

# 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

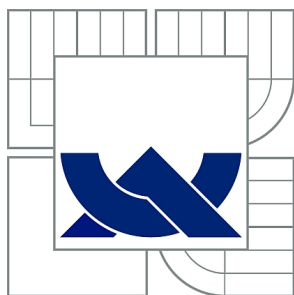
ANALÝZA ŘÍDICÍHO PROVOZU V MOBILNÍCH SÍTÍCH 4. GENERACE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

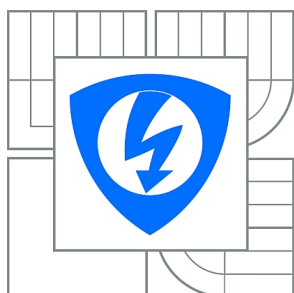
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

FILIP NGUYEN

BRNO 2014



**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

# **ANALÝZA ŘÍDICÍHO PROVOZU V MOBILNÍCH SÍTÍCH 4. GENERACE**

CONTROL PLANE ANALYSIS IN 4G MOBILE NETWORKS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
BACHELOR'S THESIS

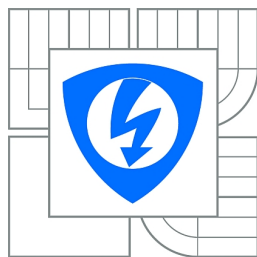
**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**FILIP NGUYEN**

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

**doc. Ing. VÍT NOVOTNÝ, Ph.D.**

BRNO 2014



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav telekomunikací**

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Teleinformatika**

**Student:** Filip Nguyen

**ID:** 146915

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2013/2014

## NÁZEV TÉMATU:

**Analýza řídicího provozu v mobilních sítích 4. generace**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s problematikou mobilních sítí LTE-EPC. Zaměřte se především na řídicí rovinu a její protokolovou výstavbu. Prostudujte základní řídicí procedury týkající se činnosti uživatele v mobilní síti, jako jsou přihlášení se do sítě, změna sledovací oblasti, žádost o službu a podporu QoS, vyvolání cíle a přijetí žádosti o spojení, handover a ukončení spojení, a rozeberte možné příčiny chybových stavů a způsob jejich indikace. Navrhněte sadu výkonnostních indikátorů hodnotících mobilní síť z hlediska řídicí roviny, po konzultaci se školitelem vyberte některé z nich, sestavte vztahy pro jejich výpočet a navrhněte vhodné způsoby zjištění potřebných parametrů pro jejich výpočet, realizujte analýzu vzorku datového provozu a výsledky zhodnoťte.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] GUNNAR, H. Long Term Evolution - Signaling & Protocol Analysis. Inacon, ISBN 978-3-936273-61-8
- [2] SESIA S., TOUFIK I., BAKER M., LTE – the UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice. John Wiley & Sons, ISBN: 978-0-470-69716-0, GB, 2009

**Termín zadání:** 10.2.2014

**Termín odevzdání:** 4.6.2014

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

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Jiří Mišurec, 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 části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Cílem této práce je seznámení se systéme LTE, především s EPC systémemem. Rozbor protokolové výbavy tohoto systému a popis signálu při základních procedurách jako je přihlášení do systému, změna sledovací oblasti, handover, paging apod. Dále byly navrženy výkonnostní idikátory systému EPC.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

LTE, EPC, KPI, Handover, Paging, QoS, Bearer, Přihlášení do sítě

## **ABSTRACT**

The aim of this paper is to introduce the LTE system, especially with the EPC system. Protocol analysis equipment of the system and the description of the signal at the fundamental procedures such as logging into the system, change the viewing area, handover, paging, etc. and were designed idikátory of system performance EPC.)

## **KEYWORDS**

LTE, EPC, KPI, Handover, Paging, QoS, Bearer, Attach to network

NGUYEN, Filip *Analýza řídicího provozu v mobilních sítích 4. generace*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav telekomunikací, 2014. 50 s. Vedoucí práce byl Doc. Ing. Vít Novotný, Ph. D

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Analýza řídicího provozu v mobilních sítích 4. generace“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu semestrální práce panu Doc. Ing. Vítu Novotnému, Ph.D. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

<b>1</b>	<b>Řešení studentské práce</b>	<b>9</b>
1.1	Stručná historie mobilních sítí . . . . .	9
1.1.1	Sítě 1.generace . . . . .	9
1.1.2	Sítě 2.generace . . . . .	9
1.1.3	Sítě 3.generace . . . . .	10
1.1.4	Sítě 4.generace . . . . .	11
1.2	Hlavní architektura LTE . . . . .	12
1.2.1	User equipment UE . . . . .	12
1.2.2	E-UTRAN . . . . .	12
1.2.3	Evolved Packet Core EPC . . . . .	13
1.3	IMSI, TMSI a GUTI identifikátory . . . . .	15
1.3.1	TMSI . . . . .	16
1.3.2	Identifikátor GUTI . . . . .	16
1.4	Protokolový model sítě 4. generace . . . . .	17
1.4.1	Protokoly na rozhraní Uu a S1 . . . . .	17
1.4.2	Funkce protokolů na rozhraní Uu . . . . .	17
1.4.3	Protokoly na rozhraní S1 . . . . .	20
1.4.4	Protokolová výbava ostatních rozhraní . . . . .	20
1.4.5	GTP-C . . . . .	20
1.4.6	Protokol Diameter . . . . .	21
1.5	QoS v LTE . . . . .	21
1.5.1	Nosiče . . . . .	21
1.6	Registrace uživatele do sítě . . . . .	24
1.6.1	Popis připojení uživatele do sítě . . . . .	24
1.6.2	NAS autentizace . . . . .	26
1.7	Změna sledovací oblasti . . . . .	27
1.7.1	Paging . . . . .	27
1.7.2	Handover . . . . .	28
1.8	Navázání datového spojení . . . . .	29
1.8.1	Popis signálů při vytváření spojení . . . . .	29
1.9	Spojení s uživatelem . . . . .	31
1.9.1	Popis procedur při spojení s uživatelem . . . . .	31
1.10	Klíčové výkonnostní identifikátory . . . . .	33
1.10.1	Úspěšnost připojení k EPS . . . . .	33
1.10.2	Úspěšnost vytvoření dedikovaného EPS nosiče . . . . .	33
1.10.3	Úspěšnost žádostí o službu . . . . .	33

1.10.4 Úspěšnost změny sledovací oblasti . . . . .	34
1.11 Možnosti chybových stavů . . . . .	34
1.11.1 Chybové stavy způsobené sítí . . . . .	34
1.11.2 Chybové stavy způsobené mimo síť . . . . .	34
1.12 Realizace analýzy signálů . . . . .	35
1.13 Vyhodnocení analyzovaných dat . . . . .	37
1.13.1 Úspěšnost přístupu do sítě a průměrná doba přístupu k síti . .	37
1.13.2 Úspěšnost NAS Autentizace . . . . .	38
1.13.3 Úspěšnost vytvoření nosiče . . . . .	39
1.13.4 Úspěšnost vytvoření služby . . . . .	40
1.13.5 Úspěšnost udržení spojení na rozhraní S1 . . . . .	41
<b>2 Závěr</b>	<b>43</b>
<b>Literatura</b>	<b>45</b>
<b>3 Seznam zkratek</b>	<b>47</b>
<b>Seznam příloh</b>	<b>49</b>
<b>A CD</b>	<b>50</b>



# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Architektura LTE sítě . . . . .	12
1.2	Struktura uživatelského zařízení . . . . .	13
1.3	Architektura E-UTRAN . . . . .	14
1.4	Struktura EPC . . . . .	14
1.5	Struktura IMSI . . . . .	15
1.6	Struktura GUTI . . . . .	16
1.7	Rozdělení protokolu na NAS a AS . . . . .	18
1.8	Protokolová struktura control plane . . . . .	18
1.9	Protokolová výbava na rozhraní S11 . . . . .	19
1.10	Protokolová výbava na rozhraní S6a . . . . .	20
1.11	Architektura Bearerů . . . . .	22
1.12	QoS rozdělení nosičů a jejich parametry . . . . .	22
1.13	Význam QCI parametru . . . . .	23
1.14	Změna řídicí oblasti s autentizací . . . . .	24
1.15	Řídicí signály při připojení UE do sítě . . . . .	25
1.16	Řídicí signály NAS autentizace . . . . .	27
1.17	Změna řídicí oblasti bez autentizace . . . . .	28
1.18	Řídicí signály pro žádost o datové spojení . . . . .	30
1.19	Řídicí procedury spojení s uživatelem . . . . .	32
1.20	Princip zachycení dat na rozhraní S1 . . . . .	35
1.21	Filtr zachyceného provozu . . . . .	35
1.22	Graf úspěšnosti přístupu k síti . . . . .	37
1.23	Graf úspěšnosti vytvoření nosiče . . . . .	39
1.24	Počet vytvořených nosičů a jejich typ . . . . .	40
1.25	Počet žádostí o službu a jejich realizace . . . . .	41
1.26	Počet vyslaných signálů HEARTBEAT a HEARTBEAT_ACK . . . . .	42
1.27	Úspěšnost udržení spojení na rozhraní S1 . . . . .	42

# 1 ŘEŠENÍ STUDENTSKÉ PRÁCE

## 1.1 Stručná historie mobilních sítí

Veřejné mobilní sítě jsou používané přes 30 let, po celou tuto dobu procházejí bouřlivým vývojem od sítě 1. generace až po právě navazující sítě 4. generace a neustále se zrychlují. Současným trendem je rozšiřování možností datové komunikace a přístupu na internet.

### 1.1.1 Sítě 1.generace

První generaci mobilních sítí lze charakterizovat jako analogové radiotelefonní mobilní systémy. Na rádiovém rozhraní jsou využity FDMA (Frequency Division Multiple Access) a modulace FM (Frequency Modulation). Příkladem těchto systémů jsou NMT (Nordic Mobile Telecommunication), nebo AMPS (Advanced Mobile Phone System). Systém NMT byl zprovozněn v 80. letech 20. století. NMT systémy využívají na rádiovém rozhraní frekvenci v pásmu 450 nebo 900 MHz. Zajímavostí tohoto systému je, že narozdíl od řady dalších systémů umožňuje mezinárodní roaming.

AMPS se používá od poloviny 80. let 20. století, našel uplatnění zejména v USA a v Jižní Americe. Tento systém využívá na rádiovém rozhraní frekvenci v pásmu 800 MHz.

### 1.1.2 Sítě 2.generace

Typickým příkladem systému 2. generace je GSM (Global system for Mobile Communication) v Evropě a CDMA One (označována také jako IS-136 nebo TIA/EIA-95) v USA. V porovnání se systémy 1. generace se vyznačuje především vyšší kapacitou, vysokou odolností vůči odposlechu a rušení.

Pro GSM se využívají frekvence v pásmu 900, 1800, 1900 MHz. GSM je buňková síť, což znamená, že se mobilní telefony připojují prostřednictvím nejbližší buňky. V GSM se na rádiovém rozhraní používá pro každý radiový kanál časově dělená a princip TDMA (Time Division Multiple Access). Tento princip se nazývá „TDMA over FDMA“ (Frequency Division Multiple Access) V TDMA rámci se přenáší kromě užitečných dat od několika uživatelů také řídicí informace.

CDMA One disponuje šířkou pásma o velikosti 1,25 MHz, přenosovou rychlostí 14,4 kbps pro standard IS-95A a 115 kbps pro standard IS-95B. Stejně jako v případě GSM se jedná o buňkovou síť, kde se na rádiovém rozhraní používá CDMA kódový multiplex stejně jako mnoho 3G sítí. V tomto typu multiplexu se využívá

funkce DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum), kde dochází k rozprostření dat pro uživatele po celé šířce pásma. V přijmacím zařízení jsou pak tyto data opět složena, čímž je pro každého uživatele použito jiné kódování je umožněno využití stejné šířky pásma pro více uživatelů.

Z hlediska přenosu dat je na tom druhá generace mnohem lépe, protože pro přenos hlasu používá v celé síti digitální tvar signálu. Přenosová rychlost je 9,6 kbps.

Dále se často hovoří o dvou a půlté generaci. Tato generace se vyznačuje vyšší přenosovou rychlostí při použití paketového způsobu přenosu GPRS (General Packet Radio Service). Tento systém zavádí do prostředí mobilních systémů IP protokol s přímým standardizovaným připojením do internetu s teoretickou rychlostí až 192 kbps. Do této skupiny lze zařadit i GSM s rychlým přenosem dat pomocí přepojování okruhů HSCSD (High Speed Circuit Switched Data). HSCSD umožňuje přenosové rychlosti až 57,6 Kbps (součet v obou směrech přenosu) zabráním více než jednoho časového intervalu v rámci TDMA v současnosti maximálně čtyři časové intervaly rozdělené asymetricky na tři směrem k mobilnímu terminálu a jeden směrem od terminálu k základové stanici (3+1) nebo symetricky 2+2. Přepojování okruhů je vhodné tam, kde je potřebný souvislý tok dat.

Dalším zvyšováním přenosové rychlosti ve standardu GSM došlo použitím systému EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution). Tato technologie představuje konečný vývoj datové komunikace uvnitř standardu GSM. V porovnání s běžným GSM je zde použita modulace 8-PSK (Phase Shift Keying). Rychlost datových přenosů se pohybují okolo 384 kbps.

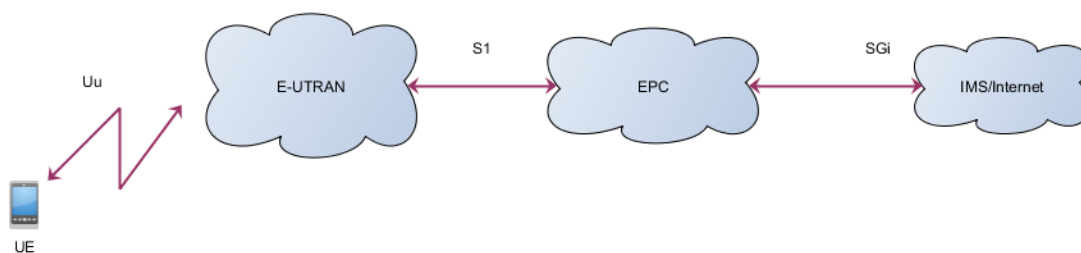
### 1.1.3 Sítě 3. generace

3. generace začala nastupovat v roce 2005 v Japonsku, od té doby se rozšiřuje po celém světě. Se systémem UTM (Universal Mobile Telecommunications System) označován jako 3G na radiovém rozhraní je použita modulace WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) na frekvencích 1885 MHz až 2025 MHz nebo 2110 MHz až 2200 MHz. Maximální teoretická rychlost připojení toho systému je 433 kbps.

Systém UTM byl později rozšířen a vylepšen na systém HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) někdy označován jako 3,5G, kde teoretická přenosová rychlost připojení stoupla na 14,4 Mbps. Tento systém lépe využívá kmitočtové spektrum, takže se zvětšila kapacita W-CDMA. A hlavní výhodou pro uživatele je rychlejší přenos dat a kratší doba odezvy.

#### **1.1.4 Sítě 4.generace**

LTE (Long Term Evolution) je technologie určená pro vysokorychlostní internet a také technologie použita v sítích 4. generace. Teoretická rychlost stahování je 172,8 Mbps. 12. 6. 2012 byl v Jesenici u Prahy spuštěn první komerční provoz LTE v České republice společností Telefónica Czech Republic.



Obr. 1.1: Architektura LTE sítě

## 1.2 Hlavní architektura LTE

LTE se skládá ze dvou hlavních částí, E-UTRAN (Evolved UTMS Terrestrial Radio Access) a EPC (Evolved Packet Core) viz 1.1. Součástí EUTRAN je i UE (User Equipment), což je jakékoliv mobilní zařízení. Každá tato část má vlastní strukturu, která bude více popsána v následujících kapitolách.

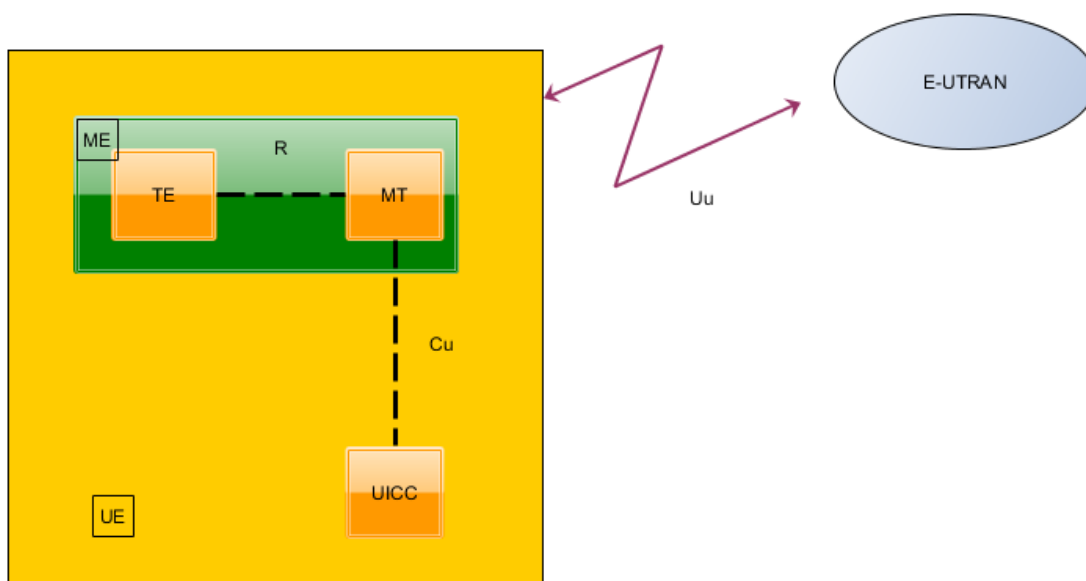
### 1.2.1 User equipment UE

Na obrázku 1.2 vidíme strukturu uživatelského zařízení (UE). Architektura tohoto zařízení je stejná jako v GSM a UTMS. Toto zařízení můžeme rozdělit do dvou částí, a to mobilní ukončení (MT), které zpracovává všechny komunikační funkce, a koncové zařízení (TE), které přerušuje datové toky. MT část může být plug-in LTE karta pro notebook, v tomto případě se TE část stává samotný notebook.

The universal integrated circuit card (UICC) je smart card spíše známa jako karta SIM. Na této kartě běží aplikace známá jako Universal Subscriber Identity Module (USIM), obsahuje data jako je telefonní číslo uživatele a domovská síť.

### 1.2.2 E-UTRAN

Architektura E-UTRAN je na obrázku 1.3. E-UTRAN zpracovává rádiovou komunikaci mezi mobilními zařízeními a EPC za pomoci eNB (Evolved Node B). Každé eNB je základní stanicí, která řídí mobilní zařízení v jedné nebo více buňkách. Mobilní zařízení komunikuje pouze s jedním eNB a jednou buňkou v právě jeden okamžik. eNB má dvě hlavní funkce. První je přenášení rádiového signálu do všech mobilních zařízení na downlink a doručování signálu z uplink pomocí analogového a digitálního zpracování signálu LTE. Druhá funkce eNB je kontrola nízkourovňové operace pro všechny mobilní zařízení, od odesílání signálních zpráv přes handover příkazy pro vytváření všech radiových přenosů. eNB kombinuje funkce dřívější části sítě Node B a řídicí jednotky rádiové sítě, ke snížení latence.



Obr. 1.2: Struktura uživatelského zařízení

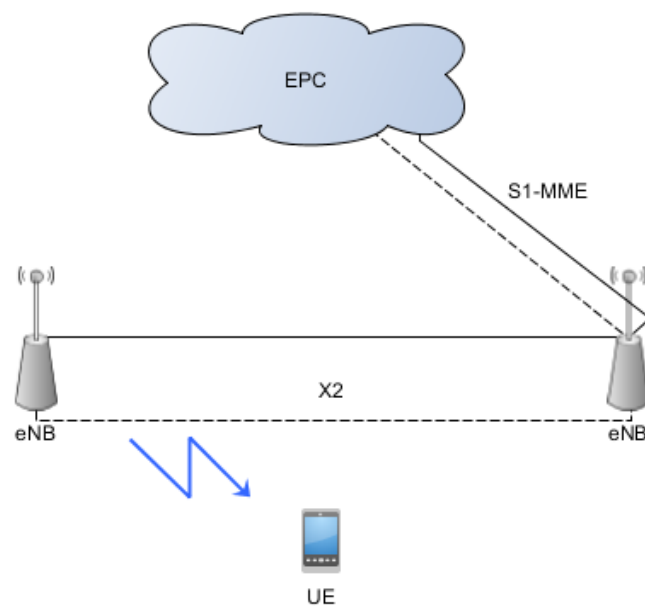
Každá stanice eNB je připojena k EPC prostřednictvím rozhraní S1. Sousední stanice eNB jsou vzájemně propojeny pomocí rozhraní X2. Toto rozhraní se používá k signalizaci a přeposílání paketů během handover. Ovšem funkce rozhraní X2 může zastat rozhraní S1 ovšem pomaleji. Rozhraní S1 a X2 nebývají fyzické rozhraní, místo toho jsou informace směrovány přes podvrstvu IP vycházející z transportní sítě.

### 1.2.3 Evolved Packed Core EPC

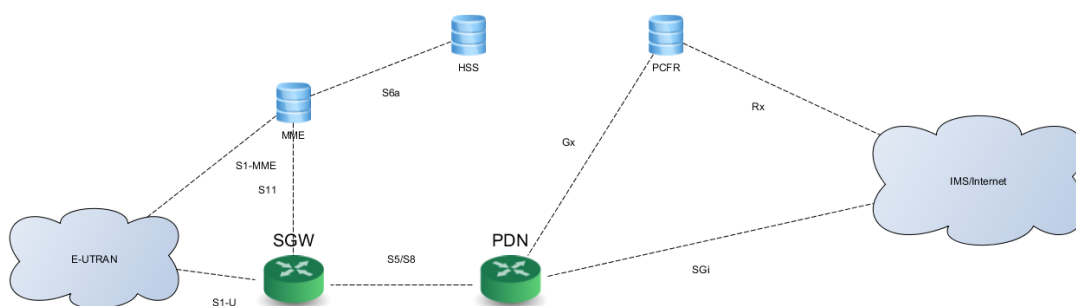
Na obrázku 1.4 vidíme hlavní části EPC. HSS (Home Subscriber Server) je centrální databáze, která obsahuje informace o všech účastnících provozovatele sítě. Toto je jedna z několika komponent, které jsou převzaty z předchozí generace UTM a GSM. Dále vidíme PGW bránu. Pomocí rozhraní S-Gi, každá PGW brána komunikuje s jedním nebo více externími zařízeními, nebo s paketovou datovou sítí jako jsou servery operátora sítě, internetem nebo IP multimedia system.

Každé mobilní zařízení je připojeno k výchozí PGW bráně, aby bylo připojeno k výchozí paketové síti, jako je třeba internet. Později může být mobilní zařízení připojeno k více PGW bránám, například k soukromým podnikovým sítím. Všechny PGW brány zůstávají stejné po celou dobu připojení mobilního zařízení.

Řídící brána (SGW) se chová v síti jako router, který předává data mezi eNB a PGW bránou. Síť obsahuje několik SGW bran, z nichž se každá brána stará o vyhrazenou oblast. Každé mobilní zařízení je přiřazeno k jedné SGW bráně, které se změní



Obr. 1.3: Architektura E-UTRAN

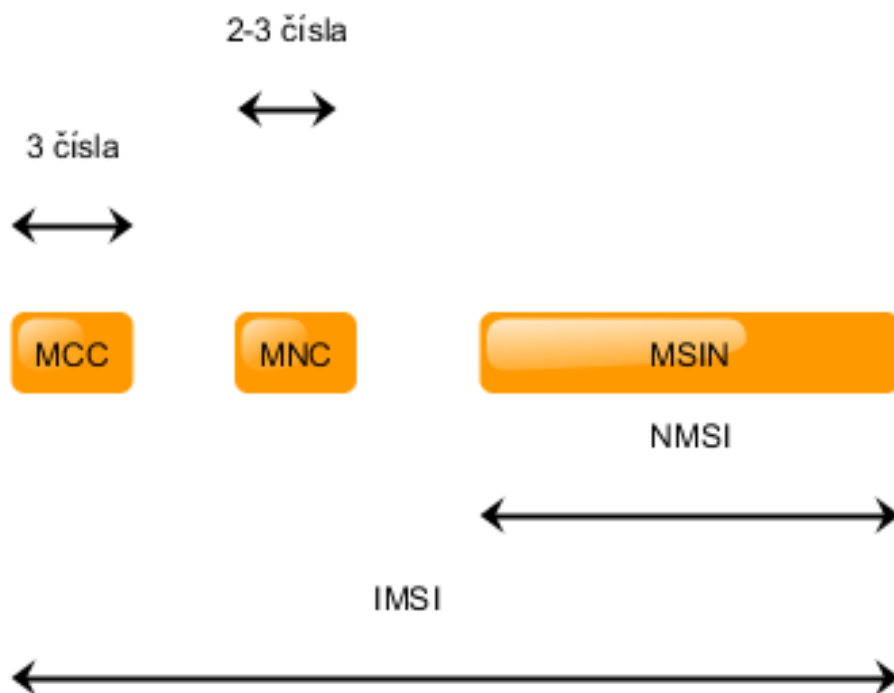


Obr. 1.4: Struktura EPC

pokud mobilní zařízení opustí oblast již obsluhuje SGW brána. V tomto případě se mobilní zařízení, připojí k jiné SGW bráně, ke které zůstává připojen dokud znovu neopustí její obslužnou oblast.

Mobility management entity(MME) řídí provoz na vysoké úrovni zasíláním signalizačních zpráv, jako bezpečnostní zprávy, řízení datového toku, které jsou nezávislé na radiové komunikaci.

Síť může obsahovat více MME stejně jako v případě SGW, stejně tak se jedno MME stará o jednu vyhrazenou oblast. MME se také kontroluje ostatní prvky sítě pomocí signalizačních zpráv uvnitř EPC.



Obr. 1.5: Struktura IMSI

### 1.3 IMSI, TMSI a GUTI identifikátory

IMSI(Mobile subscribers identification) musí být přidělen každému účastníkovi v EPC systému. Pro podporu identifikace v MME, SGSN a VLR systému může být přidělen identifikátor TMSI(Temporary Mobile Subscriber Identities). UE mohou být přiděleny 3 druhy TMSI, jeden pro služby poskytované prostřednictvím MSC (v LTE se nevyskytuje), druhý pro služby poskytované prostřednictvím SGSN(P-TMSI)(v LTE se nevyskytuje) a poslední pro služby poskytované MME(M-TMSI, který je součástí GUTI).

#### Struktura IMSI

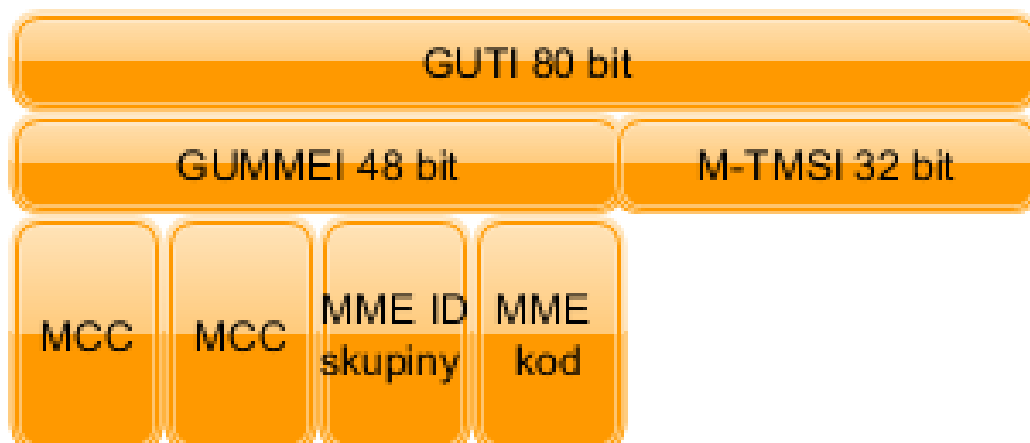
IMSI identifikátor se skládá ze 3 částí. viz 1.20.

MCC(Mobile Country Code)–jednoznačně identifikuje zemi UE.

MNC(Mobile Network Code)–MNC identifikuje domácí PLMN mobilního účastníka, to je důvod proč je UE připojen k eNB domácí země i pohraničních oblastí.

MSIN(Mobile Subscriber Identification Number)–slouží k identifikaci UE v rámci PLMN.





Obr. 1.6: Struktura GUTI

### 1.3.1 TMSI

Vzhledem k tomu, že je identifikátor TMSI lokální, struktura jeho kódování bývá vybírána na základě dohody mezi výrobcem UE a provozovatelem sítě. TMSI se skládá ze 4 oktetů a je uložen na kartě SIM. Identifikátor TMSI bývá měněn celý nebo část jeho bitů po restartu UE nebo po předem definované době.

TMSI je používána ve VLR části a není předávána do HLR, TMSI identifikátor je používán především při paging situacích.

### 1.3.2 Identifikátor GUTI

Účelem identifikátoru GUTI je poskytovat jednoznačnou identifikaci UE, které neodhaluje identitu UE v systému EPC, proto identifikuje MME v síti a může být použit při identifikaci UE při komunikaci uzlů v EPC např. pokud se UE přihlašuje k eNB, které podléhá jinému MME. Pomocí identifikátoru GUTI může nové MME získat informace o UE ze starého MME.

GUTI se skládá ze dvou hlavních částí:

- GUMMEI–jednoznačná identifikace MME.
- M–TMSI–identifikace UE v MME.

## 1.4 Protokolový model sítě 4. generace

Pokud spolu zařízení chtějí komunikovat, musí mít předem definovaný protokol. Protokol je balíček pravidel, který přesně definuje jak spolu tato zařízení mají komunikovat. Na obr. 1.7 vidíme vysokoúrovňovou strukturu protokolu, který se využívá v LTE. Protokol má dvě hlavní vrstvy. Nižší vrstva se stará o přenos dat z jednoho bodu do druhého. Vyšší vrstva se dělí na uživatelský (User plane) a signalizační protokol (Control plane), User plane má hlavní význam pro uživatele, využívá se pro přenos dat např. přenos dat z FTP serveru, zatímco Control plane zpracovává signalizační zprávy uvnitř struktury LTE.

Na radiovém rozhraní, je tento protokol rozdělen na více vrstev a to Access stratum (AS) a Non access stratum (NAS). Signalizační zprávy náleží NAS vrstvě a jsou přenášeny pomocí AS protokolu na rozhraních S1 a Uu viz 1.8.

### 1.4.1 Protokoly na rozhraní Uu a S1

Rozhraní Uu leží mezi mobilním zařízením a eNB. S1 rozhraní se nazývá rozhraní mezi eNB a MME. Tyto dvě rozhraní mají trochu odlišné protokolové vrstvy, protože Uu a S1 jsou odlišná rozhraní vzhledem k jejich propojení. Na obr. 1.8 vidíme protokolové propojení UE a MME.

NAS vrstva je nejvyšší vrstva v řídicí rovině mezi UE a MME na radiovém rozhraní. Hlavní funkcí protokolů, které jsou součástí NAS vrstvy je podpora mobility UE a podpora navázání a udržení spojení UE.

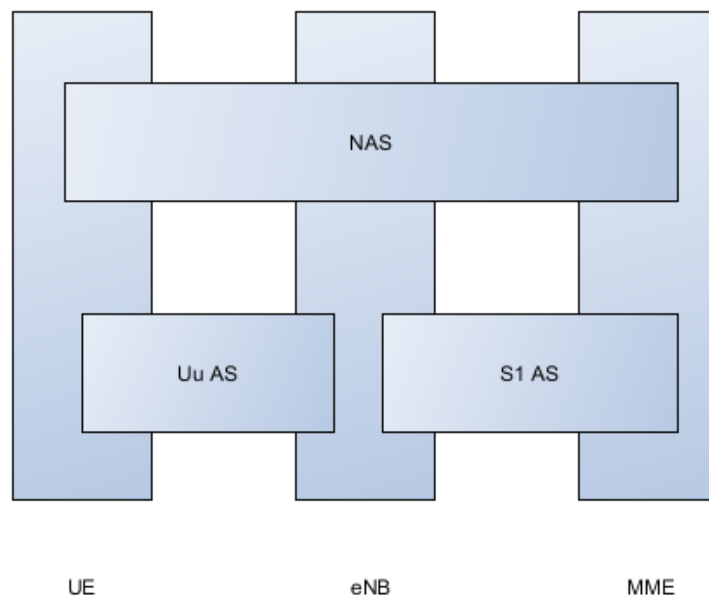
AS podvrstva NAS a je odpovědná za přenos dat a řízení zdrojů, je tedy odpovědná za přenos NAS signalizace.

### 1.4.2 Funkce protokolů na rozhraní Uu

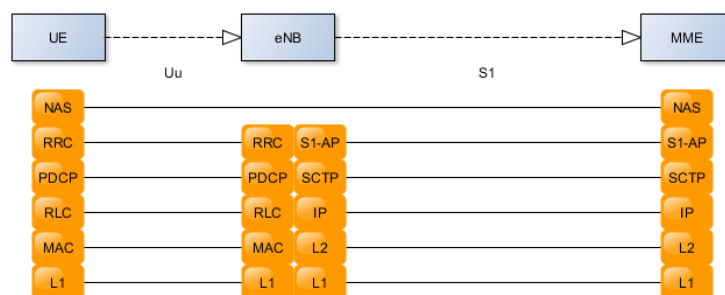
- MAC (Media Access Control)

Nachází se na rozhraní Uu mezi UE a eNB, je součástí User plane a Control plane. Hlavní funkce protokolu MAC jsou:

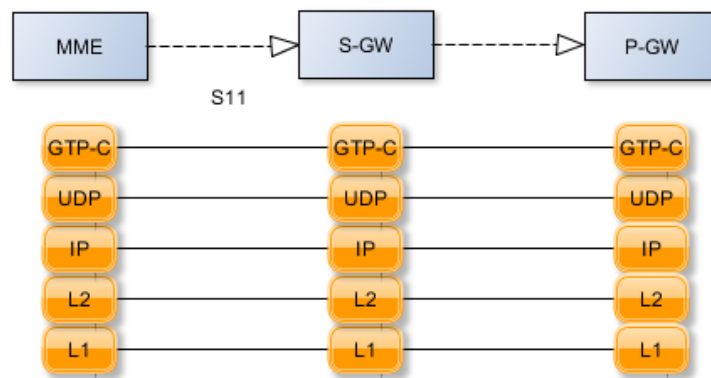
- Mapování mezi logickými a dopravními kanály.
- Multiplexing/demultiplexing MAD SDU do jednoho nebo více logických, kanálů do/z přenosových bloků(TB) dodaných do/z fyzické vrstvy přenosového kanálu.
- Plánování informačních zpráv.
- Oprava chyb pomocí HARQ.
- Prioritní řízení logických kanálů jednotlivých UE.
- Prioritní řízení mezi UE pomocí dynamického plánování.



Obr. 1.7: Rozdělení protokolu na NAS a AS



Obr. 1.8: Protokolová struktura control plane



Obr. 1.9: Protokolová výbava na rozhraní S11

- RLC (Radio Link Control)
 

Nachází se na rozhraní Uu mezi UE a eNB, je součástí User plane a Control plane. Hlavní funkce protokolu jsou:

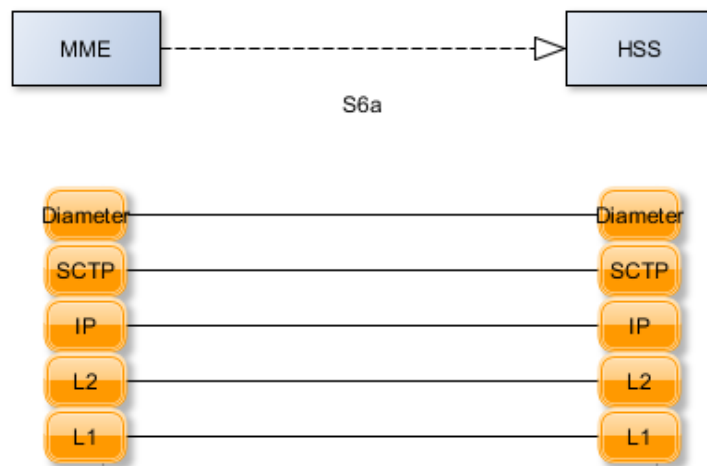
  - Převod z vyšší vrstvy PDU.
  - Zřetězení, segmentace a sestavení RLC SDU.
  - Re-segmentace dat RLC dat PDU.
  - Duplicitní detekce
  - Detekce chyb a jejich oprava.
  - Výměna RLC SDU.
- PDCP (Packet Data Convergence Protocol)
 

Nachází se na rozhraní Uu mezi UE a eNB, je součástí Control plane. Hlavní funkce protokolu jsou:

  - Komprese a dekomprese záhlaví ROHC.
  - Přenos uživatelských dat.
  - Šifrování a dešifrování.
  - Přenos dat Control plane.
- RRC (Radio Resource Control)
 

Nachází se na rozhraní Uu mezi UE a eNB, je součástí Control plane. Hlavní funkce protokolu jsou:

  - Broadcast vztahující se k NAS a AS.
  - Paging.
  - Navázání, udržení a přerušení RRC spojení mezi UE a E-UTRAN.
  - Bezpečnostní funkce vč. správy klíčů.
  - Řízení QoS.
  - Přímý přenos NAS zpráv z/do NAS a UE.



Obr. 1.10: Protokolová výbava na rozhraní S6a

### 1.4.3 Protokoly na rozhraní S1

- S1-AP (S1 Application Protocol)  
S1-AP poskytuje signalizační službu mezi eNB a EPC. Hlavní funkce protokolu jsou:
  - Funkce řízení E-RAB.
  - Funkce mobility.
  - Funkce pro správu S1 rozhraní.
  - Přenos NAS signalizace.
  - S1 CDMA2000 tunelování.
  - Přenos varovných zpráv.
- SCTP (Stream Control Transmission Protocol)  
Je to transportní protokol pro několik IP signalizačních protokolů. Je použit pro bezpečné doručení zpráv mezi MME a eNB.  
Hlavní funkce protokolu jsou:
  - Multi-streaming
  - Potvrzování a zamezení přetěžování
  - Blokové sdružování
  - Řízení cest

### 1.4.4 Protokolová výbava ostatních rozhraní

### 1.4.5 GTP-C

GTP-C protokol založený na použití IP v mobilních sítích, může být použit pro TCP i UDP spojení. Existují dvě verze tohoto protokolu GTP-U a GTP-C. V sítích

4. generace je použita 2. verze tohoto protokolu a to GTP-C. Tento protokol je použit v control plane mezi zařízeními EPC jako jsou MME, SGW, PGW. Bývá také použit mezi zařízeními EPC a UMTS 3G sítí. Je používán pro signalizaci EPC bearerů, nastavení a zasílání událostí UE.

### 1.4.6 Protokol Diameter

Pomocí protokolu Diameter MME autorizuje účastníky přihlášené na MME pomocí HSS serveru. Diameter protokol používá pouze TCP nebo SCTP protokol. Jedná se o klient server protokol.

## 1.5 QoS v LTE

QoS má v síti LTE smysl především při provozování služeb náročných na přenosovou rychlost (např. VoIP). V LTE je QoS realizováno mezi UE a PGW bránami a je aplikováno na nosiče (Rádiový nosič, S1 nosič a S5/S8 nosič).

### 1.5.1 Nosiče

V LTE je end-to-end spojení realizováno pomocí EPS nosičů (dále v práci se může vyskytnout i název bearer, ale stále se jedná o nosič), které jsou tvořeny S1 a S5/S8 nosiči viz 1.11. EPS nosič je jednoznačně identifikován pomocí Bearer Identity které je přiděleno od MME. Tyto nosiče jsou důležité pro realizaci QoS.

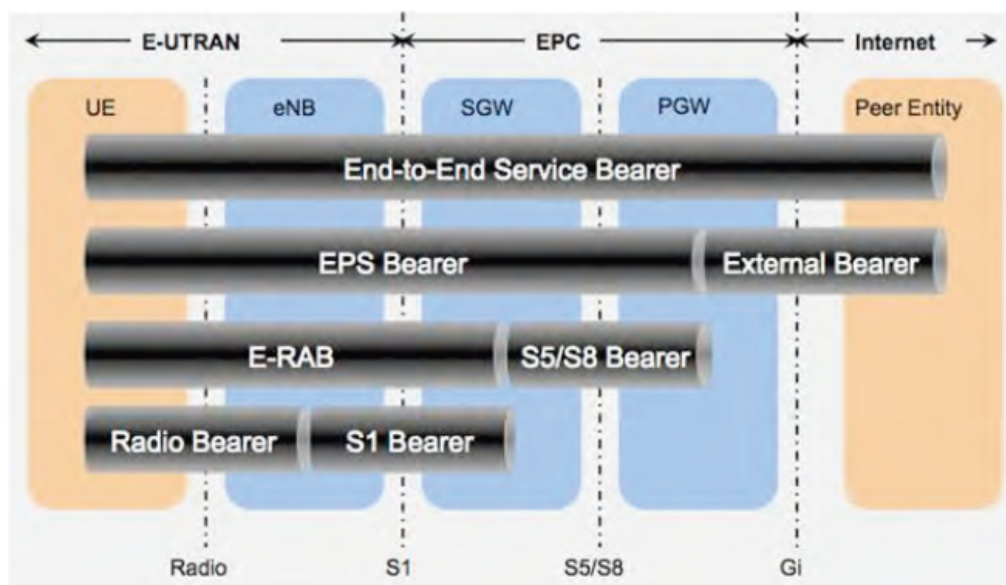
Existují 3 druhy nosičů:

- Rádiový nosič – přepravuje pakety EPS beareru mezi UE a eNB.
- S1 nosič – přepravuje pakety EPS beareru mezi eNB a SGW.
- S5/S8 nosič – přepravuje pakety mezi SGW a PGW.

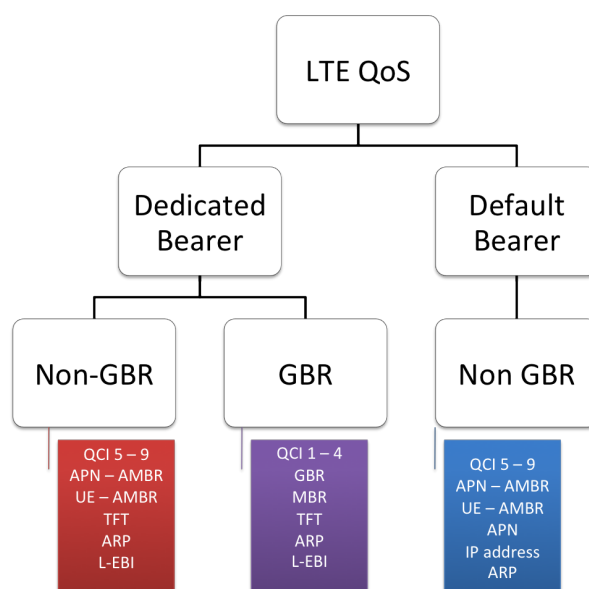
Dále existují dva druhy bearerů a to:

- Defaultní nosič – Vznikne při prvotním připojení UE k síti. Zůstává vytvořený po celou dobu připojení UE, UE může mít více defaultních nosičů, každý z nich má vlastní IP adresu.
- Dedikovaný nosič – Dedikovaný nosič poskytuje tunel pro 1 nebo více služeb. Vytváří se jako dodatečný nosič pro defaultní nosič, takže nemá vlastní IP adresu. Dedikovaný bearer může využívat službu QoS.

V běžné praxi má UE vytvořený 2 Defaultní nosiče a jeden dedikovaný nosič. 2 defaultní nosiče jsou vytvořeny, protože se jeden využívá pro IMS a druhý pro Internet, proto je Internet s IMS oddělen. Dedikovaný nosič se využívá pro internetové služby jako je VoIP, Skype apod.



Obr. 1.11: Architektura Bearerů



Obr. 1.12: QoS rozdělení nosičů a jejich parametry

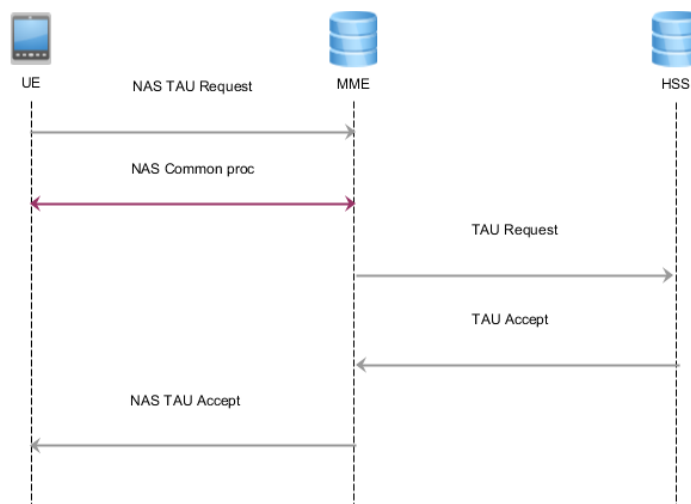
Index QCI	Priorita	Zpoždění	Ztrátovost	Použití
1	2	100 ms	$10^{-2}$	Hovor
2	4	150 ms	$10^{-2}$	Video kenference(live stream)
3	3	50 ms	$10^{-2}$	Real time hry
4	5	300 ms	$10^{-2}$	Bufferovaný stream
5	1	100 ms	$10^{-2}$	IMS signalizace
6	6	300 ms	$10^{-2}$	video, TCP služby (www, email, chat, FTP, p2p apod.)
7	7	100 ms	$10^{-2}$	Interaktivní hry, video hovor, hovor
8	8	300ms	$10^{-2}$	video, TCP služby (www, email, chat, ftp, p2p apod.)
9	9		$10^{-2}$	

Obr. 1.13: Význam QCI parametru

### Parametry nosičů

- GBR – minimálně zaručená rychlost EPS nosiče. Rychlost pro Downlink a Uplink není specifikována
- MBR – maximálně zaručená přenosová rychlost EPS nosiče
- APN-ABR – maximální povolená propustnost s negarantovanou rychlostí do SGW nebo PGW
- UE-AMBR – maximální povolená propustnost s negarantovanou rychlostí mezi UE, SGW, PGW
- TFT – TFT je vždy obsažené v dedikovaném nosiči, a může být v defaultním Beareru. TFT definuje pravidla podle kterých síťové prvky ví přes který nosič má být IP paket odeslán. TFT filtry se mohou aplikovat oboustranně
- ARP – ARP se používá při rozhodování zda bude požadavek na modifikaci či vytvoření nosiče přijata vzhledem k možnostem zdrojů
- L-EBI – určuje ke kterému defaultnímu nosiči je dedikovaný nosič přidružen
- QCI – je spojen se všemi nosiči a definuje vlastnosti IP paketů





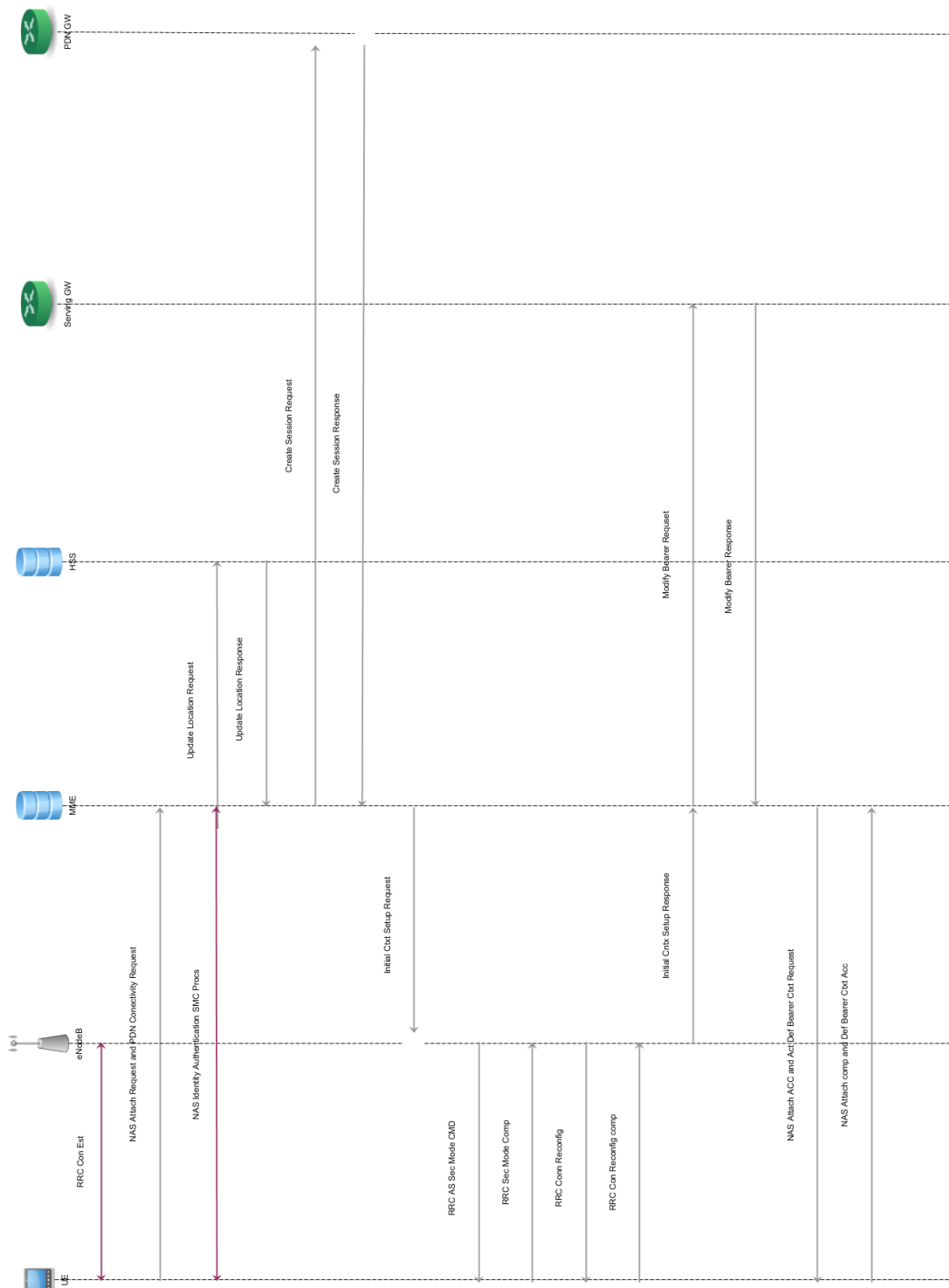
Obr. 1.14: Změna řídicí oblasti s autentizací

## 1.6 Registrace uživatele do sítě

Chce-li účastník získat služby na NAS úrovni (internetové připojení, IMS služby apod.), musí být pro síť známý. Proto musí každé zařízení po svém zapnutí iniciovat registraci do sítě. Jakmile je UE připojeno, je UE spojeno s MME a defaultní nosič je vytvořen mezi UE a PGW a má přidělenou adresu IP. V tuto chvíli může využívat všechny služby LTE, pokud je má povoleny. Signalizace registrace do sítě je na obr. 1.15

### 1.6.1 Popis připojení uživatele do sítě

1. UE naváže RRC spojení s eNB
2. UE vyšle Attach request zprávu spolu s PGW connectivity žádostí o PGW (IP) připojení na vytvořeném RRC Připojení. Na základě tohoto eNB vytvoří S1 logické spojení s MME pro UE
3. Pokud síť nedokáže identifikovat UE pomocí Attach Request je inicializována autentizace a Security mode procedury viz obr. 1.16.
4. MME aktualizuje umístění uživatele u HSS pomocí zprávy Update location a zároveň si vyžádá pomocí Diameter protokolu účastníků profil
5. HSS aktualizuje polohu účastníka a zašle MME profil účastníka
6. MME nyní vytvoří GTP-C tunel a naváže bearové spojení s SGW pomocí Create Session Request



Obr. 1.15: Řídicí signály při připojení UE do sítě

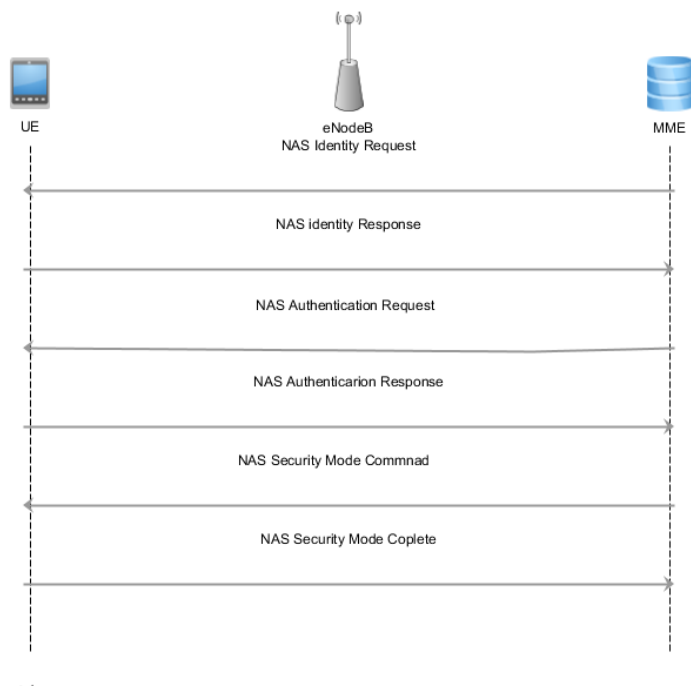
7. SGW vytvoří bearové spojení s UE a žádá PGW o vytvoření bearového spojení pro UE mezi SGW a PGW poskytnout end-to-end připojení. PGW ho vytváří a přiděluje IP adresu UE
8. Jakmile SGW obdrží odpověď od PGW, odpoví Create Session Response MME
9. MME má nyní vytvořené bearové spojení mezi eNB a SGW. Nyní vyšle S1-AP Initial Context Setup Request eNB pro vytvoření spojení s UE, které obsahuje bearové spojení a bezpečnostní spojení
10. eNB po obdržení žádosti Initial Context Setup Request stanoví bezpečnostní parametry pro UE zahájením AS Security Mode Command Procedure
11. UE ustanoví bezpečnostní parametry a odešle Security Mode Complete Message eNB. Nyní jsou všechny zprávy mezi eNB a UE šifrovány
12. eNB rekonfiguruje prostředky pro UE odesláním RRC Connection Reconfig Request.
13. UE aktualizuje svou konfiguraci připojení RRC a odpoví RRC Connection Reconfig Complete
14. eNB nyní vyšle Initial Context Setup Response MME
15. MME vyšle GTP-C Modify Bearer Request SGW pro aktualizace ID eNB bearového tunelu
16. Po aktualizaci SGW, SGW odpoví Modify Bearer Response MME
17. MME vyšle Attach Accept a Activate Default Bearer Context Request NAS UE

### 1.6.2 NAS autentizace

Obr. 1.16 ukazuje NAS autentizaci, která je společná pro prvotní přístup UE do sítě, změnu sledovací oblasti a jiné specifické případy.

#### Popis procedur NAS autentizace

1. MME zašle Identity Request UE
2. UE zašle MME jeho IMSI v Identity Response
3. Po získání IMSI síť ověří zda UE opravdu patří do sítě, do které se přihlašuje. UE odešlo jeho klíč, tento klíč je uložen v sim kartě. Pomocí tohoto klíče a náhodně vygenerovaného čísla, je vypočítáno číslo a síť nyní očekává, že ji bude zaslán stejný výsledek od UE
4. Po obdržení parametrů RAND a AUNT UE vypočítá výsledek a předá ho pomocí Authentication Response
5. Po úspěšné autentizaci, je spuštěn režim zabezpečení pro šifrování NAS zpráv mezi UE a MME



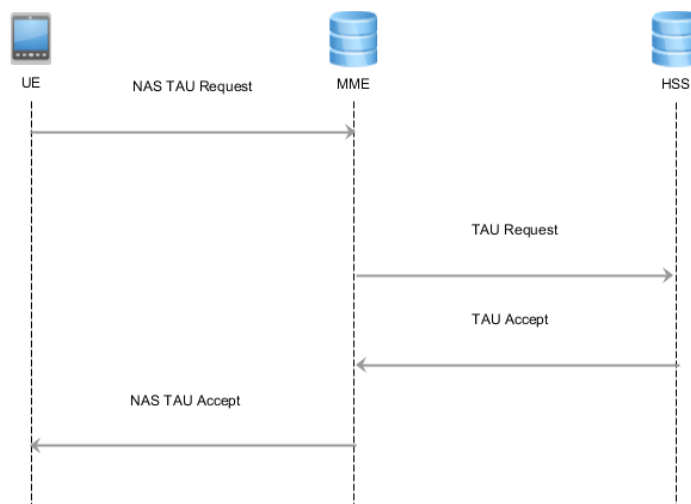
Obr. 1.16: Řídící signály NAS autentizace

## 1.7 Změna sledovací oblasti

Po přihlášení se může uživatel libovolně pohybovat po sledovací oblasti, pokud však uživatel opustí tuto oblast, musí se přihlásit do nové oblasti. Změna oblasti může proběhnout dvěma způsoby a to s autentizací nebo bez autentizace. Procedury při změně sledovací oblasti s autentizací jsou znázorněny na obr. 1.14. Procedury při změně sledovací oblasti bez autentizace jsou znázorněny na obr. 1.17. Autentizace je stejná jako v kapitole 1.6.2.

### 1.7.1 Paging

Paging je používán o požádání a zřízení NAS spojení s UE. Pokud existuje paket, který by měl být doručen některému UE a neexistuje žádný dedikovaný nosič k UE. Je předán paket z PGW na SGW defaultním nosičem. SGW se postará o vytvoření dedikovaného nosiče, tím že odešle zprávu Downlink Data Notification MME aby UE vytvořilo dedikovaný nosič. Nyní MME musí zajistit aby UE vytvořilo RRC spojení a tak vysílá Paging Request zprávy na všechny eNB.



Obr. 1.17: Změna řídicí oblasti bez autentizace

### 1.7.2 Handover

Handover probíhá, mění-li UE svou polohu a síla signálu s eNB kolísá, pak probíhá změna eNB, avšak nedochází ke změně MME či SGW, UE zůstává přihlášeno stále do stejné oblasti.

Handover je zahájen měřením síly signálu mezi eNB a UE. Výsledek měření je předán přes RRC protokol. Po předání měření algoritmus handoveru ověří, zda by mělo dojít k předání UE jinému eNB.

Handover se skládá s několika základních částí:

- Měření
- Filtrování výsledků měření
- Hlášení výsledků měření
- Hard handover algoritmus
- Případné provedení předání

#### Princip Handoveru

UE provádí měření a předává je do své eNB k vyhodnocení. Pokud aktuální eNB rozhodne o předání UE sousední eNB, naváže komunikaci s cílovým eNB zprávou Handover request. Tato zpráva obsahuje aktuální MME a SGW. Nyní cílové eNB přidělí svou kapacitu UE. Poté cílové eNB předá zprávu Handover request acknowledge, v této zprávě je také indikován tunel pro předání dat, to umožňuje předat původnímu eNB vyrovnávací paměť nebo právě přichodí data cílovému eNB.

Zdrojové eNB nyní předá zprávu UE Handover Commnad, tento příkaz obsahuje konfiguraci pro cílové eNB. V tuto chvíli se UE odpojí od staré eNB a synchronizuje se s novým eNB.

Po synchronizaci UE s novým eNB, UE potvrdí handover zprávou Handover confirm. Poté se odešle zpráva Handover complete MME. Tato zpráva obsahuje, že UE je nyní přístupné na novém eNB (IP adresu a ID tunelu).

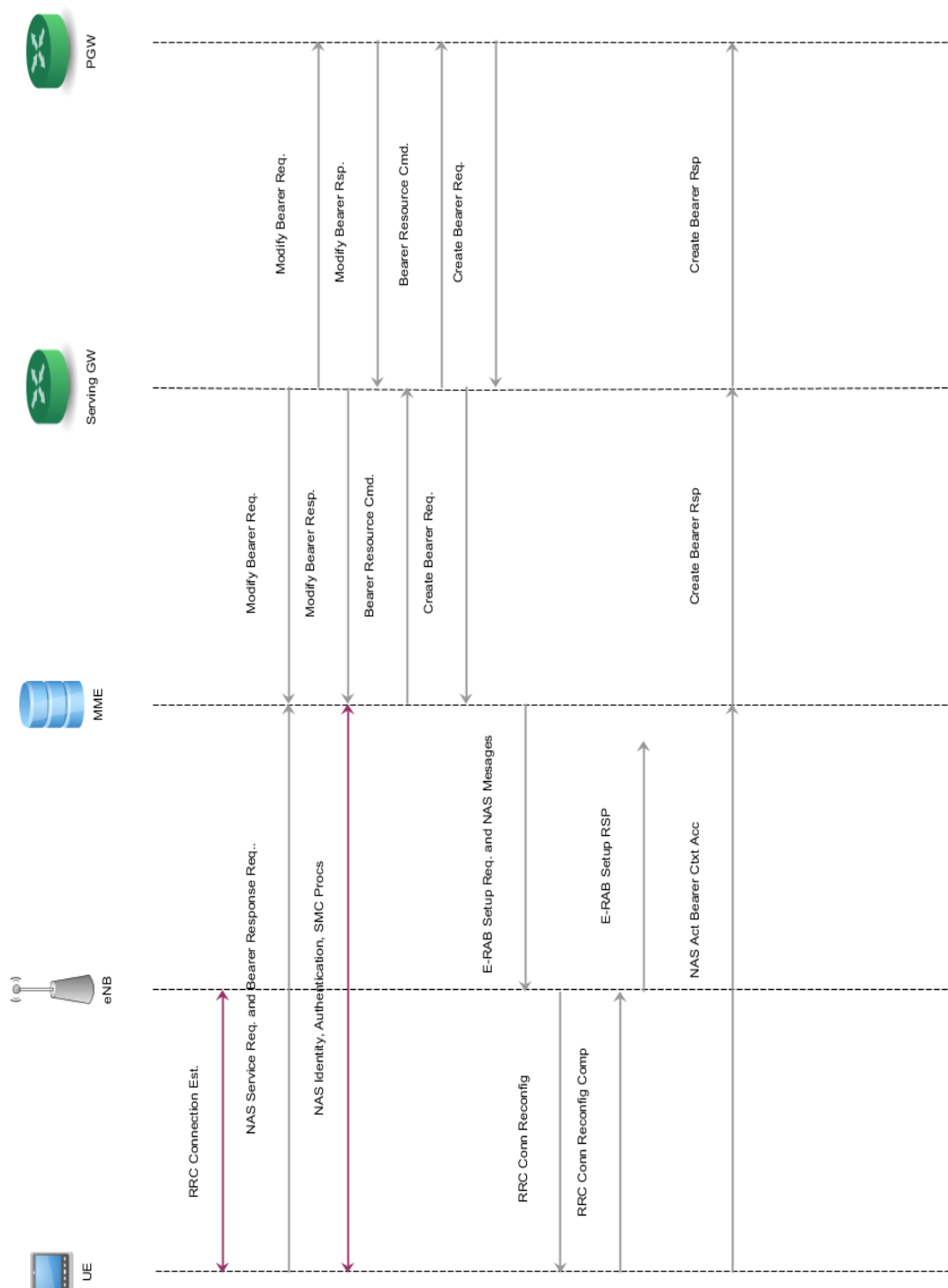
MME nyní zašle zprávu pro SGW GTP-C Update Bearer Request, poté SGW přepne směřování na nové cílové eNB. Po přepnutí cesty dostane staré eNB zprávu Release resource a to smaže všechno nastavení pro staré UE.

## 1.8 Navázání datového spojení

Po úspěšném přihlášení do sítě, může UE žádat o služby pomocí žádostí o služby. Příkladem této služby je žádost a navázání datového spojení. Procodury, které probíhají při navazování spojení vidíme na obrázku 1.18.

### 1.8.1 Popis signálů při vytváření spojení

1. UE vytvoří RRC spojení s eNB
2. UE vyšle Service Requestk MME a žádost na vytvoření dedikovaného nosiče pomocí požadavku Bearer Resource Allocation Request. Dále eNB vytvoří S1 logické spojení s MME pro toto UE
3. Nyní může proběhout Autentizace uživatele viz 1.6.2
4. Po autentizaci MME iniciuje aktivaci defaultního nosiče s SGW/PGW inicializací GTP-C Modify Bearer Request k PGW
5. Po přijetí žádosti, PGW aktivuje potřebné zdroje. IP adresa byla přidělena UE během počátečního připojení do sítě, takže předá odpověď SGW Modify Bearer Response a SGW ji předá MME
6. MME nyní inicializuje zřízení dedikovaného nosiče odesláním zprávy GTP-C Bearer Resource Command pro SGW
7. SGW požadavek předá PGW
8. PGW odpoví Create Bearer Request SGW po přidělení zdrojů pro dedikovaný nosič
9. SGW zpracuje Create Bearer Request a předá MME pro další zpracování
10. MME odešle E-RAB Setup Request eNB pro vytvoření Bearové spojení mezi eNB a SGW
11. UE naváže Radio bearerové spojení a odpoví zpět RRC Connection Reconfiguration Complete eNB



Obr. 1.18: Řídící signály pro žádost o datové spojení

12. Nyní je vytvořeno bearerové spojení mezi UE a eNB, eNB odešle E-RAB Setup response MME
13. UE odešle Activate Dedicated EPC Bearer Context Accept NAS zprávu MME pomocí eNB
14. MME odešle Create Bearer Response SGW pro dokončení aktivace dedikovaného nosiče. SGW ji přepošle PGW

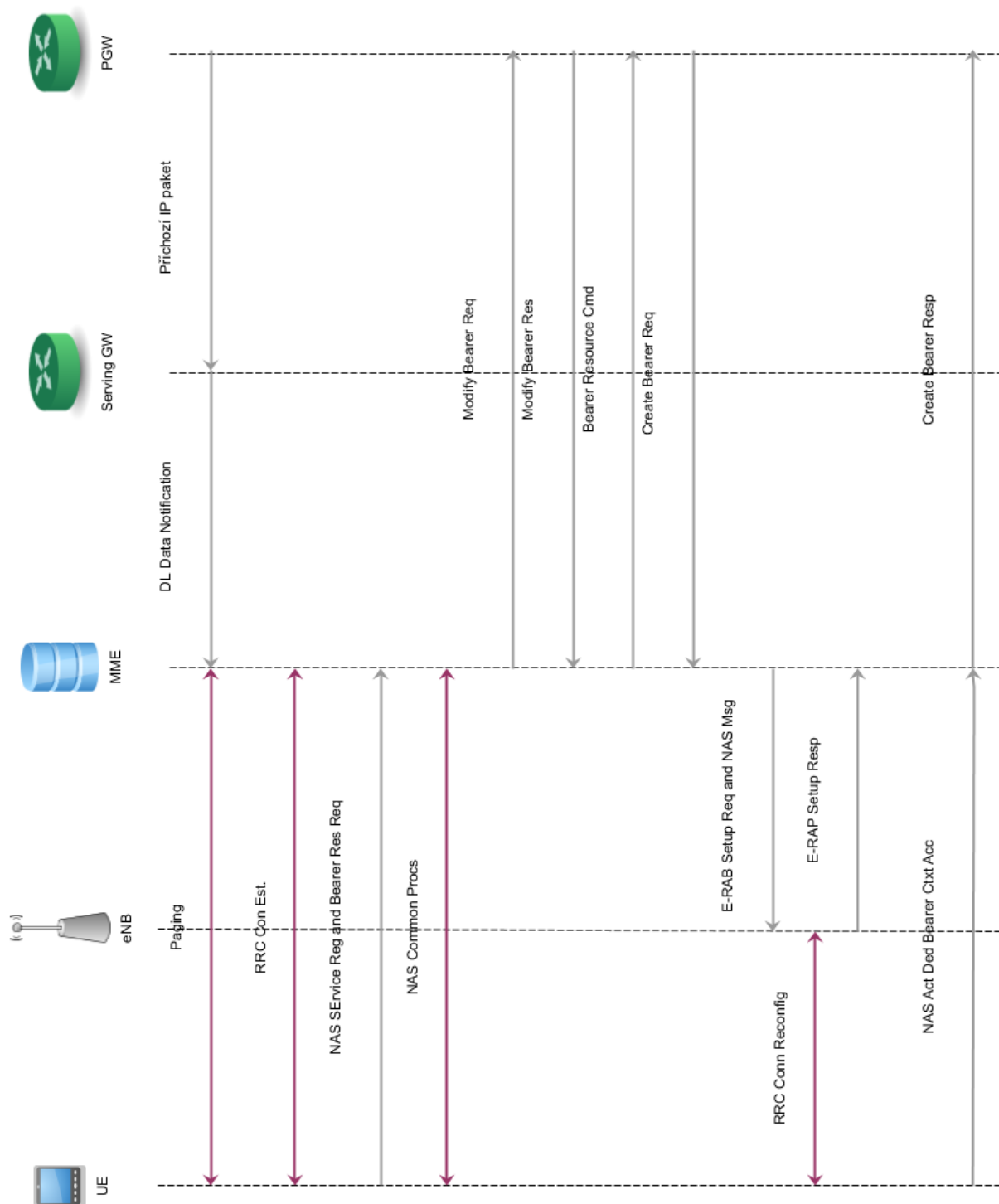
## 1.9 Spojení s uživatelem

Pro uskutečnění spojení s UE síť odešle požadavek na paging viz 1.19 na všechny uzly eNB s poslední známou sledovací oblastí. Po obdržení Paging Request od MME, eNB odešle Paging message přes své rádiové rozhraní. UE je běžně stránkované pomocí S-TMSI nebo IMSI.

### 1.9.1 Popis procedur při spojení s uživatelem

1. PGW/SGW přijme příchozí IP paket adresován UE
2. SGW odešle DL Data Notification na MME s žádostí o vytvoření dedikovaného nosiče
3. MME vysílá paging zprávu oznamující UE o příchozím paketu
4. Jakmile dostane UE Paging zprávu vytvoří RRC spojení s eNB.
5. UE odešle Service Request MME obsahující Bearer Resource Allocation Request
6. Navázání spojení je stejné jako je uvedeno při navázání spojení viz 1.18





Obr. 1.19: Řídící procedury spojení s uživatelem

## 1.10 Klíčové výkonnostní identifikátory

Key Performance Indicators jsou idikátory, které ukazují zda zařízení splňují určitá kritéria spolehlivosti. Provozovatel sítě musí kontrolovat výkon své LTE sítě.

Při nasazování sítě probíhá měření ve dvou etapách. V první fázi, je síť testována bez běžného provozu. Poté se měří při nasazení sítě mezi uživatele toto je nejdůležitější měření, díky němuž se může včas odhalit nedostatečná kvalita služeb pro zákazníky apod.

Měření těchto parametrů probíhá zachycením přenosu paketů v EPC např. programem Wireshark a následnou analýzou těchto paketů. Pro příklad, pokud bychom chtěli analyzovat úspěšnost připojení do EPC systému, zachytili bychom pakety provozu při přístupu UE do EPC a vyfiltrovali bychom signály ATTACH REQUEST a ATTACH ACCEPT. Poměr těchto signálů by ukazoval indikátor úspěšnosti připojení UE do systému.

### 1.10.1 Úspěšnost připojení k EPS

Tento parametr udává poměr počtu pokusů o připojení k EPC a počet úspěšných připojení. Tento parametr je velmi důležitý z hlediska uživatele, protože pokud není schopen se připojit do EPC, není schopen dosáhnout žádné služby.

$$EASR = \frac{\text{počet úspěšných pokusů o připojení (Attach request)}}{\text{celkový počet pokusů o připojení}} * 100 (\%) \quad (1.1)$$

### 1.10.2 Úspěšnost vytvoření dedikovaného EPS nosiče

Tento ukazatel určuje úspěšnost vytvořených dedikovaných nosičů. Pokud je tento ukazatel nízký, značí to nedostačující kapacitu systému a je potřeba ji zvýšit.

$$DEBCSR = \frac{\text{počet žádostí Bearer Resource Command}}{\text{celkový počet pokusů o vytvoření Beareru}} * 100 (\%) \quad (1.2)$$

### 1.10.3 Úspěšnost žádostí o službu

Tento ukazatele kvality je velmi důležitý, protože kdyby byl tento idikátor příliš nízký, mělo by to neblahý vliv na kvalitu poskytovaných služeb.

$$SRSR = \frac{\text{počet úspěšných žádostí o službu (Service Request)}}{\text{celkový počet žádostí o službu}} * 100 (\%) \quad (1.3)$$

#### 1.10.4 Úspěšnost změny sledovací oblasti

Tento ukazatel určuje počet úspěšných změn sledovacích oblastí UE. Pokud by UE nebylo z nějakého důvodu schopné změnit svou sledovací oblast, mohla by nastat situace, kde by UE nemuselo být stránkováno, takže by bylo pro síť odpojené.

$$\text{TSR} = \frac{\text{počet žádostí NAS TAU Request} + \text{počet žádostí Attach request}}{\text{počet žádostí mimo SGW} + \text{počet žádostí v SGW}} * 100 (\%) \quad (1.4)$$

### 1.11 Možnosti chybových stavů

Chybové stavy mohou mít za následek nedostupnost sítě nebo nedovolí uživateli návazat žádanou službu. Z pohledu příčiny lze chybové stavy rozdělit na dva typy. První jsou chybové stavy způsobeny sítí a druhé chyby způsobené mimo síť.

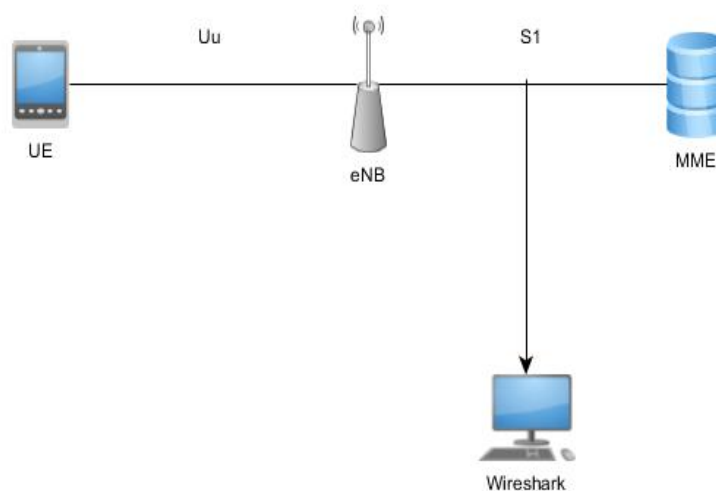
#### 1.11.1 Chybové stavy způsobené sítí

Z pohledu řídicích signálů se tyto chybové stavy mohou vyskytnout například při překročení maximální přenosové kapacity na rozhraní, kde by tento fakt mohl zapříčinit nedoručení některého rámce. Tento chybový stav by pravděpodobně nastal v době špičky, což by se dalo identifikovat snižujícím se identifikátorem KPI při časovém přibližování ke špičce a následným nárůstem po uplynutí kritické doby. Takto vzniklý chybový stav by se dal řešit zvýšením přenosové kapacity rozhraní, popř. vytvořením nové sledovací oblasti.

Dalším chybovým stavem, způsobeným sítí, může být fyzické poškození rozhraní, což se dá identifikovat nedostupností dalšího prvku sítě. Například dojde-li k jakémukoliv poškození rozhraní S1 mezi eNB a MME, mělo by to za následek přerušení komunikace mezi všemi účastníky připojených k danému eNB. Takto vzniklá chyba by se dala identifikovat kontrolou spojení mezi eNB a MME pomocí signálů HEART-BEAT. Takto vzniklou situaci by mělo UE vyřešit bez pomoci sítě a to přepojením k jinému eNB, pokud by bylo v dosahu. Pokud by k podobné situaci došlo na jiném rozhraní, měla by na tomto rozhraní existovat rezervní cesta.

#### 1.11.2 Chybové stavy způsobené mimo síť

V podstatě tento typ chyb může nastat pouze v rádiové části sítě. Kdy se UE dostane mimo dosah eNB např. vjede-li UE do tunelu nebo pokud se vybitje v UE baterie a v daný čas bude realizována příchozí služba pro dané UE, kdy bude v HSS záznam o dostupnosti v dané sledovací oblasti, avšak UE zde nebude nalezeno.



Obr. 1.20: Princip zachycení dat na rozhraní S1

```

C:\Program Files\Wireshark>tshark -2 -r 1.pcap -U -R "sctp.srcport == 36412" 1>
D:\test.txt

C:\Program Files\Wireshark>Pause
Pokračujte stisknutím libovolné klávesy...
  
```

Obr. 1.21: Filtr zachyceného provozu

## 1.12 Realizace analýzy signálů

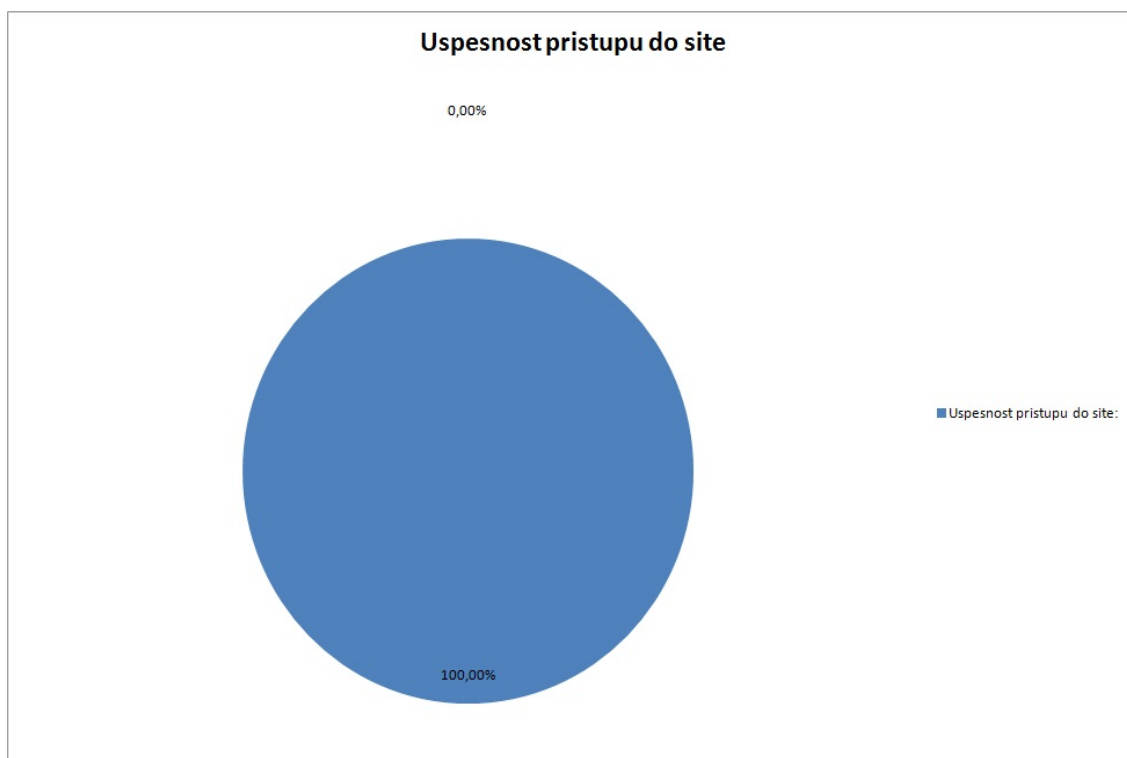
Provoz byl zachycen na rozhraní S1 mezi eNB a MME. Data byla zachycena pomocí programu Wireshark na mirrorvaném portu. Princip můžeme vidět na obr.1.20

Zachycený provoz byl vyfiltrován pomocí konzolové verze Wiresarku a to TShar-kem. Pro řídicí provoz byl použit filtr na SCTP port 36412. Výstupem tohoto filtru je textový soubor, ve kterém je každý vyfiltrovaný rámec oddělen prázdným řádkem. Ukázka příkazu na filtrování provozu lze vidět na obrázku1.21.

Takto vyfiltrovaný textový soubor byl analyzován programem psaném v jazyce C++, který vyhledává přesně dané řídicí zprávy a u některých si zaznamenává časovou značku pro výpočet časových údajů. Pomocí těchto údajů program vypočítá KPI a počet výskytů definovaných řídicích signálů. Výstup tohoto programu je opět textový soubor, který se importuje do programu Microsoft Excel, kde se pomocí exportovaných údajů dají vytvořit grafy.

Zde vidíme příklad cyklu vyhledávajícího řídicí signál Attach request, který zá-roveň zaznamenává dobu uplynulou od zachycení prvního rámce.





Obr. 1.22: Graf úspěšnosti přístupu k síti

## 1.13 Vyhodnocení analyzovaných dat

Pro vyhodnocení řídicích signálů jsem vytvořil vlastní identifikátory vhodně upravené pro analyzované rozhraní, avšak se svým principem podobají identifikátorům uvedených v kapitole 1.10 na straně 33.

### 1.13.1 Úspěšnost přístupu do sítě a průměrná doba přístupu k síti

Tento identifikátor naznačuje úspěšnost připojení UE k síti. Avšak tento identifikátor je vypočten pouze ze signálů, které procházejí rozhraním S1, tedy od počátečního odeslání signálu Attach Request po úspěšné vytvoření defaultního beareru (Initial Cntx Setup Response). Nejedná se tedy o úplný přístup, avšak je od tohoto bodu nepravděpodobné, že by se UE k síti úplně nepřihlásilo. Pro provozovatele sítě by měl být tento identifikátor důležitý, protože by se měl uživatel bez problému a rychle přihlašovat k síti. Pokud by byla doba přihlášení vysoká nebo identifikátor nízký, měl by provozovatel sítě analyzovat z jakého důvodu se tak děje. Např. zda síť nestíhá vyřizovat požadavky všech uživatelů ve sledovací oblasti nebo zda se nepokouší k síti připojit někdo neoprávněný.

**Výpočet KPI:**

$$\text{UPS} = \frac{\text{Attach request}}{\text{E-RABSetupItemCtxtSUSRes}} * 100 (\%) \quad (1.5)$$

$$\text{UPS} = \frac{2}{2} = 1 * 100 = 100\%. \quad (1.6)$$

**Výpočet průměrné doby přístupu k síti**

Tento výpočet probíhá zaznamenáním času odeslání Attach request a Initial Cntx Setup Response. Následovným odečtením časů a vydělením počtu přístupů získáme průměrný čas přístupu UE k síti.

**Výpočet průměrného času přístupu k síti:**

$$\text{PDP} = \frac{\text{čas odeslání Attach request}-\text{čas odeslání Initial Cntx Setup Response}}{\text{počet přístupů k síti}} (\text{s}) \quad (1.7)$$

$$\text{PDP} = \frac{(302,479645-302,376487)+(100,431161-99,653116)}{2} = 0,441\text{s} \quad (1.8)$$

### 1.13.2 Úspěšnost NAS Autentizace

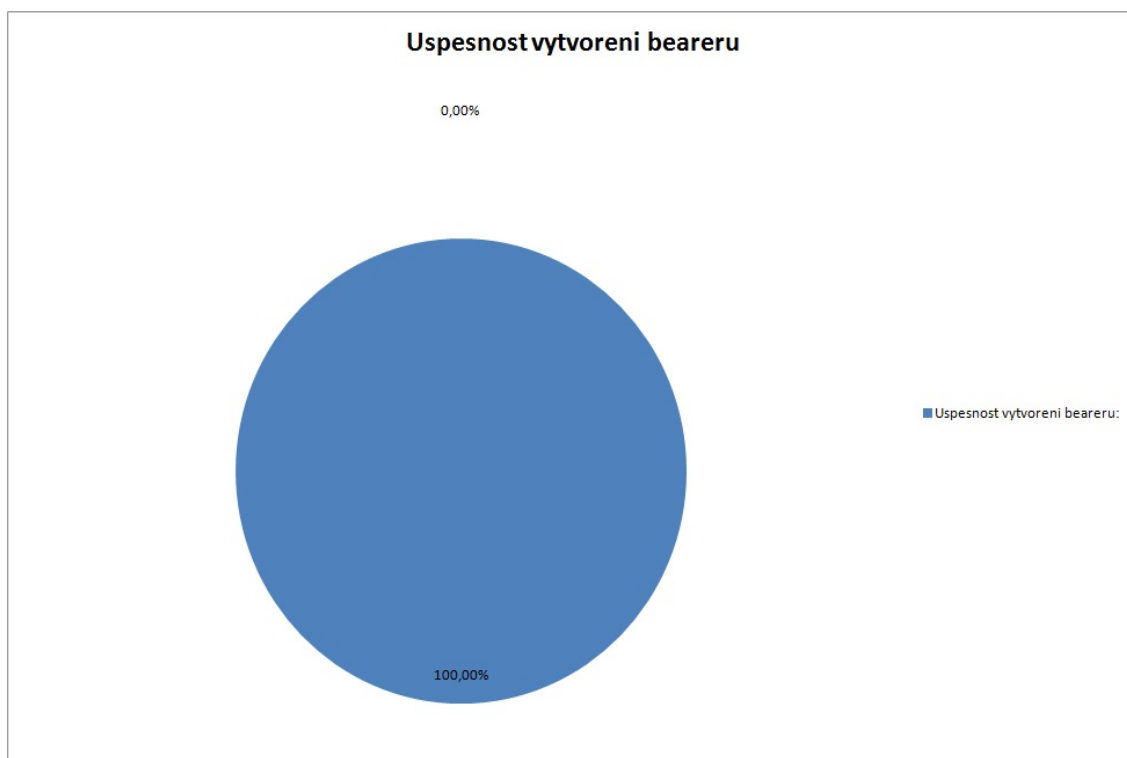
Tento ukazatel ukazuje úspěšnost autentizace uživatelského zařízení. Pokud bude tento ukazatel nízký, znamená to, že se k síti připojují neoprávnění uživatelé, protože se při této autentizaci ověřuje oprávněnost přístupu. NAS autentizace probíhá při změně sledovací oblasti a prvotním přístupu k síti.

Velikost tohoto ukazatele je přímo úměrný úspěšnosti přístupu k síti a může být nápomocen při vyhodnocení neúspěchu přístupu UE k síti. Napoví o tom, zda se pokouší připojit neoprávněný uživatel nebo zda se nezdaří vytvořit defaultní bearer apod.

**Výpočet KPI:**

$$\text{UNASA} = \frac{\text{Authentication response}}{\text{Authentication request}} * 100 (\%) \quad (1.9)$$

$$\text{UNASA} = \frac{2}{2} = 1 * 100 = 100\% \quad (1.10)$$



Obr. 1.23: Graf úspěšnosti vytvoření nosiče

### 1.13.3 Úspěšnost vytvoření nosiče

Nosič se vytváří při přihlašování uživatele do sítě (Defaultní) nebo se vytváří na žádost některých aplikací např. videohovory. Pokud se vytvoří nosič, síť nebrání provozu služby a většina chybových stavů je pak zapříčiněna serverem služby (přetížení serveru apod.). Nosič je identifikován identifikátorem QCI, který definuje typ nosiče a jeho vlastnosti, standardně se vytváří nosič s QCI 9. Avšak v závislosti na požadovaných vlastnostech se může vytvořit jiný. V tomto ukazateli jsou započteny nosiče vytvořené při přihlášení k síti, i vytvořené či obnovené při realizaci služby.

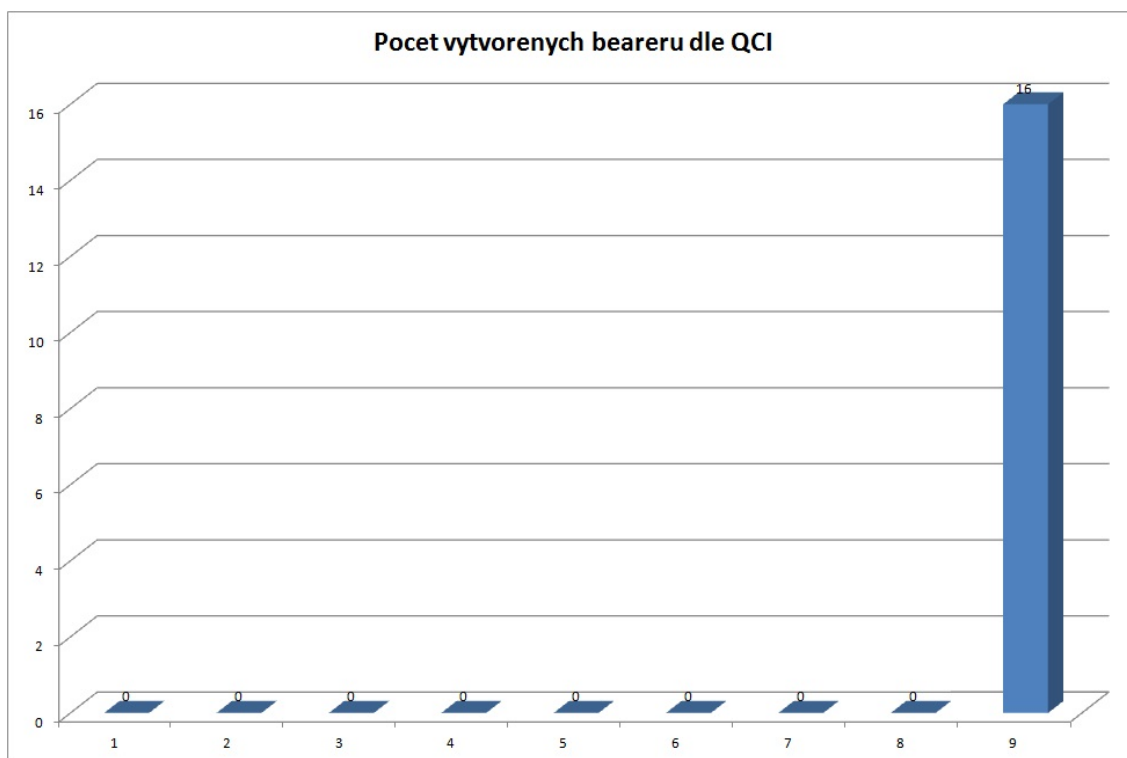
**Výpočet KPI:**

$$UVB = \frac{E-RABSetupItemCtxtRes}{E-RABSetupItemCtxtReq} * 100 \text{ (\%)} \quad (1.11)$$

$$UVB = \frac{16}{16} * 100 = 100\% \quad (1.12)$$

Na obr.1.25 vidíme, že v průběhu zachytávání provozu byl vytvořen pouze nosič pro TCP provoz viz1.13. Tento nosič je vytvářen jako defaultní při přihlášení UE k síti.





Obr. 1.24: Počet vytvořených nosičů a jejich typ

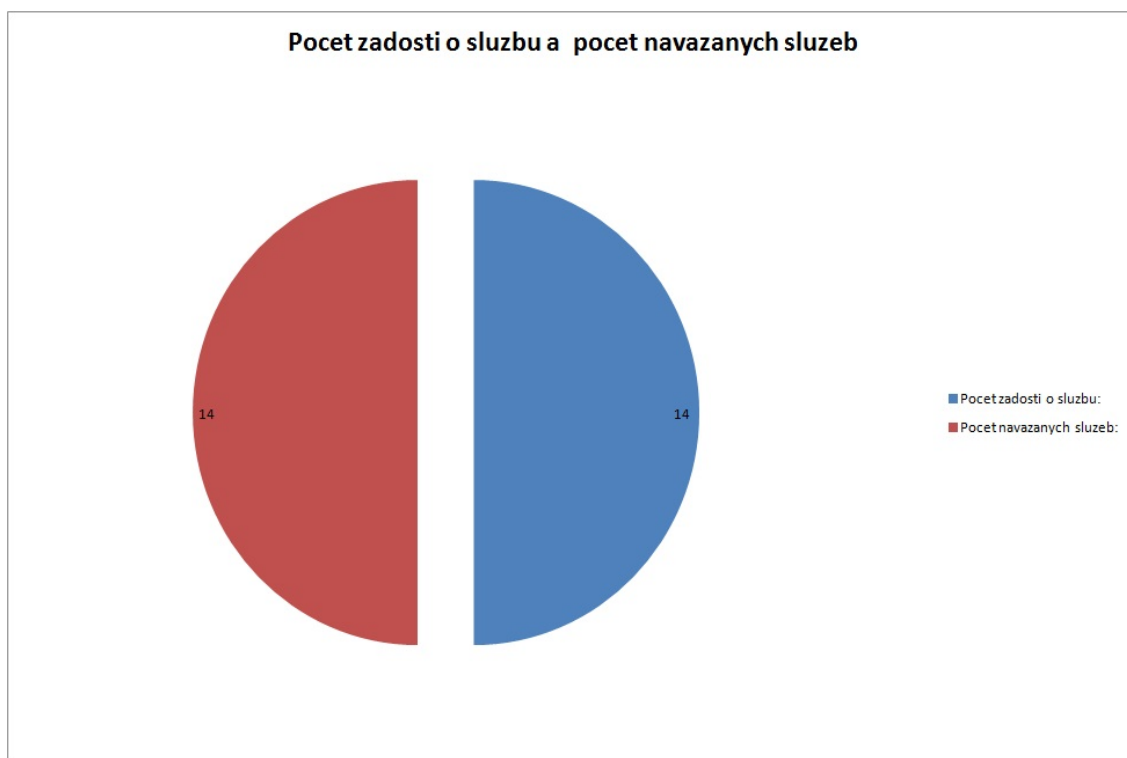
#### 1.13.4 Úspěšnost vytvoření služby

Úspěšnost vytvoření služby se z pohledu řídicí roviny rozumí okamžik od vyslání Service Request message po úspěšné vytvoření beareru E-RABSetupItemCtxtRes. Od tohoto okamžiku je realizace služby plně v režimu aplikace, která o službu žádala. Avšak bez této procedury by nebylo UE schopné službu realizovat (pokud by již nebyl vytvořen nosič pro danou službu).

**Výpočet KPI:**

$$UVS = \frac{\text{Service Request message}}{\text{E-RABSetupItemCtxtRes}} * 100 (\%) \quad (1.13)$$

$$UVS = \frac{14}{14} = 1 * 100 = 100\% \quad (1.14)$$



Obr. 1.25: Počet žádostí o službu a jejich realizace

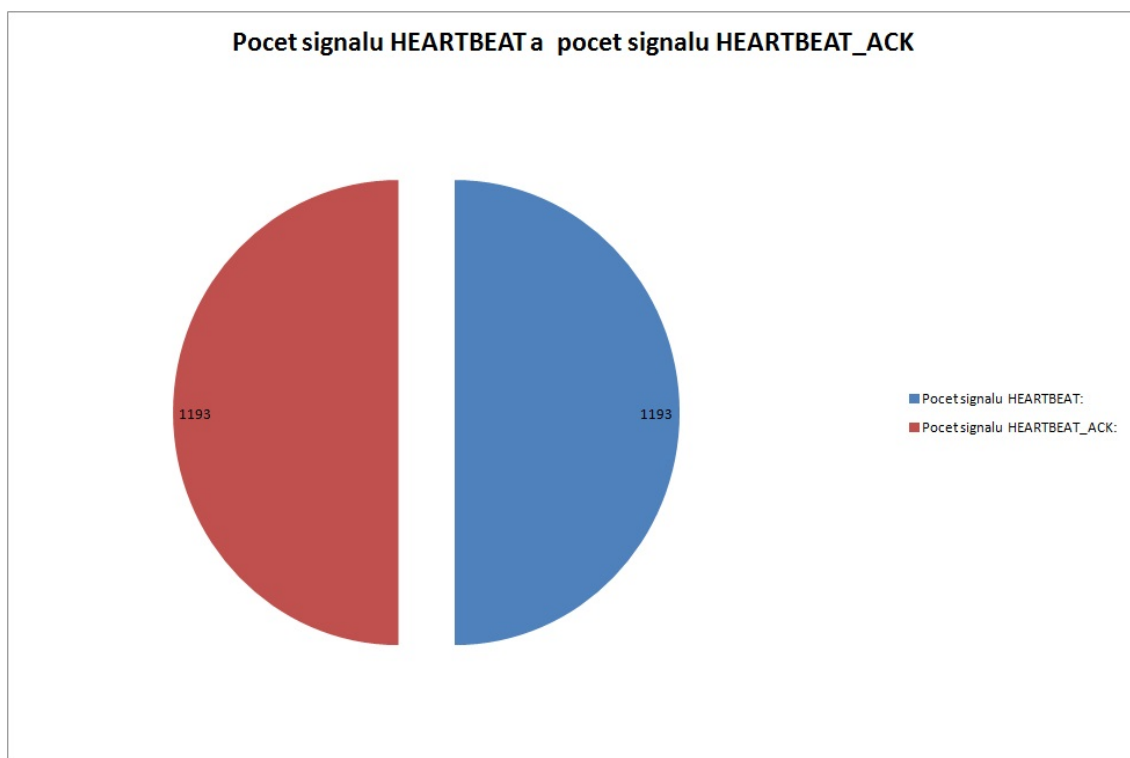
### 1.13.5 Úspěšnost udržení spojení na rozhraní S1

Tento identifikátor je vytvořen na základě komunikace mezi eNB a MME pomocí signálů HEARTBEAT a HEARTBEAT\_ACK. Tyto signály jsou vysílány pro ověření spojení mezi eNB a MME. Pokud by tento ukazatel byl příliš nízký, značí to výpadky na tomto rozhraní. Tyto výpadky mohou být zapříčiněny například přetížením rozhraní.

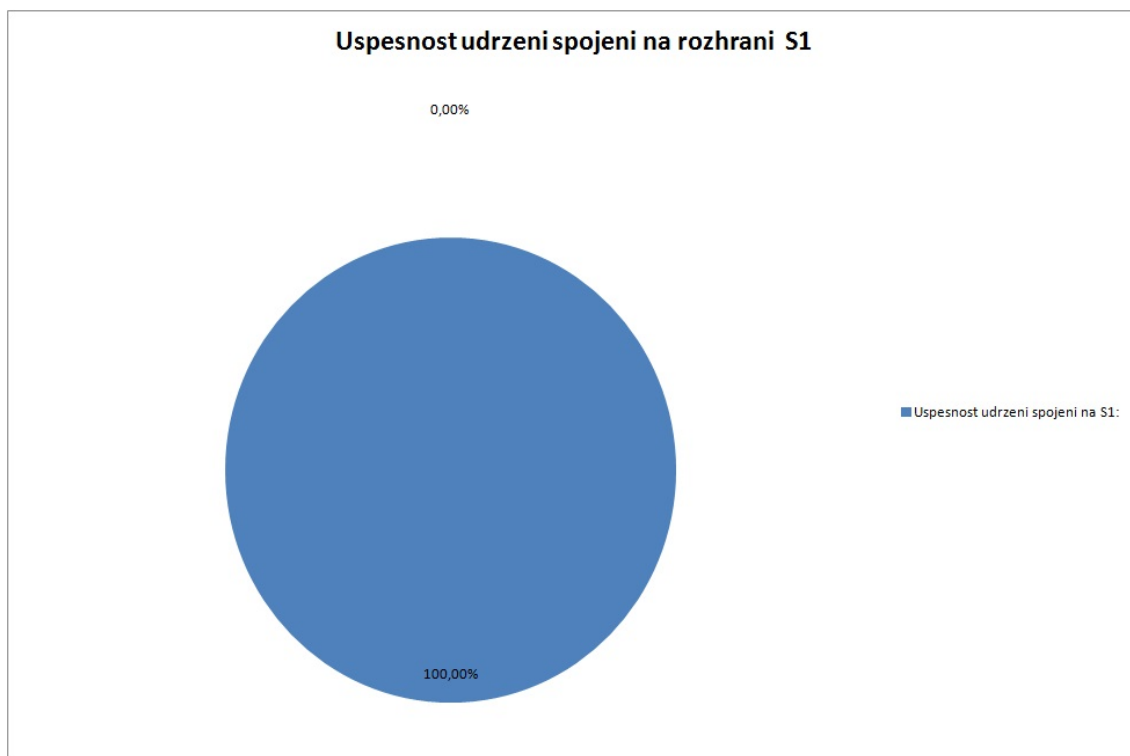
**Výpočet KPI:**

$$USS1 = \frac{HEARTBEAT\_ACK}{HEARTBEAT} * 100 (\%) \quad (1.15)$$

$$USS1 = \frac{1193}{1193} = 1 * 100 = 100\% \quad (1.16)$$



Obr. 1.26: Počet vyslaných signálu HEARTBEAT a HEARTBEAT\_ACK



Obr. 1.27: Úspěšnost udržení spojení na rozhraní S1

## 2 ZÁVĚR

V semestrální práci jsem se zaměřil na řídicí rovinu EPS systému LTE. Popsal jsem protokolovou výbavu systému, důležité identifikátory UE a důležité procedury uvnitř EPS jako je připojení uživatele do systému, změna sledovací oblasti, handover, paging, žádost o službu a přijetí služby. Dále jsem popsal některé klíčové indikátory uvnitř EPC jako je úspěšnost vytvoření dedicated beareru, úspěšnost připojení k EPS, úspěšnost žádostí o službu a úspěšnost změny sledovací oblasti. Tyto indikátory napomůžou provozovateli sítě včas odhalit nedostatečnou kapacitu systému EPS ještě před kritickým snížení kvality služeb.

V bakalářské práci jsem pokračoval vytvořením filtru v TSharku pro filtrování obdržených balíčků provozu z rozhraní S1. Po vyfiltrování jsem vytvořil program pro čítání klíčových signálů pro vytvoření nevržených KPI.

Pro rozhraní S1, jsem vytvořil KPI pro úspěšnost přístupu do sítě viz 1.13.1 na straně 37 a zároveň jsem u parametrů sledoval čas odeslání a vyhodnotil průměrný čas přístupu UE k síti. V analyzovaných balíčcích došlo ke dvěma přístupům. V prvním případě, kdy nenásledoval žádný provoz, byl tento čas 103 ms, v druhém případě, kdy se zařízení připojovalo během provozu, byl tento čas 778 ms. Z výsledku lze říct, že ačkoliv se čas přístupu zvedl, nedochází k markantnímu postihnutí uživatele s dobou čekání přístupu k síti.

Dále byl vypočítán ukazatel úspěšnosti NAS autentizace viz 1.13.2 na straně 38, jak je ve výše uvedené kapitole uvedeno, tento ukazatel napovídá o oprávněnosti uživatele přístupu do sítě. Dalším vytvořeným a vypočítaným ukazatelem byla úspěšnost vytvoření nosiče 1.13.3 na straně 39, tento ukazatel je klíčový pro prvotní přihlášení, avšak i pro vytvoření služby. Abychom mohli rozlišit vytvoření nosiče při přihlášení uživatele a při vytvoření služby, byl vytvořen další ukazatel, a to úspěšnost žádosti o službu viz 1.13.4 na straně 40, zde dochází v závislosti na žádosti služby vytvoření nosiče, tedy lze pomocí posledních dvou zmíněných ukazatelů určit, v jaké části komunikaci UE se sítí dochází k chybám. Dalším ukazatelem je úspěšnost udržení spojení na rozhraní S1, kdy se pomocí tohoto ukazatele dají identifikovat výpadky na rozhraní viz 1.13.5 na straně 41.

Posledním ukazatelem, který jsem analyzoval byl parametr QCI při vytváření nosiče. U všech 16 nosičů byl tento parametr nastaven na hodnotu 9, což znamená, že byl buď defaultní nebo vytvořen pro TCP služby, přesnější popis najdeme na obr.1.13.

Všechny ukazatele až na úspěšnost udržení spojení na rozhraní S1, jsou mezi sebou vzájemně svázány. Nejenže ukazují kvalitu úspěšnosti daných prcedur, ale lze podle jejich hodnot určit i původ problému.

V našem případě, všechny hodnoty vyšly 100% což je z pohledu řídicí roviny vyhovující, a není nutné nijak zasahovat do propustnosti sítě či její struktury.

# LITERATURA

- [1] COX Christopher. *An introduction to LTE: LTE-Advanced, SAE and 4G Communications*. 1. vydání. John Wiley and Sons Ltd, 10/2012, 324 s., ISBN 978-1-119-97038-5.
- [2] LESCUYER Pierre, LUCIDARME Thierry. *Evolved packet system (EPS): the LTE and SAE evolution of 3G UMTS*. 1. vydání. John Wiley and Sons Ltd, 2008, 338 s., ISBN 978-0-470-05976-0.
- [3] SESIA Stefania, TOUFIK Issam, BAKER Matthew.  
*LTE–The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*. 1. vydání. John Wiley and Sons Ltd, 2009, 610 s., ISBN 978-0-470-69716-0.
- [4] *Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Numbering, addressing and identification (3GPP TS 23.003 version 9.8.0 Release 9)* [online]. [cit. 13. 11. 2013]. Dostupné na WWW: <[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/123000\\_123099/123003/09.08.00\\_60/ts\\_123003v090800p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/123000_123099/123003/09.08.00_60/ts_123003v090800p.pdf)>
- [5] M. Sc. B. Eng. Bart Barton *LTE attach procedure* [online]. [cit. 2. 12. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.lteandbeyond.com/2012/01/lte-attach-procedure.html>>
- [6] V. Srinivasa Rao, Senior Architect and Rambabu Gajula, Lead Engineer *Protocol Signaling Procedures in LTE* [online]. [cit. 20. 11. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://go.radisys.com/rs/radisys/images/paper-lte-protocol-signaling.pdf>>
- [7] *LTE Protocols and Specifications* [online]. [cit. 12. 11. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://lteworld.org/lte-protocols-specifications>>
- [8] *LTE Protocol Stack Layers* [online]. [cit. 20. 11. 2013]. Dostupné na WWW: <[http://www.tutorialspoint.com/lte/lte\\_protocol\\_stack\\_layers.htm](http://www.tutorialspoint.com/lte/lte_protocol_stack_layers.htm)>
- [9] *Long Term Evolution Protocol Overview* [online]. [cit. 18. 11. 2013]. Dostupné na WWW: <[http://www.freescale.com/files/wireless\\_comm/doc/white\\_paper/LTEPTCLOVWP.pdf](http://www.freescale.com/files/wireless_comm/doc/white_paper/LTEPTCLOVWP.pdf)>
- [10] *LTE Attach and Default Bearer Setup Flow* [online]. [cit. 5. 12. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.eventhelix.com/lte/attach/lte-attach.pdf>>

- [11] *Tracking Area Update Signaling Flow* [online]. [cit. 28. 11. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://www.eventhelix.com/lte/tracking-area-update/lte-tracking-area-update.pdf>>
- [12] *LTE; Telecommunication management; Key Performance Indicators (KPI) for the Evolved Packet Core (EPC) (3GPP TS 32.455 version 10.0.0 Release 10 )* [online]. [cit. 12. 12. 2013]. Dostupné na WWW: <[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/132400\\_132499/132455/10.00.00\\_60/ts\\_132455v100000p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/132400_132499/132455/10.00.00_60/ts_132455v100000p.pdf)>
- [13] *LTE KPI's (Key Performance Indicators)* [online]. [cit. 15. 12. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://blog.3g4g.co.uk/2012/08/lte-kpis-key-performance-indicators.html>>
- [14] Adnan Basir *Quality of Service (QoS) in LTE* [online]. [cit. 15. 12. 2013]. Dostupné na WWW: <<http://4g-lte-world.blogspot.cz/2013/01/quality-of-service-qos-in-lte.html>>

### 3 SEZNAM ZKRATEK

**3G** Third Generation (sít 3. generace)  
**APN–AMBR** Access Point Name - Aggregate Maximum Bit Rate  
**ARP** Address Resolution Protocol (protokol)  
**AS** Access Stratum (protokol)  
**CDMA** Code Division Multiple Access (kódový multiplex)  
**DL** Down Link (směr komunikace k zařízení UE)  
**DSS** Direct Sequence Spread Spectrum  
**E–UTRAN** Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network  
**eNB** evolved Base transceiver station (radiový vysílač LTE)  
**EPC** Evolved Packet Core (souhrnné označení pro MME, SGW, PGW a HSS)  
**E–RAB** Evolved Radio Access Bearer  
**GSM** Groupe Spécial Mobile (sít druhé generace)  
**GPT–C** GPRS Tunnelling Protocol (protokol)  
**GUMMEI** Globally Unique MME Identifie (identifikátor)  
**GUTI** Globally Unique Temporary UE Identity (identifikátor)  
**HARQ** Hybrid automatic repeat request  
**HLR** Home Location Register  
**HSS** Home Subscriber Server (server na kterém jsou uložena data o UE, součást EPC)  
**IMS** IP Multimedia Subsystem  
**IMSI** International Mobile Subscriber Identity  
**IP** Internet Protocol (protokol)  
**KPI** Key Performance Indicators (identifikátor výkonnosti sítě)  
**LTE** Long Term Evolution (jiné označení sítě 4. generace)  
**L–EBI** Linked EPS Bearer ID – Identifikátor EPS beareru  
**MAC** Medium Access Control (vrstva protokolu)  
**MCC** Mobile Country Code (mezinárodní mobilní kód země)  
**MME** Mobility Management Entity (součást EPC)  
**MNC** Mobile Network Code (kód sítě)  
**MSIN** Mobile Subscription Identification Number (identifikátor)  
**NAS** non Access Stratum (protokol)  
**PDCCP** Packet Data Convergence Protocol (protokol)  
**PDP** Průměrná Doba Přístupu (identifikátor KPI)  
**PDU** Protocol Data Unit (datová jednotka)  
**PGW** Packet Data Network Gateway (součást EPC)  
**QCI** QoS Class Identifier (identifikátor, který určuje maximální ztrátovost, prioritu, zpoždění a typ služby)



**QoS** Quality of Service  
**RLC** Radio Link Control (vrstva protokolu)  
**S1–AP** S1 Application Protocol (vrstva protokolu)  
**SCTP** Stream Control Transmission Protocol  
**SDU** Service Data Unit (jednotka nesoucí řídicí signál)  
**SGW** Serving Gateway (součást EPC)  
**TB** Transport Block (přenosový blok)  
**TCP** Transmission Control Protocol (protokol)  
**TFT** Traffic Flow Template  
**TMSI** Temporary Mobile Subscriber Identity  
**UE** User Equipment (uživatelské zařízení)  
**UE–AMBR** User Equipment – Aggregate Maximum Bit Rate  
**UMTS** Universal Mobile Telecommunications System  
**UNASA** Úspěšnost NAS Autentizace (identifikátor KPI)  
**UPS** Úspěšnost Přístupu do Sítě (identifikátor KPI)  
**UVS** Úspěšnost vytvoření služby (identifikátor KPI)  
**USS1** Úspěšnost spojení na rozraní S1 (identifikátor KPI)  
**VLR** Visitor Location Register

# SEZNAM PŘÍLOH

A CD

50

## A CD

- Elektronická verze bakalářské práce
- Výstup programového filtru
- Zdrojové soubory programového filtru (programované v Microsoft Visual Studio 2010)