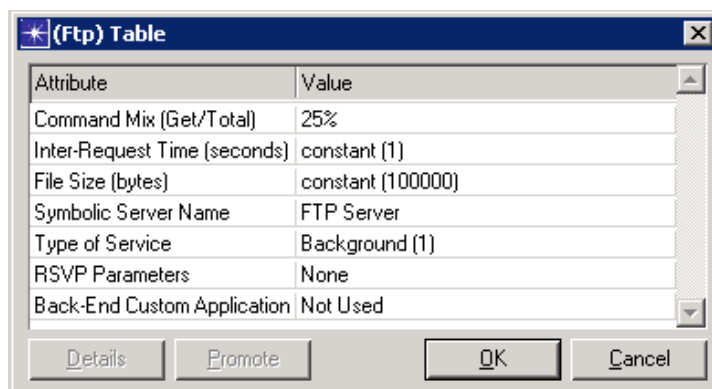
Obr. 3.5 Nastavení aplikace videokonference

### Nastavení FTP aplikace

Zvolí se další řádek **Row 2** a vyplní se název aplikace – **FTP**. V **Description**→**Edit** se vybere řádek **FTP** a hodnoty se nastaví dle obr.3.6.

### Nastavení HTTP aplikace

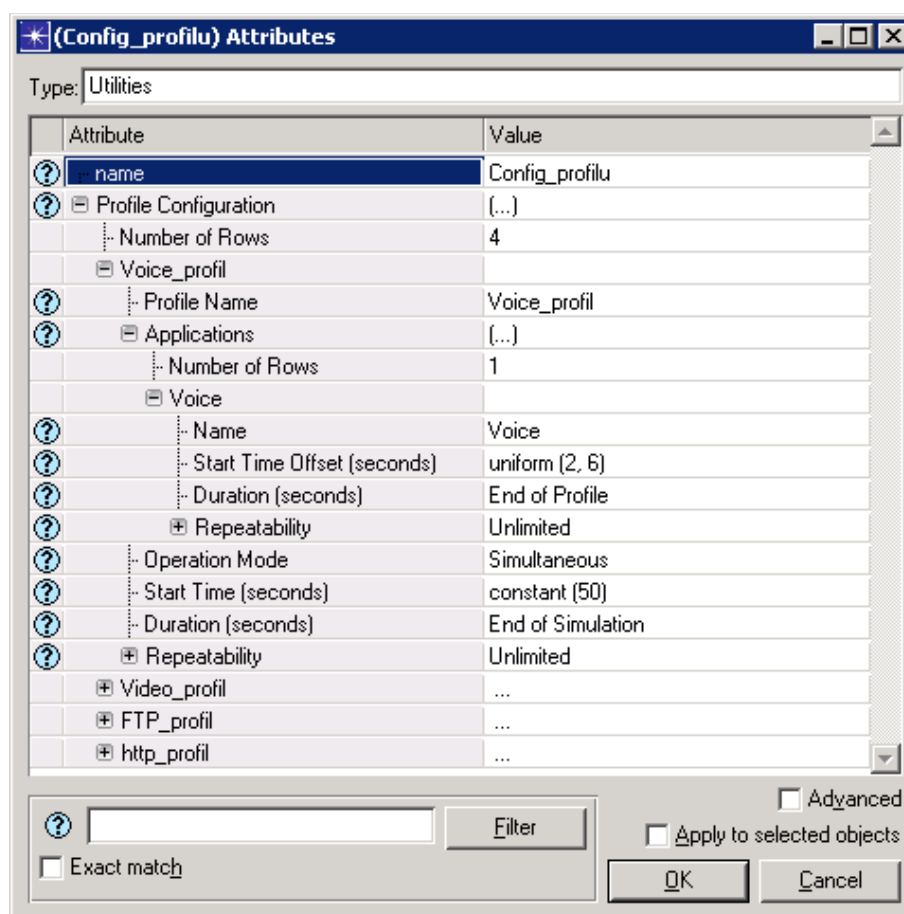
Poslední aplikace se nakonfiguruje stejným postupem jako předešlé, ale při kliku na řádek **HTTP** v **Description**→**Edit** se zvolí možnost **Searching**.



Obr. 3.6 Nastavení FTP aplikace

### Konfigurace Profile Config

Objekt **Profile Config** se používá na definici profilu aplikace. Podobně jako u předešlého configu se rozklikne **Profile Configuration** a nastaví se hodnota **Numer of Rows** na 4. I když je možné, aby jeden profil obsahoval více aplikací, v tomto projektu bude obsahovat vždy jeden profil jednu aplikaci. Na následujícím obr.3.7. je zobrazeno nastavení prvního - Voice profilu.

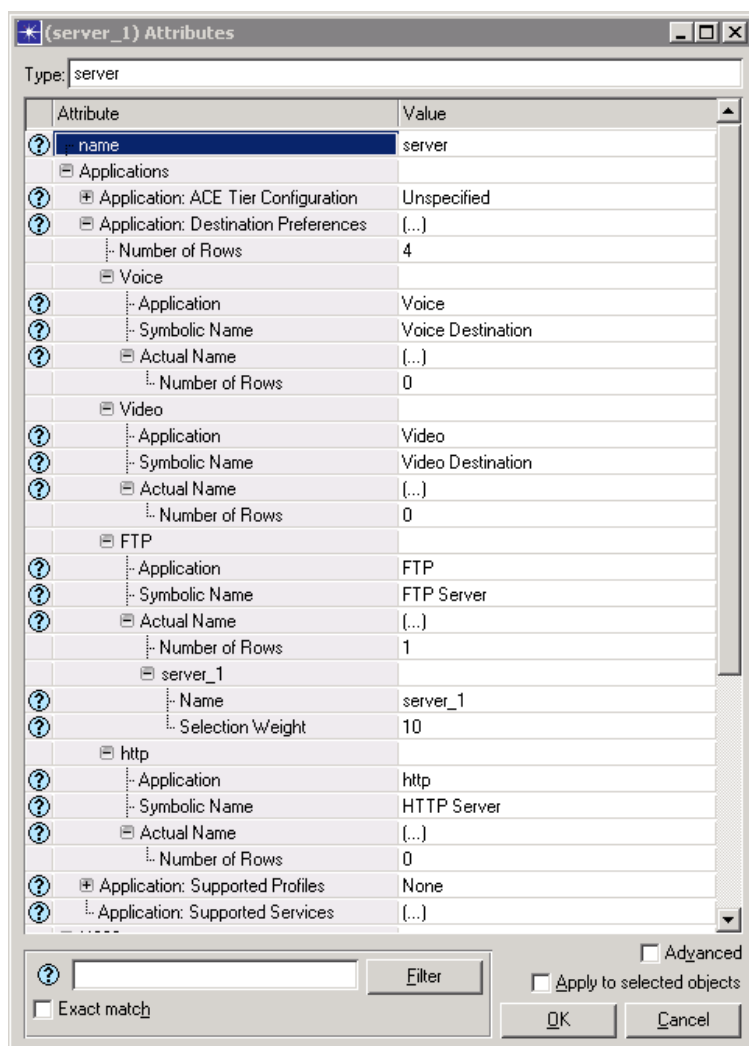


Obr. 3.7 Nastavení Voice profilu

Ostatní profily se nastaví s výjimkou jména a aplikace shodně. Je ještě možné nastavit u každého profilu rozdílný čas začátku provozu aplikace (Start Time (seconds)).

## Konfigurace Serveru

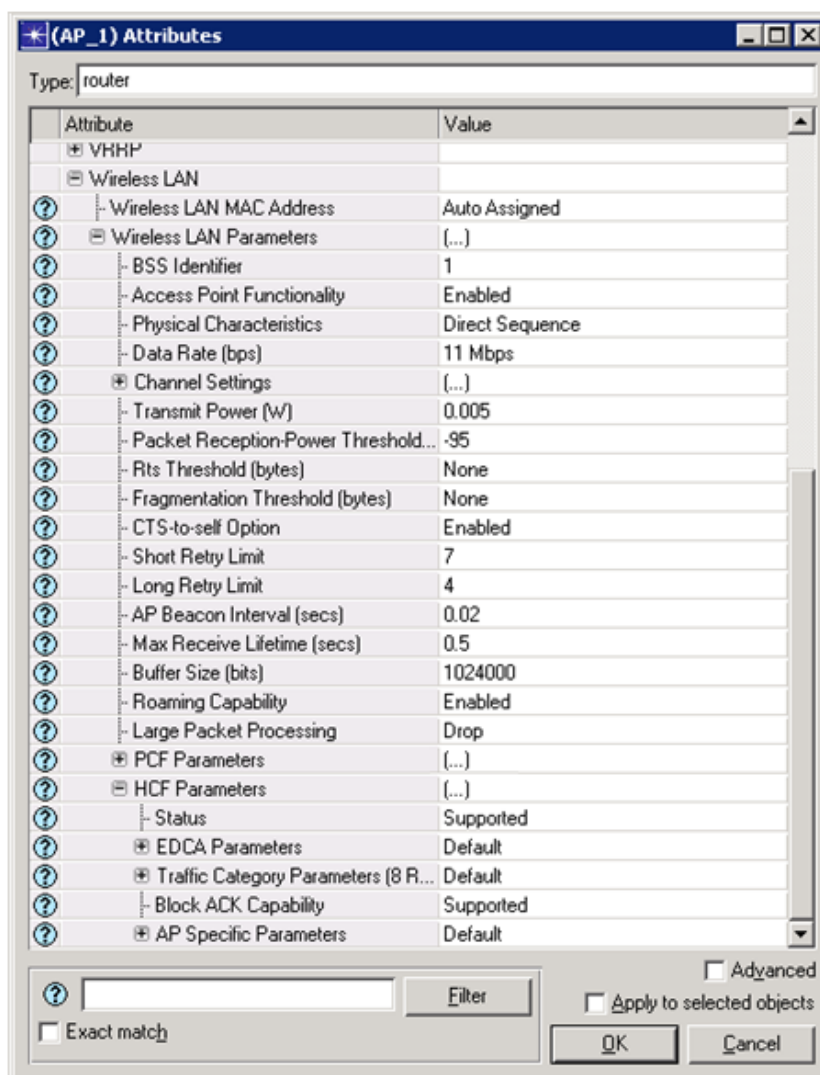
Pravým tlačítkem se klikne na objekt **Server**, zvolí se možnost **Edit Attributes**, rozbalí se možnost **Applications**, kde se zvolí další položka **Applications : Destination Preferences**. Zde bude potřeba opět nastavit **Numer of Rows** na hodnotu 4 a jednotlivé řádky **Application** a **Symbolic Name** dle příslušné aplikace viz obr.3.8. Dále klikneme na položku **Application : Supported Services**→**Edit** a otevře se nové okno. Vlevo dole nastavíme políčko **Rows** na 4, zobrazí se 4 řádky. Po kliku do levé části řádku se rozbalí možnosti všech čtyřech aplikací. Do každého řádku se vyplní jedna aplikace, přitom v pravé části řádku musí být nastavena možnost **Supported**. Nakonec se ještě doplní do položky **Server Address** adresa **server**, aby bylo možné navazovat klienty spojení se serverem.



Obr. 3.8 Nastavení serveru

## Konfigurace přístupových bodů

Navrhovaná síť obsahuje čtyři přístupové body, které jsou pojmenovány AP\_1 až AP\_4. AP\_1 a AP\_2 jsou bezdrátové přístupové body v IP síti, AP\_3 je umístěn v síti Frame Relay a AP\_4 je součástí ATM sítě. Podobně jednoduše byly zvoleny BSS identifikátory (1 – 4), které se nastaví také na příslušných bezdrátových stanicích, které pak komunikují s příslušným AP. Samotné nastavení AP se provede následovně: **Edit Attributes**→**Wireless LAN**→**Wireless LAN parameters**, zde se nastaví již zmiňovaný identifikátor BSS, také se zvýší oproti původně nastavené hodnotě prostor paměti. Následně se zvolí položka **PCF Parameters**, kde se původně nastavená hodnota **PCF Parameters** změní z **Disabled** na **Enabled**, čímž je zajištěna podpora PCF protokolu. Nakonec se nastaví stejným způsobem jako u PCF **HCF Parameters**, kde se místo původně nastavené hodnoty **Statusu** zvolí možnost **Supported**. Nakonfigurovaný přístupový bod zobrazuje obr.3.9.



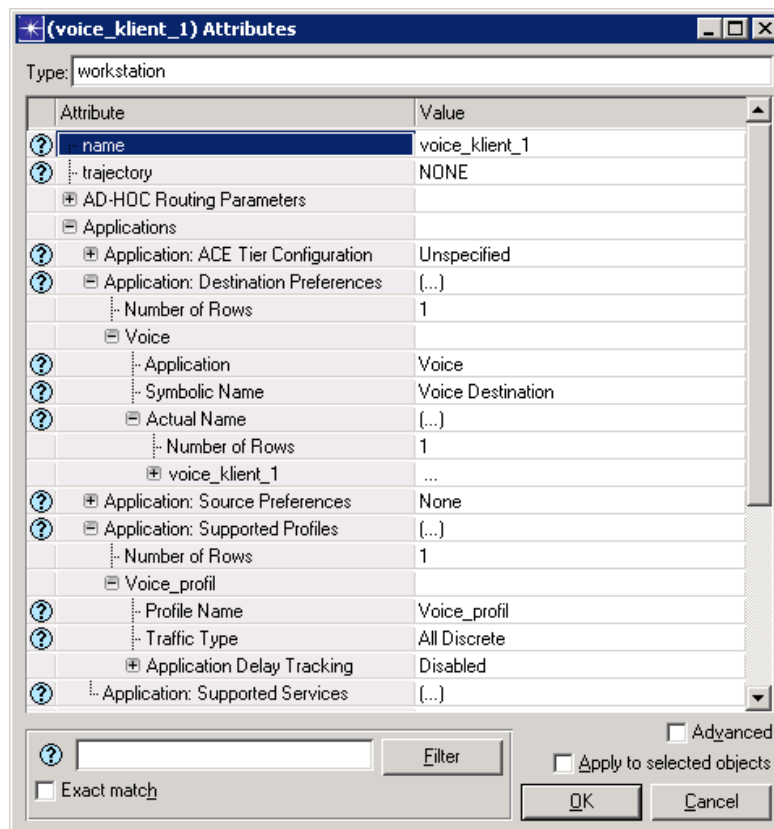
Obr. 3.9 Nastavení WiFi parametrů přístupového bodu

## Konfigurace klientů

U všech bezdrátových stanic se v první řadě nastaví BSS identifikátor podle příslušného přístupového bodu, v jehož prostoru se daná stanice nachází. Nastavení je identické s přístupovými body: **Edit Attributes**→**Wireless LAN**→**Wireless LAN parameters** a zde se nastaví položky **BSS Identifier**, **Buffer Size (bits)** a **HCF Parameters**→**Status**.

## Nastavení hlasového klienta

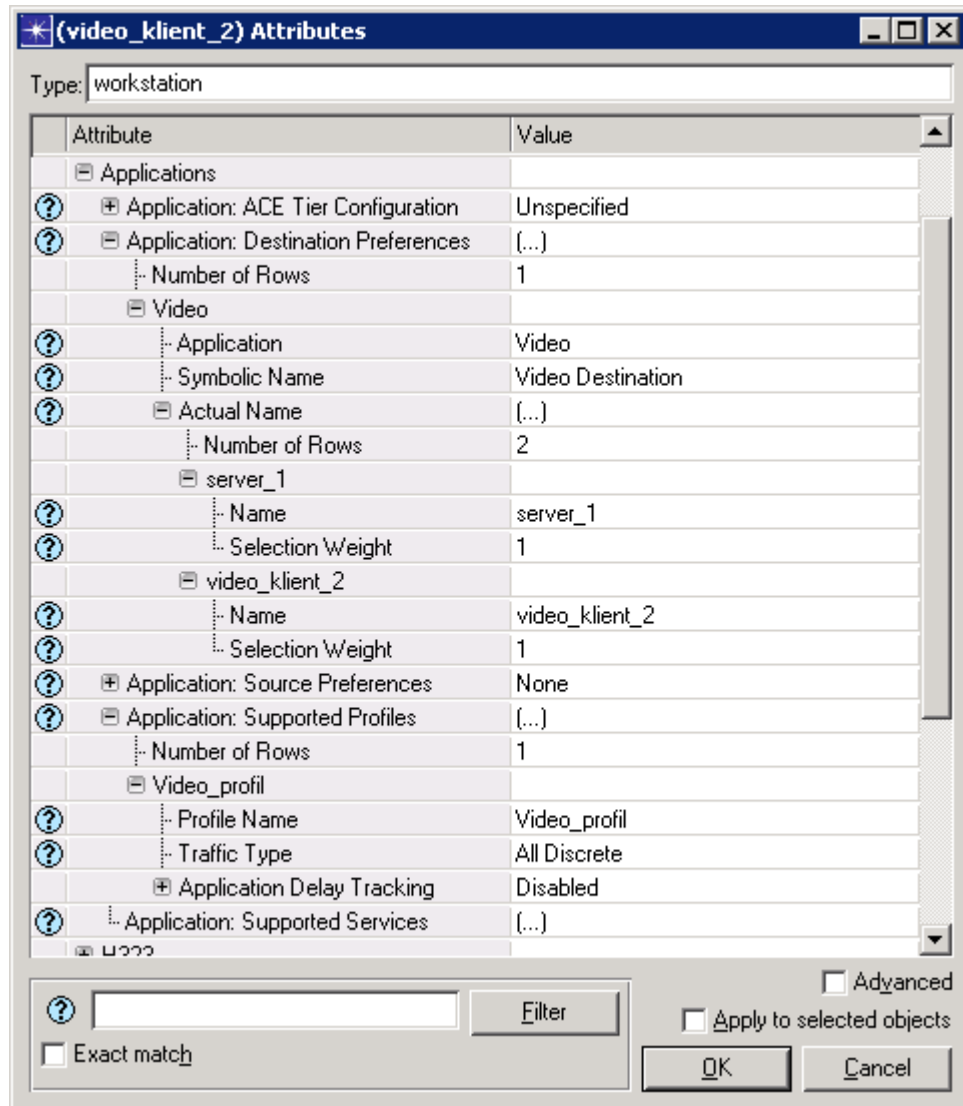
Pravým tlačítkem se klikne na stanici **voice\_klient**, zvolí se možnost **Edit Attributes**→**Applications**→**Applications : Destination Preferences**. Zde bude potřeba nastavit **Numer of Rows** na hodnotu 1, čímž se vytvoří nový řádek. Po jeho výběru se vybere z nabízených možností **Application**→**Voice**, **Symbolic Name**→**Voice Destination** a **Actual Name**→**Numer of Rows**→**1**. Následuje nastavení podporovaného profilu: **Application : Supported Profiles**→**Numer of Rows**→**1** a pak **Profile Name**→**Voice\_profil**. Dále klikneme na položku **Application : Supported Services**→**Edit** a otevře se nové okno. Vlevo dole se nastaví políčko **Rows** na 1, zobrazí se řádek. Stejně jako u nastavení serveru se nastaví i zde podporovaná aplikace, tedy **Voice**. Na následujícím obr.3.10. je detailní nastavení hlasového klienta.



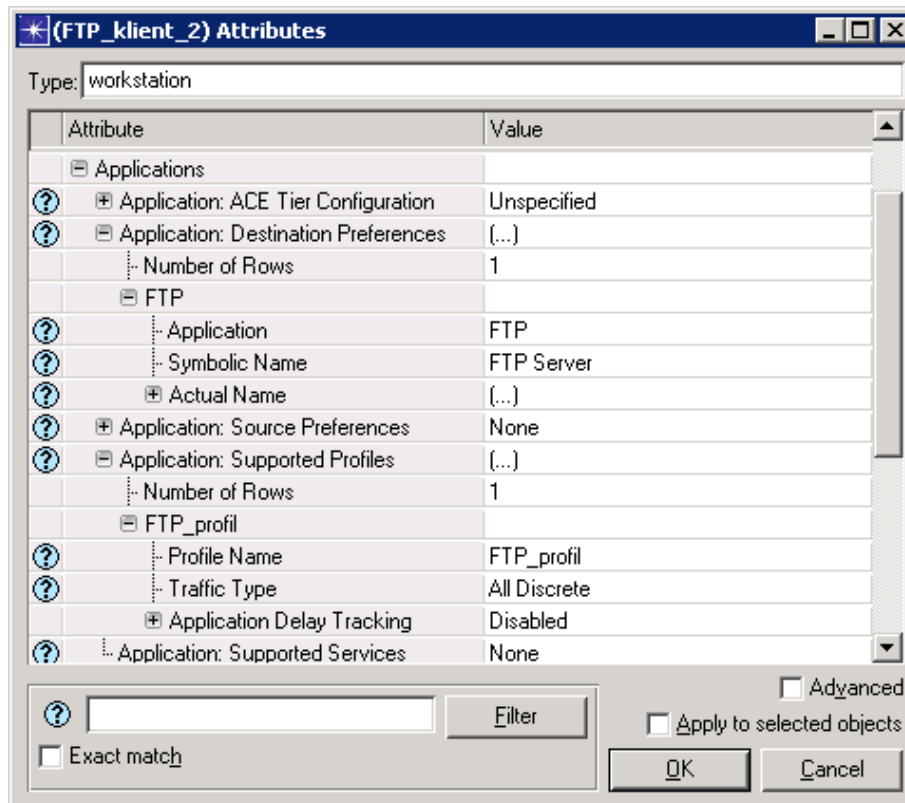
Obr. 3.10 Nastavení hlasového klienta

## Nastavení ostatních klientů

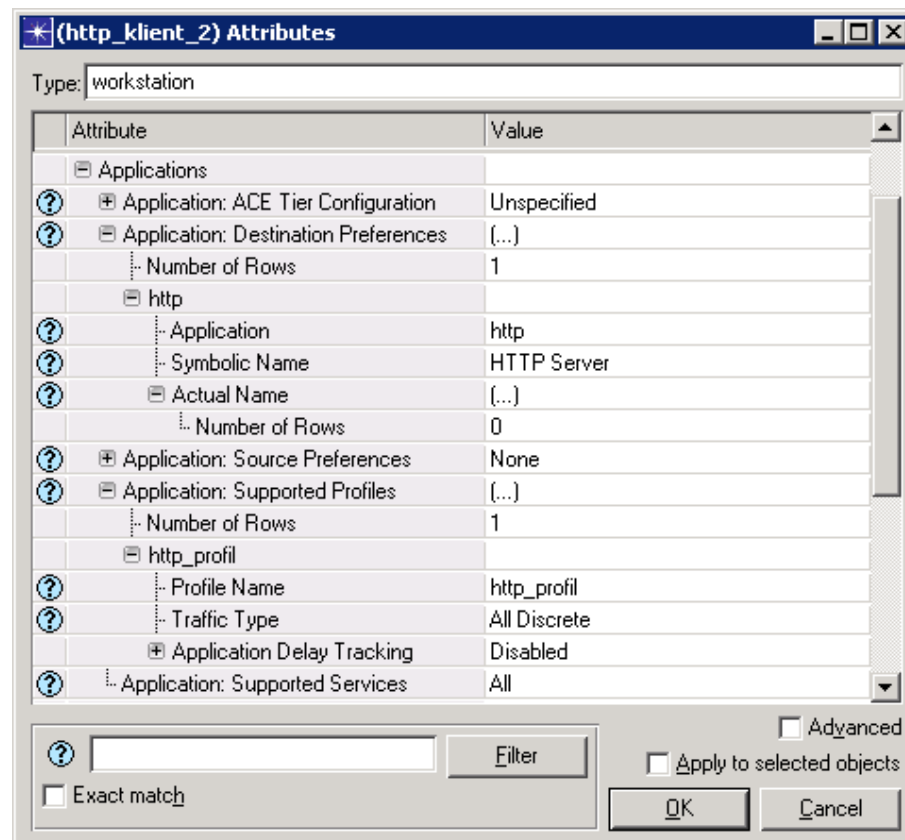
Nastavení klientů, na nichž běží jiný než hlasový provoz, je velice podobné. Detailně je zachyceno na následujících obrázcích. Obr.3.11. zachycuje nastavení klienta, na němž je provozována videokonference, obr.3.12. FTP klienta a obr.3.13. HTTP klienta.



Obr. 3.11 Nastavení klienta videokonference



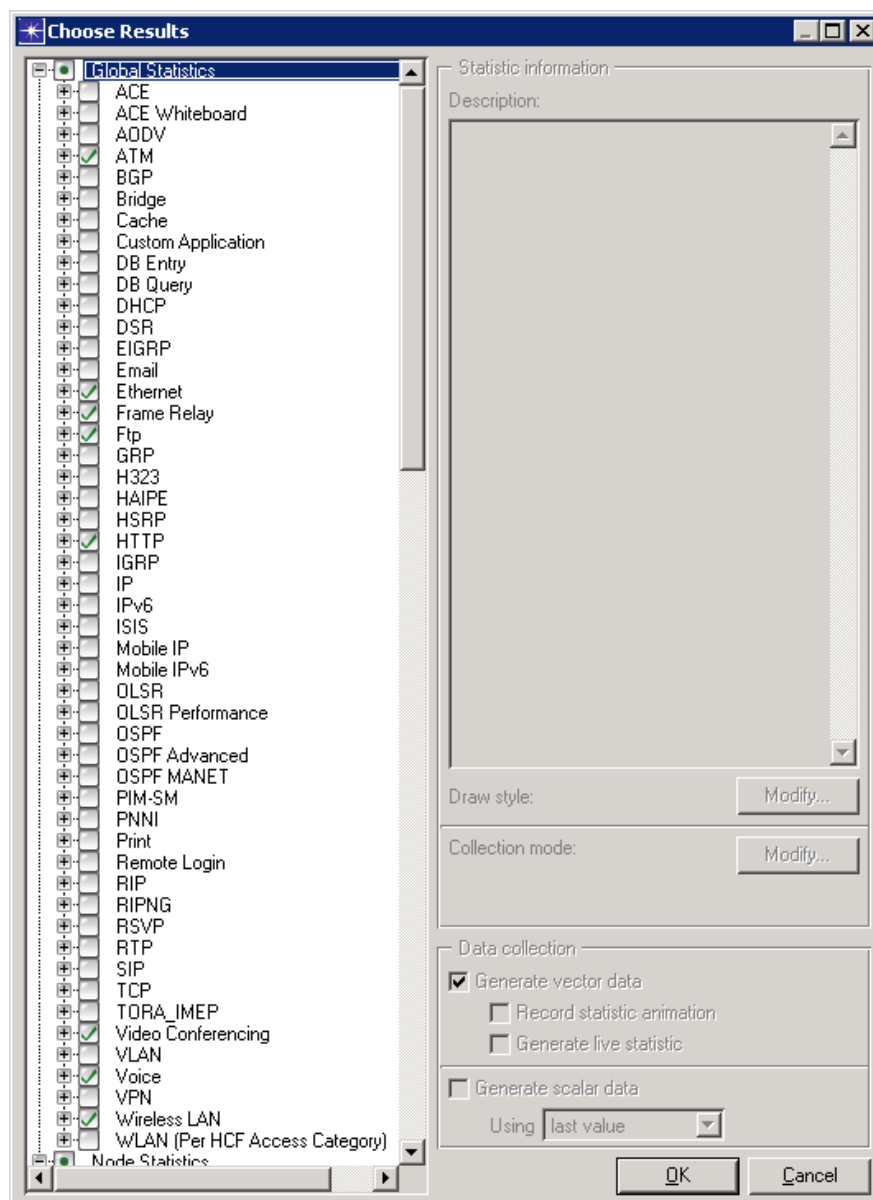
Obr. 3.12 Nastavení FTP klienta



Obr. 3.13 Nastavení HTTP klienta


### 3.2.2 Nastavení sledovaných parametrů

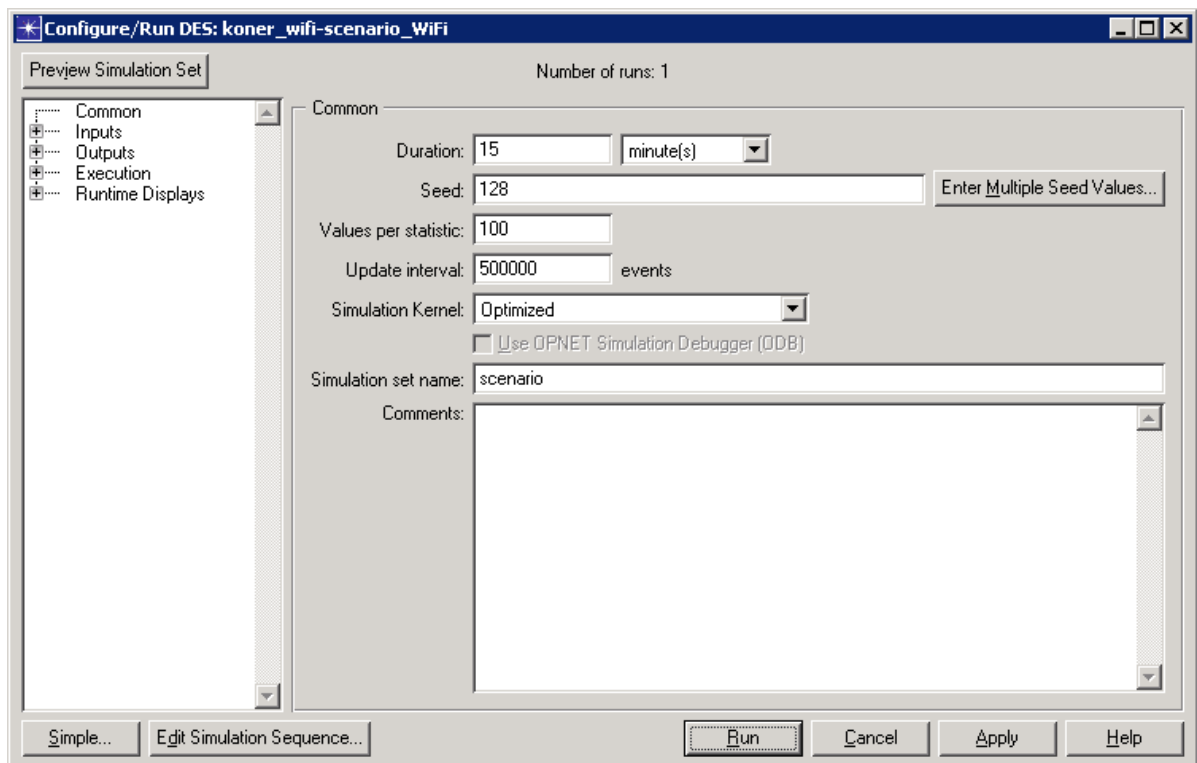
Nastavení parametrů, které budou během simulace sledovány, vyneseny do grafů a vyhodnocovány se provede následovně. Do volného prostoru mapy se klikne pravým tlačítkem myši a z menu, které se zobrazí se zvolí možnost **Choose Individual DES Statistic**. Ve zobrazeném okně **Choose Result** se rozklikne skupina parametrů **Global Statistics** a z ní jsou vybrány provozované typy aplikací **Ftp**, **Http**, **Voice** a **Video Conferencing**, dále pak použité technologie **ATM**, **Ethernet**, **Frame Relay** a **Wireless LAN**. Z druhé skupiny **Node Statistics** jsou označeny položky **Client Ftp**, **Client Http**, **Server Ftp**, **Server Http**, **Switch**, **Switch Output Port**, **Video Conferencing**, **Voice Application** a **Wireless Lan**. Výběr parametrů lze provést i pro každý prvek sítě zvlášť.



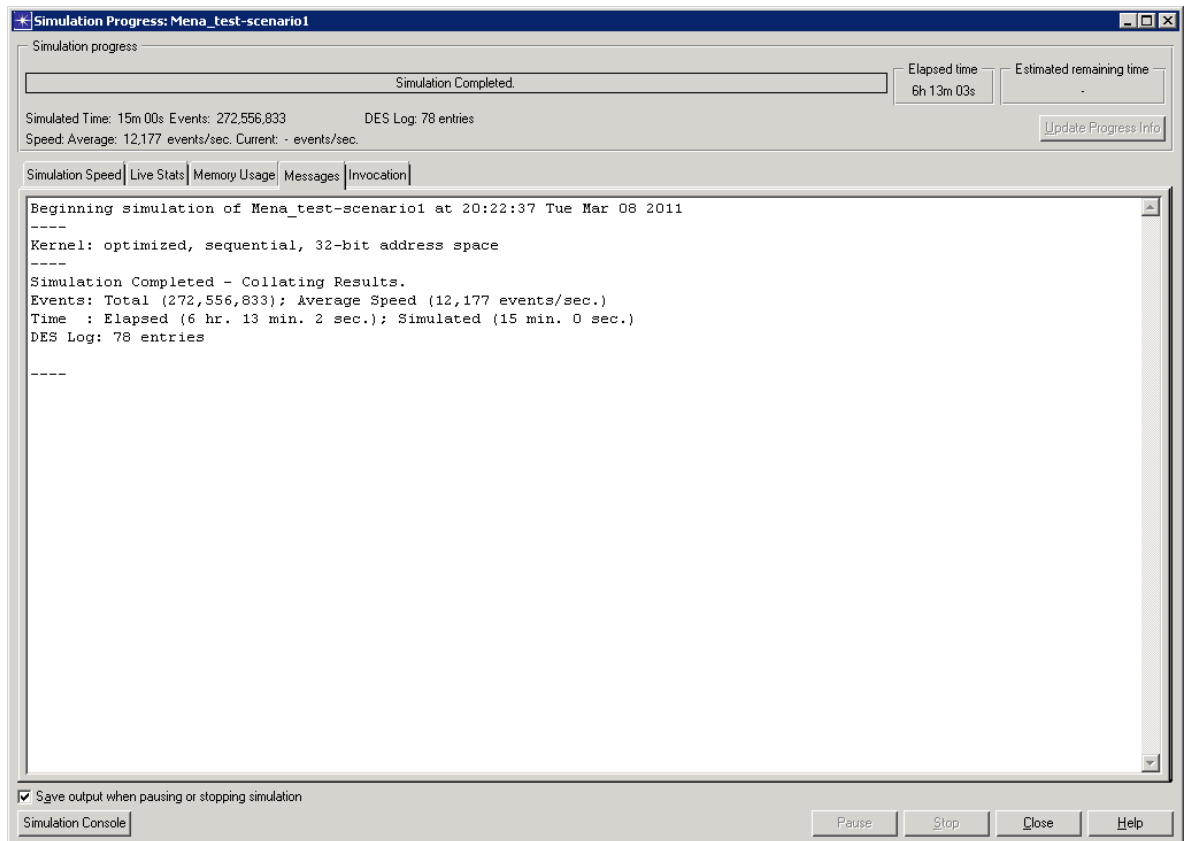
Obr. 3.14 Volba sledovaných parametrů

### 3.3 SIMULACE

Tlačítkem  se otevře vstupní formulář **Configure/Run DES** pro zadání základních kritérií simulace. Pro dobu simulace **Duration** byla zvolena hodnota **15 minute(s)**. Počet uložených hodnot z každé statistiky **Value per statistic** se nastaví na hodnotu **1000** a u parametru určujícího po kolika událostech je aktualizována křivka událostí **Update interval** se nechá přednastavená hodnota 500000. Nastavení **Configure/Run DES** je zachyceno na obr.3.15. Simulace je pak spuštěna tlačítkem **RUN**. V okně **Simulation Progress** je vyobrazován průběh simulace a následně po dokončení simulace jsou zde uvedeny informace o jejím průběhu viz obr.3.16. Běh simulace se dá pozastavit, nebo zrušit. Po proběhnutí simulace se **Simulation Progress** uzavře tlačítkem **Close**. A v okně **Results Browser** jsou k dispozici grafy - výsledky simulace zvolených parametrů.



Obr. 3.15 Nastavení parametrů simulace



Obr. 3.16 Konec simulace

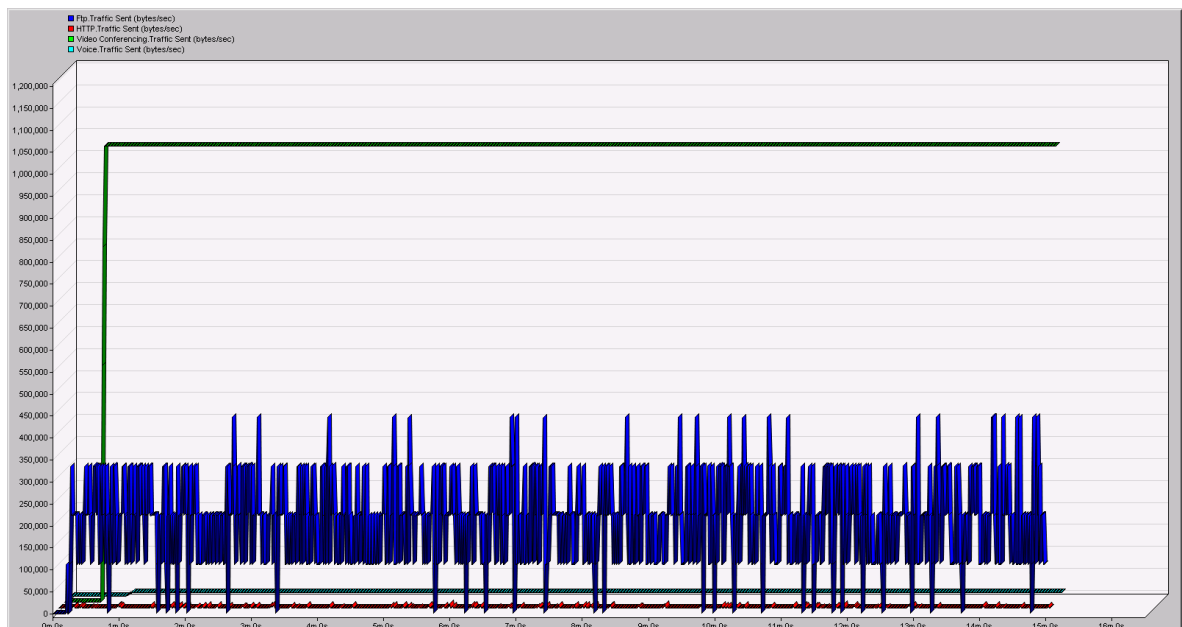
V případě, že potřebujeme srovnávat výsledky simulace více scénářů, provedeme to následovně. Vyvoláme okno **View Results**, kde se změní hodnota položky **Result for** na **Current Project**. Aby se zobrazovaly výsledky do jednoho grafu, změní se ještě hodnota položky **Presentation** z **Stacked Statistics** na **Overlaid Statistic**.

## 4 HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ SIMULACE A OPTIMALIZACE SÍŤE

Jako důležité parametry, které budou dále blíže rozebrány, jsem zvolil u jednotlivých aplikací jejich propustnost, objem přenášených dat a zpoždění. Dále pak propustnost některých síťových uzlů, přepínačů a přístupových bodů AP.

### 4.1 PROPUSTNOST APLIKACÍ

Na obr.4.1 je graf znázorňující propustnost provozovaných aplikací v síti s podporou QoS. Http aplikace se spouští v čase nula, FTP v čase 10s po spuštění simulace, videokonference začne probíhat v čase 30s a hlasový přenos startuje v čase 50s. Spuštění jednotlivých aplikací je z obrázku zřetelné, stejně jako rychlosti přenášených dat, tedy i množství dat vztahující se k jednotlivým aplikacím. Protože je síť nastavena s podporou QoS, spuštění jednotlivých aplikací navzájem průběh aplikací ostatních takřka neovlivní. Jednotlivé aplikace mají přiděleny priority následovně: nejvyšší priorita je přidělena hlasové aplikaci, dále v pořadí jsou videokonference, FTP aplikace a nejnižší prioritu má http aplikace.



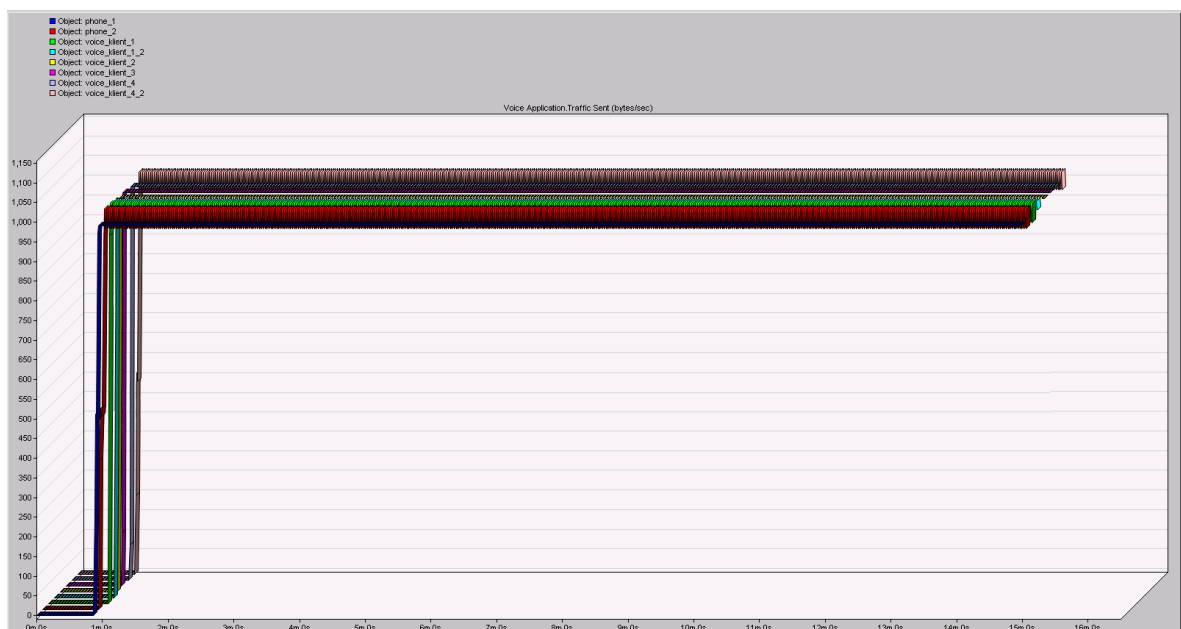
Obr. 4.1 Propustnost aplikací

## 4.2 HLASOVÁ APLIKACE

Protože hlasové aplikaci jsou v rámci QoS nastaveny největší priority provozu měly by měřené parametry dosahovat uspokojivých hodnot. Srovnám výsledné hodnoty některých parametrů, jako jsou objem odeslaných a přijatých dat, zpoždění a jitter, na všech pracovních stanicích, na nichž byl simulován provoz hlasové aplikace.

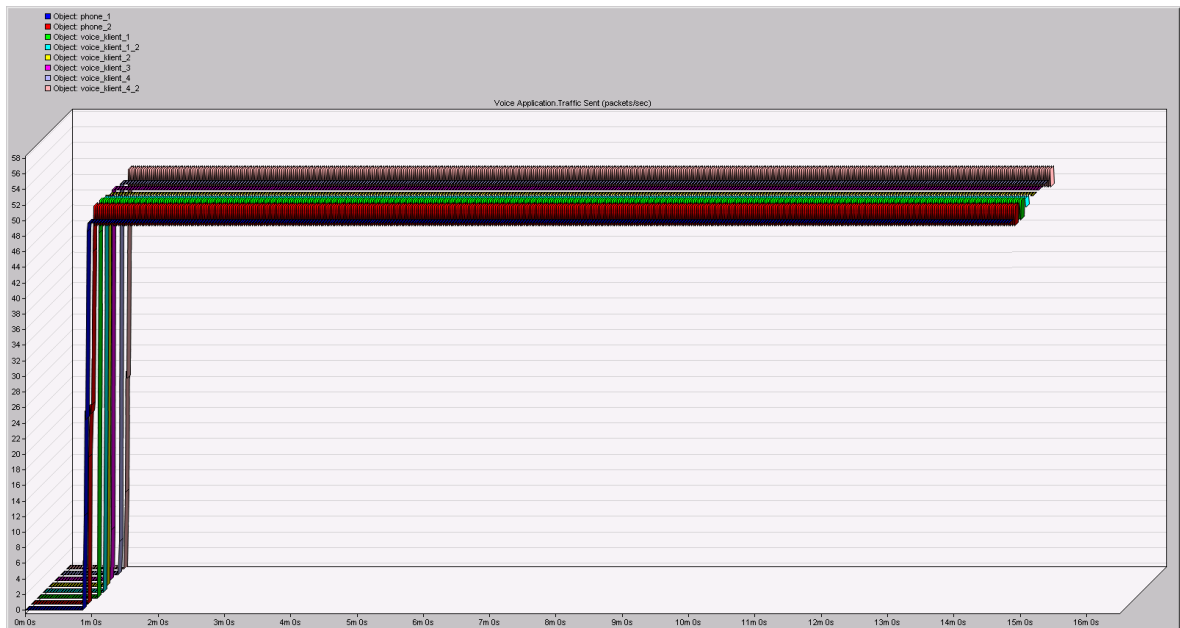
### 4.2.1 Objem a rychlost přenášených dat

Jak je patrné z následujícího obr. 4.2 všechny stanice, na kterých je provozována hlasová aplikace, vysílají rychlostí  $1\text{ kB}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při odesílání dat hlasové aplikace při nastaveném QoS byl provoz odbavován s konstantní rychlostí.



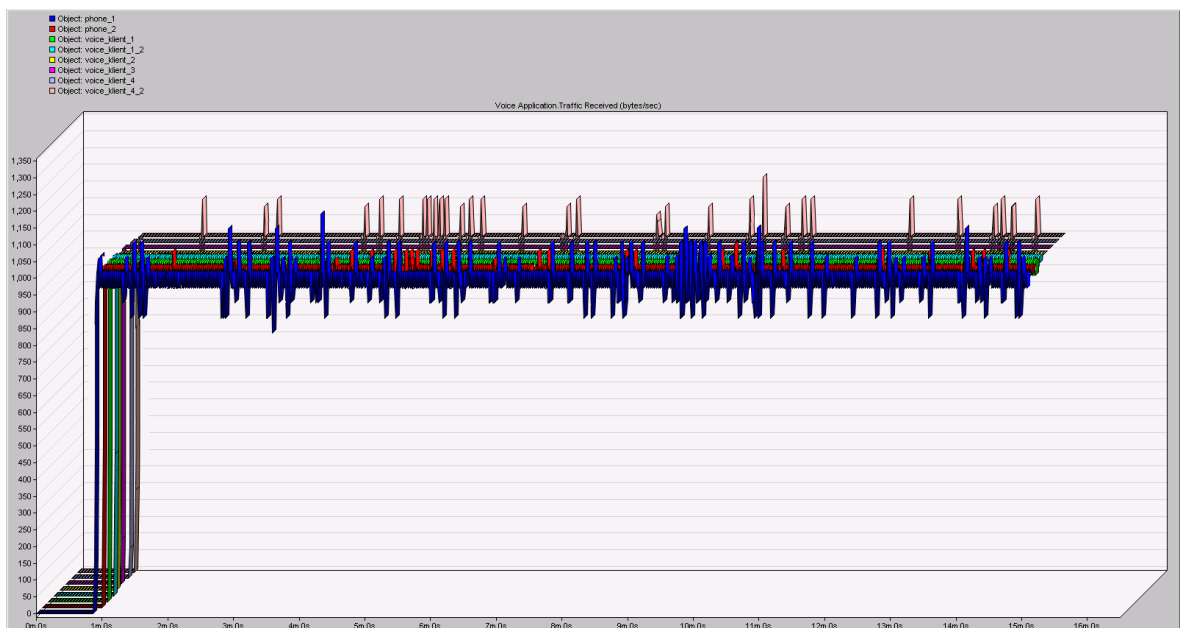
Obr. 4.2 Rychlost vysílaných dat –  $\text{B}\cdot\text{s}^{-1}$

Podobně pak zachycuje graf na obr. 4.3 rychlost přenosu dat v paketech. $\cdot\text{s}^{-1}$ .

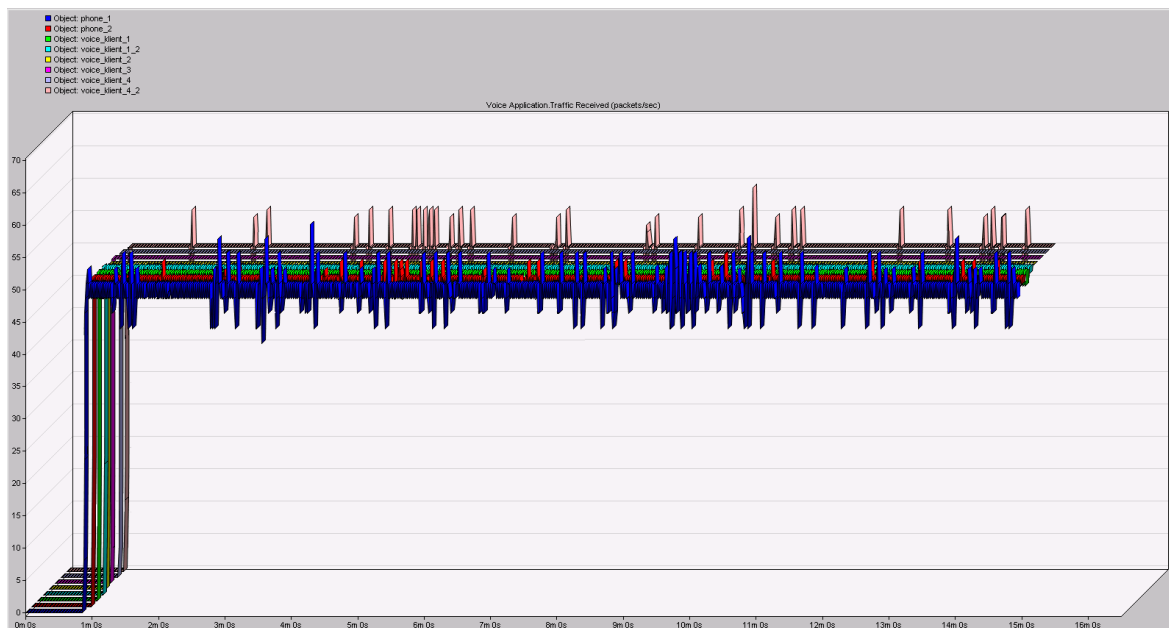


**Obr. 4.3 Rychlost vysílaných dat – paket.s<sup>-1</sup>**

Na dalších dvou obrázcích, tedy na obr. 4.4 a obr. 4.5 jsou zachyceny grafy zobrazující rychlost datového provozu směrem ke stanicím. Stejně jako v předchozím případě jeden graf vyjadřuje rychlost přenosu v kB.s<sup>-1</sup> a druhý v paketech.s<sup>-1</sup>. V tomto případě u některých stanic můžeme sledovat kolísání rychlosti přenosu dat, ke kterému dochází v závislosti na propustnosti sítě. K nejvýraznějšímu kolísání potom dochází u IP telefonů phone\_1 a phone\_2, dále pak u stanice voice\_klient\_4\_2.



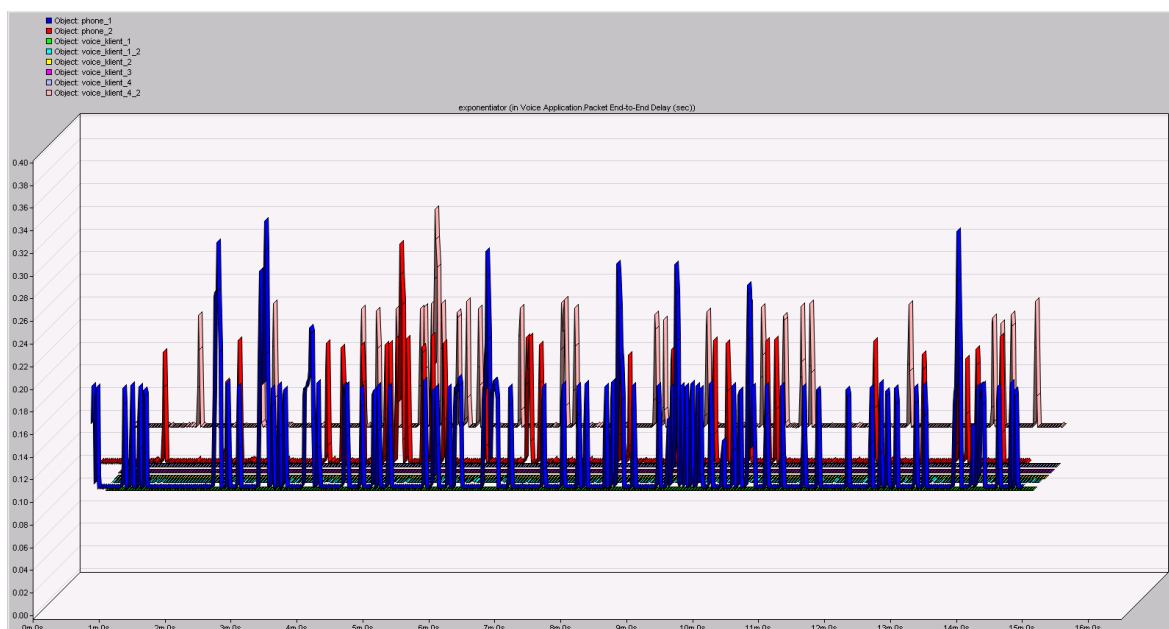
**Obr. 4.4 Rychlost přijímaných dat – B.s<sup>-1</sup>**



Obr. 4.5 Rychlost přijímaných dat –  $\text{paket.s}^{-1}$

#### 4.2.2 Zpoždění

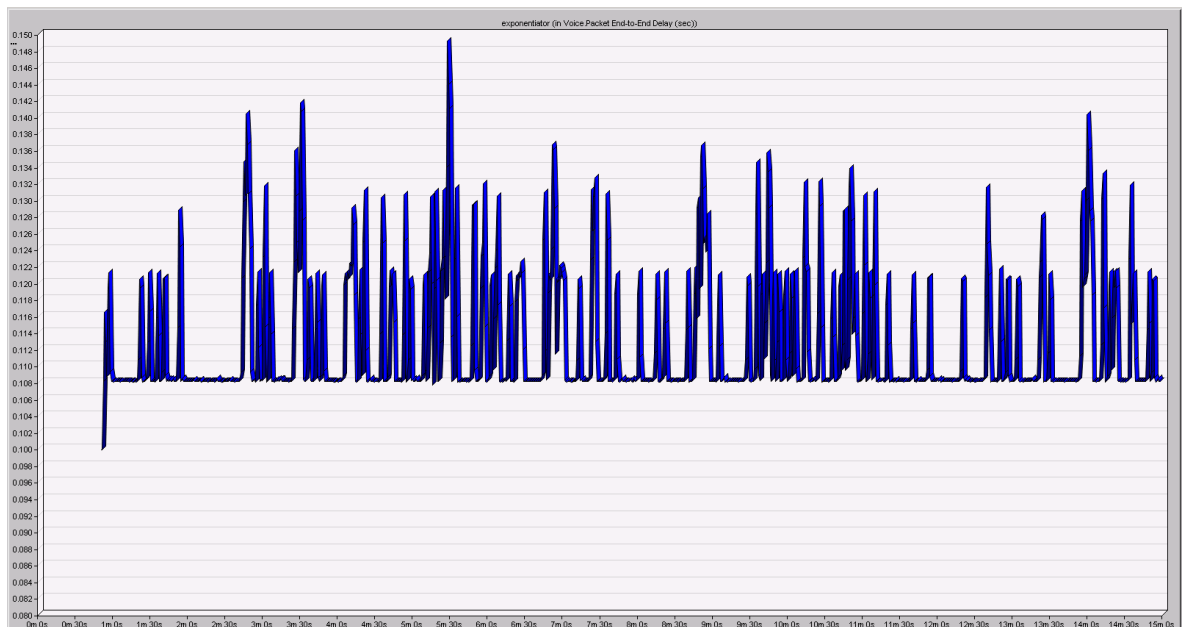
Následující obr. 4.6 zachycuje graf, na kterém jsou vykresleny křivky zpoždění hlasové aplikace, provozované na jednotlivých stanicích.



Obr. 4.6 Zpoždění provozu hlasové aplikace všech stanic

Zpoždění hlasové aplikace na příslušných pracovních stanicích je většinou stabilní a dosahuje hodnot kolem 100 ms, což je v případě hlasové aplikace uspokojivá hodnota.

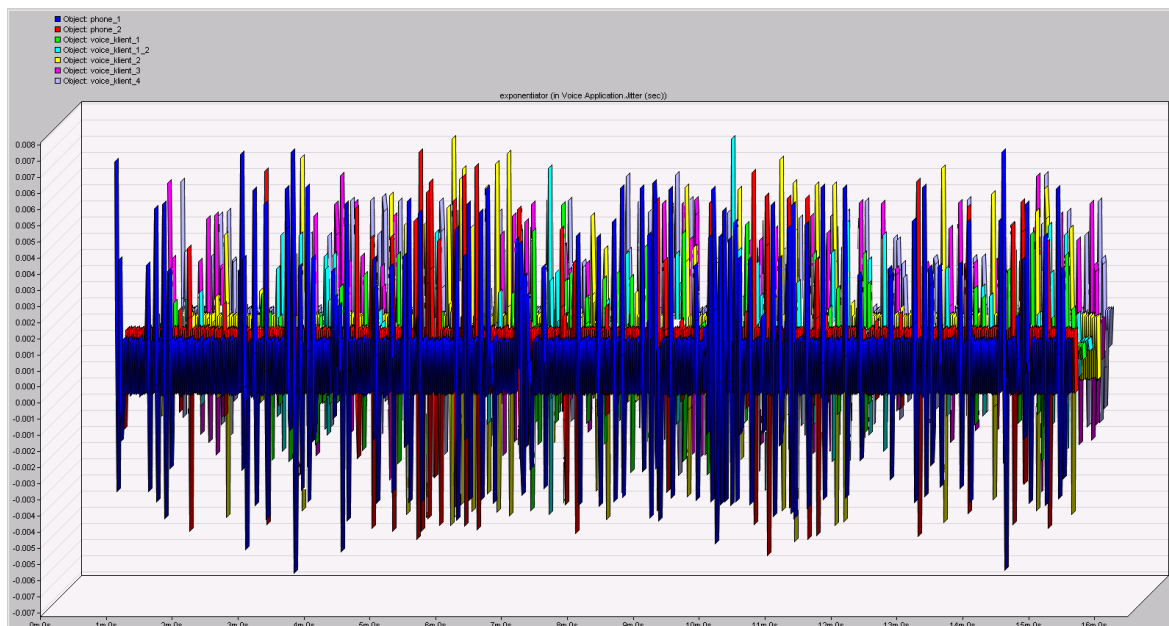
Výjimkou je ovšem zpoždění na třech již zmíněných stanicích, a sice obou IP telefonů a stanice voice\_klient\_4\_2. Nejvíce výkyvů zaznamenává zpoždění na grafu u IP telefonu phone\_1. Naprostá většina nárůstů zpoždění nedosahuje hodnot vyšších než 250 ms, což by mělo být v reálném provozu ještě pro srozumitelnost hovoru a korektní průběh hlasové aplikace akceptovatelné. Vyšší jednorázový výkyv zpoždění je zaznamenán u stanic Phone\_2 a voice\_klient\_4\_2 pouze jednou ale u IP telefonu Phone\_1 sedmkrát během celé simulace hovoru, trvajících necelých 15 minut. Nicméně srozumitelnost hlasu právě během výkyvu zpoždění může být více či méně zhoršená, čemuž se budu věnovat v další kapitole. Na dalším obr.4.7 můžeme potom pozorovat globální end-to-end zpoždění hlasové aplikace.



**Obr. 4.7 Globální zpoždění provozu hlasové aplikace**

### 4.2.3 Jiter

Výskyt jitteru má negativní vliv na echo. Hodnota jitteru je tedy stejně jako hodnota zpoždění velice důležitý faktor pro kvalitu hlasové komunikace a v ideálním případě by měl být takřka nulový, nicméně v reálných podmínkách by neměl správně překračovat hodnoty  $\pm 50$  ms, které jsou na hranici tolerance. Graf na obr.4.8. není sice perfektně přehledný pro odečítání hodnot jitteru pro každou jednotlivou hlasovou stanicí, nicméně se v něm můžeme přesvědčit, že v našem případě jitter dosahuje hodnot maximálně  $\pm 7$  ms.



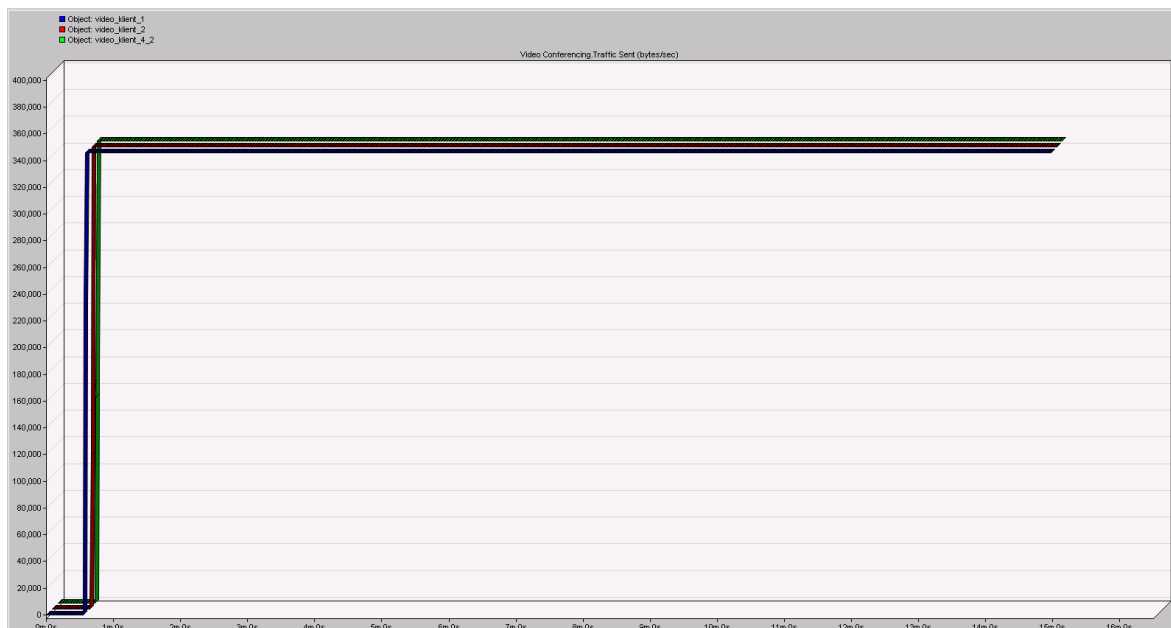
**Obr. 4.8 Jitter na všech hlasových stanicích**

## 4.3 VIDEOKONFERENCE

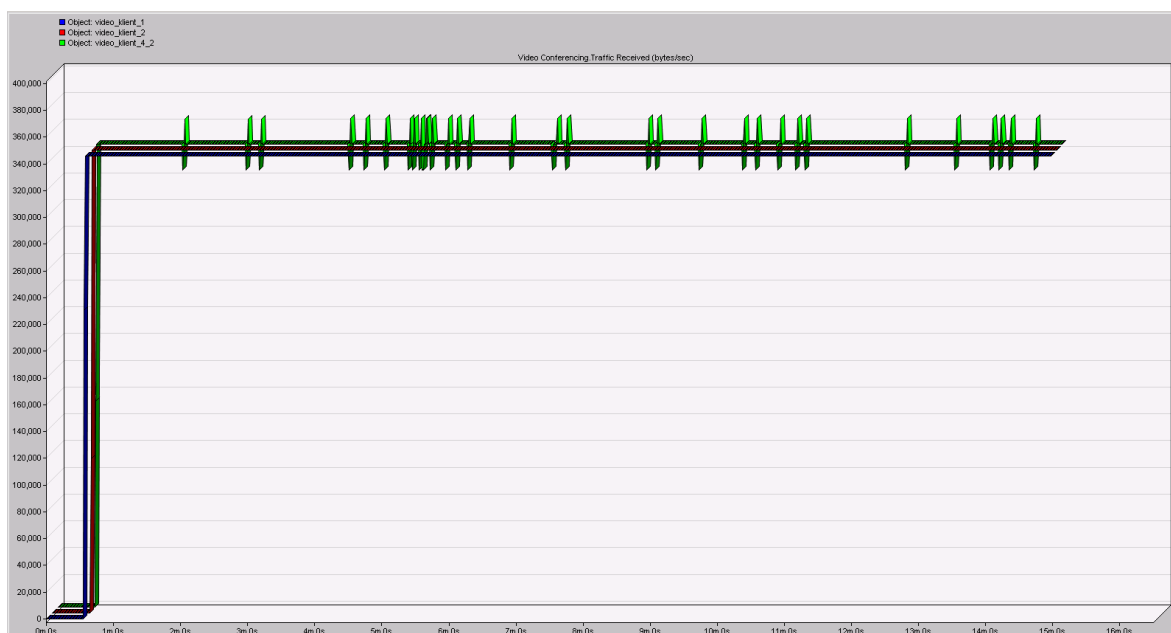
Také u stanic, na nichž je provozována videokonference, uvedu parametry jako jsou přenos dat a zpoždění.

### 4.3.1 Rychlost přenášených dat

Z grafů na obr. 4.9 a 4.10 zřetelně vyplývá, že stanice video\_klient\_1, video\_klient\_2 i video\_klient\_4\_2 vysílají i přijímají data rychlostí  $340 \text{ kB} \cdot \text{s}^{-1}$ . U stanice video\_klient\_4\_2 je vidět, že rychlost přenosu odesílaných dat oproti ostatním stanicím několikrát během simulace zakolísá. Tato stanice je umístěna v ATM části sítě, která pracuje na principu přepojování paketů respektive buněk o pevné délce (53 bytů). ATM je technologie orientovaná na spojení, ve kterém se spojení mezi koncovými body vytváří ještě před začátkem výměny dat. Právě tyto důvody spolu se zatížením provozem připisují tomuto kolísání.



Obr. 4.9 Rychlost vysílaných dat –  $B \cdot s^{-1}$

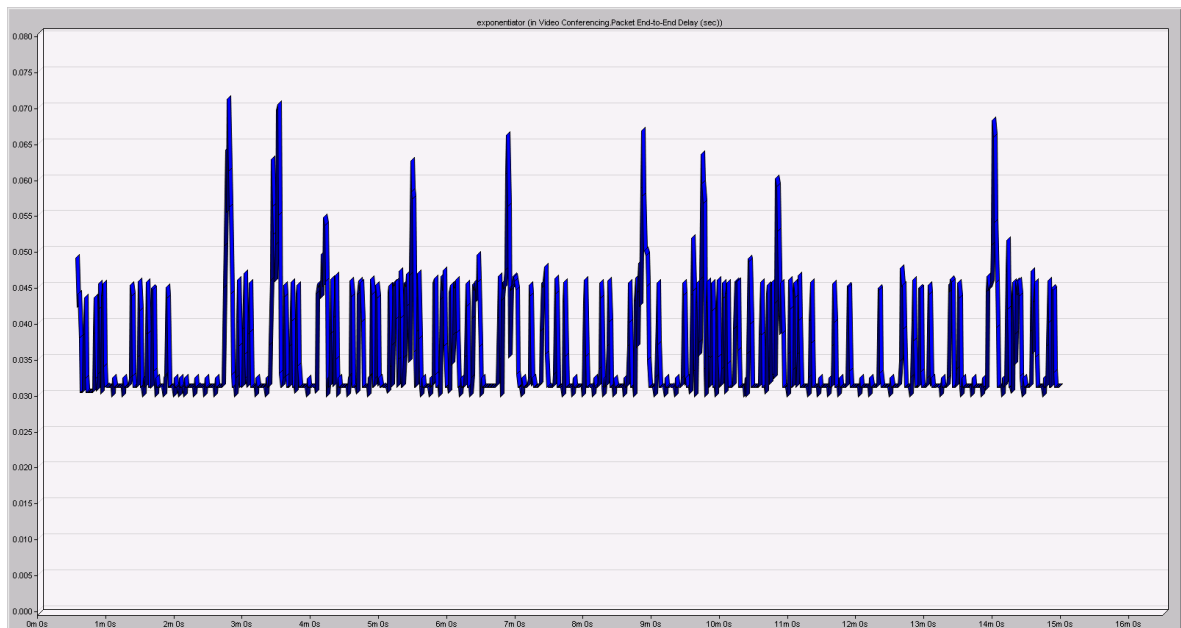


Obr. 4.10 Rychlost přijímaných dat –  $B \cdot s^{-1}$

### 4.3.2 Zpoždění

Běžně se pro provoz videokonference se zachováním dobré kvality komunikace doporučuje nepřekročit hranici 100 ms. Z grafu potom můžeme vyčíst maximální

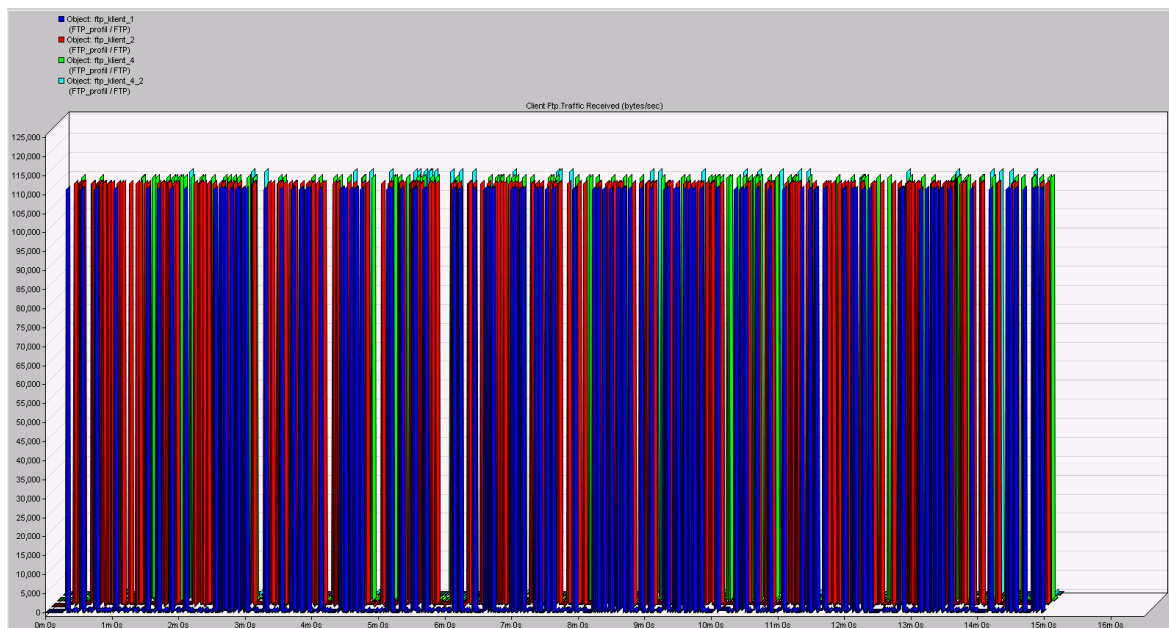
dosaženou hodnotu zpoždění 71 ms, takže videokonference z pohledu kvality probíhá korektně a srozumitelně.



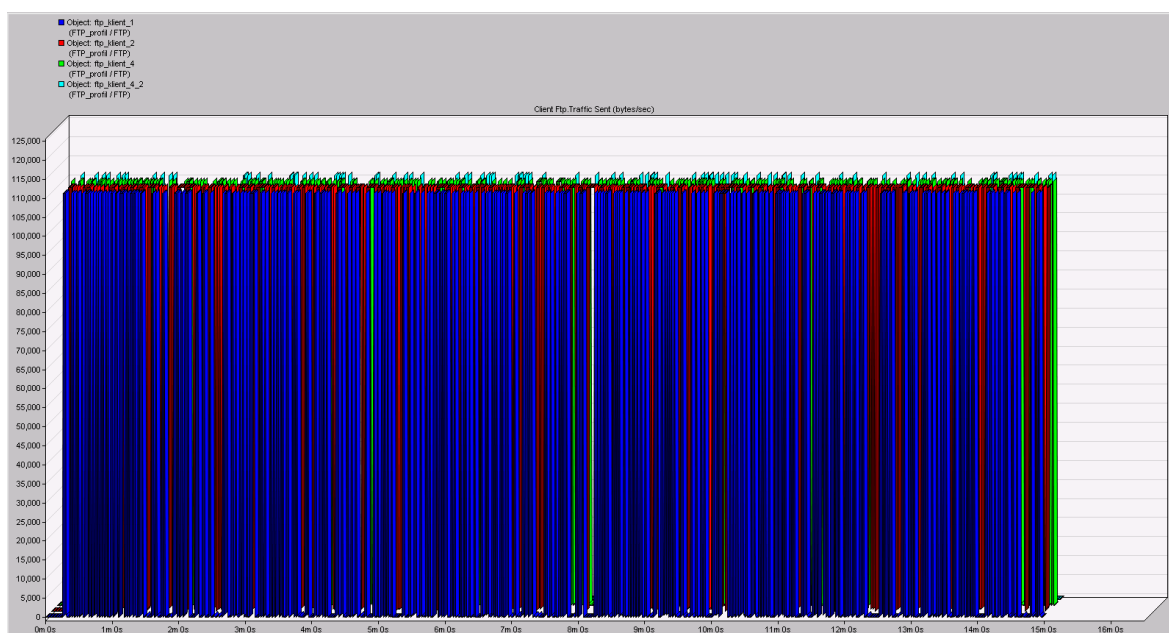
Obr. 4.11 Zpoždění videokonference v s

#### 4.4 FTP APLIKACE

V síti je umístěn a nakonfigurován server, který zastává mimo jiné i úlohu FTP serveru. Právě mezi tímto serverem a FTP stanicemi probíhají FTP přenosy, jejichž průběhy vidíme na následujících dvou grafech viz obr.4.12 a obr.4.13. Na prvním z nich jsou zaneseny křivky FTP přenosu směrem od serveru ke stanicím a na druhém obrázku je potom zachycen FTP provoz opačného směru. Z grafů je na první pohled patrné, že FTP provoz směrem od serveru ke stanicím není zdaleka tak hustý jako ve směru k serveru a to na všech stanicích. Dále pak vidíme, že nejřidší provoz probíhá na stanici ftp\_klient\_4\_2 a to jak v downloadu tak uploadu.



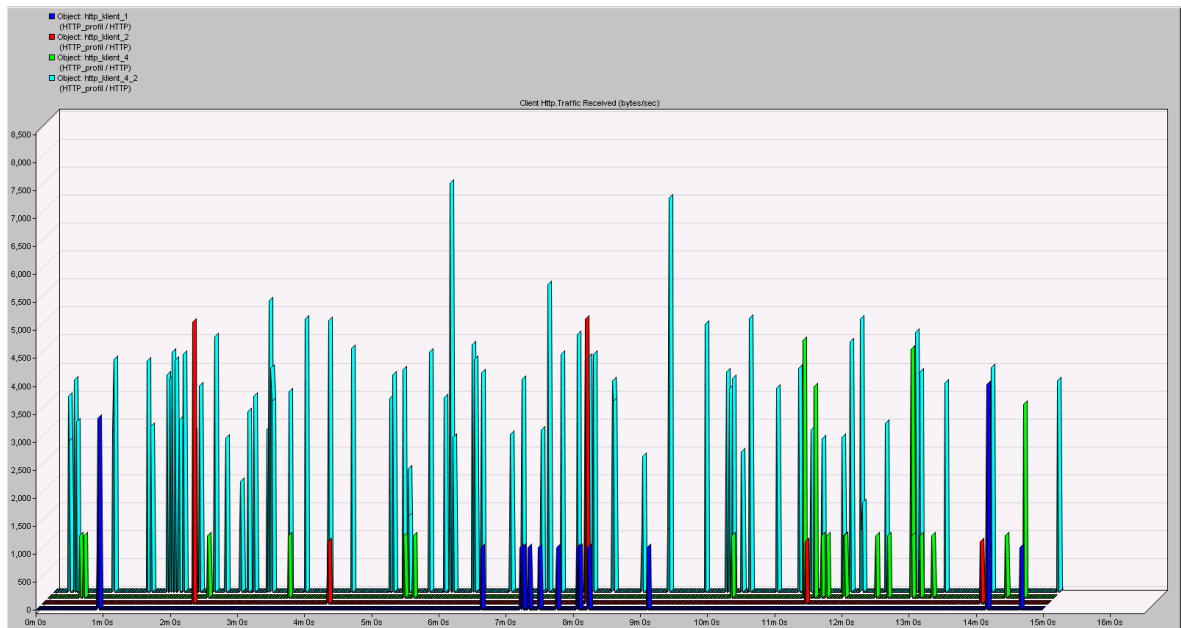
Obr. 4.12 FTP přenos ve směru od serveru



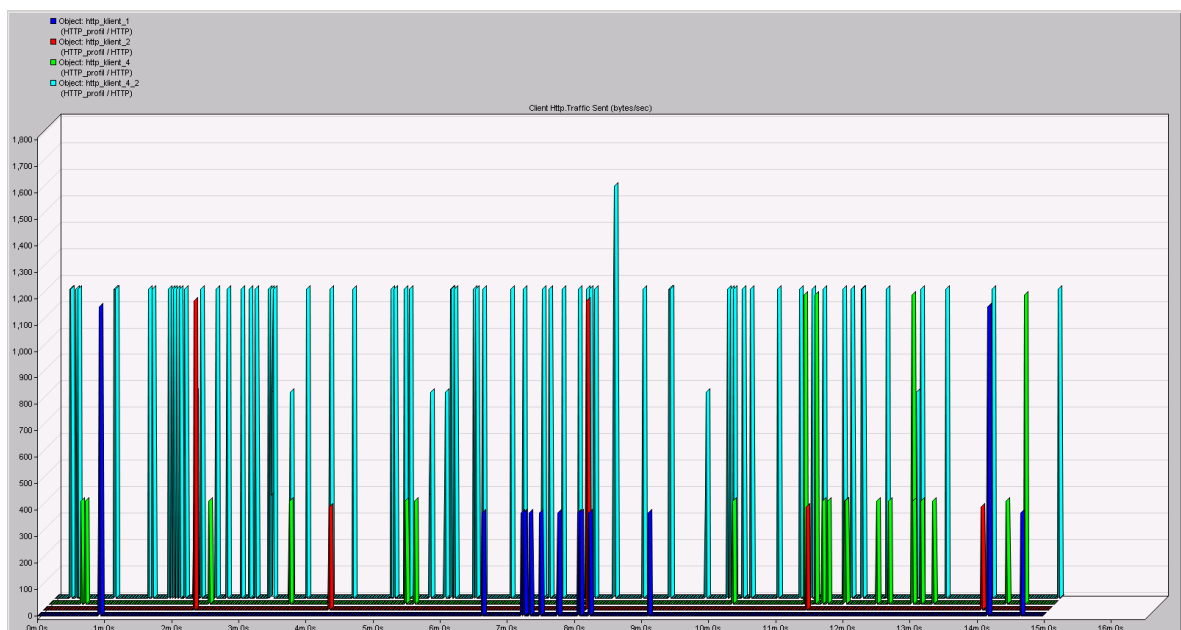
Obr. 4.13 FTP přenos ve směru k serveru

## 4.5 HTTP APLIKACE

Tak jako v případě FTP aplikace poskytuje službu server, který je v síti instalován a nakonfigurován. Http klienti posílají při provozu respektive během simulace na server dotazy (obr. 4.15), http server následně odesílá odpovědi a data požadovaných dokumentů (obr. 4.14).



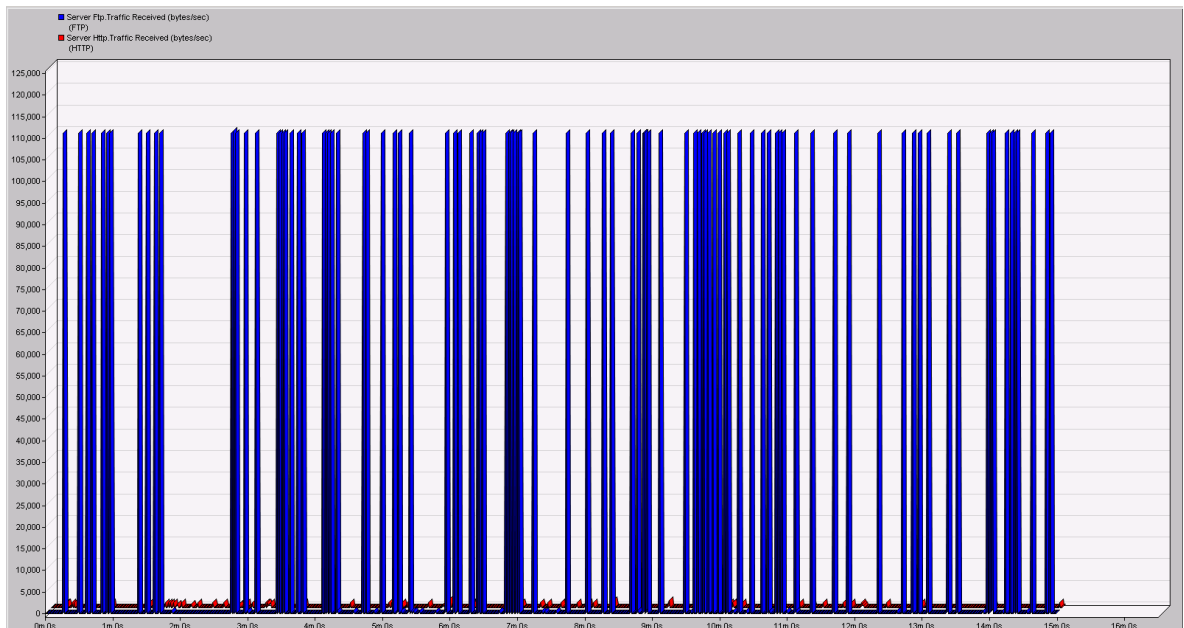
Obr. 4.14 Http přenos ve směru k serveru



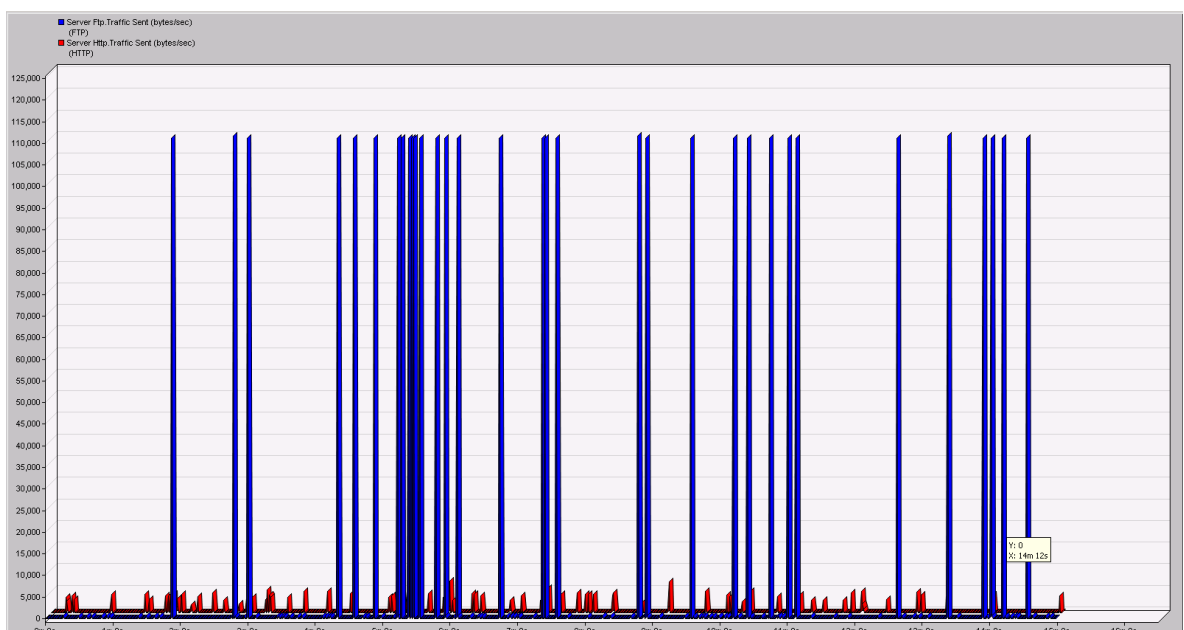
Obr. 4.15 HTTP přenos ve směru k serveru

## 4.6 SERVER

Součástí sítě je již zmiňovaný server, na kterém jsou provozovány FTP a HTTP aplikace. Obr. 4.16 zachycuje graf, na němž vidíme dvě křivky znázorňující přijímaná data od FTP klientů (modrá barva) a http klientů (červená barva). Podobný graf je na obr.4.17, zde se ale jedná o data serverem odesílaná. Rozdíl je patrný zejména na http povelu, kde je patrný nárůst objemu odesílaných.



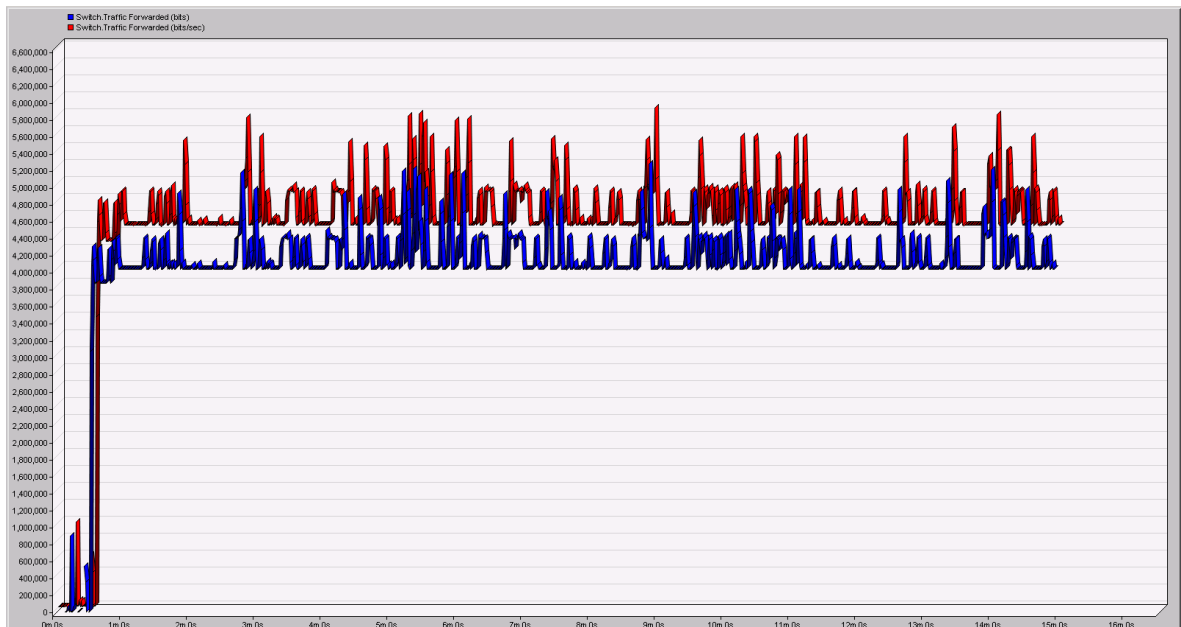
Obr. 4.16 Serverem přijímaná data



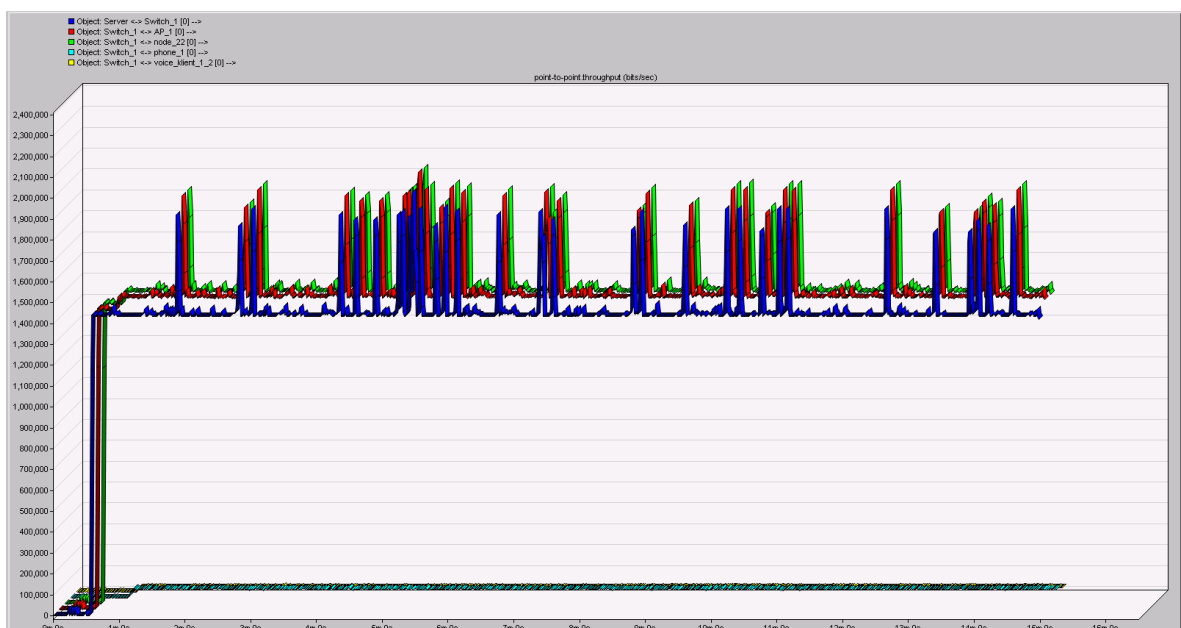
Obr. 4.17 Serverem odesílaná data

## 4.7 SWITCH

V síti jsou použity čtyři přepínače (Switch\_1 – 4). Pro podrobnější analýzu jsem zvolil Switch\_1. Na tento přepínač je přímo napojen server, IP telefon, jeden hlasový klient a přístupový bod bezdrátové sítě (AP). Graf zachycený na obr.4.18 udává objem přepínačem přenesených dat (modrá křivka) a rychlost, kterou sou data předávána (červená křivka).



Obr. 4.18 Objem a rychlost dat procházejících přepínačem



Obr. 4.19 Zatížení spojů

Na předchozím obr.4.19 je graf, jehož křivky znázorňují zatížení spojů mezi zvoleným přepínačem a ostatními segmenty sítě. Modrá křivka grafu na obr.4.19 znázorňuje zatížení linky spojující přepínač a server, červená pak zatížení linky mezi přepínačem a přístupovým bodem a zelená křivka ilustruje zatížení linky napojující přepínač na další část sítě. Provoz zachycující světle modrá a žlutá křivka je provoz hlasové aplikace. Jedná se o zatížení linek vedoucích do přepínače z IP telefonu a stanice voice\_klient\_1\_2.

## 4.8 ZÁVĚREČNÉ HODNOCENÍ A OPTIMALIZACE SÍTĚ

Dle nastaveného scénáře je nutná kooperace technologií IP, ATM a Frame Relay. Tyto technologie používají různé standardní algoritmy v kompresi hlasu, či videa a je zde rozdíl mezi signalizačními metodami.

Na rozhraní použitých technologií v páteřní síti se provádí konverze signalizace a vyjednávání kompresních algoritmů a parametrů QoS. Následně dochází ke kompresi dat, a tím největšímu zpoždění hlasového provozu a videokonference.

Síť byla navržena tak, aby simulovala nejhorší možný scénář nasazený v reálném prostředí, co se týká použitých technologií a topologie sítě. Navržená síť byla následně optimalizovaná právě tak, aby i za výše zmíněných skutečností bylo minimalizováno zpoždění datových toků. Použité přepínače v přístupové síti jsou zvoleny tak, aby jejich propustnost byla ideální vůči objemu přenášených dat.

## 5 NÁVRH LABORATORNÍHO MĚŘENÍ

Laboratorní úloha bude zaměřena na porovnání provozu konvergované sítě s prvky WiFi bez a se zajištění kvality služby QoS. Pomocí této laboratorní úlohy by studenti měli být schopni posoudit výsledky simulací a porovnat je. Návod je velmi podrobný, aby bylo možno laboratorní měření absolvovat během stanovené doby určené pro laboratorní cvičení. Laboratorní měření je navrženo pro realizaci opět v programu OPNET Modeler. Zadání laboratorního měření obsahuje přesné nastavení prvků, aplikací i sítě. V další části jsou již zhodnoceny výsledky měření včetně grafů a zodpovězení kontrolních otázek.

### 5.1 ZADÁNÍ MĚŘENÍ

V prostředí programu OPNET Modeler vytvořte zadanou síť včetně konfigurace prvků a služeb VoIP, videokonference, FTP a HTTP. Po základní konfiguraci vytvořte dva scénáře, jeden bez podpory Kvality služeb QoS, druhý s podporou. Po ukončení simulace porovnejte výsledné hodnoty zpoždění, jitteru a případně průběhy provozu jednotlivých služeb u obou scénářů. Nad získanými výsledky zaveďte diskuzi a zodpovězte kontrolní otázky.

### 5.2 POSTUP MĚŘENÍ

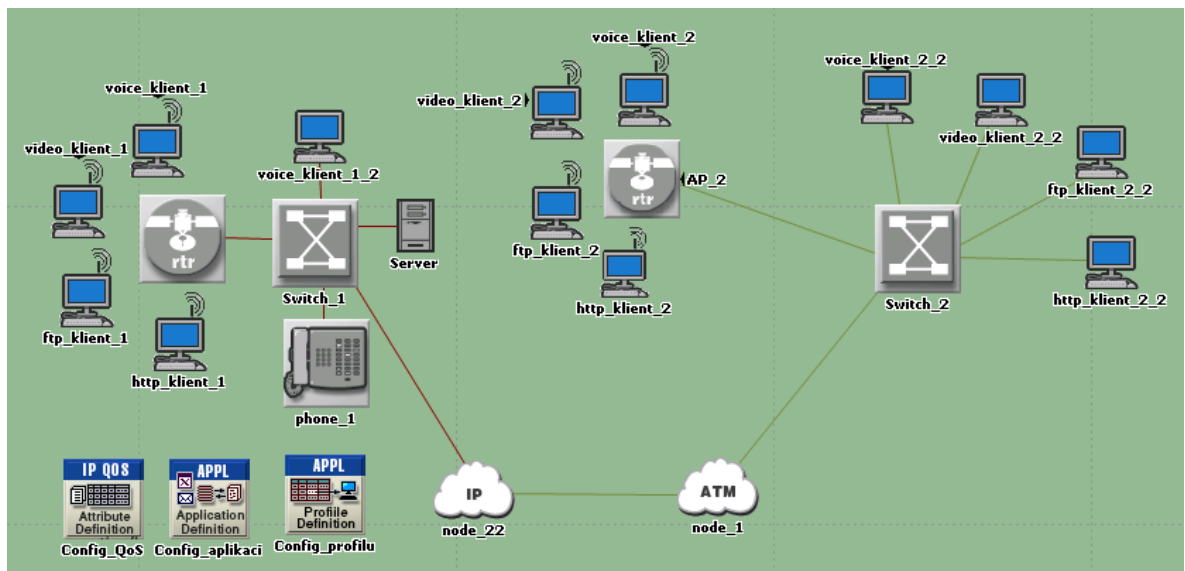
#### 5.2.1 Vytvoření projektu a sítě

Po spuštění programu Opnet Modeler zvolte **File** → **New** → **Project**. Do pole v řádku **Project Name** v otevřeném okně napište název projektu, stejně tak název scénáře vyplňte do pole v řádku **Scenario** (např. Scenar bez QoS) a potvrďte tlačítkem OK. Dále zvolte možnost **Create Empty Scenario** a pokračujte klikem na tlačítko **Next**. V následujícím dialogovém okně **Choose network scale** zvolte položku **World** a opět pokračujte tlačítkem **Next**. V dalším okně **Choose map** označte v levém seznamu map **Available** položku **Europe** a tlačítkem >> ji přesunete do pravého okna **Selected (background first)**. Opačným způsobem přenesete položku **World** do okna **Available** a opět zvolíte **Next**. V následujícím okně **Select Technologies** zvolte označením technologie **atm**, **ethernet** a **wireless\_lan**. Po kliku na tlačítko **Next** se dostanete do okna **Review** kde zkontrolujete všechna nastavení a potvrďte tlačítkem **Finish**.

V další části do projektu vložíme do prostoru mapy jednotlivé prvky sítě. K tomu použijeme okno nazvané **Object Palette**. Z **Object Palette** tedy vložte následující prvky :

- Aplikation Config
- atm32\_could
- atm8\_crossconn
- 4x atm\_wkstn
- ethernet16\_switch
- ethernet\_server
- ethernet\_wkstn
- ip\_phone
- ip32\_cloud
- Profile Config
- QoS Atribute Config
- 2x wlan\_ethernet\_router
- wlan\_fr2\_a-router
- 8x wlan\_wkstn

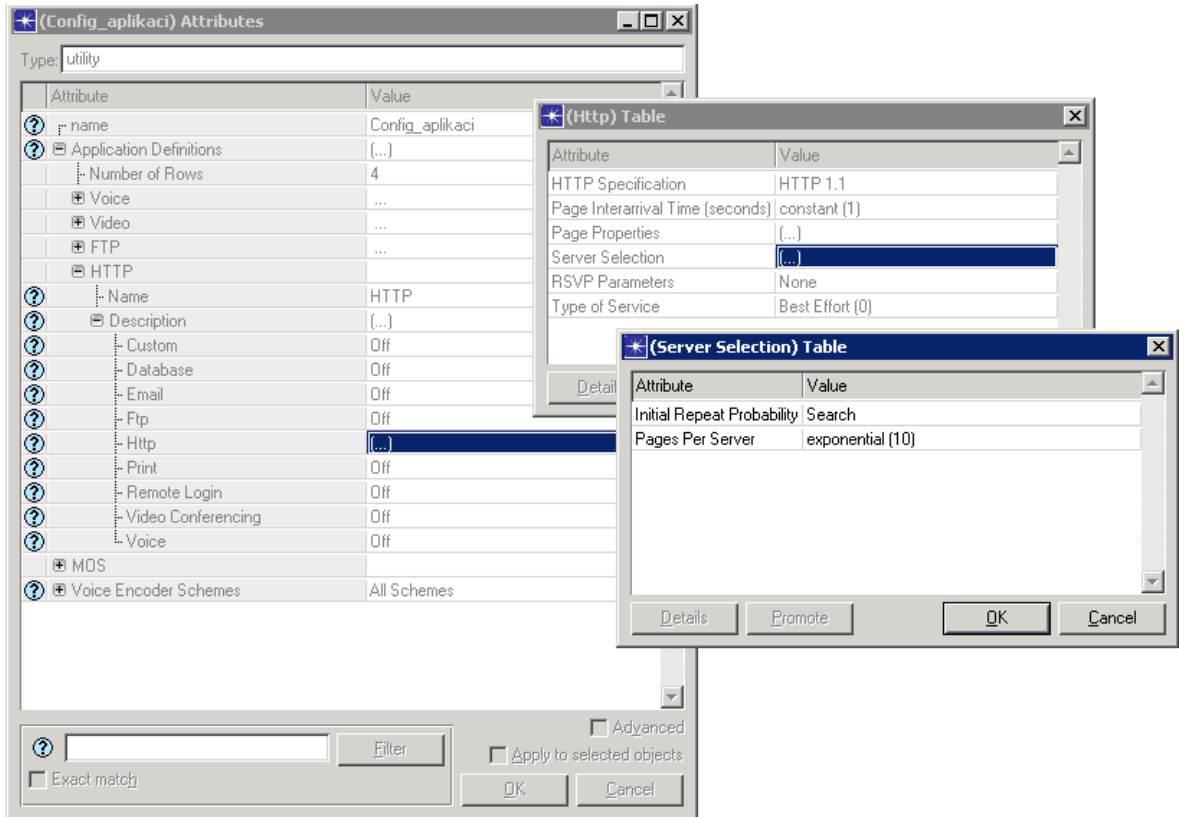
Prvky sítě nazvěte a propojte podle sítě na obr.5.1., který zachycuje topologii sítě. Nastavování prvků budete provádět přes klik pravého tlačítka na daný prvek, zvolíte hned první možnost **Edit Attributes**. Pro propojení ethernetové části (na obrázku kabeláž hnědé barvy) zvolte opět z *Object Palette* kabeláž typu **10BaseT** a na propojení ATM části sítě se zvolí kabeláž **ATM\_E1**.



Obr. 5.1 Konfigurovaná síť

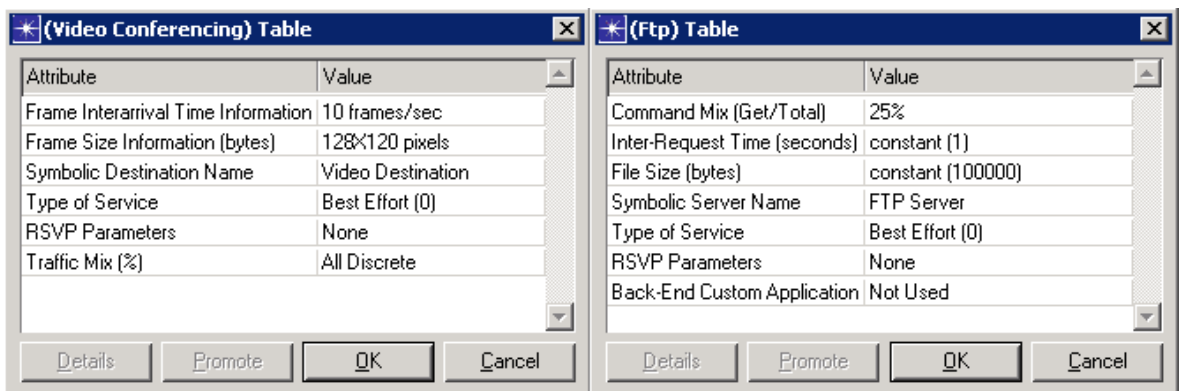
## 5.2.2 Nastavení služeb

V modulu *Config\_aplikací* vytvořte aplikace Voice, Video FTP a HTTP. Přesné nastavení aplikací proveďte podle následujících obrázků obr.5.2, obr.5.3 a obr.5.4.

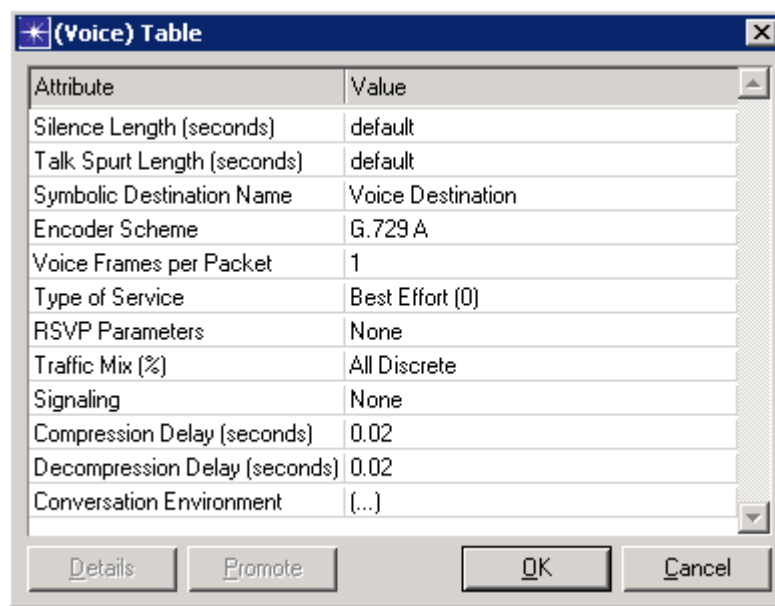


Obr. 5.2 Detailní nastavení HTTP služby

Pro úplné nastavení je třeba ještě otevřít položku *Page Properties* a nastavit v jednotlivých sloupcích následující hodnoty: *Large Image*, *constant (20)*, *Not Used* a *Not Used*.

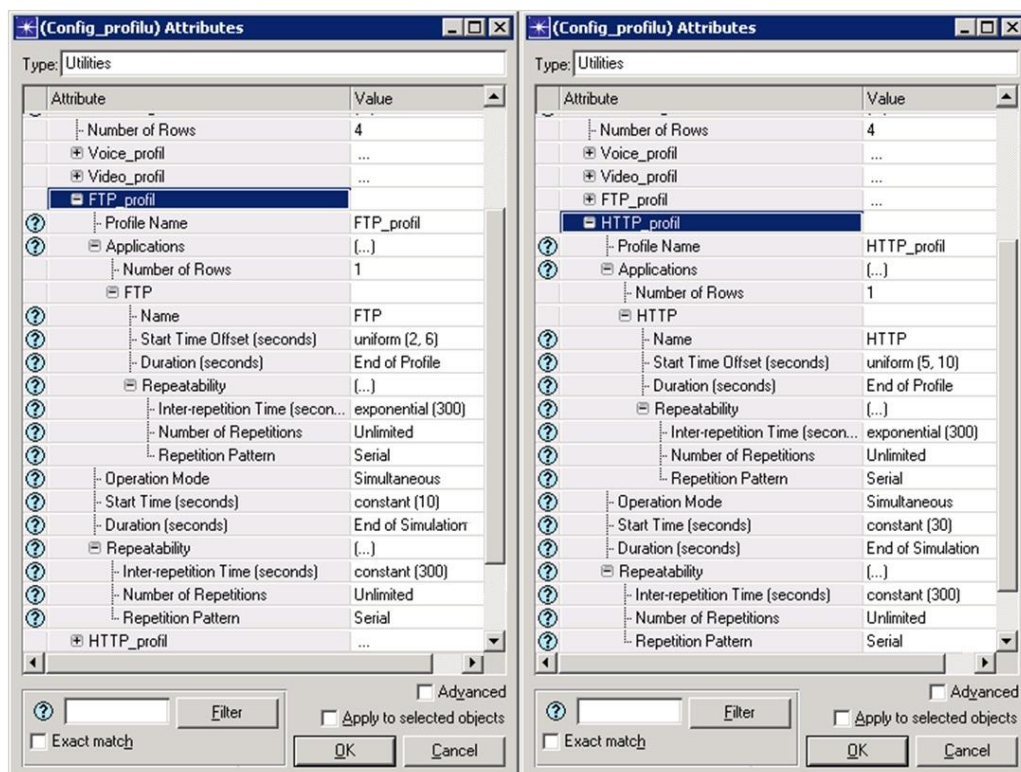


Obr. 5.3 Detailní nastavení videokonference a FTP služby

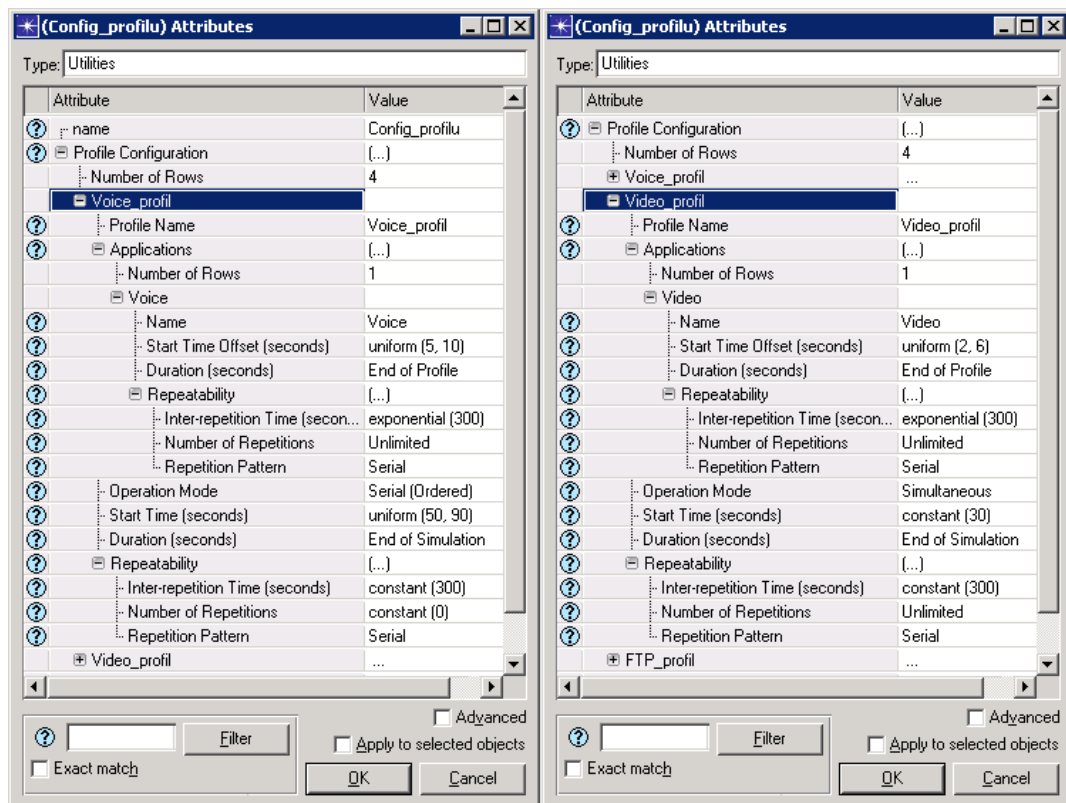


**Obr. 5.4** Detailní nastavení VoIP služby

V modulu *Config\_profilu* vytvořte *Voice\_profil*, *Videoe\_profil*, *FTP\_profil* a *HTTP\_profil*. y aplikace *Voice*, *Video* *FTP* a *HTTP*. Přesné nastavení aplikací provedte podle následujících obrázků.



**Obr. 5.5** Detailní nastavení FTP a HTTP profilu



**Obr. 5.6** Detailní nastavení Voice a Video profilu

V prvku *Server* nastavte v položce *Aplikation: Supported Profiles* příslušný profil v řádku *Profile Name*.

### 5.2.3 Nastavení bezdrátové sítě

Nastavení AP provedte opět přes volbu *Edit Attributes*, dále zvolte *Wireless LAN* a pak *Wireless LAN parameters*, zde vyplňte BSS identifikátor u AP\_1 zvolte „1“ a u AP\_2 „2“.

Na všech bezdrátových stanicích teď musíte také nastavit daný BSS identifikátor podle příslušného AP. Nastavení se provede naprosto shodně jako u AP.

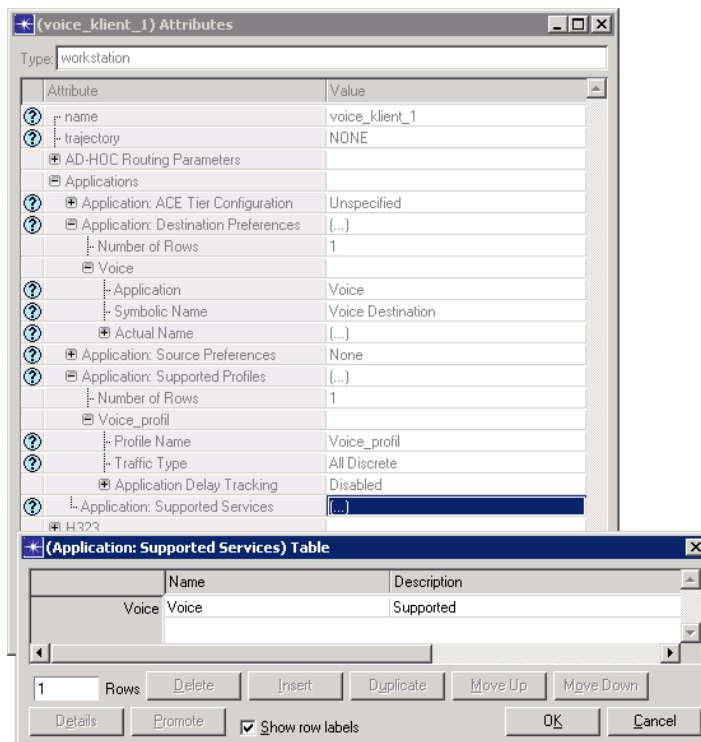
### 5.2.4 Nastavení stanic

Na každé stanici je teď potřeba nakonfigurovat příslušnou provozovanou službu.

#### Nastavení stanice s hlasovou aplikací

Nastavení se provedete následovně: *Edit Attributes*→*Applications*→*Applications : Destination Preferences*. Zde nastavte *Numer of Rows* na hodnotu 1, tím vytvoříte nový řádek. Rozklikněte jej a zvolíte z nabízených možností *Application*→*Voice*, *Symbolic*

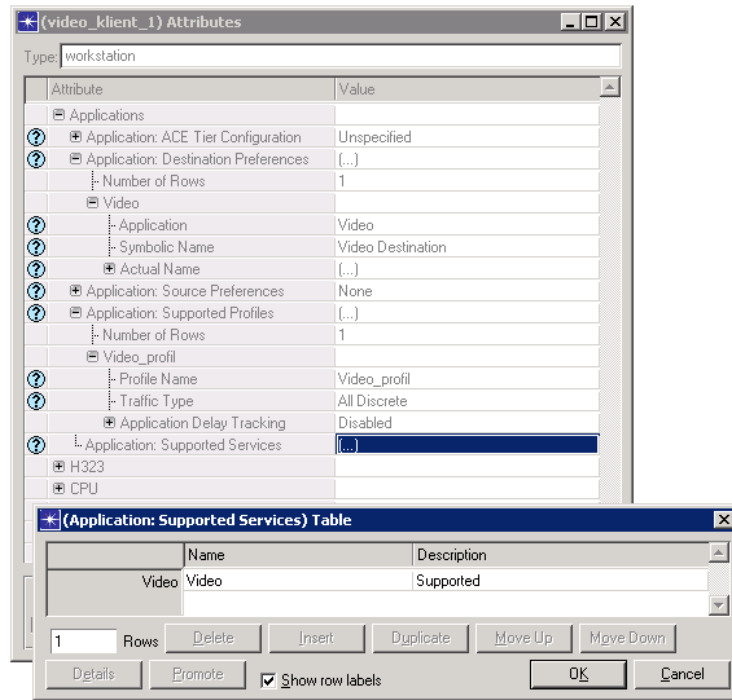
Name→Voice Destination a Actual Name→Numer of Rows→1. Následně nastavíte podporovaný profil: Application : Supported Profiles→ Numer of Rows→1 a pak Profile Name→Voice\_profil. Jako poslední kliknete na položku Application : Supported Services→Edit, a otevře se okno, kde nastavíte políčko Rows na 1 a ve vzniklém řádku zvolíte příslušnou službu, tedy Voice. Celé nastavení je zobrazeno na obr. Na následujícím obr.3.10. je detailní nastavení hlasového klienta.



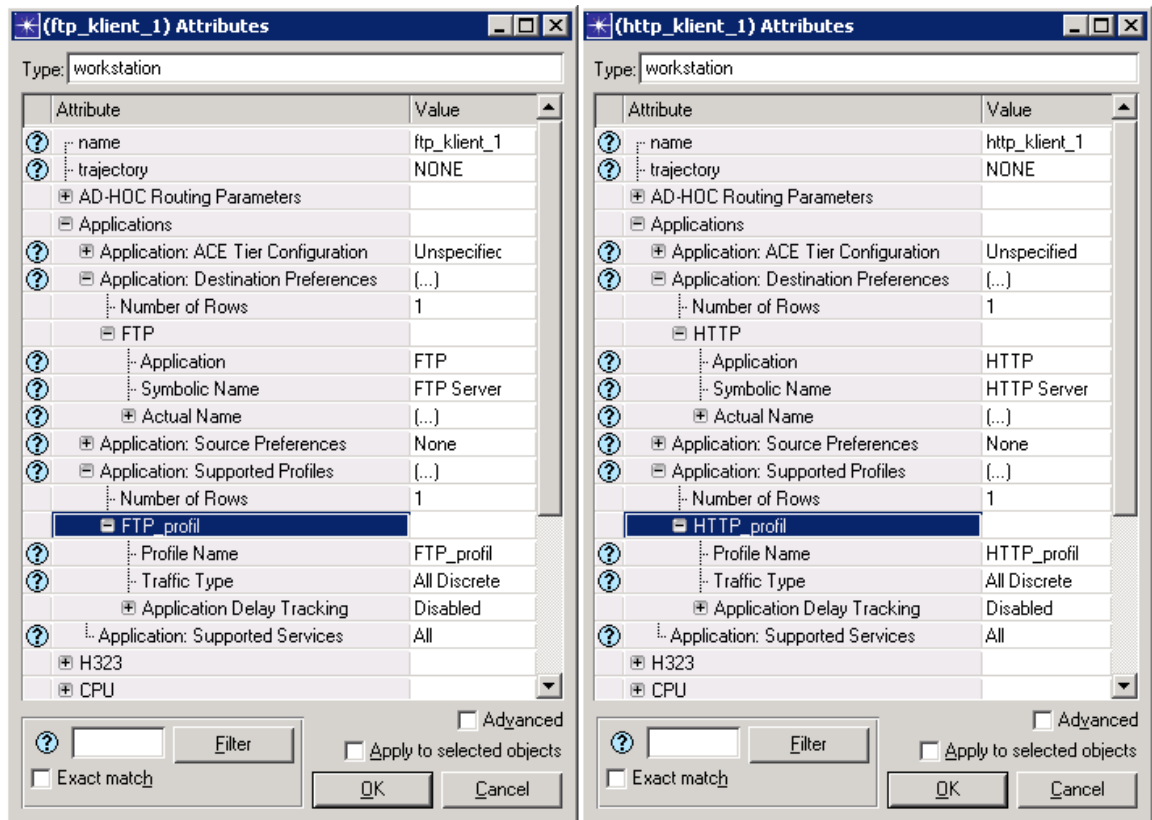
Obr. 5.7 Detailní nastavení stanice s hlasovou aplikací

### Nastavení dalších stanic

Nastavení ostatních stanic je podobné, provede se nastavení *Applications : Destination Preferences* a *Application : Supported Profiles*. Provedte jej podle následujících obrázků:



Obr. 5.8 Detailní nastavení stanice s videokonferencí



Obr. 5.9 Detailní nastavení stanic s FTP a HTTP aplikací


## 5.2.5 Vytvoření dalšího scénáře

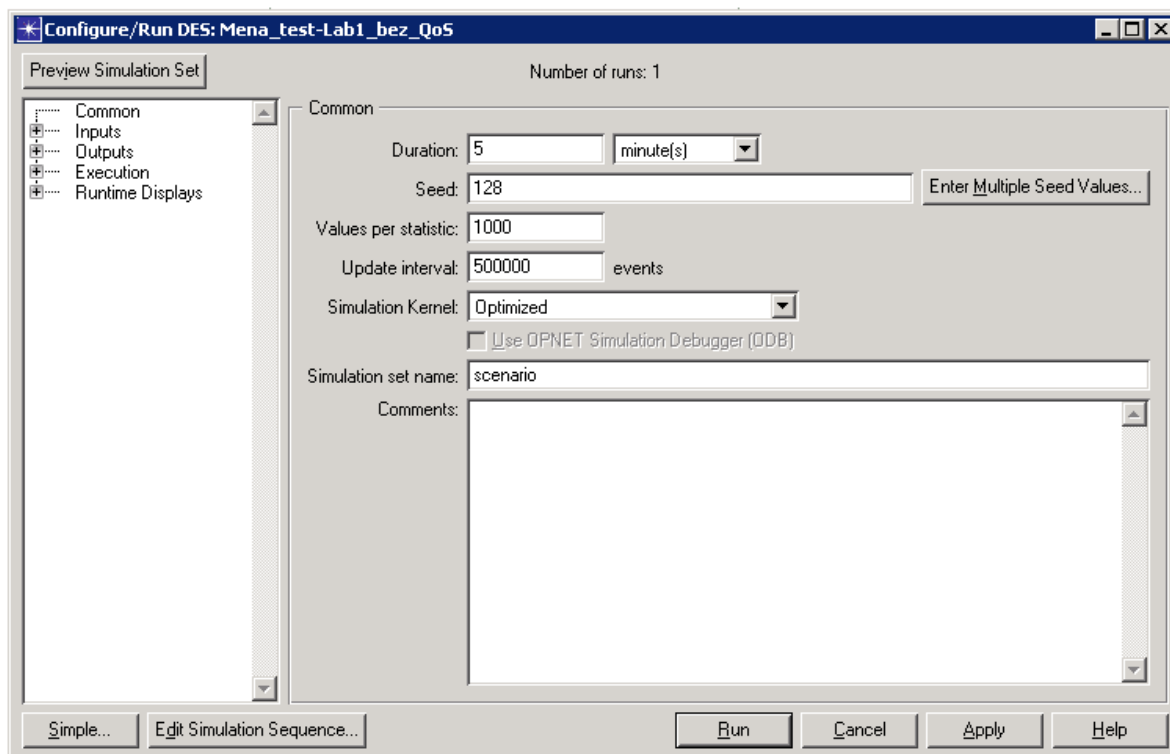
První scénář bez podpory QoS máme již vytvořený, teď je potřeba vytvořit scénář druhý. V řádku nabídek zvolte položku *Scenarios* a z nabídky vyberte funkci *Duplicate Scenario*. Pro vytvoření scénáře je ještě třeba vypsát název scénáře (např. *Scenar s QoS*). Dále nastavíte samotnou podporu služeb QoS. Na všech bezdrátových prvcích provedte následující nastavení: *Wireless LAN* → *Wireless LAN parameters* → *PCF Parameters* → *PCF Funkcionalita* – **Enabled**. Další nastavení je: *Wireless LAN* → *Wireless LAN parameters* → *HCF Parameters* → *Status* – **Supported**.

## 5.2.6 Nastavení sledovaných parametrů

Dalším nastavením provedete nastavení parametrů, které budou během simulace sledovány, čili budete mít možnost zobrazit jejich průběhy do grafů a následně je vyhodnotit. Klikněte do volného prostoru mapy pravým tlačítkem myši a z menu, zvolte možnost *Choose Individual DES Statistic*. Zobrazí se Vám okno *Chaose Result*, ve kterém vyberte skupinu parametrů *Global Statistics*, v ní zvolte provozované typy aplikací *Ftp*, *Http*, *Voice* a *Video Conferencing*.


## 5.2.7 Simulace scénářů

Nejprve v jednom scénáři vyplňte pomocí tlačítka  formulář *Configure/Run DES* pro zadání kritérií simulace. Pro dobu simulace *Duration* zvolte hodnotu *5 minute(s)*, počet uložených hodnot z každé statistiky *Value per statistic* nastavte na *1000*. U dalších parametrů nechte přednastavené hodnoty a potvrďte volbu tlačítkem *Apply* a okno uzavřete *Cancel*. Nastavení *Configure/Run DES* je zachyceno na obr.5.10. V druhém scénáři provedte stejné nastavení a potom volte z řádku nabídek *Scenarios* → *Manage Scenarios* a v tabulce navolte u obou scénářů *collect*, potvrďte tlačítkem *OK* a tím spustíte simulaci.



Obr. 5.10 Úprava parametrů simulace

## 5.2.8 Zobrazení výsledků simulace

Po ukončení simulace vyvoláte tlačítkem  okno *View Results*, ve kterém již můžete zobrazovat grafy průběhů jednotlivých sledovaných parametrů. Pokud je potřeba zobrazit výsledky obou simulací do jednoho grafu, změňte v rolovacím menu *Results for:* původní možnost *Current Scenario* na *Current Project*. Potom ještě označte oba dva scénáře.

## 5.2.9 Kontrolní otázky

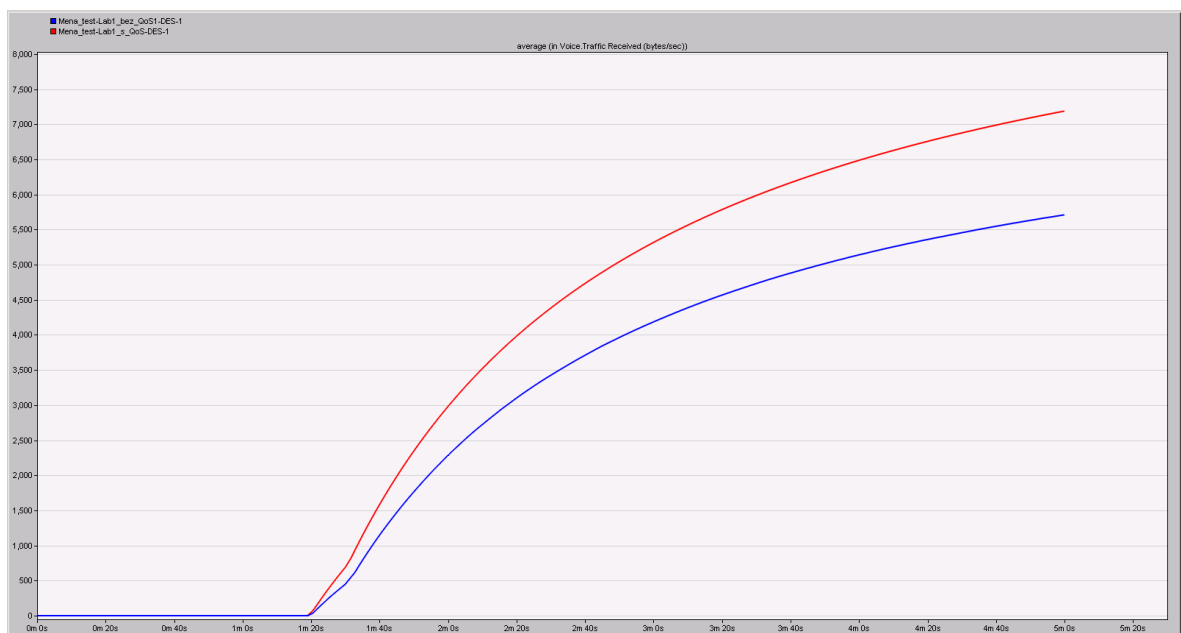
- 1) Vysvětlete termín konvergence. Jaké výhody přináší konvergence sítí?
- 2) Je možné provozovat síť bez podpory QoS?
- 3) Vysvětlete termín „Best-effort“.
- 4) Co to znamená end-to-end zpoždění? Jak ovlivňuje kvalitu hlasu?
- 5) Co je to jitter a co je jeho příčinou?

## 5.3 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

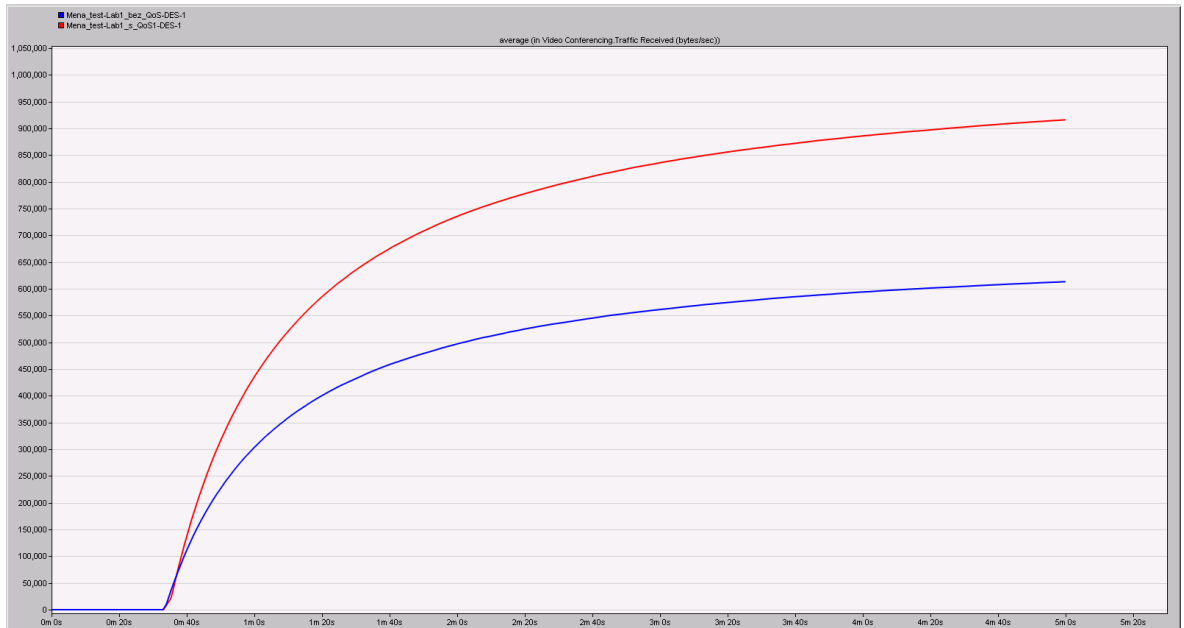
### 5.3.1 Grafy průběhů sledovaných parametrů

Ve všech případech následujících obrázků, jsou na grafech znázorněny dvě křivky. Modrá křivka znázorňuje průběh daného parametru v síti se scénářem bez podpory QoS, červená křivka zase průběh příslušného parametru v síti s podporou kvality služeb. Obr.5.11 a obr.5.12 zachycují průběhy hlasové služby a videokonference. V obou případech je výhoda podpory QoS zřejmá. Na dalších dvou obrázcích (obr.5.13 a obr.5.14) jsou zobrazeny průběhy FTP a HTTP služeb, i zde můžeme vliv QoS na přenos dat, a to v omezení přenosu zejména u FTP služby. U HTTP rozdíly v přenosu sice nejsou nikterak zásadní, ale přece jen je vidět, že je přenos při simulaci s podporou kvality služeb ovlivněn.

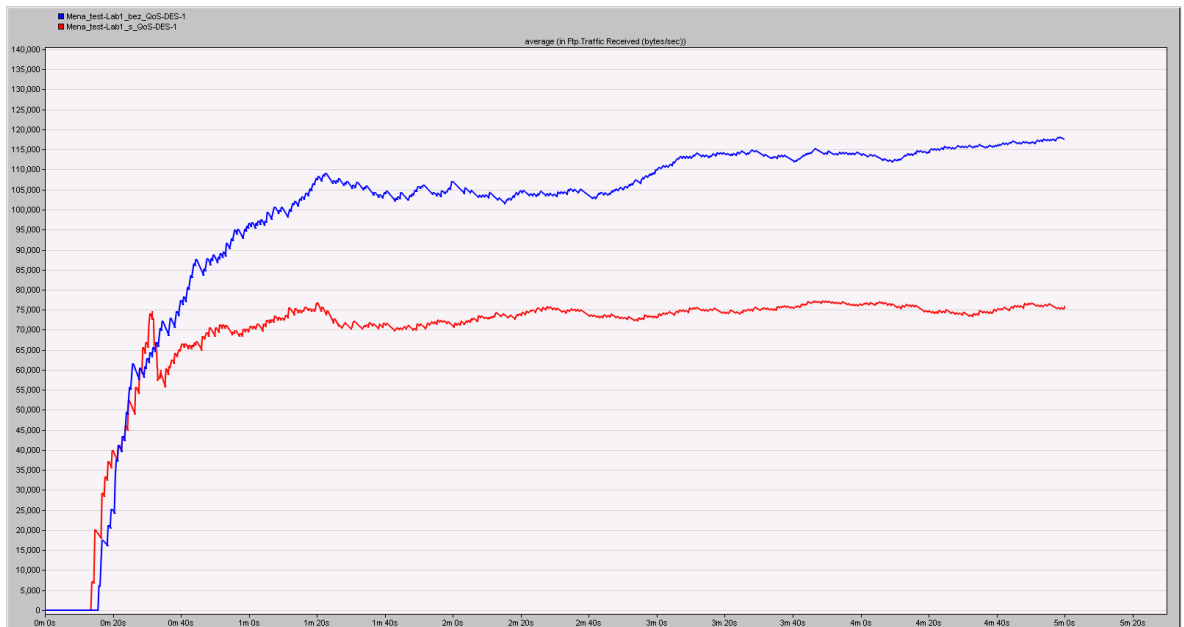
Na obr.5.15 je vidět výrazně větší celkové zpoždění v síti Ethernet modré křivky, náležící simulace bez podpory QoS. Stejně je tomu tak i na dalším obr.5.16, na kterém je zobrazen graf end-to-end zpoždění hlasové aplikace.



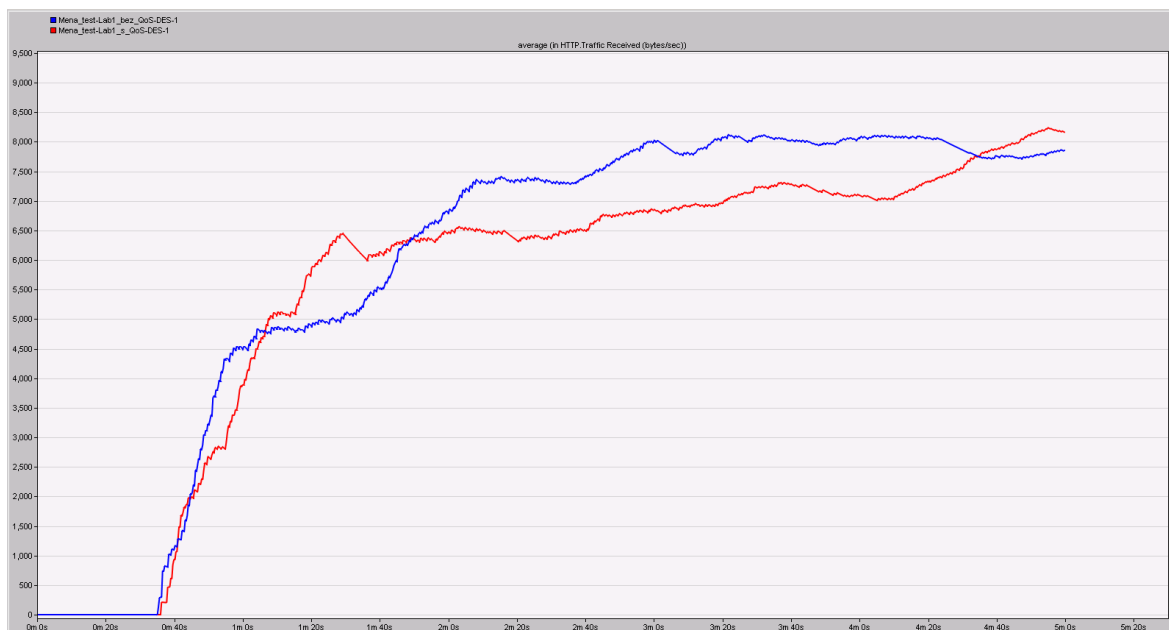
Obr. 5.11 Celkový přenos hlasové aplikace



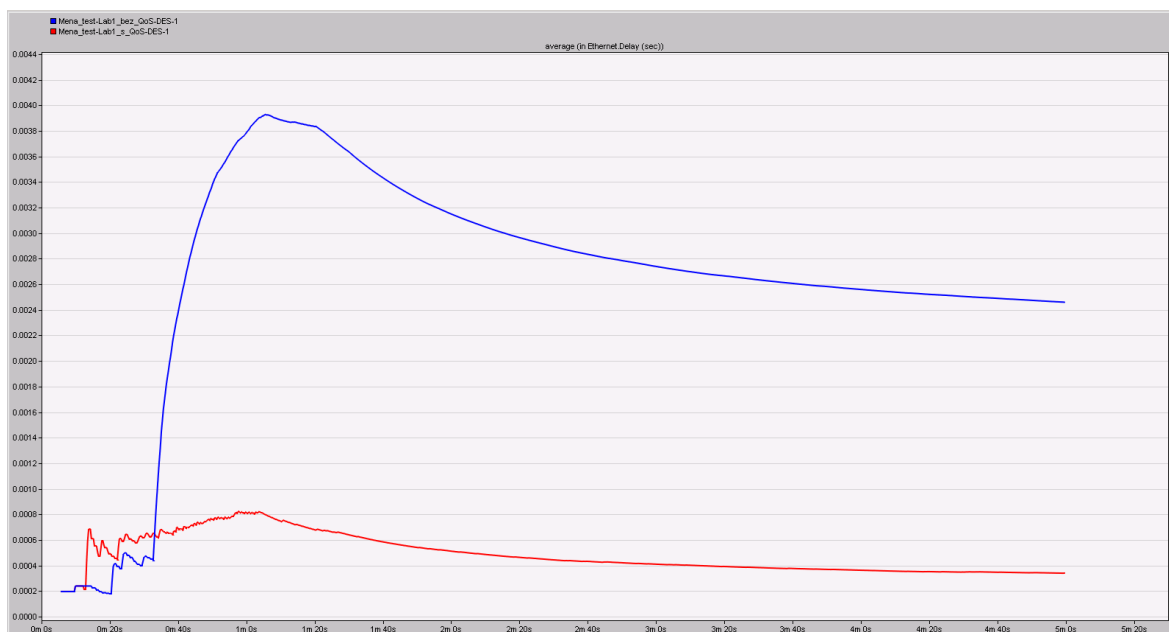
**Obr. 5.12 Celkový přenos videokonference**



**Obr. 5.13 Celkový přenos FTP aplikace**

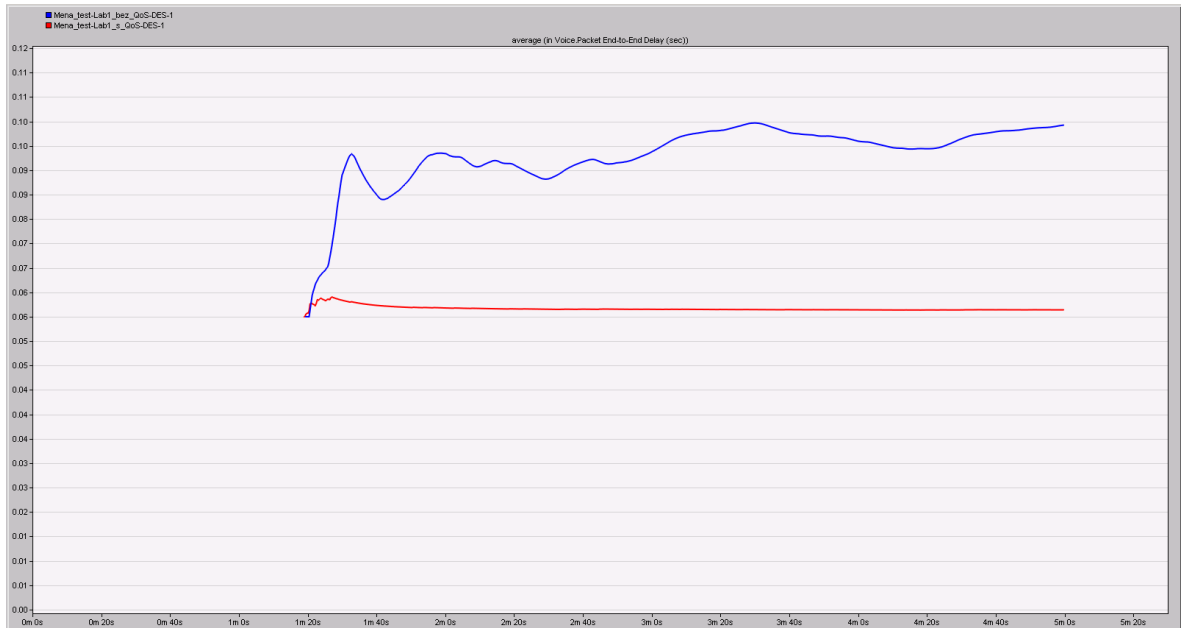


**Obr. 5.14 Celkový přenos HTTP aplikace**

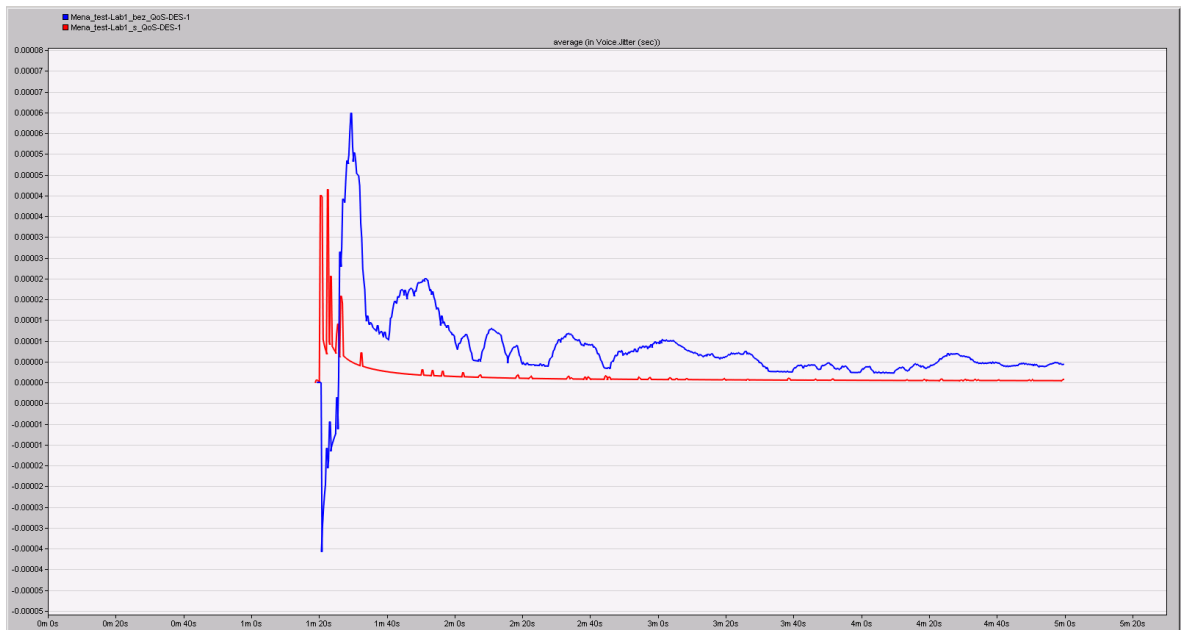


**Obr. 5.15 Celkové zpoždění v síti Ethernet**

Na posledním obr.5.17 opět sledujeme příznivější průběh kolísání zpoždění hlasové aplikace v případě červené křivky, tedy v případě průběhu jitteru v simulaci s podporou QoS.



Obr. 5.16 End-to-end zpoždění hlasové aplikace



Obr. 5.17 Celkový jitter

### 5.3.2 Odpovědi na otázky

- 1) V telekomunikacích jde o spojení dvou do té doby oddělených přenosových infrastruktur, tedy telekomunikačních a datových sítí. Tato struktura je schopna přenášet klasická data, hlas, či multimédia, dále umožňuje provozovat nové typy aplikací jako např. videokonference a integrované komunikace, také podporuje mobilní pracovníky a práci z domova. Celkově lze říci, že konvergované sítě zvyšují produktivitu a snižují náklady.
- 2) Ano, QoS není třeba uvažovat, pokud není sdílena celá konektivita, např. je použito jednoduché omezování rychlosti koncových zařízení, nebo pokud je kapacita sítě dostatečně dimenzována i pro provoz ve špičkách.
- 3) „Best-effort“ je tzv. metoda největší snahy, která má QoS nastaven na nulu a snaží se každý paket co nejrychleji a nejefektivněji přenést k cíli.
- 4) End-to-end zpoždění je součet všech zpoždění působících na přenášený signál po celé přenosové cestě. Kvalitu hlasu neovlivňuje přímo, ovlivňuje však charakter konverzace.
- 5) Jitter je kolísání zpoždění, což znamená, že pakety v rámci daného spojení nemusí přicházet se stejným zpožděním. Je způsoben zpožděním při serializaci paketů, rozdílem délek front, které souvisejí s mírou zahlcení sítě.

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo seznámit se s problematikou přenosu dat v konvergovaných sítích se zaměřením na WiFi síť IEEE 802.11. Konvergovanými sítěmi jsme schopni efektivně přenášet různé typy dat, tedy datový, hlasový či multimediální tok. Na síť jsou těmito aplikacemi kladeny různé nároky. Hlas nebo video vyžaduje relativně konstantní pásmo a garantovanou dobu doručení. Částečná ztráta informace je přitom možná vyvážit opravnými technikami. Přenos dat zase klade nároky na šířku pásma a spolehlivost spojení. Schopnosti komunikační sítě rozpoznat který typ dat je přenášen a uspokojit jejich nároky na zpoždění, ztrátovost a jitter chápeme jako kvalitu služby, přičemž se zmíněným nárokům přizpůsobí celý provoz sítě. Nevýhodou konvergovaných sítí jsou vysoké nároky na provoz, v konečném důsledku však tyto sítě přinášejí znatelné snížení nákladů.

V praktické části práce je popsáno sestrojení modelu konvergované sítě v software OPNET Modeler. Do modelu sítě byly implementovány prvky technologií ATM, Frame relay a Ethernet. V projektu jsou dále použity čtyři přístupové body a většina pracovních stanic je tedy bezdrátových. V síti je simulován hlasový, FTP a HTTP provoz a videokonference. Výsledky simulace jsou pak analyzovány.

V poslední části práce je vytvořen návrh laboratorní úlohy, která se zabývá právě sestrojením a nastavením malé konvergované sítě, na níž se potom simulují dva scénáře a to jeden s podporou kvality služeb, druhý bez. Výsledky simulací jsou porovnány a zhodnoceny.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Kolektiv autorů, IEEE [cit. 2010-11-12], zdroje dostupné na WWW: <http://www.ieee.cz/>
- [2] OPNET. Opnet Modeler Manual. Opnet, Bethesda USA, 2010.
- [3] PRASAD R. Anand, PRASAD R. Neeli, 802.11 WLANs and IP Networking: Security, QOS, and Mobility, 2005, ISBN 1-58053-789-8
- [4] PUŽMANOVÁ, R. Moderní komunikační sítě A-Z. Computer Press, Brno 2007. ISBN 80-251-1278-0
- [5] ŠKORPIL, V. Digitální komunikační technologie. UTKO, Brno 2002, ISBN 80-214-244-0
- [6] ZANDL, P. Bezdrátové sítě WiFi. Computer Press, Brno 2003. ISBN 80-722-6632

## SEZNAM ZKRATEK

<b>AES</b>	Advanced Encryption Standard
<b>AIFS</b>	Arbitration Interframe Space
<b>AP</b>	Access Point
<b>BCU</b>	Bandwidth Control Unit
<b>BPSK</b>	Binary Phase Shift Keying
<b>CCK</b>	Complementary Code Keying
<b>CSMA/CA</b>	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
<b>CW</b>	Contention Window
<b>DBPSK</b>	Differential Binary Phase Shift Keying
<b>DCF</b>	Distributed Coordination Function
<b>DIFS</b>	Distributed Coordination Function InterFrameSpace
<b>DQPSK</b>	Differential Quadrature Phase Shift Keying
<b>DSSS</b>	Direct Sequence Spread Spectrum
<b>EDCF</b>	Enhanced Distributed Coordination Function
<b>ESS</b>	Extended Service Set
<b>FHSS</b>	Frequency Hopping Spread Spectrum
<b>FTP</b>	File Transfer Protocol
<b>HCF</b>	Hybrid Coordination Function
<b>http</b>	Hypertext Transfer Protocol
<b>IAPP</b>	Inter-Access Point Protocol
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>IFS</b>	InterFrameSpace
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>IR</b>	Infrared
<b>ISM</b>	Industrial, Scientific and Medical
<b>MAC</b>	Media Access Control
<b>MIMO</b>	Multiple Input Multiple Output
<b>MP-MLQ</b>	Multi-Pulse-Maximum Likelihood Quantizer
<b>NGN</b>	Next Generation Network
<b>OFDM</b>	Orthogonal Frequency Division Multiplex
<b>PCF</b>	Point Coordination Function
<b>PIFS</b>	PCF InterFrameSpace
<b>QAM</b>	Quadrature Amplitude Modulation
<b>QoS</b>	Quality of Services
<b>QPSK</b>	Quadrature Phase Shift Keying
<b>SIFS</b>	Short InterFrameSpace
<b>TCP/IP</b>	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
<b>TDMA</b>	Time Division Multiple Access
<b>UNII</b>	Unlicensed National Information Infrastructure
<b>WEP</b>	Wired Equivalent Privacy
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Příklad konvergentní sítě .....	9
Obr. 3.1 Nabídka komponentů Object Palette .....	24
Obr. 3.2 Nabídka kabeláže v Object Palette .....	25
Obr. 3.3 Navržená konvergentní síť.....	26
Obr. 3.4 Nastavení hlasové aplikace .....	27
Obr. 3.5 Nastavení aplikace videokonference .....	27
Obr. 3.6 Nastavení FTP aplikace .....	28
Obr. 3.7 Nastavení Voice profilu .....	28
Obr. 3.8 Nastavení serveru.....	29
Obr. 3.9 Nastavení WiFi parametrů přístupového bodu .....	30
Obr. 3.10 Nastavení hlasového klienta.....	31
Obr. 3.11 Nastavení klienta videokonference .....	32
Obr. 3.12 Nastavení FTP klienta.....	33
Obr. 3.13 Nastavení HTTP klienta .....	33
Obr. 3.14 Volba sledovaných parametrů .....	34
Obr. 3.15 Nastavení parametrů simulace.....	35
Obr. 3.16 Konec simulace .....	36
Obr. 4.1 Propustnost aplikací .....	37
Obr. 4.2 Rychlost vysílaných dat – $B.s^{-1}$ .....	38
Obr. 4.3 Rychlost vysílaných dat – $\text{paket}.s^{-1}$ .....	39
Obr. 4.4 Rychlost přijímaných dat – $B.s^{-1}$ .....	39
Obr. 4.5 Rychlost přijímaných dat – $\text{paket}.s^{-1}$ .....	40
Obr. 4.6 Zpoždění provozu hlasové aplikace všech stanic.....	40
Obr. 4.7 Globální zpoždění provozu hlasové aplikace .....	41
Obr. 4.8 Jitter na všech hlasových stanicích .....	42
Obr. 4.9 Rychlost vysílaných dat – $B.s^{-1}$ .....	43
Obr. 4.10 Rychlost přijímaných dat – $B.s^{-1}$ .....	43
Obr. 4.11 Zpoždění videokonference v s.....	44
Obr. 4.12 FTP přenos ve směru od serveru.....	45
Obr. 4.13 FTP přenos ve směru k serveru .....	45
Obr. 4.14 Http přenos ve směru k serveru .....	46
Obr. 4.15 HTTP přenos ve směru k serveru .....	46
Obr. 4.16 Serverem přijímaná data.....	47
Obr. 4.17 Serverem odesílaná data.....	47
Obr. 4.18 Objem a rychlost dat procházejících prepínačem .....	48
Obr. 4.19 Zatížení spojů .....	48
Obr. 5.1 Konfigurovaná síť .....	51
Obr. 5.2 Detailní nastavení HTTP služby .....	52
Obr. 5.3 Detailní nastavení videokonference a FTP služby .....	52
Obr. 5.4 Detailní nastavení VoIP služby.....	53
Obr. 5.5 Detailní nastavení FTP a HTTP profilu .....	53
Obr. 5.6 Detailní nastavení Voice a Video profilu .....	54
Obr. 5.7 Detailní nastavení stanice s hlasovou aplikací.....	55
Obr. 5.8 Detailní nastavení stanice s videokonferencí .....	56
Obr. 5.9 Detailní nastavení stanic s FTP a HTTP aplikací.....	56
Obr. 5.10 Úprava parametrů simulace.....	58
Obr. 5.11 Celkový přenos hlasové aplikace .....	59
Obr. 5.12 Celkový přenos videokonference .....	60
Obr. 5.13 Celkový přenos FTP aplikace.....	60
Obr. 5.14 Celkový přenos HTTP aplikace .....	61
Obr. 5.15 Celkové zpoždění v síti Ethernet.....	61
Obr. 5.16 End-to-end zpoždění hlasové aplikace.....	62
Obr. 5.17 Celkový jitter .....	62

**Přílohy:**

A: Obsah CD .....69

## **A: Obsah CD**

- Soubor DP\_prace ( Diplomová práce ve formátu „.PDF“)
- Soubor DP\_prace ( Diplomová práce ve formátu „.DOCX“)
- Soubor Zadani\_prace ( Zadání práce ve formátu „.PDF“)
- OBRÁZKY ( adresář, ve kterém jsou uloženy obrázky použité v práci )