



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

# SIMULACE A VYHODNOCENÍ SCÉNÁŘŮ NAsAZENÍ SLUŽEB REÁLNÉHO ČASU DO SÍTÍ UMTS V PROSTŘEDÍ OPNET MODELER

SIMULATION AND EVALUATION OF SCENARIOS RUNNING REAL-TIME UMTS SERVICES  
IN OPNET MODELER ENVIRONMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ROMAN KLIMEŠ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. VÍT NOVOTNÝ, Ph.D.

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Telekomunikační a informační technika

**Student:** Bc. Roman Klimeš

**ID:** 85479

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2008/2009

## NÁZEV TÉMATU:

**Simulace a vyhodnocení scénářů nasazení služeb reálného času do sítí UMTS v prostředí Opnet Modeler**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou mobilních sítí UMTS a parametry ovlivňující chování jejich přístupové části UTRAN, především pak té pro paketový způsob komunikace. V simulačním prostředí Opnet Modeler navrhnete patřičné modely sítě UMTS a nakonfigurujete terminály a protější uzly pro různé typy paketových služeb jako VoIP, videokomunikace, přístup k www stránkám a přenos souborů. Nasimulujte různé situace provozu a pohybu uživatelů a vyhodnoťte kvalitativní parametry jednotlivých služeb a zdůvodněte odlišnosti v jejich hodnotách při různých podmínkách provozu. Na základě získaných znalostí a zkušeností navrhnete laboratorní úlohu.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] LAIHO, J., WACKER, A., NOVOSAD, T. Radio Network Planning and Optimization for UMTS. England : J. Wiley & Sons, 2002. 662 s. ISBN 0-471-48653-1,  
[2] OPNET Modeler: Accelerating Network R&D. Opnet.com, 2008

**Termín zadání:** 9.2.2009

**Termín odevzdání:** 26.5.2009

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být 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.

## ANOTACE

Tato práce se věnuje problematice mobilní sítě 3. generace nazývané UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Zkoumá parametry ovlivňující chování její přístupové části UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), kde je nutné zajistit potřebnou kvalitu služeb QoS (Quality of Services). Cílem práce je tedy simulace a vyhodnocení scénářů nasazení služeb reálného času i služeb přenosu dat na pozadí do mobilních sítí UMTS v prostředí Opnet Modeler. V první části je krátký úvod do teorie této technologie. Jsou zde popsány požadavky a cíle, kmitočtový plán, architektura sítě i zajištění kvality služeb v síti UMTS.

Praktickou úlohou bylo sestavení modelu sítě UMTS v prostředí OPNET Modeler, nastavení jednotlivých prvků pro správnou funkčnost sítě a konfigurace parametrů pro podporu kvality služeb na všech mobilních stanicích pro dané aplikace. V poslední fázi bylo potřeba porovnat statistiky simulovaného modelu bez podpory QoS a modelu s podporou QoS. V programu OPNET Modeler jsem si ověřil své znalosti a předpokládané výsledky simulací byly potvrzeny.

Posledním úkolem bylo vytvořit laboratorní úlohu na základě získaných zkušeností.

**Klíčová slova: UMTS, kvalita služby, mobilní síť, scénář, Opnet Modeler.**

## ABSTRAKT

This work deals with the Universal Mobile Telecommunications System problems. It researches the parameters of influencing the UMTS Terrestrial Radio Access Network behaviour where is the Quality of Services support necessary. The aim of this master's thesis is the simulation and evaluation of scenarios running real-time UMTS services in Opnet Modeler environment. In the first part is the short introduction to this technology problem. The requirements and the aims, the frequency plan, the network architecture and the Quality of Services support in UMTS are described.

Creating the mobile network in the OPNET Modeler environment, configuration of the particular elements with the correct functionality and finally the parameters configuration for the Quality of Service at all workstations was the practical part of this work. At last phase was needed to compare the final statistics of the model without QoS support and the model with QoS support. I verified my knowledge in the OPNET Modeler program and the expected simulation results were confirmed.

The final part of the thesis was creating the laboratory problem on the basis experience gained.

**Keywords: UMTS, quality of service, mobile network, scenario, Opnet Modeler.**

KLIMEŠ, R. *Simulace a vyhodnocení scénářů nasazení služeb reálného času do sítí UMTS v prostředí Opnet Modeler*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 60 stran, 26 stran příloh. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Simulace a vyhodnocení scénářů nasazení služeb reálného času do sítí UMTS v prostředí Opnet Modeler jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a 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 diplomové práce doc. Ing. Vítu Novotnému, Ph.D., za odborné vedení, velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

**V Brně dne .....**

.....  
**(podpis autora)**

# OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ .....	7
ÚVOD .....	11
<b>1. MOBILNÍ SÍŤ TŘETÍ GENERACE – UMTS .....</b>	<b>12</b>
1.1. ÚVOD DO UMTS .....	12
1.2. POŽADAVKY A CÍLE .....	12
1.3. KMITOČTOVÝ PLÁN .....	13
1.4. ARCHITEKTURA SÍTĚ (UMTS) .....	14
1.5. RÁDIOVÁ PŘÍSTUPOVÁ SÍŤ (UTRAN) .....	15
<b>2. ZAJIŠTĚNÍ KVALITY SLUŽEB V SÍTI UMTS .....</b>	<b>16</b>
<b>3. SIMULACE SÍTĚ UMTS V PROSTŘEDÍ OPNET MODELER .....</b>	<b>18</b>
3.1. CÍL PRÁCE .....	18
3.2. OPNET MODELER .....	18
3.3. POSTUP VYTVOŘENÍ NOVÉHO PROJEKTU A SCÉNÁŘE .....	18
3.4. VÝBĚR PRVKŮ Z PALETY OBJEKTŮ A ROZMÍSTĚNÍ V SÍTI .....	19
<b>4. KONFIGURACE APLIKACÍ V SÍTI UMTS .....</b>	<b>21</b>
4.1. NASTAVENÍ SLUŽEB V APPLICATION CONFIG .....	21
4.1.1. <i>Nastavení služby Voice</i> .....	21
4.1.2. <i>Nastavení služby FTP</i> .....	21
4.1.3. <i>Nastavení služby Video</i> .....	21
4.1.4. <i>Nastavení služby HTTP (web)</i> .....	21
4.2. NASTAVENÍ SLUŽEB V PROFILE CONFIG .....	22
4.2.1. <i>Konfigurace spouštění telefonie - Voice</i> .....	23
4.2.2. <i>Konfigurace spouštění přenosu dat – FTP</i> .....	23
4.2.3. <i>Konfigurace spouštění videotelefonie – Video</i> .....	24
4.2.4. <i>Konfigurace spouštění webového prohlížení - HTTP</i> .....	26
4.3. NASTAVENÍ SLUŽEB NA MOBILNÍCH STANICÍCH A SERVERU .....	26
4.3.1. <i>Nastavení atributů na Video stanicích</i> .....	26
4.3.2. <i>Nastavení atributů na Voice stanicích</i> .....	27
4.3.3. <i>Nastavení atributů na FTP stanici</i> .....	27
4.3.4. <i>Nastavení atributů na HTTP stanici</i> .....	27
4.3.5. <i>Nastavení atributů na Media Serveru</i> .....	27
4.4. KONFIGURACE PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ UTRAN .....	28
4.5. VÝBĚR SLEDOVANÝCH STATISTIK .....	28
<b>5. DUPLIKACE SCÉNÁŘE A ZMĚNY PRO NOVÝ SCÉNÁŘ .....</b>	<b>30</b>
5.1. ZMĚNY V APPLICATION CONFIG .....	30
5.2. ZMĚNY V KONFIGURACI KAPACITY PRO MOBILNÍ STANICE .....	31
5.3. NASTAVENÍ A SPUŠTĚNÍ SIMULACE .....	32
<b>6. VÝSLEDKY SIMULACE .....</b>	<b>33</b>
6.1. PRVOTNÍ VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ SÍTĚ .....	33
6.1.1. <i>Chování videotelefonie</i> .....	33
6.1.2. <i>Chování telefonie</i> .....	34
6.1.3. <i>Chování aplikace FTP</i> .....	36
6.1.4. <i>Chování služby HTTP - web</i> .....	37
6.2. DALŠÍ VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ SÍTĚ .....	37
6.2.1. <i>Chování aplikace FTP</i> .....	38
6.2.2. <i>Chování videotelefonie</i> .....	39
6.2.3. <i>Chování telefonie</i> .....	42
6.2.4. <i>Chování služby HTTP- web</i> .....	44
6.2.5. <i>Ukončení provozu v síti UMTS</i> .....	45
6.3. KONEČNÉ VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ SÍTĚ .....	45
6.3.1. <i>Chování aplikace FTP</i> .....	47

6.3.2.	<i>Chování videotelefonie</i> .....	49
6.3.3.	<i>Chování telefonie</i> .....	51
6.3.4.	<i>Chování aplikace HTTP</i> .....	53
6.3.5.	<i>Ukončení provozu v síti UMTS</i> .....	53
<b>7.</b>	<b>POPIS LABORATORNÍ ÚLOHY</b> .....	<b>55</b>
<b>8.</b>	<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>56</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA</b> .....	<b>58</b>
	<b>ABECEDNÍ PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK</b> .....	<b>59</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>60</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Ukázka struktury sítě UMTS v prostředí Opnet Modeler .....	14
Obr. 3.1: První simulovaná síť UMTS (vlevo rozmístění prvků, vpravo paleta objektů).....	19
Obr. 3.2: Nastavení čekací doby u dráhy Dr4 .....	20
Obr. 4.1: Nastavení webové služby HTTP .....	22
Obr. 4.2: Konfigurace služby Voice (VoIP) a FTP v Profile Config .....	24
Obr. 4.3: Konfigurace služby Video a HTTP v Profile Config .....	25
Obr. 5.1: Změna priority služby telefonie .....	30
Obr. 5.2: Změna priority služby videotelefonie .....	31
Obr. 5.3: Změna propustnosti pro služby videotelefonie (nalevo) a voicetelefonie (napravo)	31
Obr. 5.4: Nastavení spouštění simulace pro oba scénáře .....	32
Obr. 6.1: Statistika pro celková přijatá data ve videokonferenci.....	33
Obr. 6.2: Zpoždění u videotelefonie.....	34
Obr. 6.3: Statistika pro celková přijatá data v telefonii .....	34
Obr. 6.4: Statistika pro celková odeslaná data v telefonii .....	35
Obr. 6.5: Kolísání zpoždění v telefonii (JITTER).....	35
Obr. 6.6: Statistika zpoždění pro telefonii .....	36
Obr. 6.7: Statistika pro aplikaci FTP (přijaté B).....	36
Obr. 6.8: Statistika pro aplikaci HTTP (přijaté B) .....	37
Obr. 6.9: Schéma další simulované UMTS sítě .....	38
Obr. 6.10: Statistika pro aplikaci FTP (přijaté B) .....	38
Obr. 6.11: Statistika pro celková přijatá data ve videokonferenci.....	39
Obr. 6.12: Zpoždění u videotelefonie.....	40
Obr. 6.13: Proměnlivost zpoždění u videotelefonie (packet delay variation) .....	40
Obr. 6.14: Nastavení kapacity linky pro video aplikaci ve scénáři Best Effort .....	41
Obr. 6.15: Nastavení intervalu přenosu na uzlu RNC ve scénáři QoS.....	41
Obr. 6.16: Nastavení PDCP komprese v obou scénářích .....	42
Obr. 6.17: Přenos dat u telefonie – přijatá data .....	42
Obr. 6.18: Zpoždění u telefonie.....	43
Obr. 6.19: Kolísání zpoždění tzv.jitter u telefonie .....	44
Obr. 6.20: Statistika pro aplikaci HTTP (přijaté B) .....	44
Obr. 6.21: Ukončení provozu v síti .....	45
Obr. 6.22: Schéma konečné simulované UMTS sítě.....	46
Obr. 6.23: Konfigurace cílových stanic (vlevo) a ukázka propojení mezi sebou (vpravo).....	47
Obr. 6.24: Chování aplikace FTP – přijaté soubory v Bytech (Download File Size) .....	48
Obr. 6.25: Chování aplikace FTP – přijatá data na úrovni TCP v Bytech .....	49
Obr. 6.26: Chování aplikace videotelefonie pro přijatá data v porovnání scénářů QoS a Best Effort.....	49
Obr. 6.27: Zpoždění videotelefonie - porovnání scénářů QoS a Best Effort .....	50
Obr. 6.28: Jiter (kolísání zpoždění) u videotelefonie - porovnání scénářů QoS (červená linka) a Best Effort (modré přímký) .....	51
Obr. 6.29: Chování aplikace telefonie pro přijatá data v porovnání scénářů QoS a Best Effort .....	51
Obr. 6.30: Zpoždění aplikace telefonie - v porovnání scénářů QoS a Best Effort .....	52
Obr. 6.31: Přijatá data u služby HTTP v porovnání scénářů QoS a Best Effort .....	53
Obr. 6.32: Ukončení provozu v síti a porovnání vysílacího výkonu na stanici s přijatými daty pro službu voice a HTTP .....	54

Obr. 6.33: Statistika přijatých souborů u služby http na stanici UE\_Voice4\_HTTP pro scénáře QoS (spodní) a Best Effort (vrchní) ..... 54

## ÚVOD

V dnešní době rozmachu bezdrátových komunikačních technologií a mobilních sítí, si velká část populace neumí představit život bez takových zařízení, jako je mobilní telefon, přenosný počítač (laptop) nebo kapesní počítač (PDA – Personal Digital Assistant). Telefonní hovory uskutečněné z mobilního (přenosného) přístroje si většina z nás vyzkoušela již během 90. let. Vývojem těchto technologií přišly pro uživatele další služby, jako byl přenos dat pomocí mobilních přístrojů (SMS – Short Message Service, MMS – Multimedia Message Service). S nárůstem počtu uživatelů a jejich nároků musela přijít inovace stávajících sítí a rozšíření o nové doplňky, které navýšily kapacitu a rychlost přenosu dat. Jednou z těchto inovací je systém mobilní sítě nazývaný UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), také často označovaný jako mobilní síť třetí generace. Vychází z předchozího standardu buňkových mobilních sítí označovaných jako GSM (Global System for Mobile Communication) a doplňuje je tak o navýšení zmiňovaných kapacit linek, zvýšení zabezpečení včetně šifrování komunikace a umožňuje postupný přechod telekomunikačních a datových služeb do jednotné paketové sítě. Aby ale mohly původní klasické telekomunikační služby pracující v reálném čase (telefonie) spolehlivě kooperovat s paketovými službami typu přenos dat (FTP – File Transfer Protocol) nebo prohlížení internetových stránek, bylo nutno do paketové sítě implementovat mechanismy, které v jednotném paketovém prostředí zaručí službám pracujícím v reálném čase takové přenosové parametry, bez jejichž zajištění by nebylo možné dané služby provozovat. Jedná se tedy o nasazení podpory kvalitativních požadavků služeb označované jako QoS (Quality of Service).

Cílem práce je demonstrace nasazení prostředků QoS v sítích třetí generace (UMTS), a to přímo pro služby pracující v reálném čase, typu videotelefonie a IP telefonie, vedle spuštěných služeb na pozadí, jako je přenos dat přes FTP nebo brouzdání po webových stránkách a sledovat jejich chování. Výsledkem jsou potom srovnání dvou scénářů, kde v jednom scénáři je aktivována metoda QoS a u druhého je ponecháno pouze základní nastavení tzv. „Best Effort“, ve kterém nejsou již zmiňované služby nijak rozlišeny, a tedy nijak zvláště tříděny během provozu v jednotlivých síťových uzlech. V tomto je pak zřejmé, jaký vliv má daná přenosová kapacita sítě a klasifikace služeb na provoz služeb v reálném čase.

Práce je rozdělena na dvě části, teoretickou a praktickou. V úvodní části je stručně rozebrána síť UMTS jako celek, počínaje vznikem prvních technologií až po výčet několika etap, kterými prošel vývoj probírané sítě. Důležitou částí je odstavec, který popisuje požadavky a cíle, které byly stanoveny v samotných začátcích vývoje sítí třetí generace. Jedná se hlavně jako vždy o nároky na vyšší přenosové kapacity z důvodů nadměrného růstu provozu, využití celosvětové mobility, vyšší zabezpečení včetně šifrování komunikace, ale hlavně sloučení mnoha služeb do paketového přenosu dat, nezávislost vlastností a nabídky služeb na technologii rádiového rozhraní a nebo sloučení služeb poskytovaných v pevných i mobilních sítích. Toto jsou výhody, které přinesla nová generace mobilních sítí UMTS. V další části kapitole je stručně nastíněno kmitočtové rozložení sítě UMTS a dále pak samotná architektura sítě, podrobněji rozebrána v další části konkrétně pro rádiovou přístupovou síť (UTRAN – UMTS Terrestrial Radio Access Network). Poslední teoretická kapitola pojednává o zajištění kvality služeb v síti UMTS.

V praktické části práce je úkolem seznámit se s prostředím Opnet Modeler, pomocí kterého je možné sestavit veškeré prvky dle zadaných kritérií, přidružit jim potřebné parametry a statistiky sledování, a nakonec celou síť nasimulovat v požadovaném časovém intervalu. Grafické zobrazení výsledků simulace bude rozebráno a vyhodnoceno. Posledním úkolem je na základě získaných praktických zkušeností sestavit laboratorní úlohu.

# 1. MOBILNÍ SÍŤ TŘETÍ GENERACE – UMTS

## 1.1. ÚVOD DO UMTS

V devadesátých letech začala organizace ITU (International Telecommunication Union) vyvíjet univerzální technologii pro mobilní sítě s použitým spektrem funkčním po celém světě, který bude poskytovat kvalitnější parametry jak pro hlasové, tak i datové služby. Tato technologie označována zkratkou IMT-2000 (International Mobile Telecommunications) je také nazývána jako mobilní systém třetí generace (3G). [5]

Koncem tohoto desetiletí v prosinci 1999 dokončila společnost ETSI (European Telecommunications Standards Institute) první specifikaci (Release 1999) pro technologie s kmitočtovým FDD (Frequency Division Duplex) a časovým TDD (Time Division Duplex) dělením. O rok později v březnu byl uskutečněn první 3G/UMTS hovor pomocí technologie TD-CDMA (TDD) a přesně za měsíc bylo dokončeno rozšíření pro pásmo v UMTS/IMT-2000. V prosinci roku 2001 byla spuštěna první komerční UMTS síť. Dnes je tato technologie rozšířena po celém světě, zaměřena spíše pokrytím na větší aglomerace, kde je tím pádem i větší hustota obyvatel.

První, respektive druhá generace mobilních komunikačních sítí (1G-2G) umožnila přenos hlasových služeb pomocí bezdrátových technologií. Důležitější ale byla s tím spojená standardizace, kompatibilita a přenositelnost do všech zemí světa, což předchází analogické generace nebyly schopny zajistit. Splnění těchto vlastností posunulo systémy druhé generace, tedy GSM systémy, k tomu, aby se rozšířily do celého světa. Mezi hlavními výhodami těchto systémů bylo plánování bezdrátové a přenosové části sítě a optimalizace procesů a činností, nezbytných pro správně běžící mobilní síť.

Třetí generace (3G) mobilních systémů známá pod pojmem Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) zavádí velmi odlišné datové toky na rádiovém rozhraní a stejně tak na řídicí přístupové části. Pro uživatele toto znamená dostupnější širší spektrum přepínaných obvodů nebo služeb paketových dat díky nově vyvinuté rádiové technologii s vysokou přenosovou rychlostí, nazývanou Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) – širokopásmové kódové dělení s mnohonásobným přístupem. K odlišení UMTS od konkurenčních technologií se často užívá název 3GSM, zdůrazňující kombinaci vlastností technologií 3G a standard GSM, který dosáhl jisté úspěšnosti.

## 1.2. POŽADAVKY A CÍLE

Zde je uvedeno několik vlastností a požadavků, které poskytuje síť UMTS:

- vysokorychlostní komunikační služby a asymetrické datové přenosy,
- přenosové rychlosti:
  - 2048 kb/s – v rámci budov, při rychlostech mobilní stanice do 6 km/h,
  - 384 kb/s – v městské zástavbě, při rychlosti mobilní stanice do 120 km/h,
  - 144 kb/s – v dopravních prostředcích mimo město,
- využití celosvětové mobility,
- nezávislost vlastností a nabídky služeb na technologii rádiového rozhraní,
- sloučení služeb poskytovaných v pevných i mobilních sítích,
- podpora pro nespojitě (IP přenosy) a spojitě (videokonference) datové přenosy,
- podpora pro plynulé datové a hlasové přenosy (uživatel bude moci používat internet a zároveň telefonovat bez potřeby dalšího přístroje),
- vyšší zabezpečení včetně šifrování komunikace.

Technologie třetí generace (3G) jsou vyvíjeny s návazností na technologie druhé generace (2G), rozdělení do etap umožňuje plynulý přechod z 2G na 3G. [3]  
Specifikace 3GPP rozděluje vývoj UMTS do etap vývoje značených tzv. „release“:

- Release 99 – první úplná definice UMTS, uvádí do provozu nové rádiové rozhraní UTRA (UTRAN), namísto rádiového rozhraní GSM. Struktura základní sítě se příliš neliší od struktury v systému GSM2+ s GPRS. Podpora hovoru není povinná.
- Release 4 – zlepšení funkčnosti, minimální změny,
- Release 5 – síť založená na IP, rozšíření o HSDPA,
- Release 6 – rozšíření na HSUPA, využití WLAN,
- Release 7.

### 1.3. KMITOČTOVÝ PLÁN

Systém UMTS používá přístupovou metodu W-CDMA (Wideband CDMA-Code Division Multiple Access) k oddělení přenosových kanálů a pro samotný přenos využívá dvou kódových technologií.

- **Technologie FDD (Frequency Division Duplex)** – pracuje na oddělených frekvencích při spojení mezi základnovou stanicí a telefonem ve směru uplink a downlink. Je vhodnější pro velkoplošné pokrytí a symetrické středně rychlé datové služby, ale je mnohem náročnější na regulaci výkonu na straně mobilního telefonu i základnové stanice.
- **Technologie TDD (Time Division Duplex)** – pracuje na stejné frekvenci pro uplink i downlink, ale je založena na střídání různých time slotů tzv. metodou „Ping-Pong“. Je vhodná pro asymetrické vysokorychlostní datové přenosy a pro pokrytí hlavně uvnitř budov.

Rozmezí kmitočtů je následující:

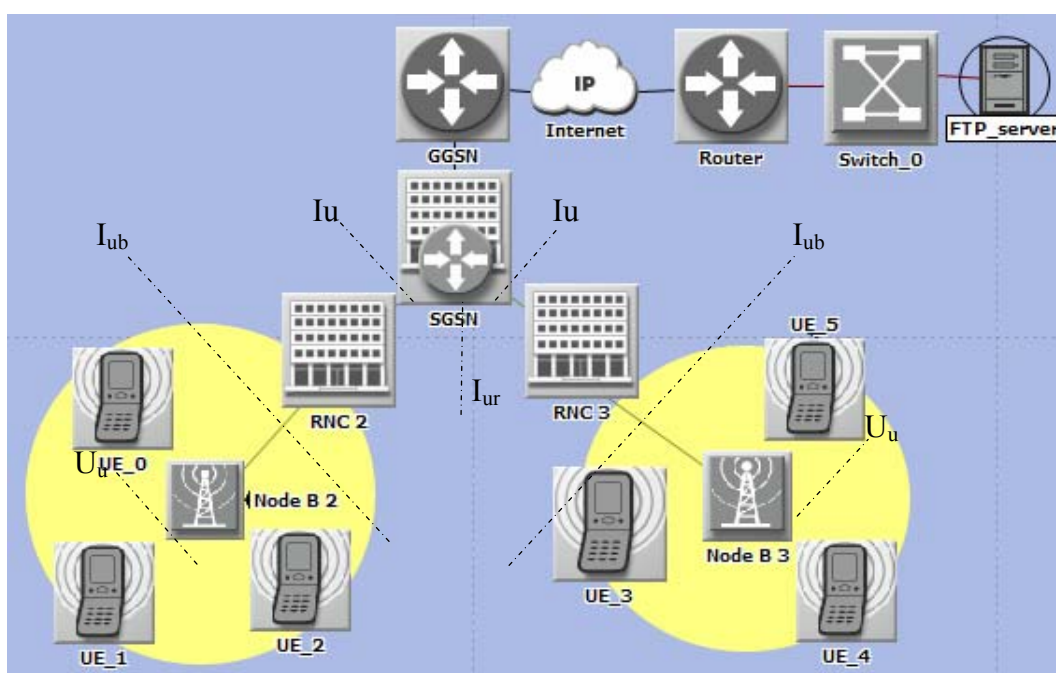
- **Párové kmitočty (FDD):**
  - 1920 – 1980 MHz uplink (Rx) – vysílání z BS na UE,
  - 2110 – 2170 MHz downlink (Tx) – vysílání z UE na BS.
- **Nepárové kmitočty (TDD):**
  - 1900 – 1920 MHz uplink (Rx) – vysílání z BS na UE,
  - 2010 – 2025 MHz downlink (Tx) – vysílání z UE na BS.
- **Družicové párové kmitočty:**
  - 1980 – 2010 MHz uplink (Rx),
  - 2170 - 2200 MHz downlink (Tx).

Každý mobilní terminál používá stejný nosný kmitočet a komunikuje ve stejném čase, přičemž pro vzájemné rozlišení používá každý svou vlastní kódovou sekvenci. V přijímači je signál dekodován na základě znalosti příslušné kódové sekvence a tím je obnovena přenášená informace. Systém využívá jak již bylo řečeno kombinovaný přístup FDMA/CDMA. Kmitočtové pásmo přidělené systému je rozděleno na jednotlivé rádiové kanály (FDMA) a v každém rádiovém kanálu jsou jednotlivé uživatelské kanály rozlišeny jedinečnou kódovou sekvencí (rozprostíracím kódem), kterou se kóduje přenášená informace (CDMA).

## 1.4. ARCHITEKTURA SÍTĚ (UMTS)

System UMTS má obdobnou strukturu jako síť GSM (viz. **Obr. 1.1**), ale s několika málo rozdíly v názvech prvků a jejich funkcích. Dělí se na dvě hlavní části: [1]

- **Rádiová přístupová síť RAN** (Radio Access Network) – poskytuje přístup mobilního uživatele k páteřní síti přes rádiové prostředí. (U systému GSM se jedná o obdobnou část, tzv. subsystém základnových stanic BSS).
- **Páteřní síť CN** (Core Network) – provádí spojovací funkce (propojení účastníků a směrování paketů), udržuje a obnovuje důležité informace uživatelů (polohu, bezpečnost, účtování) a zajišťuje spojení do dalších sítí. (Obdobou v síti GSM je síťový spojovací subsystém NSS).



**Obr. 1.1:** Ukázka struktury sítě UMTS v prostředí Opnet Modeler

Mobilní stanice UE (User Equipment) a základnová stanice Node\_B může být podobná jako BS (Base Station) a BTS (Base Transceiver Station) v GSM. V UMTS je pak každý Node\_B připojen k RNC (Radio Network Controller), který je obdobou BSC (Base Station Controller) v sítích GSM. Několik Node\_B a jedno RNC pak dohromady vytváří RNS (Radio Network Subsystem) neboli radiovou část sítě UMTS. Velkou fází přechodu oproti sítím GSM, které pokrývají téměř celé území daného státu, jsou sítě UMTS budovány formou malých bloků, které budou pokrývat místa, kde je o UMTS zájem - tedy velká města a aglomerace. [4]

Několik RNS dané UMTS sítě tvoří dohromady rádiové rozhraní sítě UMTS tzv. UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network). Přístupová síť UTRAN je částí systému, se kterým prostřednictvím rádiového rozhraní komunikují jednotlivé uživatelské terminály UE. V systému UMTS není možná komunikace jednotlivých mobilních stanic přímo mezi sebou. Na nejvyšší úrovni je použita technologie ATM (Asynchronous Transfer Mode) pro páteřní síť CN, dále pak směrem k uživatelům rádiová přístupová síť UTRAN a konečně uživatelé budou přistupovat k UMTS síti pomocí uživatelských terminálů UE.

Hlavní funkcí Core Network je spojování hovorů a směrování paketů. Existuje několik provedení CN, ale jednotným požadavkem stále zůstává dostatečná přenosová kapacita. Součástí této páteřní sítě jsou také databázové funkce a funkce síťového managementu. Prvním uzlem paketové části (Packet Switched Domain) směrem od rádiové přístupové sítě je SGSN (Serving GPRS Support Node), který poskytuje síťové prostředky pro uživatele v přístupové síti a implementuje paketové plánování pro politiku třídění služeb QoS. Je zodpovědný za ustanovení PDP (Packet Data Protocol) kontextu s uzlem GGSN (Gateway GPRS Support Node) jež je směrovačem paketů pro oba směry, jak do sítě UMTS tak směrem ven.

Mezi těmito dvěma částmi bylo definováno rozhraní  $I_u$  (mezi CN a UTRAN) a  $U_u$  (mezi UTRAN a UE). Mezi RNC a UE bylo definováno rozhraní  $I_{ub}$ . Novým prvkem, který v GSM nefiguroval, je rozhraní  $I_{ur}$  mezi jednotlivými RNC, který slouží k signalizaci mezi jednotlivými RNC.

## 1.5. RÁDIOVÁ PŘÍSTUPOVÁ SÍŤ (UTRAN)

Rádiové přístupová síť se skládá ze subsystémů rádiové sítě (RNS). Každý RNS obsahuje jeden RNC (Radio Network Controller), který by měl být připojen jen k jedné základní síti a to přes  $I_u$  rozhraní. Každý RNC má na starost několik Node\_B (ekvivalent GSM BTS). Uzly Node\_B jsou k RNC připojeny přes  $I_{ub}$  rozhraní. Rádiové rozhraní mezi Node\_B a uživatelským zařízením je označeno jako  $U_u$ .

Rozhraní  $I_{ur}$  mezi jednotlivými RNC slouží k zabezpečení tzv. soft handoveru bez přerušení spojení i při vysokých přenosových rychlostech, na přenos paketů ze zásobníku předešlého RNC do druhého RNC v případě, že uživatel už byl přepojen a zásobník předešlého RNC ještě obsahuje pakety, které nestihl poslat uživateli. Za pomoci  $I_{ur}$  rozhraní je možné i sdílení zdrojů jednotlivých RNC navzájem. [4]

### Přístupová síť UTRAN plní základní dvě funkce:

- zprostředkování rádiového přenosu,
- řízení a přidělování rádiových prostředků.

#### • Node B

Hlavní funkcí tohoto uzlu je převod uživatelských a řídicích dat z transportních kanálů na rozhraní  $I_{ub}$  do fyzických kanálů WCDMA na rozhraní  $U_u$  a naopak. Mimo tyto základní přenosové funkce zajišťuje Node\_B také řízení výkonu uživatelských zařízení (tzv. vnitřní smyčka) a provádí měření velikosti rádiových signálů na jehož základě rozhoduje o provedení handoveru, a také o zatížení buňky a řízení přístupu do buňky podle požadavků RNC. Další důležitou funkcí je zajištění kmitočtové a časové synchronizace mobilní stanice se systémem (chipové, bitové, slotové a rámcové).

#### • RNC

Uzel RNC přiděluje rádiové prostředky a zajišťuje řízení části UTRAN, která je pod jeho kontrolou. Převádí účastnické signály z rozhraní  $I_{ub}$  na  $I_u$  a naopak. Má na starosti řízení procesu „handover“, řízení výkonů signálů, vysílání systémových informací o podmínkách v jednotlivých buňkách, zajištění bezpečnosti UTRAN a další funkce.

## 2. ZAJIŠTĚNÍ KVALITY SLUŽEB V SÍTI UMTS

Bezdrátové mobilní sítě poskytovaly dlouhou dobu jen hlasové služby. Až postupem času se rozmohla technologie poskytování multimediálních datových služeb. Mobilní datové služby se stávají mnohem více nepostradatelnou součástí strategie mobilních operátorů a rozšiřují se stejně rychle jako dříve hlasové služby. Mobilní aplikace, prohlížení internetových stránek v mobilních přístrojích, videokonference nebo zasílání multimediálních zpráv (MMS) jsou služby, které mají odlišné nároky na síťové prostředky. Některé vyžadují větší rezervaci síťových prostředků, jiné zase nízkou latenci, ztrátovost nebo správnost doručení paketů. Proto jsou do dnešních technologií zaváděny další inovace mezi nimiž je právě metoda zajišťování kvality služeb tzv. QoS (Quality of Services). [2]

Zajištění kvality služeb QoS je schopnost sítě poskytovat službám úroveň zajištění obsluhy na odpovídající úrovni. Jedná se o poskytnutí nejlepší obsluhy služeb v co nejlepším poměru cena – výkon. Proto poskytovatelé těchto síťových služeb musí zajistit kvalitu služeb co nejúčinněji a nejefektivněji. QoS zahrnuje všechny funkce, mechanismy a procedury po celé délce mobilní sítě, mezi uživatelským zařízením (UE-User Equipment) v přístupové bezdrátové části až po pevnou síťovou část (CN – Core Network). Správa QoS se třídí do čtyř kategorií:

- **Plánování sítě** – zahrnuje dimenzování a detailní plánování sítě, což zahrnuje odhad požadovaného počtu vysílačů, propustnosti, základních prvků síťového jádra a kapacitu souvisejících rozhraní.
- **Poskytnutí QoS** – je proces, který implementuje QoS v síti a na mobilních stanicích. Přesouvá plánované kroky do mechanismů a parametrů do jednotlivých síťových uzlů, mobilních stanic a jejich následných konfigurací.
- **Kontrola QoS** – je důležitou částí pro mobilní operátory a slouží pro kontrolu měření funkčnosti parametrů QoS zapouzdřené v jejich mobilní síti, aby mohli poskytovat svým klientům co nejspolehlivější a plnohodnotné služby.
- **Optimalizace QoS** – je proces ke zlepšení celkové kvality chování sítě jako je například efektivnější zajištění síťových zdrojů. V celku zahrnuje měření výkonu sítě, analýzu výsledků měření a obnovu nastavení a parametrů. Stále se implementují nové technologie, inovují základní prvky nebo vlastnosti síťových prvků.

Při nasazení parametrů QoS v přístupové síti UMTS je třeba rozlišovat služby podle jejich vlastností chování a také jejich požadavků od sítě. V porovnání s pevnými sítěmi lze očekávat zcela jiné chování v bezdrátové mobilní přístupové síti. Proto musí mechanismy QoS poskytnout alespoň přiměřené výsledky, které se budou aspoň zčásti podobat vlastnostem chování služeb v pevných sítích. Proto se služby v mobilních sítích dělí na čtyři kategorie:

1. **Konverzační třída** – je určena pro služby pracující v reálném čase, jako je telefonie (VoIP) nebo videotelefonie, které komunikují ve formě klient – klient. Tyto služby vyžadují co nejmenší latenci (zpoždění) a jitter (kolísání zpoždění). Proto jsou zařazeny do této nejvyšší třídy priorit.
2. **Streamovací třída** – je to třída, kde služby komunikují na úrovni klient – server (jeden směr) v reálném čase, jako je například sledování videoklipů, nebo poslouchání internetových rádií. Tyto služby jsou daleko citlivější na kolísání

zpoždění než na samotné zpoždění, jelikož server dokáže určité zpoždění eliminovat ve vyrovnávací paměti.

3. **Interaktivní třída** – tato třída zahrnuje služby jako je prohlížení internetových stránek, přístup k serveru nebo správa databází. Proto nevyžadují přenos v reálném čase, ale pracují na principu dotaz – odpověď. Vyžadují pouze správnost doručení dat a minimální chybovost.
4. **Třída služeb na pozadí** – jak už název napovídá, jedná se o služby, které pracují na pozadí a tím nijak obzvláště nezatěžují samotnou síť, tedy služby s nejnižší prioritou. Do této kategorie spadá posílání SMS zpráv, přenos dat přes FTP, stahování hlaviček e-mailů nebo práce s databázemi. Nejsou citlivé na zpoždění ani kolísání zpoždění, pouze je nutné, aby byly správně a bezchybně doručeny k uživateli.

Hlavním rozdílem v těchto třídách je požadavek služeb, jaký od sítě očekávají a tím přiřazení samotných služeb do priorit. Podle toho jsou pak obsluhovány a tříděny, aby je mohl uživatel využívat bez pocítění omezení nebo nefunkčnosti požadovaných aplikací a samotné komunikace. Proto jsou velmi důležité pro nasazení do dnešních mobilních technologií, jako je samotný systém UMTS. Více informací lze najít v literatuře [2].

## 3. SIMULACE SÍTĚ UMTS V PROSTŘEDÍ OPNET MODELER

### 3.1. CÍL PRÁCE

Cílem této práce je demonstrace nasazení prostředků QoS (Quality of Services) u služeb pracujících v reálném čase typu videotelefonie, IP telefonie, vedle spuštěných běžných služeb jako je přenos dat přes FTP nebo prohlížení webových stránek, a sledovat jejich chování srovnáním dvou scénářů, kde v jednom scénáři je aktivována metoda QoS a ve druhém scénáři je ponecháno „defaultní“ (tzv. tovární) nastavení, nazývané v modelu jako Best Effort. Jedná se tedy o scénář bez podpory QoS. V obou scénářích je aplikována mobilita uživatelských stanic a je znázorněna bílými drahami, po kterých se stanice během provozu pohybují.

### 3.2. OPNET MODELER

Simulační program OPNET Modeler je nástroj, který dokáže simulovat a analyzovat jakoukoliv síťovou architekturu. Je velmi výkonný a efektivní z hlediska rozsáhlosti simulovaných sítí a zobrazení výsledných charakteristik. Tímto usnadňuje návrh komunikačních sítí, protokolů a aplikací s velkou flexibilitou testování.

Největší výhodou je jeho grafické prostředí, které usnadňuje rozmístění prvků sítě a jejich konfiguraci pro různé testovací účely. Výběr sledovaných statistik a po té samotné nastavení a spuštění simulace je také zcela snadné a efektivní. Před spuštěním simulace lze nastavit debugovací režim, při němž lze podrobně analyzovat případné nedostatky konfigurace sítě a také sledovat detailní průběh komunikace služeb v síti. Tyto informace lze po té exportovat do textového souboru. Výsledky simulací (tzv. statistiky) je možné zobrazovat přímo v programu nebo je snadno vyexportovat do tabulkového procesoru, kde lze hodnoty zobrazit v jakémkoliv grafu a následně uložit v různých formátech (např. XML, HTML). Nejtěžší částí je vždy samotná konfigurace prvků a celkového chování sítě.

Další výhodou tohoto programu je jeho vývojové prostředí, které je hierarchické a objektově orientované. Chování jednotlivých komponent je na nejnižší úrovni zapsáno v jazyce C/C++. Zdrojový kód je snadno dostupný, z čehož plyne, že ho lze dále modifikovat. Tento program je hojně využíván v celosvětových firmách zabývajících se plánováním a budováním takovýchto rozsáhlých sítí.

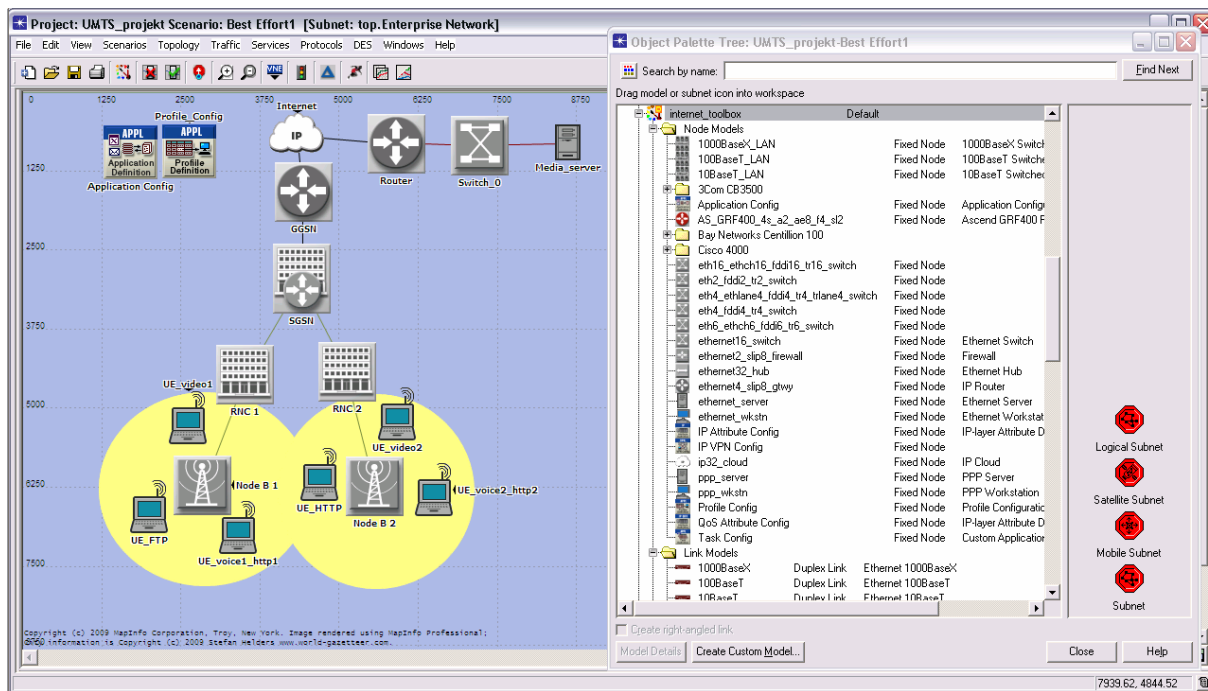
### 3.3. POSTUP VYTVOŘENÍ NOVÉHO PROJEKTU A SCÉNÁŘE

Vytváření prvotního modelu sítě je zcela obdobné jako u většiny projektů. [6] Při spuštění samotného Opnet Modeleru se vybere v Menu **File** → **New** → **Project**, pojmenuje se Projekt a Scénář a spustí se „průvodce vytvoření nového scénáře“. V dalším kroku se zvolí vytvoření prázdného scénáře **Create empty scenario**. Tlačítko next přesune průvodce do další nabídky, kde se vybere z možností rozměru sítě **Network Scale**, konkrétně pak rozložení sítě v **Enterprise** pro přesnější specifikaci rozměrů (vzdáleností mezi jednotlivými prvky sítě). V dalších krocích se nastaví rozměry 10km x 10km a pro rychlejší práci s umístěním prvků je vybrána technologie v **Model Family** → **UMTS + UMTS\_Advanced** a je třeba zvolit ve vedlejším sloupci **Include** na **Yes**. Posledním krokem průvodce je pouze stručné shrnutí nastavených úkonů. Kliknutím na **Finish** se průvodce ukončí, zobrazí se prázdná plocha a vedle nabídka prvků a spojů tzv. **Object Palette Tree**. Tímto nástrojem je možné sestavit síť umístěním prvků z palety objektů na předdefinovaný rozměr plochy. Jak vypadá taková plocha je vidět na **Obr. 3.1**.

### 3.4. VÝBĚR PRVKŮ Z PALETY OBJEKTŮ A ROZMÍSTĚNÍ V SÍTĚ

Nyní je připravené prostředí pro umístění jednotlivých prvků do sítě. Z palety objektů jsou vybrány následující prvky a rozmístěny podle **Obr. 3.1** (zvětšený model je v příloze C). Kliknutím pravého tlačítka myši na jednotlivé prvky je možné upravit název prvku (výběrem druhé položky od shora **Set Name**).

umts\_rnc\_ethernet\_atm\_slip = RNC,  
 umts\_sgsn\_atm9\_slip = SGSN,  
 umts\_ggsn\_slip8 = GGSN,  
 umts\_node\_b\_3sector\_adv = Node\_B,  
 umts\_wkstn\_adv = UE,  
 ip32\_cloud = Internet,  
 ethernet4\_slip8\_gtwy = Router,  
 ethernet16\_switch = Přepínač,  
 ethernet\_server\_adv = Media\_Server,  
 Application\_Config = Application\_Config,  
 Profile\_Config = Profile\_Config.



**Obr. 3.1:** První simulovaná síť UMTS (vlevo rozmístění prvků, vpravo paleta objektů)

Po rozmístění a pojmenování jednotlivých prvků podle **Obr. 3.1** je třeba je mezi sebou propojit následujícím způsobem:

- Spojem „ATM\_adv“ jsou propojeny prvky: **Node\_B** → **RNC** → **SGSN**,
- Spojem „PPP\_DS3“ jsou propojeny prvky: **SGSN** → **GGSN** → **Internet** → **Router**,
- Spojem „10BaseT“ jsou propojeny prvky: **Router** → **Switch** → **Media\_Server**,
- Stanice se připojují bezdrátově k příslušnému prvku **Node\_B**.

Na první pohled by se zdálo, že prvek **Switch** je v síti nadbytečný, ale je zde zapojen úmyslně pro případné pozdější připojení či testování více serverů.

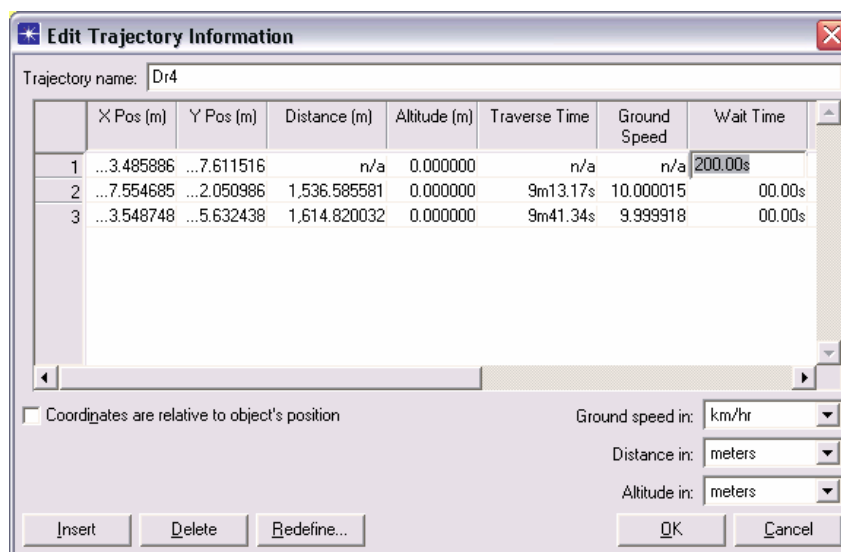
Propojování prvků je třeba začít od přístupové části směrem k páteřní, tzn. od **Node\_B** po **Media\_Server**, aby se předešlo případným chybám v propojení portů. Více stejných prvků

lze duplikovat výběrem a klasickým kopírováním jako v systému windows pomocí klávesových zkratk CTRL+C a vložením CTRL+V.

Dalším krokem je vytvoření velikosti buněk vybráním položky z menu **Topology/Open Annotation Palette** a z palety tvar kruhu, který se vloží do mapy. Kliknutím pravým tlačítkem myši na tento objekt a zvolením **Edit Attributes** se po té změni v položce fill:fill tak, aby byl kruh vyplněný. Nakonec se změni ještě barva na žlutou a objekt se pojmenuje jako Cell\_1. Takto vytvořený kruh se zkopíruje a každý pak umístí do středu uzlu Node\_B. Druhou buňku už je pak třeba jen přejmenovat. Velikost buněk je dána průměrnou velikostí výkonu, kterým **Node\_B** vysílá do okolního prostředí po celém obvodu kruhu. Jeho přednastavená hodnota je ½ míle (cca 800m. Hodnota dosahu je ale relativní, protože jak **Node\_B** tak mobilní stanice při pohybu svůj výkon regulují, a tím se stává buňka elastickou a měni se její skutečný tvar. V tomto projektu je proto pouze pro orientaci rozměrů a parametrů sítě.

V další dílčí fázi simulací se nastaví pro každou mobilní stanici dráha, po které se bude stanice pohybovat buďto směrem ven ze sítě od uzlu Node\_B nebo v rámci jedné či dvou buněk (Node\_B). Je nutné nastavit každou dráhu zvlášť a to výběrem položky **Topology → Define trajectory** (viz. Obr. 3.2). Každá dráha se pojmenuje odlišným názvem v kolonce **Trajectory name**, v prvním případě dráha 1 jako **D1** a potvrdí se kliknutím na **Define Path**. Otevře se další okno, kde se ponechá rychlost pohybu stanic po trajektorii 10km/h a kliknutím na střed vytvořených kružnic(buněk) se zvolí počátek. Dalším kliknutím mimo dosah Node\_B se dráha ukončí a potvrdí v další nabídce **Complete**. Zatím dráha není zobrazena, proto se musí přiřadit k jednotlivé stanici. V případě dráhy D1 je přiřazena na stanici UE\_video1 výběrem z kontextového menu Edit Attributes a výběrem této dráhy v kolonce **trajectory**. Takto se postupuje dále pro každou stanici. Jakmile jsou přiřazeny dráhy stanicím, je možné dráhy jednotlivě editovat a upravovat. Zde bude potřeba nastavit zpoždění startu (Wait Time) pohybu stanice kvůli potřebné inicializaci služby. Z kontextového menu dráhy se v položce **Wait Time** nastaví minimální hodnota 200s. U každé dráhy může být tato hodnota různá, ale vždy větší než oněch zmiňovaných 200s.

Nyní je model sestaven a může se přejít k samotnému nastavení chování a spouštění služeb (aplikací).



Obr. 3.2: Nastavení čekací doby u dráhy Dr4

## 4. KONFIGURACE APLIKACÍ V SÍTI UMTS

Aby bylo možné provozovat dané služby v síti UMTS, je třeba je specifikovat v položce na ploše v tzv. **Application Config**. Pro definici spouštění, opakování a době trvání služeb se využije nastavení v tzv. **Profile Config**. Prvotní konfigurace bude prozatím pro scénář bez podpory QoS, tzn. „**Best Effort**“, který se bude později duplikovat a nastavovat pro již zmíněné parametry QoS.

### 4.1. NASTAVENÍ SLUŽEB V APPLICATION CONFIG

#### 4.1.1. Nastavení služby Voice

Klasickým postupem se vybere z kontextového menu **Edit Attributes** a „+“ se rozbolí záložka **Application Definitions**. O řádek níže **Number of Rows** se vybere počet aplikací, které budou v dané síti provozovány, tzn. změnou na hodnotu 4 nabídne možnosti pro 4 služby, jejichž nastavení bude probráno v další části.

Dalším krokem je nadefinování jednotlivých aplikací. Rozkliknutím „+“ položky **Enter Application Name** se v záložce **Name** pojmenuje služba, v tomto případě hlasová služba **voice**. V záložce **Description** se vybere a edituje **Edit** právě zmíněný **Voice**, kde se aktivuje typ hlasové služby, a to **GSM Quality Speech**.

#### 4.1.2. Nastavení služby FTP

Postup nastavení u této aplikace je obdobný jako u předchozího, pouze se po editaci změní:

- velikost přenášeného souboru v Bytech → **File Size (bytes)** na konstantní hodnotu, a to 1000 Bytů → **Constant (1000)**,
- doba mezi jednotlivými přenosy souboru → **Inter-Request Time (seconds)** na konstantních 10 vteřin → **constant (10)**.

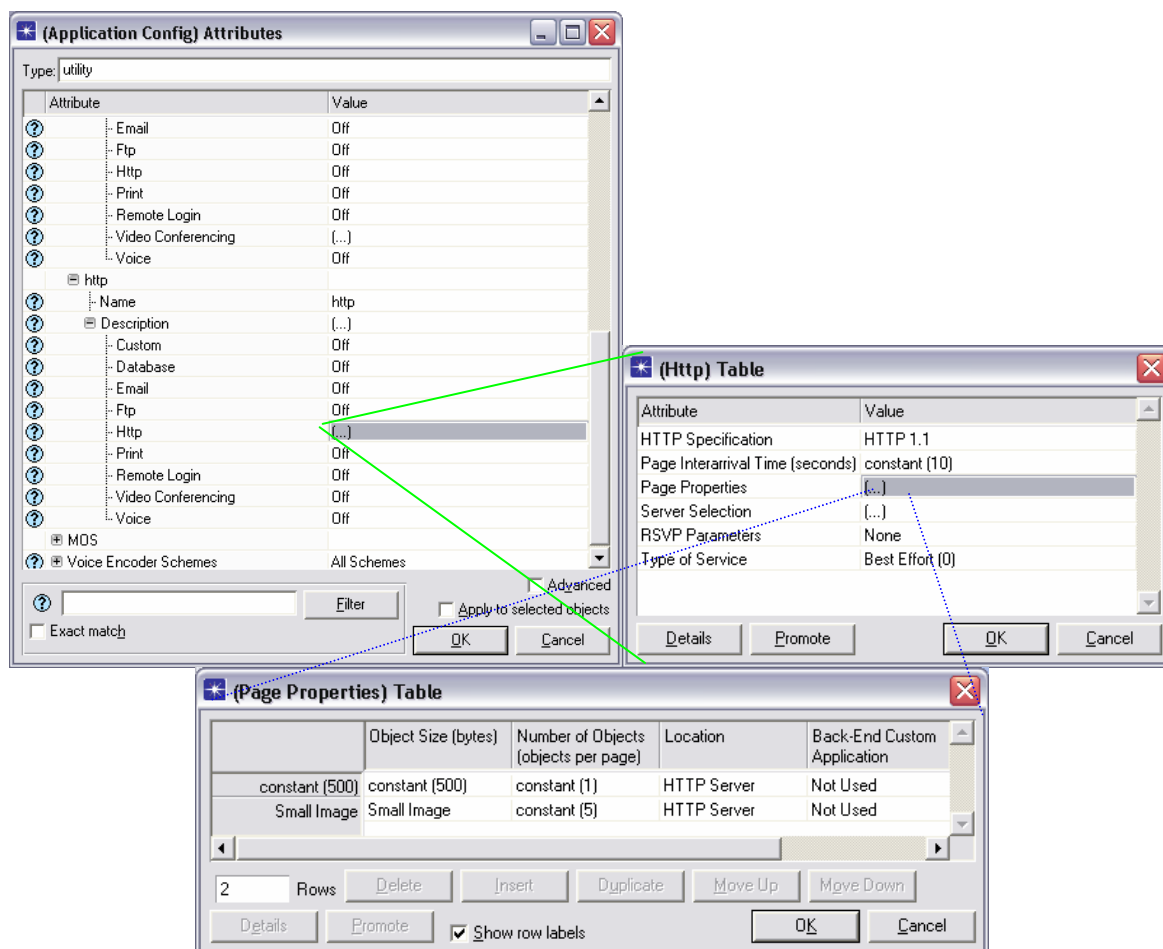
#### 4.1.3. Nastavení služby Video

Po výběru a editaci této služby v další záložce se upraví počet snímku za sekundu **Frame Interarrival Time Information** z přednastavených 30 snímků/s na 10 snímků/s → **10 frames/sec**. Platí jak pro odesílané tak pro přijaté snímky. Druhou položkou **Frame Size Information (bytes)** se nadefinuje velikost jednoho snímku editováním příslušného řádku ve sloupci **Value** a v dalším okně změnou jednotky **Value**, pro oba směry download i upload identicky, na hodnotu **uniform (10, 1000)**, tzn. vybere nejvhodnější velikost snímku podle potřeby v rozmezí 10B – 1000B). Tato relativně malá velikost snímku byla vybrána z toho důvodu, že s takovýmto nastavením se videotelefonie chovala nejspolehlivěji a výsledné charakteristiky byly ze všech testovacích velikostí nejreálnější. Při jiných velikostech byl v síti jen nepatrný provoz, nebo dokonce nebyla zaznamenána žádná komunikace.

#### 4.1.4. Nastavení služby HTTP (web)

Poslední nastavovanou aplikací byla služba http, kde se provedli po editaci **Edit** tyto změny (viz. **Obr. 4.1**):

- **Page Interarrival Time (seconds)** → **constant (10)** – čas pro načtení dalších webových stránek (10s),
- **Page Properties** (nastavení stránek) - **Object Size (bytes)** (velikost stránky) – **constant (500)** (konstantní – 500Bytů) – odpovídající načítání malých obrázků → **small image**.



Obr. 4.1: Nastavení webové služby HTTP

Tímto posledním krokem jsou nastaveny všechny aplikace, které budou v síti UMTS provozovány. Nicméně samotné nastavení vlastností aplikací nestačí. Je potřeba přiřadit danou službu dané mobilní stanici (bude podrobněji rozebráno v další kapitole) a čas spuštění, kdy se jednotlivá služba spustí a bude v síti provozována, nebo také jak dlouho bude spuštěna, či jaká bude doba mezi jednotlivými požadavky.

## 4.2. NASTAVENÍ SLUŽEB V PROFILE CONFIG

Nyní se vytvoří čtyři profily, pro každou aplikaci jeden. Na ploše je prvek s názvem **Profile Config**, který bude editací pomocí kontextového menu uzpůsoben pro spuštění a obsluhování již nadefinovaných aplikací. To znamená zvolit hodnotu „4“ v záložce **Profile Configuration** → **Number of Rows** a vybrané prázdné položky pojmenovat na řádku **Profile Name** intuitivně na *jmenoAplikace\_prf*. Konkrétní případ je uveden pro hlasovou aplikaci **Voice**. Samotné nastavení spuštění a ukončení služby se skrývá pod záložkou **Applications**, které bude rozebráno v podkapitole jednotlivých aplikací dále. Další řádky pod Aplikací slouží pro nastavení spuštění profilu. Vše co se rozbalí pod záložkou **Applications** bude ovládat pouze službu, zbytek profil. Ve skutečnosti to funguje tak, že jako první se při spuštění provozu sítě inicializuje (spouští) „profil“ např. **Voice\_prf** ze strany klienta, nebo-li účastníka zahajující komunikaci, a poté se spouští „služba“ **Applications**, jak ze strany serveru, tak ze strany odpovídajícího klienta.

Jelikož jsou již všechny aplikace správně pojmenovány, může se přejít na detailní nastavení (viz kap. 4.2.1). Pro všechny aplikace bude postup nastavování stejný, jen s rozdílem hodnot, které budou uvedeny konkrétně u každé konkrétní služby.

#### 4.2.1. Konfigurace spouštění telefonie - Voice

Jelikož je připraven profil pro každou aplikaci, je nutné přiřadit aplikaci odpovídajícímu profilu. Rozkliknutím položky Applications se vybere počet služeb v profilu provozovaných tzn. v řádku Number of Rows se zvolí hodnota „1“, jelikož bude každý profil obsluhovat pouze jednu službu. Tímto se otevře další řádek, který nabízí vložení příslušné aplikace. Kliknutím se rozvine další nabídka, kde se do řádku Name vloží (vybere) dříve vytvořená služba. Budou modifikovány pouze tyto konkrétní položky (viz. Obr. 4.2):

**Voice\_prf** - profil pro telefonii VoIP.

- **Applications** - zde se vloží aplikace, která byla dříve vytvořena v objektu Application config – pro tento případ **Voice** služba.
  - **Rows** => **1** - počet aplikací, které se budou spouštět s tímto profilem.
  - **Name** => **voice** - jméno aplikace, kterou jsme vytvořili v objektu Application config.
    - **Start Time Offset (seconds)** => **constant(5)**,
    - zde se nastaví čas v sekundách, kdy se daná aplikace spustí – konstantní - 5 sekund.
    - **Duration** => **constant(60)**,
    - doba trvání dané aplikace – konstantní - 60 sekund.
    - **Repeatability:**
      - udává počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování.
      - **Inter-repetition Time(seconds)** => **constant(0.1)**,  
doba mezi opakováním aplikace – konstantní - 0,1 sekundy.
      - **Number of Repetitions** => **Unlimited**,  
počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování – neomezený.
      - **Repetition Pattern** => **Serial**,  
definuje, kdy bude spuštěn další přenos souboru v pořadí za sebou (sériově).

**Operation Mode** => **Serial(Ordered)**

- určuje, v jakém pořadí se bude aplikace spouštět. V tomto případě v pořadí za sebou,

**Start Time (seconds)** => **constant (120)**

- určuje kdy bude profil spuštěn – profil bude spuštěn ve 120. sekundě,

**Duration (seconds)** => **End of Simulation**

- určuje dobu trvání profilu – trvání bude do konce simulace,

**Repeatability** => **Once at Start Time**

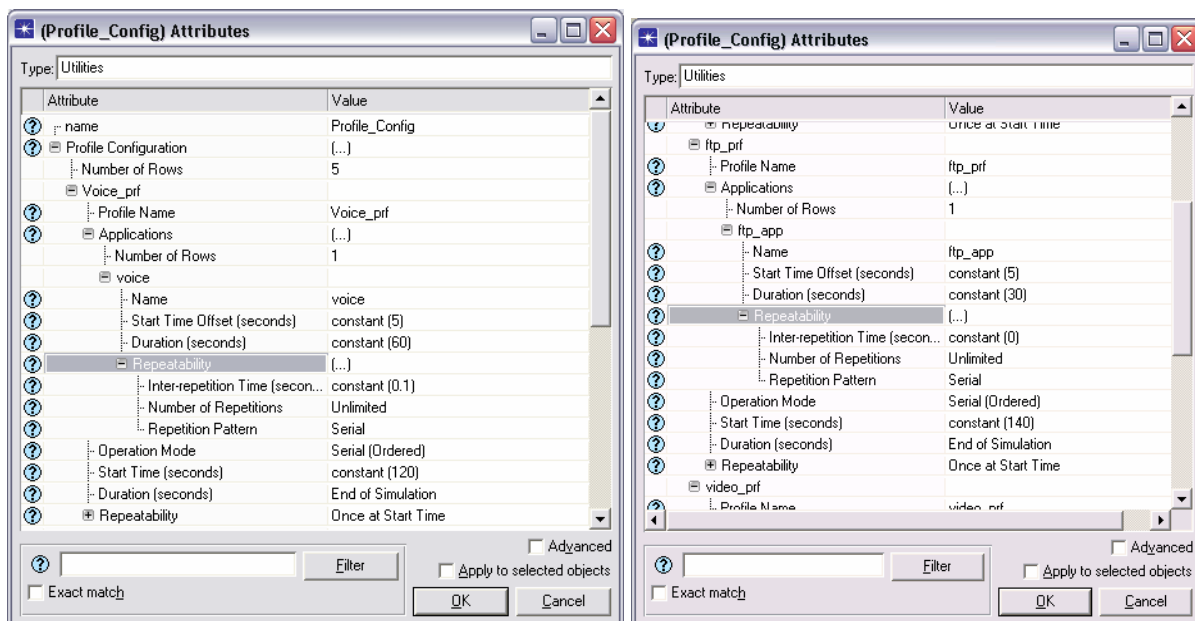
- udává počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování – jednou na začátku.

*Poznámka: Samotný přenos dat pro tuto službu bude sečtením začátku spuštění profilu a samotné služby, tzn.  $120 + 5 = 125$ , tedy ve 125. sekundě.*

#### 4.2.2. Konfigurace spouštění přenosu dat – FTP

**ftp\_prf** - profil pro přenos dat FTP (viz. Obr. 4.2):

- **Applications** - zde se vloží aplikace, která byla dříve vytvořena v objektu Application config – pro tento případ **FTP** služba.
  - **Rows** => **1** - počet aplikací, které se budou spouštět s tímto profilem.



Obr. 4.2: Konfigurace služby Voice (VoIP) a FTP v Profile Config

- **Name => FTP\_app** - jméno aplikace, kterou jsme vytvořili v objektu Application config.
- **Start Time Offset (seconds) => constant(5)**,  
zde se nastaví čas, kdy se daná aplikace spustí v sekundách – konstantní - 5 sekund.
- **Duration => constant(30)**,
- doba trvání dané aplikace – konstantní - 30 sekund.
- **Repeatability:**  
udává počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování.
  - **Inter-repetition Time(seconds) => constant(0)**,  
doba mezi opakováním aplikace – konstantní - 0 sekund.
  - **Number of Repetitions => Unlimited**,  
počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování – neomezený.
  - **Repetition Pattern => Serial**,  
defnuje, kdy bude spuštěn další přenos souboru v pořadí za sebou (sériově).

**Operation Mode => Serial(Ordered),**

- určuje, v jakém pořadí se bude aplikace spouštět. V tomto případě v pořadí za sebou.

**Start Time (seconds) => constant (140),**

- určuje kdy bude profil spuštěn – profil bude spuštěn ve 140. sekundě.

**Duration (seconds) => End of Simulation,**

- určuje dobu trvání profilu – trvání bude do konce simulace.

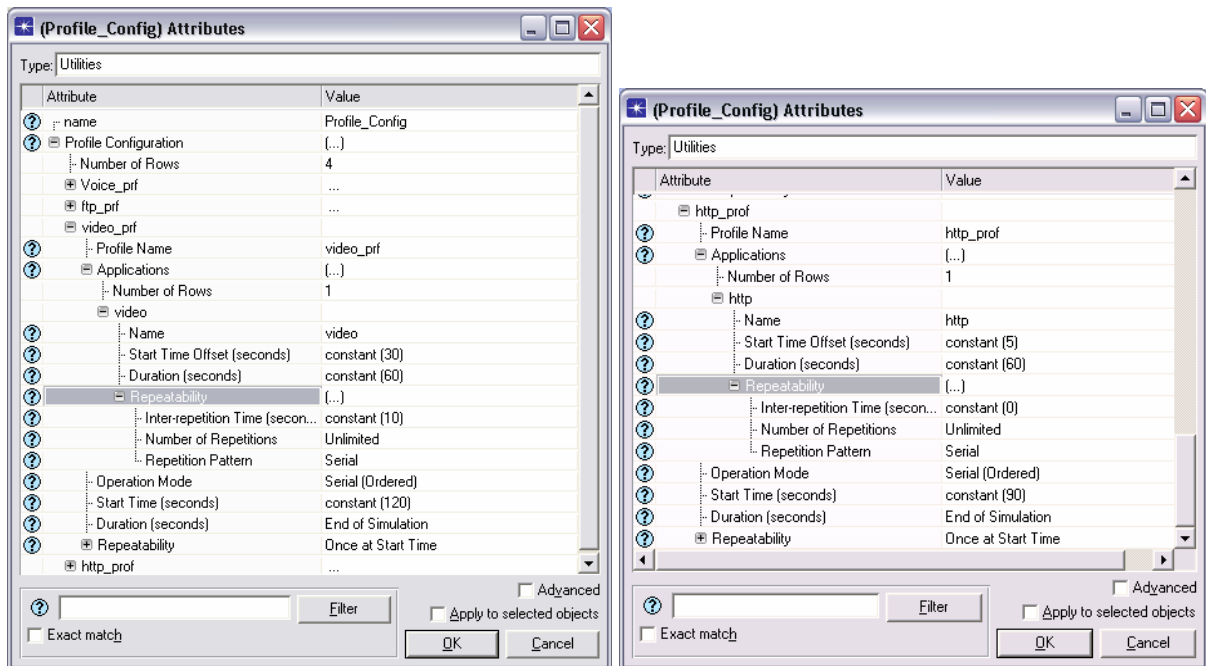
**Repeatability => Once at Start Time,**

- udává počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování – jednou na začátku.

*Poznámka: Samotný přenos dat pro tuto službu bude sečením začátku spuštění profilu a samotné služby, tzn.  $140 + 5 = 145$ , tedy ve 145. sekundě.*

**4.2.3. Konfigurace spuštění videotelefonie – Video**

**Video\_prf** - profil pro videotelefonii (nastavení je na Obr. 4.3).



Obr. 4.3: Konfigurace služby Video a HTTP v Profile Config

- **Applications** - zde se vloží aplikace, která byla dříve vytvořena v objektu Application config – pro tento případ **Video** služba.
  - **Rows** => **1** - počet aplikací, které se budou spouštět s tímto profilem.
  - **Name** => **video** - jméno aplikace, kterou jsme vytvořili v objektu Application config.
    - **Start Time Offset (seconds)** => **constant(30)**,  
zde se nastaví čas, kdy se daná aplikace spustí v sekundách – konstantní - 15 sekund.
    - **Duration** => **constant(60)**,
    - doba trvání dané aplikace – konstantní – 60 sekund.
    - **Repeatability:**  
udává počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování.
      - **Inter-repetition Time(seconds)** => **constant(10)**,  
doba mezi opakováním aplikace – konstantní - 10 sekund.
      - **Number of Repetitions** => **Unlimited**,  
počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování – neomezený.
      - **Repetition Pattern** => **Serial**,  
definuje, kdy bude spuštěn další přenos souboru v pořadí za sebou (sériově).
  - **Operation Mode** => **Serial(Ordered)**,  
určuje, v jakém pořadí se bude aplikace spouštět. V tomto případě v pořadí za sebou.
  - **Start Time (seconds)** => **constant (120)**,  
určuje kdy bude profil spuštěn – profil bude spuštěn ve 120. sekundě.
  - **Duration (seconds)** => **End of Simulation**,  
určuje dobu trvání profilu – trvání bude do konce simulace.
  - **Repeatability** => **Once at Start Time**,  
udává počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování – jednou na začátku.

***Poznámka:** Samotný přenos dat pro tuto službu bude sečtením začátku spuštění profilu a samotné služby, tzn.  $120 + 30 = 150$ , tedy ve **150. sekundě**.*

#### 4.2.4. Konfigurace spouštění webového prohlížení - HTTP

Http\_prf - profil pro službu HTTP (nastavení je na Obr. 4.3).

- **Applications** - zde se vloží aplikace, která byla dříve vytvořena v objektu Application config – pro tento případ **HTTP - web** služba.
  - **Rows** => **1** - počet aplikací, které se budou spouštět s tímto profilem.
  - **Name** => **http** - jméno aplikace, kterou jsme vytvořili v objektu Application config.
    - **Start Time Offset (seconds)** => **constant(5)**,  
zde se nastaví čas, kdy se daná aplikace spustí v sekundách – konstantní - 5 sekund.
    - **Duration** => **constant(60)**,  
doba trvání dané aplikace – konstantní - 60 sekund.
    - **Repeatability**:  
udává počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování.
      - **Inter-repetition Time(seconds)** => **constant(0)**,  
doba mezi opakováním aplikace – konstantní - 0 sekund.
      - **Number of Repetitions** => **Unlimited**,  
počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování – neomezený.
      - **Repetition Pattern** => **Serial**,  
definuje, kdy bude spuštěn další přenos souboru v pořadí za sebou (sériově).

**Operation Mode** => **Serial(Ordered)**,

- určuje, v jakém pořadí se bude aplikace spouštět. V tomto případě v pořadí za sebou.

**Start Time (seconds)** => **constant (90)**,

- určuje kdy bude profil spuštěn – profil bude spuštěn v 90. sekundě.

**Duration (seconds)** => **End of Simulation**,

- určuje dobu trvání profilu – trvání bude do konce simulace.

**Repeatability** => **Once at Start Time**,

- udává počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování – jednou na začátku.

**Poznámka:** Samotný přenos dat pro tuto službu bude sečtením začátku spuštění profilu a samotné služby, tzn.  $90 + 5 = 95$ , tedy v **90. sekundě**.

### 4.3. NASTAVENÍ SLUŽEB NA MOBILNÍCH STANICÍCH A SERVERU

V tomto okamžiku jsou v síti nastaveny čtyři aplikace, jejich časové ovládání a zbývá už jen přidělit jednotlivé aplikace konkrétním stanicím a na serveru. U videotelefonie a telefonie je provoz dat jen mezi mobilními stanicemi, to znamená že jeden účastník hovor zahajuje (spouští profil) a druhý účastník reaguje spuštěním služby. Po této inicializaci služby již nezáleží na tom kdo během provozu sítě zahajuje nebo přijímá komunikaci.

U služeb FTP a HTTP je to trochu jinak, poněvadž je to komunikace klient – server, takže mobilní stanice zahajuje přenos dat (spouští profil) a server odpovídá spuštěním služby. Konkrétní nastavení spouštění služeb bude popsáno dále.

#### 4.3.1. Nastavení atributů na Video stanicích

Mobilní stanice UE\_video1 bude v této síti zahajovat prvotní videotelefonii, proto je nutné nastavit v kontextovém menu **Edit Attributes** v záložce **Applications** → **Application: Supported Profiles** následující parametry:

- **Number of Rows** – **1**,
- **Profile Name** – **video\_prf**.

Na druhé mobilní stanici **UE\_video2** bude třeba nastavit právě zmiňovanou službu. Toto se provede editací záložky **Applications** → **Application: Supported Services**. V nově otevřeném okně se vpravo dole vybere počet řádků – aplikací, takže pro tento případ pouze jeden, jelikož se zde bude spouštět jen služba videotelefonie. Ve sloupci **Name** se vybere právě služba **video** a v pravém sloupci se aktivuje na **Supported**.

#### 4.3.2. *Nastavení atributů na Voice stanicích*

Nastavení pro hlasovou službu na těchto stanicích je identické jako u předchozích video stanic s tím rozdílem, že na voice stanicích bude provozována i služba **HTTP – web**, jak sám název stanic napovídá. To znamená, že tito klienti během telefonování mezi sebou ještě komunikují se serverem a prohlíží na něm webové stránky. Změny oproti Video stanicím jsou následující:

V záložce **Applications** → **Application: Supported Profiles**:

Stanice **UE\_voice1\_http1**:

- **Number of Rows** – 2,
- **Profile Name** – **Voice\_prf**.

Stanice **UE\_voice2\_http2**:

- **Number of Rows** – 1,
- **Profile Name** – **Http\_prf**.

V záložce **Applications** → **Application: Supported Services** platí pouze pro stanici **UE\_voice2\_http2**, kde se editací spustí služba **Voice** podobně jako u videotelefonie.

#### 4.3.3. *Nastavení atributů na FTP stanicí*

U této mobilní stanice je nastavení velmi rychlé, pouze se v záložce **Applications** → **Application: Supported Profiles** přiřadí předdefinovaný profil **ftp\_prf**. Služba bude spuštěna až na **Media\_serveru**, který obsluhuje jak FTP provoz, tak webovou službu HTTP.

Jelikož doposud vytvořené nastavení nebylo dostačující díky nestabilnímu chování FTP aplikace, bylo zjištěno pomocí „debug“ režimu, že dalším nezbytným krokem po několika neúspěšných pokusech o komunikaci u této služby je nutné zvýšit počet opakovaného vysílání v záložce **TCP** → **TCP Parameters** → **Retransmission Thresholds** → **Maximum Connect Attempts (attempts)** z původní hodnoty „3“ na „5“. A nakonec zvýšení počátečního časového limitu pro opětný přenos v záložce **TCP** → **TCP Parameters** → **Initial RTO (sec)** z původních „3“ na 10 sekund.

#### 4.3.4. *Nastavení atributů na HTTP stanicí*

Opět stejné nastavení jako u FTP. V záložce **Applications** → **Application: Supported Profiles** se aktivuje profil **http\_prf** a upraví další zmiňovaný protokol TCP stejně jako u služby FTP (viz. **Kap. 4.3.3**).

#### 4.3.5. *Nastavení atributů na Media\_Serveru*

Zde bude nastavení opět jednoduché. V záložce **Applications** → **Application: Supported Services** se edituje vedlejší sloupec, kde se aktivují 2 řádky → **Rows** – 2 a každému se vybere jedna služba. Na prvním řádku to bude přenos dat **ftp\_app** a na druhém prohlížení webových stránek **http**.

Posledním krokem je také úprava protokolu TCP stejně jako u stanic FTP a HTTP (viz. **Kap. 4.3.3**).

#### 4.4. KONFIGURACE PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ UTRAN

V této části bude rozebráno, jak je potřeba nastavit mobilním stanicím přenosovou kapacitu, aby se mohli v síti UMTS vůbec uplatnit a chovali se podle předpokladů.

Z dlouhosáhlého bádání a testování bylo zjištěno, že největší kapacitu síťových prostředků si žádala videotelefonie, která pro svoji komunikaci potřebovala rezervovat pro oba směry UPLOAD/DOWNLOAD kapacitu 128 kbps. Druhou náročnou službou je telefonie, které se muselo uvolnit pro nejlepší výsledky 64 kbps. Na stejné úrovni zůstaly služby FTP a HTTP, kterým zcela dostačovala kapacita 32kbps.

Tyto kapacity zůstávají identické pro oba scénáře jak „**Best Effort**“ tak pro „**QoS**“ s rozdílem definování těchto kapacit v příslušných záložkách. Prozatím bude rozebráno konkrétní nastavení pro scénář „**Best Effort**“. Změny u druhého scénáře budou vysvětleny v další kapitole.

##### 1) *Nastavení přenosové kapacity pro Video klienty*

Editací kontextového menu na video klientech se zvolí záložka **UMTS → UMTS QoS Profile Configuration → Background → Bit Rate Config** a nastaví se tyto hodnoty:

- a) **Maximum Bit Rate Uplink (kbps)** – 128,
- b) **Maximum Bit Rate Downlink (kbps)** – 128.

##### 2) *Nastavení přenosové kapacity pro klienty telefonie*

Editací kontextového menu na Voice klientech se zvolí záložka **UMTS→UMTS QoS Profile Configuration→Background→Bit Rate Config** a nastaví se tyto hodnoty:

- a) **Maximum Bit Rate Uplink (kbps)** – 64,
- b) **Maximum Bit Rate Downlink (kbps)** – 64.

##### 3) *Nastavení přenosové kapacity pro FTP klienta*

Editací kontextového menu na FTP klientech se zvolí záložka **UMTS→UMTS QoS Profile Configuration→Background→Bit Rate Config** a nastaví se tyto hodnoty:

- a) **Maximum Bit Rate Uplink (kbps)** – 32,
- b) **Maximum Bit Rate Downlink (kbps)** – 32.

##### 4) *Nastavení přenosové kapacity pro HTTP klienta*

Editací kontextového menu na HTTP klientech se zvolí záložka **UMTS→UMTS QoS Profile Configuration→Background→Bit Rate Config** a nastaví se tyto hodnoty:

- a) **Maximum Bit Rate Uplink (kbps)** – 32,
- b) **Maximum Bit Rate Downlink (kbps)** – 32.

Tímto krokem končí nastavení veškerých aplikací a chování služeb na jednotlivých stanicích a serveru a může se přejít na výběr sledovaných statistik.

#### 4.5. VÝBĚR SLEDOVANÝCH STATISTIK

V této části je třeba vybrat charakteristiky, které budou rozebrány ve výsledcích simulace sítě. Provede se to tím způsobem, že se kliknutím na plochu pravým tlačítkem myši vybere z kontextového menu položka „**Choose Individual DES Statistic**“. V nově otevřeném okně se vyberou následující charakteristiky:

- **Global statistics:** globální statistiky – pro každou službu všechny statistiky
  - **FTP**

- **HTTP**
- **Video Conferencing**
- **Voice**
  
- **Node statistics:** statistiky pro jednotlivé uzly
  - **Client FTP**
  - **Client HTTP**
  - **Server FTP**
  - **Server HTTP**
  - **Video Called Party** – charakteristika pro přijímací video stanici
  - **Video Calling Party** – charakteristika pro volající video stanici
  - **Video Conferencing**
  - **Voice Application**
  - **Voice Called Party** – charakteristika pro přijímací telefonní stanici
  - **Voice Calling Party** – charakteristika pro volající telefonní stanici
  - **UMTS UE RLC/MAC (PER PHY CHNL)** – zde se bude sledovat výkon na jednotlivých stanicích

## 5. DUPLIKACE SCÉNÁŘE A ZMĚNY PRO NOVÝ SCÉNÁŘ

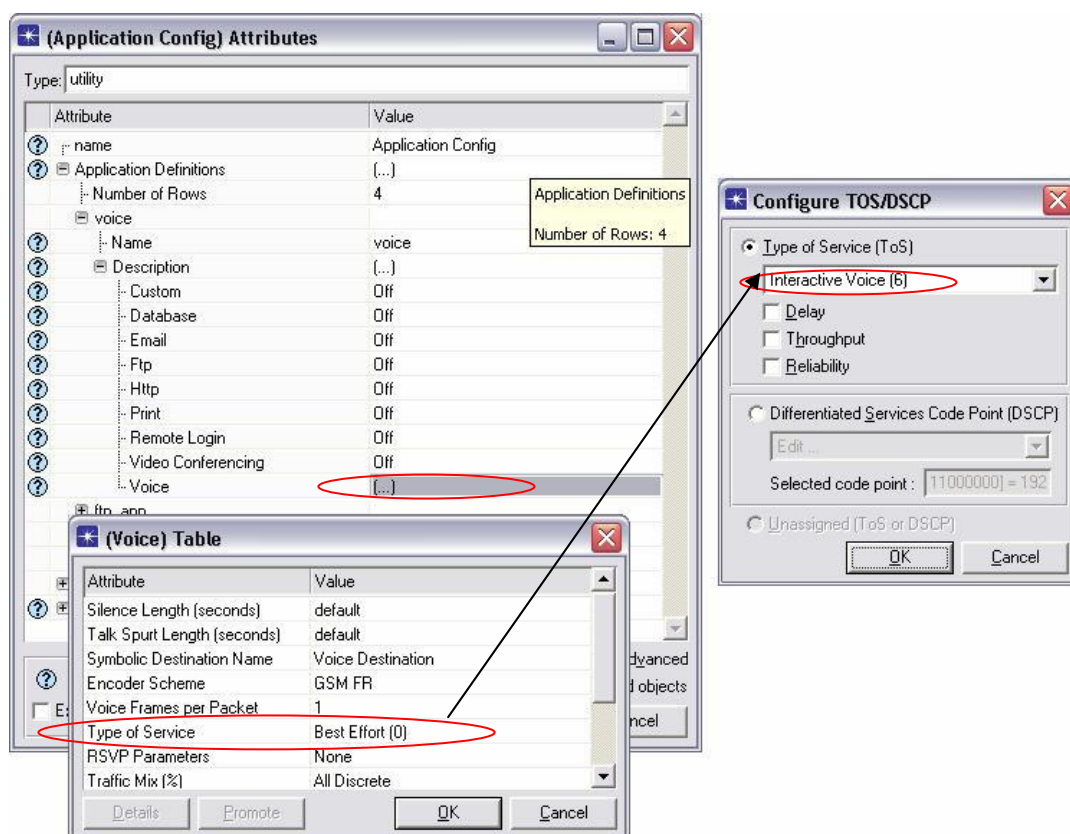
Nyní je scénář „Best Effort“ kompletně připraven na simulaci. Proto se toho využije pro vytvoření druhého scénáře „QoS“, což velmi ulehčí práci ve všech nastaveních. Ne však zcela. Drobné úpravy bude třeba provést.

Výběrem záložky **Scenarios** v hlavním menu a následně pak kliknutím na **Duplicate Scenario** se vytvoří naprosto identický scénář, který stačí jen pojmenovat jménem **QoS**.

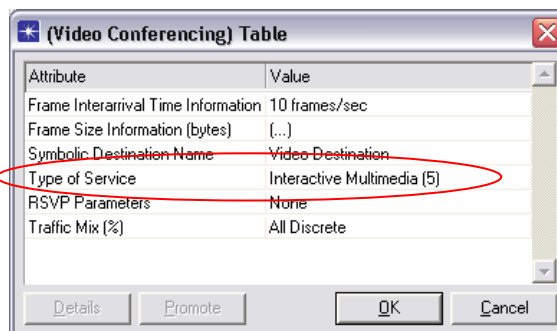
### 5.1. ZMĚNY V APPLICATION CONFIG

Toto nastavení je klíčové pro chování celé sítě a aplikací, jelikož se budou přidělovat aplikacím třídy služeb tzv. ToS (Type of Service) neboli značkování. Kliknutím na objekt **Application Config** na ploše a editací atributů v kontextovém menu se v nově otevřeném okně editují jednotlivé aplikace v záložce **Application Definitions** → *název služby* → **Description** → *výběr konkrétní aplikace* → **Edit**. Dále se pak v nově otevřeném okně vybere položka **Type of Service** a místo přednastavené hodnoty **Best Effort(0)** se vybere příslušná třída pro každou aplikaci a to následovně:

- **Služba Voice:** pro tuto službu je vybrána třída **Interactive Voice(6)** (viz. Obr. 5.1)
- **Služba FTP a HTTP:** pro tyto služby je ponechána třída **Best Effort(0)**
- **Služba Video:** pro tuto službu je vybrána třída **Interactive Multimedia(5)** (viz. Obr. 5.2)



Obr. 5.1: Změna priority služby telefonie

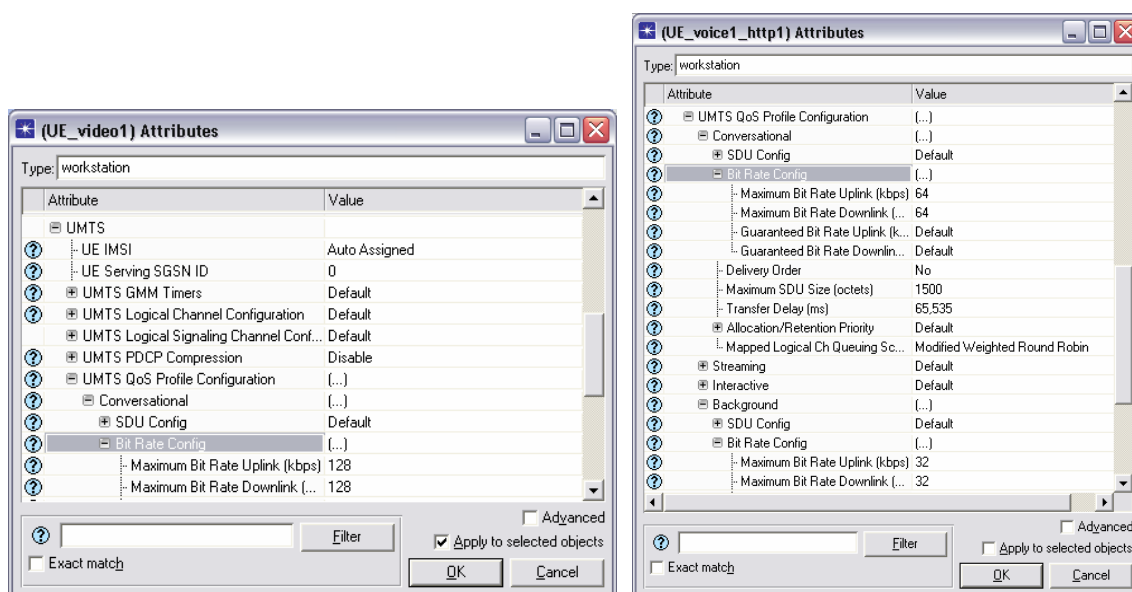


Obr. 5.2: Změna priority služby videotelefonie

## 5.2. ZMĚNY V KONFIGURACI KAPACITY PRO MOBILNÍ STANICE

V tomto bodě je nutno překonfigurovat mobilním stanicím, konkrétně jen u hlasových a videotelefonních aplikací, potřebnou šířku pásma do jejich nových tříd, kam byly v předešlé části zařazeny. Tato změna bude provedena následujícím postupem:

- Editací kontextového menu na **Video** klientech se zvolí záložka **UMTS** → **UMTS QoS Profile Configuration** → **Conversational** → **Bit Rate Config** a nastaví se tyto hodnoty (viz. Obr. 5.3) :
  - *Maximum Bit Rate Uplink (kbps)* – 128
  - *Maximum Bit Rate Downlink (kbps)* – 128



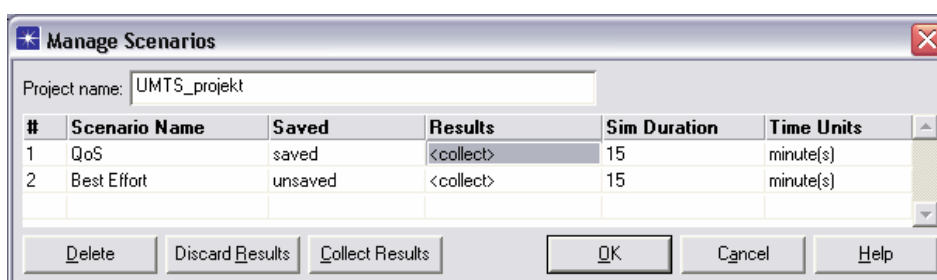
Obr. 5.3: Změna propustnosti pro služby videotelefonie (nalevo) a voicetelefonie (napravo)

- Editací kontextového menu na **Voice** klientech se nastaví tyto hodnoty (viz. Obr. 5.3):
  - pro **HTTP** službu v záložce **UMTS** → **UMTS QoS Profile Configuration** → **Background** → **Bit Rate Config**:
    - *Maximum Bit Rate Uplink (kbps)* – 32,
    - *Maximum Bit Rate Downlink (kbps)* – 32,
  - pro **Voice** službu v záložce **UMTS** → **UMTS QoS Profile Configuration** → **Conversational** → **Bit Rate Config**:
    - *Maximum Bit Rate Uplink (kbps)* – 64,
    - *Maximum Bit Rate Downlink (kbps)* – 64.

### 5.3. NASTAVENÍ A SPUŠTĚNÍ SIMULACE

Veškerá konfigurace modelu je úspěšně dokončena a nyní je potřeba všechny tyto kroky dát dohromady a spustit samotnou simulaci sítě a pak ověřit, jak se vlastně UMTS síť chová za určitých podmínek či situací. Simulace bude probíhat sériově za sebou pro oba scénáře. Tím se zkrátí doba spouštění simulací jednotlivě přímo v každém scénáři. Postup nastavení a spuštění simulace je následující (viz. **Obr. 5.4**):

- Výběrem z hlavního menu se vybere záložka **Scenarios** → **Manage Scenarios** a v nově otevřeném okně jsou nachystány oba scénáře – „**Best Effort**“ a „**QoS**“.
- Ve sloupci **Results** se nastaví u každého scénáře položka **collect** (znovu zkompilovat).
- Ve sloupci **Sim Duration** se nastaví pro oba scénáře doba simulace 15 minut. Hodnota minuty = **minute(s)** se změní v posledním sloupci **Time Units**.
- Kliknutím na **OK** se spustí simulace.



**Obr. 5.4:** Nastavení spuštění simulace pro oba scénáře

V případě dodatečných úprav v konkrétním scénáři, lze jednoduše a rychleji spustit simulaci v záložce menu **DES** → **Configure/Run Discrete Event Simulation**. Další možností je také klávesová zkratka CTRL+R nebo přímo ikona „běžce“ pod nabídkou menu. Volbou jedné z uvedených variant se otevře nabídka nastavení simulace a po provedení potřebných nastavení lze tlačítkem **RUN** spustit simulaci. V dalších modelech sítě budou použity delší doby simulace, které budou konkrétněji uvedeny v odpovídající kapitole.

Po dokončení simulace je síť připravena poskytnout patřičné výsledky jednotlivých služeb a chování určitých prvků v síti. Podrobné charakteristiky budou rozebrány v další kapitole.

## 6. VÝSLEDKY SIMULACE

Výsledky dokončené simulace je možné zobrazit kliknutím pravým tlačítkem na plochu nebo přímo na prvky UMTS sítě a z kontextového menu vybrat položku **View Results** a dále pak již konkrétní službu v globálních statistikách **Global Statistic** nebo přímo na konkrétních objektech **Object Statistic**. Pro porovnání charakteristik poslouží výběr dvou scénářů z celého projektu v levém horním rohu na položce **Results for** → **Current Project** a označením scénářů které se mezi sebou budou porovnávat. V tomto případě to bude vždy scénář QoS se scénářem BestEffort. Výběr statistik je možné provádět jak v globálních statistikách sítě tzv. **Global Statistics**, které znázorňují celkový provoz dané služby, a nebo přímo ve statistikách na konkrétních prvcích tzv. **Object Statistics**, které poskytují konkrétnější informace o provozu služby na konkrétním uzlu nebo stanici. Například to jsou to statistiky přijatých a odeslaných dat stanicí, zpoždění, jitter, počet opakování žádostí o spojení (tzv. retransmise) a vůbec celkové sledování protokolů, na kterých různé služby pracují. Tyto statistiky se nacházejí v levém dolní oblasti již otevřených výsledků simulace.

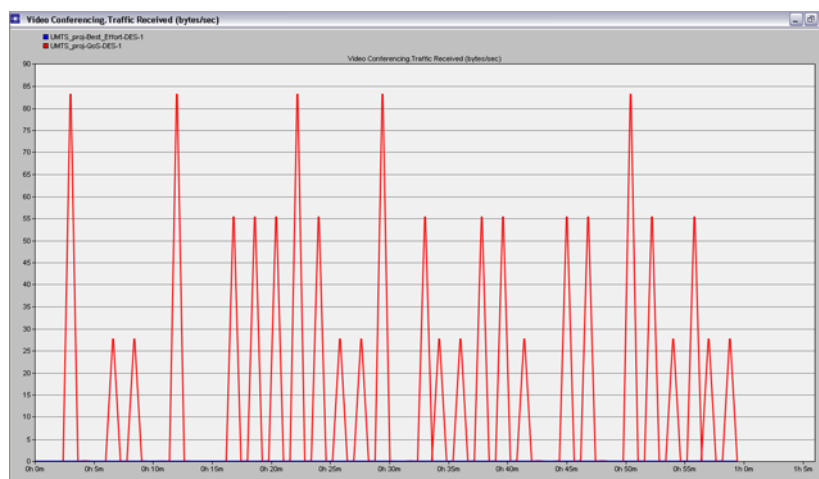
### 6.1. PRVOTNÍ VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ SÍTĚ

Konfigurace sítě je velmi obtížná a časově náročná technika, a proto jsou zde uvedeny prvotní dílčí výsledky, které nejsou zcela uspokojující, avšak je potřeba je zmínit, aby bylo možné porovnat chování UMTS sítě v různých situacích. Nejsou zde ještě definovány dráhy pohybu mobilních stanic. Tyto budou až v následujícím a posledním modelu. Konečné výsledky jsou již zcela uspokojující a budou rozebrány v poslední kapitole. Doba simulace se zvýšila z předchozích 15 minut na 1 hodinu.

Jako první je popsán simulovaný model UMTS sítě ve scénáři „Best\_Effort“, tedy model sítě, která netřídí služby podle jejich chování a požadavků. Výsledky budou rozebrány později. Zobrazení scénáře „s podporou QoS“ je identické, aby bylo možné co nejlépe porovnávat chování služeb běžících na jednotlivých stanicích a uzlech. Červené charakteristiky vždy znázorňují chování pro scénář QoS a naopak modré charakteristiky znázorňují scénář Best Effort.

#### 6.1.1. Chování videotelefonie

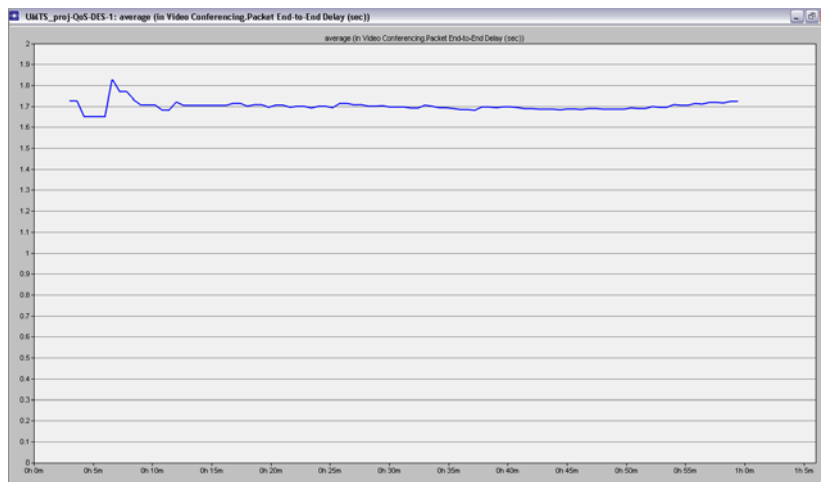
Při simulaci chování videotelefonie v síti UMTS vyšly poněkud překvapivé výsledky. Ve scénáři „Best\_Effort“ nebyl téměř žádný provoz (viz **Obr. 6.1** modrá konstantní křivka), což značí určité kolize v jednotlivých uzlech, kterými prochází i ostatní aplikace.



Obr. 6.1: Statistika pro celková přijatá data ve videokonferenci

Jelikož nejsou pakety značkovány a nejsou přiděleny priority jednotlivým službám, může tímto docházet k zahazování paketů či zahlcení sítě. Naproti tomu u scénáře „s podporou QoS“, kde je nastaveno třídění (upřednostňování) paketů je vidět přenos dat a uskutečnění několika hovorů (podrobněji dále). Podobné výsledky jsou jak u přijatých dat (volaný účastník), tak i u odeslaných (volající).

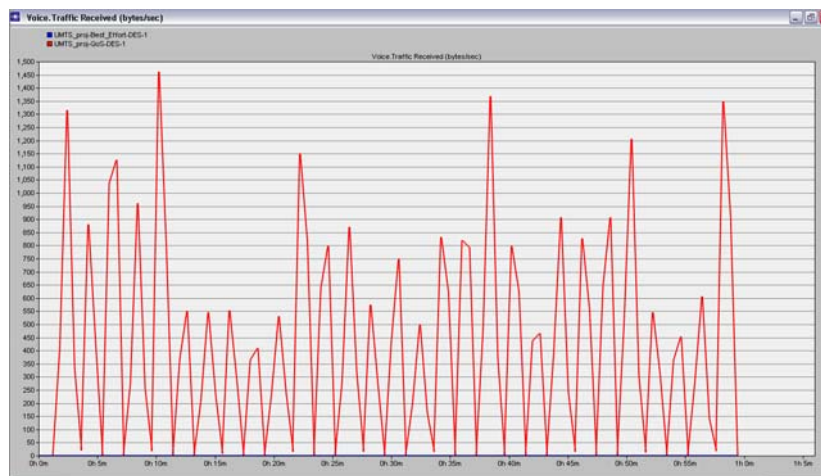
Zpoždění u videotelefonie, jak znázorňuje **Obr. 6.2** bylo zobrazeno pouze pro scénář „QoS“, jelikož pouze u tohoto docházelo k nějaké komunikaci. Výsledek s tímto zpožděním není uspokojivý, proto se bude potřeba zaměřit na další nastavení, která povedou k vylepšení přenosu dat.



**Obr. 6.2:** Zpoždění u videotelefonie

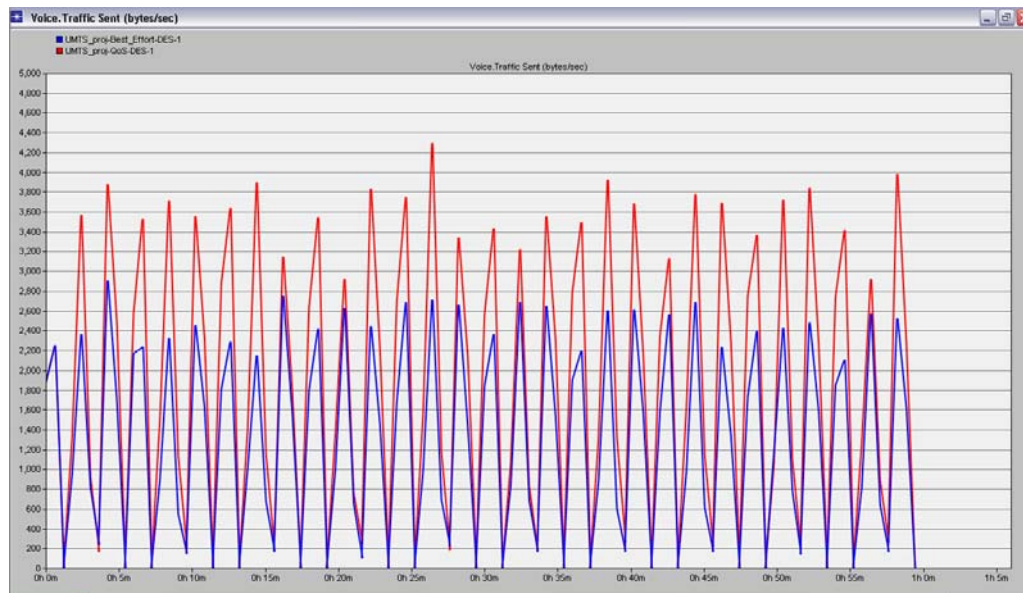
### 6.1.2. Chování telefonie

Výsledky statistik na **Obr. 6.3** a **Obr. 6.4** chování služby telefonie je obdobné jako u videotelefonie s rozdílem množství přenosu dat. U telefonie ve scénáři „Best\_Effort“ došlo také na rozdíl od videotelefonie k odesílání dat, ale příjem již nebyl žádný. Problém tkví v nějakém uzlu, který nepřeposílá data účastníkům čekajícím na hovor. Jediný kladný výsledek je u vyslaných dat, kde je vidět vliv parametrů QoS. Co se týká kolísání zpoždění (jitter) a samotného zpoždění, výsledky nejsou opět uspokojivé (viz. **Obr. 6.5** a **Obr. 6.6**). Všechny hodnoty jsou příliš vysoké na to, aby proběhla kvalitní telefonie mezi dvěma účastníky. Tyto nedostatky budou dalším předmětem zkoumání a bádání v nastavení chování sítě.



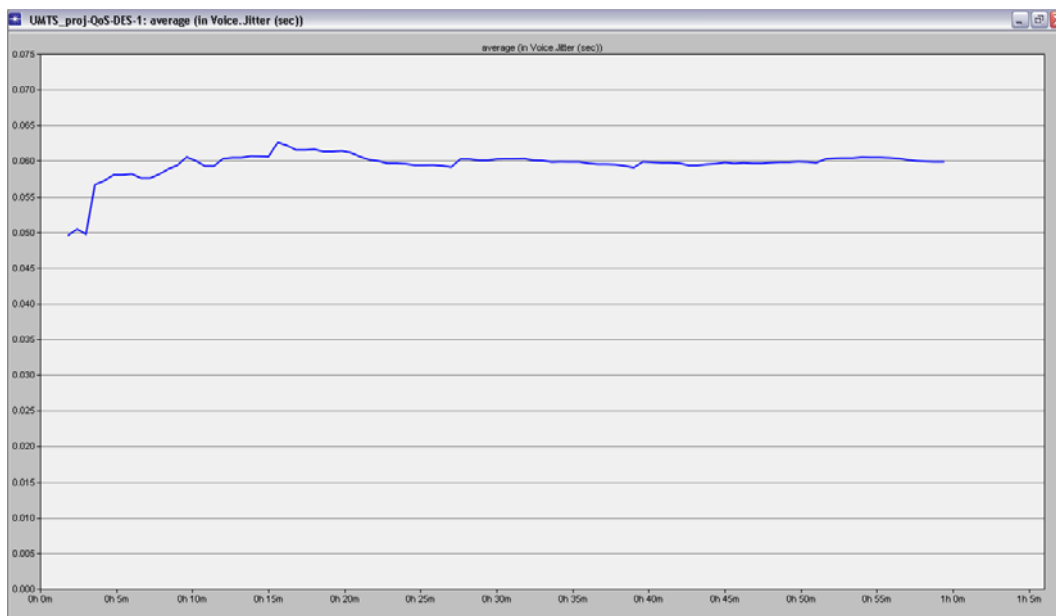
**Obr. 6.3:** Statistika pro celková přijatá data v telefonii

Na **Obr. 6.3** je vidět, že aplikace Voice přijímala data pouze ve scénáři QoS, a to v průměru 800B/s. Nejvyšší hodnota dosahovala 1400B/s. U scénáře Best Effort nebyl žádný provoz (respektive stanice data vysílala, ale druhá nebyla schopna přijímat, což ukazuje modrá konstantní charakteristika. Odesílání dat je vidět na dalším obrázku (viz. **Obr. 6.4**).



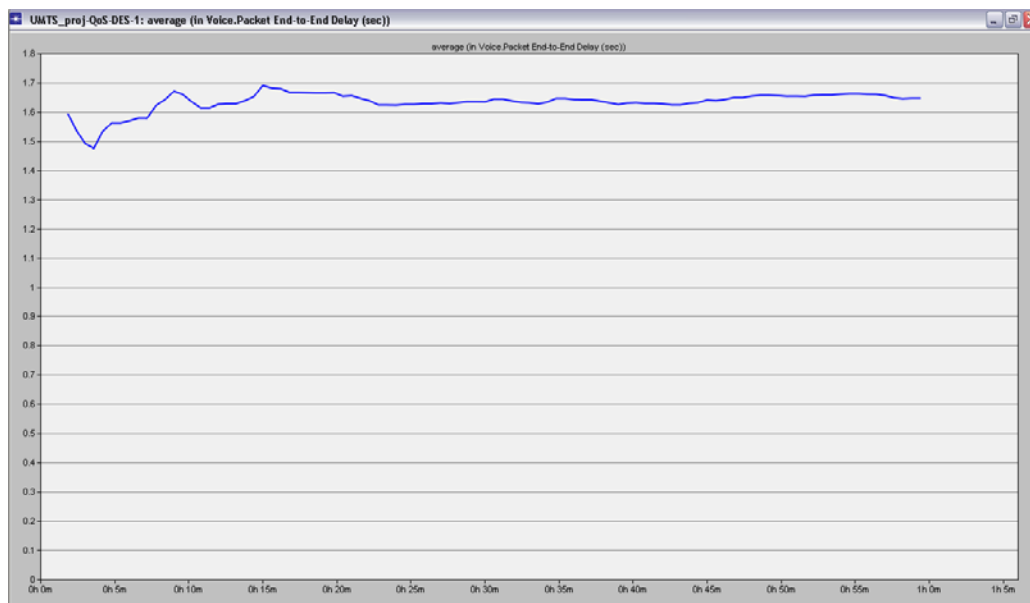
**Obr. 6.4: Statistika pro celková odeslaná data v telefonii**

Pro vysílací (upload) charakteristiky vyšly příznivé výsledky. U obou scénářů je zaznamenán přenos, avšak rapidně větší přenos nastal u scénáře s podporou QoS. Zde dosahovaly hodnoty až 4200B/s. U scénáře Best Effort pouze 2800B/s.



**Obr. 6.5: Kolísání zpoždění v telefonii (JITTER)**

Ve statistice **kolísání zpoždění** (viz. **Obr. 6.5**) v telefonii dosahuje tzv. **jitter** hodnot v průměru 0,06s ve scénáři QoS, tedy pro provoz takovéto služby téměř uspokojivý, ale ne dostatečný.

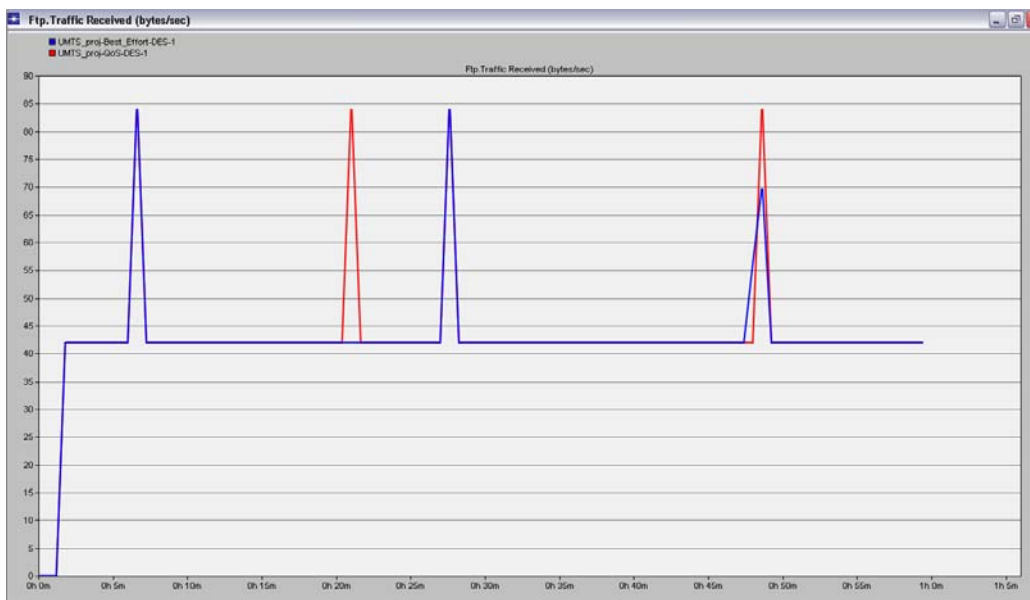


**Obr. 6.6: Statistika zpoždění pro telefonii**

Ve statistice **zpoždění** (viz. **Obr. 6.6**) v telefonii jsou hodnoty až neskutečně vysoké (v průměru 1,6s), tedy pro provoz takovéto služby neuspokojivé. Proto je nutné dále testovat a zkoušet jiné možnosti konfigurace stanic a uzlů a pokoušet se o získání uspokojivějších výsledků.

### 6.1.3. Chování aplikace FTP

Na **Obr. 6.7** je znázorněno chování aplikace FTP v porovnání s oběma scénáři (konkrétně charakteristika pro přijaté Byty) a je zřejmé, že se zde nijak výrazně neprojeví parametry QoS v opačném scénáři. Velmi podobná charakteristika je i pro odeslaná data.

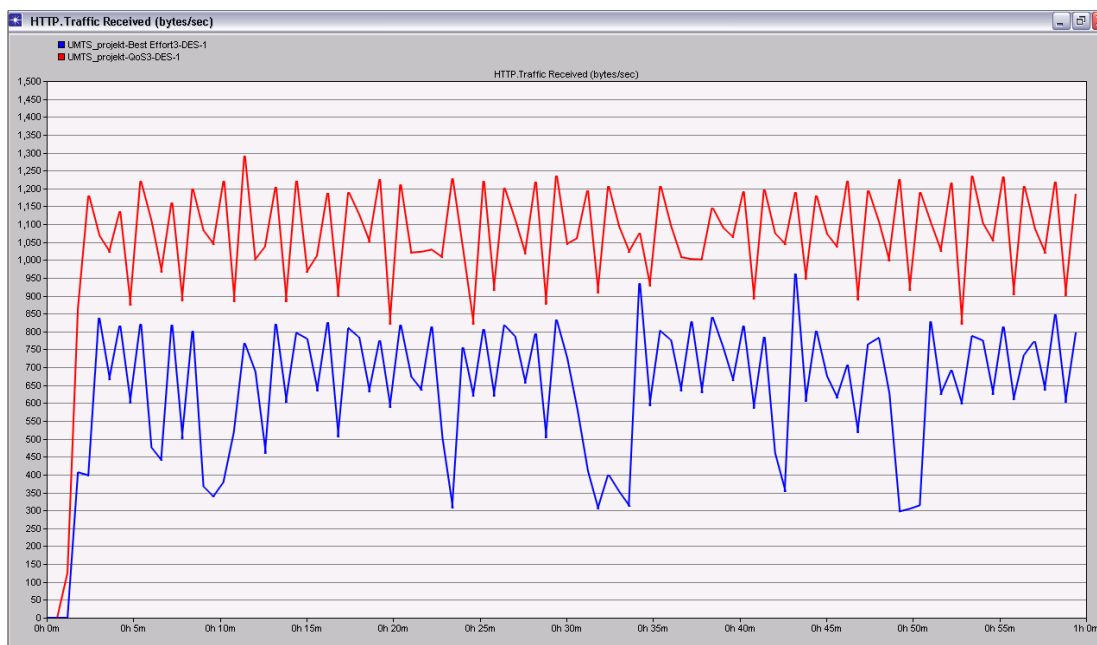


**Obr. 6.7: Statistika pro aplikaci FTP (přijaté B)**

Aplikace FTP byla spuštěna ve 2. minutě simulace a započala stahovat data FTP.Traffic.Received(bytes/sec) o velikosti 40bps. V 6. minutě je vidět špička, kdy dosáhla stahování 85bps. Další špičky se opakují ve 20., 26. a 50. minutě. Celá aplikace je ukončena v 60. minutě.

### 6.1.4. Chování služby HTTP - web

U této služby se zřetelně projevily vliv podporované kvality QoS, jak je možné vidět na Obr. 6.8. Služba započala přijímat celková data v 90. sekundě a dosahovala průměrné rychlosti stahování dat okolo 1100 B/s u scénáře QoS (červený graf) a 650 B/s u scénáře Best Effort (modrý graf). Přenos dat byl ukončen po 60 minutách, což je celková doba simulace celé sítě.



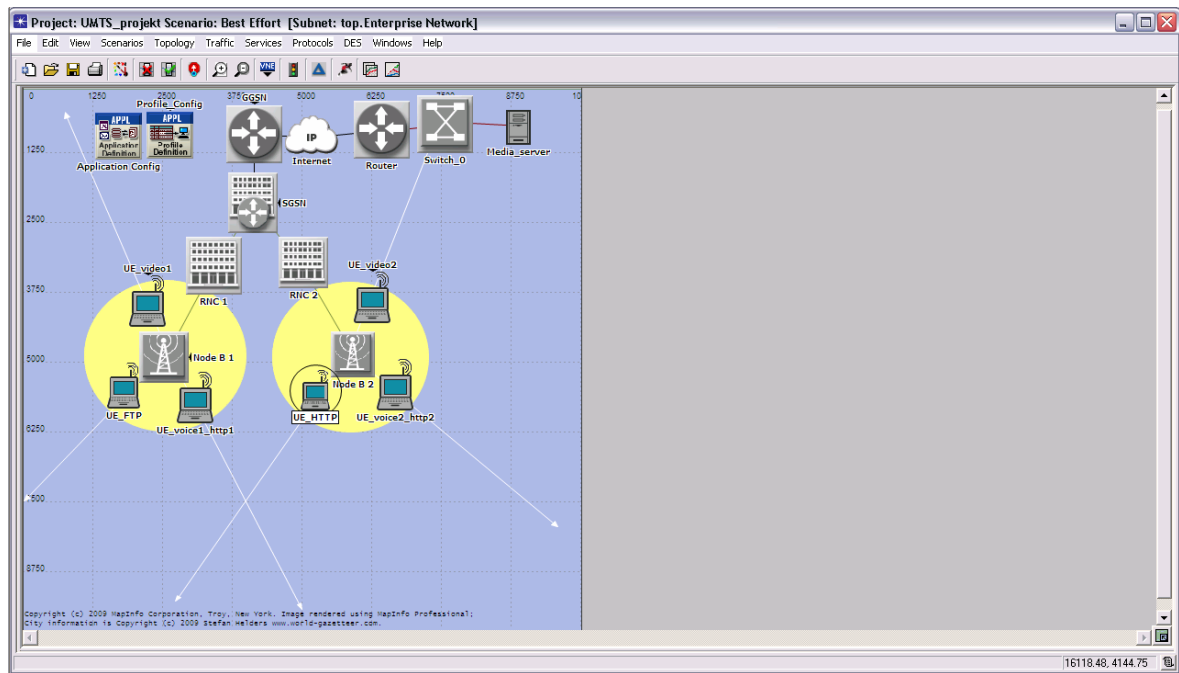
Obr. 6.8: Statistika pro aplikaci HTTP (přijáté B)

Průměrná doba odezvy přijatých objektů se pohybovala okolo 500ms a doba odezvy načtení webových stránek byla v průměru 1,2 sekundy. Takové zpoždění je v případě této služby únosné. Důležitější roli hraje ztrátovost paketů.

## 6.2. DALŠÍ VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ SÍTĚ

Na Obr. 6.9 (zvětšený model je v příloze D) je zobrazený nový simulovaný model UMTS sítě ve scénáři „Best\_Effort“, tedy model sítě, která netřídí služby podle jejich chování a požadavků. Tento model oproti minulým výsledkům odpovídá více reálnému chování aplikací v UMTS síti. Pomocí několika úprav v konfiguraci jednotlivých uzlů a terminálů bylo dosaženo daleko lepších výsledků. Ty budou rozebrány později. Zobrazení scénáře „s podporou QoS“ je identické, aby bylo možné co nejlépe porovnávat chování služeb běžících na jednotlivých stanicích a uzlech.

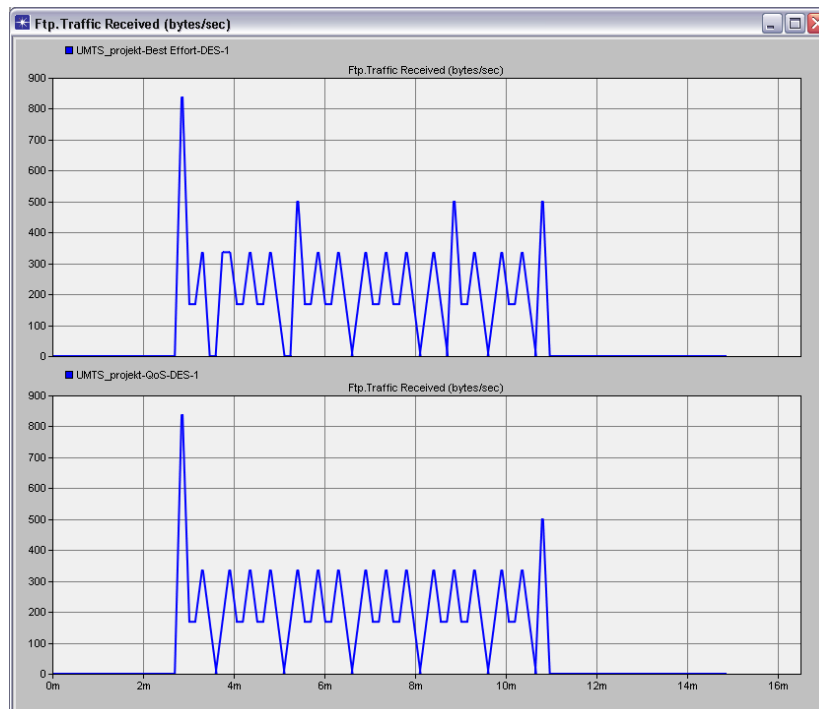
Další změnou je přiřazení dráhy každému účastníkovi směrem od uzlu Node\_B, aby bylo možné sledovat chování jednotlivých služeb se vzdalováním se od řídicího vysílače. V určité době, kdy se stanice dostane mimo dosah signálu, vysílaného vysílačem Node\_B, dojde k ukončení přidružené služby mobilní stanici. Tato doba je pro každý terminál i službu různá a stejně tak se liší i výsledné statistiky všech služeb spuštěných v tomto modelu. Názorná ukázka modelu je v části 6.2.5 a na Obr. 6.21. Jedná se o jednu z možností pohybu uživatelů, která byla zvolena jako první pro zjištění chování aplikací, které se dostávají během pohybu mimo dostupnost signálu. V dalším a posledním modelu UMTS sítě bude aplikován jak pohyb mezi buňkami, tak v rámci jedné buňky, a také směrem ven z dosahu signálu. Výsledné chování služeb bude mezi sebou porovnáno a zobrazeno v grafech.



Obr. 6.9: Schéma další simulované UMTS sítě

### 6.2.1. Chování aplikace FTP

Na Obr. 6.10 je znázorněno chování aplikace FTP v porovnání s oběma scénáři (konkrétně charakteristika pro přijaté Byty) a je zřejmé, že se zde nijak výrazně neprojeví parametry QoS v opačném scénáři. To z toho důvodu, že v obou scénářích je služba FTP zařazena s nejnižší prioritou, a to do třídy **Best Effort**. Tímto se děje to, že FTP klient odesílá a přijímá data o průměrné velikosti 350 Bytů, i přes to, že je maximální velikost přenášeného souboru nastavena na 1000 B.

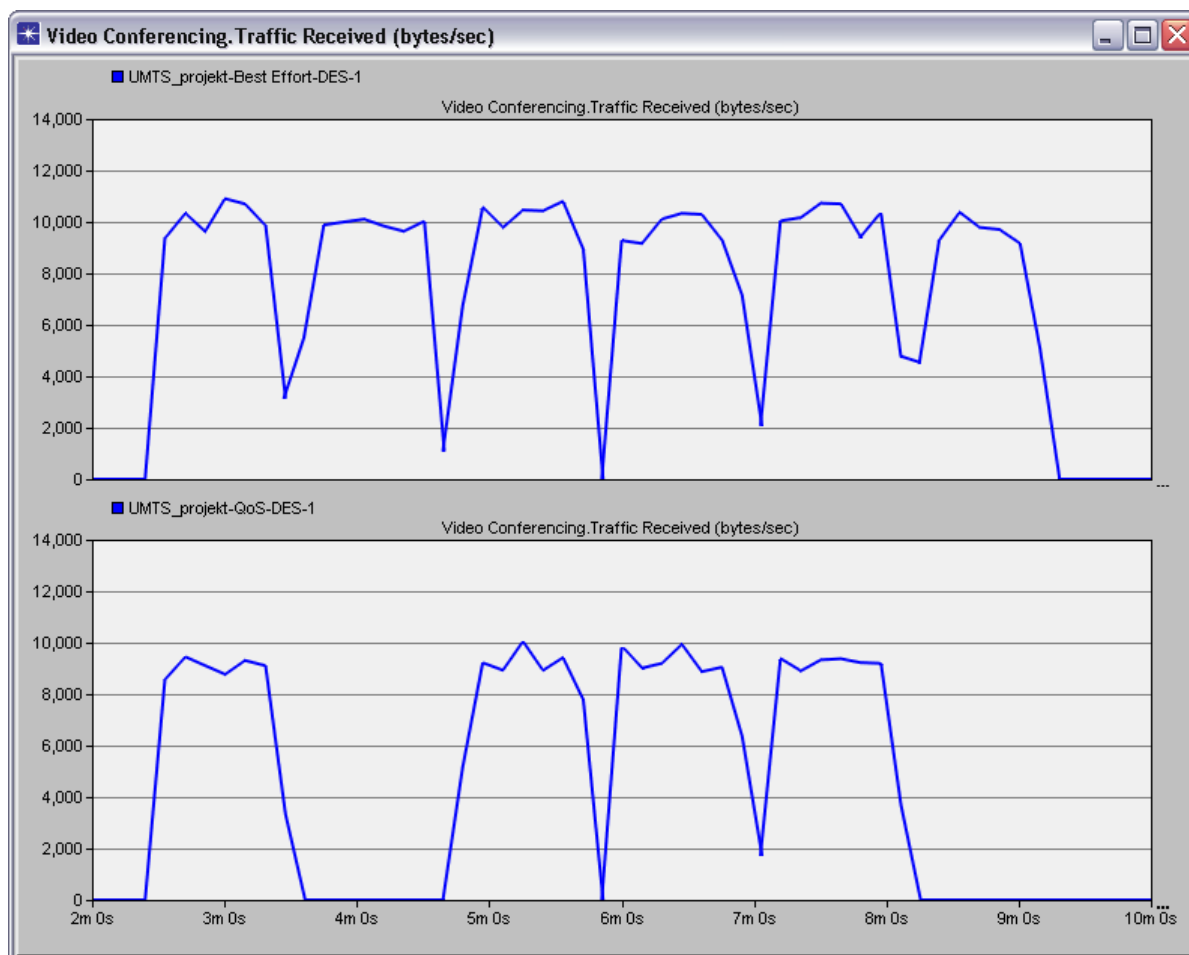


Obr. 6.10: Statistika pro aplikaci FTP (přijaté B)

Poměr mezi přenosy ve směrech download a upload je 50%. Velmi podobná charakteristika je i pro přijatá data. Oproti prvotním výsledkům se zvýšila přenosová rychlost z původních 40B/s na průměrných 250B/s. Tím se dosáhlo přenesení většího množství dat, jak ve směru server → klient, tak ve směru opačném.

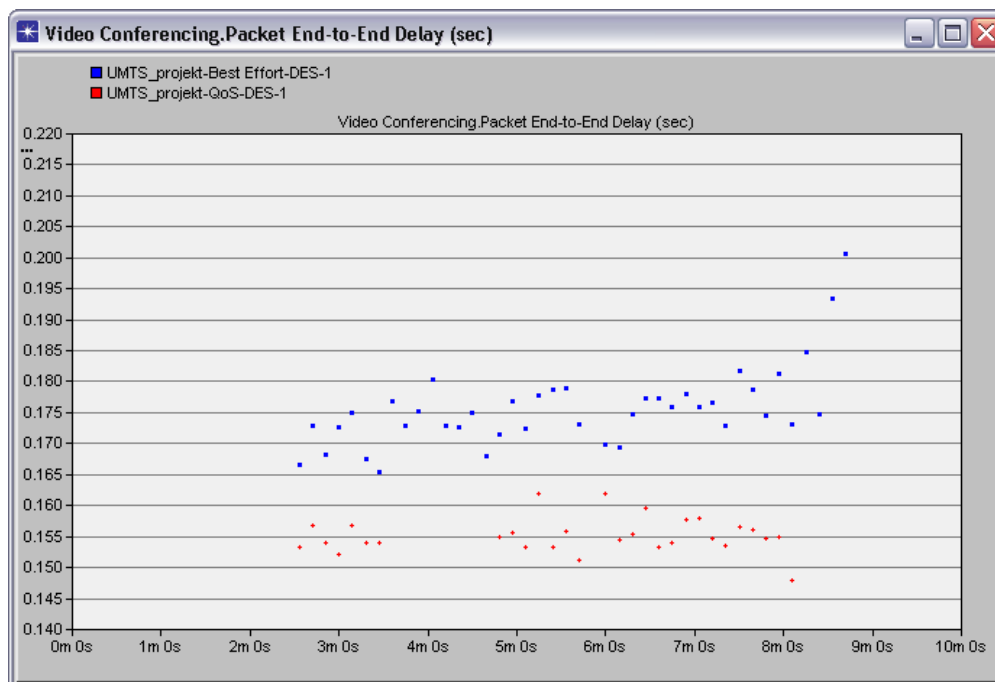
### 6.2.2. Chování videotelefonie

Při simulaci chování videotelefonie v síti UMTS vyšly daleko lepší výsledky než v předchozích simulacích.



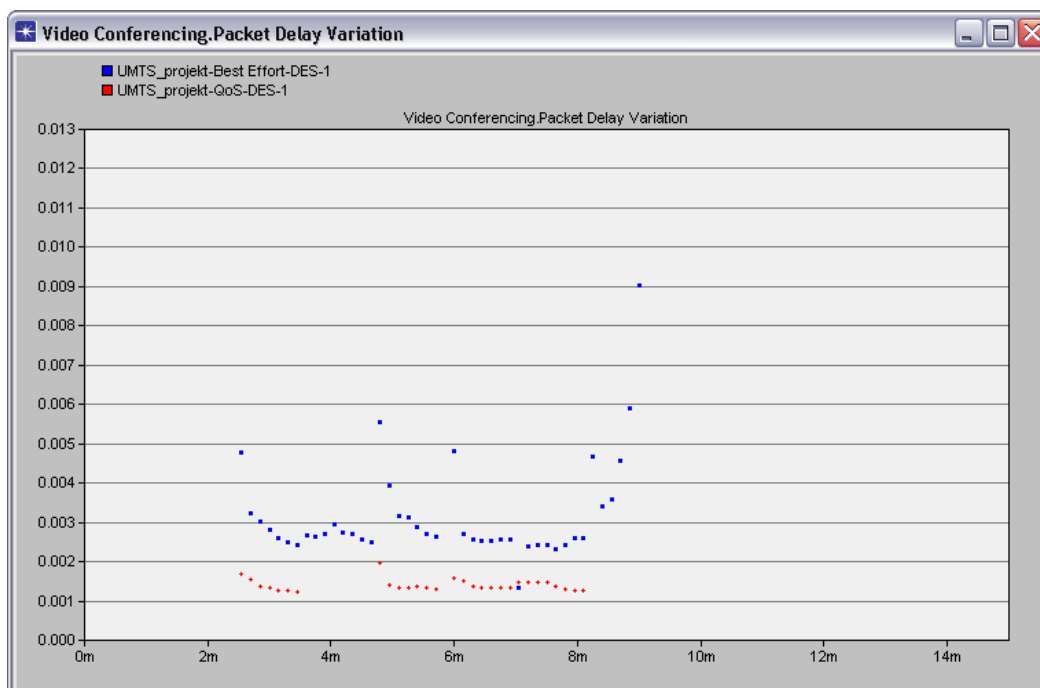
**Obr. 6.11: Statistika pro celková přijatá data ve videokonferenci**

Ve scénáři „Best\_Effort“ je vidět, že se zde uskuteční sice více videohovorů, ale za to daleko s horší kvalitou oproti druhém scénáři (viz **Obr. 6.11**, **Obr. 6.12**, **Obr. 6.13**). Jelikož nejsou pakety značkovány a nejsou přiděleny priority jednotlivým službám může tímto docházet k zahazování paketů či zahlcení sítě. Naproti tomu u scénáře „s podporou QoS“, kde je nastaveno třídění (upřednostňování) paketů je vidět, že zpoždění a jitter je o několik milisekund menší, a tím pádem pro takovou službu přijatelnější. Podobné výsledky jsou jak u přijatých dat (volaný účastník), tak i u odeslaných (volající).



Obr. 6.12: Zpoždění u videotelefonie

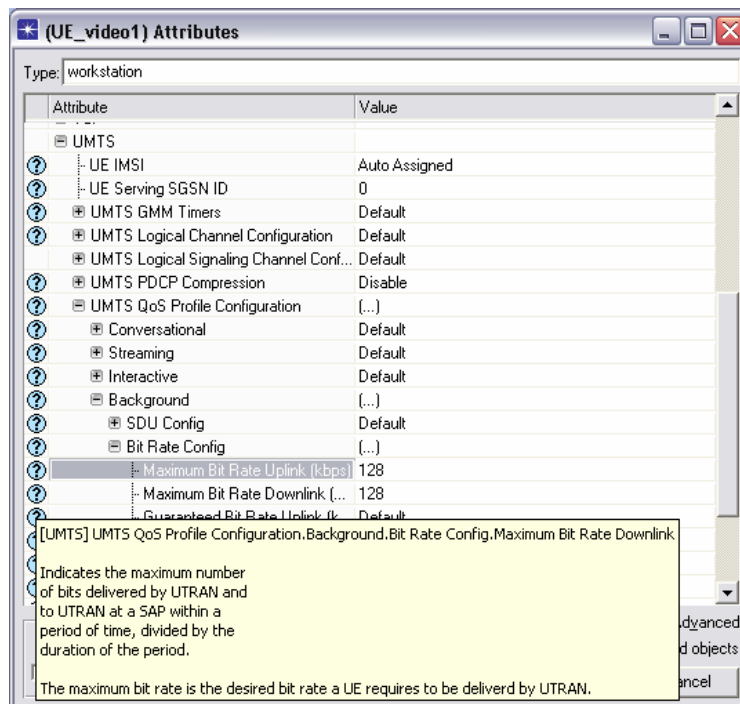
Těchto výsledků bylo dosaženo úpravou několika atributů jak na koncových zařízeních, tak na uzlech RNC. Ke zjištění předešlého chybného chování této služby posloužil „Debug“ režim zabudovaný v Opnet Modeleru, který poukazoval na nedostatečnou poskytnutou kapacitu síťových prostředků pro video aplikaci.



Obr. 6.13: Proměnlivost zpoždění u videotelefonie (packet delay variation)

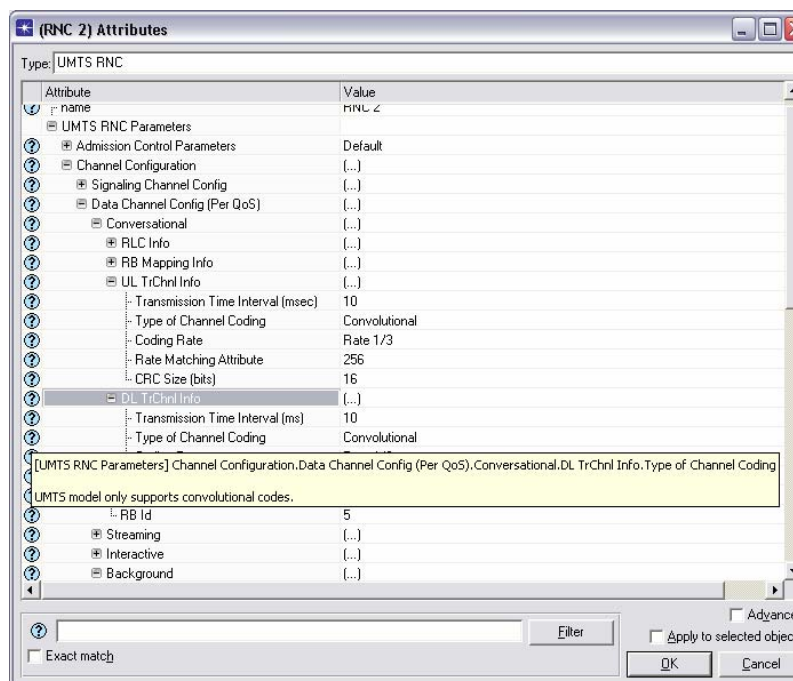
Proto bylo potřeba navýšit kapacitu ve scénáři Best Effort na konkrétních stanicích z předchozích defaultních hodnot 64kbps na 128kbps pro oba směry. Tyto funkční hodnoty jsou zmíněny již v předchozích kapitolách, ale pro orientaci to bude ve stručnosti zmíněno znovu. Ve scénáři QoS se toto nastavilo v záložce: **UMTS QoS Profile Configuration** → **Conversational** → **Bit Rate Config**, jelikož video patří do konverzační třídy. Naproti tomu

ve scénáři Best Effort je třeba navýšit kapacitu v záložce třídy background: **UMTS QoS Profile Configuration** → **Background** → **Bit Rate Config**.



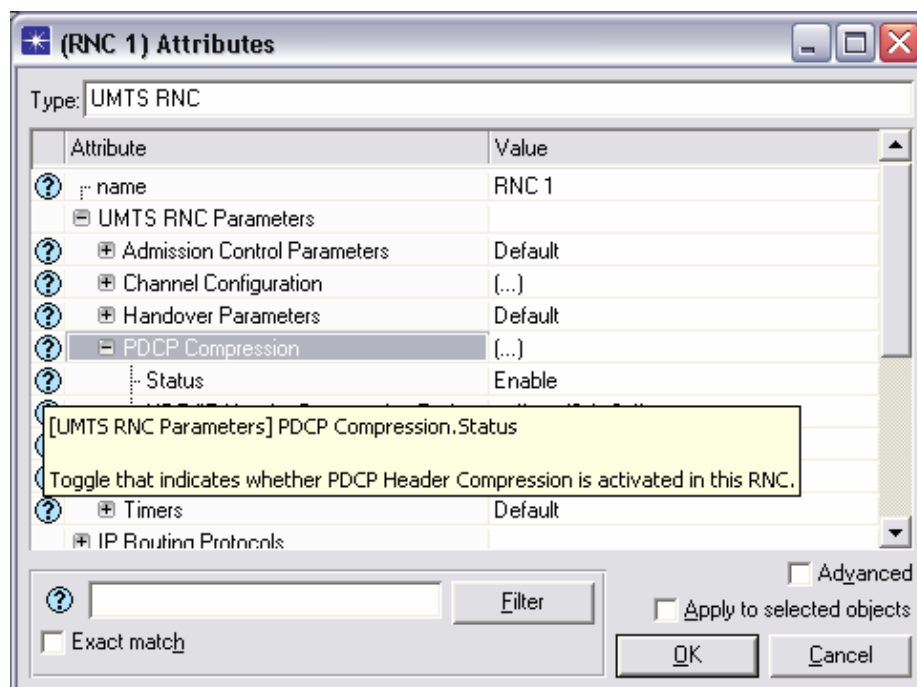
Obr. 6.14: Nastavení kapacity linky pro video aplikaci ve scénáři Best Effort

Poslední změnou je správné nastavení obou uzlů RNC. V obou záložkách pro oba směry DL i UL **UMTS RNC Parameters** → **Channel Configuration** → **Data Channel Config (Per QoS)** → **Conversational** → **UL TrChnl Info (DL TrChnl Info)** → **Transmission Time Interval** je potřeba snížit interval doby přenosu sady bloků z původních 20ms na 10ms (viz. Obr. 6.15). Obdobně se provede nastavení ve scénáři Best Effort, s tím, že se hodnoty pro služby reálného času sníží v záložce **Background**.



Obr. 6.15: Nastavení intervalu přenosu na uzlu RNC ve scénáři QoS

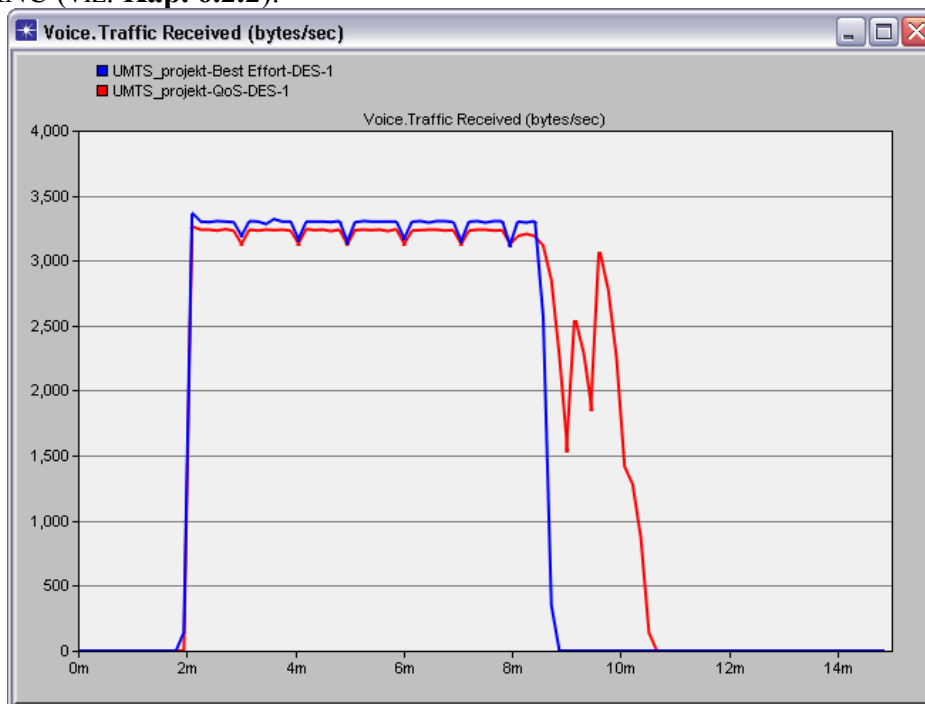
Posledním krokem nastavení v uzlu RNC je aktivace PDCP komprese v záložce UMTS RNC Parameters → PDCP Compression → Status → Enable (viz. Obr. 6.16).



Obr. 6.16: Nastavení PDCP komprese v obou scénářích

### 6.2.3. Chování telefonie

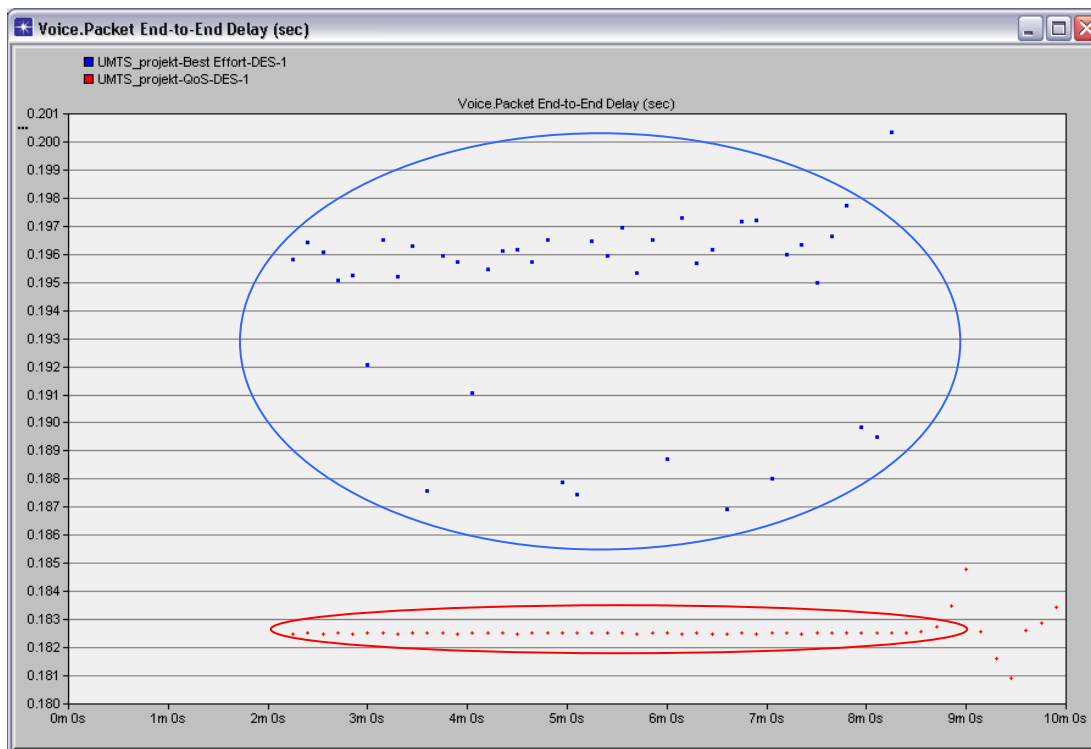
Výsledky statistik (viz. Obr. 6.17, Obr. 6.18, Obr. 6.19) a chování služby je obdobné jako u videotelefonie s rozdílem množství přenosu dat. U telefonie ve scénáři „Best\_Effort“ je zřejmé, že je zde větší zpoždění i jitter. Problém z předešlé simulace byl stejný jako u video aplikace a byl stejně tak vyřešen přenastavením stejných atributů na hlasových stanicích a uzlech RNC (viz. Kap. 6.2.2).



Obr. 6.17: Přenos dat u telefonie – přijatá data

Zde je zřejmé, že přenosová šířka pásma byla u scénáře Best Effort z neznámých důvodů nepatrně větší, ale naopak u scénáře QoS trval provoz déle a podle dalších charakteristik je zřejmé, že kvalita provozu hlasových služeb je v tomto scénáři daleko příznivější než u scénáře Best Effort.

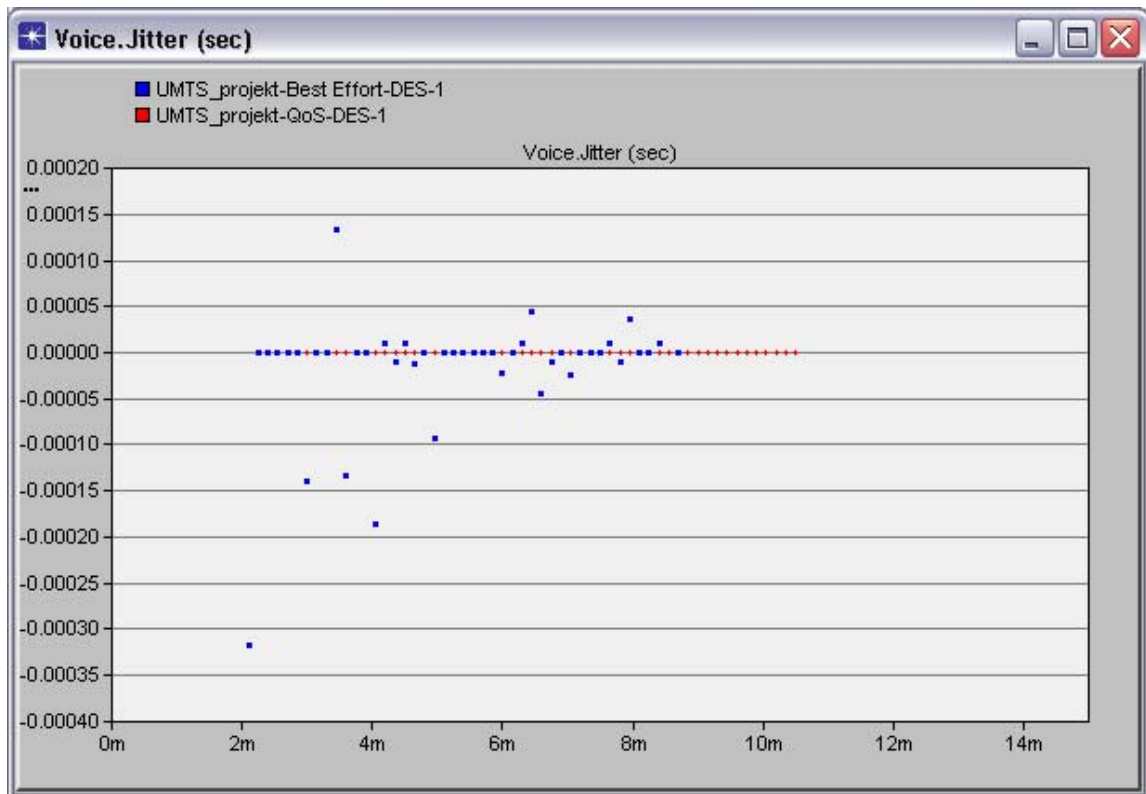
Průměrné hodnoty přenosu dat se pohybovaly okolo 3300B/s, aplikace se spustila u obou scénářů těsně před druhou minutou a ukončila se v deváté minutě u scénáře Best Effort. U scénáře QoS je vidět, jak se stanice vzdalují ze sítě a snaží se pořád vysílat a přijímat, jelikož mají vyšší prioritu doručení, než ve scénáři, kde tyto priority nejsou zavedeny. Tady je tedy přenos dat ukončen v jedenácté minutě.



**Obr. 6.18: Zpoždění u telefonie**

U zpoždění je zřejmé, který scénář má lepší parametry pro poskytování služeb reálného času. Červeně je zobrazena charakteristika scénáře QoS, kde je vidět téměř konstantní průběh zpoždění okolo hodnoty 183ms (červené body téměř v jedné konstantní přímce), kdežto u druhého scénáře je zpoždění velmi kolísavé a navíc ještě o pár ms vyšší (modré body v rozsáhlém seskupení), okolo 197ms. Obě hodnoty zpoždění ale nejsou zcela vyhovující pro přenos hlasu paketovou (datovou) sítí. Ideální hodnota zpoždění by se měla pohybovat do 150ms.

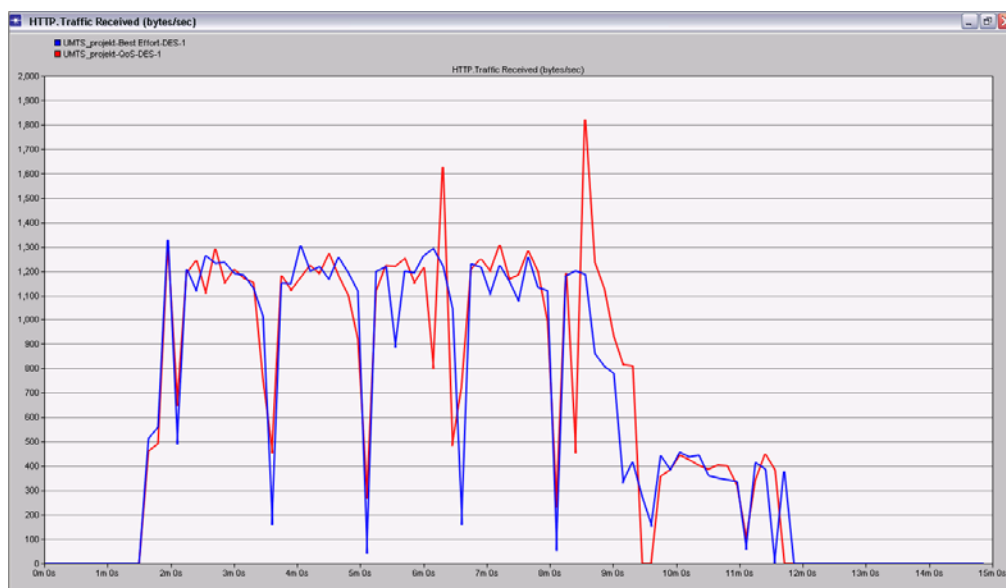
Další charakteristika (viz. **Obr. 6.19**) zvýrazňuje velké kolísání zpoždění tzv. „jitter“ u scénáře Best Effort (modré body) oproti zcela konstantní charakteristice scénáře QoS (červené body).



Obr. 6.19: Kolísání zpoždění tzv.jitter u telefonie

#### 6.2.4. Chování služby HTTP- web

Služba HTTP, neboli prohlížení internetových stránek si v novém modelu polepšila v obou scénářích ve směru celkových přijatých dat (viz. **Obr. 6.20**). U scénáře QoS jen nepatrně z původních 1100B/s na hodnotu okolo 1200B/s a podobně tak u scénáře Best Effort, kde se zvýšení přijatých dat projevilo více. Z původní rychlosti stahování 650B/s vzrostla hodnota na 1200B/s. Co se týká zpoždění oproti minulým výsledkům, hodnoty jsou podobné. Proto není třeba tyto statistiky nijak zdůrazňovat.

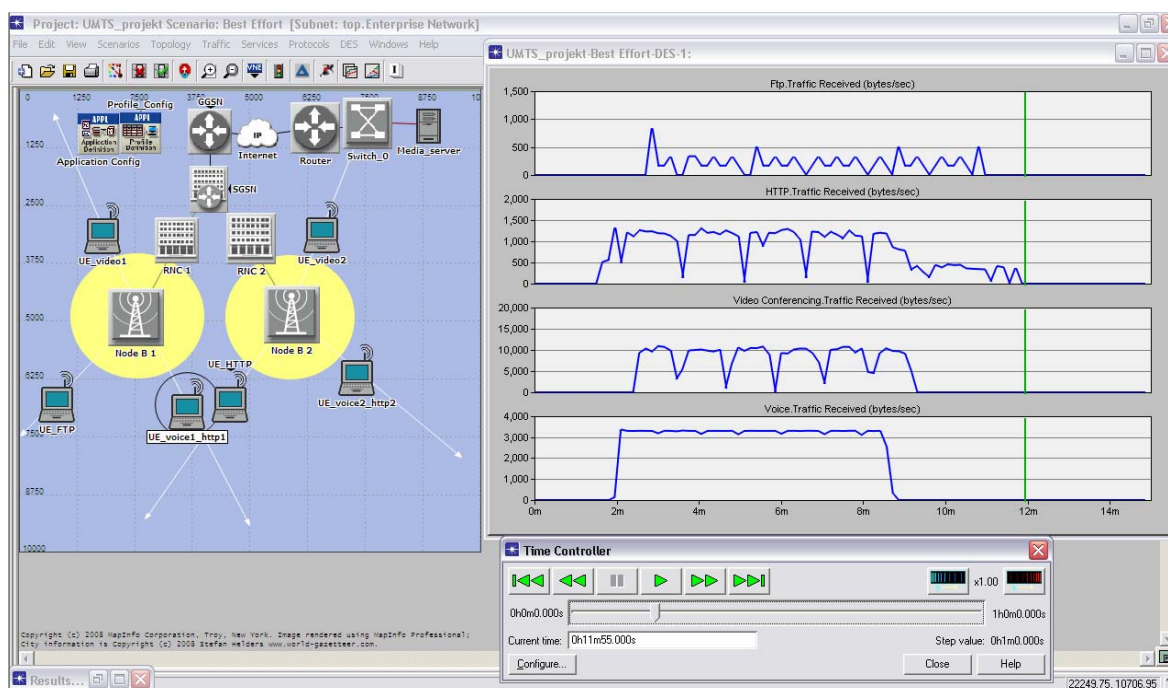


Obr. 6.20: Statistika pro aplikaci HTTP (přijaté B)

Nutno ještě podotknout, že služba prohlížení internetových stránek (HTTP) byla spuštěna jak na samotné stanici, tak na stanicích UE\_Voice1\_http1 a UE\_Voice2\_http2, jak již název napovídá. Prozatím se neprojevil žádný velký rozdíl mezi chováním služby spuštěné samotné na stanici a služby spuštěné během provozu další služby, telefonie (voice), a to ve stejnou dobu na jednom mobilním terminálu.

### 6.2.5. Ukončení provozu v síti UMTS

Na Obr. 6.21 je znázorněno v jaké fázi simulace se ukončí veškerá komunikace v síti UMTS. Je to stav, kdy už jsou kompletně všechny mobilní stanice mimo dosah vysílacích uzlů Node\_B. To znamená, že došlo k ukončení přenosu dat a stanice přijímá a vysílá pouze informační data o stavu dostupnosti signálu.



Obr. 6.21: Ukončení provozu v síti

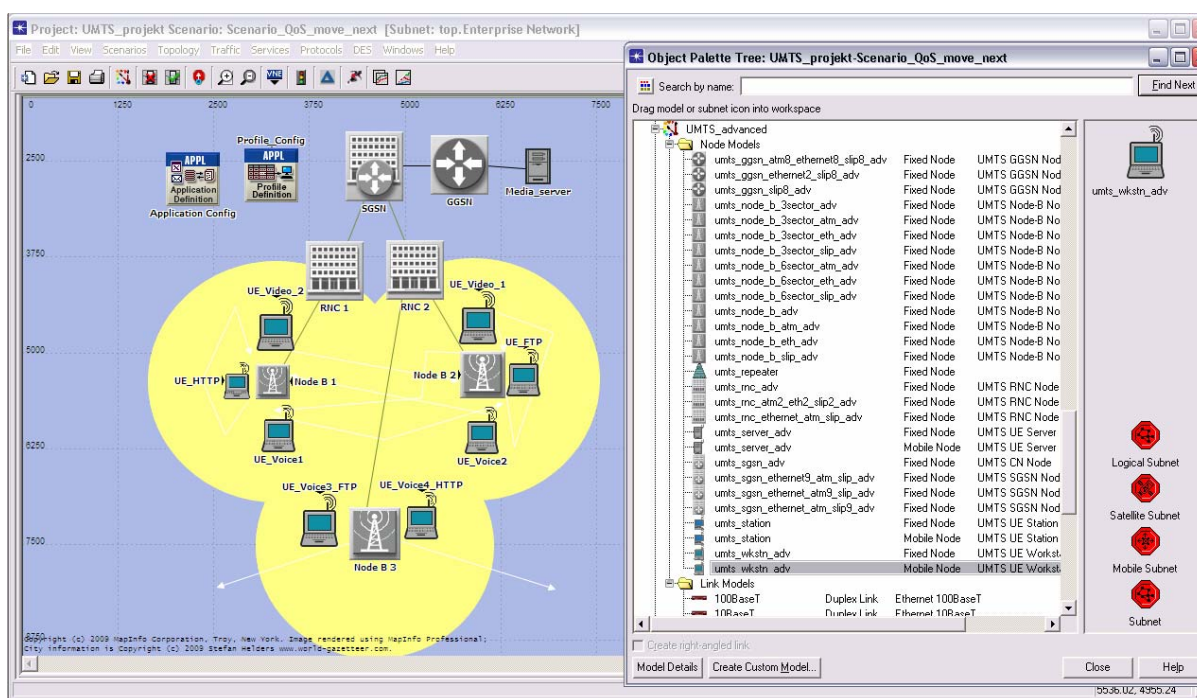
Zelená svislá čára ukazuje ukončení nejdéle trvající aplikace HTTP, která skončila v čase simulace 11 minut a 55 sekund. Jako první ukončila provoz aplikace Voice (telefonie), a to v čase 8 minut a 55 sekund. Následující byla aplikace Video (videotelefonie) ukončená v necelé 10. minutě a jako třetí služba FTP (přenos dat) v 11. minutě.

## 6.3. KONEČNÉ VÝSLEDKY TESTOVÁNÍ SÍTĚ

Na Obr. 6.22 (zvětšený model je v příloze E) je zobrazený poslední simulovaný model UMTS sítě. Tento model oproti minulým výsledkům odpovídá nejvíce reálnému chování aplikací v UMTS síti. Pomocí několika úprav v konfiguraci jednotlivých uzlů a terminálů bylo dosaženo daleko lepších výsledků. Tyto změny budou podrobně popsány u každé služby v následujících podkapitolách rozboru výsledků. Byly částečně upraveny doby trvání a spouštění služeb, které ale nemají nijaký výrazný vliv na zlepšení vlastností chování sítě UMTS. U služby FTP bylo přeneseno větší množství dat (byl přenesen více jak jeden soubor o velikosti 1MB oproti předchozímu modelu, kde byly přenášeny soubory o velikosti maximálně 1kB) stejně tak jako u služby HTTP. U služeb reálného času se dosáhlo vyšších přenosových kapacit a lepšího znázornění samotného uskutečnění hovoru i videohovoru.

K těmto zobrazovacím výsledkům se dospělo při nastavení spuštění simulace, kde se zvýšil počet hodnot k ukládání statistiky, tzv. Values per statistics z čísla 100 na 1000.

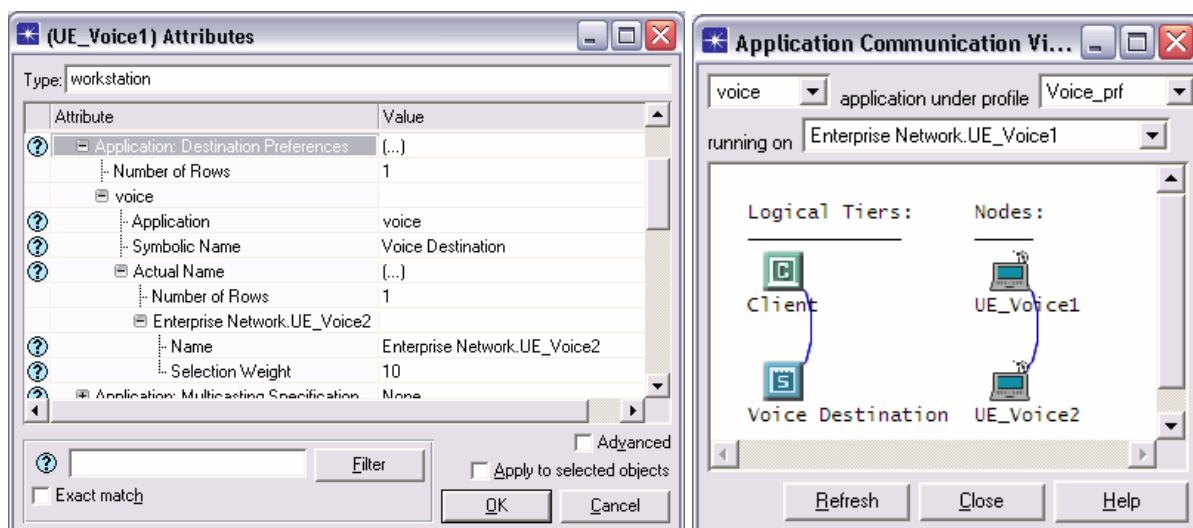
Další změnou je více mobilních terminálů v síti, a tím i více datového provozu a také přiřazení různých trajektorií. Přibyla navíc jedna buňka přidružená k novému Node\_B3. U této buňky se sleduje, kdy se stanice dostane mimo dosah signálu, vysílaného vysílačem Node\_B3, v jakém čase a vzdálenosti dojde k ukončení konkrétní služby na mobilní stanici. Názorná ukázka modelu je na **Obr. 6.22**. Jedná se o jednu z možností pohybu uživatelů, která byla zvolena jako první pro zjištění chování aplikací, které se dostávají během pohybu mimo dostupnost signálu. Toto bylo aplikováno na stanici UE\_Voice3\_FTP, na které proběhlo několik telefonních hovorů a při tom na pozadí byl spuštěn přenos souborů přes FTP. Stejně tak na stanici UE\_Voice4\_HTTP, kde běžely na pozadí spuštěné webové stránky. Další a poslední možností pohybu stanic v modelu UMTS síť je aplikován jak pohyb mezi buňkami (od jednoho Node\_B ke druhému a opačně), tak v rámci jedné buňky (jednoho Node\_B). Výsledné chování služeb bude mezi sebou porovnáno a zobrazeno v grafech.



**Obr. 6.22:** Schéma konečné simulované UMTS sítě

Tím, že je v síti více než dvě stanice provozující stejnou službu, je třeba nastavit která stanice má se kterou další komunikovat. V našem případě stanice UE\_Voice1 bude komunikovat se stanicí UE\_Voice2 a UE\_Voice3\_FTP se stanicí UE\_Voice3\_HTTP.

Propojení komunikace lze nastavit a zároveň zobrazit výběrem položky z menu, a to konkrétně záložky **Protocols** → **Applications** → **Confery ACE Traffic (Flows ↔ Discrete)**. Následně výběrem položky **Deploy Applications** z pravého horního rozvinovacího panelu se nabídne možnost zaškrtnutí políčka **Visualize App Communication**. Po zaškrtnutí se zobrazí nové okno, kde se nabízí přímo služba Voice. Vedle názvu **running on** lze vybrat jednu z variant propojení Voice stanic. Pro představu je vidět takové propojení na **Obr. 6.23**. Nastavení je možné provést i přímo na stanici po editaci atributů a to následovně s ukázkou pro jednu stanici. Další se provedou obdobně, pouze s jinou cílovou stanicí (viz. **Obr. 6.23**):



Obr. 6.23: Konfigurace cílových stanic (vlevo) a ukázka propojení mezi sebou (vpravo)

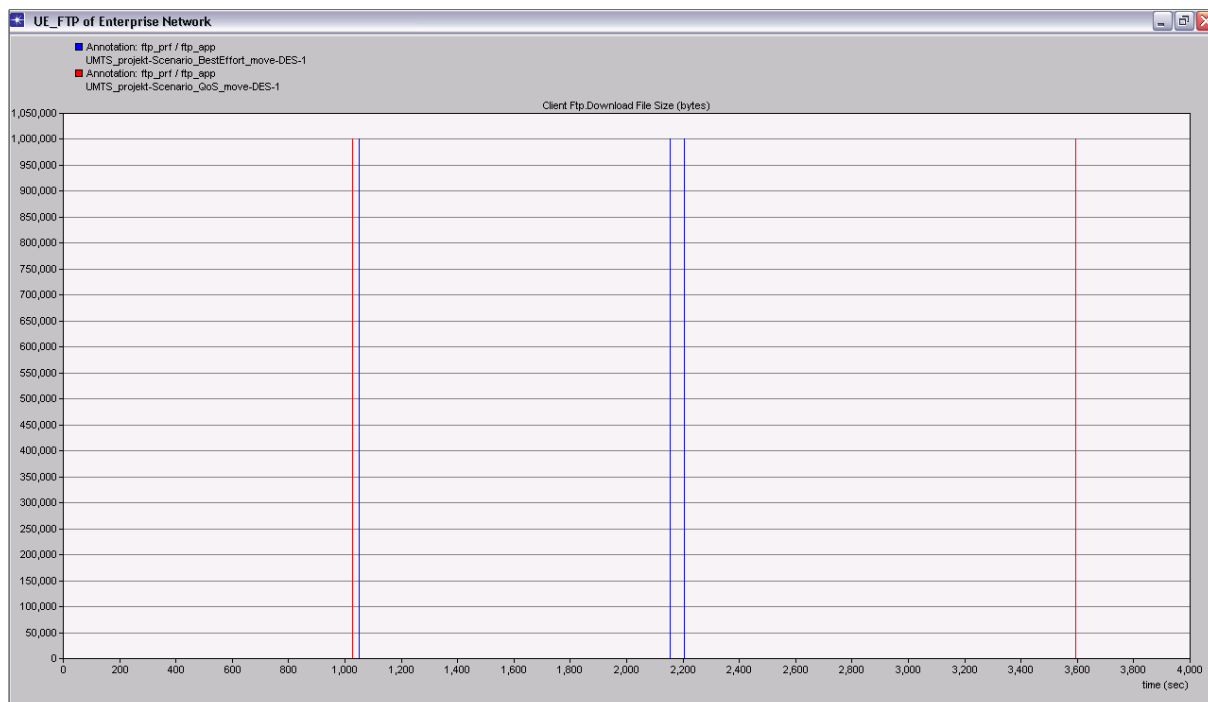
- ❖ Záložka **Applications** → **Application: Destination Preference**:
  - **Number of rows** => **1**,
  - **Voice** => **Application** => **Voice**,
    - **Symbolic Name** => **Voice Destination**,
    - **Actual Name** => **Number of rows** => **1**,
      - ◆ **Enterprise Network.UE\_voice2**,
      - ◆ **Name** => **Enterprise Network.UE\_voice2**.

### 6.3.1. Chování aplikace FTP

Na Obr. 6.24 (zvětšený model je v příloze F) je možno vidět konečný výsledek pro aplikaci FTP v porovnání opět mezi oběma scénáři (QoS i Best Effort). Jedná se o statistiku počtu přijatých souborů. Je zřejmé, že v tomto případě bylo přijato více souborů ve scénáři Best Effort, a to v počtu 3 soubory (modré svislé čáry), oproti druhému scénáři s počtem 2 přijatých souborů (červené svislé čáry). Tento výsledek nastal zřejmě z důvodu upřednostnění služeb s vyššími prioritami (Voice, Video, HTTP) ve scénáři QoS, což omezilo přenos dat u služby FTP. Opačný efekt tedy nastal ve scénáři Best Effort. Výsledky dalších statistik u služeb reálného času to potvrdily.

Uspokojivé výsledky oproti předchozím modelům byly dosaženy změnou následujících konfigurací:

- Na objektu **Application Config** umístěném na ploše scénáře bylo potřebné po editaci aplikace FTP zvýšit velikost přijímaného i odesílaného souboru na 1MB => 1000 000B na řádku **File Size (bytes)** → **constant (1000000)**.
- Dále na řádku **Inter-Request Time (seconds)** → **constant (500)** zvýšit hodnotu doby mezi jednotlivými požadavky na přenos dalšího souboru, a to na hodnotu 500. Pokud by byla malá hodnota, jako v předchozích modelech, kde docházelo k časným opakováním požadavků, a tím k většímu zahlcení sítě. Proto nebylo možné přenést tak velký soubor.

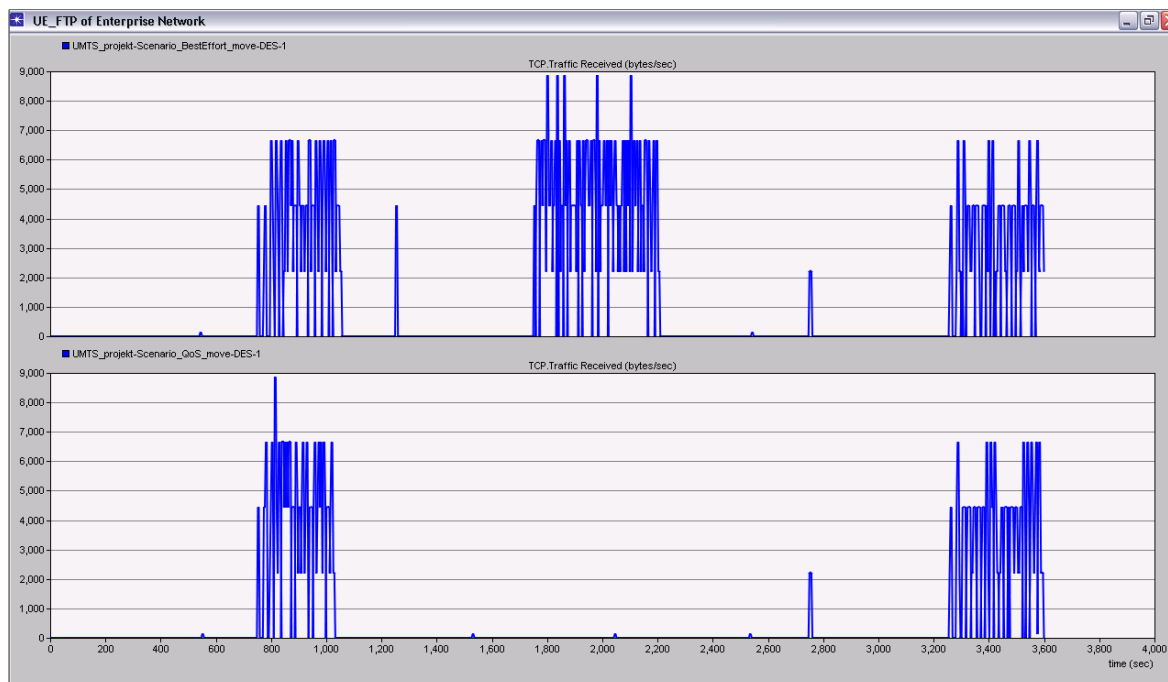


**Obr. 6.24: Chování aplikace FTP – přijaté soubory v Bytech (Download File Size)**

- Na stanici UE\_FTP a na Media\_Serveru v záložce TCP bylo nutné zvýšit počet opětovných přenosů na 8:
  - **Retransmission Thresholds** → **Maximum Connect Attempts** → **8** a **Maximum Data Attempts** → **10**.
  - **Initial RTO (Initial Retransmission Timeout)** → **15** – počáteční časový limit pro opětovný přenos.
- Na obou uzlech RNC bylo třeba změnit nastavení v záložce pro konfiguraci datových kanálů pro třídu **Background** (pro služby na pozadí) do původní přednastavené konfigurace (tzv. default):
  - **UMTS RNC Parameters** → **Channel Configuration** → **Data Channel Config (per QoS)** → **Background** → **Default**.

Na dalším obrázku **Obr. 6.25** je zobrazena statistika přijatých dat na úrovni TCP, kde je přenos dat více zřetelnější, než u původního zobrazení **Traffic Received**, u kterého jsou zobrazeny jen dvě svislé čáry. Byla tedy vybrána záložka **TCP** → **Traffic Received (bytes/sec)**. Jsou zde dva diagramy opět v porovnání scénářů QoS a Best Effort. Na horním diagramu je zobrazena statistika FTP scénáře Best Effort, ve kterém byly přijaty 3 soubory průměrnou rychlostí 4000 B/s. Doba stahování jednoho souboru se pohybovala okolo 250s. Pokud se tyto hodnoty mezi sebou vynásobí, vyjde velikost přijatého souboru 1MB.

Spodní diagram znázorňuje statistiku FTP ve scénáři QoS, u kterého byly přijaty pouze 2 soubory. Délka trvání stahování souboru a průměrná rychlost je podobná jako ve scénáři Best Effort.



Obr. 6.25: Chování aplikace FTP – přijatá data na úrovni TCP v Bytech

### 6.3.2. Chování videotelefonie

Výsledné chování u této aplikace je zobrazeno na Obr. 6.26 (zvětšený model je v příloze G) a je zřejmé, ve kterém scénáři probíhal kvalitnější videohovor.



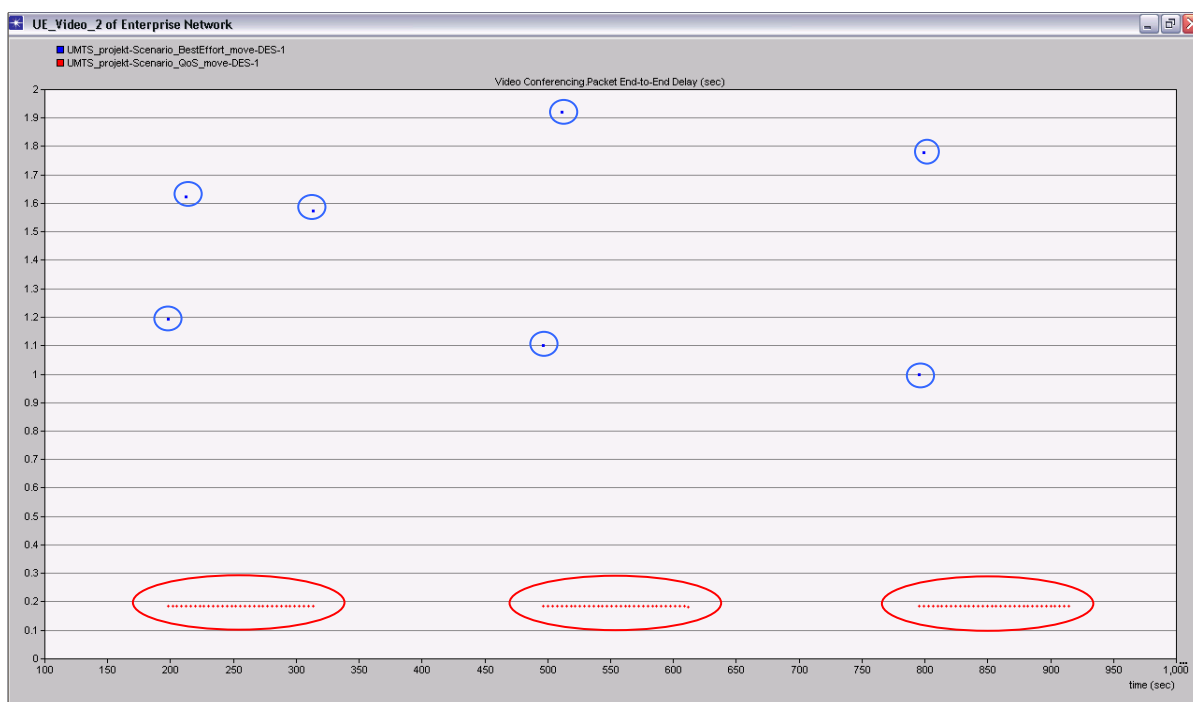
Obr. 6.26: Chování aplikace videotelefonie pro přijatá data v porovnání scénářů QoS a Best Effort

U scénáře QoS (červené sloupce) byli uskutečněny 3 videohovory s přenosovou rychlostí dat okolo 13500B/s. Z doby trvání jednoho videohovoru a přenosové rychlosti lze snadno určit počet přenesených dat. Pro první videohovor je to tedy doba trvání asi 120s a výše zmíněná přenosová rychlost dat průměrně 13500B/s. Výsledkem je tedy 1620000B/s

přenesených dat v jednom videohovoru. Je potřeba ještě zmínit zvýšení maximální přenosové rychlosti na obou videostanicích. V předchozích modelech bylo nastavováno 128kbit/s, což bylo pro současný model nedostačující, a proto byly hodnoty tzv. **Maximum Bit Rate Uplink** a **Maximum Bit Rate Downlink** zvýšeny na 192kbit/s. Pro připomenutí se jedná o konfiguraci UMTS parametrů pro konverzační QoS třídu na stanicích v záložce **UMTS QoS Profile Configuration** → **Conversational** → **Bit Rate Config**.

Přenosová rychlost také docela odpovídá nastaveným hodnotám, které se oproti minulým modelům také navyšovaly. A to konkrétně po editaci atributů na prvku **Application Config** → **Video** → **Description** → **Video Conferencing** → **Edit**:

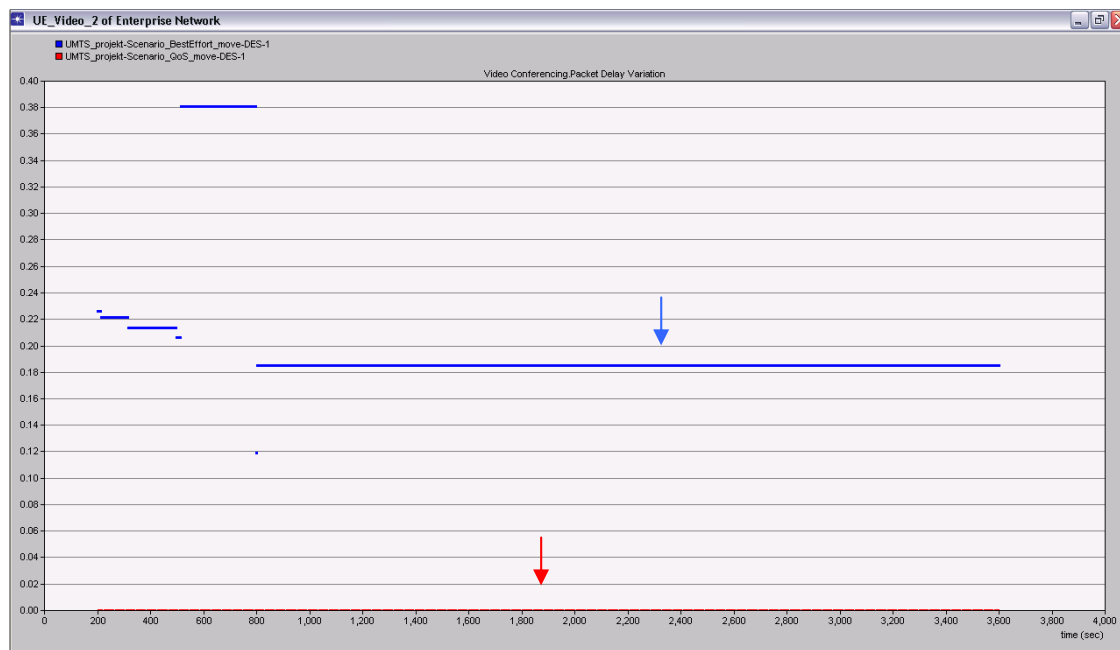
- **Frame Interarrival Time Information** → **15 frames/sec**,
  - **Frame Size Information (bytes)**,
    - **Incoming Stream Frame Size (bytes)** → **constant (1000)**,
    - **Outgoing Stream Frame Size (bytes)** → **constant (1000)**.



**Obr. 6.27: Zpoždění videotelefonie - porovnání scénářů QoS a Best Effort**

Velikost jednoho snímku je nastavena na 1000B a rychlost snímkování na 15 snímku/s. Výsledná přenosová rychlost je tedy 15000B/s, což téměř odpovídá zobrazeným výsledkům. Další důležitou statistikou u videotelefonie je zpoždění paketů. Na **Obr. 6.27** (zvětšený model je v příloze H) je zobrazen diagram s porovnáním statistiky zpoždění opět u obou scénářů. Tři konstantní skupinky červených bodů seřazené do přímky znázorňují zpoždění u scénáře s podporou kvality služeb QoS a mají dobu trvání stejnou, jako trvání jednoho videohovoru. Hodnota zpoždění se pohybuje kolem 185ms. Naproti tomu chaoticky rozmístěné modré body, v diagramu u scénáře Best Effort, představují hodnoty zpoždění v rozmezí 1 – 1,9s. Z toho plyne, že ve scénáři Best Effort nemůže tato služba regulérně fungovat. Další výsledek, kolísání zpoždění to opět potvrzuje.

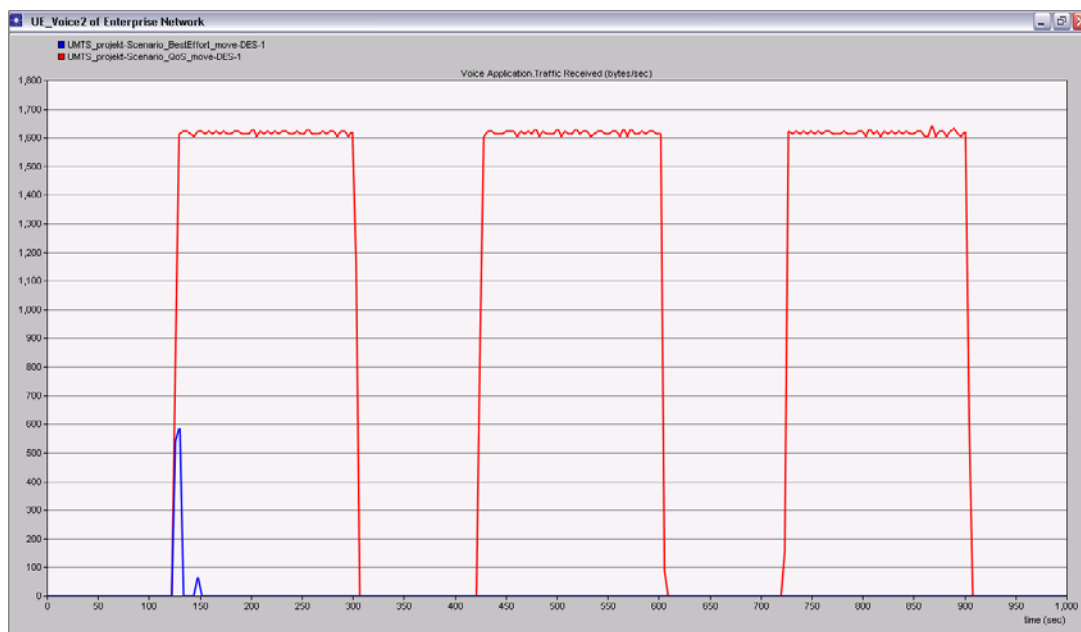
Pro kolísání zpoždění platí podobný výsledek jako u zpoždění paketů ve videotelefonii. Na **Obr. 6.28** znázorňuje červená přímka (téměř s nulovou hodnotou) jitter pro scénář QoS. Modré přímky jsou výsledkem kolísání zpoždění ve scénáři Best Effort. Tady se hodnoty pohybovaly mezi 0,18 – 0,38s, což není nezanedbatelné. Takový jitter není již pro uskutečnění videohovoru přípustný.



**Obr. 6.28:** Jiter (kolísání zpoždění) u videotelefonie - porovnání scénářů QoS (červená linka) a Best Effort (modré přímky)

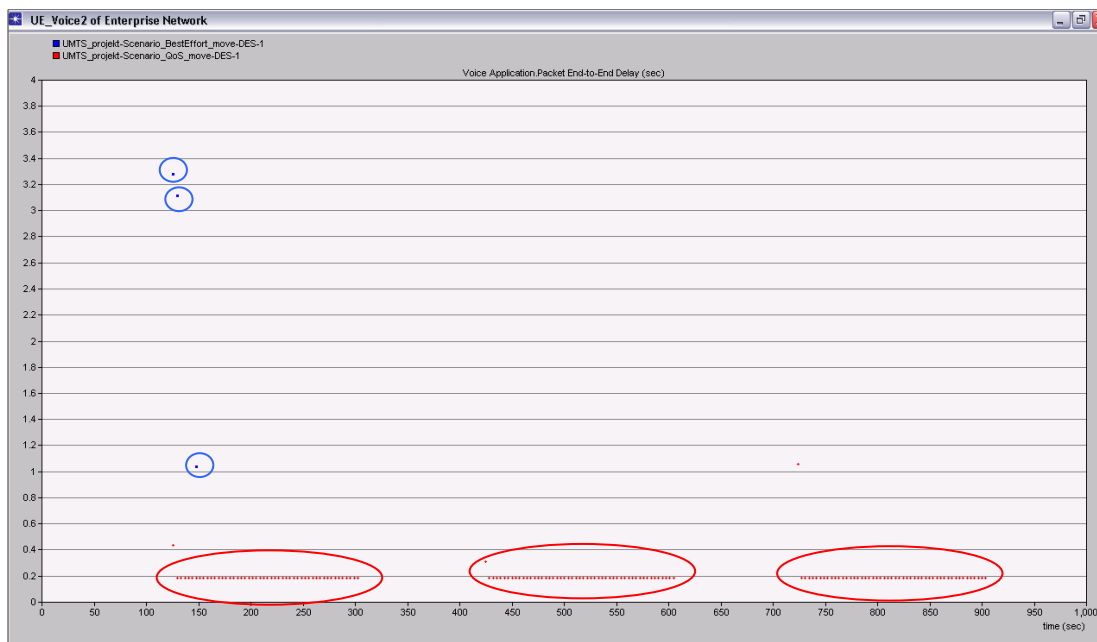
### 6.3.3. Chování telefonie

Pro službu telefonie platí podobné změny oproti minulým modelům jako pro videotelefonii. Bylo sice uskutečněno méně hovorů, než v předchozích modelech, ale zdá se, že hovor odpovídal skutečně reálnému chování. Na **Obr. 6.29** (zvětšený model je v příloze I) je zobrazena statistika porovnání scénářů QoS (červené charakteristika) a Best Effort (modrá charakteristika). Ve scénáři QoS byly uskutečněny celkem 3 hovory mezi stanicemi UE\_Voice1 a UE\_Voice2. Znázorňují vždy pouze statistiku pro přijatá data, jelikož statistika pro odeslaná data je téměř identická.



**Obr. 6.29:** Chování aplikace telefonie pro přijatá data v porovnání scénářů QoS a Best Effort

Doba trvání hovoru odpovídá nastavené konstantní hodnotě 180s, tedy 3 minutám. Přenosová rychlost tentokrát odpovídá nastavenému kódování GSM FR (Full Rate), který používá přenosovou rychlost 13000b/s. Jelikož jsou výsledky v programu Opnet Modeler zobrazovány vždy v B/s a ne v b/s, jak by měla být správně definovaná přenosová rychlost, je tedy nutné přepočítat zobrazený výsledek na b/s, a po té bude výsledek odpovídat teoretické přenosové rychlosti GSM FR. Zobrazená maximální hodnota přenosové rychlosti ve scénáři QoS je v průměru 1600B/s. Pokud se tato hodnota přepočítá na b/s, tedy vynásobí hodnotou 8, vyjde číslo 12800b/s, které se téměř rovná teoretické hodnotě kódovacího mechanismu GSM FR. Hodnoty zpoždění byly podobné jako u služby přenosu videa, jak je vidět na **Obr. 6.30** (zvětšený model je v příloze J).



**Obr. 6.30: Zpoždění aplikace telefonie - v porovnání scénářů QoS a Best Effort**

U scénáře Best Effort nelze prakticky určit, zda-li došlo k uskutečnění nějakého hovoru, protože charakteristika (modrá křivka) neodpovídá velikosti přenosové rychlosti, ani době trvání hovoru jako ve scénáři QoS. Toto bylo nejspíše způsobeno zahlcením front daty služby FTP a HTTP, které uskutečnily několik úspěšných přenosů bez znatelného omezení. Toto chování odpovídá teoretickým předpokladům, které popisují nemožnost bezproblémové komunikace služeb reálného času, jako je přenos videa a telefonie v modelu sítě, jako je model Best Effort. Tedy scénář, kde není implementována podpora kvality služeb QoS. Veškeré nastavení jsou v defaultních hodnotách, což znamená, že nejsou služby řazeny do prioritních tříd a není jim přidělena garantovaná šířka pásma potřebná pro kvalitní komunikaci v síti UMTS.

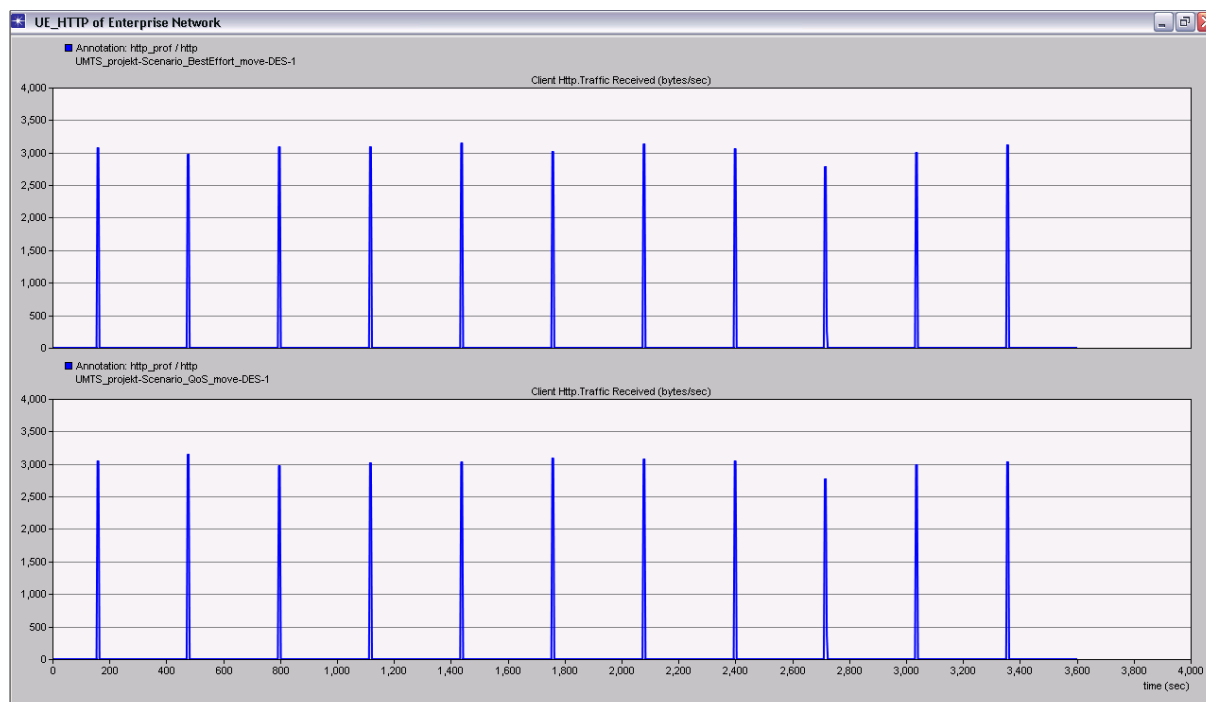
Poslední důležitou úpravou pro konverzační třídu, kam se řadí telefonie i přenos videa bylo na uzlech RNC, kde se snižovala hodnota přerušení časovače tzv. Timer Discard z původních 1500ms na 100ms a hodnota velikosti okna pro vysílání i příjem tzv. Transmission a Receiving Window Size z původní hodnoty 32 na hodnotu 8. Tuto změnu lze najít z kontextového menu Edit Attributes na objektech RNC v záložce:

**UMTS RNC Parameters** → **Channel Configuration** → **Data Channel Config (per QoS)**  
 → **Conversational** → **RLC Info** → **Transmission Windows Size** → **8,**  
 → **Receiving Windows Size** → **8,**  
 → **RLC Discard Info** → **Timer Discard,**  
 (**milliseconds**) → **100.**

### 6.3.4. Chování aplikace HTTP

Pro tuto aplikaci nastala pouze jedna změna, a to ve velikosti stahovaných souborů, které se změnilo z původních 500B na 10000B. Změna velikosti souboru byla provedena na objektu Application Config v záložce **Application Definitions** → **HTTP** → **Description** → **http** → **Edit** → **Page Properties** → **Object size (bytes)** → **constant 10000**.

Na **Obr. 6.31** (zvětšený model je v příloze K) je zobrazena statistika pro přijatá data na stanici UE\_HTTP opět pro oba porovnávané scénáře. Přenosová rychlost dosahovala u obou scénářů téměř stejných hodnot okolo 3000B/s, jen s nepatrnou převahou u scénáře QoS byla větší. Doby odezvy byly stejné jako u předchozích výsledků.



**Obr. 6.31: Přijatá data u služby HTTP v porovnání scénářů QoS a Best Effort**

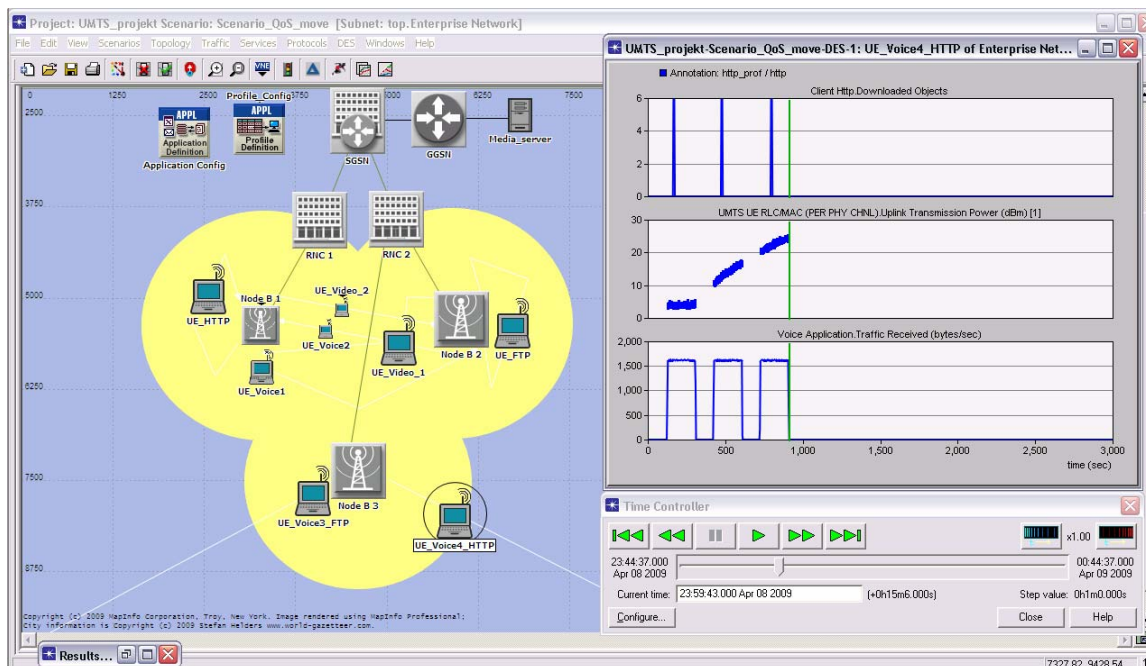
### 6.3.5. Ukončení provozu v síti UMTS

Tato část kapitoly se věnuje stanicím UE\_Voice3\_FTP a UE\_Voice4\_HTTP, které se pohybují po trajektorii směrem ven ze sítě, z dosahu vysílače Node\_B3. V tomto případě bylo potřeba přidat další vysílač Node\_B oproti předchozím modelům, kde byli tyto prvky jen dva. Na všech třech uzlech Node\_B byla navýšena kapacita vysílacího výkonu na 1W (Watt) a dosah buňky (v metrech) na 1 míli, což odpovídá vzdálenosti 1609m. Velikost buněk je znázorněno v modelu žlutými plnými kruhy.

Na **Obr. 6.32** (zvětšený model je v příloze L) je znázorněný pohyb všech stanic s výslednými charakteristikami konkrétně pro stanici UE\_Voice4\_HTTP a vysílač Node\_B3. Stanice je v tomto okamžiku na samé hranici v dosahu signálu od vysílače Node\_B3, tedy na okraji jeho buňky (žlutého kruhu). Statistiky zobrazují 3 přijaté hovory pro službu voice (spodní graf) a zvyšující se vysílací výkon (prostřední graf) na mobilní stanici vzdalující se z dosahu signálu. Vrchní graf znázorňuje počet přijatých souborů u služby HTTP na stejné stanici, kde probíhaly 3 telefonní hovory ve stejnou dobu.

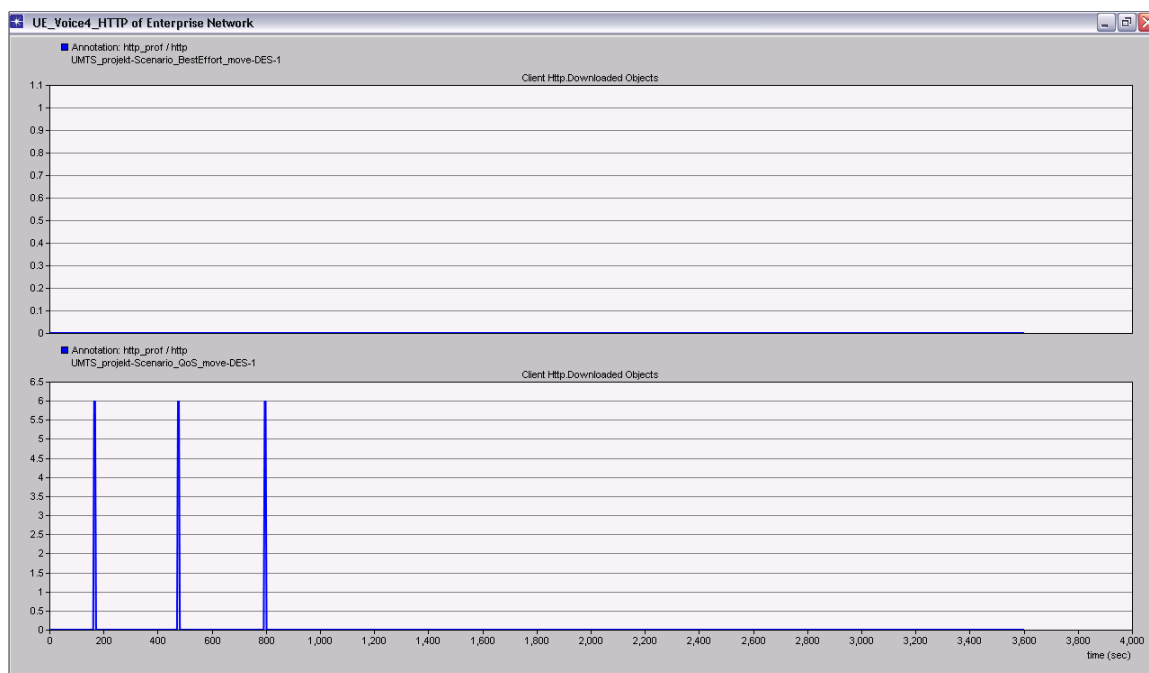
Na stanici UE\_Voice3\_FTP byly stejné výsledky pro službu voice, ale za to u služby FTP nebyl přijatý žádný soubor ani v jednom scénáři. Je to zřejmě následek toho, že nastavená velikost souboru pro aplikaci FTP 1MB byla příliš velká na to, aby stanice zvládla bez problému obsloužit dvě služby ve stejnou dobu s omezenou šířkou pásma. V tomto

případě nebyla účinná ani metoda zajištění kvality služeb, která rozděljuje aplikace do tříd a přiděluje přenosové kapacity jednotlivým službám.



**Obr. 6.32: Ukončení provozu v síti a porovnání vysílacího výkonu na stanici s přijatými daty pro službu voice a HTTP**

Posledním grafem je výsledek statistiky přijatých dat u služby HTTP, opět ve srovnání dvou scénářů QoS a Best Effort, a to na stanici UE\_Voice4\_HTTP, na které probíhaly taktéž telefonní hovory při současném prohlížení internetových stránek a se současným pohybem směrem pryč z dosahu od vysílače Node\_B3. Na **Obr. 6.33** je vidět stejné chování, jako u předchozích modelů, kde byly přijaty soubory pouze ve scénáři QoS. Opět se zde projevil vliv implementace kvality služeb.



**Obr. 6.33: Statistika přijatých souborů u služby http na stanici UE\_Voice4\_HTTP pro scénáře QoS (spodní) a Best Effort (vrchní)**

## 7. POPIS LABORATORNÍ ÚLOHY

Úkolem laboratorní úlohy je seznámit studenty s demonstrací nasazení prostředků QoS (Quality of Services) do mobilních sítí UMTS pro služby pracující v reálném čase typu videotelefonie, IP telefonie, přenos dat přes protokol FTP či prohlížení internetových stránek přes protokol HTTP. Po nastudování přiložené teorie budou mít k dispozici hotový model, na kterém se budou seznamovat s parametry ovlivňující kvalitu chování služeb, budou měnit různé parametry služeb, objem přenášených dat, řazení typu služby do správné prioritní třídy, přiřazovat podle toho dostatečnou přenosovou šířku pásma na stanicích a také vytvářet či měnit trajektorie pohybu mobilních stanic v rámci buněk vysílačů. Dalším úkolem bude náhled do výběru statistik a v případě potřeby individuální výběr nebo změna potřebné sledované statistiky, dle vlastního uvážení.

Hlavním úkolem je sledovat chování služeb a porovnávat je srovnáním dvou scénářů, kde v jednom scénáři je aktivována metoda QoS a ve druhém scénáři je ponecháno „defaultní“ (není rozlišován typ dat) nastavení, nazývané v modelu jako Best Effort. Jedná se tedy o scénář bez podpory QoS. V obou scénářích je aplikována mobilita uživatelských stanic a je znázorněna bílými drahami, po kterých se stanice během provozu pohybují. Výsledky se zobrazují v porovnávacích statistikách obou zmiňovaných scénářů. Studenti tedy po seznámení se se všemi zmíněnými konfiguracemi budou měnit některé parametry, ovlivňující chování služeb v síti UMTS. Po ukončení své vlastní konfigurace studenti nasimulují výslednou síť s předem nadefinovanými statistikami. Tyto výsledky pak zobrazí v porovnání dvou zmiňovaných scénářů mezi sebou a budou je prezentovat vyučujícímu, který na základě těchto výsledků zhodnotí zvládnutí dané problematiky.

## 8. ZÁVĚR

Hlavním úkolem této práce byla demonstrace nasazení prostředků QoS v přístupové síti UTRAN pro služby reálného času typu videotelefonie a telefonie (VoIP), vedle spuštěných běžných služeb, jako je přenos dat přes FTP nebo prohlížení webových stránek a sledovat jejich chování porovnáváním vždy dvou scénářů, kde v jednom scénáři je aktivována metoda QoS, přičemž ve druhém případě je zacházení s libovolnými daty typu „Best Effort“, kde není rozlišován typ dat. Dalším úkolem bylo simulovat různé situace provozu a pohyb uživatelů. Dalsím úkolem tedy bylo tyto modely vyhodnotit z hlediska kvalitativních parametrů jednotlivých služeb a zdůvodnit odlišnosti v jejich hodnotách při různých podmínkách provozu. Posledním úkolem bylo navrhnout laboratorní úlohu na základě získaných znalostí a zkušeností.

V první řadě bylo nutné seznámit se s problematikou mobilních sítí UMTS a parametry ovlivňující chování jejich přístupové části. Následně se mohlo přejít k praktické části, kde se uplatnily získané teoretické informace. Získané znalosti z praktické části byly dále použity v laboratorní úloze, která by měla posloužit studentům k výuce a procvičení znalostí z oblasti mobilních sítí 3. generace (UMTS).

Z počátku byly velké problémy modelovanou sítí UMTS nastavit tak, aby všechny zmíněné aplikace běžely regulérně s jakýmkoliv přenosem dat. Několikrát se stalo, že po jistém nastavení jedné aplikace, která generovala ucházející charakteristiku, druhá nepřenášela síti vůbec žádná data. Zkoumáním se přišlo na to, že příčinou byla nízká hodnota počátečního časového limitu pro opětovný přenos v záložce protokolu TCP, na stanicích i na serveru u FTP služby. Jakmile se zvýšila hodnota tohoto limitu, bylo opět vše v pořádku.

Co se týkalo zpoždění u služeb reálného času, dosahovaly hodnoty zpoždění nebo kolísání zpoždění nadměrných hodnot. Nejproblematictější aplikací byla již zmíněná služba FTP, která občas přenášela pouze minimum dat, nebo dokonce neuskutečnila žádný přenos dat. Záhadou u této služby byla výsledná charakteristika, která zobrazovala pouze jisté špičky stahování souborů, přičemž nebylo možné zpočátku jakoukoliv změnou v nastavení dosáhnout plynulého přenosu dat, jako u jiných služeb. V poslední fázi bylo zjištěno, že u této aplikace se zobrazují přijaté soubory jako body u příslušné velikosti přeneseného souboru. Další možností zobrazení, která vypovídala o skutečné přenosové rychlosti služby FTP byla statistika na úrovni přijatých dat v záložce vrstvy TCP. U služby videotelefonie byly zpočátku problémy s přijímáním hovorů. Všechny stanice vysílaly směrem do sítě, ale již od ní nepřijímaly. Postupem času, mnohočetným testováním a laděním pomocí režimu „debug“, bylo dosaženo ucházejících výsledků, které byly celé prezentovány v kapitole 6. „Výsledky simulace“. Laděním bylo zjištěno, že službě videotelefonii nebyla zpočátku přidělena síť dostatečná šířka pásma. Změna přišla po zvýšení hodnot šířky pásma na video stanicích ze 64kbps na 128kbps a nakonec až na hodnotu 192kbps pro oba směry.

Celkově lze tedy shrnout, že implementace kvality služeb (tzv. QoS) má významný vliv na chování všech služeb v síti UMTS, zvláště pak znatelný u služeb reálného času, které jsou citlivé na zpoždění a kolísání zpoždění paketů během uskutečněného hovoru. Co se týká pohybu stanic po trajektoriích, projeví se znatelné změny v chování služeb oproti statickým stanicím. Proto bylo nutné provést několik úprav v konfiguraci přenosových rychlostí, časovačích a velikostech front na mobilních stanicích i ve vzdálenostech a velikostech výkonu na vysílačích Node B.

Program Opnet Modeler je opravdu mocný a rozsáhlý nástroj, který dokáže simulovat jakékoliv miniaturní změny v síti, a tím se stává také natolik obtížným, že jeho zvládnutí

vyžaduje mnoho času věnovanému konfiguraci, simulaci a zobrazování výsledků, aby bylo docíleno opravdu věrohodných a využitelných výsledků.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] LAIHO, J., NOVOSAD, T., WACKER, A. *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. 2nd edition. Chichester (England) : Willey, c2006. 629 s. ISBN 13 978-0-470-01575-9.
- [2] SOLDANI, D., LI, M., CUNY, R., *QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems*. England: J. Wiley & Sons, 2006. 459 s. ISBN 978-0-470-01639-8
- [3] SPĚVÁČEK, J., *Plánování přístupových sítí UMTS*, Diplomová práce, 2008
- [4] HERTL, P., *Efektivní metody přidělování rádiových zdrojů v mobilních sítích a jejich simulace v prostředí OPNET*, Diplomová práce, 2007
- [5] UMTS World – News and Information about 3G mobile networks,[online]. [cit.10.12.2008]. Dostupný z URL: <<http://www.umtsworld.com/default.htm>>
- [6] OPNET TECHNOLOGIES, *OPNET Modeler 14.5 Release Notes*, Součást instalace simulačního prostředí OPNET Modeler. ČR, 2008.

## ABECEDNÍ PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

<b>ATM</b>	Asynchronous Transfer Mode
<b>BTS</b>	Base Transceiver Station
<b>CDMA</b>	Code Division Multiple Access
<b>CN</b>	Core Network
<b>ETSI</b>	European Telecommunications Standards Institute
<b>FDD</b>	Frequency Division Duplex
<b>FDMA</b>	Frequency Division Multiple Access
<b>FTP</b>	File Transfer Protocol
<b>GGSN</b>	Gateway GPRS Support Node
<b>GPRS</b>	General Packet Radio Service
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communication
<b>HSDPA</b>	High-Speed Downlink Packet Access
<b>HSUPA</b>	High-Speed Uplink Packet Access
<b>HTML</b>	HyperText Markup Language
<b>IMT-2000</b>	International Mobile Telecommunications-2000
<b>IP</b>	Internet Protocol
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union
<b>MMS</b>	Multimedia Message Service
<b>NSS</b>	Network Switching Subsystem
<b>PDA</b>	Personal Digital Assistant
<b>PDP</b>	Packet Data Protocol
<b>QoS</b>	Quality of Service
<b>RAN</b>	Radio Access Network
<b>RNC</b>	Radio Network Controller
<b>RNS</b>	Radio Network Subsystem
<b>SGSN</b>	Serving GPRS Support Node
<b>SMS</b>	Short Message Service
<b>TD - CDMA</b>	Time Division – Code Division Multiple Access
<b>TDD</b>	Time Division Duplex
<b>UE</b>	User Equipment
<b>UMTS</b>	Universal Mobile Telecommunications System
<b>UTRAN</b>	UMTS Terrestrial Radio Access Network
<b>VoIP</b>	Voice over Internet Protocol
<b>WCDMA</b>	Wideband Code Division Multiple Access
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network
<b>XML</b>	Xtensible Markup Language

## SEZNAM PŘÍLOH

<b>A.</b>	<b>LABORATORNÍ ÚLOHA.....</b>	<b>I</b>
A.1	NÁZEV .....	I
A.2	CÍL .....	I
A.3	POŽADAVKY NA PRACOVIŠTĚ .....	I
A.4	SEZNAM ÚKOLŮ .....	I
A.5	TEORETICKÝ ÚVOD .....	I
A.5.1	<i>Mobilní síť třetí generace – UMTS.....</i>	<i>I</i>
A.5.2	<i>Zajištění kvality služeb v síti UMTS.....</i>	<i>V</i>
A.6	POSTUP PRÁCE .....	VII
A.6.1	<i>Základní informace o programu Opnet Modeler.....</i>	<i>VII</i>
A.6.2	<i>Třídění služeb ve scénářích Qos a best effort.....</i>	<i>VIII</i>
A.6.3	<i>Změny trajektorií .....</i>	<i>IX</i>
A.6.4	<i>Vytvoření a změny konfigurace aplikací v Application Config.....</i>	<i>X</i>
A.6.5	<i>Konfigurace přístupové sítě UTRAN .....</i>	<i>XI</i>
A.6.6	<i>Výběr sledovaných statistik.....</i>	<i>XIII</i>
A.6.7	<i>Nastavení a spuštění simulace .....</i>	<i>XIII</i>
A.6.8	<i>Výsledky simulace.....</i>	<i>XIV</i>
A.7	OTÁZKY K ÚLOZE .....	XIV
A.8	POUŽITÁ LITERATURA .....	XV
<b>B.</b>	<b>POPIS OBSAHU PŘILOŽENÉHO MÉDIA.....</b>	<b>XVI</b>
<b>C.</b>	<b>PRVNÍ SIMULOVANÝ MODEL .....</b>	<b>XVII</b>
<b>D.</b>	<b>DRUHÝ SIMULOVANÝ MODEL .....</b>	<b>XVIII</b>
<b>E.</b>	<b>KONEČNÝ SIMULOVANÝ MODEL .....</b>	<b>XIX</b>
<b>F.</b>	<b>PŘIJATÁ DATA U SLUŽBY FTP.....</b>	<b>XX</b>
<b>G.</b>	<b>PŘIJATÁ DATA U VIDEOTELEFONIE.....</b>	<b>XXI</b>
<b>H.</b>	<b>ZPOŽDĚNÍ U VIDEOTELEFONIE .....</b>	<b>XXII</b>
<b>I.</b>	<b>PŘIJATÁ DATA U TELEFONIE.....</b>	<b>XXIII</b>
<b>J.</b>	<b>ZPOŽDĚNÍ U SLUŽBY TELEFONIE.....</b>	<b>XXIV</b>
<b>K.</b>	<b>PŘIJATÁ DATA U SLUŽBY HTTP .....</b>	<b>XXV</b>
<b>L.</b>	<b>UKONČENÍ PROVOZU V SÍTI.....</b>	<b>XXVI</b>

## A. LABORATORNÍ ÚLOHA

### A.1 NÁZEV

Simulace a vyhodnocení scénářů nasazení služeb reálného času do sítí UMTS v prostředí Opnet Modeler.

### A.2 CÍL

Cílem laboratorní úlohy je demonstrace nasazení prostředků QoS (Quality of Services) v mobilní síti UMTS u služeb pracujících v reálném čase typu videotelefonie, IP telefonie. Na pozadí poběží provoz běžných služeb jako je přenos dat přes FTP nebo prohlížení webových stránek. Hlavním úkolem je sledovat jejich chování srovnáním dvou scénářů, kde v jednom scénáři je aktivována metoda QoS a ve druhém scénáři je ponecháno „defaultní“ (není rozlišován typ dat) nastavení, nazývané v modelu jako Best Effort. Jedná se tedy o scénář bez podpory QoS. V obou scénářích je aplikována mobilita uživatelských stanic a je znázorněna bílými drahami, po kterých se stanice během provozu pohybují. Výsledky se zobrazují v porovnávacích statistikách obou zmiňovaných scénářů.

### A.3 POŽADAVKY NA PRACOVNÍŠTĚ

- Hardwarové požadavky: PC s RAM minimálně 256MB, 4GB volného místa na disku.
- Softwarové požadavky: Opnet Modeler 14.5, Microsoft Visual Studio 2008.

### A.4 SEZNAM ÚKOLŮ

- Seznamte se s problematikou mobilních sítí UMTS a parametry ovlivňující chování jejich přístupové části UTRAN, především pak pro služby pracující v reálném čase, jako je přenos videa, nebo hlasu a dále pro běžně využívané služby typu přenos dat přes FTP nebo HTTP. Nastudujte rozřazení jednotlivých aplikací do prioritních tříd.
- Na základě vytvořeného modelu sítě UMTS si vyzkoušejte chování služeb ve scénáři Best Effort, konfiguraci a zařazení zmíněných služeb do prioritních tříd. Toto si ve scénáři QoS ověřte a porovnávejte výsledné charakteristiky mezi sebou. Zkoušejte měnit velikosti přenášených dat u jednotlivých služeb, velikost šířky pásma na jednotlivých stanicích, vysílací výkon a dosah na vysílačích Node\_B a výsledné statistiky prezentujte vyučujícímu.

### A.5 TEORETICKÝ ÚVOD

#### A.5.1 MOBILNÍ SÍŤ TŘETÍ GENERACE – UMTS

##### ❖ ÚVOD DO UMTS

V devadesátých letech začala organizace ITU (International Telecommunication Union) vyvíjet univerzální technologii pro mobilní síť s použitým spektrem funkčním po celém světě, který bude poskytovat kvalitnější parametry jak pro hlasové, tak i datové služby. Tato technologie označována zkratkou IMT-2000 (International Mobile Telecommunications) je také nazývána jako mobilní systém třetí generace (3G). [5]

Koncem tohoto desetiletí v prosinci 1999 dokončila společnost ETSI (European Telecommunications Standards Institute) první specifikaci (Release 1999) pro technologie s kmitočtovým FDD (Frequency Division Duplex) a časovým TDD (Time Division Duplex) dělením. O rok později v březnu byl uskutečněn první 3G/UMTS hovor pomocí technologie TD-CDMA (TDD) a přesně za měsíc bylo dokončeno rozšíření pro pásmo v UMTS/IMT-2000. V prosinci roku 2001 byla spuštěna první komerční UMTS síť. Dnes je tato technologie rozšířena po celém světě, zaměřena spíše pokrytím na větší aglomerace, kde je tím pádem i větší hustota obyvatel.

První, respektive druhá generace mobilních komunikačních sítí (1G-2G) umožnila přenos hlasových služeb pomocí bezdrátových technologií. Důležitější ale byla s tím spojená standardizace, kompatibilita a přenositelnost do všech zemí světa, což předchází analogické generace nebyly schopny zajistit. Splnění těchto vlastností posunuly systémy druhé generace, tedy GSM systémy, k tomu, aby se rozšířily do celého světa. Mezi hlavními výhodami těchto systémů bylo plánování bezdrátové a přenosové části sítě a optimalizace procesů a činností, nezbytných pro správně běžící mobilní síť.

Třetí generace (3G) mobilních systémů známá pod pojmem Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) zavádí velmi odlišné datové toky na rádiovém rozhraní a stejně tak na řídicí přístupové části. Pro uživatele toto znamená dostupnější širší spektrum přepínaných obvodů nebo služeb paketových dat díky nově vyvinuté rádiové technologii s vysokou přenosovou rychlostí, nazývanou Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) – širokopásmové kódové dělení s mnohonásobným přístupem. K odlišení UMTS od konkurenčních technologií se často užívá název 3GSM, zdůrazňující kombinaci vlastností technologií 3G a standard GSM, který dosáhl jisté úspěšnosti.

### ❖ POŽADAVKY A CÍLE

Zde je uvedeno několik vlastností a požadavků, které poskytuje síť UMTS:

- vysokorychlostní komunikační služby a asymetrické datové přenosy,
- přenosové rychlosti:
  - 2048 kb/s – v rámci budov, při rychlostech mobilní stanice do 6 km/h,
  - 384 kb/s – v městské zástavbě, při rychlosti mobilní stanice do 120 km/h,
  - 144 kb/s – v dopravních prostředcích mimo město,
- využití celosvětové mobility,
- nezávislost vlastností a nabídky služeb na technologii rádiového rozhraní,
- sloučení služeb poskytovaných v pevných i mobilních sítích,
- podpora pro nespojité (IP přenosy) a spojité (videokonference) datové přenosy,
- podpora pro plynulé datové a hlasové přenosy (uživatel bude moci používat internet a zároveň telefonovat bez potřeby dalšího přístroje),
- vyšší zabezpečení včetně šifrování komunikace.

Technologie třetí generace (3G) jsou vyvíjeny s návazností na technologie druhé generace (2G), rozdělení do etap umožňuje plynulý přechod z 2G na 3G. [3]

Specifikace 3GPP rozděluje vývoj UMTS do etap vývoje značených tzv. „release“:

- Release 99 – první úplná definice UMTS, uvádí do provozu nové rádiové rozhraní UTRA (UTRAN), namísto rádiového rozhraní GSM. Struktura základní sítě se příliš neliší od struktury v systému GSM2+ s GPRS. Podpora hovoru není povinná.
- Release 4 – zlepšení funkčnosti, minimální změny,
- Release 5 – síť založená na IP, rozšíření o HSDPA,
- Release 6 – rozšíření na HSUPA, využití WLAN,
- Release 7.

### ❖ *KMITOČTOVÝ PLÁN*

System UMTS používá přístupovou metodu W-CDMA (Wideband CDMA-Code Division Multiple Access) k oddělení přenosových kanálů a pro samotný přenos využívá dvou kódových technologií.

- **Technologie FDD (Frequency Division Duplex)** – pracuje na oddělených frekvencích při spojení mezi základnovou stanicí a telefonem ve směru uplink a downlink. Je vhodnější pro velkoplošné pokrytí a symetrické středně rychlé datové služby, ale je mnohem náročnější na regulaci výkonu na straně mobilního telefonu i základnové stanice.
- **Technologie TDD (Time Division Duplex)** – pracuje na stejné frekvenci pro uplink i downlink, ale je založena na střídání různých time slotů tzv. metodou „Ping-Pong“. Je vhodná pro asymetrické vysokorychlostní datové přenosy a pro pokrytí hlavně uvnitř budov.

Rozmezí kmitočtů je následující:

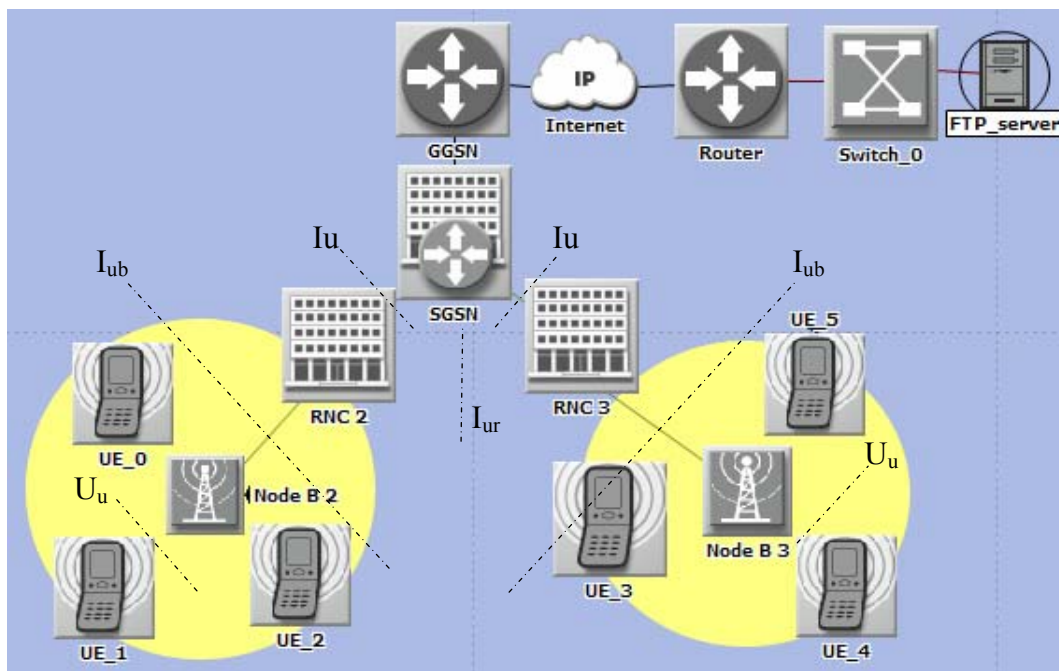
- **Párové kmitočty (FDD):**
  - 1920 – 1980 MHz uplink (Rx) – vysílání z BS na UE,
  - 2110 – 2170 MHz downlink (Tx) – vysílání z UE na BS.
- **Nepárové kmitočty (TDD):**
  - 1900 – 1920 MHz uplink (Rx) – vysílání z BS na UE,
  - 2010 – 2025 MHz downlink (Tx) – vysílání z UE na BS.
- **Družicové párové kmitočty:**
  - 1980 – 2010 MHz uplink (Rx),
  - 2170 - 2200 MHz downlink (Tx).

Každý mobilní terminál používá stejný nosný kmitočet a komunikuje ve stejném čase, přičemž pro vzájemné rozlišení používá každý svou vlastní kódovou sekvenci. V přijímači je signál dekodován na základě znalosti příslušné kódové sekvence a tím je obnovena přenášená informace. System využívá jak již bylo řečeno kombinovaný přístup FDMA/CDMA. Kmitočtové pásmo přidělené systému je rozděleno na jednotlivé rádiové kanály (FDMA) a v každém rádiovém kanálu jsou jednotlivé uživatelské kanály rozlišeny jedinečnou kódovou sekvencí (rozprostíracím kódem), kterou se kóduje přenášená informace (CDMA).

### ❖ *ARCHITEKTURA SÍTĚ (UMTS)*

System UMTS má obdobnou strukturu jako síť GSM (viz. **Obrázek 1**), ale s několika málo rozdíly v názvech prvků a jejich funkcích. Dělí se na dvě hlavní části: [1]

- **Rádiová přístupová síť RAN (Radio Access Network)** – poskytuje přístup mobilního uživatele k páteřní síti přes rádiové prostředí. (U systému GSM se jedná o obdobnou část, tzv. subsystém základnových stanic BSS).
- **Páteřní síť CN (Core Network)** – provádí spojovací funkce (propojení účastníků a směrování paketů), udržuje a obnovuje důležité informace uživatelů (polohu, bezpečnost, účtování) a zajišťuje spojení do dalších sítí. (Obdobou v síti GSM je síťový spojovací subsystém NSS).



**Obrázek 1: Ukázka struktury sítě UMTS v prostředí Opnet Modeler**

Mobilní stanice UE (User Equipment) a základnová stanice Node\_B může být podobná jako BS (Base Station) a BTS (Base Transceiver Station) v GSM. V UMTS je pak každý Node\_B připojen k RNC (Radio Network Controller), který je obdobou BSC (Base Station Controller) v sítích GSM. Několik Node\_B a jedno RNC pak dohromady vytváří RNS (Radio Network Subsystem) neboli radiovou část sítě UMTS. Velkou fází přechodu oproti sítím GSM, které pokrývají téměř celé území daného státu, jsou sítě UMTS budovány formou malých bloků, které budou pokrývat místa, kde je o UMTS zájem - tedy velká města a aglomerace. [4]

Několik RNS dané UMTS sítě tvoří dohromady radiové rozhraní sítě UMTS tzv. UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network). Přístupová síť UTRAN je částí systému, se kterým prostřednictvím rádiového rozhraní komunikují jednotlivé uživatelské terminály UE. V systému UMTS není možná komunikace jednotlivých mobilních stanic přímo mezi sebou. Na nejvyšší úrovni je použita technologie ATM pro páteřní síť CN, dále pak směrem k uživatelům radiová přístupová síť UTRAN a konečně uživatelé budou přistupovat k UMTS síti pomocí uživatelských terminálů UE.

Hlavní funkcí Core Network je spojování hovorů a směrování paketů. Existuje několik provedení CN, ale jednotným požadavkem stále zůstává dostatečná přenosová kapacita. Součástí této páteřní sítě jsou také databázové funkce a funkce síťového managementu. Prvním uzlem paketové části (Packet Switched Domain) směrem od rádiové přístupové sítě je SGSN (Serving GPRS Support Node), který poskytuje síťové prostředky pro uživatele v přístupové síti a implementuje paketové plánování pro politiku třídění služeb QoS. Je zodpovědný za ustanovení PDP (Packet Data Protocol) kontextu s uzlem GGSN (Gateway GPRS Support Node) jež je směrovačem paketů pro oba směry, jak do sítě UMTS tak směrem ven.

Mezi těmito dvěma částmi bylo definováno rozhraní  $I_u$  (mezi CN a UTRAN) a  $U_u$  (mezi UTRAN a UE). Mezi RNC a UE bylo definováno rozhraní  $I_{ub}$ . Novým prvkem, který v GSM nefiguroval, je rozhraní  $I_{ur}$  mezi jednotlivými RNC, který slouží k signalizaci mezi jednotlivými RNC.

### ❖ RÁDIOVÁ PŘÍSTUPOVÁ SÍŤ (UTRAN)

Rádiové přístupová síť se skládá ze subsystémů rádiové sítě (RNS). Každý RNS obsahuje jeden RNC (Radio Network Controller), který by měl být připojen jen k jedné základní síti a to přes  $I_u$  rozhraní. Každý RNC má na starost několik Node\_B (ekvivalent GSM BTS). Uzly Node\_B jsou k RNC připojeny přes  $I_{ub}$  rozhraní. Rádiové rozhraní mezi Node\_B a uživatelským zařízením je označeno jako  $U_u$ .

Rozhraní Iur mezi jednotlivými RNC slouží k zabezpečení tzv. soft handoveru bez přerušení spojení i při vysokých přenosových rychlostech, na přenos paketů ze zásobníku předešlého RNC do druhého RNC v případě, že uživatel už byl přepojen a zásobník předešlého RNC ještě obsahuje pakety, které nestihl poslat uživateli. Za pomoci Iur rozhraní je možné i sdílení zdrojů jednotlivých RNC navzájem. [4]

#### Přístupová síť UTRAN plní základní dvě funkce:

- zprostředkování rádiového přenosu,
- řízení a přidělování rádiových prostředků.

#### • Node B

Hlavní funkcí tohoto uzlu je převod uživatelských a řídicích dat z transportních kanálů na rozhraní  $I_{ub}$  do fyzických kanálů WCDMA na rozhraní  $U_u$  a naopak. Mimo tyto základní přenosové funkce zajišťuje Node\_B také řízení výkonu uživatelských zařízení (tzv. vnitřní smyčka) a provádí měření velikosti rádiových signálů na jehož základě rozhoduje o provedení handoveru, a také o zatížení buňky a řízení přístupu do buňky podle požadavků RNC. Další důležitou funkcí je zajištění kmitočtové a časové synchronizace mobilní stanice se systémem (chipové, bitové, slotové a rámcové).

#### • RNC

Uzel RNC přiděluje rádiové prostředky a zajišťuje řízení části UTRAN, která je pod jeho kontrolou. Převádí účastnické signály z rozhraní  $I_{ub}$  na  $I_u$  a naopak. Má na starosti řízení procesu „handover“, řízení výkonů signálů, vysílání systémových informací o podmínkách v jednotlivých buňkách, zajištění bezpečnosti UTRAN a další funkce.

### 4.5.2 ZAJIŠTĚNÍ KVALITY SLUŽEB V SÍTI UMTS

Bezdrátové mobilní sítě poskytovaly dlouhou dobu jen hlasové služby. Až postupem času se rozmohla technologie poskytování multimediálních datových služeb. Mobilní datové služby se stávají mnohem více nepostradatelnou součástí strategie mobilních operátorů a rozšiřují se stejně rychle jako dříve hlasové služby. Mobilní aplikace, prohlížení internetových stránek v mobilních přístrojích, videokonference nebo zasílání multimediálních zpráv (MMS) jsou služby, které mají odlišné nároky na síťové prostředky. Některé vyžadují větší rezervaci síťových prostředků, jiné zase nízkou latenci, ztrátovost nebo správnost doručení paketů. Proto jsou do dnešních technologií zaváděny další inovace mezi nimiž je právě metoda zajišťování kvality služeb tzv. QoS (Quality of Services).[2]

Zajištění kvality služeb QoS je schopnost sítě poskytovat službám úroveň zajištění obsluhy na odpovídající úrovni. Jedná se o poskytnutí nejlepší obsluhy služeb v co nejlepším poměru cena – výkon. Proto poskytovatelé těchto síťových služeb musí zajistit kvalitu služeb co nejúčinněji a nejefektivněji. QoS zahrnuje všechny funkce, mechanismy a procedury po celé délce mobilní sítě, mezi uživatelským zařízením (UE-User Equipment) v přístupové

bezdrátové části až po pevnou síťovou část (CN – Core Network). Správa QoS se třídí do čtyř kategorií:

- **Plánování sítě** – zahrnuje dimenzování a detailní plánování sítě, což zahrnuje odhad požadovaného počtu vysílačů, propustnosti, základních prvků síťového jádra a kapacitu souvisejících rozhraní.
- **Poskytnutí QoS** – je proces, který implementuje QoS v síti a na mobilních stanicích. Přesouvá plánované kroky do mechanismů a parametrů do jednotlivých síťových uzlů, mobilních stanic a jejich následných konfigurací.
- **Kontrola QoS** – je důležitou částí pro mobilní operátory a slouží pro kontrolu měření funkčnosti parametrů QoS zapouzdřené v jejich mobilní síti, aby mohli poskytovat svým klientům co nejspolehlivější a plnohodnotné služby.
- **Optimalizace QoS** – je proces ke zlepšení celkové kvality chování sítě jako je například efektivnější zajištění síťových zdrojů. V celku zahrnuje měření výkonu sítě, analýzu výsledků měření a obnovu nastavení a parametrů. Stále se implementují nové technologie, inovují základní prvky nebo vlastnosti síťových prvků.

Při nasazení parametrů QoS v přístupové síti UMTS je třeba rozlišovat služby podle jejich vlastností chování a také jejich požadavků od sítě. V porovnání s pevnými sítěmi lze očekávat zcela jiné chování v bezdrátové mobilní přístupové síti. Proto musí mechanismy QoS poskytnout alespoň přiměřené výsledky, které se budou aspoň zčásti podobat vlastnostem chování služeb v pevných sítích. Proto se služby v mobilních sítích dělí na čtyři kategorie:

1. **Konverzační třída** – je určena pro služby pracující v reálném čase, jako je telefonie (VoIP) nebo videotelefonie, které komunikují ve formě klient – klient. Tyto služby vyžadují co nejmenší latenci (zpoždění) a jitter (kolísání zpoždění). Proto jsou zařazeny do této nejvyšší třídy priorit.
2. **Streamovací třída** – je to třída, kde služby komunikují na úrovni klient – server (jeden směr) v reálném čase, jako je například sledování videoklipů, nebo poslouchání internetových rádií. Tyto služby jsou daleko citlivější na kolísání zpoždění než na samotné zpoždění, jelikož server dokáže určité zpoždění eliminovat ve vyrovnávací paměti.
3. **Interaktivní třída** – tato třída zahrnuje služby jako je prohlížení internetových stránek, přístup k serveru nebo správa databází. Proto nevyžadují přenos v reálném čase, ale pracují na principu dotaz – odpověď. Vyžadují pouze správnost doručení dat a minimální chybovost.
4. **Třída služeb na pozadí** – jak už název napovídá, jedná se o služby, které pracují na pozadí a tím nijak obzvláště nezatěžují samotnou síť, tedy služby s nejnižší prioritou. Do této kategorie spadá posílání SMS zpráv, přenos dat přes FTP, stahování hlaviček e-mailů nebo práce s databázemi. Nejsou citlivé na zpoždění ani kolísání zpoždění, pouze je nutné, aby byly správně a bezchybně doručeny k uživateli.

Hlavním rozdílem v těchto třídách je požadavek služeb, jaký od sítě očekávají a tím přiřazení samotných služeb do priorit. Podle toho jsou pak obsluhovány a tříděny, aby je mohl uživatel využívat bez pocítění omezení nebo nefunkčnosti požadovaných aplikací a samotné

komunikace. Proto jsou velmi důležité pro nasazení do dnešních mobilních technologií, jako je samotný systém UMTS. Více informací lze najít v literatuře [2].

## A.6 POSTUP PRÁCE

### A.6.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O PROGRAMU OPNET MODELER

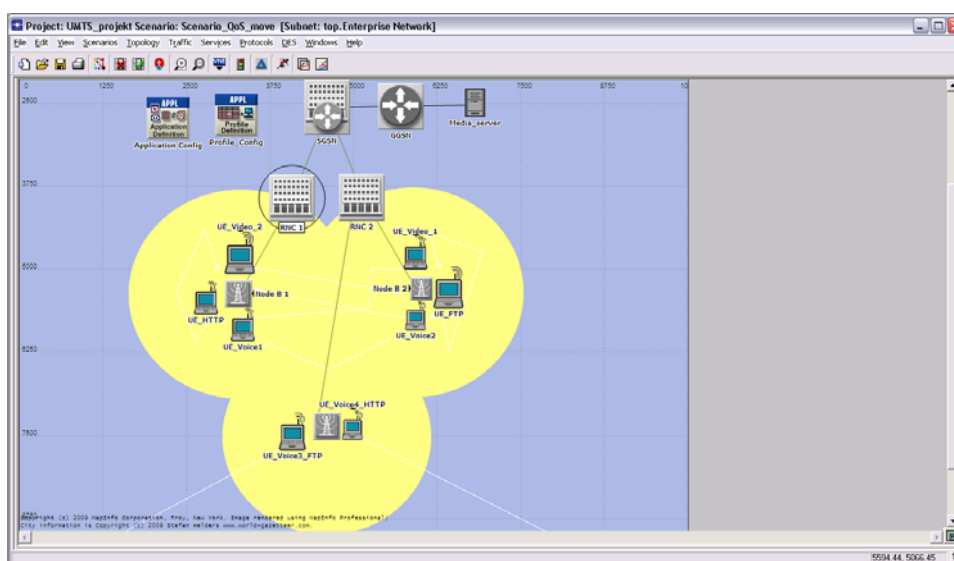
Simulační program OPNET Modeler je nástroj, který dokáže simulovat a analyzovat jakoukoliv síťovou architekturu. Je velmi výkonný a efektivní z hlediska rozsáhlosti simulovaných sítí a zobrazení výsledných charakteristik. Tímto usnadňuje návrh komunikačních sítí, protokolů a aplikací s velkou flexibilitou testování. [6]

Největší výhodou je jeho grafické prostředí, které usnadňuje rozmístění prvků sítě a jejich konfiguraci pro různé testovací účely. Výběr sledovaných statistik a po té samotné nastavení a spuštění simulace je také zcela snadné a efektivní. Před spuštěním simulace lze nastavit debugovací režim, při němž lze podrobně analyzovat případné nedostatky konfigurace sítě a také sledovat detailní průběh komunikace služeb v síti. Tyto informace lze po té exportovat do textového souboru. Výsledky simulací (tzv. statistiky) je možné zobrazovat přímo v programu nebo je snadno vyexportovat do tabulkového procesoru, kde lze hodnoty zobrazit v jakémkoliv grafu a následně uložit v různých formátech (např. XML, HTML). Nejtěžší částí je vždy samotná konfigurace prvků a celkového chování sítě.

Další výhodou tohoto programu je jeho vývojové prostředí, které je hierarchické a objektově orientované. Chování jednotlivých komponent je na nejnižší úrovni zapsáno v jazyce C/C++. Zdrojový kód je snadno dostupný, z čehož plyne, že ho lze dále modifikovat. Tento program je hojně využíván v celosvětových firmách zabývajících se plánováním a budováním takovýchto rozsáhlých sítí.

#### ❖ *POSTUP OTEVŘENÍ VZOROVÉHO PROJEKTU A POPIS SCÉNÁŘE*

Po spuštění samotného Opnet Modeleru otevřete okno v Menu **File** → **Open** a z uloženého místa na disku vyberte název projektu **UMTS\_projekt.prj**. Zobrazí se model sítě **Enterprise** s rozměry plochy 10km x 10km a na ni sestavený model sítě UMTS (viz. **Obrázek 2**).



Obrázek 2: Ukázka struktury sítě UMTS v prostředí Opnet Modeler

Na obrázku modelu UMTS sítě vidíte jeden ze dvou porovnávaných scénářů nazvaný Scénář QoS. Veškeré postupy budou popisovány na tomto scénáři. Ostatní změny, které se budou provádět ve druhém scénáři budou zmíněny jen krátce. Je zde několik stanic, na kterých je spuštěna určitá služba. Je to zřejmé i z názvu stanic. Dále vidíte zobrazené dráhy, po kterých se mobilní stanice pohybují. Žluté kruhy znázorňují velikost buňky každého vysílače Node\_B a vzájemně se překrývají, aby mohlo docházet k přepojování stanic v případě pohybu od jednoho Node\_B ke druhému. Jedná se o tzv. handover. Stanice komunikují se svými vysílači bezdrátově a pohybují se po vyznačených (bílých) trajektoriích. Tyto trajektorie jsou libovolné a můžete je měnit podle uvážení, jak uznáte za vhodné. Postup bude vysvětlen později.

Vysílače Node\_B jsou propojeny na kontrolní uzly RNC linkou ATM. Přes tyto kontrolní prvky a dále přes směrovač SGSN probíhá komunikace služeb reálného času mezi sebou na úrovni bod-bod, kdežto služby FTP a HTTP komunikují se vzdáleným serverem na úrovni klient-server.

Na ploše zbývají poslední dva konfigurační prvky. Jedná se o konfigurator aplikací tzv. Application Config a konfigurator profilů služeb tzv. Profile Config, který definuje spouštění, opakování a dobu trvání služeb. V těchto bodech se vytvářejí a konfiguruje samotné aplikace, které budou v síti UMTS provozovány. Většina konfigurací je již nastavena v hotovém modelu, ale pro jednodušší práci s nastavováním velikostí souborů a výběru služeb bude v následující kapitole podrobně popsán jeden z těchto prvků, a to Application Config.

#### 4.6.2 TRÍDĚNÍ SLUŽEB VE SCÉNÁŘÍCH QOS A BEST EFFORT

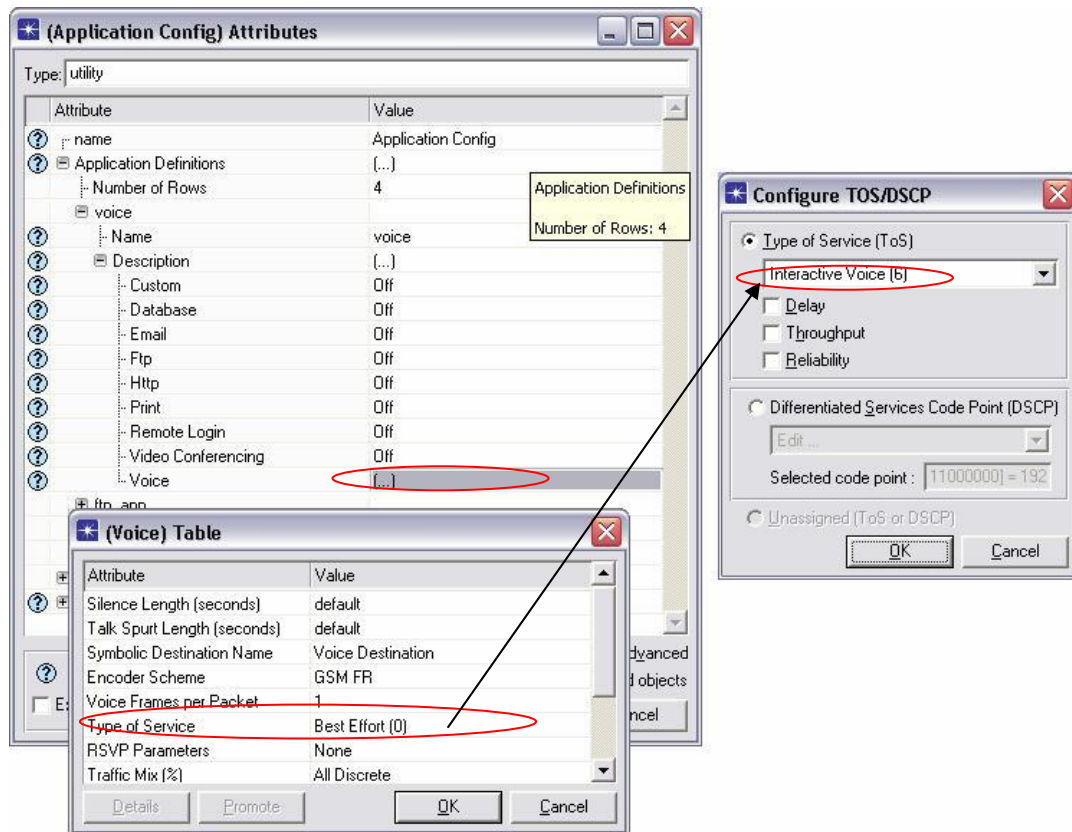
Na zobrazeném scénáři QoS jsou zařazeny všechny služby do tříd, podle daných teoretických pokynů. Proto důkladně nastudujte kapitolu o zajištění kvality služeb v sítích UMTS, podle kterých budete schopni tyto služby přiřadit do správných tříd. V následujícím odstavci bude popsáno, kde se toto nastavení provádí.

##### ❖ ZMĚNY V APPLICATION CONFIG

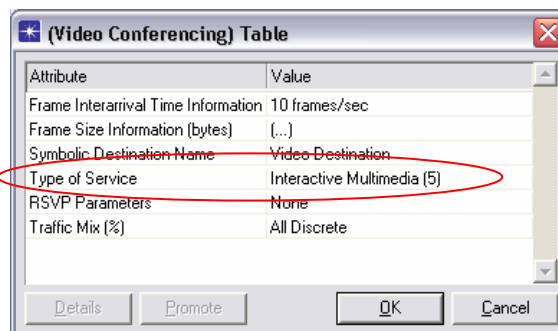
Toto nastavení je klíčové pro chování celé sítě a aplikací, jelikož se budou přidělovat aplikacím třídy služeb tzv. ToS (Type of Services) neboli značkování. Kliknutím na objekt **Application Config** na ploše a editací atributů v kontextovém menu se v nově otevřeném okně editují jednotlivé aplikace v záložce **Application Definitions** → *název služby* → **Description** → *výběr konkrétní aplikace* → **Edit**. Dále se pak v nově otevřeném okně vybere položka **Type of Services**. Jsou zde již přednastavené hodnoty pro scénář QoS:

- **Služba Voice:** pro tuto službu je vybrána třída **Interactive Voice(6)** (viz. **Obrázek 3**)
- **Služba FTP:** : pro tuto službu je ponechána třída **Best Effort(0)**
- **HTTP:** pro tuto službu je vybrána třída **Standard (0)**
- **Služba Video:** pro tuto službu je vybrána třída **Interactive Multimedia(5)** (viz. **Obrázek 4**)

Pokud se přepnete do druhého scénáře záložkou v Menu → Scenarios → Switch To Scenario a zde vyberete druhý scénář Best Effort, potom nastavení služeb u výše uvedených priorit bude takové, že všechny služby budou zařazeny do třídy **Best Effort(0)**. Tedy do třídy se základní obsluhou dat.



Obrázek 3: Změna priority služby telefonie

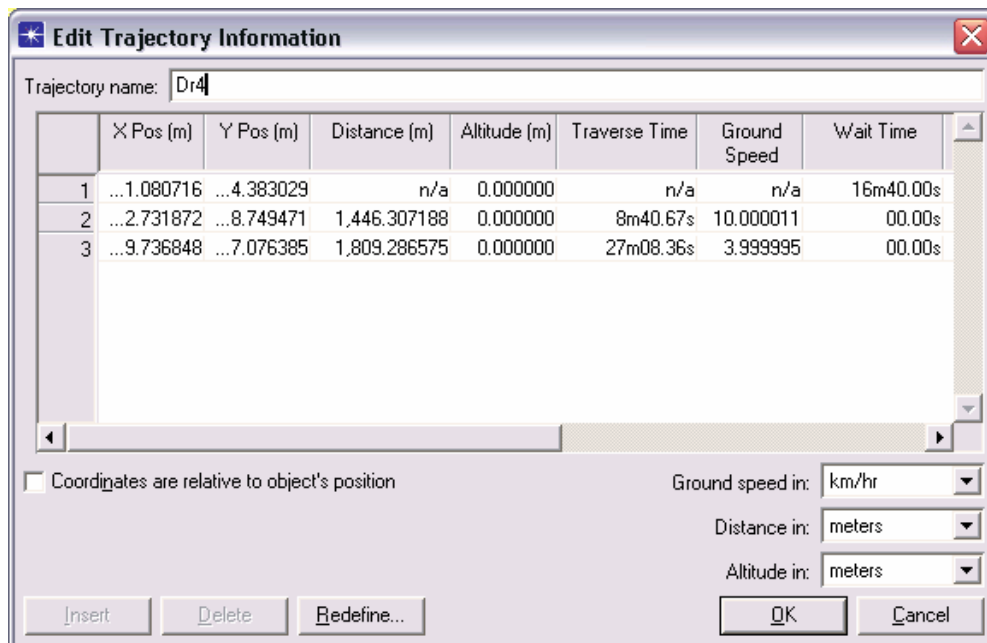


Obrázek 4: Změna priority služby videotelefonie

### A.6.3 ZMĚNY TRAJEKTORIÍ

Pro každou mobilní stanici je vytvořena dráha, po které se bude stanice pohybovat buďto směrem ven ze sítě od uzlu Node\_B nebo v rámci jedné či dvou buněk (Node\_B). Pokud chcete některou z drah změnit, klikněte na ni pravým tlačítkem myši a vyberte z kontextového menu Edit Trajectory. V nově otevřeném okně (viz. **Obrázek 5**) je možné dráhy jednotlivě editovat a upravovat. Zde nastavena hodnota zpoždění startu (Wait Time) pohybu stanice kvůli potřebné inicializaci služby. V položce **Wait Time** je přednastavena minimální hodnota 200s, která může být jakkoli měněna. U každé dráhy může být tato hodnota různá, ale vždy větší než oněch zmiňovaných 200s. Dále můžete měnit pozici trajektorie v x,y souřadnicích, délku dráhy, dobu po kterou se bude stanice po trajektorii pohybovat a nakonec i rychlost pohybu stanice. Pokud chcete měnit celkový charakter trajektorie, tedy i tvar, potom zvolte v otevřeném okně položku **Redefine** a můžete změnit veškeré parametry trajektorie. To znamená nastavit počátek a konec trajektorie, tvar dráhy, rychlost pohybu i délku trvání pohybu.

Pokuste se tedy měnit tyto hodnoty a po odsimulování v závěru úkolu porovnejte výsledky pro různé rychlosti pohybu stanic.



Obrázek 5: Nastavení čekací doby u dráhy Dr4

#### A.6.4 VYTVOŘENÍ A ZMĚNY KONFIGURACE APLIKACÍ V APPLICATION CONFIG

Klasickým postupem se klikne pravým tlačítkem myši na objekt Application Definition a vybere se z kontextového menu položka **Edit Attributes**. Dále se tlačítkem „+“ rozbalí záložka **Application Definitions**. O řádek níže **Number of Rows** se vybere počet aplikací, které budou v dané síti provozovány, v tomto případě jsou předdefinovány již zmíněné 4 služby. Podle potřeby můžete služby obměnit, přidat nebo odebrat.

Dalším krokem je nadefinování jednotlivých aplikací. Rozkliknutím „+“ položky **Enter Application Name** se v záložce **Name** pojmenuje služba, v tomto případě například hlasová služba **voice**.

##### ❖ NASTAVENÍ SLUŽBY VOICE

V záložce **Description** se vybere a edituje **Edit** právě zmíněný **Voice**, kde se aktivuje typ hlasové služby, a to **GSM Quality Speech**, popřípadě jiný kodek. Nebo v případě editace této služby výběrem **Edit** lze měnit prioritu služby v záložce **Type Of Services**. Po rozkliknutí tohoto pole můžete vybírat z několika prioritních tříd podle toho, kterou službu konfiguruje a jakým způsobem ji preferujete před ostatními. Podobně se definují všechny ostatní aplikace. Pro jednodušší orientaci a rychlejší konfiguraci budou uvedeny některé důležité parametry i u ostatních služeb.

##### ❖ NASTAVENÍ SLUŽBY FTP

Postup nastavení u aplikace FTP je obdobný jako u předchozího. Po editaci můžete měnit ve vašem případě tyto hodnoty:

- velikost přenášeného souboru v Bytech → **File Size (bytes)** v konstantní hodnotě, v tomto případě je nastavena hodnota 1000 Bytů → **Constant (1000)**,

- doba mezi jednotlivými přenosy souboru → **Inter-Request Time (seconds)** je přednastavena na konstantních 500 vteřin → **constant (500)**. Tato hodnota se může libovolně měnit, ale závisí na době trvání přenosu souboru a na celkové době simulace. Proto je lepší nechat spíše vyšší hodnotu a přenést o to méně souborů, než aby byly požadavky na přenos dalších souborů častější, docházelo k zahlcení sítě a tím k přenosu minimálního nebo žádného počtu souborů.

#### ❖ *NASTAVENÍ SLUŽBY VIDEO*

Po výběru a editaci této služby můžete upravovat počet zobrazovaných snímků za sekundu v položce **Frame Interarrival Time Information**. Přednastavená hodnota je 15 snímků/s. Platí jak pro odesílané tak pro přijaté snímky. Druhou položkou **Frame Size Information (bytes)** se definuje velikost jednoho snímku editováním příslušného řádku ve sloupci **Value** a v dalším okně změnou jednotky **Value** pro oba směry download i upload identicky. Nejlépe je volit konstantní hodnotu **constant**. V přednastaveném modelu je hodnota nastavena na **constant (1000)**. Tato relativně malá velikost snímku byla vybrána z toho důvodu, že s takovýmto nastavením se videotelefonie chová nejspolehlivěji a výsledné charakteristiky jsou ze všech testovacích velikostí nejreálnější. Při jiných velikostech je v síti jen nepatrný provoz, nebo dokonce žádná videokomunikace. Záleží tedy na mnoha okolnostech (viz. dále).

#### ❖ *NASTAVENÍ SLUŽBY HTTP (WEB)*

Poslední nastavovanou aplikací je služba HTTP, kde se provádí změny nejčastěji v těchto položkách:

- **Page Interarrival Time (seconds)** → **constant (150)** – jedná se o čas pro načtení dalších webových stránek (150s),
- **Page Properties** (nastavení stránek) - **Object Size (bytes)** (velikost stránky) – **constant (10000)** (konstantní – 10000Bytů) – odpovídající načítání malých obrázků → **small image**.

### A.6.5 KONFIGURACE PŘÍSTUPOVÉ SÍTĚ UTRAN

V této části je rozebráno, jak je potřeba nastavit mobilním stanicím přenosovou kapacitu, aby se mohli v síti UMTS vůbec uplatnit a chovali se podle předpokladů. Největší kapacitu síťových prostředků vyžaduje služba videotelefonie, která pro svoji komunikaci potřebuje rezervovat pro oba směry UPLOAD/DOWNLOAD kapacitu 128 - 192 kbps. Druhou náročnou službou je telefonie, u které je nastaveno 64 kbps. Na stejné úrovni zůstávají služby FTP a HTTP, kterým dostačuje i kapacita 32kbps. Přenosové rychlosti jsou libovolné a nyní si vyzkoušejte sami měnit přenosové rychlosti dle vlastního uvážení. Veškeré úpravy a konfigurace jsou popsány v následujících bodech:

#### a) *Nastavení přenosové kapacity pro Video klienty*

Editací kontextového menu na video klientech se zvolí záložka **UMTS** → **UMTS QoS Profile Configuration** → **Conversational** → **Bit Rate Config** kde jsou nastaveny tyto hodnoty:

- **Maximum Bit Rate Uplink (kbps)** – 192
- **Maximum Bit Rate Downlink (kbps)** – 192

#### b) *Nastavení přenosové kapacity pro klienty telefonie*

Editací kontextového menu na Voice klientech se zvolí záložka **UMTS→UMTS QoS Profile Configuration** → **Conversational** → **Bit Rate Config** kde jsou nastaveny tyto hodnoty:

- **Maximum Bit Rate Uplink (kbps)** – 64
- **Maximum Bit Rate Downlink (kbps)** – 64

*c) Nastavení přenosové kapacity pro FTP klienta*

Editací kontextového menu na FTP klientech se zvolí záložka **UMTS** → **UMTS QoS Profile Configuration** → **Background** → **Bit Rate Config** kde jsou nastaveny tyto hodnoty:

- **Maximum Bit Rate Uplink (kbps)** – 64
- **Maximum Bit Rate Downlink (kbps)** – 64

*d) Nastavení přenosové kapacity pro HTTP klienta*

Editací kontextového menu na HTTP klientech se zvolí záložka **UMTS** → **UMTS QoS Profile Configuration** → **Interactive** → **Bit Rate Config** kde jsou nastaveny tyto hodnoty:

- **Maximum Bit Rate Uplink (kbps)** – 64
- **Maximum Bit Rate Downlink (kbps)** – 64

Tyto jsou příkladem nastavení pouze ve scénáři „QoS“ s rozdílem definování těchto kapacit v příslušných záložkách. Jedná se zde o definování přenosových rychlostí pro danou třídu, ve které je ta která služba zařazena. To znamená, že ve scénáři Best Effort budou tyto rychlosti ponechané beze změny. Jakákoliv změna by tímto znamenala konfiguraci přenosových rychlostí, což je samo o sobě nasazení podpory kvality služeb QoS. Pokud byste chtěli porovnat, jak se chovají služby při ponechání v základní prioritě dat, tedy Best Effort, nastavte potřebný bit rate pro každou stanicí pouze v záložce **UMTS** → **UMTS QoS Profile Configuration** → **Background** → **Bit Rate Config**. Služby nebudou řazeny ve frontách podle priorit a budou se dělit o přenosovou šířku celého pásma společně. Pokud budete přiřazovat bit rate na jedné stanicí, která bude současně obsluhovat dvě služby jak je to v případě mobilních stanic UE\_Voice3\_FTP a UE\_Voice4\_HTTP, musíte počítat se součtem rychlostí, které běžně používají jako samotné služby na stanicích. Tedy v tomto případě pokud služba hlas i služba FTP nebo HTTP komunikují s rychlostí 64 kbps, jak je popsáno výše, je potřeba nastavit maximální bit rate v třídě Background na 128 (64+64)kbps. O tuto rychlost se tedy budou dělit.

Tímto krokem končí nastavení veškerých aplikací a chování služeb na jednotlivých stanicích. Vyzkoušejte si proto měnit přenosové rychlosti na stanicích v různých kombinacích a v různých scénářích. Velikost bit rate nastavujte podle náročnosti služby. Přesněji podle toho, jak velké soubory nastavíte jednotlivé službě v Application Config.

Další možností konfigurace je nastavení výkonu a dosahu vysílače Node\_B. V ukázkovém modelu jsou nastaveny výkony na hodnotu 1W (Watt) a dosah signálu je nastaven na vzdálenost 1 míle, což je v přepočtu 1,609 km. Tyto parametry můžete měnit přímo na uzlech Node\_B. Kliknutím pravého tlačítka myši na objekt vyberte z kontextového menu **Edit Attributes** záložku **UMTS** → **UMTS FACH Transmission Power**, kde se po rozkliknutí zobrazí obě dostupné konfigurace. Je zde předdefinováno několik hodnot, ale můžete nastavovat libovolně vlastní. Nyní se může přejít na výběr sledovaných statistik.

### A.6.6 VÝBĚR SLEDOVANÝCH STATISTIK

V této části jsou vyjmenované charakteristiky, které byly analyzovány ve výsledcích simulace sítě. Výběr požadovaných statistik je proveden takovým způsobem, že se kliknutím na plochu pravým tlačítkem myši vybere z kontextového menu položka „**Choose Individual DES Statistic**“. V nově otevřeném okně byly vybrány následující charakteristiky:

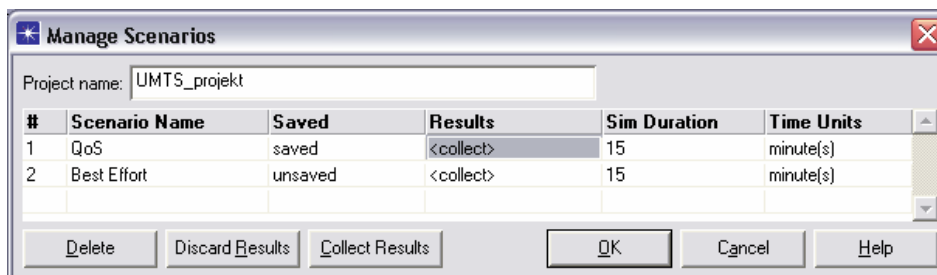
- **Global statistics:** globální statistiky – pro každou službu všechny statistiky
  - **FTP**
  - **HTTP**
  - **Video Conferencing**
  - **Voice**
  
- **Node statistics:** statistiky pro jednotlivé uzly
  - **Client FTP**
  - **Client HTTP**
  - **Server FTP**
  - **Server HTTP**
  - **Video Called Party** – charakteristika pro přijímací video stanici
  - **Video Calling Party** – charakteristika pro volající video stanici
  - **Video Conferencing**
  - **Voice Application**
  - **Voice Called Party** – charakteristika pro přijímací telefonní stanici
  - **Voice Calling Party** – charakteristika pro volající telefonní stanici
  - **UMTS UE RLC/MAC (PER PHY CHNL)** – zde se bude sledovat výkon na jednotlivých stanicích

Většina statistik je již vybrána a ve výsledcích vyhodnocena. Tento seznam slouží pouze pro orientaci výběru nebo změnu statistik. Proto záleží na tom, jaké parametry chování služeb, uzlů nebo prvku chcete sledovat. Výběr statistik je široký, ale pro přehlednost se doporučuje vybírat pouze ty, které jsou věcné.

### A.6.7 NASTAVENÍ A SPUŠTĚNÍ SIMULACE

Pokud jste si jisti, že máte veškerou konfiguraci modelu úspěšně dokončenou, je nyní potřeba všechny tyto kroky dát dohromady a spustit samotnou simulaci sítě. Po té pak ověřit, jak se vlastně UMTS síť chová za určitých podmínek či situací. Simulace bude probíhat sériově za sebou pro oba scénáře. Tím se zkrátí doba spouštění simulací jednotlivě přímo v každém scénáři. Postup nastavení a spuštění simulace je následující (viz. **Obrázek 6**):

- Výběrem z hlavního menu se vybere záložka **Scenarios** → **Manage Scenarios** a v nově otevřeném okně jsou nachystány oba scénáře – „**Best Effort**“ a „**QoS**“.
- Ve sloupci **Results** se nastaví u každého scénáře položka **collect** (znovu zkompilovat)
- Ve sloupci **Sim Duration** se nastaví pro oba scénáře libovolná doba simulace. Doporučená hodnota je v rozsahu 15 – 60 minut. Hodnota minuty = **minute(s)** se změní v posledním sloupci **Time Units**.
- Kliknutím na **OK** se spustí simulace.



Obrázek 6: Nastavení spouštění simulace pro oba scénáře

V případě dodatečných úprav v konkrétním scénáři, lze jednoduše a rychleji spustit simulaci v záložce menu **DES** → **Configure/Run Discrete Event Simulation**. Další možností je také klávesová zkratka CTRL+R nebo přímo ikona „běžce“ pod nabídkou menu. Volbou jedné z uvedených variant se otevře nabídka nastavení simulace a po provedení potřebných nastavení lze tlačítkem **RUN** spustit simulaci. V dalších modelech sítě budou použity delší doby simulace, které budou konkrétněji uvedeny v odpovídající kapitole.

Po dokončení simulace je síť připravena poskytnout patřičné výsledky jednotlivých služeb a chování určitých prvků v síti. Podrobné charakteristiky budou rozebrány v další kapitole.

#### A.6.8 VÝSLEDKY SIMULACE

Výsledky dokončené simulace je možné zobrazit kliknutím pravým tlačítkem na plochu nebo přímo na prvky UMTS sítě a z kontextového menu vybrat položku **View Results** a dále pak již konkrétní službu v globálních statistikách **Global Statistic** nebo přímo na konkrétních objektech **Object Statistic**. Pro porovnání charakteristik poslouží výběr dvou scénářů z celého projektu v levém horním rohu na položce **Results for** → **Current Project** a označením scénářů které se mezi sebou budou porovnávat. V tomto případě to bude vždy scénář QoS se scénářem BestEffort. Výběr statistik je možné provádět jak v globálních statistikách sítě tzv. **Global Statistics**, které znázorňují celkový provoz dané služby, a nebo přímo ve statistikách na konkrétních prvcích tzv. **Object Statistics**, které poskytují konkrétnější informace o provozu služby na konkrétním uzlu nebo stanici. Například to jsou statistiky přijatých a odeslaných dat stanicí, zpoždění, jitter, počet opakování žádostí o spojení (tzv. retransmise) a vůbec celkové sledování protokolů, na kterých různé služby pracují. Tyto statistiky se nacházejí v levém dolní oblasti již otevřených výsledků simulace.

V případě hotového modelu i zobrazených statistik prezentujte výsledky vyučujícímu a odpovězte na otázky k úloze v dalsím odstavci. Vyučující pak zhodnotí zvládnutí dané problematiky.

### A.7 OTÁZKY K ÚLOZE

- Do kterých prioritních tříd se řadí služby, jako je přenos videa a hovoru v reálném čase?
- Do kterých prioritních tříd se řadí služby přenosu dat FTP a HTTP?
- Jaký vliv má implementace kvality služeb do sítí UMTS?
- Proč je třeba nastavit potřebnou přenosovou šířku pásma na každé mobilní stanici?
- U které aplikace je potřeba nastavit nejvyšší přenosovou šířku pásma?

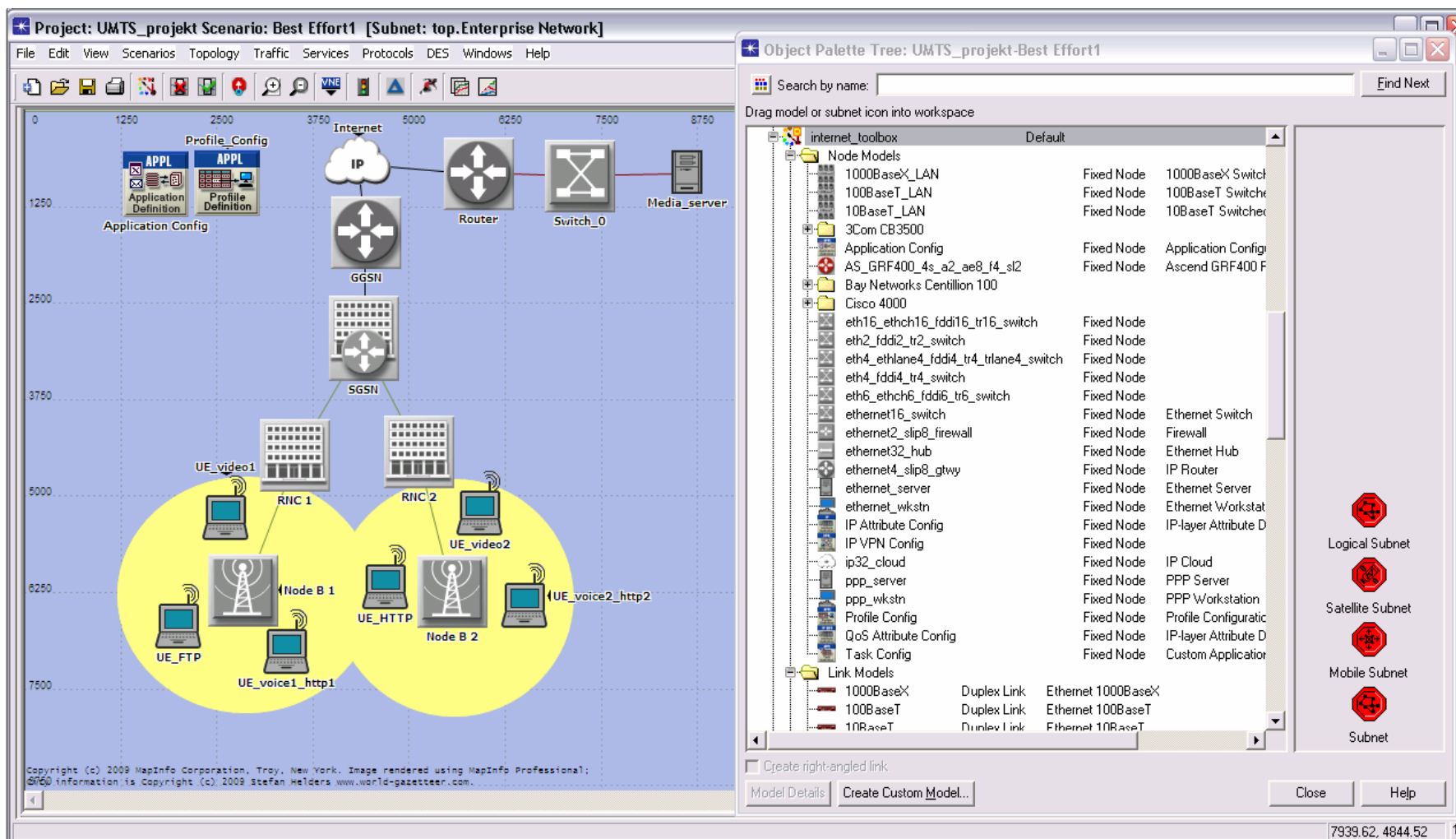
## A.8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] LAIHO, J., NOVOSAD, T., WACKER, A. *Radio Network Planning and Optimisation for UMTS*. 2nd edition. Chichester (England) : Willey, c2006. 629 s. ISBN 13 978-0-470-01575-9.
- [2] SOLDANI, D., LI, M., CUNY, R., *QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems*. England: J. Wiley & Sons, 2006. 459 s. ISBN 978-0-470-01639-8
- [3] SPĚVÁČEK, J., *Plánování přístupových sítí UMTS*, Diplomová práce, 2008
- [4] HERTL, P., *Efektivní metody přidělování rádiových zdrojů v mobilních sítích a jejich simulace v prostředí OPNET*, Diplomová práce, 2007
- [5] UMTS World – News and Information about 3G mobile networks,[online]. [cit.10.12.2008]. Dostupný z URL: <<http://www.umtsworld.com/default.htm>>
- [6] OPNET TECHNOLOGIES, *OPNET Modeler 14.5 Release Notes*, Součást instalace simulačního prostředí OPNET Modeler. ČR, 2008.

## **B. POPIS OBSAHU PŘILOŽENÉHO MÉDIA**

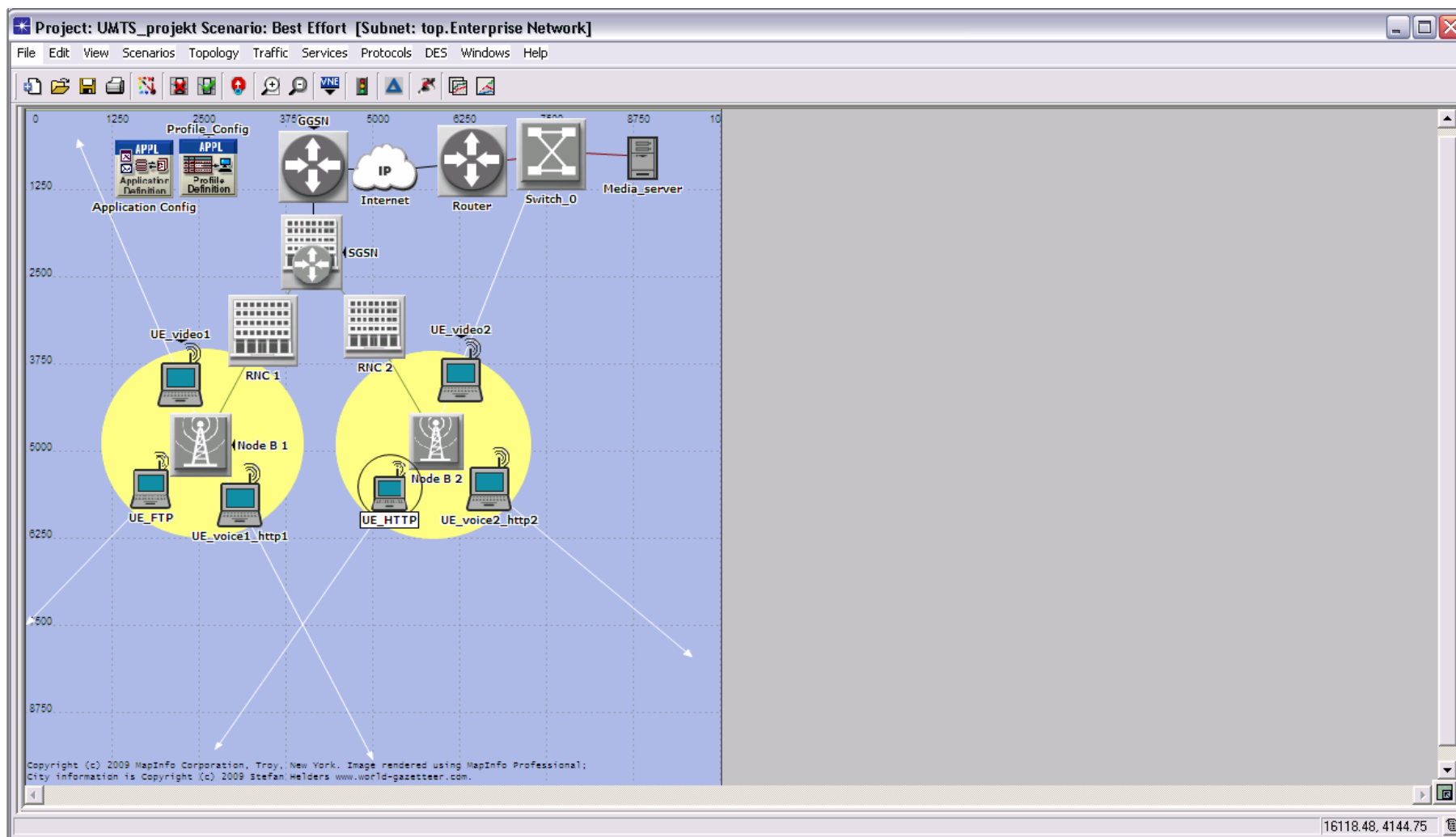
Na přiloženém CD je uložena elektronická verze diplomové práce ve formátu PDF a spustitelné soubory realizované práce v programu Opnet Modeler uložené v adresáři Projekt\_UMTS. Po otevření adresáře se uvnitř nacházejí soubory s vytvořenými trajektoriemi a další adresář se spustilým projektem. Po otevření tohoto adresáře se zde nachází přímo spustitelný soubor s názvem UMTS\_projekt.prj. Kliknutím na tento soubor se otevře projekt s jedním ze dvou scénářů. Mezi scénáři lze jednoduše přepínat v záložce Scenarios → Switch to Scenario. Nabízené scénáře jsou Scenario\_QoS a Scenario\_BestEffort. Toto jsou scénáře s konečnými výsledky projektu. Kvůli přehlednosti a jednoduchosti nejsou připojeny předchozí dílčí výsledky. Tyto jsou rozebrány podrobně v hlavním textu.

## C. PRVNÍ SIMULOVANÝ MODEL



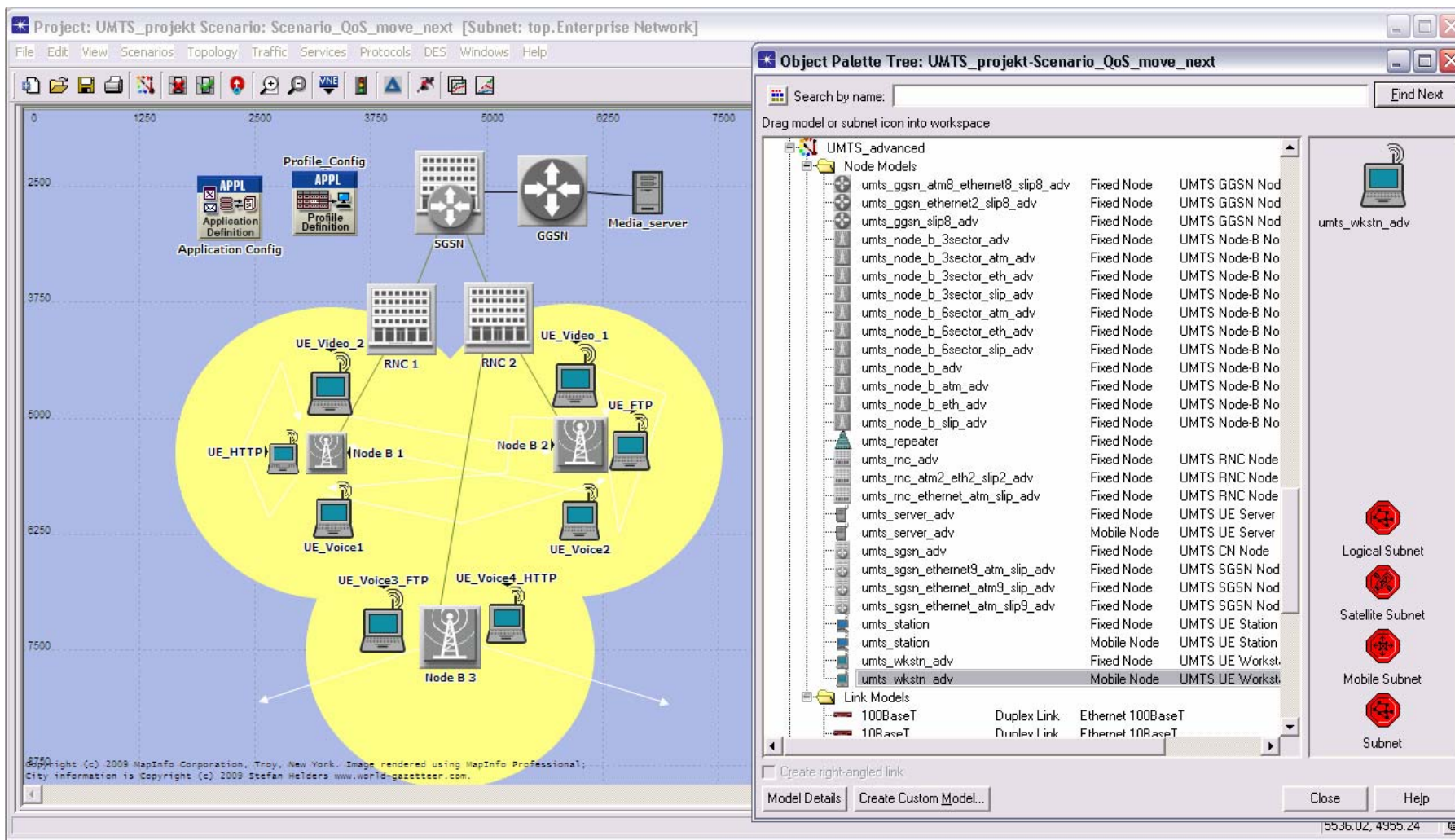
Obrázek 7: První simulovaná síť UMTS (vlevo rozmístění prvků, vpravo paleta objektů)

## D. DRUHÝ SIMULOVANÝ MODEL



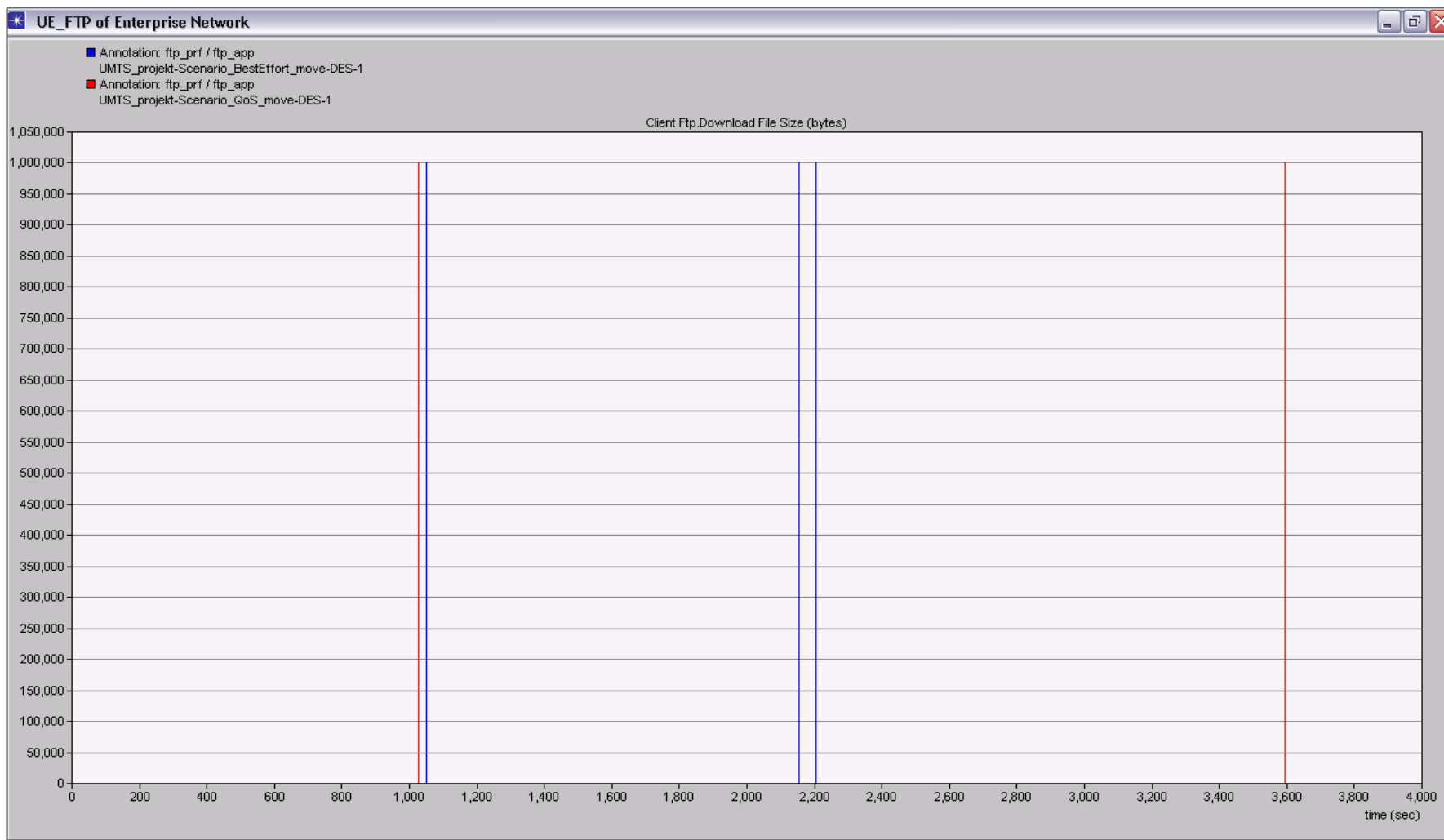
Obrázek 8: Schéma druhé simulované UMTS sítě

## E. KONEČNÝ SIMULOVANÝ MODEL



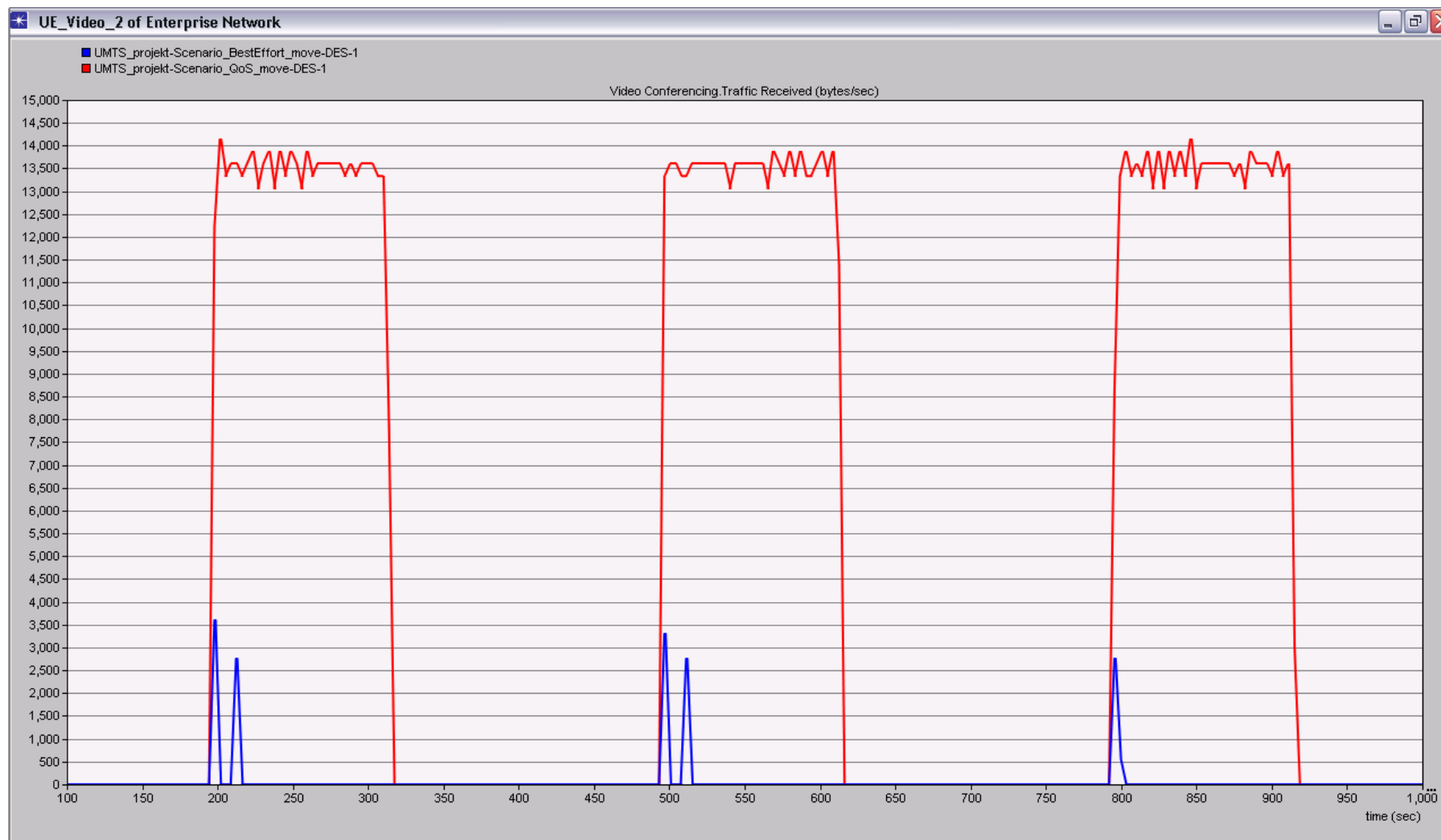
Obrázek 9: Schéma konečné simulované UMTS sítě

## F. PŘIJATÁ DATA U SLUŽBY FTP



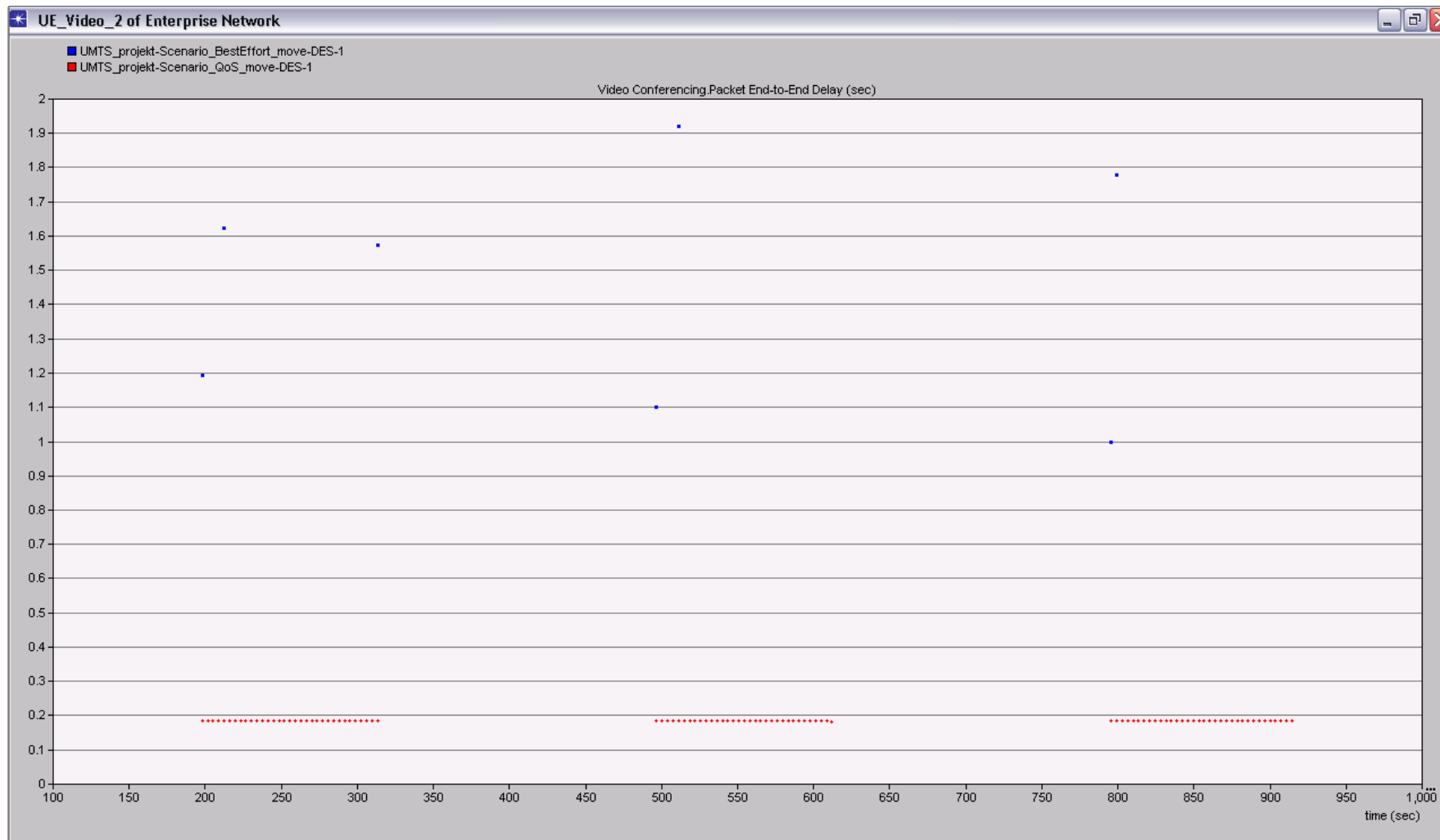
Obrázek 10: Chování aplikace FTP – přijaté soubory v Bytech (Download File Size)

## G. PŘIJATÁ DATA U VIDEOTELEFONIE



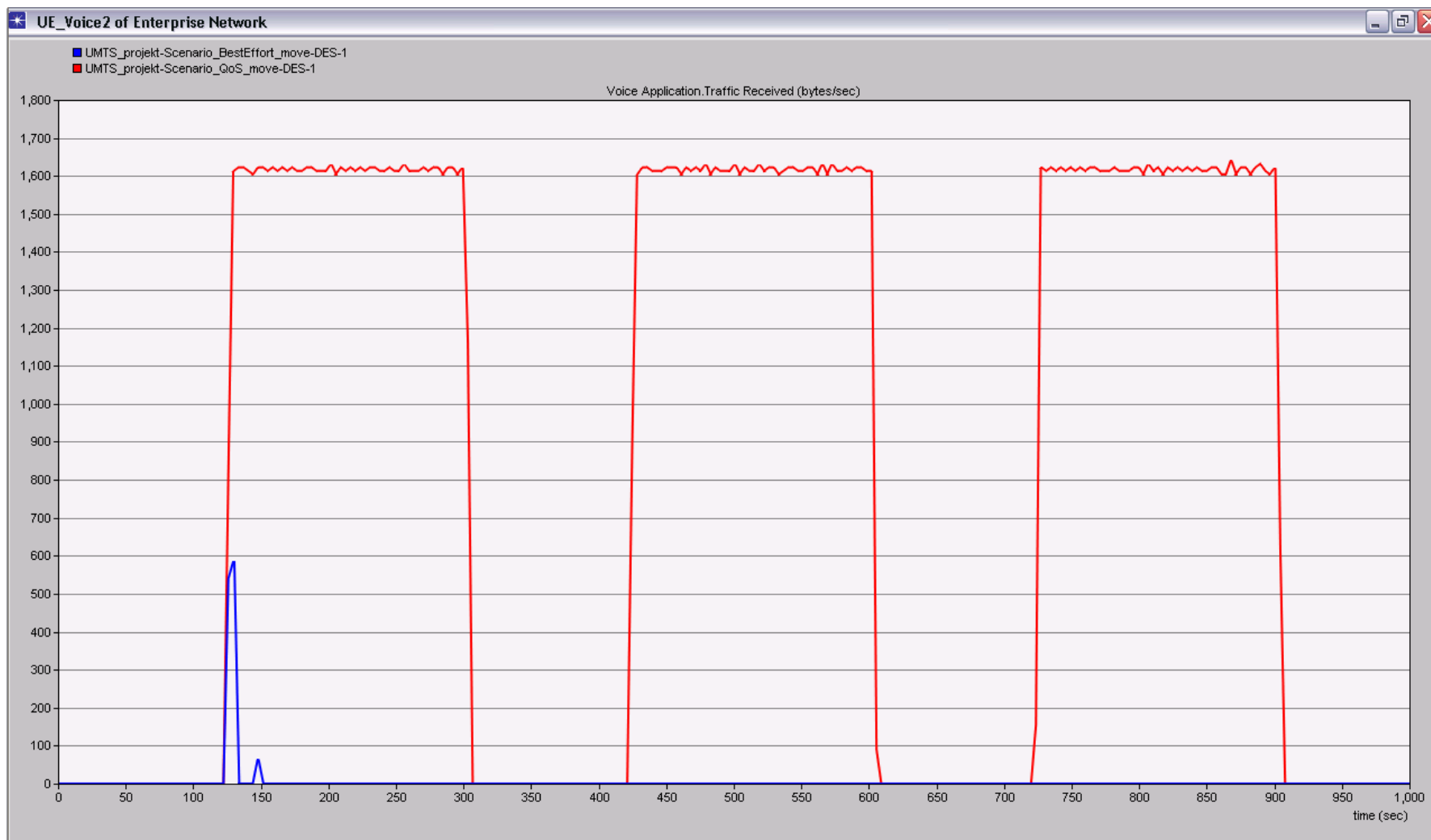
Obrázek 11: Chování aplikace videotelefonie pro přijatá data v porovnání scénářů QoS a Best Effort

## H. ZPOŽDĚNÍ U VIDEOTELEFONIE



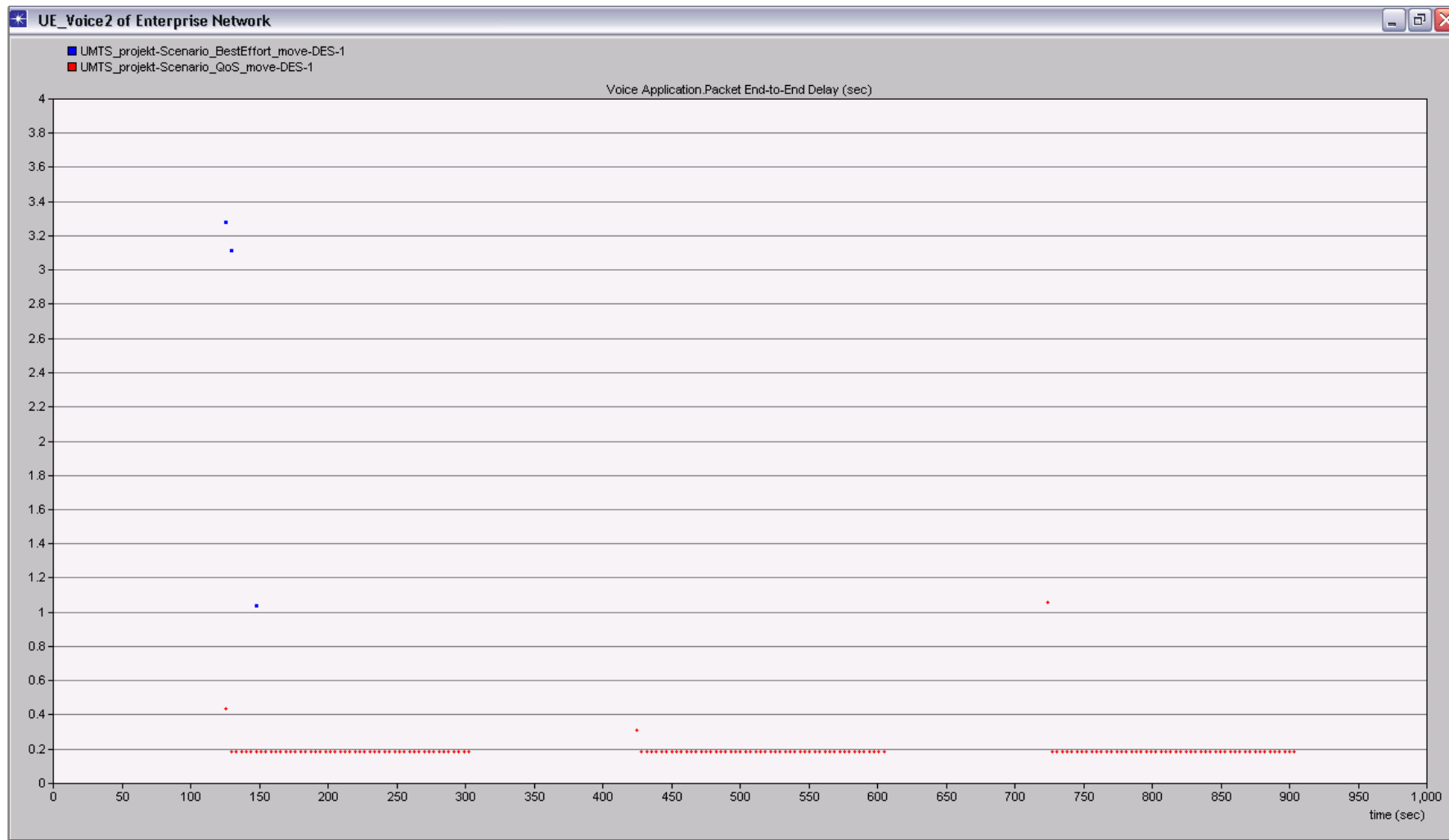
Obrázek 12: Zpoždění videotelefonie - porovnání scénářů QoS a Best Effort

# I. PŘIJATÁ DATA U TELEFONIE



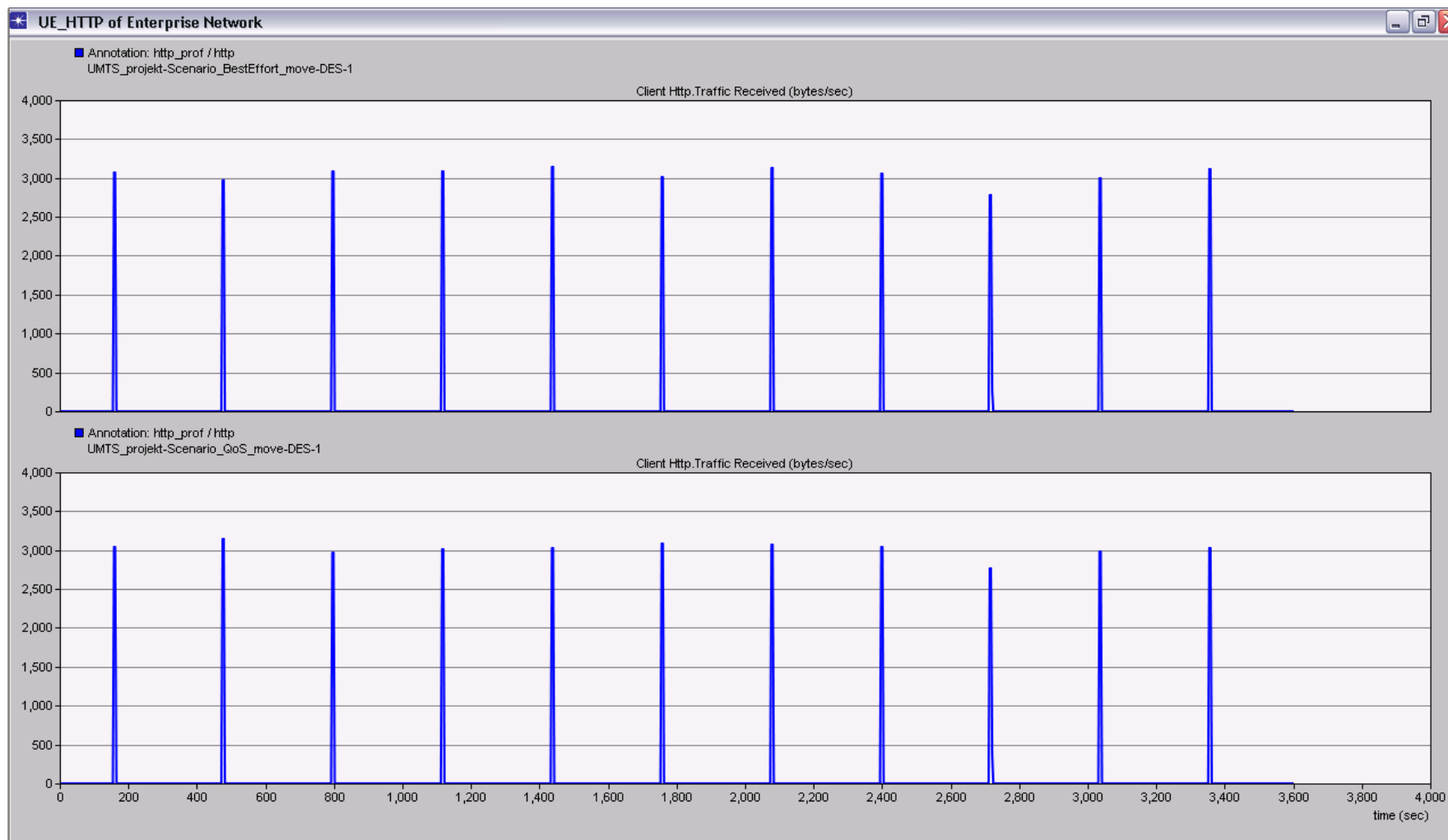
Obrázek 13: Chování aplikace telefonie pro přijatá data v porovnání scénářů QoS a Best Effort

## J. ZPOŽDĚNÍ U SLUŽBY TELEFONIE



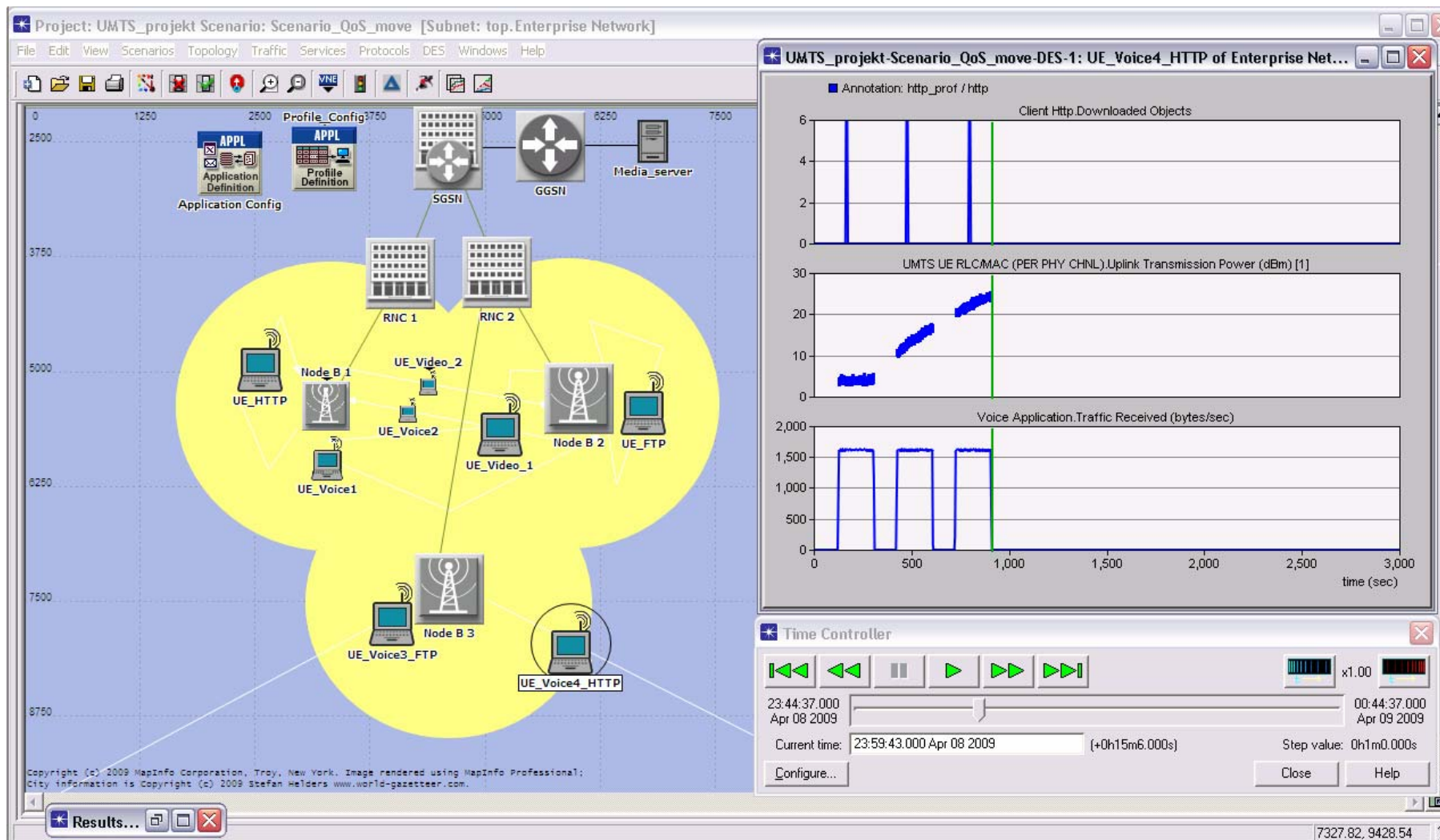
Obrázek 14: Zpoždění aplikace telefonie - porovnání scénářů QoS a Best Effort

## K. PŘIJATÁ DATA U SLUŽBY HTTP



Obrázek 15: Přijatá data u služby HTTP v porovnání scénářů QoS a Best Effort

# L. UKONČENÍ PROVOZU V SÍTI



Obrázek 16: Ukončení provozu v síti a porovnání vysílacího výkonu na stanici s přijatými daty pro službu voice a HTTP