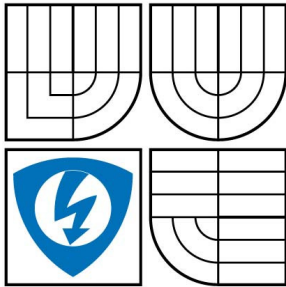


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKACNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## ZAJIŠTĚNÍ KVALITY SLUŽEB V UMTS SÍTI

QUALITY OF SERVICE ASSURANCE IN UMTS NETWORK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

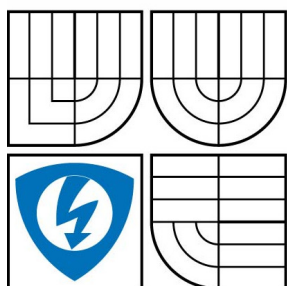
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

MAREK NESVEDA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

ING. JIŘÍ HOŠEK

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ v BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a  
komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
Teleinformatika

**Student:** Marek Nesveda **ID:** 97936 **Ročník:** 3 **Akademický rok:** 2008/2009

**NÁZEV TÉMATU:**

## Zajištění kvality služeb v UMTS síti

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:** Seznamte se s problematikou UMTS sítí. Zaměřte se zejména na proces vyjednávání nastavení kvality služeb (QoS) a parametrů hovoru při sestavování spojení. Prozkoumejte mechanismus CAC (Call Admission Control). Seznamte se se simulačním prostředím Opnet Modeler a vytvořte v něm základní model UMTS sítě, který bude obsahovat několik typů síťového provozu. V rámci tohoto modelu proveďte pomocí simulací podrobný rozbor mechanismů pro zajištění kvality služeb používaných v UMTS sítích. Získané výsledky uveďte formou přehledných grafů a tabulek.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:** [1] KAARANEN, H.: UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services. Chichester: John Wiley & Sons, 2005, ISBN: 0470011033. [2] KREHER, R., RUEDEBUSCH, T.: UMTS Signalling: UMTS Interfaces, Protocols, Message Flows and Procedures Analyzed and Explained. Chichester: John Wiley & Sons, 2007, ISBN: 0470065334. [3] SOLDANI, D., LI, M., CUNY, R.: QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems. Chichester: John Wiley & Sons, 2006, ISBN: 0470016396.

**Termín zadání:** 9.2.2009 **Termín odevzdání:** 2.6.2009

**Vedoucí práce:** Ing. Jiří Hošek

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**  
Předseda oborové rady

**UPOZORNĚNÍ:** Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské 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.

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE PRÁCE**

NESVEDA, M. *Zajištění kvality služeb v UMTS síti*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 52 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Hošek.

## ABSTRAKT

Bakalářská práce pojednává o zajištění kvality služeb v UMTS sítích (Universal Mobile Telecommunications System). Sestává z teoretické a praktické části.

V první, teoretické části nejprve popisuje zajištění kvality služby obecně, následně se zaměřuje přímo na problematiku zajištění QoS v prostředí UMTS sítí. Popisuje koncepci QoS v UMTS, typickou architekturu UMTS sítě, její komponenty a třídy QoS definované v UMTS. Vysvětluje parametry charakterizující kvalitu služby v UMTS sítích a podává popis sestavení spojení pro přenos mezi koncovými uživateli.

Druhá, praktická část bakalářské práce popisuje sestavení komplexního simulačního modelu UMTS sítě v programu OPNET Modeler, verze 14.5. Je uveden podrobný postup vytvoření jednotlivých síťových prvků a nastavení jejich parametrů, a to ve dvou různých scénářích: nejprve včetně QoS a poté bez QoS. V závěru jsou shrnuty výsledky simulace v obou scénářích, je podán jejich popis a grafické srovnání.

**Klíčová slova:** UMTS, kvalita služby, QoS, OPNET Modeler, konfigurace, simulace

## ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the assurance of the quality of service (QoS) in UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) networks. It consists of theoretic and practical parts.

The first, theoretic part first describes the quality of service assurance in general and then focuses on the area of the assurance of the quality of service (QoS) in UMTS network environment specifically. It describes the QoS concept in UMTS, typical UMTS network architecture, its components as well as various QoS classes defined in UMTS. It explains parameters that define the quality of service in UMTS network, and describes call set-up for the purposes of transmission between end users.

The second, practical part of the bachelor's thesis describes how to configure a complex UMTS network simulation model in OPNET Modeler, ver. 14.5. It gives a detailed description of how to configure each network component and how to set its parameters, in two different scenarios: first including and then excluding QoS. In conclusion, the thesis summarises the results of the simulation in both scenarios, gives their explanations and compares them graphically.

**Keywords:** UMTS, Quality of Service, QoS, OPNET Modeler, configuration, simulation

### **Prohlášení o původnosti práce**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Zajištění kvality služeb v UMTS síti“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské 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 28. 5. 2009

.....

podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Hoškovi, odbornému asistentovi na Ústavu telekomunikací, za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování práce.

V Brně dne 28. 5. 2009

.....

podpis autora

## OBSAH

1.	ÚVOD.....	1
2.	POPIS QoS .....	2
2.1.	Problémy při datových přenosech.....	2
2.2.	Parametry definující QoS.....	3
2.3.	Mechanismy QoS pracující na síťové vrstvě .....	4
2.3.1.	Diferencované služby .....	5
2.3.2.	Multi Protocol Label Switching .....	5
3.	QoS v UMTS SÍTÍCH .....	7
3.1.	Popis a vývoj UMTS.....	7
3.1.1.	Nástup UMTS.....	7
3.1.2.	Struktura UMTS sítě.....	7
3.2.	Zajištění kvality služeb v UMTS .....	12
3.2.1.	Koncepce a architektura QoS v UMTS síti .....	12
3.2.2.	Hlavní mechanismy QoS v UMTS síti .....	14
3.2.3.	Call Admission Control (CAC).....	15
3.2.4.	Kategorizace aplikací a přenosových služeb .....	16
3.2.5.	Parametry QoS v UMTS sítích.....	19
4.	SESTAVENÍ SPOJENÍ A PŘENOS MEZI KONCOVÝMI UŽIVATELI.....	22
5.	PRAKTICKÁ REALIZACE V OPNET MODELER .....	24
5.1.	Konfigurace nového projektu s QoS.....	24
5.1.1.	Vytvoření nového projektu .....	25
5.1.2.	Výběr použitých objektů sítě UMTS.....	26

5.1.3.	Nastavení parametrů objektu Node B.....	28
5.1.4.	Nastavení parametrů objektu Application Config (VoIP, FTP a HTTP) .....	29
5.1.5.	Nastavení parametrů objektu Profile Config.....	32
5.1.6.	Nastavení parametrů objektů UE (User Equipment).....	35
5.1.7.	Nastavení parametrů objektu RNC.....	37
5.1.8.	Nastavení parametrů objektu VoIP_client2.....	38
5.1.9.	Nastavení parametru objektů serverů FTP a HTTP .....	39
5.1.10.	Nastavení sledovaných parametrů .....	40
5.1.11.	Simulace provozu .....	40
5.1.12.	Zobrazení výsledků.....	41
5.2.	Konfigurace scénáře bez QoS.....	41
5.2.1.	Nastavení parametrů objektu Application Config (VoIP a HTTP) .....	41
5.2.2.	Nastavení parametrů objektu UE (User Equipment).....	42
5.2.3.	Nastavení parametrů objektu RNC.....	43
5.2.4.	Simulace provozu .....	43
5.2.5.	Zobrazení výsledků simulace .....	44
5.3.	Výsledky simulací a jejich popis .....	44
6.	ZÁVĚR.....	49
7.	POUŽITÁ LITERATURA .....	50

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1: Obecná architektura UTRAN.....	9
Obr. 3.2: Architektura UMTS sítě [1] .....	11
Obr. 3.3: Základní architektura pro zajištění QoS v UMTS [8] .....	13
Obr. 4.1: Aktivace PDP kontextu v rámci UMTS sítě (rozhraní <i>Iu</i> ) [8] .....	23
Obr. 5.1: Výběr mapy v Startup Wizard.....	26
Obr. 5.2: Výběr použitých objektů a jejich propojení.....	27
Obr. 5.3: Nastavení aplikace VoIP .....	30
Obr. 5.4: Nastavení VoIP profilu.....	33
Obr. 5.5: Nastavení parametrů objektu VoIP_Client1 .....	37
Obr. 5.6: Nastavení parametrů objektu RNC .....	38
Obr. 5.7: Nastavení parametrů objektu VoIP_client2 .....	39
Obr. 5.8: Simulace provozu.....	41
Obr. 5.9: Zobrazení nežádoucího kolísání zpoždění paketů – Jitter.....	44
Obr. 5.10: Srovnání měření QoS parametru – MOS .....	45
Obr. 5.11: Paketové zpoždění v hlasovém provozu .....	46
Obr. 5.12: FTP provoz v UMTS sítích – odeslaná data .....	47
Obr. 5.13: HTTP provoz v UMTS sítích – přijatá data .....	48

## SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1: Základní vlastnosti tříd provozu a příklady aplikací.....	17
Tab. 3.2: Použití parametrů QoS v jednotlivých třídách provozu [3] .....	21
Tab. 5.1: Nastavení hodnot parametrů objektu Node B .....	28
Tab. 5.2: Nastavení hodnot parametrů objektu aplikace VoIP .....	29
Tab. 5.3: Nastavení hodnot parametrů objektu aplikace FTP .....	30
Tab. 5.4: Nastavení hodnot parametrů objektu aplikace HTTP .....	31
Tab. 5.5: Nastavení hodnot parametrů objektu profilu VoIP .....	32
Tab. 5.6: Nastavení hodnot parametrů objektu profilu FTP.....	33
Tab. 5.7: Nastavení hodnot parametrů objektu profilu HTTP.....	34
Tab. 5.8: Nastavení hodnot simulace provozu .....	40
Tab. 5.9: Nastavení hodnot simulace provozu .....	43

# 1. ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá tématem zajištění kvality služeb (Quality of Service, QoS) v UMTS sítích (Universal Mobile Telecommunication System). V první části se věnuje vysvětlení pojmu zajištění kvality služby obecně. Poté se zaměřuje konkrétně na problematiku zajištění QoS v prostředí UMTS sítí.

Je vysvětlen koncept přenosové služby, navržený GPP, a popsána základní vrstevná architektura pro zajištění QoS v UMTS. Dále práce vysvětluje hlavní mechanismy zajištění kvality služeb v UMTS, zabývá se mechanismy řízení přístupu CAC a podává podrobný přehled kategorizace přenosových služeb a aplikací a jejich základních vlastností. Vysvětluje také parametry, které charakterizují kvalitu služby v UMTS sítích. Je popsáno sestavení spojení v rámci UMTS sítě pro přenos mezi koncovými uživateli.

V druhé části se bakalářské práce věnuje praktickému modelování sítě UMTS pomocí softwaru OPNET Modeler, jenž je součástí softwarového balíku OPNET (Optimum Network Performance) americké firmy OPNET Technologies. Popis nového simulačního modelu UMTS sítě v programu OPNET Modeler je formulován tak, aby model bylo možné podle tohoto postupu sestavit. Nejprve je do modelu zahrnuto i nastavení Quality of Services, zatímco v další části tohoto praktického modelování je pro porovnání nastavení Quality of Services vynecháno. V celé praktické části jsou podrobně popsány jednotlivé prvky a vlastnosti, které jsou nezbytné proto, aby byl celý model provozuschopný. V závěrečné části jsou vyobrazeny grafy s popisem simulace.

## 2. POPIS QoS

Pojmem kvalita služby (Quality of Service, QoS) se v oblasti počítačových sítí či jiných, např. telekomunikačních sítí využívajících přepojování paketů rozumí komplexní řídicí mechanismy přidělování zdrojů. Jde tedy o schopnost sítě poskytovat danou službu na určité garantované úrovni. Subjektivní vnímání na straně uživatele se pro větší jasnost označuje termínem Quality of Experience (QoE) – vnímaná kvalita – kterým se rozumí stupeň spokojenosti uživatele s danou službou a který tedy vyjadřuje, nakolik byla splněna očekávání uživatele, že mu bude „dodána“ služba bez rušivých prvků. [3]

QoS je schopnost přidělovat pro účely zajištění určité úrovně výkonu různou prioritu různým aplikacím, datovým tokům či uživatelům. Zajištění QoS je obzvláště důležité tam, kde není k dispozici dostatečná kapacita sítě, například u aplikací využívajících multimediální streaming v reálném čase, jako je kupříkladu VoIP (Voice over IP), online hry apod. Dále je zajištění QoS důležité v sítích s omezenou kapacitou zdrojů, například v případě datové komunikace přes mobilní síť. [3]

### 2.1. Problémy při datových přenosech

Při přenosu datových paketů z vysílací stanice do cílové stanice může vlivem různých faktorů dojít k mnoha nežádoucím situacím, které se z pohledu odesílatele nebo příjemce projeví jako subjektivně vnímané problémy odrážející se v kvalitě služby:

**Ztráta paketů** (packet loss, dropped packets) – nastává pokud router nebo jiný komponent komunikační trasy není schopen doručit některé pakety, které k němu dorazily v okamžiku, kdy byla vyčerpána kapacita jeho vyrovnávací paměti, či v okamžiku přetížení jeho procesoru apod. Souvisí s důležitou charakteristikou služby – ztrátovostí paketů. Různé aplikace jsou schopny tolerovat různé úrovně ztrátovosti. [5]

**Zpoždění, latence** (delay, latency) – doba potřebná k přenosu datového paketu z vysílací stanice do cílové stanice. K nadměrnému zpoždění může například dojít, kdy pakety čekají ve frontě (queuing) ve vyrovnávací paměti routeru. Jakmile paket dorazí do routeru, router ho zpracuje a odešle. Vzhledem k tomu, že router zpracovává pakety po jednom, pokud pakety

přicházejí rychleji, než je dokáže router zpracovat, jsou řazeny do fronty a čekají na odeslání. Maximální doba čekání ve frontě vychází z velikosti vyrovnávací paměti. Pokud je vyrovnávací paměť příliš malá, dojde k přetečení, tedy k situaci, kdy router další pakety ignoruje (drop), čímž se zvýší ztrátovost a výrazně zpozdí celkový přenos. Zpoždění paketů může být také způsobeno tím, že paket putuje do cílové stanice méně přímou trasou, aby se vyhnul případnému zahlcení. [5]

**Rozptyl zpoždění** (jitter) – nežádoucí kolísání velikosti zpoždění jednotlivých paketů při průchodu sítí. Tato charakteristika je často pro správné fungování aplikace důležitější než absolutní hodnota zpoždění. [5]

**Nesprávné pořadí paketů** (out-of-order delivery) – doručení spolu souvisejících paketů v nesprávném pořadí v důsledku toho, že pakety jsou v síti směřovány různými trasami a dorazí tedy do cílové stanice s různým zpožděním. Pro odstranění tohoto problému jsou nezbytné speciální protokoly, které jsou schopny přeskládat takto doručené pakety do správného pořadí. [5]

**Chybné pakety** (error) – při přenosu může dojít k nesprávnému routování paketů, k jejich poškození nebo sloučení. Příjímač může, v některých případech požádat vysílací stanicí o opětovný přenos. Multimediální aplikace si dokáží s malou ztrátou paketů poradit. [6]

## 2.2. Parametry definující QoS

- **šířka pásma** (bandwidth) – kapacita daného systému přenášet data přes spojení. Měří se jako přenosová rychlost vyjádřená v bitech za sekundu (bit/s, bps), případně také v kbit/s či Mbit/s. Digitální šířka pásma by se neměla zaměňovat s propustností sítě.[6]
- **propustnost** (throughput) – průměrná rychlost úspěšně doručených dat přes komunikační kanál. Tato data jsou doručována prostřednictvím fyzického nebo logického spojení, bezdrátového kanálu nebo přes síťový uzel, například mezi dvěma počítači. Obvykle se uvádí v bit/s, někdy také v počtu paketů za sekundu nebo počtu paketů za time slot.[6]
- **ztrátovost paketů** – poměr počtu odeslaných paketů, které nebyly cílovou stanicí přijaty nebo byly přijaty s chybou, k celkovému počtu odeslaných paketů. Příčinou ztrát

paketům může být fyzická chyba (discard), přetížení procesoru přepínacích prvků (input drops) či přetečení výstupních front přepínacích prvků (output drops).

- **jednosměrné zpoždění, latence** – doba potřebná k odeslání datových paketů vysílací stanicí a jejich přijetí cílovou stanicí. Tento parametr se skládá se ze dvou složek: pevné složky (serializační zpoždění, doba šíření), tedy doby potřebné k přenesení datového paketu přes fyzické médium, což je funkce přenosové rychlosti linky, a proměnné složky (fronty v routerech a přepínačích (bufferování)), tedy doby zpoždění způsobeného směrováním datových paketů, jejich řazením do front, zpracováním v síťových zařízeních nebo přetížením přenosových linek. [6]
- **jitter** – neboli rozptýl zpoždění – je definován pro dva po sobě jdoucí pakety jako rozdíl mezi jednosměrným zpožděním prvního paketu a jednosměrným zpožděním druhého paketu. Jitter vzniká například na routerech v důsledku změn routování nebo chování interních front routeru apod. [6]
- **chybovost** – poměr počtu chybně přenesených paketů k celkovému počtu přenesených paketů. [6] [7]

### 2.3. Mechanismy QoS pracující na síťové vrstvě

Před zavedením složitých kontrolních mechanismů QoS je někdy dávána přednost výraznému naddimenzování kapacity sítě s cílem zajistit kvalitní komunikaci v tzv. best-effort sítích. V těchto případech kapacita vychází z odhadu zatížení přenosové sítě ve špičce, přičemž snahou je eliminovat místa, ve kterých dochází ke snížení šířky pásma. Tento jednoduchý přístup je však výhodný pouze u sítí s předvídatelným a nepříliš velkým zatížením provozu. Rostoucím nárokům na šířku pásma však nelze vyhovět pouhým zvyšováním kapacity přenosových linek. Princip „best effort“ přenosu, tedy snaha o přenesení paketu bez jakékoliv prioritizace, přičemž v případě zahlcení přenosové linky se pakety zahazují (drop), však nespĺňuje požadavky, jež si klade přenos dat, u nichž jsou hodnoty zpoždění nebo kolísání zpoždění zásadním faktorem. Tato data vyžadují přednostní přenos, neboť zpoždění představuje ztrátu kvality. Proto byly postupně navrženy různé metody, pomocí kterých je možné kvalitu služeb zajistit, např. IntServ, DiffServ, ATM, MPLS,

802.11e atd. V následujících oddílech budou popsány dvě QoS technologie síťové vrstvy používané v páteřní síti UMTS: DiffServ a MPLS. [6][7]

### **2.3.1. Diferencované služby**

V současnosti přijímaným řešením je model DiffServ (tzv. soft QoS). V tomto modelu jsou datové toky rozděleny do tříd a rovněž pakety jsou označeny podle třídy, tzn. že pakety nesou označení podle druhu služby, který zastupují. Přepínací prvky (routery a přepínače) se řídí tímto označením a podle něj používají různé strategie řazení do front tak, aby provoz upravily požadovaným způsobem. V přepínacích prvcích je pro každou třídu definováno chování při „přeskoku“ (Per-Hop Behavior – PHB). Zdroje v síti nejsou rezervovány pro konkrétní připojení, ale pro určitou třídu. Vzhledem k tomu, že počet tříd je omezen, je zde dobrá možnost rozšiřitelnosti (scalability). Při tomto druhu prioritizace jsou tedy pouze upřednostněna některá data, není však garantováno doručení do určité předpokládané doby. [2]

Routery podporující DiffServ využívají řazení do několika front, do kterých třídí pakety čekající na přenos z rozhraní s omezenou šířkou pásma. K dispozici mohou být různé konfigurace routerů, které určují počet podporovaných front, prioritu jednotlivých front a šířku pásma vyhrazenou pro jednotlivé fronty. V praxi to vypadá tak, že pokud je třeba přeposlat paket z rozhraní s frontou, jsou upřednostněny pakety vyžadující nízkou hodnotou zpoždění (např. VoIP) před pakety v jiných frontách. Určitá šířka pásma je obvykle implicitně vyhrazena pro řídicí data (např. ICMP pakety – Internet Control Message Protocol – a routovací protokoly), přičemž pro ostatní „best-effort“ provoz je určena pouze zbývající šířka pásma. [2]

### **2.3.2. Multi Protocol Label Switching**

Multi Protocol Label Switching (MPLS) je technologie, která má mnohé charakteristiky společné s DiffServ, avšak liší se svým rozsahem: DiffServ se zaměřuje na klasifikaci provozu v rámci celé sítě, zatímco MPLS se zaměřuje pouze na klasifikaci provozu v rámci příštího přeskoku routeru. Mechanismus MPLS není ovládán žádnou aplikací (tzn. že nemá

API – Application Programmable Interface) a nemá rozhraní typu koncový uživatel/hostitel (end-user/host). MPLS se nachází pouze na serverech.

Mechanismus MPLS je nezávislý na protokolech, což znamená, se může použít s jakýmkoliv síťovým protokolem (IP, ATM, Frame Relay).

Routery s aktivovaným MPLS se nazývají routery s přepínáním návěstí (Label Switching Routers - LSR). Každý LSR v MPLS síti po přijetí paketů rozhodne o směrování následujícího přeskoku podle cílové adresy paketu a dalších informací v záhlaví paketu. LSR po přijetí paketu připojí k paketu příslušné návěstí (label) a odešle ho na další LSR, který návěstí prozkoumá, rozhodne o dalším směrování paketu, připojí k paketu nové návěstí a odešle ho dál. Tento postup se opakuje po celé cestě paketu sítí. [2]

Každý LSR má vlastní směrovací tabulku pro další přeskoky a také odpovídající návěstí. Pro zajištění QoS je třeba, aby tyto tabulky byly přesné. Pokud síť obsahuje velký počet LSR, počet tabulek odpovídajícím způsobem narůstá. Navíc pokud je třeba ve velké síti změnit jeden LSR, znamená to aktualizovat velký počet tabulek. Pro tento účel MPLS potřebuje další protokol nebo mechanismus, jehož hlavním úkolem je zajišťovat aktualizaci LSR tabulek. Existuje zde více možností, je například možné použít Label Distribution Protocol (LDP), nebo kombinovat RSVP a MPLS. [2]

## **3. QoS v UMTS SÍTÍCH**

### **3.1. Popis a vývoj UMTS**

UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) je evropský standard pro mobilní telekomunikační systémy třetí generace (3G), který splňuje požadavky celosvětového standardu IMT-2000 ITU (International Telecommunication Union – Mezinárodní telekomunikační unie) pro mobilní buňkové sítě třetí generace. Systém UMTS byl koncipován jako nástupník systému GSM, konkrétně systému 2. generace (GSM) a 2,5té generace (GSM s podporou GPRS), a je s nimi kompatibilní.

#### **3.1.1. Nástup UMTS**

UMTS síť zavádějí úplně novou vysokorychlostní rádiovou technologii W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), která definuje jak terestrickou (UTRAN – UMTS Terrestrial Radio Access network), viz obr. 3.1, tak satelitní mobilní službu. Hlavní síť systému UMTS je však založena na síti GSM, která se ze sítě pro přenos hlasu s přepojováním okruhů vyvinula v globální platformu pro mobilní paketové datové služby, jako jsou služby SMS, mobilní přístup na internet či mobilní přístup k e-mailovým službám.

Podle posledních odhadů se jeví, že provoz využívající přepojování paketů v blízké budoucnosti převáží provoz využívající přepojování okruhů. Tento vývoj umožnil právě systém UMTS.

#### **3.1.2. Struktura UMTS sítě**

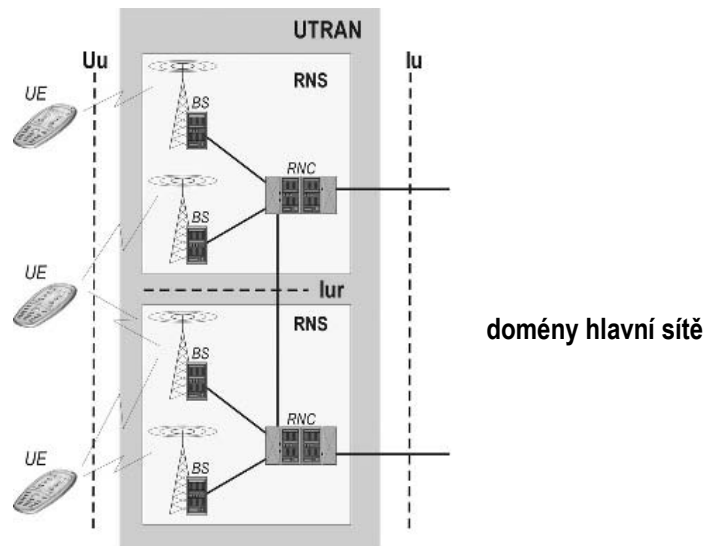
- **Uživatelská stanice (UE – User Equipment)** - terminál 3G systému, sestávající ze dvou částí: mobilního zařízení (ME – Mobile Equipment), jehož úkolem je navázání rádiového spojení přes rádiové rozhraní, a účastnického identifikačního modulu (SIM karty), jenž je v UMTS označován jako USIM (UMTS Subscriber Identity Module). Karta USIM má za úkol identifikaci uživatele, uchovávání autentizačních a šifrovacích

klíčů a některých dalších informací o uživateli vyžadovaných terminálem. Uživatelský terminál tvoří samostatnou součást systému UMTS, nejedná se o část UTRAN. [2]

- **Rádiová přístupová síť UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network)** – část sítě, jež uživateli umožňuje mobilní přístup ke službám poskytovaným hlavní sítí. Propojení je realizováno prostřednictvím rozhraní *Uu* (rozhraní mezi uživatelskou stanicí a UTRAN). Součástí rozhraní *Uu* je technologie WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Přístupová síť UTRAN plní dvě hlavní funkce:

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

UTRAN se rozděluje do jednotlivých rádiových síťových subsystémů RNS (Radio Network Subsystems). Každý subsystém RNS je vybaven řídicí jednotkou rádiové sítě RNC (Radio Network Controller – obdoba BSC v GSM), která má na starost rádiové zdroje a jejich řízení pro danou geografickou oblast rozdělenou na buňky a která řídí jednu nebo více základnových stanic systému UMTS označovaných jako Node B (obdoba BTS v GSM systému). Základnové stanice mají na starost pokrytí jednotlivých buněk rádiovým signálem. Řídicí jednotky RNC a základnové stanice spolu komunikují prostřednictvím rozhraní *Iub*. Novým prvkem oproti GSM je vzájemné propojení subsystémů RNS prostřednictvím rozhraní *Iur*, které slouží k zabezpečení nepřerušného přechodu i při vysokých přenosových rychlostech. Rozhraní *Iur* umožňuje přenos paketů ze zásobníku jedné řídicí jednotky RNC do druhé v případech, kdy již došlo k přepnutí uživatele a zásobník první RNC dosud obsahuje pakety, které tato řídicí jednotka nestihla uživateli poslat. Pomocí rozhraní *Iur* je rovněž možné sdílení zdrojů jednotlivých RNC navzájem, viz obr. 3.2. [1] [2]



Obr. 3.1: Obecná architektura UTRAN

- **Hlavní síť, jádro sítě (CN – Core Network)** – část zajišťující spojovací funkce (propojení účastníků, směrování paketů), uchovávání důležitých uživatelských informací a jejich aktualizaci (poloha, bezpečnost, účtování) a dále propojení do externích sítí (ISDN, X.25, PSTN, Internet, atd.). Jádro sítě UMTS se rozděluje na domény, podle toho, jakým způsobem je uživateli zprostředkován přístup k jejím funkcím. Jde o tyto domény:

- **doména s přepojováním okruhů (CS doména – Circuit Switched)**, nejstarší doména podporovaná v GSM sítích. Tato doména používá pro zajištění služby uživateli vyhrazený nepřerušovaný přenosový kanál. Klasickým příkladem takové služby je telefonní hovor, kdy je přenosový kanál vyhrazen pro daného uživatele po celou dobu hovoru a kapacita je uvolněna teprve po jeho ukončení. Doména CS je vhodná pro aplikace náročné na průběh v reálném čase, které kladou vysoké požadavky z hlediska zpoždění a šířky pásma, jako jsou právě telefonní nebo videokonferenční hovory, u kterých i drobné zpoždění představuje výrazné snížení kvality služby a u kterých se předpokládá více méně trvalé vytížení spoje po celou dobu relace. Doména CS zahrnuje například telefonní ústředny MSC (Mobile Switching Center) a GMSC (Gateway MSC), které je možné s určitými změnami převzít ze stávajících GSM sítí, a dále databáze VLR (Visitor Location Register). [1] [2]

- **doména s přepojováním paketů (PS doména – Packet Switched)**, tato doména byla do GSM sítí implementována vzhledem k potřebě zajistit rychlé datové přenosy. Přenosový kanál není pro uživatele vyhrazen trvale, ale pouze v konkrétním okamžiku, kdy je vyžadován pro přenos dat, což představuje výraznou úsporu síťových prostředků. Doména s přepojováním paketů je vhodná pro přenos služeb, které nejsou citlivé na vypořádání služby v reálném čase (tj. například stahování emailů, načítání webových stránek, odesílání multimediálních zpráv), kdy případné menší zpoždění vzniklé nedostatkem volných zdrojů nebo alokací zdrojů pro potřeby přenosu nepředstavuje významný problém a kdy je důležitějším aspektem možnost nabídnout vyšší kapacitu a přenosovou rychlost. Na rozdíl od CS domény je díky dynamickému přidělování zdrojů síť vhodná právě pro aplikace s nárazovým zatížením, kdy může být spoj i po větší část relace v nečinnosti. Doména s přepojováním paketů sestává ze síťových entit pro podporu GPRS (GSN – GPRS Support Node): [1] [2]

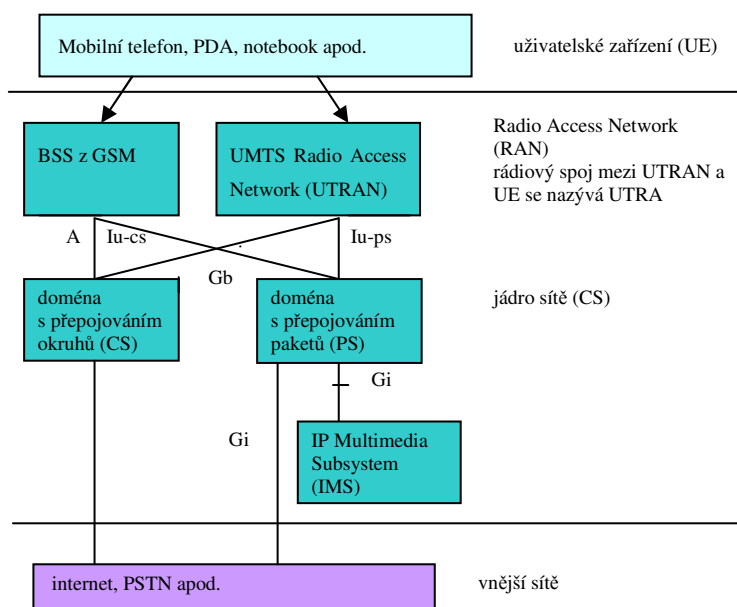
- **SGSN (Serving GPRS Support Node)** – odpovídá za autentifikaci mobilní stanice, přenos datových paketů mezi sítí a mobilní stanicí v rámci dané geografické oblasti, řízení logického spoje a mobility, za interakci s prvky sítě GSM (VLR – Visitor Location Register, HLR - Home Location Register), za účtování a konverzi protokolů mezi IP a protokoly používanými mobilní stanicí.

- **GGSN (Gateway GPRS Support Node)** – tvoří rozhraní mezi páteří sítě GPRS a externí paketovou datovou sítí (rádiovou sítí nebo IP sítí), jehož úkolem je zajišťovat směrování paketů, přidělování IP adres, autentifikaci apod. Konvertuje GPRS pakety doručené z SGSN do odpovídajícího formátu datového protokolu (PDP – Packet Data Protocol) (například IP or X.25) a odesílá je do příslušné paketové datové sítě. V opačném směru se PDP adresy příchozích datových paketů převádějí na GSM adresu cílového uživatele a takto přesměrované pakety jsou následně odeslány do příslušné SGSN. Pro tento účel je v lokačním registru GGSN uložena současná SGSN adresa uživatele a jeho profil. [1] [2]

- **IMS doména (IP Multimedia subsystem)** – od Release 5. Jde o univerzální přístupové schéma, jež má nahradit stávající rozdělení na CS a PS doménu. Proto se také označuje za službu fixně-mobilní konvergence a za součást definice sítí příští generace

(NGN – Next Generation Networks). Obecná představa ohledně sítí příští generace je taková, že veškeré informace a služby (tedy hlas, data a veškeré druhy mediálních služeb, jako například video) budou přenášeny v rámci jediné sítě. IMS tedy sjednocuje přenos hlasu i dat na paketovou bázi, a to tím, že přenos hlasu v zásadě převádí na platformu VoIP a současně zavádí kvalitu řízení přenosu a prioritizaci VoIP prostřednictvím QoS. Cílem je odlehčit provoz v sítích 3G a zjednodušit práci s daty. [7] [10]

Důležitým rysem UMTS je možnost účinně multiplexovat informace generované nezávislými zdroji na stejném přenosovém médiu. UMTS podporuje provoz s velmi různorodou šířkou pásma a různými požadavky na QoS. Hlavní výzvou pro infrastrukturu UMTS je tedy zajistit přenosy různých druhů aplikací na tomtéž médiu a současně zajistit splnění cílů QoS. Vzhledem k tomu, že provoz generovaný datovými přenosovými službami a přístupem na internet je v zásadě nárazový a nepředvídatelný a že systém musí využívat přenosové zdroje co nejefektivněji, je žádoucí dosáhnout určitého zisku ze statistického multiplexování a co nejvíce vyúžit přenosové spoje a rádiové rozhraní. Je proto důležité určit mechanismy, které optimalizují zátěž. [4]



Obr. 3.2: Architektura UMTS sítě [1]

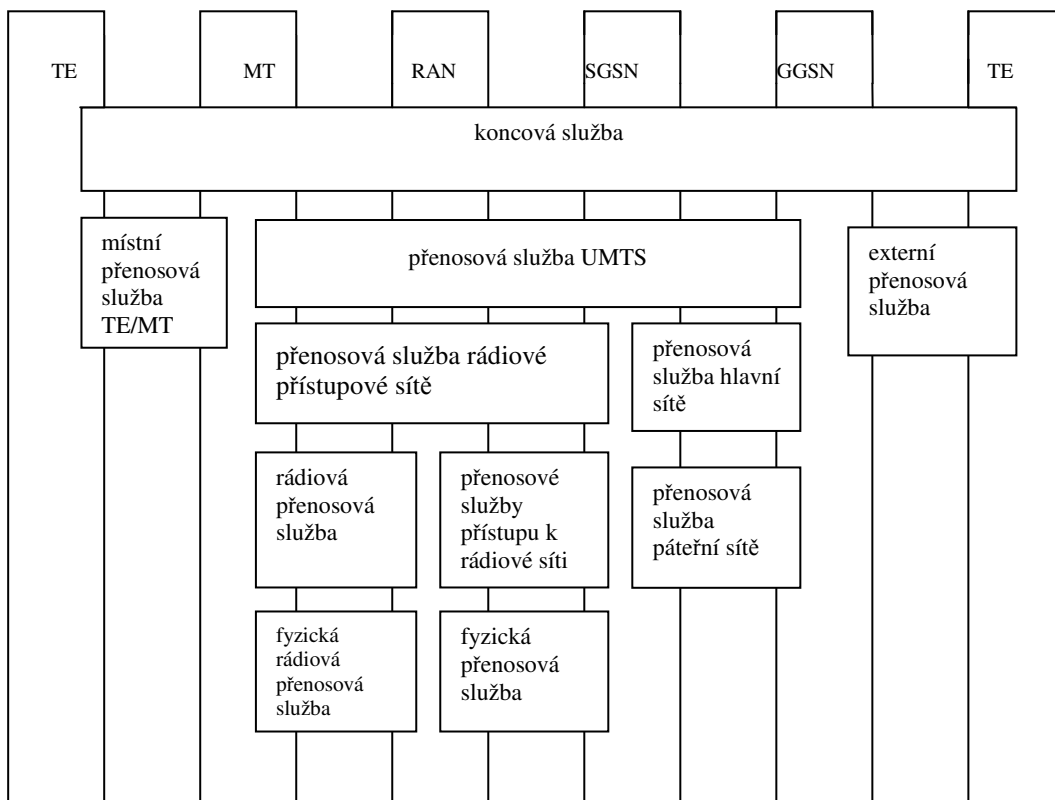
## **3.2. Zajištění kvality služeb v UMTS**

U pokročilých aplikací využívajících paketové datové přenosy přes mobilní telekomunikační síť není na rozdíl od tradičního provozu s přepojováním okruhů možné rezervovat síťové zdroje po celou dobu spojení. Paketově spínané sítě mohou těžit z intervalů, kdy není přenosový spoj využíván (obvykle neprobíhá nepřetržitý obousměrný přenos paketů, ale spíše střídavá výměna různých objemů dat s určitými odmlkami). Je však třeba, aby byly PS sítě schopny správně rozpoznat a určit, kdy konkrétní aplikace potřebuje síťové zdroje pro přenos a také v jaké kvalitě a v jakém objemu. Za tímto účelem byla vytvořena koncepce QoS a byla definována tak, aby bylo možné v paketově orientovaných sítích podporovat různé typy uživatelů a aplikací s různými požadavky na přenosové služby.

### **3.2.1. Koncepce a architektura QoS v UMTS síti**

Pro zajištění požadavků QoS navrhl model 3GPP koncept přenosové služby (BS – Bearer Service). Přenosová služba má jasně definované charakteristiky a funkce a zahrnuje všechny aspekty potřebné pro zajištění sjednané QoS, mezi nimi například řídicí signalizaci a funkci řízení QoS. Na obr. 3.3 je znázorněna vrstevná architektura přenosové služby. Každá přenosová služba na konkrétní vrstvě nabízí svou službu s využitím služeb zajišťovaných vrstvou pod ní. QoS v každé vrstvě je vyjádřena souborem atributů QoS specifických pro danou vrstvu. Tyto atributy se používají pro požadování příslušné služby od spodních vrstev.

Přenosová služba UMTS se skládá ze dvou částí: přenosové služby rádiové přístupové sítě (Radio Access Bearer Service - RAB) a přenosové služby hlavní sítě (Core Network Bearer Service - CN). [8]



Obr. 3.3: Základní architektura pro zajištění QoS v UMTS [8]

Koncové zařízení (TE) musí pro každý typ spojení komunikovat přes mobilní terminál (MT), aby získalo přístup k síťovým zdrojům. To umožňuje místní přenosová služba TE/MT (TE/MT Local Bearer Service). V rámci celé sítě se používá přenosová služba UMTS (UMTS Bearer Service). Pokud druhé koncové zařízení patří do jiné sítě, než je obsluhující UMTS síť, požádá externí přenosová služba (External Bearer Service) o udržení datového přenosu mezi obsluhující UMTS a vnějšími sítěmi. K přenosové službě UMTS patří přenosová služba rádiové přístupové sítě (Radio Access Bearer - RAB) a přenosová služba hlavní sítě (Core Network - CN). Přenosová služba hlavní sítě odpovídá za udržení konektivity s vnějšími sítěmi. Přenosová služba rádiové přístupové sítě řeší otázky mobility uživatele v rámci sítě a otázky týkající se UTRAN. Sestává z rádiové přenosové služby (Radio Bearer - RB) a přenosové služby přístupu k rádiové síti (RAN Access Bearer). Rádiová přenosová služba odpovídá za rádiové rozhraní a přenosová služba přístupu k rádiové síti za datový přenos mezi UTRAN a CN. [8]

### **3.2.2. Hlavní mechanismy QoS v UMTS síti**

UMTS zajišťuje QoS prostřednictvím mechanismu PDP kontextu. Pro komunikaci v UMTS síti musí mobilní stanice získat tzv. PDP kontext (Packet Data Protocol context), což je určitý typ logického kanálu, jenž propojuje uživatelské zařízení (UE) s CN a jehož součástí je mimo jiné adresa GGSN uzlu sloužícího jako brána do vnější sítě a také specifikace dohodnuté QoS. V rámci tohoto kontextu probíhá přenos z UE do GGSN a dále do vnějších IP sítí a nakonec do cílového koncového zařízení. Postup získávání PDP kontextu spočívá ve sledu signalizace, pomocí které UE naváže virtuální spoj s GGSN a sdělí své požadavky na QoS. Proces signalizace sestává ze dvou částí: profilu QoS a Traffic Flow Template (TFT).

Cílem mechanismu QoS UMTS je překonat existující v QoS v rámci GPRS. GPRS také používá PDP kontext, jenž získává pomocí procesu signalizace pro PDP kontext. Může však pro danou PDP adresu možné použít pouze jeden profil QoS. To znamená, že všechny toky, které sdílejí stejný PDP kontext musí také sdílet stejný profil QoS, jenž byl pro PDP kontext nadefinován, není tedy možná prioritizace podle toků. V UMTS byl mechanismus PDP kontextu vylepšen tak, aby podporoval vícečetné toky a nabízel pružnější vyjednávání a určování QoS.[2]

#### **Profil QoS**

Z požadavků daného UE na QoS se sestaví profil QoS, s jehož použitím je poté realizována příslušná přenosová služba UMTS. Každý PDP kontext má přiřazen určitý profil QoS. Během vyjednávání profilu QoS může UE požadovat určitou hodnotu pro každou z vlastností QoS daného profilu QoS, a to včetně předplacených výchozích hodnot. Jednotlivé vlastnosti je možné se sítí vyjednat na úrovni, která je v souladu s dostupnými UMTS zdroji. Síť se vždy snaží zajistit odpovídající zdroje pro podporu vyjednaných profilů QoS.[2]

#### **Traffic Flow Template**

TFT je soubor pravidel (soubor paketových filtrů), který v síti UMTS umožňuje rozpoznat tok vyžadující určitou QoS. Tento soubor může sestávat z jednoho až osmi paketových filtrů, přičemž každý filtr je jednoznačně označen identifikátorem paketového filtru a má přidělenou prioritu v rámci všech filtrů přiřazených PDP kontextům, které sdílejí stejnou PDP adresu. Filtrům může být přidělena priorita v hodnotách od 255 (nejnižší priorita) až po 0 (nejvyšší priorita). Filtry jsou aplikovány podle priority na příchozí pakety, dokud nedojde ke shodě a

paket je poté odeslán do příslušného logického kanálu s definovanými přenosovými parametry QoS. Každý PDP kontext může mít přiřazen pouze jeden soubor paketových filtrů (TFT). [1]

### **3.2.3. Call Admission Control (CAC)**

*Call Admission Control* (řízení přístupu hovoru) je jedním z mechanismů řízení zdrojů, který reguluje přístup do sítě tak, aby byla zajištěna kvalita služby. Mechanismy CAC se používají pro řízení přístupu provozu v reálném čase (hlasového provozu) a mají za úkol předcházet přetížení VoIP sítě (oversubscription). Úkolem je chránit probíhající hlasový provoz v síti před negativním dopadem dalšího hlasového provozu a současně zajistit co nejefektivnější využití systémových zdrojů. Jde o preventivní mechanismus ochrany proti zahlcení, který je uplatňován ve fázi navazování hovoru (Call Setup). Algoritmus řízení přístupu hovoru má za úkol rozhodnout, zda uživatelské zařízení žádající o přístup do sítě může být do sítě přijato, nebo zda bude jeho požadavek zamítnut a tento nový hovor nebude do sítě propojen. Přístup je umožněn, pouze pokud je v síti dostatečná volná kapacita a je tedy možné splnit požadavky žádajícího zařízení na QoS, aniž by tím byly ohroženy parametry QoS ostatních zařízení v síti. Z pohledu uživatele je přijatelnější, je-li jeho hovor zablokován v okamžiku navazování spojení, než aby spojení selhalo během hovoru. CAC se tedy snaží omezit počet připojení tak, aby se předešlo zahlcení sítě a zahazování hovorů (drop). Vzhledem k mobilitě uživatelů, limitům rádiového rozhraní a charakteristikám multimediálního provozu představuje praktický návrh účinného mechanismu CAC značně složitou otázku. Pro co nejefektivnější využití systémových zdrojů by dobrý algoritmus CAC měl hledat rovnováhu mezi blokováním a zahazováním hovorů. [1] [2]

CAC se provádí v každém uzlu sítě, přes který prochází komunikace z výchozí stanice do cílové stanice (RNC, SGSN, GGSN, MSC atd.). Při rozhodování se používá deskriptor provozu, který popisuje charakteristiky provozu a požadavky QoS. Mezi charakteristiky provozu patří parametry maximální rychlosti zdroje (PCR), průměrné rychlosti zdroje (SCR), maximální velikost shluku (MBS) a další. Požadavky QoS zahrnují přípustnou ztrátovost buněk, zpoždění buňky, kolísání zpoždění. [1] [2]

V UMTS se CAC provádí při každé aktivaci PDP kontextu nebo navazování hovoru, při každé změně QoS a při předání hovoru mezi buňkami (handover). Uživatelské zařízení

při navazování hovoru zašle do uzlu SGSN, ke kterému je momentálně připojeno, své požadavky na QoS. SGSN provede CAC algoritmus podle přijatých požadavků a profilu uživatele a v případě shody odešle sjednané parametry QoS do brány GGSN jako součást žádosti o spojení. GGSN požadavek vyhodnotí na základě zatížení sítě, dostupné šířky pásma a dalších parametrů a odešle případně pozměněné sjednané parametry QoS zpět do uzlu SGSN. SGSN odešle sjednané parametry do řídicí jednotky RNC jako požadavek na přidělení rádiových zdrojů. RNC provede CAC algoritmus na základě momentálního zatížení buňky, do které se uživatelské zařízení hlásí. Po přidělení přenosové služby RAB uzel SGSN informuje o vytvoření PDP kontextu a o sjednaných parametrech QoS žádající uživatelské zařízení, které se může rozhodnout, zda tyto podmínky přijme či zda od navázání spojení odstoupí. [1] [2]

CAC zamítne hovory, pokud není k dispozici dostatečný výkon pro zpracování provozu, pokud jsou překročeny předem nastavené limity pro upstream/downstream provoz nebo pokud počet momentálně zpracovávaných hovorů překročil předem nastavený limit. [4]

### 3.2.4. Kategorizace aplikací a přenosových služeb

Pro zajištění splnění požadavků QoS je žádoucí rozdělit si aplikace a přenosové služby do tříd. Existuje několik způsobů takového dělení. Jedním z nejčastěji používaných dělení je kategorizace podle standardu 3GPP Release 99 definovaného Evropským ústavem pro telekomunikační normy (ETSI). Tento model dělí aplikace a přenosové služby do dvou základních tříd – real time (RT) a non-real time (NRT), které se dále člení do podtříd, viz tab. 3.1.

**RT třída** – pro zajištění kvality služby vyžaduje nízké hodnoty zpoždění paketů. Člení se na dvě podtřídy: streamingovou a konverzační. Pojem „streaming“ se vztahuje k aplikacím, které přehrávají jednosměrný, v případě více streamů (proudů) synchronizovaný, a nepřetržitý proud dat, přenášený prostřednictvím datové sítě. Streamingové aplikace je možné dále rozdělit na aplikace na vyžádání (on-demand) a živé přenosy (live). Konverzační třída se používá pro podporu konverzačních aplikací, jako jsou například hlasové služby přes PS doménu. Tyto aplikace vyžadují stabilní a včasné doručování datových paketů v duplexním režimu (tzn. v obou směrech do uživatelského zařízení i z něj). [2]

**NRT třída** – splnění požadavků této třídy je v paketově spínaných sítích nejméně problematické. Typickými aplikacemi této třídy (podtřídami) jsou služby na pozadí a interaktivní služby.

Tab. 3.1: Základní vlastnosti tříd provozu a příklady aplikací

Přenosová třída	Real time (RT)		Non-real time (NRT)	
	<b>Konverzační</b>	Streamingová	Interaktivní	Třída služeb na pozadí
Základní vlastnosti	pracuje v reálném čase	pracuje v reálném čase	nepracuje v reálném čase	nepracuje v reálném čase
	požadavek na minimální, přísně omezené zpoždění a minimální kolísání zpoždění	požadavek na minimální kolísání zpoždění	požadavek na minimální bitovou chybovost	požadavek na minimální bitovou chybovost
			přenosy typu dotaz/odpověď	bez požadavku na dobu doručení odpovědi
	obousměrný provoz (do určité míry symetrický)	jednosměrný provoz (asymetrický)	obousměrný provoz (obvykle asymetrický)	obousměrný i jednosměrný provoz (asymetrický)
Příklad aplikací	hlasové aplikace	video či audio streaming - on-demand - live	prohlížení webových stránek, přístup do databází	stahování emailů či souborů, telematika, telemetrie

Hlavním rozlišujícím parametrem mezi těmito třídami je citlivost vůči kolísání zpoždění (jitter). Nejcitlivější je konverzační třída, u které kolísání zpoždění od určité úrovně vede k výraznému zhoršení služby a případně i k ukončení spojení. Naproti tomu nejméně citlivá na kolísání zpoždění je třída služeb na pozadí, neboť zpoždění v doručení dat nevede přímo k chybě služby. [2]

### **Konverzační třída**

Zastupuje aplikace v reálném čase (RT). Doba přenosu musí být co nejkratší (100 až 200ms) a při přenosu musí být zachovány časové vazby mezi jednotlivými pakety. Tyto požadavky jsou dány limity lidského vnímání při audio či video konverzaci. Je tedy vyžadováno omezené a stabilní zpoždění a není povoleno bufferování. Bitová chybovost (BER - Bit Error Rate) se může lišit v závislosti na šířce pásma datového toku, musí být však

garantována bitová rychlost. Provoz je do určité míry symetrický. Pro aplikace s nízkou přenosovou rychlostí (např. 12 kbps) by BER měla být menší než  $10^{-3}$ , u vyšších přenosových rychlostí (např. 128 kbps) by BER měla být menší než  $10^{-6}$ .

Typickým příkladem aplikací konverzační třídy jsou hovory a videohovory, což jsou spojově orientované služby a jsou podporovány doménou s přepojováním okruhů (CS). Například u hovoru by zpoždění mělo být nižší než 100ms (krajní mez je však 200ms) a kolísání zpoždění by mělo být nižší než 1ms. [1][2]

### **Streamingová třída**

Streamingová třída zastupuje rovněž aplikace v reálném čase. Stejně jako u předchozí třídy je zde důležitým faktorem zachování časové vazby mezi jednotlivými pakety v rámci téhož datového toku. Jde o jednosměrný provoz, přičemž obvykle není uplatňováno omezení pro přenosové zpoždění, zpoždění tedy může v určité minimální míře kolísat a k vyrovnání tohoto kolísání je povoleno bufferování datového toku. Provoz je asymetrický, bitová chybovost by měla být udržována na nízké úrovni (méně než  $10^{-6}$ ) a musí být garantována stanovená přenosová rychlost.

Typickými příklady aplikací streamingové třídy jsou audio a video streaming (např. rozhlasové nebo televizní vysílání přes internet, kde by zpoždění mělo být nižší než 10s a jitter nižší než 1ms), monitoring, ftp a přístup k databázím. [1][2]

### **Interaktivní třída**

Interaktivní třída zastupuje NRT Best Effort aplikace. Jde o provoz založený na principu požadavek/odpověď, kdy koncové zařízení (uživatel nebo stroj) během online relace žádá data ze vzdáleného zařízení nebo serveru. Předpokládá se, že odpověď dorazí do určité doby, neexistují však přísné požadavky na zpoždění nebo kolísání zpoždění, i když i zde je samozřejmě žádoucí, aby tyto hodnoty nebyly příliš vysoké. Pro vyrovnání kolísání zpoždění je povoleno bufferování dat. Měla by být garantována přenosová rychlost, provoz je zpravidla asymetrický. Důležitým kritériem je zachování obsahu, který by měl do cílového zařízení dorazit bez chyb (tj. s BER nižší než  $10^{-6}$ ). Typickým příkladem aplikací interaktivní třídy jsou webové aplikace, vyhledávání v databázích, přístup na server a automatické dotazování databází (telematika) a pooling pro sběr dat z měření. [1][2]

## Třída služeb na pozadí

Třída služeb na pozadí zastupuje NRT Best Effort aplikace. Tato třída je optimalizována pro podporu komunikace typu stroj/stroj. Tento režim se uplatňuje v případech, kdy cílové zařízení nevyžaduje doručení dat do určité doby, například když počítač (server) přijímá nebo vysílá data na pozadí. Neexistují zde žádné požadavky na zpoždění nebo kolísání zpoždění. Pro vyrovnání kolísání zpoždění je povoleno bufferování dat. Přenosová rychlost nemusí být garantována, provoz je asymetrický. Důležité je zachování obsahu, který by měl do cílového zařízení dorazit bez chyb (tj. s BER nižší než  $10^{-8}$ ).

Typickým příkladem služeb na pozadí je stahování emailů, aktualizace kalendáře nebo doručování SMS zpráv. [3]

### 3.2.5. Parametry QoS v UMTS sítích

Kvalitu služby v UMTS sítích charakterizují tyto parametry:

- **Třída provozu:** konverzační, streamingová, interaktivní a třída služeb na pozadí (viz předchozí oddíl). [3]
- **Maximální přenosová rychlost (kbps):** maximální počet bitů přenesených prostřednictvím UTRAN a do UMTS za stanovenou dobu, udává horní limit přenosové rychlosti. [3]
- **Garantovaná přenosová rychlost (kbps):** garantovaný počet bitů přenesených prostřednictvím UTRAN a do UMTS za stanovenou dobu, za předpokladu, že je požadován přenos. Požadavky QoS popsané jinými atributy jsou platné pouze do výše garantované přenosové rychlosti. Garantovaná přenosová rychlost se používá pouze pro konverzační a streamingovou třídu. U NRT provozu není garance konkrétní přenosové rychlosti tak důležitá. [3]
- **Pořadí doručení (y/n):** uvádí, jestli má přenosová služba podporovat doručení datových jednotek (SDU) v daném pořadí. [3]
- **Maximální velikost datové jednotky (v bytech):** maximální povolená velikost datové jednotky, pro kterou musí síť zajistit sjednanou QoS. Používá se pro řízení přístupu, policing a zejména v RAN pro optimalizaci provozu. [3]

- **Informace o formátu datové jednotky (v bitech ):** tato hodnota udává seznam možných přesných velikostí datové jednotky. Může být používána v RAN pro získání spektrální účinnosti při tzv. transparentním režimu RLC, který je používán pro minimalizaci zpoždění přenosu a tedy opětovných přenosů. [3]
- **Chybovost datové jednotky:** je vyjádřena jako poměr chybně přenesených nebo ztracených datových jednotek v poměru k celkovému počtu datových jednotek. Používá se zejména v RAN pro konfiguraci protokolů, algoritmů a programů detekce chyb. V případě vyhrazení zdrojů pro přenosovou službu nezávisí chybovost datové jednotky na aktuálním zatížení. [3]
- **Zbytková bitová chybovost (Residual Bit Error Ratio):** udává nedetekované bitové chyby (bitovou chybovost) v doručených datových jednotkách, pokud byla požadována detekce chyb, v opačném případě udává bitovou chybovost v doručených datových jednotkách. Používá se pro konfiguraci rádiového rozhraní, algoritmů a kódování detekce chyb.[3]
- **Doručení chybných datových jednotek (y/n/-):** uvádí, jak naložit s chybnými datovými jednotkami, konkrétně zda je či není (-) podporována detekce chybných datových jednotek, a pokud je datová jednotka detekována jako chybná, zda má být přeposlána (y) či nikoliv (n). [3]
- **Zpoždění přenosu (ms):** je definováno jako maximální hodnota zpoždění pro 95% percentil rozložení zpoždění pro všechny datové jednotky během životnosti přenosové služby. Tato hodnota stanoví, jaké zpoždění daná aplikace toleruje, a umožňuje síti RAN nastavit správné parametry přenosové služby. [3]
- **Priorita zpracování provozu:** stanoví relativní důležitost datových jednotek podporovaných jednou přenosovou službou ve srovnání s datovými jednotkami podporovanými jinou přenosovou službou interaktivní třídy. Jde o relativní hodnotu, která se používá především v rámci interaktivní třídy provozu. Tento atribut používá rozvrhovací algoritmus pro správné seřazení různých paketových přenosů v rámci interaktivní třídy provozu. [3]
- **Priorita alokace/podržení:** vztahuje se ke sjednané službě, nemůže být vyjednána nebo nastavena ze strany UE. Definuje relativní důležitost přenosové služby UMTS oproti jiným přenosovým službám UMTS pro účely přidělování a udržení zdrojů. Při omezených zdrojích je možné v rámci procesů řízení přístupu a přidělování zdrojů

pomocí tohoto atributu prioritizovat přenosové služby s vysokou prioritou alokace/podržení oproti přenosovým službám s nízkou prioritou alokace/podržení. [3]

- **Deskriptor statistiky zdroje ('speech'/'unknown')**: (pouze u služby RAB) popisuje charakter zdroje dat a má dvě hodnoty: „hovor“ a „neznámý“. Tento atribut mohou používat příslušné síťové prvky (RAN, SGSN, GGSN) pro výpočet zisku ze statistického multiplexování při provádění řízení přístupu. [3]
- **Indikace signalizace (yes/no)**: uvádí signalizační informace o předávaných datových jednotkách. Je určena pouze pro interaktivní třídu provozu. Pokud je tento atribut nastaven na „yes“, mělo by mít UE nastavenou prioritu zpracování provozu na „1“. [3]

Použití těchto parametrů pro zajištění kvality služby v jednotlivých třídách provozu shrnuje tabulka 3.2.

Tab. 3.2: Použití parametrů QoS v jednotlivých třídách provozu [3]

Vlastnosti	Třída provozu			
	Konverzační	Streamingová	Interaktivní	Třída služeb na pozadí
Maximální přenosová rychlost	✓	✓	✓	✓
Garantovaná přenosová rychlost	✓	✓		
Pořadí doručení	✓	✓	✓	✓
Maximální velikost datové jednotky	✓	✓	✓	✓
Informace o formátu datové jednotky	✓	✓		
Chybovost datové jednotky	✓	✓	✓	✓
Zbytková bitová chybovost	✓	✓	✓	✓
Doručení chybných datových jednotek	✓	✓	✓	✓
Zpoždění přenosu	✓	✓		
Priorita zpracování přenosu			✓	
Priorita alokace/podržení	✓	✓	✓	✓
Deskriptor statistiky zdroje	✓	✓		
Indikace signalizace			✓	

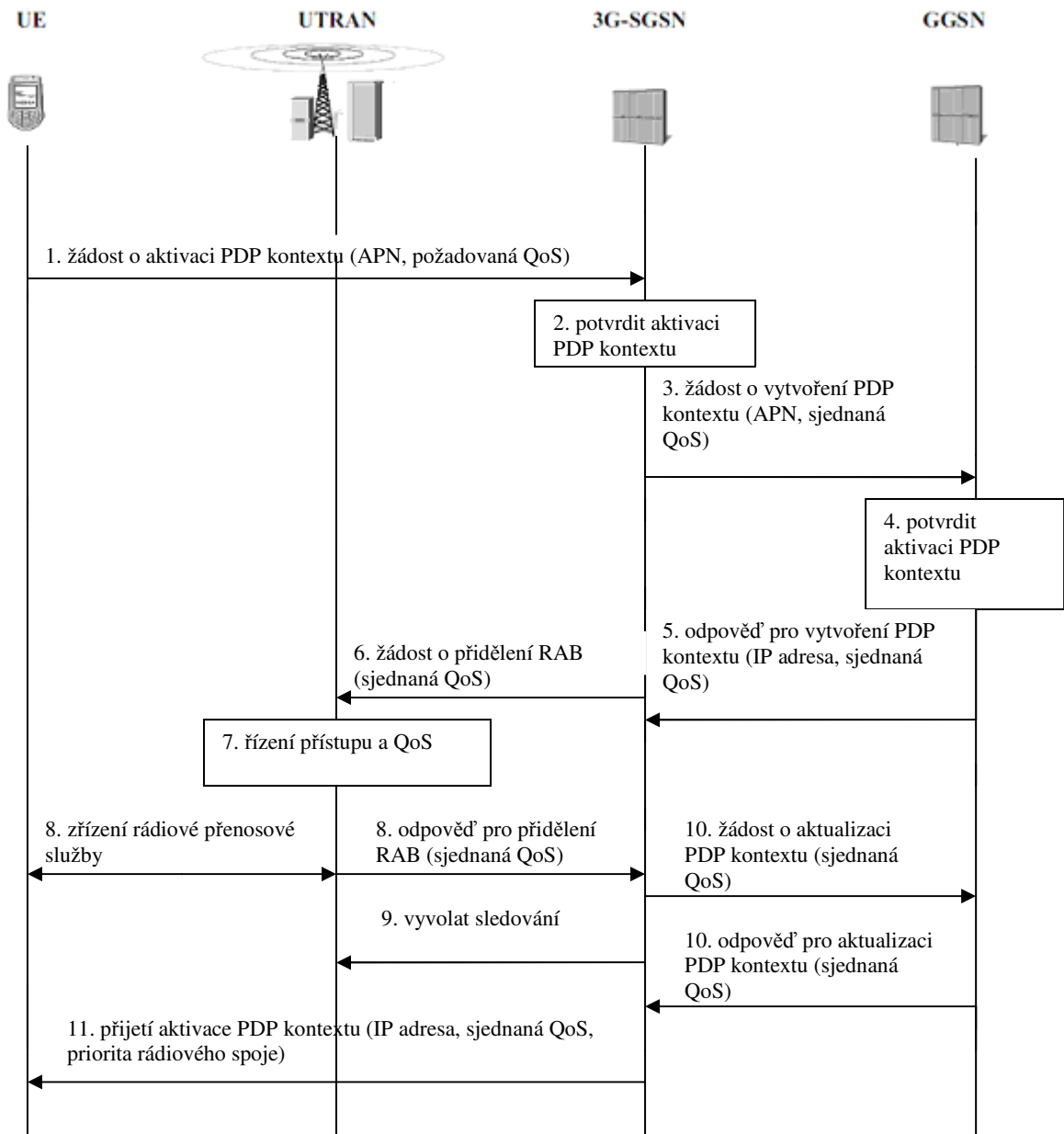
## **4. SESTAVENÍ SPOJENÍ A PŘENOS MEZI KONCOVÝMI UŽIVATELI**

Sestavení spojení a přenos mezi koncovými uživateli, viz obr. 4.1, je popsán v krocích:

1. UE vyšle žádost o aktivaci PDP kontextu přes RAN na SGSN. Žádost zahrnuje informace o PDP kontextu a případně také o požadovaném profilu (např. třída provozu, max. přenosová rychlost, garantovaná přenosová rychlost atd. a APN (Access Point Name) a IP adresu UE IP. Parametry QoS jsou požadovány podle aplikace, pro kterou je PDP určen.
2. SGSN potvrdí žádost o PDP kontext s ohledem na své kapacity a aktuální zatížení a také záznamy v HLR uživatele. SGSN například ověřuje, zda má uživatel povoleny požadované APN a parametry QoS. Pokud UE neudalo APN nebo požadovanou QoS, SGSN zvolí výchozí hodnoty z HLR záznamů uživatele.
3. SGSN určí GGSN adresu na základě APN a pošle na GGSN žádost o vytvoření PDP kontextu k potvrzení. Žádost obsahuje mimo jiné QoS a APN sjednané ze strany SGSN. GGSN může být také požádán o přidělení dynamické IP adresy pro uživatele.
4. GGSN provede další postupy řízení přístupu a potvrzení žádosti, například zda jsou požadované parametry PDP kontextu kompatibilní s danou aplikací. Případně GGSN také přidělí IP adresu.
5. GGSN přijme vytvoření PDP kontextu a poskytne SGSN potřebné informace, například QoS a IP adresu zpracované GGSN.
6. V některých případech musí SGSN zpracovat sjednanou QoS na základě odpovědi GGSN. SGSN pošle na RNC žádost o přidělení RAB se sjednanou QoS (QoS profil).
7. RNC podle sjednané QoS, kterou obdrží z SGSN, provede postupy řízení přístupu a stanoví parametry pro zřízení a udržení přenosové služby.
8. V rámci rádiového rozhraní je zřízena přenosová služba a RNC odešle potvrzení na SGSN.
9. Může být vyvolána funkce sledování pro lokalizaci uživatele. Tato funkce nesouvisí s QoS, je však součástí postupu zřizování PDP kontextu.

10. Podle odpovědi RAN může SGSN odeslat novou žádost s nižšími hodnotami QoS na RNC a poté na GGSN, například pokud RAN nebyla schopna podporovat původně požadované hodnoty QoS (krok 6). GGSN odpoví na přijatou žádost.

11. SGSN odešle potvrzení na UE spolu se sjednaným QoS profilem a IP adresou (pokud je používána dynamická adresa). UE si uloží sjednaný QoS profil a další informace, jež budou použity pro daný PDP kontext. [8]



Obr. 4.1: Aktivace PDP kontextu v rámci UMTS sítě (rozhraní *Iu*) [8]

## 5. PRAKTICKÁ REALIZACE V OPNET MODELER

Tato část bakalářské práce je zaměřena na praktické modelování sítě UMTS s využitím softwaru OPNET Modeler, jenž je součástí softwarového balíku OPNET (Optimum Network Performance) americké firmy OPNET Technologies. OPNET Modeler je softwarové vývojové prostředí využívané pro analýzu a návrhy komunikačních sítí, zařízení, protokolů a aplikací, které se vyznačuje vysokou flexibilitou testování. Pomocí OPNETu může uživatel analyzovat simulované sítě a porovnávat dopad různých návrhů technologií na chování sítě mezi koncovými uživateli. OPNET Modeler zahrnuje širokou nabídku protokolů a technologií a umožňuje modelování všech typů sítí a technologií včetně VoIP, TCP, OSPFv3, MPLS, IPv6 a další. Součástí OPNETu je také řada rozsáhlých knihoven jednotlivých síťových komponent, např. pro Ethernet, HTTP, FDDI, ATM, TCP atd. Tyto knihovny mají otevřený zdrojový kód a je tedy možné je dále upravovat. Vývojové prostředí OPNET Modeler je díky svým výhodám využíváno mimo jiné armádou USA, ale také na univerzitách a samozřejmě i komerčními firmami zabývajícími se vývojem síťových technologií. [8]

Mezi základní výhody patří možnost simulace ve zrychleném režimu, kdy je možné simulovat dlouhodobé chování sítě ve zkráceném intervalu, např. v řádu hodin. Výsledky simulace lze na výstupu generovat do zpráv ve formátu XML, HTML nebo exportovat do programu Microsoft Excel. OPNET Modeler využívá objektově orientované modelování a hierarchickou strukturu pro modelování. [8]

Pro modelaci různých typů sítí nabízí OPNET Modeler množství různých editorů, z nichž nejčastěji jsou používány tyto tři základní:

- Project Editor – editor projektů
- Node Editor – editor uzlů
- Process Editor – editor procesů

### 5.1. Konfigurace nového projektu s QoS

Popis nového simulačního modelu UMTS sítě v programu OPNET Modeler je formulován tak, aby model bylo možné podle tohoto popisu sestavit.

### **Byl zvolen následující postup kroků:**

- vytvoření nového projektu,
- výběr použitých objektů UMTS sítě,
- nastavení parametrů objektu Node B,
- nastavení parametrů objektu Application Config (ftp, http a VoIP),
- nastavení parametrů objektu Profile Config,
- nastavení QoS Attribute Definition,
- nastavení parametrů objektu UE (User Equipment),
- nastavení parametrů objektu RNC,
- nastavení parametrů objektů serverů ftp a http
- nastavení parametrů objektu VoIP\_client2
- nastavení sledových parametrů použitých objektů,
- spuštění simulace,
- zobrazení výsledků simulace.

#### **5.1.1. Vytvoření nového projektu**

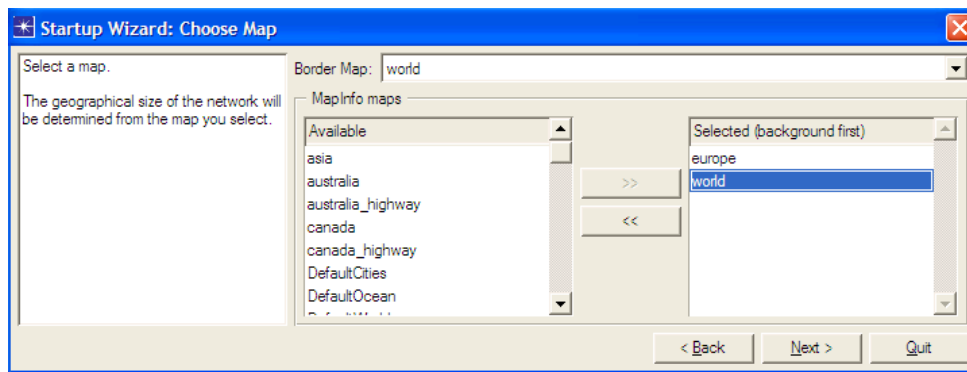
Po spuštění programu OPNET Modeler 14.5 se v horním menu zvolí položky File > New a poté vybere položka Project.

V řádku **Project Name** se zadá nového projektu : bakalar a v řádku **Scenario Name** název nového scénáře: UMTS\_QoS\_MN8. Položka Use Startup Wizard when creating new scenarios (Při vytváření nových scénářů použít Průvodce při spuštění) zůstane zaškrtnutá.

V dalším dialogu se zvolí položka Create Empty Scenario, čímž se vytvoří nový prázdný scénář a pokračuje se s next.

V dalším dialogu se zvolí položka World. Položka Use metric maps (Použit metrické soustavy) je ponechána zaškrtnutá.

Ze seznamu Available, který nabízí dostupné mapy, se zvolí položka Europe a kliknutím na tlačítka „ >>“ se volba potvrdí, čímž se zvolená položka přesune do pravého okna nazvaného **Selected (background first)**. Položka World se kliknutím na tlačítko „<<“ vrátí do okna Available, viz obr. 5.1.



Obr. 5.1: Výběr mapy v Startup Wizard

V dalším dialogu Select Technologies se ve sloupci **Include?** klikne na položku UMTS. Po zobrazení možnosti Yes se volba potvrdí kliknutím na tlačítko Next.

V dialogu **Review** se zkontrolují požadovaná nastavení a potvrdí se kliknutím na tlačítko Finish.

Zobrazí se prázdná mapa a dialog **Object Palette Tree**, který slouží k výběru jednotlivých položek pro sestavení požadovaného scénáře.

### 5.1.2. Výběr použitých objektů sítě UMTS

Tlačítkem „zoom +“ se zvětší mapa na konkrétní oblast, v tomto případě na okolí Brna.

Následuje výběr jednotlivých objektů, které budou součástí scénáře, a přiřazení jejich názvů. Postupuje se kliknutím pravým tlačítkem na daný objekt, zvolením položky **Set Name** ze zobrazené nabídky a zadáním názvu objektu. Z UMTS se vybere:

- **3x umts\_wkstn (UMTS UE Workstation)** a přiřadí se názvy VoIP\_Client1, HTTP\_Client a FTP\_Client,
- **umts\_rnc\_ethernet\_atm\_slip\_adv** pojmenuje RNC,
- **umts\_sgsn\_ethernet\_atm9\_slip** se pojmenuje SGSN,
- **umts\_ggsn\_slip8\_adv** se pojmenuje GGSN.

Z UMTS\_advanced se vybere:

- **3x umts\_node\_b\_3sector\_adv** a přiřadí se názvy Node\_B\_1, Node\_B\_2 a Node\_B\_3.
- Z IP\_Station\_Models se vybere:
- **ethernet\_ip\_station** s názvem VoIP\_client2.

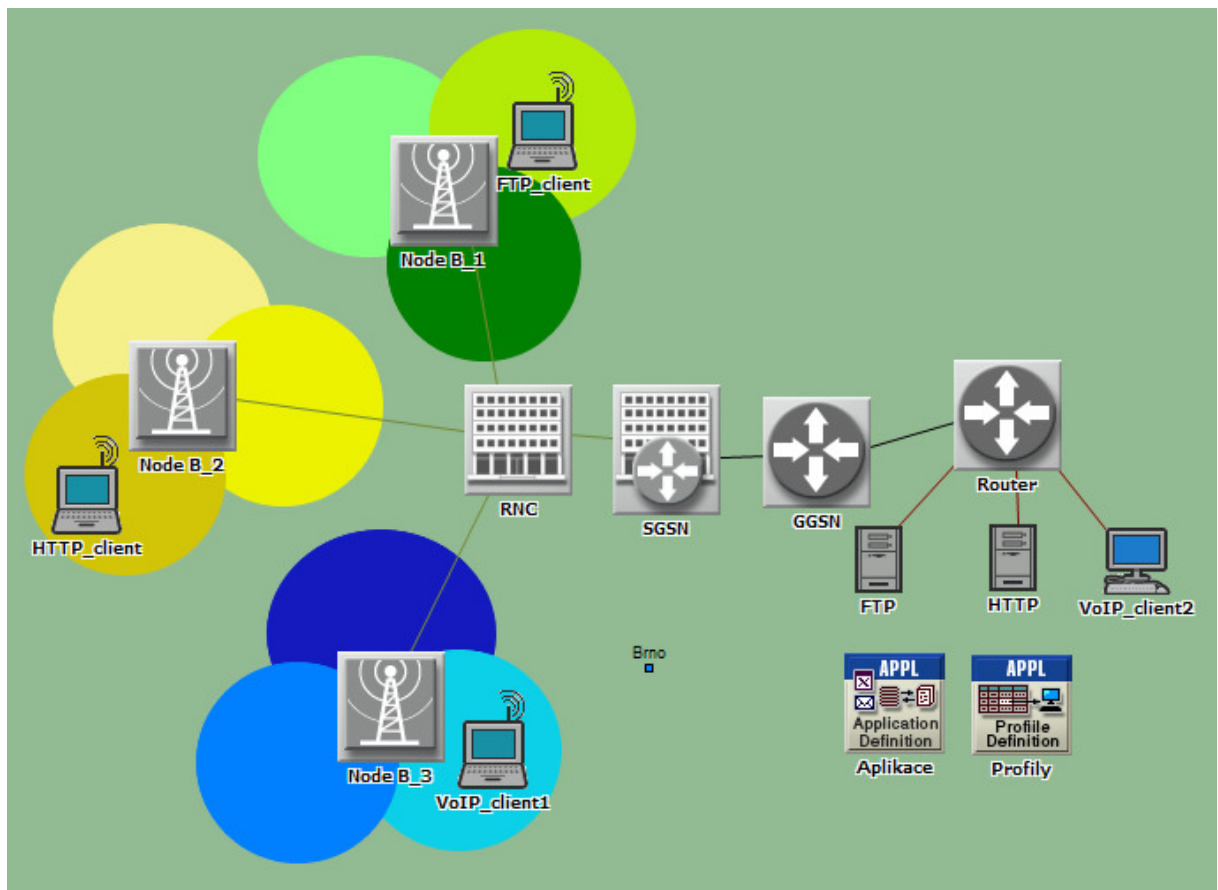
Z internet\_toolbox se vyberou tyto objekty:

- **ethernet4\_slip8\_gtwy** s přiřazením názvu Router,
- **Application\_Config** s přiřazením názvu Aplikace,
- **Profile\_Config** s přiřazením názvu Profily
- **QoS Attribute Config** s přiřazením názvu QoS,

Z ethernet\_advanced se přidá:

- 2x **ethernet\_server\_adv** a přiřadí se názvy FTP a HTTP.

Objekty je nutno propojit požadovanou kabeláží. Z UMTS se vyberou a následně propojí: obousměrnou linkou **ATM\_adv** objekty Node\_B s RNC a RNC s SGSN. Linkou **PPP\_DS3** se propojí SGSN s GGSN a GGSN s Router. Nakonec se linkou **10BaseT** propojí Router s FTP a HTTP servery s VoIP\_client2. Viz obr. 5.2.



Obr. 5.2: Výběr použitých objektů a jejich propojení

### 5.1.3. Nastavení parametrů objektu Node B

Nastavení velikosti buněk se provádí takto: v menu se vybere Topology > Open Annotation Palette, z palety se zvolí tvar – kruh a vloží se do mapy. Pravým tlačítkem myši se klikne na kružnici, vybere se položka Edit Attributes a v **Attribute** se zvolí: fill - fill (vyplní se kruh). V položkách **width** a **height** se zadá hodnota 0,0097. Tato hodnota byla vyzkoumána z experimentálních pokusů. Stejný postup se použije pro všech devět buněk.

Pokračuje se nastavením konkrétní Node\_B a to tak, že stisknutím pravého tlačítka se zobrazí dialogové okno Edit Attributes, kde bude zvoleno:

- **U Node\_B\_1** se přiřadí ID jednotlivým buňkám:

Cell 0 = 0, Cell 1 = 1, Cell 2 = 2.

V seznamu UMTS Cell Pathloss Parameters (Cell 0,1, 2) se stisknutím na Edit nastaví, viz tab. 5.1. [9][10]

Tab. 5.1: Nastavení hodnot parametrů objektu Node B

Název Parametr	Nastavená hodnota	Popis
Shadow Fading Standard Deviation	0,5	Určuje nastavení odchylky sigma
Number of Floors	Not Used	Použije se, pouze pokud je níže uvedená položka Pathloss Model nastavena na indoor office. Slouží k nastavení počtu podlaží
Pathloss Model	Vehicular Environment	Používá se při výpočtu výkonu přijímaného signálu

- **U Node\_B\_2** se přiřadí ID jednotlivým buňkám:

Cell 0 = 3, Cell 1 = 4, Cell 2 = 5.

- **U Node\_B\_3** se přiřadí ID jednotlivým buňkám:

Cell 0 = 3, Cell 1 = 4, Cell 2 = 5.

Ostatní parametry se zvolí jako v případě Node\_B\_1.

### 5.1.4. Nastavení parametrů objektu Application Config (VoIP, FTP a HTTP)

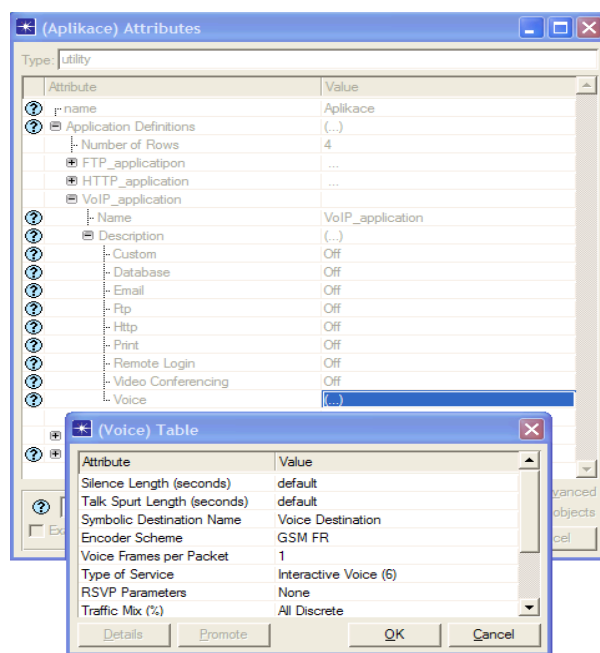
Nastavení parametrů objektu Application\_Config se provádí takto: klikne se na objekt pravým tlačítkem myši, zvolí se položka Edit Attributes, rozbalí se seznam u položky Application Definition a hodnota rows se nastaví na 3.

#### Nastavení aplikace VoIP

Nejdříve se nastaví aplikace VoIP, viz. obr. 5.3. Klikne se na položku row 2 a zadá se název VoIP\_application. Rozbalí se seznam u položky Description, z předdefinovaných aplikací se vybere Voice a poté se zvolí položka Edit. U aplikace Voice se nastaví hodnoty těchto parametrů, viz tab. 5.2. [9] [10]

Tab. 5.2: Nastavení hodnot parametrů objektu aplikace VoIP

Název Parametr	Nastavená hodnota	Popis
Silence Lenght (seconds)	default	Délka ticha mezi příchozím a odchozím hovorem
Talk Spurt Length (seconds)	default	Délka přechodu mezi mluvením a tichem
Symbolic Destination Name	Voice Destination	Symbolické jméno cílového klienta
Encoder Scheme	GSM FR	Typ kodéru
Voice Frames per Packet	1	Určuje počet dekodovaných hlasových rámců v hlasovém paketu
Type of Service	Interactive Voice (6).	Parametr QoS, kterým se určuje priorita provozovaných aplikací
RSVP Parameters	None	Parametr pro rezervování šířky pásma
Traffic Mix (%)	All Discrete	Udává poměr hlavního provozu a provozu na pozadí. Procentuální hodnota udává objem provozu na pozadí.
Signaling	None	Způsob sestavení a zrušení hovoru
Compression Delay (seconds)	0,02	Zpoždění způsobené kompresí
Decompression Delay (seconds)	0,02	Zpoždění způsobené dekompresí



Obr. 5.3: Nastavení aplikace VoIP

### Nastavení aplikace FTP

Dále se nastaví FTP aplikace tak, že se klikne na položku row 0 a do řádku Name (jméno aplikace) se zadá Aplikace. U položky FTP\_ application se rozbalí seznam Description, zobrazí se předdefinované aplikace, zvolí se Ftp a následně vybere položka Edit, která pro FTP aplikaci umožňuje nastavit hodnoty charakteristických parametrů, viz tab. 5.3. [9][10]

Tab. 5.3: Nastavení hodnot parametrů objektu aplikace FTP

Název parametru	Nastavená hodnota	Popis
Command Mix (Get / Total)	50%	Procentuální poměr mezi příkazy pro download a upload
Inter-Request Time (seconds)	exponential (10)	Doba mezi dvěma žádostmi zaslanými na FTP server
File size (bytes)	constant (500000)	Průměrná velikost souboru v bytech
Symbolic Server Name	FTP Server	Symbolické jméno serveru, se kterým klient komunikuje
Type of Service	Best Effort (0)	Parametr pro řízení QoS, kterým se určuje priorita provozovaných aplikací
RSVP Parameters	None	Parametr pro rezervování šířky pásma

## Nastavení aplikace HTTP

Následně se nastaví aplikace HTTP, a to takto: klikne se na položku row 1 a zadá se název HTTP\_application. Rozbalí se seznam u položky Description, zobrazí se předdefinované aplikace, zvolí se Http a následně vybere položka Edit. U HTTP aplikace je možné nastavit hodnoty těchto parametrů, viz tab. 5.4 [9][10]

Tab. 5.4: Nastavení hodnot parametrů objektu aplikace http

Název parametru	Nastavená hodnota		Popis	
HTTP Specification > HTTP Version	HTTP 1.1		Jméno podporované verze protokolu HTTP verze	
Max Connections	2		Maximální počet HTTP připojení na server	
Max Idle Period (seconds)	constant(10)		Maximální doba otálení mezi žádostmi na server	
Number of Pipelined Requests	All Inlined Objects in a Page		Maximální počet žádostí, které mohou být společně „bufferovány“ jednou aplikací	
Request Size (bytes)	constant(100000)		Definuje velikost jednoho požadovaného objektu	
Page Interarrival Time (seconds)	exponential(20)		Doba mezi dvěma staženými stránkami	
Page Properties				
Object size	bytes	uniform_int	Minimum outcome 2000000/Large Image	Minimální velikost objektů
	object		Maximum outcome 10000000/Large Image	Maximální velikost objektů
Number of Objects	objects	constant(1)		Počet objektů na stránce
	page	constant(7).		
Location	HTTP Server		Symbolické jméno serveru, kde je objekt uložen	
	HTTP Server			

Server Selection		Nastavení služby http
Initial Repeat Probability	Browse	Pravděpodobnost stahování stránek ze serveru
Pages Per Server	exponential(20).	Počet stránek stažených z jednoho serveru
RSVP Parameters	None	Parametr pro rezervování šířky pásma
Type of Service	Standard(2).	Parametr QoS, kterým se určuje priorita provozovaných aplikací

### 5.1.5. Nastavení parametrů objektu Profile Config

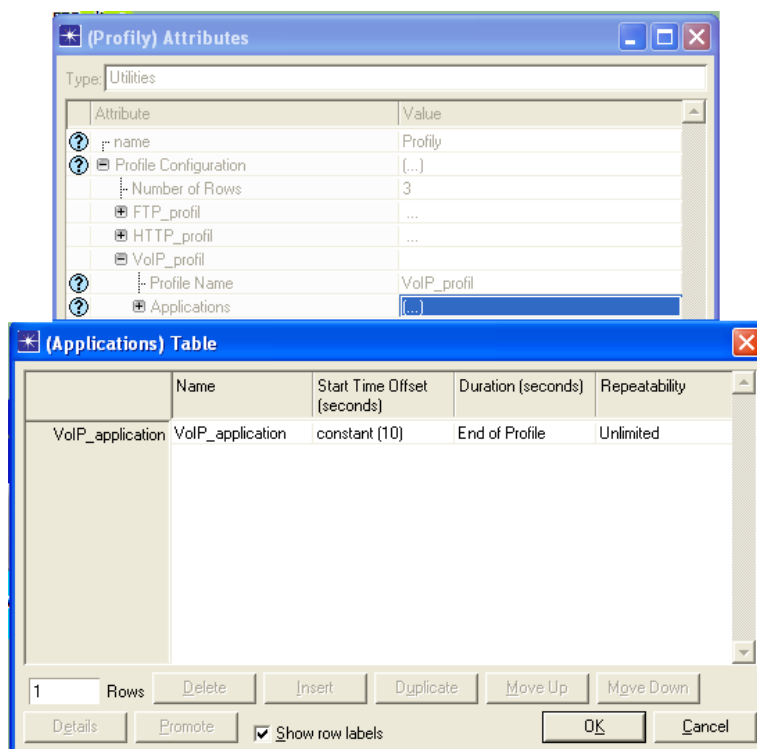
#### Nastavení VoIP profilu

Nastavení VoIP profilu, viz obr. 5.4. Rozklikne se položka row 2 a nastaví se, viz tab. 5.5, viz obr. 5.4. [9] [10]

Tab. 5.5: Nastavení hodnot parametrů objektu profilu VoIP

Název parametru	Nastavená hodnota	Popis
Profile Name	VoIP_profil	Jméno profilu
Application	VoIP_application	Zde se vloží aplikace, která byla vytvořena v objektu Application_config
Rows	1	Počet aplikací, které se budou spouštět s tímto profilem
Name	VoIP_application	Jméno aplikace, která byla vytvořena v objektu Application_config
Start Time Offset (seconds)	constant (10).	Nastaví se čas, kdy se daná aplikace spustí
Duration	End of Profile	Doba trvání dané aplikace
Repeatability	Unlimited	Udává počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování
Operation Mode	Simultaneous	Definuje, jak se budou dané aplikace spouštět. všechny aplikace startují ve stejný čas
Start Time (seconds)	constant(200).	Definuje, kdy bude profil spuštěn
Duration (seconds)	End of Simulation	Definuje dobu trvání profilu

Repeatability	Unlimited	Zde se udává počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování
---------------	-----------	---



Obr. 5.4: Nastavení VoIP profilu

### Nastavení FTP profilu

Nastavení FTP profilu: klikne se pravým tlačítkem myši a vybere se položka Edit Attributes. Rozklikne se řádek Profile Configuration, zvolí se položka rows a vybere se profil služby FTP. Rozklikne se položka Number of rows, zadá se hodnota 1 a nastaví se tyto parametry, viz tab. 5.6 [9][10]

Tab. 5.6: Nastavení hodnot parametrů objektu profilu FTP

Název parametru	Nastavená hodnota	Popis
Profile Name	FTP_profil	Jméno profilu
Application	FTP_application	Zde se vloží aplikace, která byla vytvořena v objektu Application_config
Rows	1	Počet aplikací, které se budou spouštět s tímto profilem

Name	FTP_application	Jméno aplikace, která byla vytvořena v objektu Application_config
Start Time Offset (seconds)	constant (5)	Čas, kdy se daná aplikace spustí. Při nastavení hodnoty 0 se aplikace bude spouštět ihned. Zvolí se constant (5), tzn. spuštění v čase 5 sekund od začátku profilu
Duration	End of Profile	Doba trvání dané aplikace. Služba FTP bude provozována až do konce trvání profilu
Reapeatability	Unlimited	Udává počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování
Operation Mode	Simultaneous	Definuje, jak se budou dané aplikace spouštět Lze vybrat z následujících možností: Serial (Random - náhodný), Serial (Ordered - spořádaný) a Simultaneous (aplikace startují ve stejný čas)
Start Time (seconds)	constant(5).	Definuje, kdy bude profil spuštěn
Duration (seconds)	End of Simulation	Definuje dobu trvání profilu
Repeatability	Once at Start Time	Udává počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování. Po kliknutí na položku Edit se zvolí možnost

### Nastavení HTTP profilu

Nastavení HTTP profilu: Rozklikne se položka row 1 a nastaví se, viz tab. 5.7 [9][10]

Tab. 5.7: Nastavení hodnot parametrů objektu profilu HTTP

Název parametru	Nastavená hodnota	Popis
Profile Name	HTTP_profil	Zvolí se položka Application a následně se vybere možnost HTTP_application.
Rows	1	Počet aplikací, které se budou spouštět s tímto profilem
Name	HTTP_application	Jméno aplikace, která byla vytvořena v objektu Application_config. Zvolí se aplikace
Start Time Offset (seconds)	constant(5)	Nastavení času, kdy se aplikace spustí

Duration	End of Profile	doba trvání dané aplikace
Repeatability	Unlimited	Udává počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování
Operation Mode	Simultaneous	Definuje, jak se budou dané aplikace spouštět. Je možno volit z těchto možností: Serial (Random – náhodný) – postupné spouštění aplikací v náhodném pořadí, Serial (Ordered - spořádaný) – postupné spouštění aplikací v pevně definovaném pořadí, nebo Simultaneous – všechny aplikace startují ve stejný čas.
Start Time Offset (seconds)	constant(10)	Definuje, kdy bude profil spuštěn
Duration (seconds)	End of Simulation	Definuje dobu trvání profilu
Repeatability	Once at Start Time	Udává počet opakování a časový odstup k dalšímu zopakování

### 5.1.6. Nastavení parametrů objektů UE (User Equipment)

#### Nastavení objektu UE VoIP\_client1

Nejdříve se provede nastavení objektu se jménem VoIP\_client1. Jde o klienta služby VoIP. Tento klient bude volat VoIP\_client2. Nejdříve se nastaví příslušný profil aplikace VoIP. Kliknutím pravým tlačítkem na klienta se zobrazí okno, ze kterého se zvolí položka Edit Attributes. Rozklikne se položka Applications a zvolí možnost Application > Supported Services. Vybere se Edit a hodnota rows se nastaví na 1. V tabulce ve sloupci Name se vybere VoIP\_application, v řádku Description se zvolí možnost Supported a provedené změny se potvrdí tlačítkem OK.

Dále se rozkliknou položky UMTS > UMTS QoS Profile Configuration a u konverzační třídy provozu (Conversational) a u streamingové třídy provozu (Streaming) se změní hodnoty u obou parametrů v Bit Rate Config:

- **Maximum Bit Rate Uplink** a **Maximum Bit Rate Downlink** na hodnotu 200 kbps. Tato hodnota upřesňuje maximální komunikační garantovanou přenosovou rychlost pro uplink či downlink spojení. Příliš nízká hodnota může způsobit trvajícím naplněním QoS bufferu a tedy ztrátu spojení. Příliš vysoká hodnota by vedla k plýtvání se zdroji v buňkách, se kterými UE navázalo rádiové spojení, viz obr. 5.5. [9]

Nastavení PDCP Compression: Pravým tlačítkem se klikne na VoIP\_client1, zvolí se UMTS:

- **UMTS PDCP Compression** > Enable. V uživatelské rovině má vrstva Packet Data Convergence Protocol (PDCP) na starosti přenosy a příjem PDU s použitím služeb zajišťovaných RLC protokolem a kompresi a dekompresi záhlaví. [9]

### **Nastavení objektu UE FTP**

Nastaví se objekt provozující aplikaci FTP s názvem FTP\_client, který bude komunikovat se serverem FTP. Po kliknutí pravým tlačítkem na klienta se v menu vybere položka Edit Attributes. Rozklikne se položka Applications a zvolí možnost Application > Supported Profiles. Hodnota rows se nastaví na 1. Dále se rozklikne položka rows a v řádku Profile Name se vybere FTP\_profil.

Nastavení PDCP Compression: Pravým tlačítkem se klikne na FTP\_client, zvolí se:

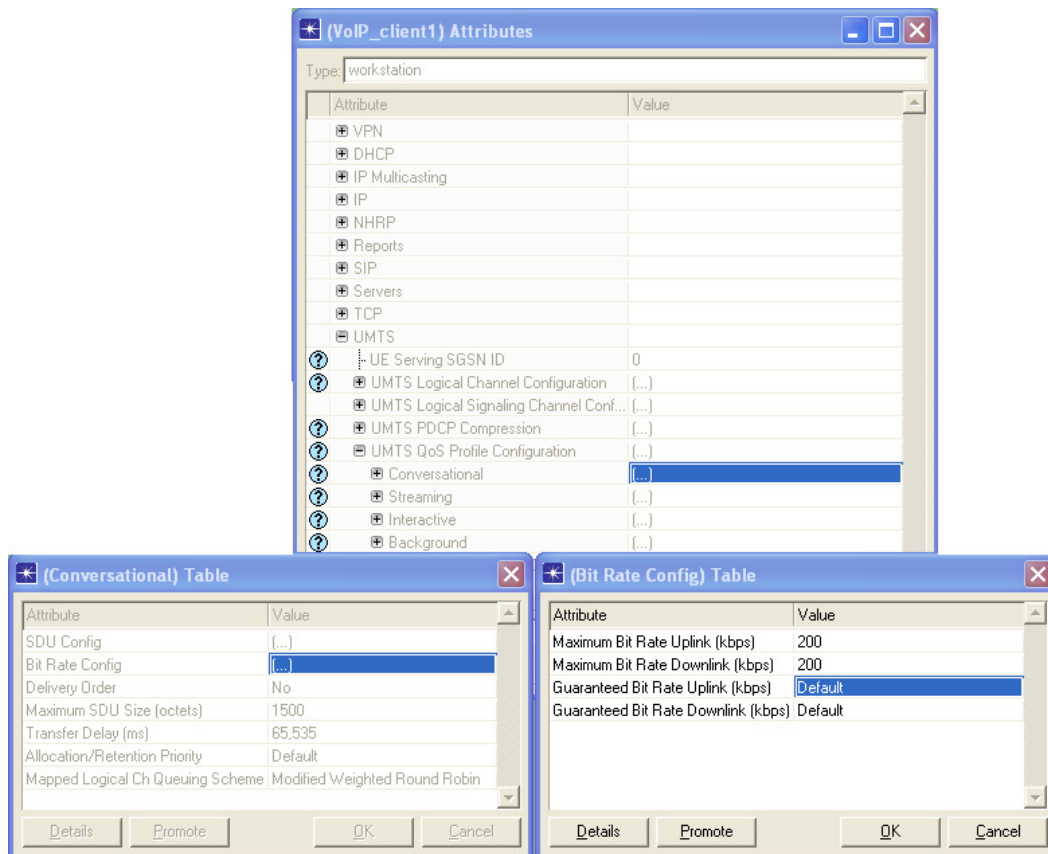
- **UMTS PDCP Compression** > Enable. [9]

### **Nastavení objektu UE HTTP**

Dále se nastaví objekt pojmenovaný jako HTTP\_client. Jedná se o klienta služby http a bude spojován se serverem HTTP. Nejdříve se nastaví HTTP profil. Klikne se pravým tlačítkem na klienta a z menu se vybere položka Edit Attributes. Rozklikne se položka Applications a zvolí možnost Application > Supported Profiles, hodnota rows se nastaví na 1. Dále se rozklikne nová položka rows a v řádku Profile Name se vybere HTTP\_profil.

Nastavení PDCP Compression : Pravým tlačítkem se klikne na HTTP\_client, zvolí se:

- **UMTS PDCP Compression** > Enable. [9]



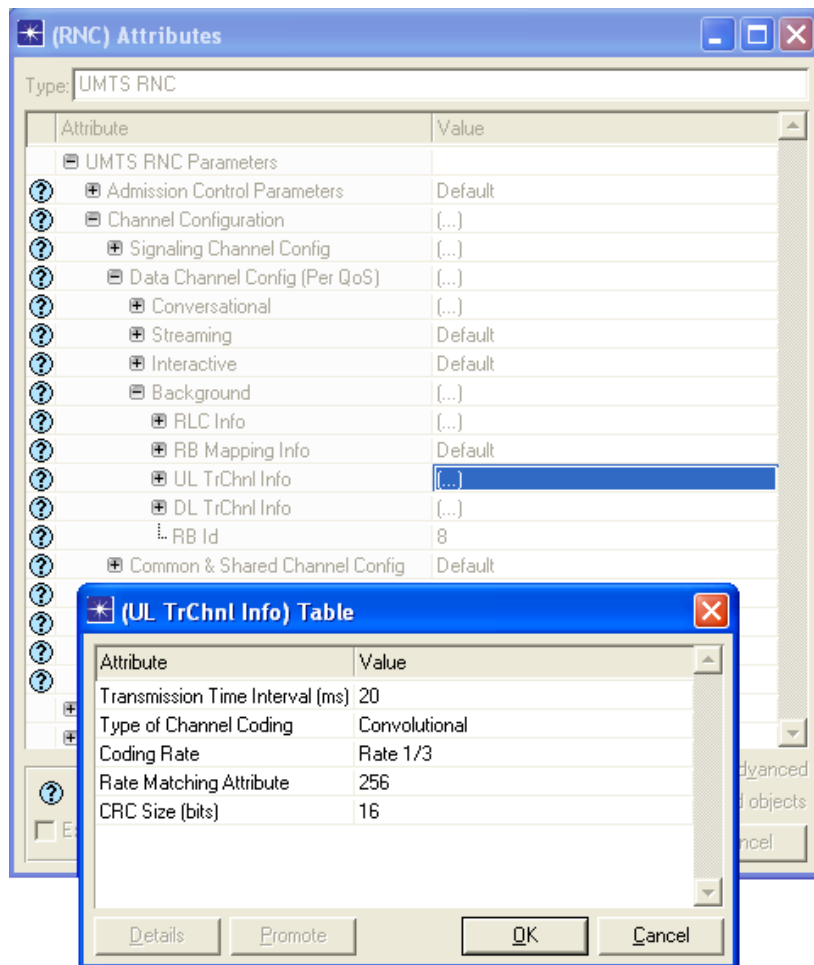
Obr. 5.5: Nastavení parametrů objektu VoIP\_Client1

### 5.1.7. Nastavení parametrů objektu RNC

Nastavení parametrů objektu RNC se provede následovně: Pravým tlačítkem myši se klikne na objekt RNC, vybere se Edit Attributes, kde se zadá jméno RNC a v položce UMTS RNC Parameters, Handover Parameters a u položky Soft Handover se nastaví Supported. U **Active Set Size** se nastaví hodnota 2.

V UMTS RNC Parametr > Channel Configuration > Data Channel Config (Per QoS)  
> Background:

- **Ul TrChnl Info** a u **DL Tr Chnl Info** se nastaví hodnota 10. Tyto parametry jsou požadovány k výpočtu přenosové rychlosti kanálu z rychlosti informací na základě použitého kanálového kódování. Model v současnosti podporuje konvoluční kanálové kódování s tečkováním, viz obr. 5.6. [9]

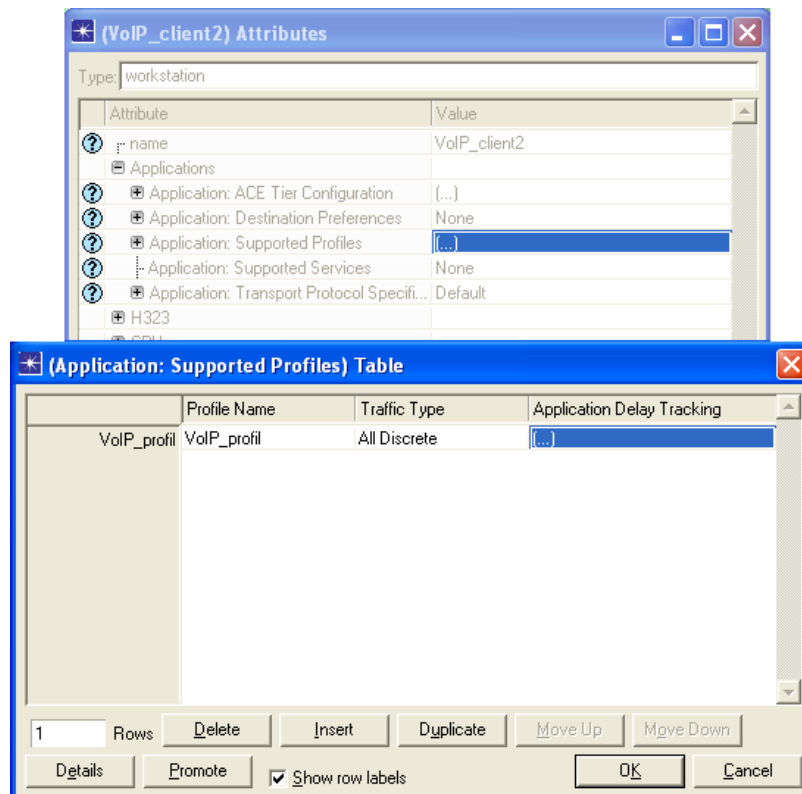


Obr. 5.6: Nastavení parametrů objektu RNC

### 5.1.8. Nastavení parametrů objektu VoIP\_client2

Nastavení objektu serveru pojmenovaného jako VoIP\_client2.

Stisknutím pravého tlačítka na objekt VoIP\_client2 se zvolí okno Edit Attribute, po rozkliknutí položky Applications se vybere Application > Supported Profiles, kde se zvolí Edit... Hodnota Rows se nastaví na 1 a v následující tabulce se ve sloupci Name vybere VoIP\_application. V řádku Traffic Type se nastaví na All Discrete a potvrdí se tlačítkem OK, viz obr. 5.7.



Obr. 5.7: Nastavení parametrů objektu VoIP\_client2

### 5.1.9. Nastavení parametru objektů serverů FTP a HTTP

Nastavení objektu serveru pojmenovaného jako FTP.

Stisknutím pravého tlačítka na objekt serveru FTP se zvolí okno Edit Attribute, po rozkliknutí položky Applications se vybere položka Application > Supported Services a zvolí možnost Edit... Hodnota Rows se nastaví na 1 a v následující tabulce se ve sloupci Name vybere FTP\_application. V řádku Description nastavit na Supported a potvrdit tlačítkem OK.

Druhý server pojmenovaný HTTP se nastaví takto:

Stisknutím pravého tlačítka na objekt serveru HTTP se zvolí okno Edit Attribute, po rozkliknutí položky Applications se vybere položka Application: Supported Services a zvolí možnost Edit. Hodnota Rows se nastaví na 1 a v následující tabulce se ve sloupci Name vybere HTTP\_application. V řádku Description nastavit na Supported a potvrdit tlačítkem OK.

### 5.1.10. Nastavení sledovaných parametrů

Aby bylo možno sledovat požadované charakteristiky, nastaví se charakteristické parametry jednotlivých objektů tímto způsobem:

Pravým tlačítkem myši se klikne na volnou plochu a vybere položka Choose Individual DES Statistics. V následujícím zobrazeném okně Choose Results se zvolí Global Statistics a vybere se položka Ftp, Http a Voice.

V Node Statistics se vyberou položky **Client Ftp, Client Http, Server Ftp, Server Http, UMTS Cell, UMTS UE RLC/MAC (PER PHY CHNL), Voice Called Party a Voice Calling Party**. Výběr se provádí kliknutím pravým tlačítkem myši na volnou plochu a následným zvolením položky Choose Individual DES Statistics. Zobrazí se okno Choose Results. Pro dané účely se v Global Statistics vyberou položky **Ftp, Http, Voice**. V Node Statistics se zvolí položky **Client Ftp, Client Http, Server Ftp, Server Http, UMTS Cell, UMTS Handover, UMTS UE RLC/MAC (PER PHY CHNL), Voice Called Party a Voice Calling Party**.

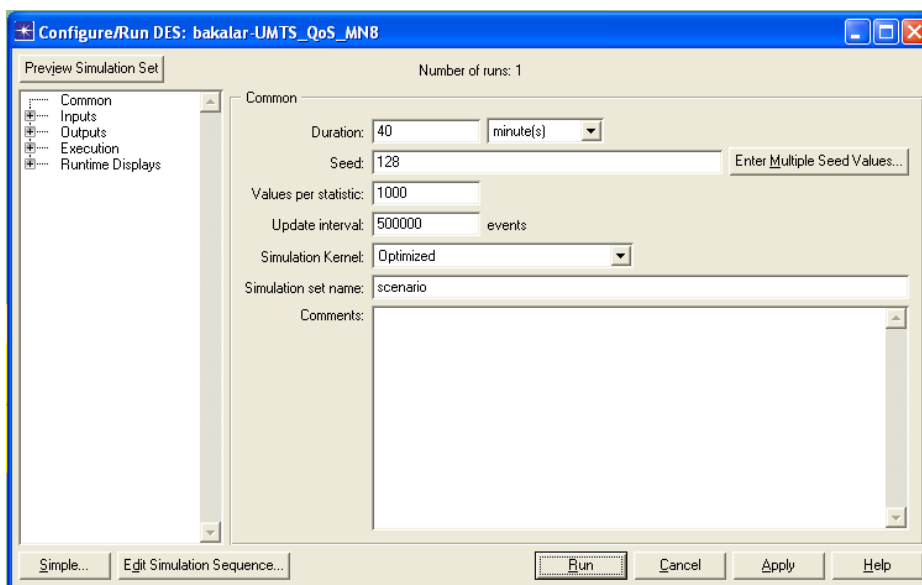
### 5.1.11. Simulace provozu

Simulace se spustí buď z hlavního menu a to pomocí „Configure/Run Discrete Event Simulation (DES) anebo pomocí stejně pojmenované ikony v horní liště projektu.

Po zobrazení okna Configure/Run DES se nastaví tyto parametry simulace, viz tab.5.8, viz obr. 5.8.

Tab. 5.8: Nastavení hodnot simulace provozu

Název parametru	Nastavená hodnota	Popis
Duration (minuty)	40	Nastavení doby simulace
Speed	128	Rychlost
Value per statistic	1000	Nastavení počtu hodnot, které budou z každé statistiky uloženy
Update interval	500000	Po kolika událostech se aktualizuje křivka počtu událostí
Simulation kernel	Optimized	Nastavení kernelu simulace



Obr. 5.8: Simulace provozu

### 5.1.12. Zobrazení výsledků

Výsledky se zobrazí pomocí tlačítka, které opět nalezneme buď v hlavním menu editoru DES > Results > View Results, nebo ve stejně pojmenované ikoně v horní liště projektu.

## 5.2. Konfigurace scénáře bez QoS

V další fázi bakalářské práce bude vypnut u vybraných objektů mechanismus QoS. Bude vytvořen nový duplicitní scénář s názvem „bakalar Scenario: UMTS\_QoS\_MN17“. Následně budou popsány pouze položky, u kterých se budou měnit parametry. Ostatní parametry zůstanou nezměněny.

### 5.2.1. Nastavení parametrů objektu Application Config (VoIP a HTTP)

Nastavení parametrů objektu Application\_Config se provádí takto: klikne se na objekt pravým tlačítkem myši, zvolí se položka Edit Attributes, rozbalí se seznam u položky Application Definition, rozklikne se VoIP\_application a u Description se klikne na (...), kde se zvolí Edit.

## Nastavení aplikace VoIP

- **Type of Service** – parametr QoS, kterým se určuje priorita provozovaných aplikací. Nastaví se na Best Effort (0).

## Nastavení aplikace HTTP

Dále u aplikace HTTP, se bude postupovat stejným postupem, jako u VoIP\_application, pouze se vždy vybere http a změní se tento parametr:

- **Type of Service** – parametr QoS, kterým se určuje priorita provozovaných aplikací. Nastaví se na Best Effort (0).

### 5.2.2. Nastavení parametrů objektu UE (User Equipment)

#### Nastavení objektu UE VoIP\_client1

U VoIP\_clienta se nastaví nazpět přenosová rychlost u konverzační i u streamingové třídy na původní hodnotu tímto postupem:

Pravým tlačítkem se klikne na VoIP\_client1, zvolí se UMTS > UMTS QoS Profile Configuration > Edit > Conversational > Edit > Bit Rate Config > Edit a u položek:

- **Maximum Bit Rate Uplink (kbps)** a u **Maximum Bit Rate Downlink (kbps)** se zvolí default. Stejně se bude postupovat i u Streaming.

Nastavení PDCP Compression: Pravým tlačítkem se klikne na VoIP\_client1, zvolí se UMTS:

- **UMTS PDCP Compression** > Disable. V uživatelské rovině má vrstva Packet Data Convergence Protocol (PDCP) na starosti přenosy a příjem PDU s použitím služeb zajišťovaných RLC protokolem a kompresi a dekompresi záhlaví. [9]

#### Nastavení objektu UE FTP

Nastavení u FTP\_client Nastavení PDCP Compression: Pravým tlačítkem se klikne na FTP\_client, zvolí se:

**UMTS UMTS PDCP Compression** > Disable. [5]

## Nastavení objektu UE HTTP

Nastavení u HTTP\_client: Nastavení PDCP Compression: Pravým tlačítkem se klikne na HTTP\_client, zvolí se UMTS:

**UMTS PDCP Compression** > Disable. [9]

### 5.2.3. Nastavení parametrů objektu RNC

Nastavení parametrů objektu RNC se provede následovně: Pravým tlačítkem myši se klikne na objekt RNC, vybere se Edit Attributes > UMTS RNC Parametrs > Channel Configuration > Data Channel Config (Per QoS) > Background:

- **UL TrChnl Info** a u **DL Tr Chnl Info** se nastaví na default. Tyto parametry jsou požadovány k výpočtu přenosové rychlosti kanálu z rychlosti informací na základě použitého kanálového kódování. Model v současnosti podporuje konvoluční kanálové kódování s tečkováním. [9]

### 5.2.4. Simulace provozu

Simulace se spustí buď z hlavního menu a to pomocí „Configure/Run Discrete Event Simulation (DES) nebo pomocí stejné ikony v horní liště projektu.

Po zobrazení okna Configure/Run DES se nastaví tyto parametry simulace, viz tab. 5.9

Po zadání všech hodnot simulace může být spuštěna tlačítkem Run.

Tab. 5.9: Nastavení hodnot simulace provozu

Název parametru	Nastavená hodnota	Popis
Duration (minuty)	40	Nastavení doby simulace
Speed	128	Rychlost
Value per statistic	1000	Nastavení počtu hodnot, které budou z každé statistiky uloženy
Update interval	500000	Po kolika událostech se aktualizuje křivka počtu událostí
Simulation kernel	Optimized	Nastavení kernelu simulace

### 5.2.5. Zobrazení výsledků simulace

Výsledky se zobrazí pomocí tlačítka, které opět nalezneme buď v hlavním menu editoru DES > Results > View Result a nebo ve stejně pojmenované ikoně v horní liště projektu.

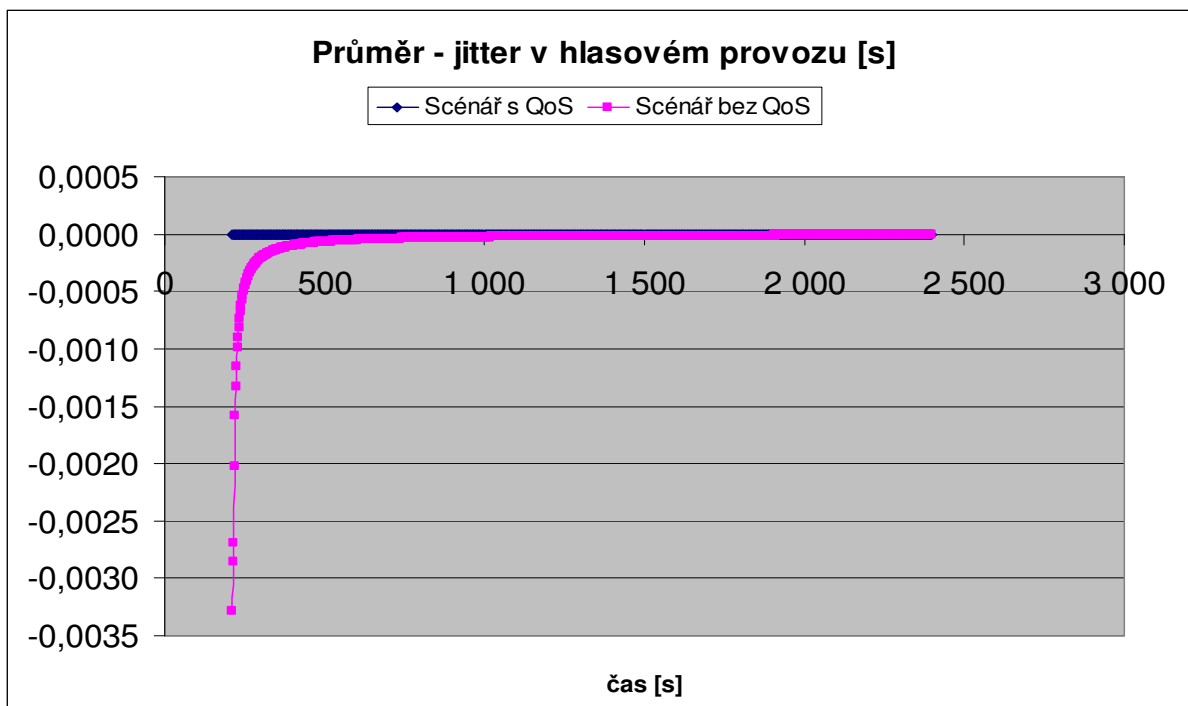
### 5.3. Výsledky simulací a jejich popis

Na obr. 5.9 je srovnání nežádoucího kolísání zpoždění paketů při průchodu sítí – jitter.

U scénáře bez QoS se jitter vyskytuje pouze na začátku hlasového přenosu a s přibývajícím časem postupně stoupá z hodnoty -0,0034 k hodnotě 0, což trvá přibližně do 1200. sekundy. Poté se ustálí na nulové hodnotě.

U scénáře s QoS pozorujeme konstantní nulovou hodnotu po celou dobu hlasového přenosu. Obecně se dá říct, že lepších výsledků dosahuje jitter s nulovými hodnotami.

Lepších výsledků vykazuje scénář s QoS, ale na druhou stranu ani u scénáře bez QoS nedochází k žádnému nežádoucímu kolísání zpoždění paketů. To znamená, že ani v jednom nastavení konfigurace sítě UMTS nedojde k nežádoucím výpadkům řeči při hlasovém telefonním provozu.



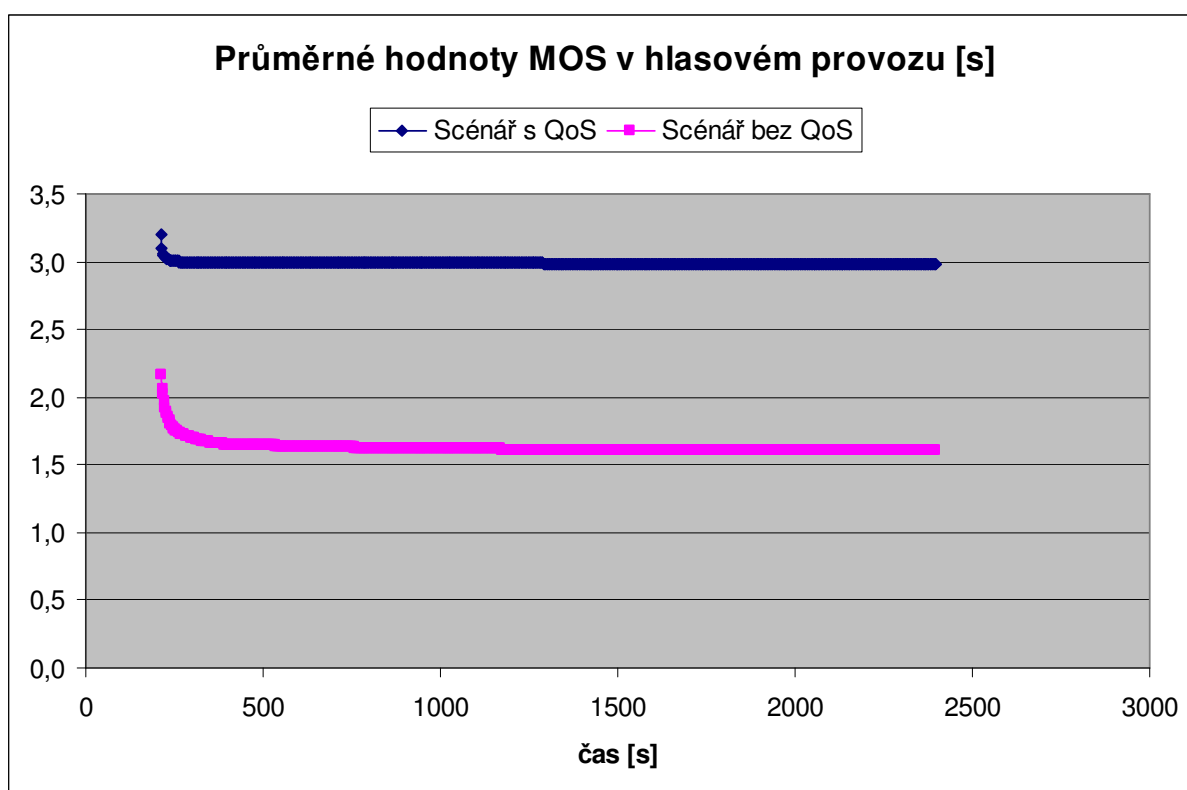
Obr. 5.9: Zobrazení nežádoucího kolísání zpoždění paketů – jitter

Na obr. 5.10 je srovnání měření QoS parametrů - MOS. MOS hodnotí některé parametry, jako jsou: hlasový výkon (včetně hlasové kvality), datový výkon, síťový výkon (včetně poruch). Stupnice MOS je definována pro slabý provoz do 3,6, pro přijatelný provoz v rozmezí od 3,6 do 4,1 a pro dobrý provoz od 4,1 do 5.

Zde je vidět, že u scénáře bez QoS – růžová křivka – vykazuje hodnotu 1,65.

U scénáře s QoS – modrá křivka – vykazuje daleko lepší hodnotu 3.

Hodnota MOS u scénáře bez QoS dosahuje velmi špatných výsledků a u scénáře s QoS je výsledek o řád vyšší, ale pořád nedosahuje patřičné úrovně. Příčina může být dána nespecifikovanými problémy buď v hardwarovém nebo softwarovém nastavení simulace.



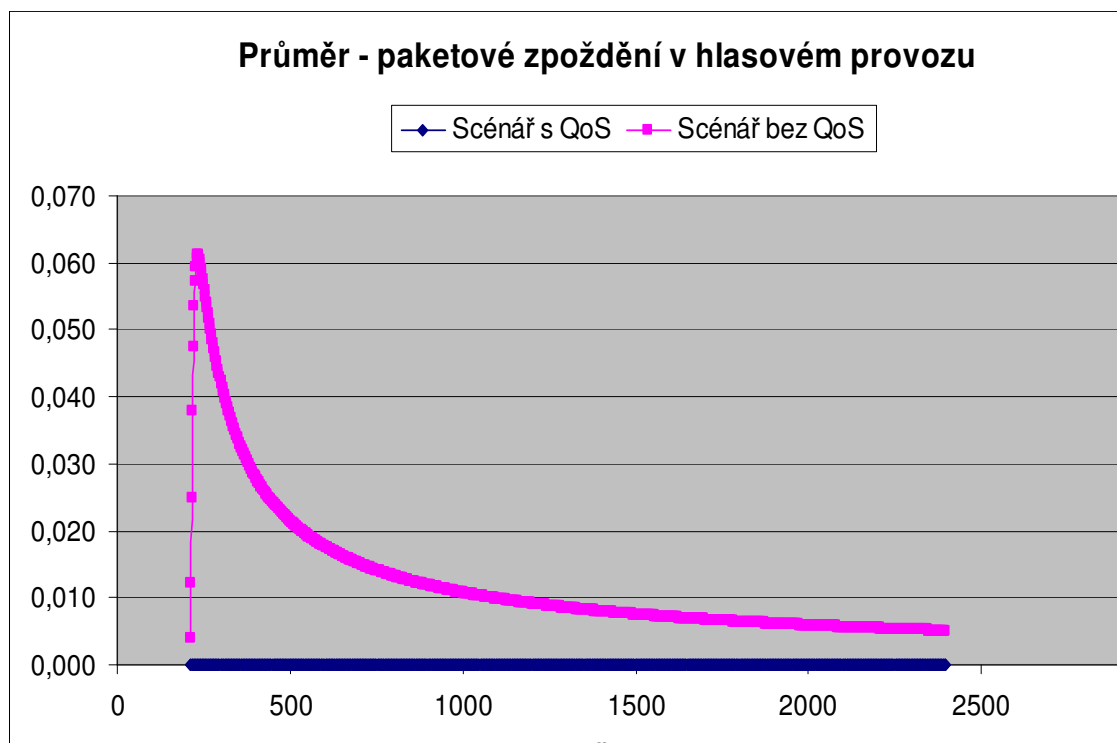
Obr. 5.10: Srovnání měření QoS parametru – MOS

Na obr. 15.11 je srovnání kolísání paketového zpoždění v hlasovém provozu. Zpoždění může negativně ovlivňovat kvalitu komunikace.

Zde je vidět, že u scénáře bez QoS – růžová křivka grafu – se projevuje větší zpoždění paketů – hodnota 0,061, a to hned při začátku simulace, než u scénáře s QoS. Od této hodnoty se exponenciálně snižuje k hodnotě 0,001. Důvodem může být vysoká zátěž sítě po 200.

sekundě, kdy se s hlasovým provozem simultánně spouští aplikace provozující FTP i HTTP datový provoz.

U scénáře s QoS – modrá křivka grafu – paketové zpoždění není.



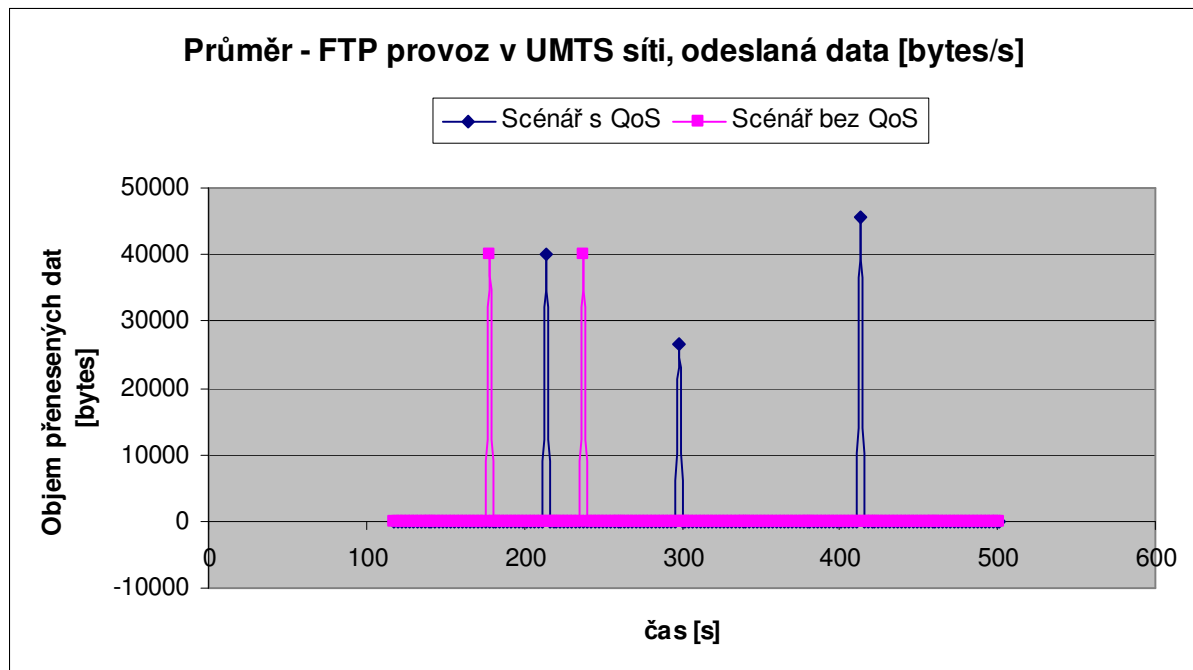
Obr. 5.11: Paketové zpoždění v hlasovém provozu

Na obr. 5.12 je graf ftp odchozího provozu.

U scénáře bez QoS dochází k přenosu dat v 170. sekundě a v 240. sekundě přenosovou rychlostí 40 kilobytes/s. Poté dochází k trvalému exponenciálnímu poklesu přenosové rychlosti.

U scénáře s QoS dosahuje přenosová rychlost v 210. sekundě hodnoty 40 kilobytes/s. Poté se nepatrně sníží v 300. sekundě na 28 kilobytes/s, ale v 410. sekundě dosahuje své maximální hodnoty 48 kilobytes/s. Od této hodnoty dochází k postupnému snižování přenosové rychlosti.

Data jsou u obou scénářů nerovnoměrně přenášena v čase, což u aplikace ftp nevadí. Klient FTP je záměrně zařazen do scénářů simulací a to proto, aby bylo zajištěno zatížení sítě UMTS. Při větším zatížení sítě můžeme lépe pozorovat chování hlasového provozu s mechanismy zajišťující QoS a bez QoS.



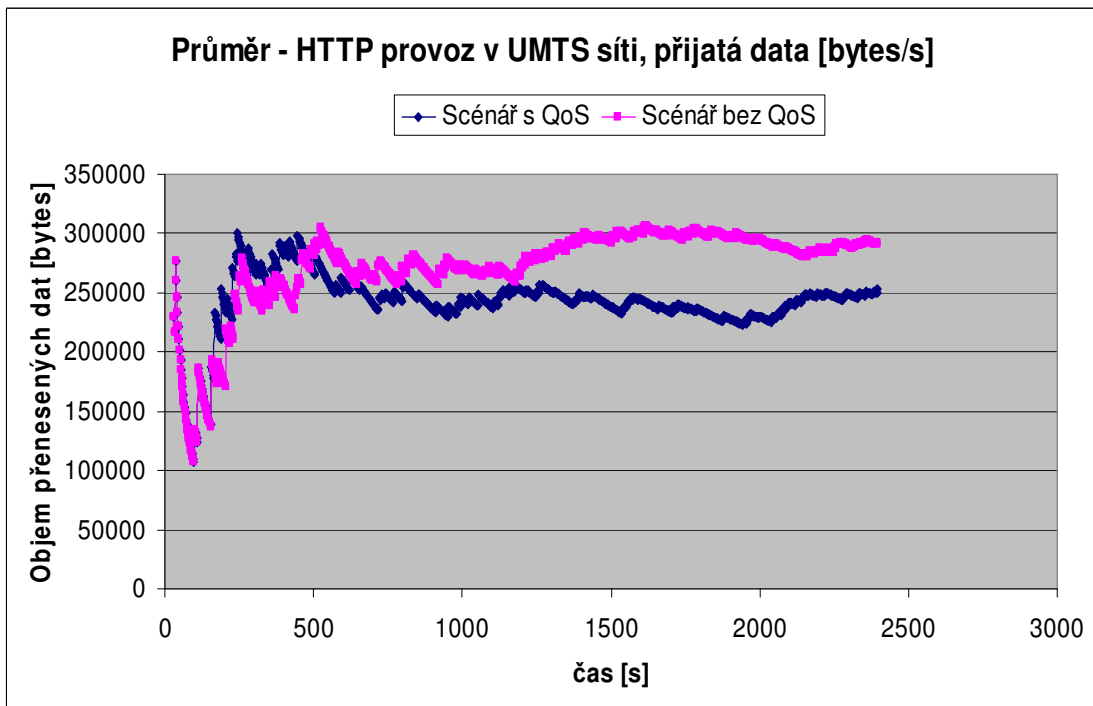
Obr. 5.12: FTP provoz v UMTS sítích – odeslaná data

Na obr. 5.13 je srovnání http příchozího provozu v síti UMTS.

Aplikace http se u obou scénářů - bez QoS – růžová křivka i s QoS – modrá a křivka spouští v 5 sekundě a je ukončena s koncem simulace.

Na grafu je vidět, že průměrná bytová (přenosová) rychlost přijatých bytů u scénáře bez QoS je v průměru větší než u scénáře s QoS. Také nejvyšší dosažená přenosová rychlost u scénáře bez QoS u přijatých bytů je vyšší (305 kilobytes/sec), zatím co u scénáře s QoS (300 kilobytes/sec).

Důvod může být ten, že model s QoS si rezervuje širší přenosové pásmo, právě pro zajištění Quality of Services, v našem případě pro přenos hlasového provozu, na úkor jiných aplikací nevyžadující QoS.



Obr. 5.13: HTTP provoz v UMTS sítích – přijatá data

## 6. ZÁVĚR

Cílem této práce bylo nastínit problematiku zajištění kvality služeb v UMTS sítích, se zaměřením na proces vyjednávání nastavení kvality služeb a parametrů hovoru při sestavování spojení. Byl podán základní popis architektury UMTS sítě a jednotlivých komponentů, z nichž UMTS síť sestává. Dále byla pozornost věnována jednotlivým metodám a přístupům k zajištění kvality služeb v těchto sítích.

V praktické části bakalářské práce byl podrobně popsán projekt vytvořený v simulačním programu OPNET Modeler ver. 14.5, a to od vytvoření nového projektu, přes výběr jednotlivých objektů UMTS sítě, jejich nastavení (nejprve s QoS a dále pro porovnání bez QoS), až po spuštění simulace a zobrazení jejich výsledků.

V závěrečné části jsou vyobrazeny grafy s popisem simulace nežádoucího kolísání zpoždění paketů – Jitter, srovnání měření QoS parametru – MOS, paketového zpoždění v hlasovém provozu a simulace přenosové rychlosti jak pro hlasový provoz, tak také i pro aplikace spojené s ftp a http provozem. Ze všech naměřených výsledků je patrné, že u modelu simulujícího provoz v síti UMTS se zajištěním Quality of Service vykazují naměřené hodnoty v porovnání s modelem simulujícím provoz v síti UMTS bez zajištění Quality of Service lepší parametry, a je tedy zajištěn bezpečnější provoz.

## 7. POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BAUDET S., Besset-Bathias C., Frene P., Giroux N.: QoS implementation in UMTS networks, dostupné z WWW <[www1.alcatel-lucent.com/doctypes/articlepaperlibrary/pdf/ATR2001Q1/gb/09baudetgb.pdf](http://www1.alcatel-lucent.com/doctypes/articlepaperlibrary/pdf/ATR2001Q1/gb/09baudetgb.pdf)>
- [2] KAARANEN H. et al.: UMTS Networks: Architecture, Mobility and Services. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 2005.
- [3] NAWROCKI M., AGHVAMI H., DOHLER M.: Understanding UMTS Radio Network Modelling, Planning and Automated Optimisation: Theory and Practice. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 2006.
- [4] OPNET, official website, dostupné z WWW  
[http://www.opnet.com/solutions/network\\_rd/modeler.html](http://www.opnet.com/solutions/network_rd/modeler.html)
- [5] OPNET TECHNOLOGIES, Opnet Modeler Product Documentation Release 14.5, Opnet Technologies Inc., 2008.
- [6] PETERKA Jiří, Báječný svět počítačových sítí, dostupné z WWW  
<[http://www.earchiv.cz/i\\_bajecnysvet.php3](http://www.earchiv.cz/i_bajecnysvet.php3)>
- [7] PETRI Possi, UMTS World, dostupné z WWW<<http://www.umtsworld.com/technology/technology.htm>>
- [8] SOLDANI D., LI M., CUNY R.: QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems. Chichester: John Wiley & Sons, 2006.
- [9] TOMAN Petr, Modelování zajištění kvality služeb v síti UMTS, Vysoké učení technické v Brně, 2006
- [10] WANG Haibo, PRASAD Devendra: End-2-End QoS Provisioning in UMTS networks, dostupné z WWW  
[http://kom.aau.dk/group/04gr995/Report/UMTSQoSReport\\_v8.pdf](http://kom.aau.dk/group/04gr995/Report/UMTSQoSReport_v8.pdf)

## Seznam použitých zkratk

APN	Access Point Name	název přístupového bodu
BER	Bit Error Rate	bitová chybovost
BS	Bearer Service	přenosová služba
BSC	Base Station Controller	ovladač základnové stanice
BTS	Base Transfer Station	základnová stanice
CN	Core Network	jádro sítě, hlavní síť
CS	Circuit Switched	okruhově spínaný
DiffServ	Differentiated Services	diferencované služby
ETSI	European Telecommunications Standards Institute	Evropský ústav pro telekomunikační normy
GGSN	Gateway GPRS Support Node	GPRS brána
GMSC	Gateway MSC	brána mobilní ústředny
GSM	Global System for Mobile Communications	globální systém pro mobilní komunikaci
GPRS	General Packet Radio Service	paketové datové přenosy v síti GSM
HLR	Home Location Register	domovský lokační registr
ICMP	Internet Control Message Protocol	
IMS	IP Multimedia subsystem	multimediální subsystém IP
IMT-2000	International Mobile Telecommunications - 2000	globální standart bezdrátový komunikace třetí generace
IntServ	Integrated Services	integrované služby
IP	Internet Protocol	internetový protokol
ISDN	Integreted Services Digital Network	digitální síť integrovaných služeb
ITU	International Telecommunication Union	Mezinárodní telekomunikační unie
LDP	Label Distribution Protocol	
LSP	Label Switched Path	
LSR	Label Switching Routers	routery s přepínáním návěstí
MBS	maximum burst size	maximální velikost shluku
ME	Mobile Equipment	mobilní zařízení
MPLS	Multi Protocol Label Switching	
MSC	Mobile Switching Center	mobilní ústředna
MT	Mobile Terminal	mobilní terminál
NGN	Next Generation Networks	sítě příští generace
NMT	Nordic Mobile Telephone	severská mobilní síť
Node B		základnová stanice v UMTS síti
NRT	Non-Real Time	nepracující v reálném čase
PCR	peak cell rate	maximální rychlost zdroje
PDP	Packet Data Protocol	paketový datový protokol
PHB	Per-Hop Behavior	chování při přeskoce
PS	Packet Switched	paketově spínaný

PSTN	Public switched telephone network	standardní telefonní síť
QoE	Quality of Experience	vnímaná kvalita
QoS	Quality of Service	kvalita služby
RAB	Radio Access Bearer Service	přenosová služba rádiové přístupové sítě
RAN	Radio Access Network	rádiová přístupová síť
RB	Radio Bearer	rádiová přenosová služba
RLC	Radio Link Control	řízení rádiového spoje
RNS	Radio Network Subsystem	rádiový síťový subsystém
RNC	Radio Network Controller	řídící jednotka rádiové sítě
RSVP	Resource Reservation Protocol	protokol rezervace zdrojů
RT	Real Time	pracující v reálném čase
SCR	sustained cell rate	průměrná rychlost zdroje
SDU	Service Data Unit	datová jednotka služby
SGSN	Serving GPRS Support Node	datový uzel GPRS
TE	Terminal Equipment	koncové zařízení
TFT	Traffic Flow Template	soubor filtrů pro zpracování datových toků
UE	User Equipment	uživatelské zařízení
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System	univerzální mobilní telekomunikační systém
USIM	UMTS Subscriber Identity Module	SIM karta v UMTS síti
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network	rádiová přístupová síť pro UMTS
VLR	Visitor Location Register	návštěvnícký lokační registr
VoIP	Voice over Internet Protocol	hlas přes internetový protokol
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access	technologie širokopásmového mnohonásobného přístupu s kódovým dělením
X.25		protokol přepínání paketů
1G	first generation	první generace
2G	second generation	druhá generace
3G	third generation	třetí generace
3GPP	The 3rd Generation Partnership Project	Partnerský projekt třetí generace

# **PŘÍLOHA**

CD s adresářem OPNET. Spustitelné v programu Opnet Modeler ver. 14.5

Elektronická verze bakalářské práce