

# 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 ŘÍDICÍ ROVINY MOBILNÍCH SÍTÍ 4. GENERACE

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

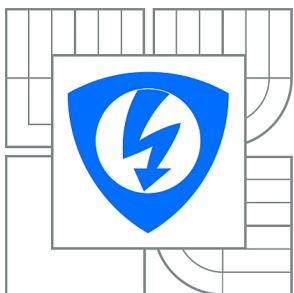
Bc. PAVEL HAJN

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 ŘÍDICÍ ROVINY MOBILNÍCH SÍTÍ 4. GENERACE**

CONTROL PLANE ANALYSIS IN 4TH GENERATION MOBILE NETWORKS

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. PAVEL HAJN**

**VEDOUČÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. RADKO KRKOŠ**

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
Telekomunikační a informační technika

**Student:** Bc. Pavel Hajn

**ID:** 129349

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2013/2014

## NÁZEV TÉMATU:

**Analýza řídicí roviny mobilních sítí 4. generace**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Popište řídicí rovinu mobilních sítí 3,9. a 4. generace, zejména signalizaci na rozhraních subsystémů eUTRAN a EPC. Popište problematiku klíčových výkonnostních indikátorů pro řídicí rovinu mobilní sítě. Diskutujte diagnostické postupy pro mobilní sítě s využitím metod drive testing, monitorování dohledovým systémem a analýzou toků mezi komponentami mobilní sítě analyzátozem síťového provozu. Tyto možnosti porovnejte s přihlédnutím ku možnostem získání konkrétních klíčových výkonnostních indikátorů. Sestavte metodiku diagnostiky a výkonnostního testování mobilních sítí.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] RALF KREHER, Karsten Gaenger. LTE Signaling: Troubleshooting and Optimization. Chichester, West Sussex, U.K: Wiley, 2010. ISBN 04-706-8900-5.
- [2] LESCUYER, Pierre a Thierry LUCIDARME. Evolved Packet system (EPS): the LTE and SAE evolution of 3G UMTS. Chichester: John Wiley, 2008, xii, 338 s. ISBN 978-0-470-05976-0.
- [3] HAUGDAHL, J. Scott. Network Analysis and Troubleshooting. Boston: Addison-Wesley, 2000, xi, 357 s. ISBN 02-014-3319-2.

**Termín zadání:** 10.2.2014

**Termín odevzdání:** 30.5.2014

**Vedoucí práce:** Ing. Radko Krkoš

**Konzultanti diplomové práce:**

**doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce je zaměřená na popis systému LTE z pohledu signalizace na rozhraních subsystémů LTE a EPC, jako například počáteční připojení UE do sítě. V další části jsou uvedeny typy diagnostických metod mobilní sítě pomocí OSS, drive testingu a analýzy toků. Dále se zaměřuje na popis klíčových výkonnostních indikátorů (RSRP, RSSI a další) a na návrh měření sítě LTE na fyzické vrstvě a měření rychlosti přenosu dat.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Analýza toků, Drive-testing, eNB, EPC signalizace, E-UTRAN, KPI, LTE, Měření rychlosti přenosu dat, MME, NGN OSS, PDCP, TEID, UE

## **ABSTRACT**

The thesis is focused on the description of LTE system in terms of signaling on interfaces of LTE and EPC subsystems, such as UE initial network connection. The next section describes the types of diagnostic methods for mobile networks using OSS, drive testing and flow analysis. The thesis also aims at description of key performance indicators (RSRP, RSSI, etc.) and the proposal for measuring of the LTE network physical layer and the data transmission speed.

## **KEYWORDS**

Data flow, Drive-testing, eNB, EPC signaling, E-UTRAN, KPI, LTE, Measurement data rate, MME, NGN OSS, PDCP, TEID, UE

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Analýza řídicí roviny mobilních sítí 4. generace“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/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 diplomové práce panu Ing. Radku Krkošovi za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci.

Brno .....

.....

(podpis autora)



Faculty of Electrical Engineering  
and Communication  
Brno University of Technology  
Technicka 12, CZ-61600 Brno  
Czech Republic  
<http://www.six.feec.vutbr.cz>

## PODĚKOVÁNÍ

Výzkum popsáný v této diplomové práci byl realizován v laboratořích podpořených z projektu SIX; registrační číslo CZ.1.05/2.1.00/03.0072, operační program Výzkum a vývoj pro inovace.

Brno .....

.....

(podpis autora)



EVROPSKÁ UNIE  
EVROPSKÝ FOND PRO REGIONÁLNÍ ROZVOJ  
INVESTICE DO VAŠÍ BUDOUCNOSTI



**OP Výzkum a vývoj  
pro inovace**

# OBSAH

Úvod	11
<b>1 Vlastnosti LTE</b>	<b>12</b>
1.1 Architektura sítě	12
1.2 Plánované výkonnostní cíle pro LTE	13
1.3 Architektura služby nosiče (Bearer)	15
<b>2 E-UTRAN/EPC signalizace</b>	<b>17</b>
2.1 S1 nastavení	17
2.1.1 Message Flow - tok zpráv	17
2.1.2 Analýza selhání	18
2.2 Počáteční připojení	18
2.3 Požadovaný kontext uvolnění UE od eNB	23
2.4 Žádost o služby UE	25
2.5 Nastavení vyhrazeného nosiče	27
2.6 Handover přes rozhraní X2 pro inter-eNB	28
2.7 S1 handover	31
2.8 Uvolnění vyhrazeného nosiče	34
2.9 Odpojení	35
<b>3 Diagnostické metody pro mobilní síť</b>	<b>37</b>
3.1 Drive-testing	37
3.1.1 Minimalizace Drive testingu (MDT)	39
3.2 Dohledový subsystém mobilních sítí	40
3.2.1 Pohled na obchodní požadavky	40
3.2.2 Pohled funkčně/informační	43
3.2.3 Implementační pohled	47
3.2.4 Propojení pohledů	49
3.3 Analýza toků	51
3.3.1 Protokolový zásobník	51
3.3.2 Tok dat ve vrstvách	52
3.3.3 Vrstvy kanálů	55
3.3.4 Protokolová architektura - řídicí roviny	59
<b>4 Klíčové výkonnostní indikátory</b>	<b>62</b>
4.1 Kontrola měření UE	62
4.1.1 Přizpůsobování linky	62
4.1.2 Fyzická Identita buňky (PCI)	63

4.1.3	Reference Signal Received Power (RSRP) . . . . .	64
4.1.4	Reference Signal Received Quality (RSRQ) . . . . .	64
4.1.5	Received Signal Code Power (RSCP) . . . . .	65
4.1.6	Signal to Interference-Noise Ratio (SINR) . . . . .	65
4.1.7	Kapacita bez pamětového kanálu . . . . .	66
4.1.8	Propustnost downlinku . . . . .	67
4.1.9	Reference signal time difference (RSTD) . . . . .	68
4.2	Měřicí schopnosti EUTRAN . . . . .	68
4.2.1	Síla DL RS TX signálu . . . . .	68
4.2.2	Přijímání rušeného výkonu . . . . .	68
4.2.3	Tepelný šum . . . . .	68
4.2.4	Postup načasování - Timing advance ( $T_{ADV}$ ) . . . . .	69
4.2.5	eNB Rx-Tx časový rozdíl . . . . .	69
<b>5</b>	<b>Diagnostika sítě</b>	<b>70</b>
5.1	Měření rychlosti přenosu dat . . . . .	70
5.1.1	Základní pojmy a zkratky . . . . .	70
5.1.2	Měření rychlosti přenosu dat . . . . .	71
5.2	Měření fyzické vrstvy . . . . .	76
5.2.1	Měření vysílače UE . . . . .	77
5.2.2	Měření přijímače UE . . . . .	77
5.3	Výkonnostní testování mobilních sítí . . . . .	78
5.4	Hotová řešení pro měření . . . . .	80
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>81</b>
	<b>Literatura</b>	<b>82</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>85</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Základní architektura systému LTE . . . . .	12
1.2	Rozdělení nosičů (Bearer) . . . . .	15
2.1	Příklad nastavení S1 pro dva eNB připojené na stejné MME. . . . .	17
2.2	Příklad selhání S1 nastavení (S1 Setup). . . . .	19
2.3	Ukázka připojení UE do sítě. . . . .	20
2.4	Ukázka signalizace a spojení uživatelské roviny po úspěšném připojení. . . . .	24
2.5	Ukázka Handoveru přes rozhraní X2 pro inter-eNB. . . . .	29
2.6	Ukázka uvolnění vyhrazeného nosiče. . . . .	34
3.1	Součásti NGN architektury. . . . .	41
3.2	Distribuované subsystémy NGN sítě. . . . .	41
3.3	Rámec podnikových procesů eTOM. [4] . . . . .	43
3.4	Příklad skupiny rozhraní služeb. . . . .	47
3.5	Referenční model implementačního pohledu. . . . .	49
3.6	Uživatelské a řídicí roviny . . . . .	51
3.7	PDCP komprese hlavičky . . . . .	53
3.8	Protokolová architektura řídicí roviny. [8] . . . . .	59
3.9	Zásobník protokolu pro rozhraní X2. . . . .	60
3.10	Zásobník protokolu pro rozhraní S6a. . . . .	61
4.1	Rozsah modulačních schémat a úrovní CQI s ním spojených. . . . .	63
4.2	Ideální dopad na SINR na uživatele při různých nastavení OLPC parametrů. . . . .	66
5.1	Princip měření za jízdy a rozložení měřicích bodů podél trasy . . . . .	76

## SEZNAM TABULEK

3.1	Záhlaví protokolu v LTE s použitím IPv4 . . . . .	54
4.1	Teoretická přenosová rychlost downlinku (10 MHz šířka pásma) . . .	67

# ÚVOD

V posledních letech se telekomunikační sítě rychle vyvíjí a zdokonalují. Nejnovějším trendem pro kvalitnější a rychlejší komunikaci je systém LTE (Long Term Evolution). Systém LTE je novou technologií představující obrovský pokrok v bezdrátové mobilní datové komunikaci. Skládá se ze dvou základních částí, části EPC (Evolved Packet Core) a části E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network). LTE přináší spoustu technických výhod, zvláště zvýšení přenosových rychlostí. Šířku pásma bude možné nastavit v rozmezí 1,25 MHz až 20 MHz v závislosti na potřebách poskytovatelů. LTE efektivněji využívá šířku spektra díky modulaci OFDMA.

Tato diplomová práce je zaměřená na teoretický popis systému LTE, na základní architekturu této sítě a její plánované výkonnostní cíle. Následující část je zaměřena zejména na signalizaci na rozhraních subsystémů LTE a EPC z pohledu řídicí roviny v mobilních sítích 3,9. a 4. generace, jako jsou počáteční připojení, handover a další.

V dalším oddíle jsou rozebrány diagnostické metody měření parametrů mobilních sítí metodou drive-testing, dohledovým subsystémem a analýzou toků. Všechny tyto metody nám ukazují, jak vyhodnocovat a měřit síť, ať už v provozu nebo teprve ve fázi plánování. Následná kapitola se věnuje popisu klíčových výkonnostních indikátorů (KPI), např. RSSI a RSRP, díky kterým můžeme posoudit kvalitu sítě a případně ji optimalizovat pro lepší a levnější provoz.

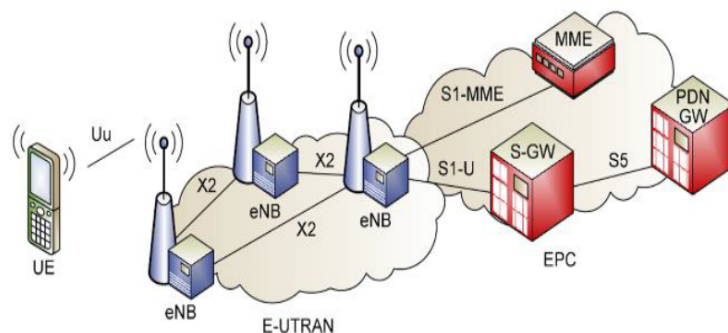
Závěrečná kapitola je věnována problematice diagnostiky sítě. Je vysvětleno měření rychlosti přenosu dat pomocí TCP protokolu, který je asi nejpoužívanějším při komunikaci v síti. Dále je popsáno měření fyzické vrstvy a výkonnostní testování mobilních sítí. V závěru práce je ukázáno několik „hotových“ řešení pro měření vlastností sítě od různých renomovaných společností.

# 1 VLASTNOSTI LTE

## 1.1 Architektura sítě

LTE je mobilní systém 3.9 generace a byl navrhnout konsorciem 3GPP. Tento systém je předchůdce 4. generace, která navazuje na tento systém LTE a tvoří ji již připravovaný systém LTE – Advanced. Systém LTE umožňuje především vyšší přenosové rychlosti (teoretická rychlost pro downlink je až 172 Mbit/s a pro uplink až 57,6 Mbit/s). Komunikační odezva bude oproti předchozím systémům značně snížena na hranici 10 ms.

Systém LTE pracuje na principu paketové komunikace - IP komunikace (MIP – Mobile IP). Výhodou této komunikace je malé zpoždění v rádiovém rozhraní (až < 10 ms) a vyšší spektrální účinnost.



Obr. 1.1: Základní architektura systému LTE

Sít LTE se skládá ze dvou základních částí, části **EPC** (Evolved Packet Core) a části **E-UTRAN** (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network). Část označovaná jako E-UTRAN spojuje jednotlivé eNB (evolved Node B), což jsou základnové stanice. Tyto stanice tvoří bránu mezi páteří sítě a rádiovým rozhráním. V části EPC se řídí celá síť. Zde se nachází MME (Mobility Management Entity) zajišťující mobilitu, paging, zabezpečení signálu a mnoho dalších. Dále tu je S-GW (serving Gateway), které nahrazuje u starších typů sítě uživatelské rozhraní SGSN a P-GW (Packet Data Network Gateway). Rozhraní mezi mobilní stanicí UE (User Equipment) a eNB se označuje jako rozhraní Uu.

## 1.2 Plánované výkonnostní cíle pro LTE

Při definování vývoje 3G sítě si provozovatelé sítě stanovovali různé cíle pro výkonnostní design sítě. Společnost 3GPP musela vytvořit studii, ve které posuzovala jednotlivé návrhy provozovatelů, z nichž vydala doporučení pro další postup (který by tvořil základ LTE).

### Maximální rychlost přenosu dat

- Okamžitá maximální rychlost přenosu dat v downlinku 100 Mb/s v přiděleném spektru do 20 MHz (5 bps/Hz).
- Okamžitá maximální rychlost přenosu dat v uplinku 50 Mb/s (2.5 bps/Hz) v přiděleném spektru do 20 MHz.

### Řídící rovina zpoždění

- Přečlovový čas menší než 100 ms z pohotovostního režimu (Idle mode) do aktivního režimu (podle Release 6).
- Přečlovový čas menší než 50 ms mezi stavem spánku, jako v Release 6 CELL\_PCH, a aktivním stavem, jako v Release 6 CELL\_DCH.

### Řídící rovina kapacity

- V aktivním režimu ve spektrálním rozvržení až do 5 MHz by mělo být podporováno nejméně 200 uživatelů na buňku.

### Mobilita

- E-UTRAN by měla být optimalizována pro nízké mobilní rychlosti 0 až 15 km/h.
- Vyšší mobilní rychlost mezi 15 až 120 km/h by měly být podporovány s vysokým výkonem.
- Mobilita přes celulární síť by měla být udržována při rychlostech od 120 km/h do 350 km/h, nebo dokonce až do 500 km/h v závislosti na frekvenčním pásmu.

### Dosah

- Propustnost, spektrální účinnost a výše vypsané mobilní body by měly být splněny pro buňky o velikosti 5 km a s mírným zhoršením pro buňky do 30 km. Buňky s větší rozlohou (do 100 km) by neměli být vyloučeny.

### Flexibilita spektra

- E-UTRAN by měl pracovat ve spektrálním rozvržení různých velikostí včetně 1,25 MHz, 1,6 MHz, 2,5 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz a 20 MHz v uplinku a downlinku. Provoz v párovém a nepárovém spektru musí být podporován.
- Systém by měl být schopen podporovat doručování obsahu přes agregované zdroje, včetně rádio pásmových zdrojů (tak dobře jako sílu, adaptivní plánování, atd.) ve stejném a jiném pásmu, jak v uplinku tak downlinku, tak i v sousedním a nesousedním kanálovém uspořádání. Rádiové pásmo zdroje je definováno jako veškerá spektra dostupná pro operátora.

## **Koexistence a inter-working s 3GPP rádiovou přístupovou technologií (RAT)**

- Koexistence ve stejné zeměpisné oblasti a společné umístění s GERAN/UTRAN na sousedních kanálech.
- E-UTRAN terminály podporující rovněž UTRAN i GERAN provoz a měl by být schopen podporovat měření a předání z/do obou 3GPP UTRAN a 3GPP GERAN.
- Doba přerušování v průběhu předání služeb v reálném čase mezi E-UTRAN a UTRAN (nebo GERAN) by měla být menší než 300 ms.

### **Architektura a migrace**

- Jednotná E-UTRAN architektura.
- E-UTRAN architektura je založena na paketovém základu, i když by měla sloužit pro systémy s podporou v reálném čase a konverzační třídou provozu.
- E-UTRAN architektura musí minimalizovat přítomnost tzv. jednotlivých bodů selhání.
- E-UTRAN architektura podporuje end-to-end QoS.
- Protokoly páteřní komunikace by měly být optimalizovány.

### **Požadavky pro řízení rádiových zdrojů**

- Vylepšená podpora end-to-end QoS.
- Efektivní podpora pro přenos z vyšších vrstev.
- Podpora sdílení zátěže a řídicí politiky rádiového přístupu napříč různými technologiemi rádiového přístupu.

### **Složitost**

- Minimalizovat počet možností.
- Bez redundantních povinných rysů. [13][14][15]

Podle těchto požadavků lze vidět, že LTE odkazuje na novou technologii rádiového přístupu pro vyšší přenosové rychlosti (50 - 100 Mb/s) a rychlé spojovací časy. Zvolené technologické řešení 3GPP používá techniku přístupu OFDMA a technologii MIMO, spolu s vysokou mírou modulace (64QAM). LTE používá stejné zásady jako HSPA (v existující Release 6 síti 3GPP) pro plánování sdílených prostředků datového kanálu, HARQ, a AMC (adaptivní modulace a kódování). Tato technologie dovoluje síť dynamicky optimalizovat pro nejvyšší výkon buňky podle požadavků provozovatele (např. rychlost, kapacita, atd.).

Po vyhodnocení různých návrhů, byla podána doporučení přijmout přístup založený na OFDMA, jako součást zcela nového vzduchového rozhraní. Důvodem je, že toto rozhraní nabízí požadované rychlosti přenosu dat při relativně nízkých nákladech a s energeticky úsporným hardwarem. WCDMA by bylo schopné toto také splnit,

ale nedosahovalo by se takových požadavků na úsporu energie, zpracování energie pro mobilní zařízení. Technologie založené na OFDMA nabízejí jednodušší implementaci požadovaných vysokorychlostních přenosů dat.

Výkon zvolené technologie byl modelován a předpokládá se, že splní původní požadavky stanovené ve specifikaci požadavků LTE. Klíčové vlastnosti vzduchového rozhraní (air interface) LTE jsou:

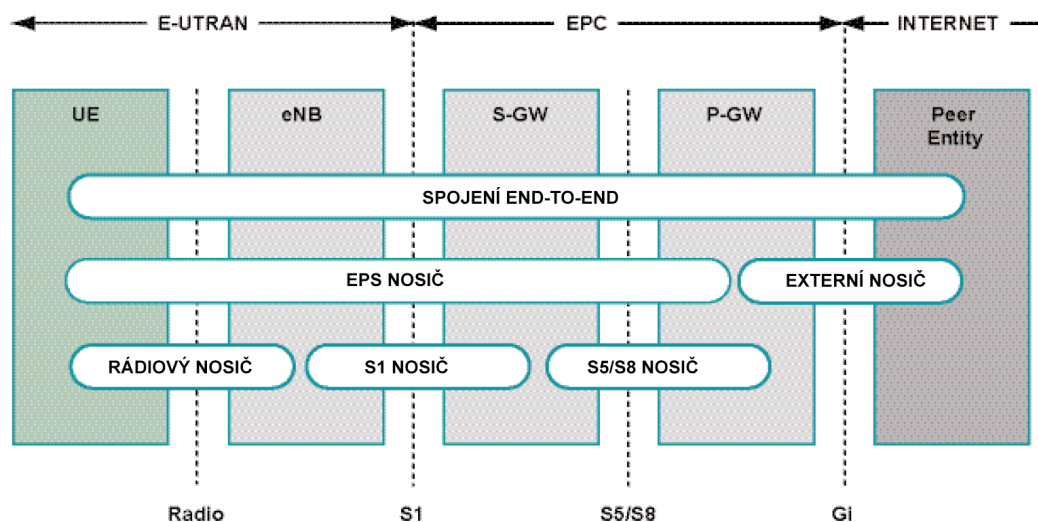
#### Downlink

- OFDMA na základě přístupu, s QPSK, 16QAM, 64QAM modulací.
- Multiplexované stahování (downlink).
- MIMO a vysílací rozmanitost.
- MBMS
- Plánování, adaptace link, HARQ a měření jako v 3.5G.

#### Uplink

- Jednotný nosič FDMA přístupu, s BPSK, QPSK, 8PSK a 16QAM modulací.
- Přenosová rozmanitost.
- Plánování, adaptace link, HARQ a měření jako v 3.5G.
- Náhodné přístupové postupy. [13][14][15]

### 1.3 Architektura služby nosiče (Bearer)



Obr. 1.2: Rozdělení nosičů (Bearer)

Spojení end-to-end (od uživatele k uživateli) přes LTE/SAE se provádí pomocí bearer service, neboli nosiče služby.

- Rádiový nosič (radio bearer) přepravuje pakety EPS nosiče mezi UE a eNB. K dispozici je mapování mezi EPS nosičem a rádiovým nosičem. EPS nosič obsahuje pouze jeden rádiový nosič.
- Nosič S1 přepravuje pakety EPS nosiče mezi eNB a S-GW (obslužnou bránou).
- S5/S8 nosič přepravuje pakety EPS nosiče mezi S-GW a PDN-GW (P-GW).
- UE ukládá mapování mezi paketovým filtrem uplinku a rádiovým nosičem k vytvoření vazby mezi SDF a rádiovým nosičem v uplinku.
- PDN-GW ukládá mapování mezi paketovým filtrem downlinku a S5/S8a nosičem k vytvoření vazby mezi SDF a S5/S8 nosičem v downlinku.
- eNB ukládá mapování one-to-one mezi rádiovým nosičem a S1 nosičem k vytvoření vazby mezi rádiovým nosičem a S1 nosičem v uplinku i downlinku.
- S-GW ukládá mapování one-to-one mezi nosičem S1 a S5/S8a nosičem k vytvoření vazby mezi nosiči S1 a S5/S8a v uplinku i downlinku. [12][13]

## 2 E-UTRAN/EPC SIGNALIZACE

### 2.1 S1 nastavení

Aplikační protokol S1 (S1-AP) v postupu nastavování rozhraní S1 se používá k uvedení nového eNB do provozu. Jde o podobné nastavení eNB jako NodeB na rozhraní Iub 3G UTRAN. Ovšem ve srovnání se signalizačním postupem Iub je instalace S1 jednodušší. S1 nastavení se přímo spouští na eNB, zatímco 3G NodeB pouze požaduje, aby se ověřil v RNC. To znamená, že v 3G UTRAN je RNC pánem všech konfiguračních parametrů NodeB, ale v E-UTRAN eNB je již nakonfigurován při uvedení do provozu. eNB v zastoupení S1 postupu nastavení již informoval MME o hlavních nakonfigurovaných parametrech v eNB. [1][2][12]

#### 2.1.1 Message Flow - tok zpráv

Každý eNB odešle S1AP iniciační zprávu pro nastavení S1 (název zprávy: S1 Setup Request) do MME. Každý eNB je jednoznačně identifikován svým Global-ENB-ID, která se skládá z kódu země (MCC - Mobile Country Code) + kódu sítě (MNC - Mobile Network Code) + macroENB-ID. K dispozici je také unikátní Transaction Area Code (TAC) konfigurován pro každou eNB podle operátora. Kromě toho zdrojové IP adresy (Src IP) z transportní vrstvy IP (IP vrstva pod SCTP) ukazují, že každá eNB má svou vlastní IP adresu. Pomocí hlavních parametrů (macroENB-ID, TAC a IP adresa) lze identifikovat tyto eNB v celkové E-UTRAN topologii.

5. MSG	Procedure Code	tAC	Src IP
initiatingMessage	id-S1Setup	'0001'H	10.254.0.3
initiatingMessage	id-S1Setup	'00c8'H	10.254.0.4

Obr. 2.1: Příklad nastavení S1 pro dva eNB připojené na stejné MME.

Maximální počet TAC na eNB podle velikosti informačního prvku ve specifikaci S1-AP je 256 (8-bitové pole TAC). Také stejná eNB může sloužit více než jednomu Public Land Mobile Network (PLMN). Teoretický maximální počet vysílacích PLMNs na eNB je šest. Oplátkou MME zašle S1-AP úspěšný výsledek zprávu pro nastavení S1 ke každému eNB pomocí dříve zjištěné IP adresy a aktualizuje základnové stanice s globálně jedinečným identifikátorem MME (GUMMEI - Globally Unique MME Identifier).

Ve zprávě Setup Response (nastavení odezvy) můžeme najít pár zajímavých informací:

- Relativní kapacita MME nacházející se v úspěšném výsledku zprávy indikuje relativní výkon zpracování MME s ohledem na ostatní MME v MME bazénu. Hodnota parametru se pohybuje v rozmezí od 0 do 255 a používá se pro vyrovnávání zatížení v rámci MME bazénu. To představuje definovaný váhový faktor. Vyšší váhový faktor (= vyšší relativní výkon MME) znamená, že tento MME je schopen zvládnout více připojení uživatelských zařízení (UE) ve srovnání s ostatními MME ve stejném bazénu. Takže jeho zatížení lze zvýšit. Pokud je eNB připojen k více MME, tak MME s nejvyšším váhovým faktorem by měl být zvolen tak, aby zřídil nové spojení UE.
- Po úspěšném nastavení S1, spojení mezi novým eNB a MME se nastaví pomocí S1-AP Reset. Po tomto úkonu se provádí synchronizace stavových automatů S1-AP pro všechna S1 nastavení. S1-AP Reset se provádí pro dokončení nastavení nového eNB a až po tomto kroku vstoupí změněné parametry v platnost. [1][2][12]

### 2.1.2 Analýza selhání

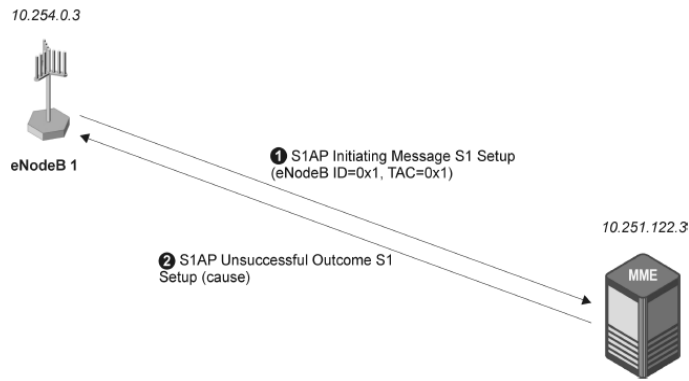
Pokud MME není schopno provést postup nastavení S1, zašle zpět neúspěšný výsledek hlášení (S1 Setup Failure) na eNB (obr. 2.2). Tato zpráva zahrnuje hodnotu příčiny selhání. Typickou hodnotou příčiny, kterou lze očekávat, můžeme nalézt v protokolu skupiny příčiny a skupině smíšených (rozmanitých) příčin S1-AP:

- Sémantické chyby.
- Abstraktní syntaktická chyba.
- Řízené zpracování přetížení.
- Hardware failure.
- Nespecifikovaná.
- Neznámý PLMN.

Neočekává se, že hodnota příčiny, ze skupiny příčin NAS a vrstvy rádiové sítě, bude použita ve zprávě o selhání S1 Setup. [1][2][12]

## 2.2 Počáteční připojení

Jak je známo z 2G a 3G mobilních sítí, účastníci se musí zaregistrovat do sítě. Po úspěšné registraci, jsou provozovatelem nabízené služby k dispozici odběratelům. Typickou účastnickou akcí, stojící za signalizační procedurou připojení, je připojení na telefon. V případě datových karet nebo USB flash disků, běžně používaných



Obr. 2.2: Příklad selhání S1 nastavení (S1 Setup).

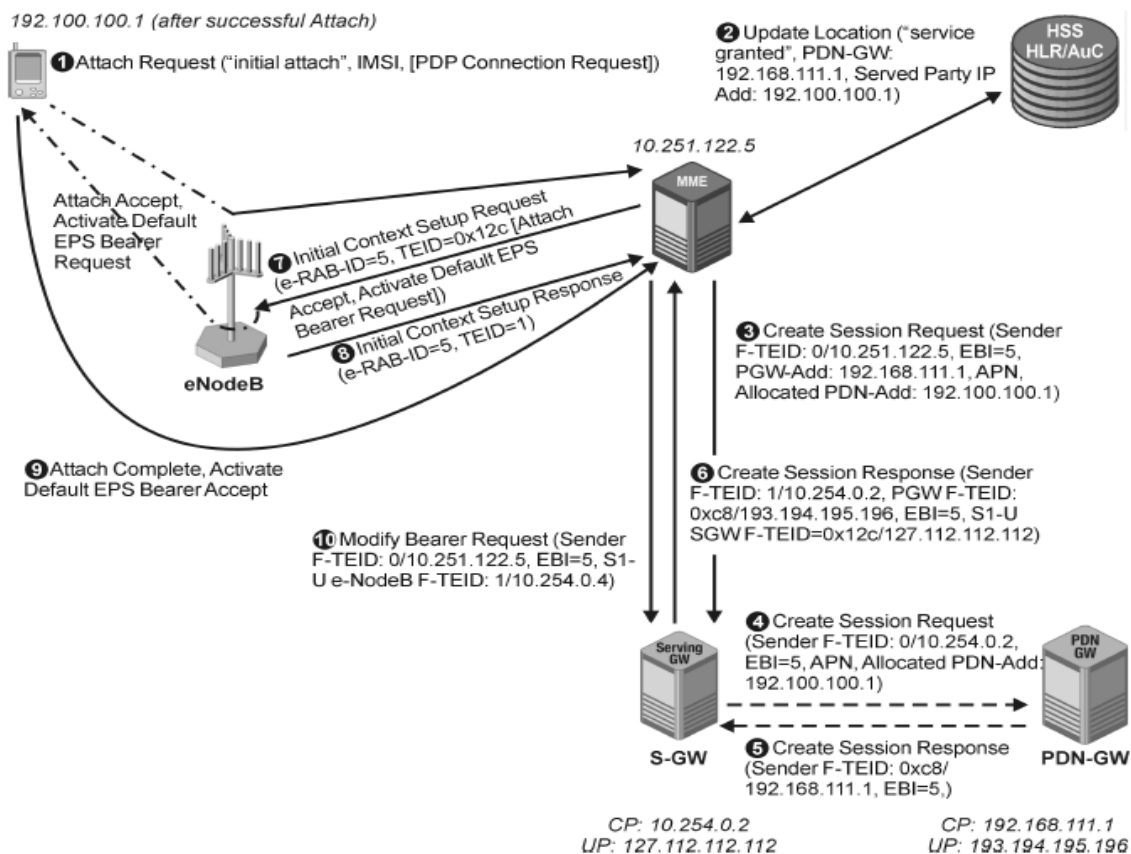
pro připojení přenosného počítače do mobilních sítí, kliknutím na tlačítko CONNECT v mobilní správě připojení v softwaru instalovaného společně se zařízením, spustí připojení UE. Ke změně kapacity E-UTRAN je vyžadováno, aby se UE odpojilo od sítě a následně znovu připojilo. Hlavní rozdíl mezi připojením k E-UTRAN nebo k 3G (2G) síti je, že v E-UTRAN výchozí nosič uživatelské roviny bude okamžitě přiřazen účastníkovi před dokončením připojení. Jde o snížení přístupového zpoždění. Ve skutečnosti není ustanoven jen nosič S1-U, ale všechny nosiče v hlavní síti na rádiovém rozhraní, které jsou nezbytné pro přepravu paketů mezi UE a P-GW nebo naopak. Nastavení nosiče mezi rozhraními E-UTRAN a EPC je podníceno vytvořením PDP spojení, neboli relace. Pomocí HSS se zjistí, zda má účastník povolení k plnému přístupu do sítě, jaké QoS má povoleny.

Nyní bychom si mohli popsat postup počátečního připojení UE do sítě.

### Postup :

- **Krok 1**

UE odešle NAS zprávu se žádostí o připojení, včetně druhu připojení, jeho trvalou nebo dočasnou UE identitu a PDP zprávu s požadavkem na připojení. S MME komunikuje přes NAS vrstvu USIM karta, a ne UE. Pokud USIM karta nebyla nikdy zapsána do jakékoli 4G sítě dříve, bude používat IMSI k odhalení její identity na síti. Jinak bude používat poslední Guti (Globally Unique Temporary UE Identity) uložené na USIM kartě. Tato žádost o spojení je transportována pomocí S1-AP. E-NodeB-UE-S1AP-ID se používá v průběhu celého S1-AP spojení mezi tímto eNB a MME k identifikaci mobilní stanice jednoznačně v rámci eNB. První S1-AP Downlink (DL) NAS transportní zpráva zaslaná MME bude obsahovat hodnotu MME-UE-S1AP-identifikátor, která je jedinečným identifikátorem UE na S1-AP subjektu MME. Spolu s NAS PDU, eNB odešle aktuální umístění účastníka představované TA-ID a CGI



Obr. 2.3: Ukázka připojení UE do sítě.

do MME. Tyto parametry budou později oznámeny HSS během procesu aktualizace umístění DIAMETER. Zpráva na požadování připojení může nabývat více hodnot, a to:

- EPS attach - UE je dovoleno používat LTE rádiového přístupu a transportní služby EPC sítě.
- IMSI attach - je termín používaný k popisu registrace a přístupu k non-EPS službám poskytovaných v GERAN, UTRAN nebo jiné rádiové přístupové technologii.

## • Krok 2

V tomto kroku přijme MME požadavek na připojení. Tento příjem spustí proceduru aktualizace polohy DIAMETER na rozhraní S6a. Tato poloha se uloží do HSS. Ten na oplátku MME obdrží QoS parametry a povolení pro uživatele k určitým službám sítě. Ve zprávě DIAMETER update location request můžeme např. nalézt položky:

- Application-ID, které nám říká, na jakém rozhraní se zpráva vyskytuje. V tomto případě na S6a.

- Odesílatel je identifikován pomocí Origin Host a Origin Realm.
- Příjemce je identifikován pomocí Destination Realm a Destination Host.
- USER name je IMSI účastníka, který poslal požadavek na připojení.

Ve zprávě DIAMETER update location answer je zajímavý parametr DIAMETER Result Code. Hodnota tohoto prvku může být úspěšná, neúspěšná. V případě, že hodnota je Porucha (Failure), odpovídající příčina bude doručena spolu s výsledkem. Kromě tohoto parametru se zde posílá plno jiných parametrů jako třeba QoS Class Identifier (QCI), který nám říká, jakého zacházení se účastníkovi dostane s jeho komunikací. (např. QCI = 9 znamená negarantovanou přenosovou rychlost a manipulaci s nejlepším úsilím v síti) HSS poskytuje také IP adresy pro konkrétní UE, pokud je připojen k této síti. Tato IP adresa poskytovaná HSS je pevná adresa uložena spolu s QoS účastníka podle smlouvy o úrovni služeb ve svém HSS. Ovšem i P-GW přiděluje IP adresy, ovšem dynamicky. HSS i P-GW společně poskytuje IP adresy a APN (Access Point Name).

- **Krok 3**

V tomto kroku je třeba ustanovit výchozí (defaultní) trasu. Nejdříve MME posílá GTP (GPRS Tunneling Protocol) s požadavkem na vytvoření relace (Create Session Request) na S-GW. Tato zpráva ukazuje Fully Qualified Tunnel Endpoint Identifier (F-TEID) odesílatele, která je kombinací jednoduchého tunelu Endpoint Identifier (TEID - Tunnel Endpoint Identifier) a IP adresy MME. Také IP adresa UE, její IMSI, adresa P-GW a APN (všechny již dříve přidělené HSS) jsou zahrnuty. EPS Bearer ID (EBI) identifikuje konkrétní nosič v případě, že je více nosičů stanovených pro stejný UE. Ve zprávě GTP Create session Request lze najít mnoho různých adres, jako IMSI, MSISDN účastníka, IP adresy P-GW, MME a účastníka. Také TAI a E-UTRAN Cell Group Identifier (ECGI) jsou zahrnuty v této zprávě a umožní stanovení aktuálního umístění účastníka. Nakonec jsou také zahrnuty možnosti konfigurace protokolu (např. uživatelské jméno a heslo poskytovatele internetových služeb).

- **Krok 4**

S-GW přijímá požadavek Create Session Request (CSR), díky kterému se spouští další vytváření relace, tentokrát mezi S-GW a P-GW. IP adresy zúčastněných síťových prvků a EBI lze nalézt v signalizačních zprávách GTP. P-GW také přijímá IP adresu UE a hodnotu APN.

- **Krok 5**

Po přijetí zprávy GTP pro vytvoření relace, P-GW potvrzuje příjem všech UE

a jejich souvisejících informací a dokončuje nastavení S5 nosiče.

- **Krok 6**

V tomto kroku S-GW dokončí relaci a nastavení nosiče k MME přes rozhraní S11. Vzhledem k tomu, že payload na cestě z UE do S-GW bude směřován na jiné rozhraní (S1-U), speciální F-TEID pro S1-U uživatelskou rovinu jednotky S-GW, je signalizováno do MME. Dále je informace o směřování pro P-GW odeslána do MME, díky čemuž MME má plnou kontrolu nad směřováním paketů uživatelské roviny. I díky tomu MME vybírá nové trasy z důvodu mobility účastníků nebo v důsledku měnících se podmínek zatížení v jádře paketů entit.

- **Krok 7**

Poté, co byly stanoveny nosiče na páteřní síti, je třeba stanovit transportní funkce uživatelské roviny na rádiovém rozhraní, stejně jako na rozhraní S1. Zpráva S1-AP initial context setup request (požadavek na nastavení kontextu) je poslán z MME na eNB. Tato zpráva zahrnuje všechny UE - jejich specifické parametry, které mají být uloženy v eNB, uživatelská rovina TEID S-GW pro zřízení GTP tunelu na rozhraní S1-U a zprávy NAS Attach Accept a Activate Default Bearer Request, aby se transparentně předaly UE přes rádiové rozhraní.

Důležitým parametrem v této zprávě je položka e-RAB-to-be-setup-List. Tento seznam obsahuje všechny informace pro alespoň jeden e-RAB, který by měl být stanoven. Je-li více e-RAB, bude seznam obsahovat více sekcí e-RAB-ID a jednotlivých QoS parametrů pro každou Radio Access Bearer (RAB).

Adresa transportní vrstvy je řetězec bitů o délce 32 bitů v případě adresy IPv4 a 128 bitů v případě adresy IPv6. Adresa transportní vrstvy identifikuje entitu S-GW uživatelské roviny. Možnosti zabezpečení UE a bezpečnostní klíč jsou zaslány MME, aby eNB umožnil šifrování a integritu ochranu pro přenos po rádiovém rozhraní.

Tato zpráva neobsahuje jen položky vypsané výše, ale i NAS část (zprávu Protocol Discriminator a Activate Default EPS Bearer Context Request - tato zpráva spustí nastavení rádiového nosiče na rozhraní Uu pro definované QoS), časovač T 3412 (používá k pravidelné regulaci Tracking Area Updates), seznam Tracking Area a GUTI (dočasná identita UE v síti).

- **Krok 8**

eNB potvrzuje, po přijetí Initial Context Setup Response, zřízení GTP tunelu na S1-U, které je součástí RAB. Tato zpráva obsahuje ERAB-Setup-List,

ve kterém u každého úspěšně zavedeného e-RAB-ID, je adresa transportní vrstvy uživatelské roviny a odpovídající GTP TEID pro koncový bod tunelového propojení uživatelské roviny na straně eNB.

- **Krok 9**

UE pošle zprávu NAS Attach Complete, v případě přidělení nového GUTI v Attach Accept. Přiřazení nového GUTI během připojení je volitelné. Další NAS zpráva v této transakci je Activate Default EPS Bearer Accept. Díky této zprávě UE potvrzuje, že od této chvíle je připraven k odesílání a přijímání dat uživatelské roviny pomocí profilu QoS přiřazené výchozím nosičem.

- **Krok 10**

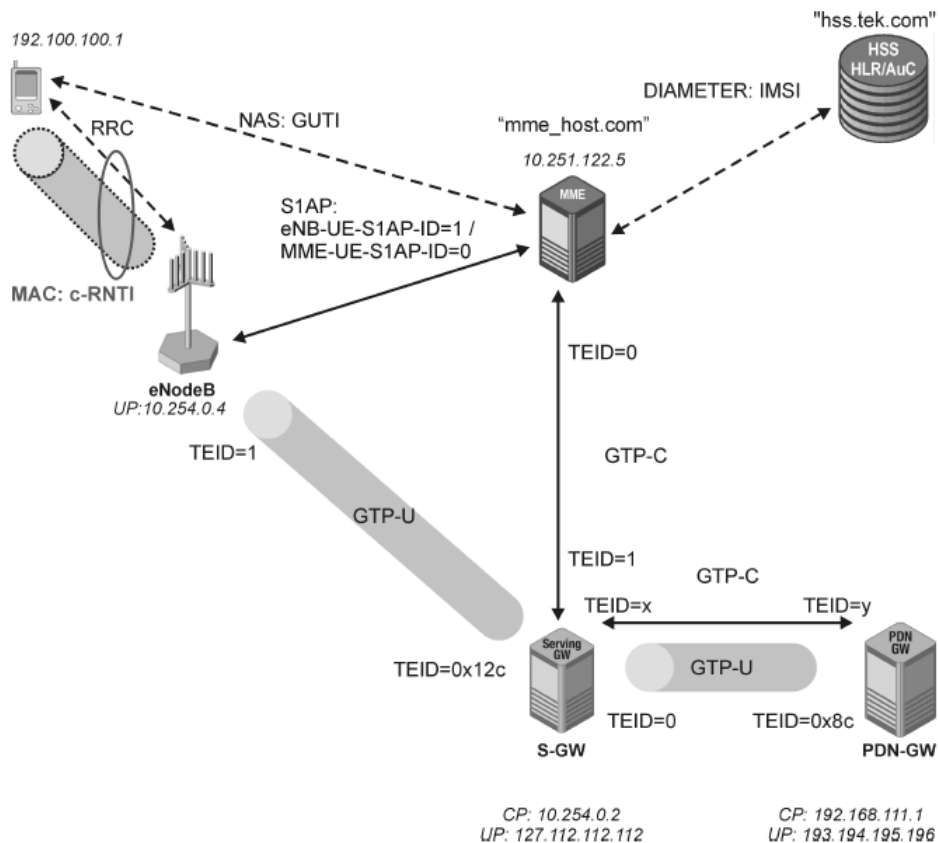
V tomto kroku už jsou UE a eNB připraveny k odeslání a přijímání dat. Aby mohl začít datový přenos, musí se dokončit nastavení mezi S-GW a MME. S-GW nebyl dosud informován o IP adrese uživatelské roviny eNB a GTP TEID, které mají být použity na S1-U. GTP Modify Bearer Request zpráva obsahuje požadované informace zakódované jako informační prvek sekvence S1-U eNB F-TEID. GTP upravená zpráva s odpovědí nosiče je poslána zpět z S-GW na MME.

Po dokončení signalizace mezi UE a MME, je UE nyní identifikováno svým GUTI, které je spojeno s IMSI. Tyto signalizační spojení GTP, pro jedno UE, jsou nyní jednoznačně označeny IP adresami zúčastněných síťových prvků (pro S-GW a P-GW IP adresy pro provoz řídicí roviny) a na každém rozhraní pomocí dvojice TEID pro řídicí rovinu. Totéž platí pro transportní tunely uživatelské roviny na rozhraních S1-U a S5. Na S5 mezi S-GW a P-GW můžeme vidět, jak je provoz uživatelské roviny oddělen od řídicí roviny tím, že definuje inteligentní číslovací plány. Logické spojení pro jedno UE v řídicí rovině S1 obklopuje dvojice S1-AP-ID. Na rádiovém rozhraní poskytuje stejnou funkci Cell Radio Network Temporary Identifier (C-RNTI), které signalizuje na MAC vrstvě. C-RNTI je platné jak pro uživatelskou rovinu, tak i pro řídicí rovinu. eNB totiž funguje jako přepínač, který posílá provoz řídicí roviny po jedné cestě do MME a pakety uživatelské roviny přes jinou cestu přímo do S-GW.

[1][2]

## 2.3 Požadovaný kontext uvolnění UE od eNB

Je-li detekována nečinnost uživatele sítí jménem časovače uplynutí, výchozí nosič a kontext UE mezi eNB a MME mohou být odstraněny v kterémkoli okamžiku,



Obr. 2.4: Ukázka signalizace a spojení uživatelské roviny po úspěšném připojení.

když eNB vyvolá S1-AP UE context release. Zpráva je odesílána i v jiných případech. Například, když je rádiové spojení s UE ztraceno nebo vyprší-li časovač pro MME přemístění (relocation) po X2 handoveru.

### Postup:

- **Krok 1**  
Poté, co časovač nečinnosti uživatele vyprší v eNB, odešle žádost S1-AP UE Context Release Request s hodnotou příčiny „nečinnost uživatele“ (user inactivity).
- **Krok 2**  
Když MME obdrží zprávu o uvolnění kontextu UE, spouští uvolňování S1-U nosiče, který provede odesláním modifikované zprávy požadavku nosiče GTP pro S-GW. V této zprávě je Scope Indication flag nastaven na hodnotu 1. To znamená, že související EPS nosič by měl být zrušen a transportní prostředky v souvislosti s nosiči, a to zejména TEID na eNB a S-GW straně, by měli

být uvolněny. Nicméně, GTP tunel v uživatelské rovině mezi S-GW a P-GW zůstává aktivní a není odstraněn během tohoto postupu.

- **Krok 3**

S-GW potvrzuje vymazání S1-U nosiče zasláním GTP Modify Bearer Response s nosičem identity (EBI) s přívlastkem požadavek přijat.

- **Krok 4 a 5**

MME musí nyní také nařídit eNB, aby uvolnil prostředky pro toto konkrétní UE spojení. To je vyvoláno odesláním příkazu S1-AP UE context release k eNB. Tento příkaz začíná ukončení kompletního logického S1-AP spojení, protože hodnota v této zprávě by neměla označovat stav UE, ale spíše by měla dát znamení, že spojení S1-AP je normálně ukončeno nebo není. Proto, tato zpráva označuje stav stavového automatu S1-AP v MME. [1][2]

## 2.4 Žádost o služby UE

Po procesu uvolňování kontextu zůstává UE připojeno k EPC a výchozí nosič je stále aktivní jako logické spojení. Pouze rádiové a kanálové prvky zdroje v eNB jsou uvolněny pro využití co nejúčinnějším způsobem. Odesláním zprávy s požadavkem na služby na vrstvě NAS je spojení velmi rychle obnoveno.

### Postup:

- **Krok 1**

Zpráva s požadavkem služby je poslána na vrstvě NAS od UE k MME. Na eNB ve vrstvě NAS je PDU „piggybacked“ S1-AP transportní funkce, která je předána MME pomocí počáteční UE zprávy S1-AP. Ve zprávě S1-AP v části aktuální umístění, je UE identifikována pomocí tracking area a E-UTRAN buňka se zjistí. UE samotné je identifikováno svým S-TMSI, který je obvykle součástí GUTI. Nicméně, pro počáteční zprávu UE není GUTI definováno jako povinný parametr a pro přenos S-TMSI skládajícího se z MME kódu a M-TMSI je dostačující.

V NAS zprávě s požadavkem služby se používá identifikátor zabezpečovacího klíče KSI (ASME (Access Security Management Identity - Správa zabezpečení přístupu Identity)), který se zjistí společně s pořadovým číslem (SN), které by se mělo použít v algoritmu k restartování NAS šifrování. Kromě toho je zahrnuta zpráva NAS autentizačního kódu pro ochranu integrity.

- **Krok 2**

Obdržení NAS žádosti o službu zahrnující bezpečnostní parametry, může vyvolat postup ověřování informací na rozhraní S6a mezi MME a HSS pomocí protokolu DIAMETER. Zpráva DIAMETER authentication information request, která je odeslána z MME, požaduje jeden nebo více vektorů ověřování, které mají být poskytnuté HSS. Kromě informací o adrese odesílatele a příjemce zprávy DIAMETER, je zde také zahrnuto IMSI daného uživatele v poli uživatelské jméno. HSS posílá zpět zprávu DIAMETER authentication information answer. V ní je možné nalézt různé parametry ověřování vektorů:

- Náhodné číslo RAND.
- Očekávaná reakce (XRES).
- Ověřování token (AUTN).
- Bezpečnostní klíč od ASME (KASME).

- **Krok 3**

O počáteční nastavení kontextu žádá MME. Zpráva obsahuje nový kontext zabezpečení, ale stejné S1-U, S-GW a TEID, který byl přiřazen v relaci GTP create session na rozhraní S11 při dřívějším počátečním připojení.

- **Krok 4**

eNB potvrzuje nový počáteční nastavený kontext. TEID uživatelské roviny rozhraní S1 z předchozího počáteční připojení se opět aktivuje, tentokrát na straně eNB. S1-U TEID je kódováno jako adresa informačního prvku transportní vrstvy.

- **Krok 5**

Ve zprávě GTP modify bearer request dříve starý S1-U nosič, dočasně deaktivovaný pomocí scope indicator flag, je obnoven.

- **Krok 6 a 7**

Modifikovaný nosič na rozhraní S11 se spouští pomocí Bearer Update S5 s novými informacemi zpoplatnění a QoS parametrů.

- **Krok 8**

Odesláním Modify Bearer Response, S-GW potvrzuje, že tunel uživatelské roviny na rozhraní S1-U lze znovu použít pro přenos.

- **Krok 9**

Na žádost Update Bearer Request, který je odeslán z S-GW do MME na rozhraní S11 je nutné spustit proces zpoplatnění.

- **Krok 10**

E-RAB bude upraven na rozhraní S1. V NAS Modify EPS Bearer Context Request najdeme stejné QoS parametry jako na S1-AP.

- **Krok 11**

eNB potvrzuje modifikaci E-RAB a UE potvrzuje modifikaci EPS nosiče. Nyní jsou všechny zúčastněné síťové prvky připraveny pro přenos pomocí znovu ustanovených spojení nosičů uživatelské roviny. Na rozdíl od toku volání (call flow), zprávy NAS EPS Bearer Modification Response mohou být přepravovány samostatnými S1-AP UL NAS transport zprávami. [1][2]

## 2.5 Nastavení vyhrazeného nosiče

Kdykoli jsou vyžadovány parametry profilu QoS, bude vytvořen vyhrazený nosič paralelně s výchozím nosičem. Defaultní nosič je nastaven v průběhu nastavení S1-AP Initial Context Setup a je poznatelný podle RAB-ID (obvykle rovno 5). Pokud je aktivní výchozí nosič nového spojení uživatelské roviny v QoS profilu odlišný od jednoho z výchozích nosičů, vyžaduje nastavení vyhrazeného nosiče, který bude probíhat souběžně s výchozím nosičem. Žádost o vytvoření vyhrazeného nosiče může být vyvolána pomocí S-GW nebo i Policy and Charging Rule Function (PCRF) přes rozhraní Gx po interakci, s například web-serverem nebo IP Multimedia Subsystem (IMS), který zvýšil poptávku po nových nosičích s konkrétní QoS. Typickým scénářem pro takové chování může být, když účastník prochází internet pomocí standardního nosiče a po nalezení streamovaného zdroje videa v reálném čase si ho chce stáhnout (shlédnout), aktivuje se vytváření vyhrazeného nosiče. Proto S-GW (vyvoláno z P-GW) pošle novou zprávu GTP create bearer request pro RAB-ID = 6. Nový Traffic Format Template (TFT) v této zprávě obsahuje seznam konkrétních parametrů QoS dle požadavků na streamované video. Konec nastavení vyhrazeného nosiče se děje podobným způsobem jako dřívější nastavení výchozího nosiče. Nicméně, e-RAB-ID, profil QoS nového nosiče a jména zpráv na S1-AP a protokolové vrstvě NAS jsou různé. [1][2][12]

## 2.6 Handover přes rozhraní X2 pro inter-eNB

Když UE mění svou geografickou polohu, je nutné provést handover. V ideálním případě se handover provádí pomocí rozhraní X2, pokud ovšem UE neopustí prostor pokrytí LTE obecně. Existují tři hlavní kroky, které mají být provedeny v síti pro tento druh handoveru. Po těchto krocích se musí provést procedura aktualizace sledovací oblasti (tracking area update) poté, co je UE připojeno k cílové buňce. Tři hlavní kroky X2 handoveru jsou:

1. Postup přípravy X2 handoveru se provádí na rozhraní X2 při připojování zdrojové a cílové eNB mezi sebou navzájem. Během tohoto postupu je zřízena signalizace připojení pomocí X2 Application Part (X2-AP), stejně jako dočasný tunel uživatelské roviny, aby se předala neodeslaná data uživatelské roviny od zdrojové k cílové eNB.
2. Použitím postupu S1-AP path switch request (požadavek na přepnutí cesty) se cílový eNB aktualizuje v MME s novou geografickou polohou UE a požaduje nové trasy pro GTP-U tunel na rozhraní S1-U.
3. Chceme-li povolit tuto novou cestu pro údaje uživatelské roviny o S1-UE, MME potřebuje komunikovat s S-GW. V podstatě je třeba jednat o nových koncových bodech GTP-U tunelu.

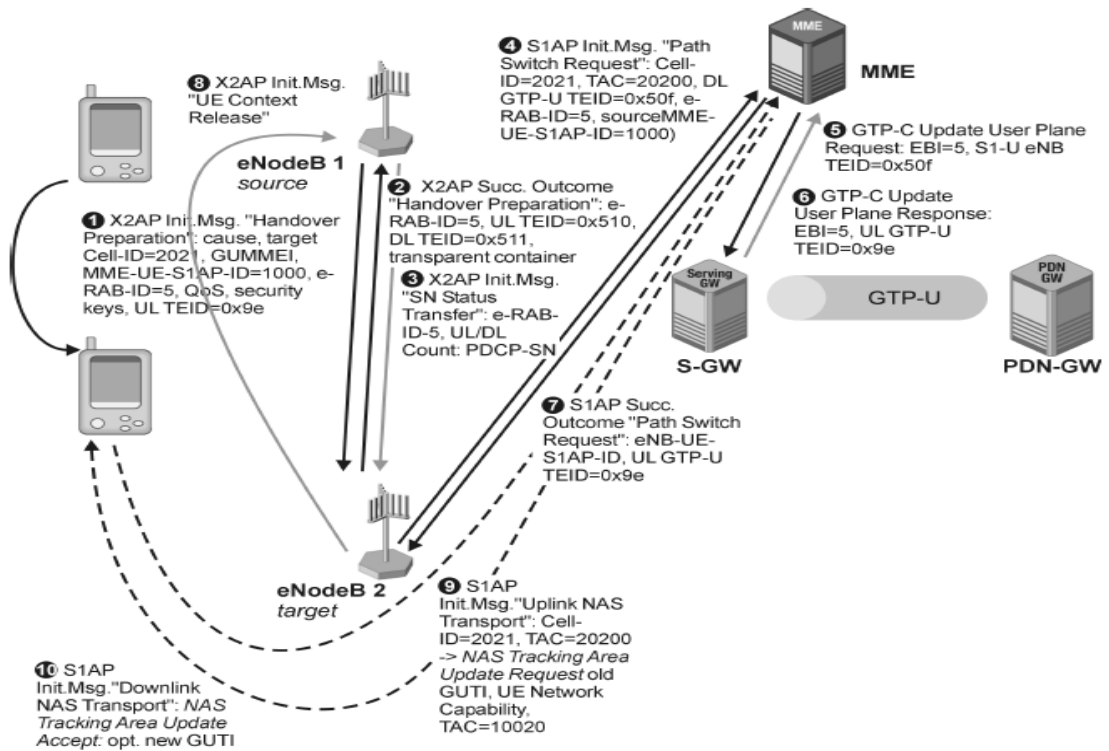
Nejen S1-U tunel musí být zapnut, ale také rádiový nosič na vzduchovém rozhraní. UE měnící buňky na rádiovém rozhraní provádí postup rekonfigurace RRC a musí vstoupit do nové buňky za použití postupu s náhodným přístupem. Tento povinný náhodný přístup při handoveru je nová funkcionální signalizace LTE rádiového rozhraní. Ve 2G a 3G rádiových sítích byl náhodný přístup použit pouze k vytvoření nového spojení mezi UE a sítí, ale ne při handoveru.

Na obrázku 2.5 lze vidět všechny signalizační zprávy o postupech, které mohou být sledovány v E-UTRAN včetně jejich nejdůležitějších informačních prvků.

### Postup:

#### • Krok 1

Výsledkem měření kvality RRC DL nebo interním výsledkem UL měření kvality spouští zdrojový eNB handover X2 zasláním iniciační zprávy X2-AP pro opravu handoveru (Název zprávy: X2-AP Handover Request) k cílovému eNB. Zpráva obsahuje hodnotu příčiny v souvislosti s žádostí o handover (typickou hodnotou příčiny v rádiové síti je handover desirable for radio reasons), cell-ID zdrojové buňky, GUMMEI k identifikaci MME, který spravuje řízení mobility



Obr. 2.5: Ukázka Handoveru přes rozhraní X2 pro inter-eNB.

zejména pro tento hovor, MME-UE-S1AP-ID, který je jedinečnou identitou této výzvy v protokolu MME-S1AP, e-RAB-ID a příslušné QoS parametry tohoto e-RAB a hodnoty UL TEID. Pokud existuje více než jen jeden aktivní e-RAB pro toto rádiové spojení, bude se více e-RAB-ID a QoS seznamů parametrů nacházet v X2-AP zprávě. UL TEID, signalizované v X2-AP zprávě zahájení přípravy pro handover, je v současnosti ten, který je přidělený S-GW pro IP tunel na referenční bod S1-U. Navíc zpráva obsahuje kontext RRC rádiového spojení, který zahrnuje například všechny bezpečnostní parametry. Také informace o zabezpečené vrstvě přístupu, jako je klíčový eNB, se přenáší od zdrojového eNB k cílovému eNB.

- **Krok 2**

Cílový eNB reaguje na úspěšný výsledek zprávy od zdrojového eNB X2-AP pro přípravu handoveru (název zprávy: X2-AP Handover Request Acknowledge), včetně stejných e-RAB-ID dříve ustanovených v zahajovací zprávě. Kromě toho je zde UL TEID a DL TEID spolu s adresou transportní vrstvy příslušného prvku sítě uzavřené v této zprávě. Tyto TEID budou použity, aby předaly neodslané pakety od zdrojového eNB do cílového eNB přes rozhraní X2. Je třeba zdůraznit, že jak UL, tak i DL TEID jsou přiřazeny cílovému eNB. To je proto,

že dočasný tunel GTP-U na referenčním bodu X2 se během handoveru používá jako jednosměrné spojení, na kterém jsou všechny zbývající pakety připojení stále uloženy ve zdrojovém bufferu eNB předávaného k cílovému eNB bez jakéhokoli potvrzení na příjmací straně. V případě ztráty paketů, vyšší vrstvy uživatelské roviny, jako je Transmission Control Protocol (TCP), si musí objednat potřebné přenosy pomocí IP spojení end-to-end mezi UE a aplikačním serverem.

- **Krok 3**

Zdrojový eNB odešle iniciační zprávu X2-AP pro „SN stav přenosu“ včetně závadných e-RAB-ID a PDCP SN pro UL a DL datový přenos přes rádiové rozhraní. Tento počet hodnot PDCP SN je povinný pro bezproblémové pokračování šifrování a ochrany integrity funkcí po úspěšném handoveru.

- **Krok 4**

Nyní je čas přepnout S1-U GTP tunel směrem k cílovému eNB. Chceme-li požádat o změnu ve směrování paketů, cílová eNB pošle S1-AP iniciační zprávu jako žádost o přepnutí cesty (Path Switch Request) na MME. Obsahuje nové umístění UE představované ID cílové buňky a TAC cílové buňky. Zdroj MME UE-S1AP-ID umožňuje jednoznačně identifikovat připojení konkrétního telefonu v entitě MME S1-AP.

- **Krok 5**

Vzhledem k tomu že tunel GTP-U musí být zapnut na rozhraní mezi eNB a S-GW, MME pošle GTP-C Update User Plane Request na S-GW, která obsahuje EBI z RAB a S1-U eNB TEID pro DL přenos pomocí nového tunelu.

- **Krok 6**

S-GW vrací GTP-C Update User Plane Response, která obsahuje opět EBI a UL GTP-U TEID nového tunelu.

- **Krok 7**

Po úspěšné aktualizaci uživatelské roviny na rozhraní S11, MME vysílá zprávu o úspěšném výsledku postupu žádosti S1-AP na přepnutí cesty na cílový eNB. Tato zpráva potvrzuje, že UL GTP-U TEID na S1-U zůstane stejný. Kromě toho některé parametry pro zabezpečení kontextu jsou připojeny, jako je řetězené počítadlo následujících skoků (hopů), který se používá k odvození nové  $K_{eNB}$ . To znamená, že zdrojový eNB nepředává své vnitřní zabezpečovací klíče do cílového eNB.

- **Krok 8**

Zpráva X2-AP s žádostí uvolnění UE zasílá cílový eNB ke zdrojovému eNB k oznámení úspěšného dokončení handoveru na rádiovém rozhraní a přepnutí cesty. Zejména spojení UE je jednoznačně identifikováno pomocí staré ENB-UE-X2AP-ID a New-ENB-UE-X2AP-ID. Po obdržení této zprávy bude zdrojový eNB uvolňovat všechny specifické informace a rádiové zdroje UE. Nicméně, uživatelská rovina dat může pokračovat v posílání dat k cílovému eNB tak dlouho, jak je to nutné.

- **Krok 9**

Přestože inter-eNB handover je již úspěšně dokončen v přístupové vrstvě (AS - access stratum) v tomto bodě a přenos dat s využitím nových transportních prostředků na rádiovém rozhraní a S1-U již začal, je stále nutné aktualizovat umístění UE ve vrstvě NAS. Toto je nutné pouze v případě, že cílová buňka patří do jiné sledované oblasti než je zdrojová buňka. TAC cílové buňky je UE detekována při čtení informací vysílaných buňkou. Po detekci nového TAC, UE odešle zprávu NAS tracking area update request message do MME. Tato zpráva je transparentně předána cílovému eNB pomocí transportní zprávy S1-AP UL NAS. Tato zpráva obsahuje nové umístění UE (cell ID cílové buňky) a nové TAC, zatímco staré GUTI slouží k identifikaci UE na NAS vrstvě.

- **Krok 10**

Jako reakci na zprávu UE Tracking Area Update Request, odešle MME zprávu NAS Tracking Area Update Accept zpět do UE. Pokud je nové GUTI přiřazeno v závislosti na konfiguračních parametrech MME pro řízení účastníka, bude nové GUTI zahrnuto do této zprávy a UE potvrdí příjem této nové dočasné identity TAC zprávou. [1][2]

## 2.7 S1 handover

Kdykoli nejsou dva sousední eNB připojeny přes rozhraní X2 a UE potřebuje změnu obslužné buňky, použije se postup pro S1 handover. Tento handover se používá také k přípravě a provádění inter-RAT handoverů. S1 handover se provádí pomocí tří hlavních kroků:

1. **příprava** - spouští se zdrojovým eNB, typicky po obdržení zprávy o měření RRC, která indikuje potřebu změny sloužící buňky.
2. **přidělování zdrojů handoveru** - cílový eNB žádá o potřebné rádiové zdroje

MME.

3. **modifikace S1-U nosiče** - potřeba přepnout GTP tunel na rozhraní S1-U, který se používá k odesílání paketů ve směru na UL (DL), je realizována provedením postupu modifikace nosiče na rozhraní S11, který se spouští z MME a je prováděný pomocí S-GW.

Nyní se podíváme na podrobnější postup:

- **Krok 1**

Poté, co obsluhující eNB obdrží zprávu o měření RRC, která označuje změny kvality DL nebo UL aktivního připojení RRC, eNB odešle požadovanou handover zprávu do MME. Tato zpráva je zakódována pomocí ASN.1 jako S1-AP zpráva s kódem procedury Příprava přemístění. Obsahuje typ předání (intra-LTE handover), příčinu a cílové ID, které se skládá z cílového eNB-ID a zvoleného (cílového) TAI. Ve zprávě je dále i položka source-to-target-TransparentContainer, která obsahuje všechny podstatné schopnosti UE a RRC parametry navazující na probíhající RRC spojení po úspěšném handoveru k cílové buňce.

- **Krok 2**

Na základě cílového ID vybere MME příslušnou transportní trasu, která jej spojuje s cílovou eNB. Tento výběr se provádí podle chování interní směrovací tabulky MME. V případě chyb konfigurace v této směrovací tabulce nemůže být cílového eNB dosaženo a zpráva o selhání přípravy handoveru je poslána zpět ke zdrojovému eNB. V opačném případě MME odešle S1-AP zprávu s požadavkem na handover cílovému eNB. Zpráva s požadavkem handover obsahuje stejný typ handoveru, hodnotu příčiny a source-to-target-TransparentContainer. Dále obsahuje seznam e-RAB a jejich QoS parametrů, podle kterých je třeba přepnout S1-U GTP tunel.

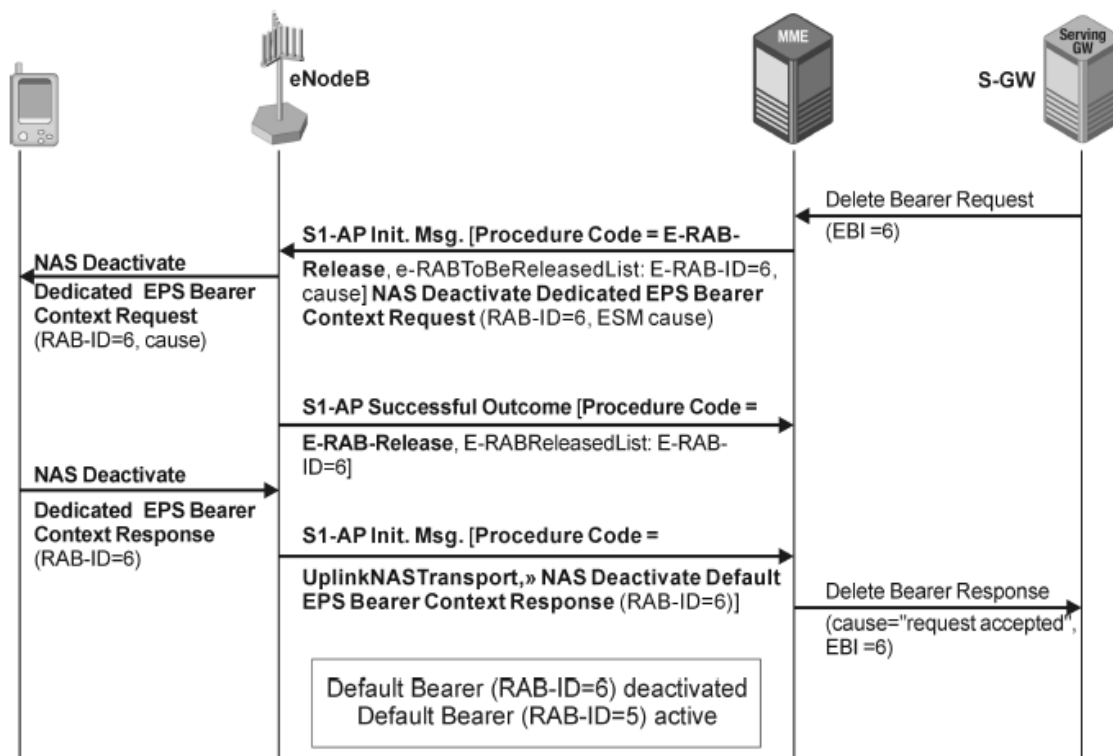
- **Krok 3**

Po obdržení žádosti o handover cílový eNB přiděluje potřebné rádiové zdroje pro převzetí RRC spojení UE. Tato informace musí být signalizována na mikrotelefonu. Z tohoto důvodu je RRC příkaz k handoveru vytvořen cílovým eNB a poslán zpět do zdrojového eNB pomocí informace v prvku the target-to-source-TransparentContainer. Nejprve je poslána do MME společně s parametry E-RAB v S1AP handover request acknowledge message na vstupním úseku handoveru.

- **Krok 4**  
MME přeposílá target-to-source-TransparentContainer ke zdrojovému eNB pomocí zprávy S1AP handover příkazu.
- **Krok 5**  
Nyní zdrojový eNB odešle handover příkaz RRC do UE. To provádí handover na fyzické vrstvě rádiového rozhraní. Jakmile UE opouští zdrojovou buňku, zdrojový eNB odešle zprávu o stavu přenosu S1AP eNB do MME. Tato stavová zpráva obsahuje poslední PDCP SN odeslané/přijaté zdrojovým eNB v UL a DL směru.
- **Krok 6**  
PDCP SN obdržené od zdrojového eNB jsou předána do cílového eNB pomocí zprávy S1AP MME.
- **Krok 7**  
Když UE dorazí do cílové buňky a RRC připojení je nastaveno, po provedení postupu náhodného přístupu, cílový eNB odešle S1AP zprávu o oznámení handoveru do MME. To signalizuje, že handover byl úspěšně dokončen a rádiové a transportní prostředky ve zdrojovém eNB mohou být uvolněny.
- **Krok 8**  
V tomto kroku se MME snaží vypořádat s potřebou přepnutí S1-U GTP tunelu. Je třeba změnit pouze koncový bod DL tunelu od zdrojového k cílovému eNB, zatímco koncový bod tunelu UL na S-GW zůstává (zpravidla) beze změny. Zpráva GTP-C s požadavkem změny nosiče je odeslána z MME na S-GW. Obsahuje EBI a eNB F-TEID jako nový koncový bod tunelového propojení DL v transportní uživatelské rovině.
- **Krok 9**  
S-GW reaguje na zprávu z předchozího bodu, která posílá S1 SGW F-TEID zpět do MME. Nyní byly oba koncové body tunelu úspěšně domluvené a přenos je připraven ke spuštění.
- **Krok 10**  
Poslední zbývajícím krokem pro MME je uvolnění transportních a rádiových zdrojů, které byly použity pro připojení UE, který byl předán do cílové buňky. MME spouští uvolňování všech těchto zdrojů odesláním příkazu S1AP UE context release s hodnotou úspěšný Handover. Úspěšné uvolnění všech zdrojů bude

nakonec potvrzeno starému eNB s úspěšným výsledkem zprávy (UE Context Release). [1][2]

## 2.8 Uvolnění vyhrazeného nosiče



Obr. 2.6: Ukázka uvolnění vyhrazeného nosiče.

Na obrázku 2.6 můžeme vidět, že uvolňování nosiče se spouští v síti, například podle uplynutí časovače neaktivity na straně S-GW. S-GW odešle požadavek GTP Delete Bearer Request včetně EBI zmíněného nosiče na MME přes rozhraní S11. V této zprávě neexistuje žádná hodnota příčiny stanovená jako informační. To znamená, že důvodem pro spouštění smazání nosiče sítě mohou být uvedeny pouze v soukromé rozšířené sekvenci zprávy. Příjemem této zprávy MME spouští současně E-RAB-Release na S1AP vrstvě mezi MME a eNB a postup deaktivace EPS nosiče kontextu na vrstvě NAS mezi MME a UE. Jakmile jsou dokončeny postupy NAS a S1AP, MME odešle zprávu GTP delete bearer response message zpět do S-GW. Tato zpráva zahrnuje hodnotu příčiny, ale ta obvykle signalizuje jen to, že předchozí žádost byla přijata. Po zprávě Dedicated Bearer Release výchozí nosič zůstává aktivní, na obrázku (2.6) jako jediný nosič spoje. Velikost informačního prvku EBI umožňuje teoreticky až 256 různých nosičů, které mohou být adresovány jednomu

UE. Ale s největší pravděpodobností ne více než dva nebo tři nosiče, s různými parametry QoS, budou probíhat paralelně v jednom spojení UE. Obvykle první nosič je výchozí nosič a všechny ostatní jsou vyhrazenými nosiči, které mohou být stanoveny a uvolněny kdykoli na vyžádání. [1][2]

## 2.9 Odpojení

Účastník může být buď odpojen sítí pro neaktivitu, nebo sám požádá, aby byl odpojen („detach“). Detach je oficiální název pro smazání registrovaného zařízení z MME databáze aktivních účastníků. Časovač může již vypršet platnost, a proto UE již neprovádí pravidelné aktualizace sledovací oblasti (tracking area), které byly požadované sítí. Proto MME považuje UE za neaktivní a UE mohou být přesunuty do jiné sítě, jak se často stává k roaming uživatelům.

MME provede následující kroky:

- **Krok 1**

MME pošle žádost na odstranění nosiče na S-GW k ukončení S1-U nosiče.

- **Krok 2**

Po přijetí žádosti Delete Bearer Request, která byla přijata z MME, se na S-GW spouští proces mazání nosiče na rozhraní S5 a pošle stejnou GTP signalizační zprávu P-GW.

- **Krok 3**

P-GW uvolní prostředky nosiče a odešle zprávu s odpovědí GTP delete bearer zpět na S-GW.

- **Krok 4**

S-GW také odešle zprávu s odpovědí na odstranění nosiče zpět do MME.

- **Krok 5**

Zpráva NAS se žádostí o odpojení je odeslána z MME do UE. Na rozhraní S1 je tato zpráva transportována zprávou S1AP DL NAS.

- **Krok 6**

UE odpoví na požadavek NAS Detach Request. Posílá zprávu Detach Accept. Toto platí jen v situacích, kdy UE je ještě schopno reagovat na síťové signalizační zprávy.

- **Krok 7**  
Nezávisle na reakci UE, MME spustí postup uvolňovací UE kontextu odesláním S1AP zprávy o uvolnění UE k eNB. Tato zpráva obsahuje hodnotu příčiny. Tyto položky v S1AP jsou řazeny do skupin pro lepší identifikaci.
- **Krok 8**  
eNB potvrzuje uvolnění kontextu UE.
- **Krok 9**  
MME informuje HSS, že UE bylo odpojeno pomocí oznamovacího postupu DIAMETER.
- **Krok 10**  
HSS bere na vědomí dřívější oznámení zaslané MME.
- **Spuštění odpojení UE**  
V případě, že UE spustilo odpojení (detach), tak UE vysílá zprávu požadavku detach. Pokud je příznak (power-off) v této zprávě nastaven na true, nebude odeslána žádná zpráva s Detach Accept poslána do sítě, protože UE již nepřijímá. [1][2]

## 3 DIAGNOSTICKÉ METODY PRO MOBILNÍ SÍŤ

V této kapitole se podíváme na různé diagnostické metody měření sítě LTE. Popsány budou tři metody, a to metoda Drive testing, monitorování dohledovým systémem a analýza toků. Metoda Drive testing slouží k testování a optimalizaci sítě, díky které mohou operátoři ušetřit peníze a zlepšit svoji síť. Dohledové systémy umožňují podniku sledovat, analyzovat a spravovat systémy, zdroje a služby. Analýzou toků zjistíme, co a jak se pohybuje mezi jednotlivými komponentami sítě.

### 3.1 Drive-testing

Drive testing se v dnešní době používá k optimalizaci sítě, která je již v provozu. Testování probíhá v různých časech, aby bylo možné předvídat chování při různých zatíženích. Po analýze naměřených parametrů se pak provádí optimalizace. Drive testing je důležitou součástí způsobu, jak bezdrátoví poskytovatelé určují, zda jejich síť správně fungují, a taky se jim naskytne letmý pohled do výkonnosti sítí konkurentů. Existuje několik typů LTE drive testů, stejně jako specifických parametrů a požadavků, které by měly být splněny při těchto testech.

Drive test se skládá ze dvou základních typů:

- na základě uživatelského zařízení (UE),
- měřítkové testování (benchmark testing).

UE testy se skládají z vícenásobného měření živých koncových zařízení, jako jsou chytré telefony a tablety, aby poskytovatel získal dobrý pohled na to, jak zařízení fungují na jejich síti.

Benchmark testování zahrnuje také UE zařízení, které běží na sítích jiných operátorů. Některé UE se spuštěnými hlasovými hovory a některé s aktivním datovým připojením, až pro 4-5 největších poskytovatelů v dané oblasti s cílem zjistit, jaká síťová opatření provozovatelé používají k soutěžení. Benchmark testování obvykle zahrnuje více zařízení, než testování UE.

Zařízení pro drive testy obecně zahrnují skenovací přijímač a více UE zařízení, a navíc notebook, na kterém je spuštěn software pro záznam dat tohoto měření, která mohou být později analyzována. UE poskytují údaje o výkonu a interakcích se sítí, zatímco skenovací přijímač může vyzvednout zdroje rušení, které mohou bránit výkonu sítě. Některé zdroje rušení mohou zahrnovat opakovače uvnitř podniků určených pro zlepšení signálu celulární sítě, které ve skutečnosti zasahují do sítě,

a mnohem prozaičtější zdrojů, jako jsou některé zářivky, které mohou generovat silné rušící signály.

Síťový trend směrem k malým buňkám a nasazování distribuovaných anténních systémů také znamená aplikace „nového“ typu drive testování: testování za chůze. To umožňuje co nejlépe simulovat uživatelské zkušenosti v oblastech s různým pokrytím sítě, jako stadiony, velké konferenční centra a hlavní městské pěší zóny, jako je Václavské či Staroměstské náměstí v centru Prahy, kde velké procento uživatelů mobilních telefonů bude chodit, spíše než jezdit. Podobně se také testuje ve vlacích a na nádražích.

Mezi hlavní parametry drive testů patří:

- **RSSI** (Received Signal Strength Indicator): indikátor síly přijmaného signálu nebo síly referenčního signálu.
- **SINR** (Signal-to-Noise Ratio): porovnává sílu signálu k šumu na pozadí.
- **RSRP** (Reference Signal Received Power): označuje sílu referenčního signálu. Toto je specifický parametr pro LTE drive test a používají ho zařízení s cílem pomoci stanovit body handoverů.
- **RSRQ** (Reference Signal Received Quality): kvalita referenčního signálu, což je poměr RSSI k RSRP.
- Vysílací výkon mezi UE a základnovou stanicí, a to jak v uplinku, tak i downlinku.
- Propustnost v Uplinku a Downlinku mezi základnovou stanicí a UE za účelem testování výkonu MIMO antén.

LTE drive testování je většinou spojované s výkonem dat, jako Voice over LTE (VoLTE), které ještě není široce rozšířené. Nicméně, s větším nasazením VoLTE se počítá do konce roku 2014. Drive testování bude brzy zahrnovat testování hlasových hovorů uskutečněných na LTE sítích.

I když některé z testovacích dat mohou být analyzovaná v průběhu drive testu tak, jak jsou zobrazena na obrazovce přenosného počítače, hodně detailů lze nejlépe zkoumat později v laboratoři. Software v PC komunikuje s čipsety zařízení, aby bylo možné měřit a zobrazovat data.

Global Certification Forum vyžaduje Drive testing jako součást svého procesu certifikace zařízení pro bezdrátové sítě. [3][9]

### 3.1.1 Minimalizace Drive testingu (MDT)

Použití těchto testů pro optimalizaci sítě je nákladné, a proto je žádoucí snaha vyvinout automatizované řešení, včetně zapojení UE v této oblasti, pro snížení nákladů operátora po zavedení a při provozu sítě. Provedené studie ukázaly, že je výhodný sběr měření UE, díky čemuž je umožněna účinnější optimalizace sítě.

Cíle MDT (podle Release 10):

- Automatické měření a sběr UE měření a záznam dat pro nahrazení drive testingu, které provozovatelé musí provést na svých sítích.
- Hodnocení výkonnosti sítě podle fyzického umístění.
- Měření pro HSPA a LTE současně.

Existují dva různé typy MDT:

- Okamžité MDT: MDT funkce zahrnující měření výkonu podle UE ve stavu CONNECTED a podávání zpráv o měření na eNB dostupných v době ohlašování stavu.
- Přihlášené MDT: MDT funkce zahrnující měření výkonu podle UE ve stavu IDLE v místech a v době, kdy jsou splněny nakonfigurované podmínky, jeho záznam v protokolu měření pro podávání zpráv eNB v pozdější době. [3][9]

## 3.2 Dohledový subsystém mobilních sítí

NGN architektura sítě navazuje na IP Multimedia Subsystem (IMS) specifikací pro část její sítové architektury a rozšiřuje její pokrytí na požadavky pevné sítě. Specifikace NGN OSS by se měla vztahovat na řízení této rozšířené sítě a jejích služeb. NGN OSS musí být definována podle konceptu Service Oriented Architecture (SOA).

**Operations Support Systems (OSS)** je obecný termín pro sadu funkcí pro správu, které umožňují podniku sledovat, analyzovat a spravovat systémy, zdroje a služby.

TISPAN NGN uvádí následující pohledy na NGN řízení:

- Pohled na Obchodní požadavky - představuje obchodní koncepce, strategie a požadavky pro řízení v NGN.
- Funkčně/informační pohled - představuje Service Oriented Architecture (SOA), včetně funkcí, jejich vztahů, informačních modelů a logických rozhraní definovaných pro podporu obchodních požadavků.
- Implementační pohled - představuje vědecké komponenty, technická rozhraní a datové modely definované pro podporu funkčně/informačního pohledu.

V tomto přístupu jsou zabezpečovací aspekty řešeny příčně a pokrývají všechny pohledy architektury.

Hlavním účelem NGN řídicích pohledů je umožnit ETSI NGN dokumentovat kroky potřebné k pokroku ze sady podnikání potřebující k vytvoření funkčně/informačního pohledu logicky určit tyto potřeby. Pak z této architektury funkčně/informačního pohledu, lze odvodit architekturu implementačního pohledu. Ta bere v úvahu specifické realizační požadavky, jako jsou náklady, výkonnost, integrace a adaptace starších aplikací a technologií a dalších organizačních požadavků. [4][10]

### 3.2.1 Pohled na obchodní požadavky

Požadavky na podnikání pro NGN sítě zahrnují následující vzory:

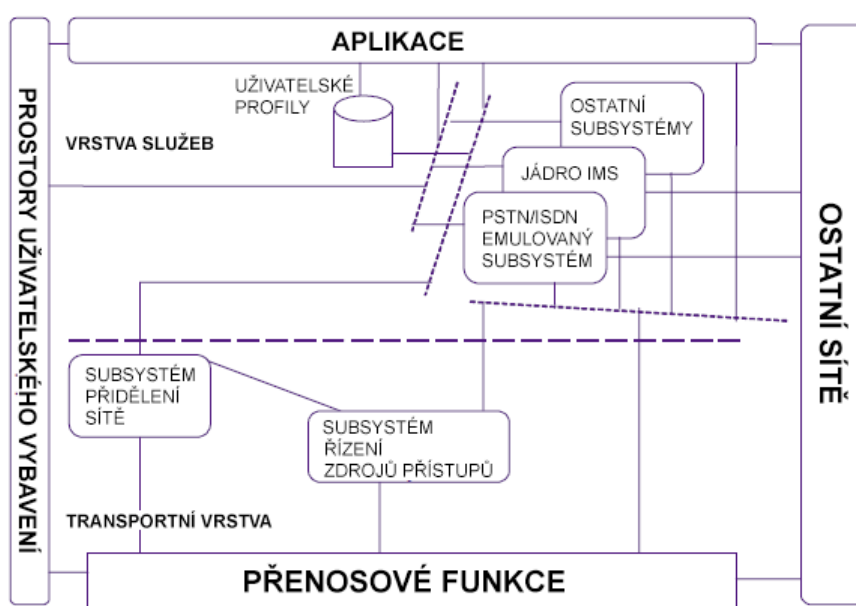
- Next Generation Network (NGN) rozlišuje servisní vrstvy a transportní vrstvy. Tato nová síť musí komunikovat se staršími sítěmi, např. PSTN, GSM.
- Nové obchodní a provozní požadavky popsány v [6], na podporu rámce eTOM Business Process.

## Přehled NGN architektury

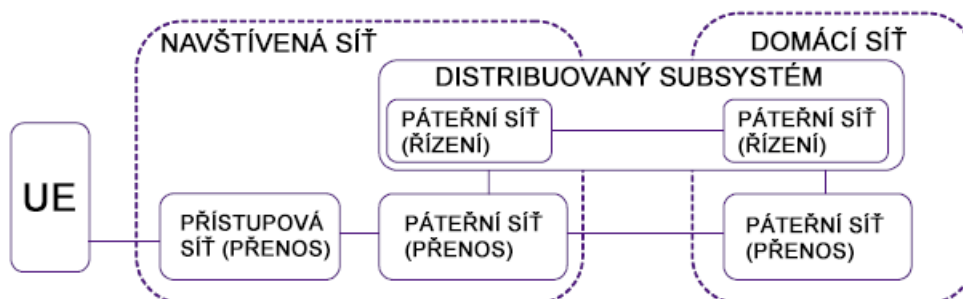
Obrázek 3.1 poskytuje přehled o NGN architektuře. Síťové subsystémy jsou rozděleny do dvou vrstev (Servisní vrstva a Transportní vrstva).

Funkční subjekty, které tvoří subsystém, mohou být distribuovány přes domény sítě či služeb poskytovatele a mohou tedy spadat do oddělených oblastí správy. Pro ilustraci se podívejme na obr. 3.2 připojení subsystému k síti. Ta může být rozdělena mezi navštívenou (Visited) a domácí síť (Home). Servisní vrstva subsystémů, které podporují nomadismus, mohou být také rozděleny obdobně.

Důsledkem rozdělení TISPA NGN architektury je to, že NGN OSS architektura musí být rozdělena podle stejných principů. [4][10]



Obr. 3.1: Součásti NGN architektury.



Obr. 3.2: Distribuované subsystémy NGN sítě.

## Obchodní a provozní požadavky NGN

Obchodní a provozní požadavky pro správu NGN jsou specifikovány v rámci různých zdrojů, mimo jiné:

- Vize OSS [7]
  - Hodnota řetězce různých poskytovatelů služeb (SP) - zákazníci budou budovat své potřeby služeb z nabídky více poskytovatelů, kteří mohou poskytnout kombinace aplikačních a transportních služeb. Poskytovatelé budou působit jako maloobchodníci služeb, prodejci obsahu a agregace, velkoobchodníci aplikací a infrastruktury.
  - Služby - kontext a umístění, řízení služeb, mix služeb.
  - Procesy
  - Aplikace, sítě a technologie - Vize je, že realizace je založena na novém modelu služebních součástí kombinovaných mezi poskytovatele služeb na konvergované síťové infrastruktuře prostřednictvím technologie paketů mezi různými poskytovateli.
- Rámcový obchodní proces eTOM,
- Požadavky a priority OSS [6]
  - Zákaznický orientované požadavky,
  - požadavky obchodní vize,
  - technologické požadavky,
  - provozní požadavky,
  - regulační požadavky.
- OSS služby [5]
  - identifikace,
  - informační model,
  - popis.

**Vize NGN OSS** Dokument OSS Vision představuje obchodní, regulační a provozní požadavky s využitím eTOM jako referenčního rámce podnikových procesů, a odkazem na TeleManagement Forum NGOSS (New Generation Operační systémy a software), program jako přístupový odkaz průmyslu k rozvoji OSS.

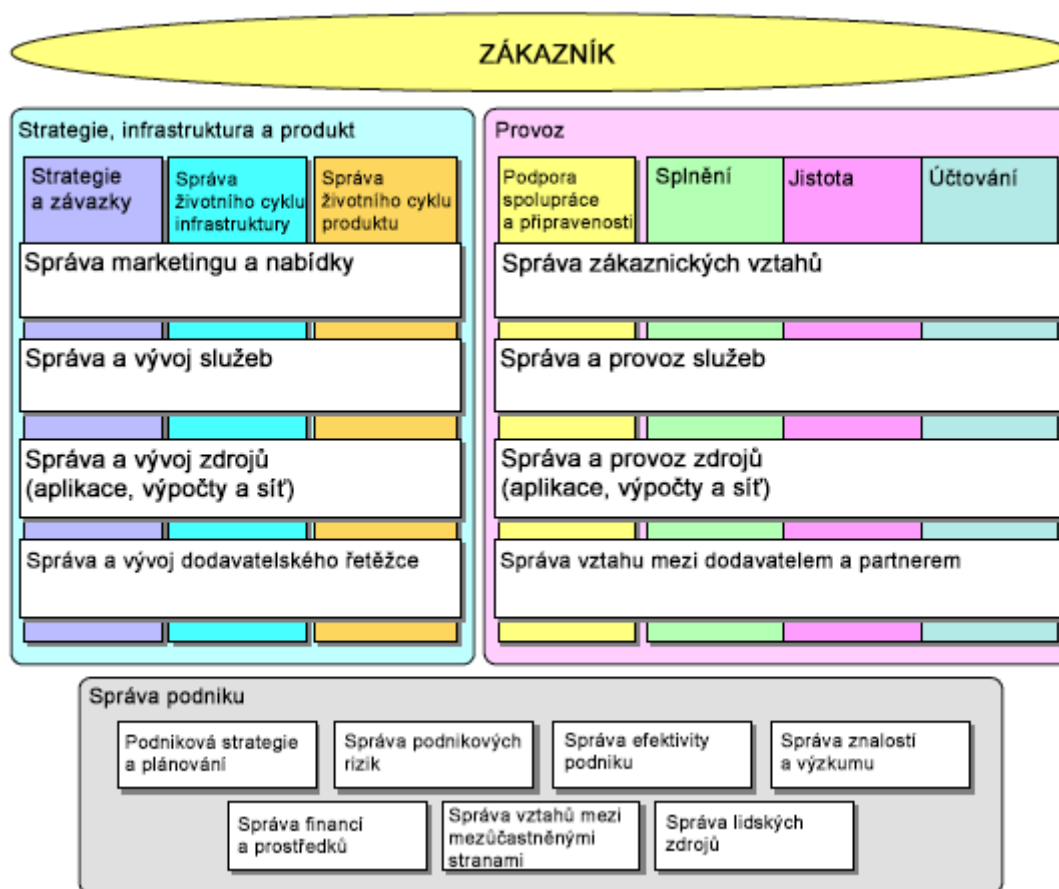
**Rámec podnikových procesů eTOM** eTOM je obchodní procesní model nebo rámec, který si klade za cíl popsat a klasifikovat podnikové procesy potřebné pro poskytovatele služeb. Analyzuje procesy na různých úrovních detailu dle jejich významu a priority pro podnikání.

eTOM používá hierarchický rozklad struktur obchodních procesů, podle kterých

se všechny procesy v podniku postupně rozkládají. Procesní prvky jsou formalizovány pomocí názvu, popisu, vstupů, výstupů, atp.

eTOM podporuje dva různé pohledy na seskupení podrobných procesních prvků:

- *horizontální proces seskupení*, v nichž se zpracovávají prvky seskupené podle referenčních realizovaných funkcí (např. trh, produkt a správa zákazníků, řízení služeb, atd.),
- *vertikální proces seskupení*, v nichž jsou procesní prvky seskupeny v end-to-end procesech (např. plnění, jistota, atd.), realizovaných Service Providerem podniku. [4][5][6][7][10]



Obr. 3.3: Rámec podnikových procesů eTOM. [4]

### 3.2.2 Pohled funkčně/informační

Tento pohled popisuje komponenty, funkce a informace potřebné ke splnění obchodních požadavků s cílem poskytnout NGN OSS služby, jak jsou definovány v [5].

## Zásady tvořící základ pohledu

Funkčně/informační pohled je založen na následujících principech:

- OASIS Service Oriented Architecture (SOA), to nevyklučuje starší normy či TMF.
- koncept integračního referenčního bodu (IRP)
- TMF NGOSS technologicky neutrální Architektura TMF 053.
- Použitelné koncepty ITU-T.
- Použitelné koncepty TMF MTNM/MTOSI/IPNM.

Základní SOA pojmy, které jsou přijaty v rámci NGN OSS architektury jsou:

- operace - představují jednotlivé logické jednotky chování. Mají zvláštní, strukturované rozhraní a vrací strukturované odpovědi pomocí zvláštního interakčního vzoru.
- rozhraní služeb: logické seskupení operací.

Použitím výše uvedených myšlenek a zásad, seznamujeme zbytek tohoto ustanovení se základními pojmy a entitami používanými v popisu SOA. Navrhovaný formální vztah mezi těmito subjekty je založen na architektuře Meta-model. V NGN OSS architektuře jsou pojmy a subjekty definovány způsobem, který umožňuje opakované použití nebo mapování do stávajících norem řídicích rozhraní od např. ITU-T a TMF.

## Subjekty pohledu

Tato část popisuje různé subjekty používané k popisu NGN OSS funkčně/informačního pohledu.

**Přehled** NGN OSS servis a NGN OSS rozhraní služeb jsou hlavní základní entity používané v popisu NGN OSS pohledu. NGN OSS rozhraní služeb poskytuje přístup k funkcím pro správu NGN způsobem, který podporuje provozní procesy eTOM. Každé chování je zadáno jako operace s dobře definovaným názvem, údaji a předběžnými a následnými podmínkami. NGN OSS rozhraní služeb a rozhraní služeb spotřebitelů jsou seskupeny do NGN OSS služeb.

NGN OSS služby, rozhraní služeb a rozhraní služeb spotřebitelů může být definované jako povinné nebo nepovinné. NGN OSS služba může být profilována. Profil z NGN OSS služby ukazuje, který z jejich rozhraní služeb a rozhraní služeb spotřebitelů jsou přítomné v dané specifikaci používaných v popisu možné realizace systému NGN OSS. Pokud jsou přítomny ve specifikaci, musí být všechny operace k dispozici. To znamená, že jednotlivé operace nemohou být profilovány.

**NGN OSS rozhraní služeb** Také označované jako NGN OSS SI, je dobře definované seskupení souvisejících NGN OSS operací a konstatních údajů, které jsou nutné k doručování uceleného podnikání nebo funkčnosti systému.

The NGN OSS rozhraní služeb tvoří:

- Základní jednotka standardizace.
- Agregace funkčnosti potřebné pro řízení některých koherentních aspektů NGN sítě nebo služeb. Tato funkce je k dispozici prostřednictvím související sady chování a funkčnosti a je veřejně k dispozici pro použití spotřebiteli tohoto rozhraní služeb.
- Skládá se ze sady NGN OSS operací, v níž musí být všechny přítomné.
- Ekvivalent k pojmu SOA rozhraní služeb.

**NGN OSS rozhraní služeb spotřebitele** Toto rozhraní, označované jako NGN OSS SIC, je dobře definované seskupení souvisejících NGN OSS operací a konstantní údajů, které reprezentují uživatele/spotřebitele.

Toto rozhraní tvoří:

- Prostředky, jimiž NGN OSS služby ukazují, jak (jestli) používá NGN OSS služební rozhraní vydané jiným NGN OSS služby.
- Spotřebitel těchto NGN OSS rozhraní služeb nabízející funkce, které jsou přidružené NGN OSS službě. Je třeba uvědomit svoji vlastní NGN OSS rozhraní služeb.

Principy SOA vyžadují, aby vztahy mezi rozhraním služeb a rozhraním služeb spotřebitele mohly být stanoveny dynamicky za běhu prováděné činnosti pro podporu obchodních požadavků. Tento vztah může být zpočátku stanoven ručně správou systému lidí. To může být také potřebné pro dimenzování, plánování a výkonnostní důvody.

**NGN OSS služby** Chování nebo soubor chování, k dispozici prostřednictvím ziskové agregace NGN rozhraní služeb, které nabízí jeden subjekt pro použití ostatním prostřednictvím svých NGN OSS rozhraní služeb spotřebitelů.

Toto rozhraní tvoří:

- Rekurzivní skládání.
- Používá se společně organizované nebo choreografické sestavy k doručování specifických služeb nebo obchodních výsledků provozovatele sítě dle těchto obchodních procesů, které jsou nezbytné ke správě NGN.
- Baleno pro účely implementace.

Všem chováním, které NGN OSS služby zpřístupňují ostatním službám, musí být výslovně vystaveno jedno nebo více NGN OSS rozhraní služeb.

## Popis služby

Popis služby dává k dispozici informace potřebné pro další NGN OSS služby s cílem rozhodnout, zda se vážou k této konkrétní NGN OSS službě. Informace obsažené v popisu služby obvykle souvisí s:

- Identitou NGN OSS služby a informace o její dostupnosti.
- Politikou, parametry, podmínkami užití, vyvoláním omezení NGN OSS služby, vše vyjádřeno v NGN OSS rozhraní služeb.

**NGN OSS operace** Označované jako NGN OSS Op, je chování, které je zveřejněno jako člen NGN OSS rozhraní služeb nebo NGN OSS rozhraní služeb spotřebitele.

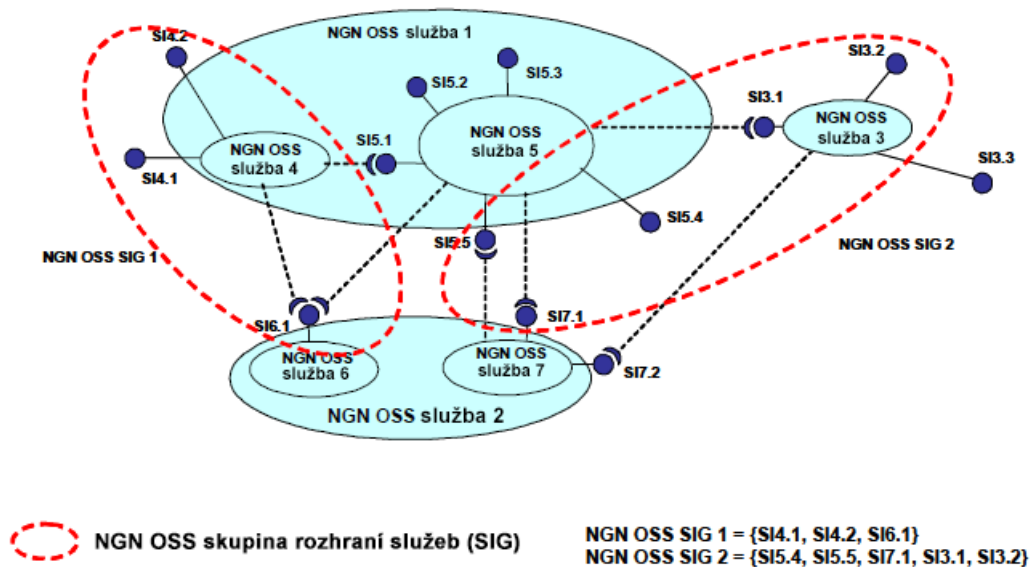
Operace je:

- Vázaná na konkrétní NGN OSS rozhraní služeb nebo NGN OSS rozhraní služeb spotřebitele.
- Představuje zveřejněné chování služeb vystavované NGN OSS rozhraním služeb.
- Může být definována pomocí NGN OSS operací, které jsou publikovány jako součásti rozhraní služeb nebo jiných NGN OSS služeb.
- Je jedna logická jednotka chování. Toto chování je definováno z hlediska předpokladů, výjimky a dalších politických artefaktů, v takovém případě NGN OSS operace se nazývá definovaná smlouva.
- Je definována pomocí "Message Exchange Patterns" (jako synchronní nebo asynchronní požadavek/odpověď/Oznámení). Provoz je definován v podmínkách jednoho specifického interakčního vzorku, což je dobře definovaná sekvence zpráv vyměňovaná mezi poskytovatelem a uživatelem.

**NGN OSS skupina rozhraní služeb** Je označovaná jako NGN OSS SIG. Jde o seskupení NGN OSS rozhraní služeb, která patří společně, dle logiky nebo kontextu.

NGN OSS skupina rozhraní služeb:

- Jsou v podstatě sbírky rozhraní služeb, které mají podobné vlastnosti nebo cíle podnikání. Možnými příklady těchto kolekcí mohou být prospěšné služby nebo skupiny OSS obchodních služeb potřebných pro podporu obchodních cílů, jako je Customer Relationship Management (CRM - Řízení vztahů se zákazníky).
- Může být členem několika NGN OSS skupin rozhraní služeb.
- Může být tvořena rekurzivně z NGN OSS služeb a nebo jiných NGN OSS skupin rozhraní služeb.
- Lze chápat jako podmnožinu schopností nebo několika manažerských funkcí na NGN OSS. [4][10]



Obr. 3.4: Příklad skupiny rozhraní služeb.

### 3.2.3 Implementační pohled

Tento pohled je transformace funkčně/informačního pohledu v zájmu realizace. Omezení a požadavky, které jsou umístěny v pohledu implementace, pokrývající náklady, dědictví, výkon a preference. Nejdůležitějšími preferencemi jsou výběry softwaru nebo protokolu platform pro realizaci. Vazba mezi rozhraním služeb a rozhraním služeb spotřebitele je realizována v tomto pohledu.

Cíle:

- používá praktických a dostupných SOA technologií implementací, jako jsou OSS/J vzdálené volání metod (RMI), Java Messaging Services (JMS), webové služby pomocí XML/SOAP/WDSL, MTOSI JMS v1 a v2 MTOSI HTTP(S),
- opětovné použití 3GPP IRP sady řešení podle potřeby,
- opětovné použití TMF sady řešení a ITU-T specifikace rozhraní podle potřeby,
- dodává NGN konkrétní řešení specifikace pro správu sady podle potřeby.

### Úvod do implementace SOA

Service Oriented Architecture (SOA) je softwarová architektura zahrnující volně spojené, místy nezávislé služby obecně používající tzv. „find-bind-execute“ vzor pro komunikaci mezi poskytovateli SOA služeb, uživateli služeb SOA a registry SOA služeb. Každá daná služba může zaujmout roli klienta nebo serveru, v závislosti na situaci. Podstatnou charakteristickou vlastností SOA je, že poskytuje platformy a neutrální technologie rozhraní služeb. To znamená, že rozhraní služby je nezávislé na jeho provádění. V praxi jsou rozhraní definovány pomocí všudypřítomných IT

standardů jako XML, HTTP, SOAP, a WDSL.

Hlavními cíli SOA, ve srovnání s ostatními softwarovými architekturami používaných v minulosti, jsou:

- rychlejší adaptace softwaru na měnící se obchodní potřeby,
- snížení nákladů na integraci nových služeb, jakož i zachování stávajících služeb.

Dnes je SOA klíčem k vývoji a nasazování heterogenních sítí, adresovatelným softwarovým komponentám. Webové služby představují v současné době nejvíce dobře známé implementace SOA.

### Důsledky implementace SOA

Specifikace TMF NGOSS jsou založeny na využívání procesu obchodního rámce eTOM, informačního modelu SID a technologicky neutrální architektury. Zejména technologicky neutrální architektura (TNA), která obsahuje specifikaci zakázky NGOSS, je uznávána jako jedna z nejvhodnějších odkazů na provádění SOA v odvětví telekomunikací a je jediným známým zdrojem metamodelů ke specifikaci SOA.

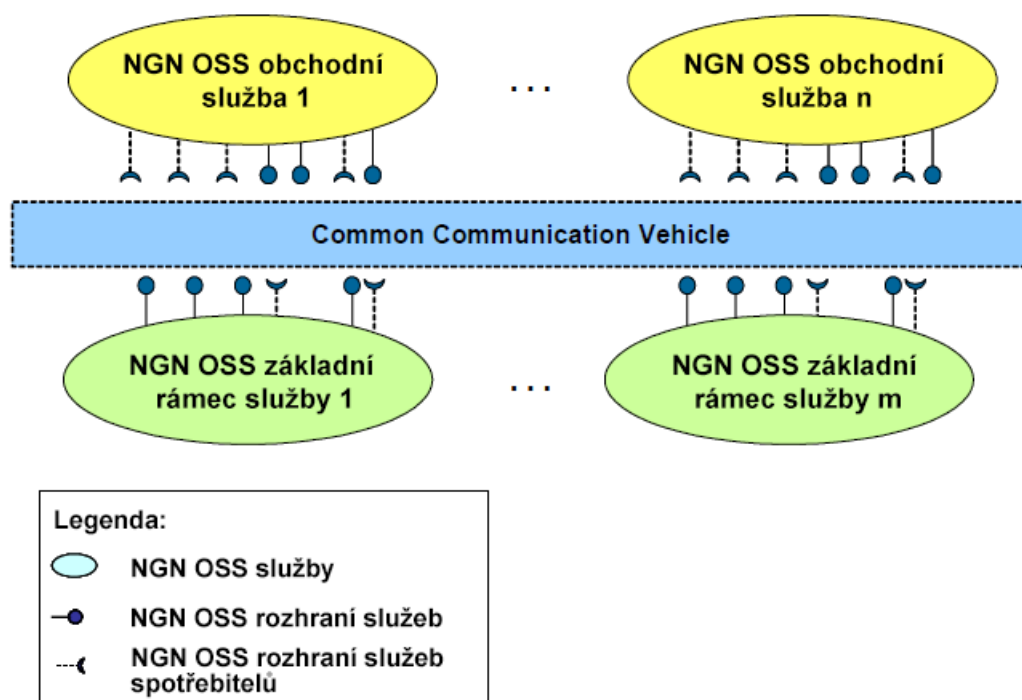
Kritické rysy SOA jsou ve skutečnosti zachyceny v rámci zásad NGOSS:

- Common Communications Vehicle (CCV) - spolehlivá distribuovaná komunikační infrastruktura.
- Externalizace řízení procesů - oddělení konců podnikových procesů pracovních postupů od NGOSS funkčních komponent.
- Sdílený informační datový model (SID).
- Obchodní smlouva a registrace prostřednictvím rámcových komponent NGOSS (zahrnující věci jako adresáře, transakce, HMI, bezpečnost, atd.).

### Referenční model

NGN OSS architektura tohoto pohledu vyžaduje použití referenčního modelu na nejvyšší úrovni abstrakce. Tento model obsahuje:

- **Základní rámec služby**, poskytující infrastrukturu nezbytnou pro podporu distribuovaného charakteru NGN OSS architektury. Vztahuje se k aspektům, jako je distribuce, transparentnost, registrace, atd.
- **Obchodní služby**, jež využívají konkrétní poskytovatelé služeb pro obchodní potřeby. Obchodní služby poskytují služby, které podporují obchodní požadavky uvedené v části 3.2.1 (např. správa služeb trhu, produktů a zákazníků, řízení služeb, řízení zdrojů, atd.).
- **Common Communications Vehicle (CCV)**, které umožňuje interakci mezi výše zmíněnými službami. [4][5][6][7][10]



Obr. 3.5: Referenční model implementačního pohledu.

### 3.2.4 Propojení pohledů

#### Předpoklady pro spojení

Pro ETSI TISPAN existují tyto předpoklady:

- Obchodní požadavky eTOM očekávají, že budou platné pro NGN OSS, i když dnes může být zapotřebí další zpracování některých obchodních procesů eTOM na pokrytí NGN.
- Požadavky na řízení 3GPP, funkčně/informační architekturu a implementační pohled jsou hlavním zdrojem pro ETSI NGN. Zahrnují rovněž základy pro podporu nové generace pro správu služeb zdrojů kolem účastníka a jeho správy.
- Specifikace TMF MTNM může být použita na úhradu správy síťových prostředků pevné hrany či jádra, transportních a přístupových sítí. Správa sítě zdrojů pro VoIP, jako služby příští generace, je pokrytá specifikací TMF IPNM.
- ITU-T specifikace řízení pokrývá stále platnou základní správu koncepce FCAPS. Předpokládá se, že definice referenčního bodu se bude vyvíjet k podpoře požadavků na více flexibilní integraci NGN OSS.
- Pevné a mobilní konvergence, či spíše požadavky „jakéhokoli přístupu k jakékoliv službě, kdykoliv a kdekoliv“ znamenají, že implementace NGN OSS jsou založeny na společných službách a modelech transportních zdrojů pro pevné

i mobilní technologie.

ETSI TISPAN musí brát v úvahu všechny výše uvedené body, a také musí uznat skutečnost, že softwarová architektura nové generace bude SOA.

### **Cesta ke konvergenci**

Navrhovaný přístup je, že ETSI NGN OSS se zaměřuje na vymezení orientované služby, technologii nezávislého rozhraní pro správu OSS, které je dostatečně oddělené od jednotlivých 3GPP, MTNM/IPNM a ITU-T specifikací pro správu síťových zdrojů pro umožnění abstraktního pohledu směrem ke spravovaným sítím.

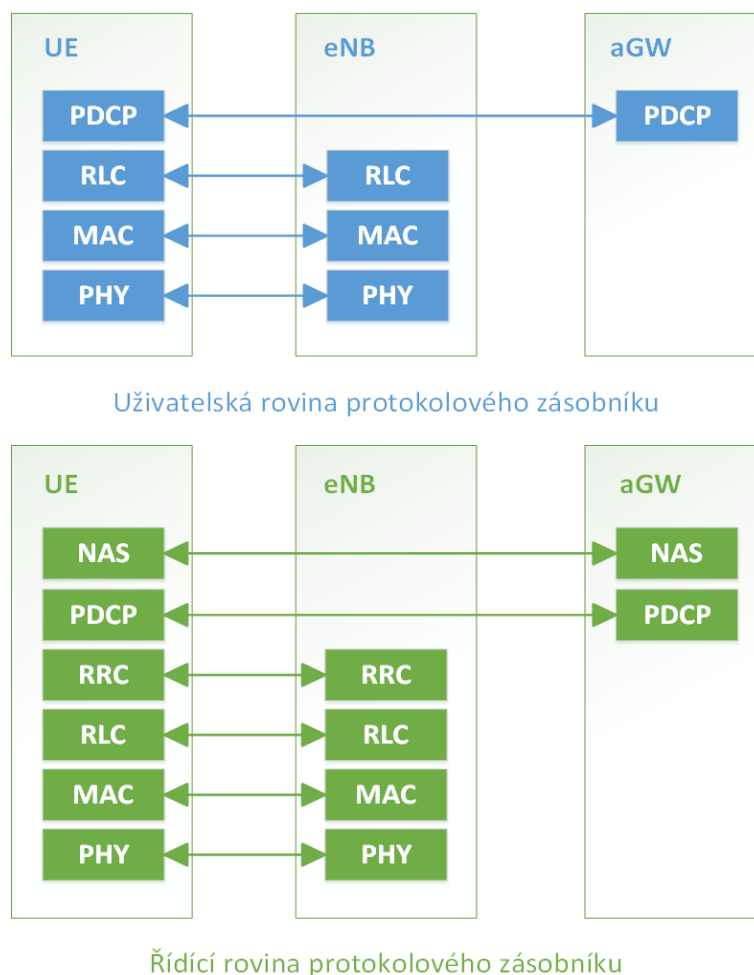
ETSI TISPAN zavádí koncepty pro použití v definici ETSI funkčně/informační architektury, které umožňují, aby související koncepty jiných specifikací řízení, zejména 3GPP integrace koncepce referenčního bodu (IRP), mohli být opětovně používány v existujících specifikacích.

Tyto koncepty nabízejí na jedné straně funkční modularitu požadovanou pro podporu provozních procesů na funkční NGN OSS architektuře a NGN sítích. Na druhé straně, poskytují flexibilitu požadovanou SOA a lze je považovat za první krok k např. WebServices podpoře. Koncepty také umožňují postupnou evoluci z existujících implementací vůči jejich otevřenosti k novým technologiím rozhraní a zároveň umožňuje opětovné použití stávajících požadavků a specifikací informačního modelu. [4][10]

## 3.3 Analýza toků

### 3.3.1 Protokolový zásobník

Na následujícím obrázku můžeme vidět rozdělení jednotlivých prvků v zásobníku protokolu. Lze vidět oddělení eNB, MME a aGW (access gateway - přístupová brána), a rozdíly mezi uživatelskou a řídicí rovinou signalizace. Je patrné, že signalizace je obdobná až do vrstvy PDCP a probíhá mezi UE a eNB. Toto je klíčový rozdíl od předchozích sítí, kde signalizace na vyšších vrstvách byla vysílána zpět skrz síť do jiných síťových částí jako RNC nebo MSC. Díky této změně je odpověď na signalizace mnohem rychlejší, protože signály nejsou přenášeny přes síť, díky čemuž se sníží zpoždění v LTE sítích.



Obr. 3.6: Uživatelské a řídicí roviny

#### Uživatelské plánování

- RLC a MAC podvrstvy (ukončeny v eNB na straně sítě) vykonávají funkce, jako jsou: Plánování - ARQ, HARQ.

- PDCP podvrstva (ukončená v aGW na straně sítě) provádí pro uživatelskou rovinu funkce jako jsou:
  - Komprese záhlaví.
  - Ochrana integrity.
  - Šifrování.

### Řídící plánování

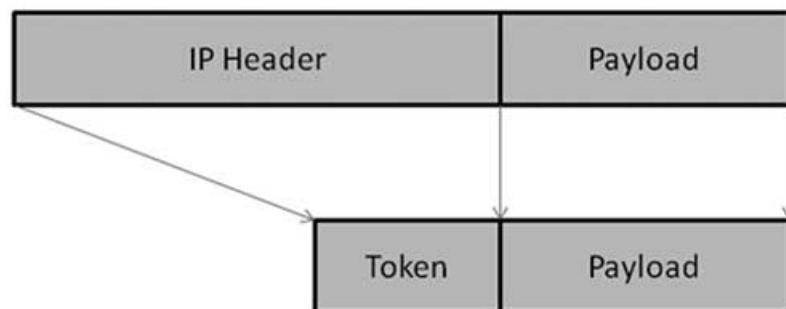
- RLC a MAC podvrstvy (ukončeny v eNB na straně sítě) vykonávají stejné funkce jako v uživatelském plánování.
- PDCP podvrstva (ukončená v aGW na straně sítě) provádí pro řídicí rovinu funkce jako jsou:
  - Ochrana integrity.
  - Šifrování.
- RRC (ukončena v eNB na straně sítě) vykonává funkce jako jsou například:
  - Broadcast, paging (stránkování), RRC, řízení spojení.
  - Kontrola RB, funkce mobility, podávání zpráv a kontrolní měření UE.
- NAS (ukončeno v a-GW na straně sítě) provádí mimo jiné:
  - Řízení SAE nosiče, ověřování.
  - Manipulace mobility v Idle režimu.
  - Vznik stránkování v LTE\_IDLE.
  - Bezpečnostní kontrola pro signalizaci mezi aGW a UE, a pro uživatelskou rovinu. [2][14]

### 3.3.2 Tok dat ve vrstvách

Pakety přijaté vrstvou se nazývají Service Data Unit (SDU), zatímco výstupní paket vrstvy je nazýván Protocol Data Unit (PDU). Tok dat obsahuje (od shora dolů):

1. IP vrstva předkládá PDCP SDU (IP pakety) na PDCP vrstvě. PDCP vrstva dělá kompresi hlavičky a dodává PDCP záhlaví těmto PDCP SDU. PDCP vrstva posílá PDCP PDU (neboli RLC SDU) vrstvě RLC.  
PDCP komprese hlavičky: PDCP odstraní IP hlavičku (minimálně 20 bajtů) z PDU a přidá token o velikosti 1-4 bajtů, který poskytuje obrovské úspory v hodnotě hlavičky, které by jinak musely jít vzduchem.
2. RLC vrstva dělá segmentaci těchto SDU (RLC PDU). RLC přidává hlavičky na základě režimu RLC provozu. RLC předloží tyto RLC PDU (MAC SDU) vrstvě MAC.

RLC Segmentace: Pokud jsou RLC SDU velké nebo je dostupná rychlost rádiových dat nízká, což má za následek malé přenosové bloky, RLC SDU mohou být rozděleny mezi více RLC PDU. Pokud je RLC SDU malá nebo je rychlost rádiových dat vysoká, může být několik RLC SDU zabaleno do jednoho PDU.



Obr. 3.7: PDCP komprese hlavičky

3. MAC vrstva přidává hlavičku a dělá výplň (padding), aby se vešly do MAC SDU v TTI. MAC vrstva posílá MAC PDU do fyzické vrstvy pro přenos přes fyzické kanály.
4. Fyzický kanál přenáší tato data do slotů dílčího rámce.

Přístupové technologie s přepojováním paketů s dynamicky plánovaným přístupem ke sdíleným přenosovým zdrojům může nabídnout výjimečný výkon pro služby s různými nebo adaptivními požadavky z hlediska propustnosti a zpoždění. Konstrukce crosslayer protokolu LTE se zaměřuje na nízkou režii protokolu a zároveň nabízí požadovanou flexibilitu.

Tato část popisuje přehled přidávaných záhlaví v různých vrstvách LTE protokolu a srovnání relativní režie pro TCP a VoIP služby. ROHC (Komprese robustního záhlaví) je aplikován na IP paket při příchodu na vysílací PDCP subjekt. ROHC komprimuje UDP, Real-time Transport Protocol (RTP) a IP záhlaví na pouhé 3-4 bajty. Může komprimovat záhlaví TCP a IP na 8 bajtů, pro IPv4 (40 bajtů) a IPv6 (60 bajtů), pro TCP služby IPv4 s typickou velikostí paketů 1500 bajtů to znamená snížení velikosti paketu o zhruba 2,5 procenta až přibližně na 1468 bajtů. Pro VoIP pakety pomocí WB-AMR a TCP potvrzení může dojít k výraznější redukci velikosti ze 73 až na 35 bajtů (tj. 52 procent) a taktéž z 40 bajtů na 3 bajty (93 procent). PDCP a protokol RLC nabízí dva prostory SN (sequence number) k optimalizaci záhlaví u některých služeb. Nižší hodnoty se používají pro služby jako jsou VoIP, zatímco TCP/IP služby vyžadují větší SN prostor a využívají mnoha zřetězení, což vyžaduje více informací v záhlaví (jak je znázorněno v tabulce 3.1).

RLC AM nosiče zaměstnávají dvouvrstvé ARQ funkce určené k poskytování nízkého zpoždění a velmi nízké ceny zbytkových chyb. Cílem bloku HARQ je nastavit chybovou sazbu na 10 procent. HARQ objeví selhání, je-li překročen maximální počet pokusů o přenos nebo v důsledku NACK-na-ACK chyb. Zbytková míra ztráty nad vrstvou MAC je v řádu  $10^{-4}$ . S RLC UM se tyto chyby šíří do vyšších vrstev a musí být řešeny prostřednictvím TCP.

Protokolová vrstva	TCP segment	TCP ACK	VoIP s WB-AMR kodekem 12,65 kb/s
Aplikační, transportní a IP	1460 + 40 B	40 B	33 + 40 B
PDCP ROHC	40 B na 8 B	40 B na 8 B	40 B na 3 B
PDCP SDU	1468 B	8 B	36 B
PDCP hlavička	2 B (12 bitů SN)		1 B (7 bitů SN)
RLC hlavička	4 B (12 bitů SN + řetězení )		1 B (5 bitů SN)
MAC hlavička	1 B		1 B
L1 CRC	3 B		3 B
Součet hlaviček L1 a L2 na sdíleném kanále	10 B		6 B
Redukce hlavičky pomocí ROHC	22 z 1500 B ( 1.5%)	22 z 40 B ( 55%)	31 z 73 B ( 42%)

Tab. 3.1: Záhlaví protokolu v LTE s použitím IPv4

AM rádiový nosič pomocí RLC ARQ téměř vždy dosahuje lepších výkonů než rádiový UM nosič. Prvních 10 procent přenosu souborů RLC UM funguje dobře, zbytek výrazně trpí zbytkovým selháním HARQ, když se spouští kontrola TCP přetížení a čímž se zvýší zpoždění přenosu. Skutečný výkon přenosu souborů přes RLC UM závisí na počtu ztrát zaznamenaných v protokolu TCP na aktuálním stavu TCP přetížení při výskytu ztrát.

Náklady na druhou ARQ vrstvu jsou okrajové v důsledku několika zbytkových HARQ chyb vyžadující opakované přenosy ARQ. V tomto případě jsou náklady na pravidelné zprávy o stavu RLC také zanedbatelné, protože jsou obvykle multiplexovány s potvrzeními protokolu TCP, které jsou přenášeny v opačném směru v každém případě. Motivace pro nabízení neuznaného režimu (unacknowledged mode) pro RLC provoz nemusí být přímočará při pohledu na tyto hodnoty. Z hlediska optimalizace VoIP je motivace jasná: běh VoIP přes RLC AM nosič zvyšuje režii záhlaví a podstatně více generuje zprávy o stavu RLC pro téměř všechny VoIP segmenty. I když UE typicky nevysílá a nepřijímá pakety VoIP současně, tyto kontrolní zprávy by vedly k obousměrné komunikaci způsobující dodatečné kontroly záhlaví, zatížení buňky a rušení mezi buňkami.

### 3.3.3 Vrstvy kanálů

#### Fyzická vrstva struktury kanálu

V LTE se stále využívá sdílených a vysílaných kanálů, které jsou zavedeny v dřívějších verzích 3GPP (např. HSDPA, HSUPA, MBMS). Konstrukčně vychází ze společných a vysílacích kanálů, kde již nejsou žádné vyhrazené kanály pro přenos dat pro konkrétního uživatele. Díky tomu zvýšíme účinnost vzduchového rozhraní, protože síť může kontrolovat využívání zdrojů vzduchového rozhraní podle skutečné časové náročnosti od každého uživatele. Nemusí totiž přidělovat fixní úroveň zdrojů pro každého uživatele nezávisle na požadavcích dat v reálném čase. Zásobník protokolu LTE je založen na standardním modelu SS7 signalizace, který je použit u 3GPP W-CDMA sítí dnes. Vrstva NAS je spojena s logickými kanály. Tyto logické kanály poskytují služby a funkce, které požadují vyšší vrstvy pro poskytování aplikací a služeb. Logické kanály jsou potom mapovány do přenosových kanálů ve vrstvě 2, s použitím prvků RRC. Ty poskytují kontrolu a řízení pro tok dat, jako je opakované vysílání, kontrola chyb a priorit. Uživatelská data jsou spravována ve druhé vrstvě pomocí PDCP (Packet Data Convergence Protocol). Vzduchové rozhraní a připojení fyzické vrstvy je pak řízeno a spravováno první vrstvou, pomocí RLC a MAC. Zde jsou transportní kanály mapovány do fyzických kanálů, které jsou přenášeny vzduchem. LTE rádiové kanály jsou rozděleny do dvou typů - fyzických kanálů a fyzických signálů. Fyzický kanál odpovídá souboru prvků zdroje nesoucích informace pocházející z vyšších vrstev (NAS). Fyzický signál odpovídá sadě prvků zdroje používané pouze fyzickou vrstvou (PHY), ale nepřenáší informace pocházející z vyšších vrstev.

Downlink se skládá z 5 fyzických kanálů a 2 fyzických signálů:

#### Downlink - fyzické kanály

1. *Fyzický vysílací kanál (PBCH - Physical Broadcast Channel)*

PBCH přenáší hlavní informační blok (MIB - Master Information Block), který je přenášen v intervalu 40 ms. FEC ochraňuje MIB takovým způsobem, že ho rozdělí na čtyři bloky o stejné velikosti. Díky tomu je možné dekodovat každý blok jednotlivě a získat všechny informace v MIB. Každý blok se přenáší v PBCH prostředcích v každém rádiovém rámci, tak je MIB dekodovatelný každých 10 ms.

2. *Fyzické řízení formátu indikačního kanálu (PCFICH - Physical Control Format Indicator Channel)*

Informuje UE o počtu OFDM symbolů používaných pro PDCCH. Přenáší se

v každém podrámcí.

3. *Fyzikální ovládání downlink kanálu (PDCCH - Physical Downlink Control Channel)*

Informuje UE o přidělování zdrojů, hybridní ARQ informace vztahující se k DL-SCH a PCH. Přenáší plánované povolení pro uplink.

4. *Fyzikální downlink sdílený kanál (PDSCH - Physical Downlink Shared Channel)*

Nese DL-SCH. Obsahuje aktuální uživatelská data.

5. *Fyzický multicast kanál (PMCH - Physical Broadcast Channel)*

Multicast přenos (např. MBMS) je rysem pozdějších LTE verzí, i když je třeba definovat všechny fyzické kanály již v této fázi, aby bylo možné definovat zpětnou kompatibilitu s fyzickou vrstvou. PMCH je přenášen pouze s určenými referenčními značkami. Tento kanál je v podstatě podobný PDSCH, ale je určen pro Multicell příjem.

### **Downlink - fyzické signály**

1. Referenční signál.
2. Synchronizační signál.

Uplink se skládá ze 4 fyzických kanálů a 2 fyzických signálů:

### **Uplink - fyzické kanály**

1. *Řízení fyzického kanálu uplinku (PUCCH - Physical Uplink Control Channel)*  
Nese ACK/NAK v odpovědi na Downlink přenos. Nese CQI zprávy.
2. *Fyzický sdílený kanál uplinku (PUSCH - Physical Uplink Shared Channel)*  
Přenáší UL-SCH, která obsahují uživatelská data.
3. *Fyzický hybridní ARQ indikátor kanálu (PHICH - Physical HARQ Indicator Channel)*  
Přenáší ACK/NAK v reakci na uplink přenosy.
4. *Fyzický kanál s náhodným přístupem (PRACH - Physical Random Access Channel)*  
Přenáší preamble s náhodným přístupem.

### **Uplink - fyzické signály**

1. *Demodulace referenčního signálu (DMRS - Demodulation Reference Signal)*  
Jsou spojené s přenosem PUSCH nebo PUCCH. Nenesou žádnou informaci.
2. *Ozvučení referenčního signálu (SRS - Sounding Reference Signal)*  
Jde o signál přenášený na žádost eNB. Používá se pro uplink kanály také na frekvencích, které nebyly použity pro přenos dříve. eNB žádá UE o přenos

symbolu SRS obsahující část pásma nebo úplnou šířku pásma systému. SRS přenos probíhá vždy na posledním symbolu OFDM podrámce, pokud je to požadováno. [1][2][13][14][16][17][18]

## Struktura přenosového kanálu

Fyzická vrstva poskytuje transportní služby pro MAC PDU. Tato služba je dostupná transportními kanály. Většina transportních kanálů je přímo mapována do fyzických kanálů. Jinak řečeno, transportní kanály jsou vstupní branou do fyzických kanálů a výběr pro MAC PDU, kde mají být přenášeny.

### Transportní kanály Downlinku:

- *Broadcast Channel BCH (Vysílací kanál)* se vyznačuje:
  - fixní, předem definovaným formátem přepravy,
  - požadavky, které mají být vysílány v celé oblasti pokrytí buňky.
- *Downlink Shared Channel DL-SCH (Sdílený Downlink kanál)* se vyznačuje:
  - podpora HARQ,
  - podpora dynamického přizpůsobení linky změnou modulace, kódování a přenosové energie,
  - možnost být vysílán v celé buňce,
  - možnost využití prostorových algoritmů jako tvarování paprsku (beam-forming) nebo MIMO,
  - nese všechny semi-statické informace vysílání (SIB - semi-static broadcast information) a všechny UE specifické provozní kanály.
  - podpora UE nespojitého příjmu (DRX), aby umožnil UE úsporu energie - zvýšení provozní doby UE,
  - podpora MBMS přenosu (FFS).
- *Paging Channel PCH (Stránkovací kanál)* se vyznačuje:
  - podpora pro UE nespojitého příjmu (DRX) umožňuje UE úsporu energie - zvýšení provozní doby UE,
  - požadavky, které mají být vysílány v celé oblasti pokrytí buňky,
  - dynamické přidělování prostřednictvím vlastního fyzického identifikátoru (P-RNTI).
- *Multicast Channel MCH (Multicastový kanál)*
  - požadavky, které mají být vysílány v celé oblasti pokrytí buňky,
  - podpora pro SFN kombinováním MBMS přenosu na více buněk,
  - podpora pro semi-statické přidělování zdrojů, například s časovým rámcem dlouhého cyklického prefixu.

Určený kontrolní Downlink kanál není definován jako PDCCH a používá se pouze pro kontrolu fyzického kanálu. Všechny vyšší vrstvy řídicí roviny jsou přenášeny

přes DL-SCH.

### Transportní kanály Uplinku:

- *Uplink Shared Channel UL-SCH (Sdílený kanál Uplinku)*
  - možnost použití tvarování paprsku (beamforming),
  - podpora HARQ,
  - podpora pro dynamické přizpůsobení linky tím, že mění vysílací výkon a potenciálně modulace a kódování,
  - podpora pro dynamické a semi-statické přidělování zdrojů.
- *Random Access Channel(s) RACH (kanál s náhodným přístupem)*
  - riziko kolize,
  - omezené informace o ovládnání,
  - přístupné bez synchronizace UL,
  - různé režimy v závislosti na velikosti buňky a rušení. [1][2][13][14][16][17][18]

### Logická struktura kanálu

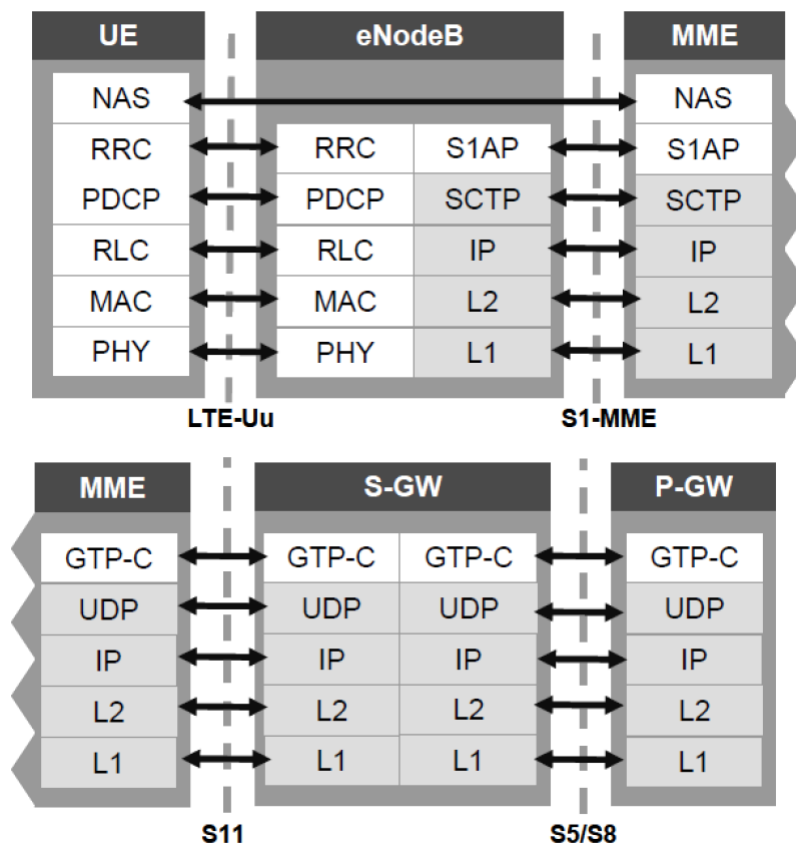
K dokončení mapování kanálů, jsou transportní kanály mapovány do logických kanálů protokolového zásobníku. Tyto logické kanály pak poskytují funkce pro vyšší vrstvy v zásobníku protokolu, které jsou uvedeny v podmínkách služeb vyšších vrstev, které podporují. Každý typ logického kanálu je definován jako typ informace, která je přenášena.

Obecně platí, že logické kanály jsou rozděleny do dvou skupin:

1. **Kontrolní kanály** (pro přenos informací řídicí roviny),
  - *Broadcast Control Channel (BCCH)* - D1 kanál pro vysílací systém řídicích informací.
  - *Paging Control Channel (PCCH)* - kanál, který přenáší stránkování informace. Tento kanál se používá, když síť nezná umístění buňky UE.
  - *Common Control Channel (CCCH)*
  - *Multicast Control Channel (MCCH)* - kanál point-to-multipoint se používá pro přenos MBMS řídicích informací ze sítě do UE. Tento kanál je používán jen UE, které přijímají MBMS.
  - *Dedicated Control Channel (DCCH)* - Obousměrný kanál point-to-point, který přenáší speciální řídicí informace mezi UE a sítí. Používáný UE, když mají RRC spojení.
2. **Dopravní kanály** (pro přenos informací v uživatelské rovině).
  - *Dedicated Traffic Channel (DTCH)* - e kanál, point-to-point, který se věnuje jednomu UE, pro přenos uživatelských informací. DTCH může existovat jak v uplinku tak i downlinku.

- *Multicast Traffic Channel (MTCH)* - point-to-multipoint kanál pro přenos provozních dat ze sítě do UE. Tento kanál je používán jen UE, které přijímají MBMS. [1][2][13][14][16][17][18]

### 3.3.4 Protokolová architektura - řídicí roviny



Obr. 3.8: Protokolová architektura řídicí roviny. [8]

#### Rozhraní Uu

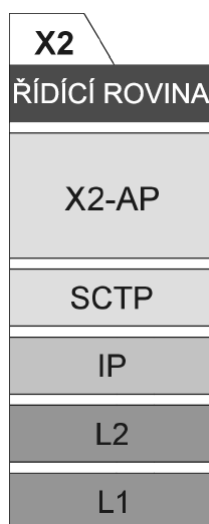
Fyzická vrstva v tomto zásobníku je reprezentována OFDMA v DL a SC-FDMA v UL. Dále vidíme protokol MAC, který je zodpovědný za mapování transportních kanálů na fyzické kanály, ale také pro důležité úkoly, jako je plánování paketů a řízení časování předstihu. Další blok RLC poskytuje spolehlivé transportní služby a mohou být použity k obnově velkého rámce. Hlavním účelem PDCP je komprese větší hlavičky IP, stejně jako šifrování dat uživatelské roviny a ochrana integrity uživatelské a řídicí roviny dat. Další blok zásobníku (vyšší vrstva nad PDCP) je rozdělen do uživatelské roviny a řídicí roviny. Na řídicí rovině vidíme protokol RRC, ten slouží pro komunikaci mezi UE a eNB. RRC poskytuje všechny potřebné funkce

pro nastavení, správu a uvolňování rádiového spojení, zejména pro odběratele. RRC slouží také jako transportní protokol pro signalizaci zpráv NAS (Non-Access Stratum). NAS je výraz pro komunikace mezi UE a MME, ve kterém MME představuje páteřní síť. [1][2][12][14]

### Rozhraní S1

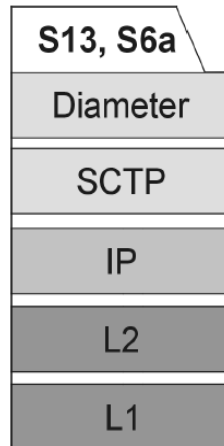
Fyzická vrstva L1 na rozhraní S1 bude ve většině případů realizována kabely Gigabit Ethernet. Blok L2 v tomto případě bude Ethernet. Dalším blokem je IP, která se používá jako přepravní protokol mezi dvěma síťovými uzly: eNB a MME. V řídicí rovině následuje blok SCTP (Stream Control Transmission Protocol) zajišťující spolehlivou přepravní funkci pro velmi důležité signalizační zprávy. Blok S1-AP je pro komunikace mezi MME a S-GW, zatímco NAS, jak již bylo vysvětleno v předchozí části, se používá pro komunikaci mezi UE a MME. [1][2][12][14]

### Rozhraní X2



Obr. 3.9: Zásobník protokolu pro rozhraní X2.

Jak je patrné z obrázku 3.9, liší se toto rozhraní od rozhraní S1 v bloku vyšší vrstvy X2-AP (X2 Application Part - aplikační protokol), které zde je místo S1-AP a NAS. Hlavním účelem X2-AP je poskytnout funkci předávání (handover) mezi eNB. Také se používá pro výměnu informací o souvisejícím provozu a měření kvality rádiového rozhraní mezi různými eNB.[1][2][12][14]



Obr. 3.10: Zásobník protokolu pro rozhraní S6a.

### Rozhraní S6a

Pro toto rozhraní neexistuje žádná uživatelská rovina. Jde totiž o spojení mezi MME a HSS (Home Subscriber Server). Bloky L1, L2, IP, a SCTP znázorněné na obrázku 3.10 poskytují stejné funkce, jak je vysvětleno v kapitole rozhraní S1. Novým blokem je na rozhraní S6a protokol DIAMETER. V EPC síti DIAMETER převzal roli MAP (Mobile Application Part). To se používá pro aktualizaci HSS o aktuální poloze účastníka a zajišťuje tak nezbytné atributy účastníků uložených v databázích HSS, takže přístup k síti a provoz účastníka mohou být směrovány podle těchto parametrů. DIAMETER je také zapojen do bezpečnostních funkcí sítě: účastnické ověřování, ochrana integrity a šifrování. [1][2][12][14]

### Rozhraní S3/S4/S5/S8/S10/S11

U rozhraní S3, S4, S5, S8, S10, S11 najdeme stejné bloky jako v protokolovém zásobníku, jak je znázorněno na obrázku 3.8. Důvodem je to, že všechna tato rozhraní slouží k IP tunelu užitečně zatíženého transparentně z jednoho síťového uzlu na druhý. Správa tunelu je poskytována pomocí GTP-C (GPRS Tunnelling Protocol Control), zatímco IP payload je přepravován pomocí GTP-U v T-PDU. Funkcí GTP-C je, že tento protokol se používá k vytvoření, změně a odstranění tunelů uživatelské roviny. To také podporuje mobilitu účastníků mezi klíčovými síťovými uzly. [1][2][12][14]

## 4 KLÍČOVÉ VÝKONNOSTNÍ INDIKÁTORY

### 4.1 Kontrola měření UE

Specifikace měření L1 poskytuje funkce měření pro UE a E-UTRAN. Tato měření mohou být zařazena do různých hlášených typů měření:

- intra-frekvenční,
- inter-frekvenční,
- mimosystémová,
- objem provozu,
- kvalita,
- vnitřní měření UE.

Pro zahájení konkrétního měření, E-UTRAN vysílá zprávu RRC connection re-configuration do UE včetně ID měření, typu příkazu (nastavení, změnění, uvolnění), objekty měření, množství měření a kritéria podávání zpráv (pravidelné nebo spouštěné akcí). Pokud jsou splněna kritéria podávání zpráv, UE odpoví zprávou measurement report message na E-UTRAN včetně ID měření a výsledků. Pro klidový režim jsou měřicí informační prvky vysílány v informačním systému. [20]

#### 4.1.1 Přizpůsobování linky

Adaptivní linková modulace se používá pro lepší využití stávající kvality kanálu. Tato funkce závisí na indikátoru **kvality kanálu** (CQI). UE provádí odhad kanálů, který sdělí eNB. UE obvykle hlásí zpět nejvyšší index CQI spojený s modulačním kódovacím systémem (MCS - Modulation Coding Scheme), pro které Block Error Rate (BLER) transportní vrstvy DL nepřesahuje 10%. CQI index je hlášen v rozsahu 1 a 15 nebo CQI index 0 v případě, že přeprava BLER je vyšší než 10%. K dispozici jsou režimy modulace 64-QAM, 16-QAM a QPSK, respektive dle sestupného pořadí podle kvality kanálu.

Obrázek 4.1 ukazuje rozsah modulačních schémat a úrovní CQI s ním spojených. Nejvyšší CQI (15) označuje nejlepší kvalitu kanálu a tím je podporováno nejvyšší modulační schéma k dispozici, tj. 64-QAM. Na rozdíl od CQI, existují i jiné zprávy kanálového odhadu - Rank indikátor (RI) a PMI, které jsou spojeny s MIMO. Měření CQI jsou hlášeny v intervalu jednoho TTI (Transmission Time Interval - 1 ms). To způsobí, že naměřená data se objeví redundantně, tj. s více instancemi linkových úprav najednou.

CQI index	MODULACE
0	'MIMO ROZSAH'
1	QPSK
2	QPSK
3	QPSK
4	QPSK
5	QPSK
6	QPSK
7	16 QAM
8	16 QAM
9	16 QAM
10	64 QAM
11	64 QAM
12	64 QAM
13	64 QAM
14	64 QAM
15	64 QAM

Obr. 4.1: Rozsah modulačních schémat a úrovní CQI s ním spojených.

#### 4.1.2 Fyzická Identita buňky (PCI)

PCI je obvykle používán k identifikaci buňky pro rádiové účely, např. udržovací a handoverové procedury jsou zjednodušeny použitím výslovně stanoveného seznamu PCI, které UE musí sledovat. PCI je součástí počáteční konfigurace buňky a je zřízena síťovým designérem pomocí nástroje plánování sítě. V LTE síti je soubor 504 unikátních PCI, které jsou vyhrazeny k adresování buňky.

V LTE rádiovém prostředí je podávána do UE prostřednictvím aktivního souboru, zatímco sousední buňky, které jsou v rámci prahových limitů stanoveny týmem Operation & Maintenance (provoz a údržba - O&M) pro plánování a optimalizaci, spadají pod detekované sady. Nástroj měření by identifikoval aktivní sadu a detekovanou sadu buňky jako PCI. Proto pokrytí určitou buňkou jako aktivní sadou lze zjistit ze souboru měření tím, že se filtruje vybrané PCI a ujišťuje se, zda jsou filtrované PCI aktivní. PCI jsou opětovně používány pro propustnost sítě. Z tohoto důvodu, musí být plánována tak, aby dvě buňky se stejným PCI byly od sebe ve značné rádiové vzdálenosti, aby se zabránilo rušení z buněk navzájem shodných PCI. [19][20]

### 4.1.3 Reference Signal Received Power (RSRP)

Přijímaný výkon referenčního signálu je definován jako lineární průměr síly příspěvků jednotlivých zdrojových prvků, které nesou referenční signály buněk specifických v rámci posuzovaného frekvenčního pásma měření. Jak již název napovídá, existuje referenční signál jako jediný symbol v době, kdy je měření prováděno pouze na prvky prostředků, které obsahují specifické referenční signály buněk. RSRP je důležité měření LTE fyzické vrstvy, které provádí UE a je většinou využíváno při rozhodování v rámci inter(intra)-frekvenčního handoveru. Počet prvků zdroje v posuzované šířce kmitočtového pásma a v rámci měřicího intervalu, které jsou používány UE k určení RSRP, je ponecháno na implementaci UE s omezením, které mají být splněny odpovídajícími požadavky na přesnost měření. Síla zdrojového prvku se určuje z energie přijaté během doby části symbolu, s výjimkou CP. Hodnota RSRP může být získána ve stavech: RRC\_IDLE a RRC\_Connected pro intra-frekvenční a inter-frekvenční měření. Referenčním bodem pro RSRP by měl být anténní konektor pro UE.

Návrh klíčových ukazatelů výkonu pro RSRP:

- 10 MHz šířka pásma kanálu (700 MHz & AWS): -98 dBm/-103 dBm
- 5 MHz šířka pásma kanálu (700 MHz & AWS): -98 dBm/-103 dBm

Minimálně 95% z váženého průměru oblasti LTE provedení služby (clusteru nebo mnohoúhelníku), musí splňovat RSRP cíle uvedené výše. Kritérium 95% je založeno na vážení za použití stejných zmatkových vah používaných pro provoz šíření. Cíle uvedené výše berou v úvahu vnitřní hodnoty ztráty přidělených podle typu rušení (např. ztráty v budově jsou povoleny). [19][20]

### 4.1.4 Reference Signal Received Quality (RSRQ)

Kvalita přijímaného referenčního signálu je definována jako poměr

$$RSRQ = N * \frac{RSRP}{E - UTRANnosičRSSI} \quad [dB], \quad (4.1)$$

kde N je počet rádiových nosičů v E-UTRAN nosiči RSSI měření pásma. Měření v čitateli a jmenovateli se provádí přes stejnou sadu zdrojových bloků.

E-UTRAN nosič Received Signal Strength Indicator (RSSI - Indikátor síly přijímaného signálu) zahrnuje lineární průměr z celkového přijatého výkonu pozorovaný pouze u OFDM symbolů, které obsahují referenční symboly pro anténní port 0, v šířce pásma měření, přes počet N zdrojových bloků od UE ze všech zdrojů, včetně rušení sousedních kanálů, tepelného šumu apod. Referenční bod pro RSRQ musí být anténní konektor UE. Návrh klíčových ukazatelů výkonu pro RSRQ: 2 přenosové cesty:

- 50% zatížení: -15 dB
- 100% zatížení: - 18 dB

#### 4.1.5 Received Signal Code Power (RSCP)

Kódová síla přijímaného signálu je definovaná jako přijatý výkon na jeden měřený kód na primárním CPICH (Common Pilot Channel). Referenční bod pro RSCP musí být anténní konektor UE.

Pokud je rozmanitost Tx aplikována na primární CPICH výkon přijímaného kódu z každé antény, musí být měřeny samostatně. Celkový kódový výkon na primárním CPICH získáme sečtením těchto měření ve watech.

#### 4.1.6 Signal to Interference-Noise Ratio (SINR)

SINR může být definován jako

$$SINR = \frac{S}{I + N} \quad [dB], \quad (4.2)$$

kde **S** je průměrná síla přijímaného signálu, **I** je interference a **N** je hluk. Interference **I** je dále rozdělitelná na

$$I = I_{own} + I_{other} \quad (4.3)$$

kde  $I_{own}$  je vlastní interference buňky a  $I_{other}$  jsou další interference buňky.

SINR je jedním z nejdůležitějších faktorů, které určují propustnost downlinku pro UE. UE SINR je velmi ovlivněn regulačním výkonem mechanismu. SINR hodnota **S** na uživatele je definována jako:

$$S = P - L - I_{OT} - N \quad [dB] \quad (4.4)$$

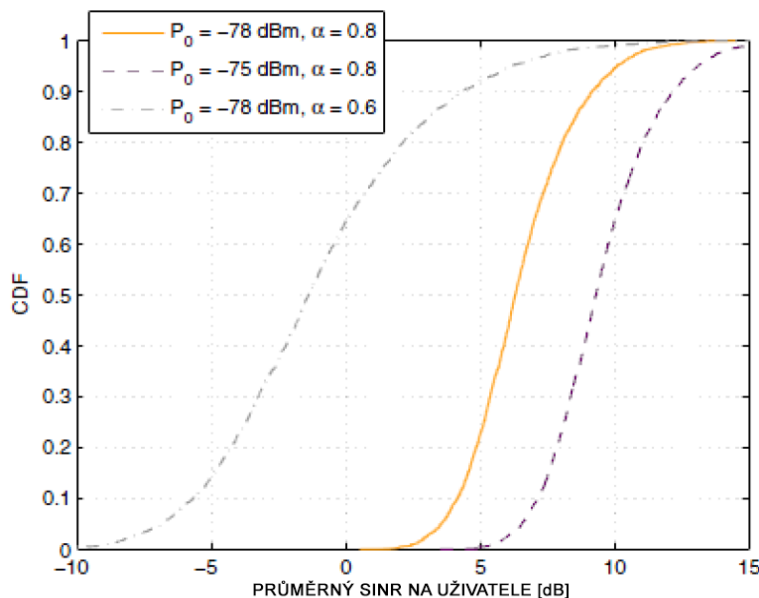
a vysílací výkon **P** může být psán jako

$$P = \min\{P_{max}, P_0 + 10 * \log_{10}M + \alpha * L\} \quad [dBm] \quad (4.5)$$

kde:

- $L$  = ztráta po cestě v dB,
- $P_0$  = specifický parametr UE (volitelný specifický pro buňku)
- $I_{OT}$  = rušení teplem
- $N$  = tepelný šum
- $P_{max}$  = maximální vysílací výkon
- $M$  = Přiřazená PRB (fyzický zdrojový blok)
- $\alpha$  = buňkový-specifický korekční faktor cesty

Za předpokladu, že  $P_0 = -78$  dBm a  $\alpha = 0,8$  (jak je uvedeno na obrázku 4.2), je hodnota  $M$  rovna 50 (za předpokladu, že je s PRB nakládáno v plné šířce pásma 10 MHz) a  $L$  je rovno 130 dB, lze vysílací výkon vypočítat z rovnice 4.5 jako 42,9 dBm. Nyní s využitím této hodnoty v rovnici 4.4 a za předpokladu, že  $I_{OT}$  bude 5 dB (3-10 dB pro obchodní sítě) a  $N$  bude -104,4 dBm, je vypočítána hodnota  $S$  jako 12,4 dB. [19][20]



Obr. 4.2: Ideální dopad na SINR na uživatele při různých nastavení OLPC parametrů.

Obrázek ukazuje, že vyšší  $P_0$  způsobuje zvýšení průměrné hodnoty SINR na uživatele, zatímco nižší  $P_0$  snižuje SINR. Nižší  $\alpha$  nejenže snižuje SINR, ale také šší křivku, která vede k vyšší diferenciaci pokud jde o SINR mezi uživateli okrajových buněk a středních buněk. Kromě  $P_0$  a  $\alpha$ , je rušení také důležitým faktorem, který má vliv na rozložení SINR.

#### 4.1.7 Kapacita bez paměťového kanálu

Shannon vázán kapacitou kanálu Aditivního bílého Gaussova šumu (AWGN) je získán za předpokladu, že modulovaný signál  $x(t)$  (s rozptylem  $\sigma^2$ ) je kontaminovaný hlukem AWGN kanálu (s rozptylem  $\frac{N_0}{2}$ ). Při výpočtu kapacity diskrétního vstupu s kontinuálním výstupem bez paměťového kanálu, vstupní sekvence předpokládá, že ekvivalentní pravděpodobnost vstupního symbolu má  $\log_2(M)$  bitů na symbol informace. Pravděpodobnost výskytu symbolu je dána

$$p(x_m) = \frac{1}{m}, \quad m = 1, \dots, M \quad (4.6)$$

Podmíněná pravděpodobnost příjmu  $\mathbf{y}$  při přenosu  $\mathbf{x}$  přes AWGN kanál je dána jako

$$p(\mathbf{y}|\mathbf{x}_m) = \prod_{n=1}^N \frac{1}{\sqrt{\pi N_0}} \exp\left(-\frac{(y_n - x_{mn})^2}{N_0}\right) \quad (4.7)$$

Zjednodušená kapacita kanálu pro  $N = 2$  rozměrný signál ve formě

$$C = \log_2(M) - \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M E \left[ \exp\left(-\frac{|x_m + n - x_i|^2 + n^2}{N_0}\right) \right] \quad [bit/symbol] \quad (4.8)$$

Kde  $\mathbf{n}$  je komplexním vektorem AWGN s rozptylem  $\frac{N_0}{2}$ .

Náhodné charakteristiky rádiového kanálu nelze řádně analyzovat pomocí kanálového modelu AWGN v důsledku faktorů jako odraz, lom, difrakce velkých i malých měřítek slábnutí.

#### 4.1.8 Propustnost downlinku

Mezi faktory, kterými se řídí propustnost aplikací v příchozím směru (downlinku) je šířka pásma, využití MIMO, modulace a kódování. Spektrální účinnost nabízí různé modulace, jako je QPSK, 16-QAM a 64-QAM pro jeden streamovaný přenos se pohybuje od 1 bps/Hz až 6 bps/Hz. Využití 2x2 MIMO zdvojnásobuje přenosovou rychlost zvýšením horní hranice na 12 bps/Hz. Počet zdrojových bloků alokovaných pro různé šířky pásma uvedou počet dostupných symbolů v časovém rámci. Různé signalizační kanály konzumují přidělené prvky zdroje částečně. Tato kontrola kanálu režijních bitů je třeba odečíst z dostupné bitové rychlosti pro výpočet teoretické dostupné bitové rychlosti.

Modulační schéma	Použití MIMO	bps/Hz	Přenosová rychlost (Mbps)
QPSK	SISO	2	13,6
16-QAM	SISO	4	27,2
64-QAM	SISO	6	40,8
QPSK	2x2 MIMO	4	25,6
16-QAM	2x2 MIMO	8	51,2
64-QAM	2x2 MIMO	12	76,8
QPSK	4x4 MIMO	8	48
16-QAM	4x4 MIMO	16	96
64-QAM	4x4 MIMO	24	144

Tab. 4.1: Teoretická přenosová rychlost downlinku (10 MHz šířka pásma)

Tabulka 4.1 ukazuje teoretické downlinkové přenosové rychlosti vypočtené pro různá modulační schémata a kombinace s použitím MIMO pro 10 MHz šířkou pásma.

### 4.1.9 Reference signal time difference (RSTD)

Relativní časový rozdíl mezi buňkou  $j$  a buňkou  $i$ , která je definována jako  $T_{\text{SubframeRxj}} - T_{\text{SubframeRxi}}$ , kde

- $T_{\text{SubframeRxj}}$  je doba, kdy UE obdrží start jednoho pomocného rámce z buňky  $j$ ,
- $T_{\text{SubframeRxi}}$  je doba, kdy UE obdrží odpovídající start jednoho pomocného rámce z buňky  $i$ , to je časově nejbližší k pomocnému rámci obdrženého od buňky  $j$ .

Referenční bod pro pozorování pomocného rámu časového rozdílu musí být anténní konektor UE. [19][20]

## 4.2 Měřící schopnosti EUTRAN

### 4.2.1 Síla DL RS TX signálu

Referenční signál vysílacího výkonu downlinku je určen pro uvažované buňky jako lineární průměr nad silou příspěvků prvků zdroje (ve [W]), které nesou specifické referenční signály buněk, které jsou přenášeny do eNB v rámci své šířky pásma operačního systému. Referenční bod pro měření výkonu DL RS TX je konektor pro připojení antény TX.

### 4.2.2 Přijímání rušeného výkonu

Přijímaný výkon rušení uplinku, včetně tepelného šumu, je definován v rámci jednoho fyzického zdroje bloků šířky pásma prvků zdroje  $N_{SC}^{RB}$ . Vykázaná hodnota musí obsahovat sadu přijatých rušících sil fyzických bloků zdrojů  $n_{PRB} = 0, \dots, N_{RB}^{UL} - 1$ . Referenční bod pro měření musí být anténní konektor RX.

### 4.2.3 Tepelný šum

Je definován do šířky pásma systému UL skládající se ze zdrojových bloků  $N_{RB}^{UL}$ . Určen jako  $(N_O \times W)$ , kde  $N_O$  značí bílý šum výkonové spektrální hustoty na frekvenci uplinkového nosiče, a  $W = N_{RB}^{UL} * N_{SC}^{RB} * \Delta f$  označuje šířku pásma systému UL. Měření je volitelně hlášeno spolu s přijímáním rušeného výkonu a musí být stanoveno ve stejném časovém období. Referenční bod pro měření je konektor RX antény.

#### 4.2.4 Postup načasování - Timing advance ( $T_{ADV}$ )

1. Typ 1: je definován jako časový rozdíl  $T_{ADV} = (eNB\_Rx - Tx\_časovýrozdíl) + (UE\_Rx - Tx\_časovýrozdíl)$ , kde eNB\_Rx - časový rozdíl Tx odpovídá stejnému UE, které hlásí UE\_Rx - časový rozdíl Tx.
2. Typ 2: je definován jako časový rozdíl  $T_{ADV} = (eNB\_Rx - Tx\_časovýrozdíl)$ , kde eNB\_Rx - Tx časový rozdíl odpovídá přijatému radiovému datovému rámci Uplinku, který obsahuje PRACH z příslušného UE.

#### 4.2.5 eNB Rx-Tx časový rozdíl

Je definován jako  $T_{eNB-RX} - T_{eNB-TX}$ , kde

- $T_{eNB-RX}$  je eNB, který obdržel časování uplinkového časového rámce #i, definovaného podle první zjištěné cesty v čase.
- Referenční bod pro  $T_{eNB-RX}$  musí být konektor pro připojení antény Rx.
- $T_{eNB-TX}$  je eNB, který přenáší časování downlinkového radiového rámce #i.
- Referenční bod pro  $T_{eNB-TX}$  je konektor pro připojení antény Tx. [20]

## 5 DIAGNOSTIKA SÍTĚ

Tato kapitola se zaměřuje na popis postupu měření při diagnostice sítě. Bude popsán všeobecný postup měření sítě, který by měli poskytovatelé internetu provádět po sestavení sítě a ověření její funkčnosti, tak i pro měření k lepší optimalizaci sítě.

### 5.1 Měření rychlosti přenosu dat

#### 5.1.1 Základní pojmy a zkratky

- **Odstup měření OM** - Je časový úsek v sekundách, kdy nejsou přenášena žádná testovací data propustnosti sítě.
- **Měřicí vzorek MV** - Je spojitý časový úsek v sekundách, v němž se měří objem přenesených testovacích dat v bajtech. Na začátku měřicího vzorku  $MV_k$  se v čase  $t_z$  odebere okamžitá hodnota objemu přenesených dat  $w1(t_z)$  a na konci  $w2(t_k)$ . Z těchto hodnot se pro měřicí vzorek vypočítá přenosová rychlost  $v_p(MV_k)$ .
- **Měřicí čtverec  $K_{x,y}$**  - Je pokrytí území normalizovanými čtverci 100 x 100 m (dle norem ČTU) s přesně definovanou GSP polohou a orientací. Indexy x, y udávají pomyslnou polohu vůči osám x, y. Každý čtverec je opatřen jednoznačným identifikátorem označeným ID.
- **Vzorek přenosové rychlosti  $v_p(K_{x,y}, MV_k)$**  - Jedná se o vzorek přenosové rychlosti ve čtverci  $K_{x,y}$ , patřící k měřicímu vzorku v čase  $MV_k$ .
- **Počáteční objem dat  $w_1(K_{x,y}, MV_k)$**  - Přijatý objem dat v bajtech na začátku ( $t_z$ ) vzorku měření  $MV_k$  ve čtverci  $K_{x,y}$ .
- **Koncový objem dat  $w_2(K_{x,y}, MV_k)$**  - Přijatý objem dat v bajtech na konci ( $t_k$ ) vzorku měření  $MV_k$  ve čtverci  $K_{x,y}$ .
- **Stacionární čtyřhodinová/hodinová série měření  $StM$**  - Měření prováděné po celou dobu série měření s měřicím mobilním terminálem v neměnné pozici **S** určené pomocí GPS přijímače. Klíčovou charakteristikou  $StM$  je klidová poloha terminálu s maximální pravděpodobností chyby určení polohy a rychlosti 5%.
- **Požadovaná hodnota přenosové rychlosti PHPR** - Stanovena na nejméně 5 Mbit/s (PHPR = 5 Mbit/s) pro vzestupný směr a minimálně 25 Mbit/s (PHPR = 25 Mbit/s) pro sestupný směr. Tato rychlost platí pro jedno mobilní zařízení a jednu SIM.
- **Průměrná rychlost  $\overline{v_p(K_{x,y})}$**  - Je průměrná rychlost ze všech stacionárně změřených vzorků přenosových rychlostí  $v_p(K_{x,y}, MV_k)$  pro všechny  $MV_k$  v daném čtverci, nebo všech vzorků přenosových rychlostí  $v_p$ .

- **Bod měření**  $a_w, b_w, c_w, d_w$  - Jsou body měření určené GPS souřadnicemi spadající do čtverce  $K_{x,y}$ , které patří k množině bodů měřicí trasy při jejich prvním (druhém -  $b_w$ , třetím -  $c_w$ , čtvrtém -  $d_w$ ) průjezdu (směr A→B i opačně).
- **Indikátor mobilní datové technologie**  $MDM(a_k)$  - Je textový řetězec nabývající hodnoty „LTE“ pro technologii LTE a „UMTS“ pro technologie UMTS v měřicím bodě trasy  $a_k$ . Pro jiné datové módy může nabývat i jiných hodnot. [22]

### 5.1.2 Měření rychlosti přenosu dat

Měření pokrytí daného území datovou službou lze charakterizovat celou řadou kvalitativních parametrů. Jedním z nejjednodušších parametrů je sledování objemu přenesených dat  $w(t)$  jako funkci času. Jako odvozené kritérium lze považovat okamžitou přenosovou rychlost, které je dána vztahem:

$$v_p(t) = 8 \frac{dw(t)}{dt} \quad [bit/s, bajty, s] \quad (5.1)$$

Přenosovou rychlost a objem přenesených dat můžeme sledovat v obou směrech přenosu, ale v počáteční fázi, lze jako zásadní uvažovat pouze rychlost v sestupném směru (downlinku), zjednodušeně řečeno ze sítě k mobilnímu zařízení. Kvalita přenesených dat však nesouvisí jen s velikostí dosažené přenosové rychlosti, ale také na dalších parametrech:

- ztrátovosti datových jednotek (IP paketů) v síti,
- středním zpoždění přenosu datových jednotek,
- rozptylu zpoždění příchodu datových jednotek.

Ideální stav nastane tehdy, když se všechny vyslané pakety přijmou s minimálním zpožděním a rozptylem v přijímači. Tento stav však nikdy nelze dokonale zajistit. Pro návrh v rámci této práce pro měření objemu přenesených dat byl vybrán transportní protokol TCP, který má řadu výhod i nevýhod:

- **výhody:**
  - TCP protokol je a bude používán jako primární programové rozhraní mezi aplikací a sítí.
  - TCP je protokol, který je citlivý na parametry uvedené výše, tj. ztrátovost datových jednotek (v tomto případě TCP segmentů), zpoždění a hlavně rozptyl zpoždění. Zhoršení libovolného parametru se projeví ve snížení propustnosti TCP a tím i efektivní přenosové rychlosti. Díky tomu nemusíme monitorovat několik parametrů naráz a jejich vyhodnocování je jednodušší, protože TCP je spojuje do jednoho parametru, tzv. transportní propustnost dat.

- TCP protokol garantuje spolehlivý přenos dat.
- Mnoho aplikací, jako WEB, Mail, používá TCP protokol, z tohoto důvodu je měření založené na jeho základě důležitým ukazatelem.
- **nevýhody:**
  - TCP protokol při nedoručení paketů žádá vysílač o jejich opakované vyslání, díky čemuž se datový kanál více zatěžuje. Proto i přes své výhody neukazuje přesně kvalitu dané aplikace pro přenos audia nebo video toků.
  - TCP protokol je citlivý na rychlé a velké kolísání zpoždění v síti. Díky tomu dochází ke zbytečným prodlevám v přenosu, nebo naopak ke zbytečnému opakování již přijatých paketů.
  - TCP protokolem nelze testovat vícebodová spojení, protože TCP lze použít jen pro přenos bod-bod. Vícebodovou komunikaci je nutné realizovat adekvátním počtem jednotlivých bod-bod instancí TCP spojení.

Pro měření přenosové rychlosti je nezbytné mít k dispozici serverovou část měřicí aplikace, která musí být schopná po navázání TCP spojení generovat v sestupném směru data rychlostí přesahující PHPR. Lze to ověřit předběžným měřením, kdy se pevná monitorovací stanice (klient) připojí k serveru přímo a ověří se maximální tok, který je server schopen na daném TCP spojení generovat.

Klíčovým parametrem pro dosažení maximální propustnosti je velikost přijímacího okna RCWND (Receive Window). Díky němu může TCP přijímač dynamicky v čase řídit rychlost zasílaných segmentů TCP zdrojem. Bude-li toto okno příliš malé, nebo zpoždění při přenosu příliš velké, nebo obojí naráz, TCP spojení nebude moci využít maximální nabízené kapacity sítě na třetí vrstvě (IP) a měření bude zkreslené. Z toho důvodu je nutné nastavit velikost okna RCWND s ohledem na dosažení maximální propustnosti. Můžeme ho nastavit podle výsledku vztahu propustnosti TCP spojení pro danou velikost RCWND okna a obousměrné zpoždění RTT (Round Trip Time):

$$v_{pmax} = 8 \frac{RCWND}{RTT} \quad [bit/s, bajty, s] \quad (5.2)$$

V sítích LTE by se zpoždění RTT mělo pohybovat do 15 ms pro téměř 90% prováděných testů. Pro testování vyšších rychlostí se volí jako optimální velikost okna RCWND hodnota od 64 kB do 128 kB.

Mnoho aplikací dnes využívá více současně otevřených TCP relací. Pro sledování chování sítě v obdobných podmínkách pro aplikace, by se měli testy provádět současným spuštěním tří TCP relací a měřením přenosové rychlosti vycházející z objemu dat w sečtených pro všechny relace dohromady.

Pro odstranění vlivu ostatních ISP (poskytovatel připojení k Internetu) je vhodné připojit testovací TCP server co nejbližší k výchozímu bodu sítě operátora do In-

ternetu. Nejlepším řešením je umístit testovací server do páteřní infrastruktury, přes kterou jsou propojeni všichni klíčoví poskytovatelé do sítě Internet. [22][24]

### Stacionární měření

Toto měření se provádí v hodinových nebo čtyřhodinových sériích měření, které se následně vyhodnocuje. Stacionární měření (StM) je prováděno s cílem ověřit požadovanou hodnotu přenosové rychlosti (PHPR) pro polohově neměnné místo  $S$  terminálu s danými GPS souřadnicemi. Při určování GPS polohy může nastat maximální chyba  $\pm 5$  m s pravděpodobností chyby určení polohy maximálně 5%. Splnění podmínek při stacionárním měření je dosaženo v případě, že:

1. Přenosová rychlost  $v_p(K_{x,y}, MV_k)$  dosáhne hodnoty PHPR alespoň v 50% všech měřicích vzorků  $MV_k$  (pro  $k=1-12$ ) v dané sérii měření na daném místě  $S$ .
2. Průměrná rychlost přenosu dat  $\overline{v_p(K_{x,y})}$  ze všech měření v dané sérii měření v místě  $S$  musí dosáhnout nejméně 75% PHPR.
3. Nebudou-li dva výše zmíněné body splněny, bude provedena pro ověření druhá série měření. Přenosové rychlosti se následně průměrují takto,  $MV_k = [MV_{k,1} + MV_{k,2}]/2$ , kde  $MV_{k,1}$  je měřicí vzorek z první série měření a  $MV_{k,2}$  je měřicí vzorek z druhé série pro  $k=1..12$ . Po opětovném měření se posouzení provede podle bodů 1) a 2). Druhá (opakovaná) série měření se provádí ve stejné době jako první série měření.

### Měření za jízdy

Pro účely zjištění pokrytí v obydlené oblasti se provádí kontinuální měření za jízdy (KMzJ) rychlostí 40 km/hod po hlavních komunikacích měřené lokality, záleží ovšem na podmínkách v čase měření (omezení rychlosti a stav provozu). Rychlost lze určovat pomocí GPS přijímače, ovšem může být ovlivněno zatížením maximální chybou při stanovení polohy  $\pm 5$  m a při určování rychlosti maximálně 2 km/h. Dosažení požadované přenosové rychlosti je splněno za těchto podmínek:

- Přenosová rychlost  $v_p(a_w)$  dosáhne hodnoty PHPR alespoň v 50% všech měřicích bodů  $a_w$  při prvním průjezdu měřicí trasou.
- Průměrná rychlost přenosu dat  $\overline{v_p(K_{x,y})}$  ze všech měřicích bodů  $a_w$  při prvním průjezdu měřicí trasou musí být pro daný čtverec větší než 75% PHPR, tj.

$$\overline{v_p(K_{x,y})} = \frac{\sum_{w=k}^{k+n} v_p(a_w)}{1+n} \geq 0,75 \quad (5.3)$$

- V místech, kde nebudou uvedené podmínky přenosové rychlosti splněny, se provede opakované měření, tj. průjezd za stejných podmínek. Výsledek získáme

zprůměrováním přenosových rychlostí (průměrná hodnota) ze všech provedených měření. V tomto bodě pro průměrnou přenosovou rychlost platí následující vztah:

$$\overline{v_p(K_{x,y})} = \frac{\sum_{w=k}^{k+n} v_p(a_w) + \sum_{w=l}^{l+m} v_p(b_w)}{2 + n + m} \geq 0,75PHPR \quad (5.4)$$

V tomto případě platí, že měřicí body  $a_w$  patří k prvnímu měření trasy a body  $b_w$  k druhému měření trasy. Do uvedených vztahů se počítají z obou měření pouze body patřící do stejného čtverce.

- Hlavními komunikacemi jsou myšleny silnice 1. a 2. třídy protínající obce, návsí a náměstí.

Dále se provádí kontinuální měření za jízdy rychlostí 60 km/hod (pokud to dovolují podmínky v době měření, jinak je rychlost nižší) po celé délce dálnic a rychlostních komunikací. Dostupnost datové komunikace musí být zajištěna v 90% definovaných čtverců 100 m x 100 m, které komunikace protínají. Dostupnost dané přenosové technologie v určitém čtverci  $K_{x,y}$  se měří v každém jeho měřicím bodě pomocí indikátoru  $MDM(a_k)$ , určujícím zda v daném okamžiku síť podporuje LTE nebo UMTS technologii. Čtverec, který protíná měřenou trasu dálnice nebo rychlostní komunikace, vyhovuje, pokud platí podmínka ( $MDM(a_k) == "LTE"$ ) -> **TRUE** pro všechny jeho měřicí body. Dálnice nebo rychlostní komunikace vyhovuje výše uvedené podmínce, pokud 90% čtverců, které protíná, vyhoví výše uvedené podmínce. Díky větší rychlosti na dálnicích lze očekávat úměrně menší počet měřicích bodů  $a_k$ , které patří do jednoho čtverce. S cílem lepších výsledků bude měření provedeno čtyřikrát, vždy s průjezdem po stejné trase, jen v jiném směru a dvakrát (2x jeden směr, 2x druhý směr). Vzniknou tak čtyři množiny měřicích bodů  $a_a, c_c$  (směr A→B) a  $b_b, d_d$  (směr B→A). [22]

Dosažení požadované rychlosti je splněno za těchto podmínek:

- Přenosová rychlost  $v_p$  dosáhne hodnoty PHPR alespoň v 50% všech měřicích bodů.
- Průměrná rychlost přenosu dat  $\overline{v_p(K_{x,y})}$  ze všech měřicích bodů musí být pro daný čtverec  $K_{x,y}$  větší než 75% PHPR, tj.

$$\overline{v_p(K_{x,y})} = \frac{\sum_{w=k}^{k+n} v_p(a_w) + \sum_{w=l}^{l+m} v_p(b_w) + \sum_{w=s}^{s+h} v_p(c_w) + \sum_{w=r}^{r+p} v_p(d_w)}{4 + n + m + h + p} \geq 0,75PHPR \quad (5.5)$$

### Výpočet rychlosti přenosu dat

Relevantním údajem měření je přenosová rychlost, kterou je nutné vypočítat. K tomuto účelu se zavádí pro stacionární měření pojem měřicí vzorek MV, což je ča-

sový interval, na jehož začátku se změří okamžitý objem přenesených dat  $w_1(t_z)$  a na jeho konci taktéž,  $w_2(t_k)$ . Z těchto údajů se poté vypočítá přenosová rychlost podle vztahu:

$$v_p(K_{x,y}, MV_k) = 8 \frac{w_2(K_{x,y}, MV_k) - w_1(K_{x,y}, MV_k)}{t_k(K_{x,y}, MV_k) - t_z(K_{x,y}, MV_k)} \quad (5.6)$$

Tento vztah udává průměrnou přenosovou rychlost v rámci odpovídajícího měřicího vzorku  $MV_k$ . Nelze ovšem určit pro jaký časový okamžik tato rychlost platí.

### Stacionární měření

Pro toto měření je stanoven časový interval MV na 5 min. Díky této délce měření získáme střední hodnotu přenosové rychlosti v daném čtverci. V rámci 5 minutového intervalu se měří po sekundových měřicích intervalech a software počítá okamžitou přenosovou rychlost v rámci těchto 1 sekundových intervalů. Výsledná přenosová rychlost pro MV interval se potom spočítá jako aritmetický průměr všech sekundových měřicích intervalů. Jinými slovy měřicí vzorek MV se skládá z kratších jednosekundových měřicích intervalů.

$$v_p(K_{x,y}, MV_k) = \frac{\sum_{l=1}^{MV_k} v_p(K_{x,y}, MI_l)}{MV_k}, \quad (5.7)$$

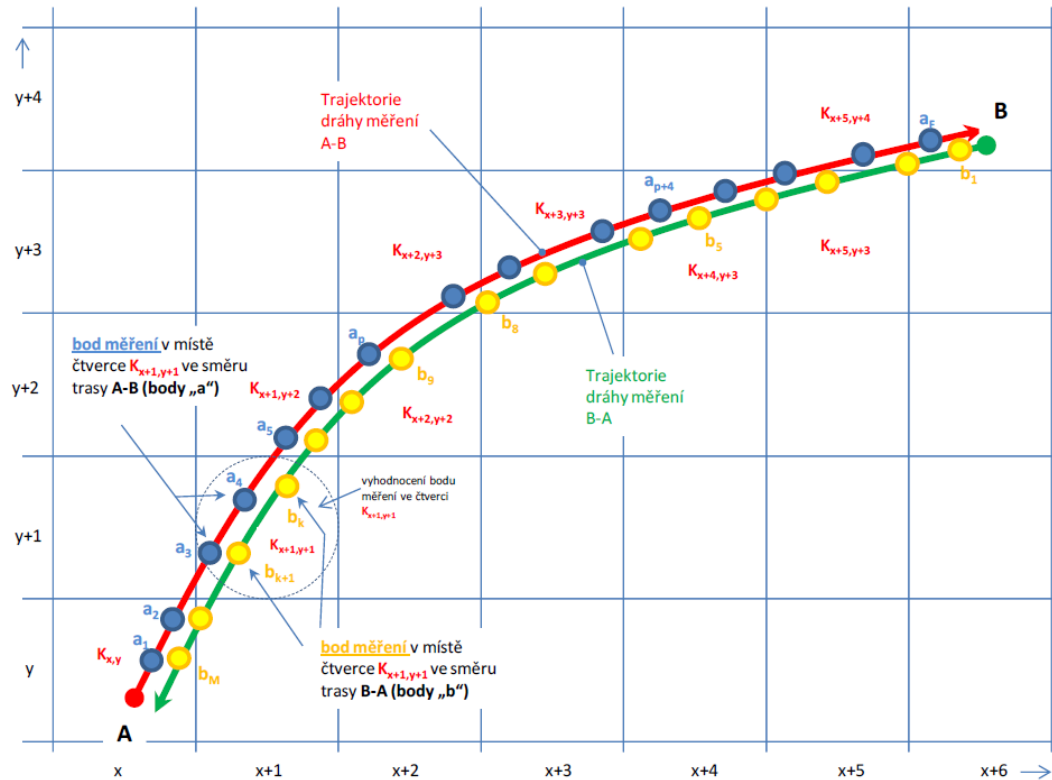
kde

$$v_p(K_{x,y}, MI_l) = 8 \frac{w_2(K_{x,y}, MI_l) - w_1(K_{x,y}, MI_l)}{t_k(K_{x,y}, MI_l) - t_z(K_{x,y}, MI_l)} \quad (5.8)$$

### Měření za jízdy

Pro toto měření je situace složitější, protože je nutné sledovat nejen čas jednotlivých měřicích vzorků, ale také jejich mapování do systému čtverců.

Počáteční bod měřicí trasy je označen jako A a koncový bod jako B. Červená křivka představuje trajektorii měřicí trasy a zároveň spojuje měřicí body  $a_p$  získané prvním jejím průjezdem ve směru A→B. Měřicí vzorek je stanoven na 1 sekundu. Díky proměnné rychlosti při jízdě autem a složité synchronizaci počátků MV na hranách čtverců, se do každého čtverce vejde různý počet měřicích bodů. Jednotlivé body jsou od sebe rovněž různě vzdálené po celé délce trajektorie jízdy. Základním problémem při tomto měření je zajistit, aby se v každém čtverci nacházel pokud možno stejný nebo sobě blízký počet měřicích bodů. Pokud toto nebude zajištěno, bude statistický výpočet nad buňkami s větším počtem měřicích bodů vycházet lépe než pro ty s menším počtem. Řešením tohoto problému je opakovaně prováděné měření z jedné a druhé strany s případnou mírnou změnou rychlosti. Tomu na obr. 5.1 odpovídá zelená křivka. Tím se statistiky čtverce vyrovnají vzhledem k nemožnosti dodržet všude naprosto stejnou rychlost při jízdě autem. Průměrná přenosová rychlost se získá dosazením do vztahu 5.5.



Obr. 5.1: Princip měření za jízdy a rozložení měřicích bodů podél trasy

Toto řešení však pro případy, kdy do trasy zasahuje jen velice úzký cíp rohu čtverce, kdy nemusí být tento cíp vůbec pokryt měřicím bodem nebo jen jedním, viz obr. 5.1 vlevo nahoře, kde jde vidět pokrytí čtverce měřicími body při průjezdu jiným směrem a různou rychlostí. V těchto případech je vhodné sledovat, zdali je tento čtverec pokryt signálem ze stejného eNB, jako čtverce sousedící a jaký je v tomto případě jejich SINR. Pro možnost sledovat SINR v časové korelaci s naměřenou propustností, je nutné, aby byly časově základny obou měření synchronizovány. [22][24]

## 5.2 Měření fyzické vrstvy

Testování fyzické vrstvy se zaměřuje na nejnižší vrstvu rozhraní vzduchu. Snaží se zjistit shodu s klíčovými parametry nezbytnými pro úspěšný přenos signálu přes vzduch. Vysílací výkon, kvalita vlnové křivky TX a přesnost frekvence TX jsou klíčem k výkonu mobilní stanice. Na přijímací straně je schopnost mobilu úspěšně dekodovat přijatý signál na nejnižší a nejvyšší úrovni signálu. 3GPP testovací specifikace pro LTE obsahuje velké množství různých testů určených ke zjištění shody se specifikacemi LTE. Mnoho z těchto testů má určitý stupeň překrývání a vzhledem ke stupni plnění se nesmí v digitální doméně mnoho z měření lišit od jednoho

mobilního telefonu k druhému.

### 5.2.1 Měření vysílače UE

- **Síla TX** - Výkon na LTE sítích, stejně jako většina moderních vzduchových rozhraní, jsou do značné míry závislé na přesném řízení výkonu v širokém rozsahu nastavení síly signálu a na rychle se měnící se parametry kanálu. Referenční bod pro měření je anténní konektor TX.
- **Rozsah vektorové chyby** - Hlavní parametr měření kvality TX. EVM detekuje narušení vlnové křivky, která bude nakonec degradovat schopnosti signálu.
- **Frekvenční chyba** - Přesnost frekvence je stěžejní pro úspěšné dekodování na základnové stanici. Snažíme se zabránit rušení v uplinku.
- **Poměr úniku sousedního kanálu** - ACLR je jedním z několika měření spojených s nenarušováním od ostatních uživatelů a systémů. ACLR měří nežádoucí výkon v sousedním kanálu vedle pracovního kanálu.
- **Obsazenost šířky pásma** - Další měřítko kvality signálu. Toto měření potvrzuje, že signál je omezen pouze v požadované šířce pásma a zda ho plně využívá.
- **Únik nosné** - Toto měření monitoruje na výstupu přítomnost nosné frekvence, která je obvykle protlačena. To znamená, že je nějaký nesoulad v IQ modulátoru vysílače telefonu.
- **Časová maska TX** - Toto měření sleduje signál v čase. Ověřuje, že je PA zapnuté či vypnuté ve správném čase bez pomoci cizích signálů. Vzhledem k tomu jsou LTE signály sdíleny ve frekvenci a čase, přičemž přesné časové oblasti jsou stejně důležité jako přesnost ve frekvenční doméně.
- **Vnitřní pásmové emise pro nepřidělené zdroje bloků (RB)** - LTE přiděluje do podskupin uplinkový signál do bloků zdrojů na individuálním uživatelském zařízení (UE). Tento test ověřuje, že UE neprodukuje energii mimo jeho přiřazené RB, ale pouze v rámci šířky pásma vzestupného signálu. [20][21][25]

### 5.2.2 Měření přijímače UE

Na rozdíl od TX, kde je finální výstup prezentován na konektoru antény k hodnocení, signál RX zůstává skryt v DUT (Device Under Test), dokud signál není plně dekodován. I když existuje mnoho komponent v RX řetězci, který jej může snížit, prakticky všechny degradace se projeví až v měření RX Bit Error Rate nebo v blízkosti prahové hodnoty RX.

Testery fyzické vrstvy jsou obecně závislé na schopnosti zkoušených přístrojů hlásit výsledky při testování RX. Sledování kvality RX je důležitou součástí mo-

derního provozu vzduchového rozhraní. Většina výrobců testerů poskytuje podporu pro testování BER (Bit Error Rate).

Následující dva testy se používají k ověření RX výkonu:

- **RX BER** - Je základním testem schopnosti přijímače dekodovat příchozí signál. Obvykle se toto měření provádí na prahu RX při maximálním vstupním výkonu.
- **RSSI** - Je parametr, který se často měří v rámci kalibrace. Vzhledem k tomu, že je počáteční hladina výkonu TX vypočtena na základě změřeného RSSI, je přesnost RSSI při měření DUT klíčem k určení správného množství energie při první komunikaci s eNB.

Typy testovacích BER: V závislosti na modemu IC výrobce se může zobrazit jeden nebo více pojmů SER (Symbol Error Rate), FER (Frame Error Rate), nebo BER (Bit Error Rate) v souvislosti s testovaným přijímačem.

- BER - Obvykle je měřítkem údajů poskytnutých uživateli v jakékoliv formě. Měří se poté, co byly použity všechny metody korekce chyb. V některých systémech může být BER hlášena pomocí extrapolace z výsledků pro opravu chyb na rozdíl od přesného srovnání vstupních a výstupních bitů. V takových systémech je BER statistický odhad na základě počtu pokusů oprav korekčním obvodem chyb.
- FER - Týká se rámců přijatých od eNB, které jsou přijímány s chybou, pokud detekuje chybové kódy (kontrolně/opravné). Systémy jsou obvykle konstruovány pro provoz při určité nenulové úrovni FER, slouží jako prostředek zajišťující, že systém pracuje v režimu buď maximálního rozsahu nebo maximální kapacity. Rámy, které obsahují chyby mohou být často opraveny v základním pásmu chybových korekčních algoritmů.
- SER – Odkazuje na symbol detekovaný v základním pásmu, který může obsahovat jeden nebo více bitů informace v závislosti na modulačním schématu. Typické chyby symbolu jsou hlášeny před použitím techniky korekce chyb a proto poskytuje nejprůměšší pohled do chování přijímače. [20][21][25]

## 5.3 Výkonnostní testování mobilních sítí

Nelze popřít, že spotřebitelé, ať už jednotliví nebo obchodně související, jsou hnací silou masivního rozšíření mobilní spotřeby dat podporované rozšířenými sítěmi a službami HSPA+ a LTE. Veškeré problémy s výkonem na zařízení nebo síťové úrovni (a odpovídající nespokojenost zákazníka) rychle hledají svou cestu do médií. Vzhledem k tomu nabývá na důležitosti zvýšená složitost LTE (s množstvím nových vy-

lepšených funkcí a požadavků) a důkladné testování všech zařízení před uvedením nebo nasazením na trh.

Souborné studie založené na výkonu a interoperabilitě testování UE a síťových zařízení, kde jsou replikovány v reálném prostředí a scénářích, umožňují dodavatelům vytvořit a spustit výrobky, které splňují očekávání koncových uživatelů. Není žádným překvapením, že výkonné testování pro komplexní prostředí LTE musí být mnohostranným procesem. Režim přísného testování musí zvážit interoperabilitu, rychlost přenosu dat, testování propustnosti, dopad signalizace, kvality zvuku, stejně jako anténní a rádiový výkon.

Pět hlavních klíčových indikátorů pro výkonnostní testování:

1. **Interoperabilita** - Každá země má jedinečné frekvenční pásmo dostupnosti LTE. Navíc LTE zařízení musí i nadále spolupracovat se staršími standardy v případě potřeby. LTE zařízení podstupuje testování výkonu, aby bylo zajištěno, že může efektivně fungovat v nesousedících frekvenčních pásmech a v několika sítích a zemích, z důvodu podpory datového roamingu.
2. **Přenosová rychlost a výkon** - Standard LTE-A umožní přenos dat rychlostí až 3 Gb/s na sektor, přináší ekvivalent pevné linky pro koncového uživatele. Dosažení takovéto rychlosti přenosu dat po mobilní síti představuje obrovskou výzvu pro průmysl bezdrátových systémů a bude vyžadovat důkladné testování (před i po zavedení), aby byla zajištěna maximální propustnost sítě a spokojenost koncových uživatelů.
3. **Signalizace** - Počet účastníků a žádostí se zvyšuje. Toto, podle pořadí, generuje obrovské množství dat a signalizací provozu mezi mikrotelefonem a sítí. S tolika uživateli a žádostmi je nezbytné, aby poskytovatelé služeb pochopili potenciální dopad mobilních žádostí na výkon zařízení.
4. **Kvalita zvuku** - LTE slibuje vysokorychlostní mobilní přístup k širokopásmovému připojení, ale uživatelé budou i nadále očekávat hlasové hovory na jejich zařízeních, takže musí být zajištěna kvalita zvuku. Úspěch služby, jako například HD hlas a Voice over LTE (VoLTE), závisí na zařízení a výkonu sítě. Testování výkonu kvality zvuku je důležitou součástí testování LTE.
5. **Vícenásobná anténa a rádiová konfigurace** - S příchodem LTE se mnoho nových vícenásobných vstupně/výstupních anténní konfigurací (MIMO) stalo součástí standardu. A proto se všechny tyto konfigurace musí testovat za různých RF podmínek a parametrů pro zajištění kvality služeb.

Vzhledem k rychlému vývoji norem a zařízení LTE, se trh zaměřuje spíše na testování výkonu specifické shody LTE a testování interoperability. Mnoho operátorů uvádí výkon jako definující prvek pro nasazení jejich sítě. Pokud programy výkonnostního testování budou navrženy tak, aby zvažovali širokou škálu problémů s vý-

konem, pak LTE, s příslibem vynikající úrovně kvality a výkonu, bude mít mnohem větší šanci na úspěšné nasazení. [26]

## 5.4 Hotová řešení pro měření

Pro testování LTE sítě existuje mnoho „hotových“ řešení od řady renomovaných společností, které však své postupy a řešení chrání jako firemní „know-how“. Tato řešení umožňují měřit různé parametry sítě nejen na mobilní stanici, ale i na eNB či mezi jednotlivými entitami sítě.

Jednou ze společností zabývajících se měřením LTE je Rohde&Schwarz. Tato firma poskytuje několik měřících zařízení, díky nimž můžeme měřit LTE síť. Například tester R&S@CMW500 provádí měření vysílače a přijímače LTE. Tento přístroj zastupující uživatelské zařízení (UE), podle specifikace shody definuje postupy měření pro LTE terminály s ohledem na jejich vysílací vlastnosti, charakteristiky příjmu a výkonnostní požadavky. Mnoho dalších zařízení této firmy umožňuje měřit KPI při drive testingu, testování MIMO antén a podobné testy.

Další ze společností umožňující různá měření je Anritsu. Tato firma nabízí různá řešení pro měření jednotlivých částí sítě, jako měření mobilního terminálu (např. přístroj MD843A umožňující měření na eNB FDD/TDD čipové sady UE), měření základnové stanice eNB (přístroj MG3710A, vektorový signální generátor, umožňuje např. testování MIMO antén) a měření výkonu sítě (např. přístroj ML2490A umožňuje radarová měření a dále měří modulace OFDM).

Společnost JDSU nabízí řešení pro měření end-to-end. Toto řešení obsahuje měření základnové stanice (např. měření výkonů kanálů, šířky pásma, frekvenční chyby), drive testing (FTP test, VOIP test, ping a HHTTP test), SART měření (analýza signalizace v reálném čase - sledování hovorů, dekodování protokolů, statická analýza KPI) a analýza sítě a služeb s ohledem na KPI.

Společnost IXIA nabízí řešení IxLoad EPC Testování, které umožňuje testovat bezkonkurenční škálovatelnost, end-to-end spojení v EPC jádře, výkonnost sítě, flexibilitu protokolu Diameter; a LTE/4G testování, které umožňuje ověření QoS, posuzování výkonnosti a bezpečnosti MME a SGW, propustnost a počet účastníků v sektoru, testování řídicí roviny signalizace v eNB a posoudit komplexní scénáře předávání (handoverů).

## 6 ZÁVĚR

Tato diplomová práce je teoreticky zaměřená práce, která se zabývá problematikou systému LTE. První část popisuje základní problematiku jako je architektura sítě, popis nosičů a výkonnostní cíle LTE. Další částí práce je signalizace na rozhraní mezi EPC a LTE a to s popisem jednotlivých rozhraní, u kterých je vysvětleno, jaká data či signalizace se po nich přenáší, jako počáteční připojení UE do sítě, nastavení nosičů atp. Postup každé signalizace je vysvětlen krok za krokem, jak probíhá na síti.

Následující část popisuje diagnostické metody pro měření parametrů mobilních sítí. Jsou zde popsány tři metody, díky kterým můžeme vyhodnocovat a měřit naši síť, ať už v provozu nebo teprve ve fázi plánování. Popsána je metoda drive-testing, dohledový subsystém mobilních stanic a analýza toků. Na tuto část navazuje kapitola klíčových výkonnostních indikátorů pomocí kterých můžeme posoudit kvalitu sítě a případně ji optimalizovat pro lepší a levnější provoz.

Závěrečnou částí práce je diagnostika sítě, kde jsou popsány dvě metody měření sítě a výkonnostní testování sítě. Hlavními body této kapitoly jsou měření rychlosti přenosu pomocí TCP protokolu a měření na fyzické vrstvě. V závěru jsou zmíněné různé významné společnosti, které nabízejí hotová řešení pro měření mobilní sítě.

## LITERATURA

- [1] KREHER, Ralf a Karsten GAENGER. *LTE Signaling, Troubleshooting, and Optimization..* Repr. Chichester, West Sussex, U.K: Wiley, 2010. 291 s. ISBN 04-706-8900-5.
- [2] LESCUYER, Pierre a Thierry LUCIDARME. *Evolved Packet system (EPS): the LTE and SAE evolution of 3G UMTS.* Chichester: John Wiley, 2008. 338 s. ISBN 978-0-470-05976-0.
- [3] *Drive Testing LTE* [online]. [cit. 2013-12-20]. Dostupné z: <[http://www.jdsu.com/ProductLiterature/drivetesting\\_lte\\_wp\\_nsd\\_tm\\_ae.pdf](http://www.jdsu.com/ProductLiterature/drivetesting_lte_wp_nsd_tm_ae.pdf)>.
- [4] *ETSI TS 188 001 - Operations Support Systems Architecture* [online]. [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: <[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/188000\\_188099/188001/01.02.01\\_60/ts\\_188001v010201p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/188000_188099/188001/01.02.01_60/ts_188001v010201p.pdf)>
- [5] *ETSI TS 188 002-3 - Functional Architecture* [online]. [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: <[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/188000\\_188099/18800203/02.00.00\\_60/ts\\_18800203v020000p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/188000_188099/18800203/02.00.00_60/ts_18800203v020000p.pdf)>
- [6] *ETSI TS 188 003 - OSS definition of requirements and priorities for further network management specifications for NGNOSS definition of requirements and priorities for further network management specifications for NGN* [online]. [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: <[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/188000\\_188099/188003/01.01.01\\_60/ts\\_188003v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/188000_188099/188003/01.01.01_60/ts_188003v010101p.pdf)>
- [7] *ETSI TR 188 004 - NGN Management, OSS vision* [online]. [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: <[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/188000\\_188099/188004/01.01.01\\_60/tr\\_188004v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/188000_188099/188004/01.01.01_60/tr_188004v010101p.pdf)>
- [8] *Evolved Packet System* [online]. [cit. 2013-11-20]. Dostupné z: <[https://www.vutbr.cz/elearning/file.php/134000/Prednasky/Kom\\_prostredky\\_mob\\_siti\\_2013-M11.pdf](https://www.vutbr.cz/elearning/file.php/134000/Prednasky/Kom_prostredky_mob_siti_2013-M11.pdf)>
- [9] *Minimization of Drive Tests (MDT)* [online]. [cit. 2013-12-20]. Dostupné z: <<http://blog.3g4g.co.uk/2010/12/minimization-of-drive-tests-mdt-in-3gpp.html>>.
- [10] *NGN Architectures and its Management* [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z URL: <[http://www.networks2008.org/data/upload/file/Tutorial/T11\\_Fodil.pdf](http://www.networks2008.org/data/upload/file/Tutorial/T11_Fodil.pdf)>.

- [11] *SAE a EPC v rámci LTE sítě* [online]. [cit. 2013-10-25]. Dostupné z: <http://www.marigold.cz/item/3gpp-release-8-system-architecture-evolution-sae-a-evolved-packet-core-epc-v-ramci-lte-siti>
- [12] *The LTE Network Architecture* [online]. [cit. 2013-12-28]. Dostupné z: [http://www.cse.unt.edu/~rdantu/FALL\\_2013\\_WIRELESS\\_NETWORKS/LTE\\_Alcatel\\_White\\_Paper.pdf](http://www.cse.unt.edu/~rdantu/FALL_2013_WIRELESS_NETWORKS/LTE_Alcatel_White_Paper.pdf).
- [13] *UMTS Long Term Evolution (LTE) - Technology Introduction* [online]. [cit. 2013-12-03]. Dostupné z: [http://www.3g4g.co.uk/Lte/Tutorials/RandS\\_WP\\_LTE.pdf](http://www.3g4g.co.uk/Lte/Tutorials/RandS_WP_LTE.pdf).
- [14] *Understanding LTE* [online]. [cit. 2013-12-10]. Dostupné z: [http://www.sharetechnote.com/Docs/anritsu\\_understanding\\_lte6.pdf](http://www.sharetechnote.com/Docs/anritsu_understanding_lte6.pdf).
- [15] *3GPP R8 LTE Overview* [online]. [cit. 2013-11-29]. Dostupné z: <http://www.slideshare.net/allabout4g/3gpp-lte-rel-8-overview>.
- [16] *3GPP TS 36.211 - Physical channels and modulation* [online]. [cit. 2013-12-28]. Dostupné z: <http://www.3gpp.org/DynaReport/36211.htm>
- [17] *3GPP TS 36.212 - Multiplexing and channel coding* [online]. [cit. 2013-12-28]. Dostupné z: <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/36212-810.pdf>
- [18] *3GPP TS 36.213 - Physical layer procedures* [online]. [cit. 2013-12-28]. Dostupné z: <http://www.qtc.jp/3GPP/Specs/36213-820.pdf>
- [19] *LTE Key Performance Indicators for LTE RF Design* [online]. [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: <http://www.telecom-cloud.net/wp-content/uploads/2011/02/LTE-Key-Performance-Indicators-RF-Design-Targets.pdf>
- [20] *3GPP ETSI TS 136 214 Physical layer - Measurements* [online]. [cit. 2014-03-20]. Dostupné z: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/136200\\_136299/136214/09.01.00\\_60/ts\\_136214v090100p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136200_136299/136214/09.01.00_60/ts_136214v090100p.pdf)
- [21] *ETSI TS 136 521-1 LTE & User Equipment (UE) conformance specification*; [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/136500\\_136599/13652101/11.02.00\\_60/ts\\_13652101v110200p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136500_136599/13652101/11.02.00_60/ts_13652101v110200p.pdf)
- [22] *Metodický postup měření rychlosti přenosu dat v mobilních sítích dle standardu LTE* [online]. [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: [http://www.ctu.cz/cs/download/aktualni\\_informace/vyhlaseni\\_vyberoveho\\_rizeni\\_08\\_04\\_2013\\_metodicky\\_postup\\_mereni.pdf](http://www.ctu.cz/cs/download/aktualni_informace/vyhlaseni_vyberoveho_rizeni_08_04_2013_metodicky_postup_mereni.pdf)

- [23] *Physical Layer measurements in 3GPP LTE* [online]. [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <<http://projekter.aau.dk/projekter/files/60737111/diplom.pdf>>
- [24] *ETSI TR 137 901 Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); LTE; User Equipment (UE) application layer data throughput performance* [online]. [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/137900\\_137999/137901/11.04.00\\_60/tr\\_137901v110400p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/137900_137999/137901/11.04.00_60/tr_137901v110400p.pdf)>
- [25] *Testing LTE - Where to Begin* [online]. [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: <[http://www.litepoint.com/wp-content/uploads/2014/02/Testing-LTE\\_WhitePaper.pdf](http://www.litepoint.com/wp-content/uploads/2014/02/Testing-LTE_WhitePaper.pdf)>
- [26] *5 Keys to LTE Performance Testing* [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <[http://www.eetimes.com/author.asp?section\\_id=36&doc\\_id=1319251](http://www.eetimes.com/author.asp?section_id=36&doc_id=1319251)>

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

- 3GPP** -The 3rd Generation Partnership Project - Partnerský projekt třetí generace je dohoda o spolupráci.
- AWS** -Advanced Wireless Services-Bezdrátové telekomunikační spektrum pásma používané pro mobilní hlasové a datové služby, videa a zprávy.
- CPICH** -Common Pilot Channel-Příchozí kanál vysílaný eNB s konstantním výkonem a známou bitovou sekvencí.
- eNB** -E-UTRAN Node B (Evolved Node B)-Hardware, který je připojen k mobilní telefonní síti, který komunikuje přímo s mobilními telefony (UE), podobný základnové stanice (BTS) v GSM sítích.
- EPC** -Evolved Packet Core-Vylepšené paketové jádro.
- eTOM** -enhanced Telecom Operations Map-Široce definovaný a uznávaný referenční model reprezentující celou škálu podnikových procesů, klíčových prvků a jejich interakcí odehrávajících se většinou v prostředí poskytování služeb v telekomunikacích a příbuzných odvětvích.
- GUTI** -Globally Unique Temporary UE Identity-Globální identifikátor mobilního zařízení v LTE síti.
- HARQ** -Hybrid automatic repeat request-Kombinace vysoko rychlostního dopředného chybovo-opravovacího kódování a ARQ kontroly chyb.
- HSPA+** -High Speed Packet Access-Bezdrátový širokopásmový standard definovaný v 3GPP Release 7 a 8 specifikace WCDMA.
- HSS** -Home Subscriber Server-Domovský účastnický server je hlavní uživatelská databáze, která slouží entitám IMS sítě. Obsahuje informace o účastníkovi, provádí ověřování a autorizaci účastníků.
- IRP** -Integration Reference Point-Norma 3GPP pro poruchy a správu konfigurace.
- KPI** -Key Performance Indicators-Klíčové ukazatele výkonnosti
- MIMO** -Multiple-input multiple-output-Matematický model pro multi-anténní komunikační systémy.
- MME** -Mobility Management Entity-Klíčový řídicí uzel pro přístupové sítě LTE. Je zodpovědný za klidový (Idle) režim UE, paging a značkování řízení, včetně opakovaných přenosů.

- NAS** -Non-Access Stratum-Funkční vrstva v síti LTE mezi páteřní sítí a uživatelským zařízením.
- NGN** -Next-generation network-Sít přepravuje veškeré informace a služby (hlasové, datové a všechny druhy médií jako jsou videa) a zapouzdřuje je do paketů podobným těm, které se používají na internetu.
- OSS** -Operations Support Systems-Systémy pro podporu provozu, kde se myslí činnost IT zařízení (servery, síťové prvky. . .) nebo aplikací (web, mail, informační systém).
- PDCP** -Packet Data Convergence Protocol-Jedna z vrstev protokolového zásobníku provádějící kompresi a dekompresi IP hlavičky, přenos uživatelských dat a údržbu pořadových čísel pro rádiové nosiče.
- PGW** -PDN Gateway-Poskytuje připojení z UE do externích datových paketových sítí, je to místo vstupu a výstupu pro komunikaci UE.
- RNC** -Radio Network Controller-Řídící prvek v síti UMTS zodpovědný za řízení eNB, které jsou k němu připojené.
- SCTP** -Stream Control Transmission Protocol-Transportní vrstva, kterou navrhla v roce 2000 pracovní skupina SIGTRAN, zabývající se přenosem telefonní signalizace (SS7) po IP.
- SGW** -Serving Gateway-Předává uživatelské datové pakety a zároveň působí jako kotva mobility v uživatelské rovině při inter-eNodeB handoveru a jako kotva mobility mezi LTE a dalšími technologiemi 3GPP.
- SOA** -Service Oriented Architecture-Sada principů a metodologií, která doporučuje skládat složité aplikace a jiné systémy ze skupiny na sobě nezávislých komponent poskytujících služby.
- TCP** -Transmission Control Protocol-Základní protokol transportní vrstvy. Použitím TCP mohou aplikace na počítačích propojených do sítě vytvořit mezi sebou spojení, přes které mohou přenášet data. Protokol garantuje spolehlivé doručování a doručování ve správném pořadí.
- TEID** -Tunnel Endpoint Identifier-32-bitové pole pro multiplex různých spojení ve stejném GTP tunelu.
- UE** User Equipment-Uživatelské zařízení (telefon, tablet)
- VoLTE** -Voice over LTE-Přenos hlasu přes LTE

