

**Univerzita Hradec Králové**  
**Fakulta informatiky a managementu**  
**Katedra informačních technologií**

**Principy LTE a implemetace jejích rádiových subsystémů**

Bakalářská práce

Autor: Jan Beneš  
Studijní obor: Informační management

Vedoucí práce: Mgr. Horálek Josef, Ph.D.

Hradec Králové

Duben 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 26.4.2016

*vlastnoruční podpis*

Jan Beneš

#### Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Mgr. Josefovi Horálkovi, Ph.D. za odborné vedení práce, vstřícný přístup během konzultací a cenné náměty a rady, které mi pomohly při psaní této práce. Dále bych chtěl poděkovat kolegům ze zaměstnání za důležité postřehy a cenné rady. V neposlední řadě bych také chtěl poděkovat spolupracovníkům z dodavatelských společností technologií LTE za poskytnutí potřebných materiálů pro zpracování této práce.

## **Anotace**

Cílem bakalářské práce „Principy LTE a implementace jejích rádiových subsystémů je seznámení se s vysokorychlostní mobilní datovou sítí LTE. Jde o popis principů a vlastností dle mezinárodních standardů. Budou představeny jednotlivé části mobilní datové sítě, z nichž se skládá, včetně proprietárních systémů pro správu, konfiguraci a dohled. Popíšeme si postup implementace prvků rádiové přístupové sítě (tzv. RAN – Radio Access Network), od zadání konfiguračních dat až po otestování plné funkcionality. Přitom se zaměříme na porovnání dvou nejvýznamnějších výrobců a dodavatelů LTE technologie používané v České republice. Bude kladen důraz na rozdíly a podobnosti při integraci nových rádiových elementů do sítě.

## **Klíčová slova**

Mobilní datová síť, základnová stanice, Nokia, Huawei, eNodeB

## **Annotation**

### **Title: LTE principles and implementation of the radio subsystems**

The aim of this bachelor thesis titled "LTE principles and implementation of the radio subsystems" is the introduction of the LTE mobile data network and its basic elements. The principles and characteristics are described according to the international standards. The separate parts of mobile data network are gradually introduced, including all proprietary systems of management, configuration and control. The element implementation of the RAN (Radio Access Network) is described, from the configuration data input up to the full functionality tests. The main emphasis is on the technology comparison of the two major manufacturers, with highlighted similarities and dissimilarities of the new element integration into a network.

## **Keywords**

Mobile data network, Base transceiver station, Nokia, Huawei, evolved Node B

# Obsah

1.	ÚVOD .....	1
1.1.	Důvod výběru tématu seminární práce .....	1
1.2.	Cíl práce.....	1
2.	TEORETICKÁ VÝCHODISKA .....	2
2.1.	Historie mobilních sítí .....	2
2.1.1.	Mobilní sítě první generace .....	2
2.1.2.	Mobilní sítě druhé generace .....	3
2.1.3.	Mobilní sítě třetí generace .....	3
2.1.4.	Mobilní sítě čtvrté generace .....	4
2.2.	Vlastnosti a architektura LTE .....	5
2.2.1.	eNodeB (Evolved Node B) .....	7
2.3.	Dohledový systém pro LTE síť .....	8
2.3.1.	Huawei - iManager U2000 .....	8
2.3.2.	Nokia - OSS NetAct .....	11
2.4.	Přenosové rychlosti v LTE .....	13
2.5.	OFDMA.....	14
3.	PŘEDSTAVENÍ A INTEGRACE eNodeB.....	16
3.1.	Základnové stanice LTE HUAWEI .....	17
3.2.	Integrace eNodeB BTS3900 Huawei.....	19
3.3.	Základnové stanice LTE NOKIA .....	27
3.4.	Integrace eNodeB Nokia .....	31
4.	NÁVRHY A DOPORUČENÍ .....	35
5.	ZÁVĚR .....	37
6.	SEZNAM ZDROJŮ .....	40
6.1.	Tištěné zdroje .....	40

6.2. Elektronické zdroje .....	40
--------------------------------	----

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Vývoj mobilních sítí [1] .....	2
Obrázek 2 – Maximální rychlosti v mobilních sítích [4] .....	5
Obrázek 3 – LTE síť [4] .....	6
Obrázek 4 – iManager U2000 [5] .....	9
Obrázek 5 – iManager U2000 Main Topology [5] .....	10
Obrázek 6 – iManager U2000 Browse Current Alarms [5] .....	11
Obrázek 7 - NetAct [12] .....	11
Obrázek 8 – NetAct View [12] .....	12
Obrázek 9 – NetAct Alarms [12] .....	12
Obrázek 10 – MIMO [3] .....	14
Obrázek 11 - OFDMA zdrojový blok [12] .....	15
Obrázek 12 – Indoor instalace eNodeB (vnitřní rádiové moduly) [16] .....	16
Obrázek 13 – Indoor instalace eNodeB (vzdálený rádiový modul) [7] .....	17
Obrázek 14 – Outdoor instalace eNodeB [13] .....	17
Obrázek 15 – Instalace DBS3900 Huawei [13] .....	18
Obrázek 16 – BTS3900 Huawei [14] .....	18
Obrázek 17 – BTS3900A Huawei [15] .....	18
Obrázek 18 – Ukázka Local scriptu [5] .....	20
Obrázek 19 – LMT [5] .....	20
Obrázek 20 – Remote script [5] .....	21
Obrázek 21 – Linence [5] .....	22
Obrázek 22 – Device Maintenamce – pohled na propojeni radiových modulů [5] .....	23
Obrázek 23 – Device Maintenamce – pohled na eNodeB [5] .....	23
Obrázek 24 – BBU - foto [5] .....	23

Obrázek 25 – BBU - schématické [5] .....	24
Obrázek 24 – IP Sec tunely [5] .....	25
Obrázek 27 – Zobrazení testu rychlosti eNodeB na lokalitě [5] .....	26
Obrázek 28 – Zobrazení testu rychlosti eNodeB v LMT [5] .....	26
Obrázek 29 – Rozložené krytí řídicího modulu FSMF [8] .....	27
Obrázek 30 – Outdoor instalace FRMA [5] .....	27
Obrázek 31 – Systémový modul FSMF s rozšiřujícími moduly [9] .....	29
Obrázek 32 – Rádiový modul FRMA [9] .....	30
Obrázek 33 – Zapojení sdíleného eNodeB Nokia s FRMA [9] .....	30
Obrázek 34 – Rádiový modul FXEB [9] .....	31
Obrázek 35 – Zapojení sdíleného eNodeB Nokia s FXEB [9] .....	31
Obrázek 36 – Nokia BTS Site Manager [5] .....	32
Obrázek 37 – Nokia BTS Commissioning [5] .....	32
Obrázek 38 – Nokia BTS Commissioning – cell resources [5] .....	33
Obrázek 39 – Nokia BTS Commissioning – LTE carriers [5] .....	33
Obrázek 40 – Nokia Maintenance Region [5] .....	34
Obrázek 41 – Vývoj pokrytí LTE signálem – operátor O2 [17] .....	38
Obrázek 42 – Vývoj provozu LTE – operátor O2 [5] .....	39

## Seznam tabulek

Tabulka 1- Přenosové rychlosti [3] .....	3
Tabulka 2- Maximální rychlosti v LTE [10] .....	13
Tabulka 3- Rádiové moduly Nokia [9] .....	28



## Seznam zkratek

**3GPP** (Triád Generativní Partnership Project) - partnerský projekt založený na podporu vývoje mobilních sítí vycházejících ze systémů GSM

**AAA Server** (Access Authorization and Accounting) - autorizační server k ověření účastníka

**BBU** (Base Band Unit) – subrack pro řídicí moduly výrobce Huawei

**BSC** (Base Station Controler) - prvek sítě, kam jsou primárně připojeny základnové stanice v sítích druhé generace

**BTS** (Base Transceiver Station) - základnová stanice v mobilní telekomunikační síti

**CDMA** (Code Division Multiple Access) - kódový multiplex používaný v mobilních sítích třetí generace

**CRF** (Charging Rules Function) - kontrolní funkce účtování účastníků

**CSD** (Circuit Switched Data) - metoda přenosu dat (1G sítí) vyvinutá pro digitální mobilní síť

**ČTÚ** - Český telekomunikační úřad

**EARFCN** (E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number) - centrální frekvence používaná v LTE

**EDGE** (Enhanced Data rates for GSM Evolution) – služba mobilních sítí 2G umožňující datové přenosy

**eNodeB, eNB** (evolved Node B) – základnová stanice v mobilní datové síti LTE

**EPS** – Evolved Packet System

**GPRS** (General Packet Radio Service) – služba 2G sítě umožňující datové přenosy

**GSM** (Global System for Mobile communications) – mobilní sítě druhé generace

**HSPA** (High Speed Packet Access) – vysokorychlostní paketový přístup v 3G sítích

**HSS** (Home Subscriber Server) – Hlavní uživatelská databáze obsahující informace o účastníkovi (účastnické profily)

**IEEE** (Institute of Electrical and Electronics Engineers) – mezinárodní nezisková profesní organizace usilující o vzestup technologie související s elektrotechnikou

**IMT-2000** (International Mobile Telecommunications for the year 2000) – zastřešující iniciativa Mezinárodní telekomunikační unie (ITU) pro 3. generaci mobilních sítí

**LBBP** (LTE BaseBand Processing unit) – jednotka LTE zprostředkávající komunikaci mezi řídicím modulem a rádiovými moduly výrobce Huawei

**LMT** (Local Maintenance Terminálu) – nástroj pro lokální komunikaci s eNodeB

**LTE** (Long Term Evolution) – vysokorychlostní mobilní datová síť čtvrté generace

**MIMO** (Multiple-input multiple-output) – zefektivnění spektrálního využití rádiových systémů

**MME** (Mobility Management Entity) – element spravující signalizaci v LTE síti

**MML** (Man-Machine Language) – programovací jazyk definovaný pro správu telekomunikačních a síťových zařízení pomocí konzolového standardizované rozhraní

**NMC** (Network Management Center) – oddělení pro dohled mobilních sítí

**OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) – širokopásmová modulace využívající frekvenční dělení kanálu

**PCRF** (Policy and Charging Rules Function) – prvek zodpovídající za řízení policy a účtování v LTE síti

**PDN-GW** (Packet Data Network Gateway) – hraniční síťový prvek LTE a okolní IP sítě

**QoS** (Quality of Service) – služba díky které nedochází zahlcením sítě ke snížení kvality síťových služeb

**RAN** (Random Access Network) – přístupová síť mobilní telekomunikační systémů

**RNC** (Radio Network Controller) – prvek sítě, kam jsou primárně připojeny základnové stanice v sítích třetí generace

**RRM** (Radio Resource Management) – funkcionality pro alokaci fyzických zdrojů pro uplink a downlink LTE terminálů

**RRU** (Remote Radio Unit) – vzdálený radiový modul v eNodeB

**S-GW** (Serving Gateway) – prvek zakončující S1 interface a bod prostupu k 2G a 3G sítím

**SMS** (Short Message Service) – krátká textová zpráva

**TDMA** (Time Division Multiple Access) – druh časového multiplexu používaný v mobilních sítích druhé a třetí generace

**UE** (User equipment) – zařízení připojující se do mobilní sítě (telefon, modem)

**UEIU** (Universal Environment Interface Unit) - rozšiřující modul pro přenos externích alarmů

**UMPT** (Universal Main Processing & Transmission Board) – řídicí jednotka eNodeB výrobce Huawei

**UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System) – stupeň vývoje mobilních sítí třetí generace

**UPEU** (Universal Power and Environment interface Unit) - zdrojový modul pro eNodeB Huawei

**WBBP** (WCDMA BaseBand Processing unit) – jednotka UMTS zprostředkávající komunikaci mezi řídicím modulem a rádiovými moduly výrobce Huawei

**WiMAX** (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – standard pro bezdrátovou distribuci dat zaměřený na venkovní sítě

**WMPT** (WCDMA Main Processing & Transmission Board) - řídicí a přenosová jednotka pro UMTS

**XML** (Extensible Markup Language) – Programovací jazyk určený především pro výměnu dat mezi aplikacemi a pro publikování dokumentů, u kterých popisuje strukturu z hlediska věcného obsahu jednotlivých částí, nezabývá se vzhledem

# 1. ÚVOD

## 1.1. *Důvod výběru tématu seminární práce*

V běžném životě se prakticky denně setkáváme s různými výdobytky dnešní doby. Většina těchto věcí či služeb nám pomáhá a zlehčuje život. Člověk je tvor velmi komunikativní a rád sdílí své prožitky s okolím. Kdysi dávno používal pro přenos zprávy poštovní holuby, či telegraf. V dnešní době pro tuto činnost nejčastěji používá telefon, mobilní telefon či smartphone. S příchodem chytrých telefonů se zvedla poptávka po rychlosti a dostupnosti mobilních datových připojení. Aby tuto poptávku uspokojily i operátoři mobilních sítí, začaly testovat a implementovat technologie 4 generace – LTE (Long Term Evolution).

## 1.2. *Cíl práce*

Hlavním úkolem této bakalářské práce je popis vysokorychlostní mobilní datové sítě LTE. Celé seznámení začne popisem vývoje mobilních sítí od první generace sítí až po LTE. Poté bude představena celá architektura LTE sítě a jednotlivých prvků EPC včetně jejich funkcionality. Posledním hardwarovým prvkem, který bude popsán, bude eNodeB a jeho jednotlivé části. Dále budou představeny dohledové systémy a OFDMA modulace. V druhé části práce budou ukázky integrace eNodeB od dvou různých dodavatelů technologie, kde bude názorně vidět rozdíl mezi technologiemi i postupy, které jednotlivý dodavatelé doporučují.

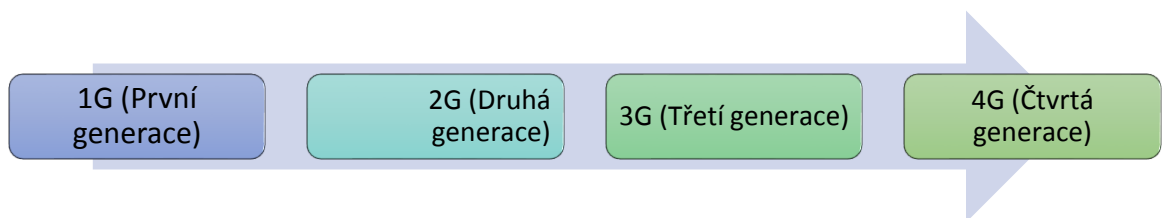
Věřím, že tato práce bude přínosem pro všechny, kteří si ji přečtou.



## 2. TEORETICKÁ VÝCHODISKA

### 2.1. Historie mobilních sítí

Již více než 20 let se vyvíjí mobilní sítě. První systémy jsou označovány jako sítě první generace (1G) a byly to sítě analogové. Ty následně nahradily mobilní sítě druhé generace (2G), které již využívaly digitální technologie a podporovaly vícenásobné připojení. Následovaly sítě třetí generace (3G) s vyšší přenosovou rychlostí. V současnosti mobilní operátoři implementují sítě čtvrté generace (4G).



Obrázek 1 - Vývoj mobilních sítí [1]

#### 2.1.1. Mobilní sítě první generace

Mobilní sítě první generace používaly frekvenční modulaci (FM). Byly to soliterní sítě bez možnosti mezinárodního roamingu, datových přenosů a bez jakékoliv bezpečnosti. Nejznámější sítě této generace jsou tyto.

- **APMS** – Advanced Mobile Phone System, který byl koncem roku 1978 spuštěn do testovacího provozu v okolí Chicaga. Roku 1983 byla spuštěna první mobilní síť do komerčního provozu (USA) [3].
- **TACS** – Total Access Communications System, jenž byl evropskou verzí AMPS a který byl převážně používán ve Velké Británii a pracovala na frekvenci 900 MHz [3].
- **NMT 450** – Nordic Mobile Telephone, používající frekvenci 450 MHz byla spuštěna v Norsku, Švédsku, Dánsku a Finsku. V tehdejší Československu ji zavedla společnost Eurotel Praha (rok 1991).

### 2.1.2. Mobilní síť druhé generace

V mobilních sítích druhé generace již mluvíme o GSM (Global System for Mobile communications). Jde o nejrozšířenější technologii 2G. Z počátku šlo o systém navržený pouze pro Evropu používající frekvenční pásma 900 MHz a 1800 MHz. Mobilní síť 2G jsou již digitální, což zvýšilo bezpečnost a zároveň přináší další služby, jako např. krátké textové zprávy – SMS (Short Message Service) či CSD (Circuit Switched Data) což jsou datové přenosy.

Postupně se 2G síť vyvíjely a rozšiřovaly o další služby. Šlo především o datové přenosy GPRS (General Packet Radio Systém) v sítích označovaných **2,5G**. Další rozvoj datových přenosů v mobilních sítích stále ještě druhé generace přišel v podobě EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution). Tím startuje éra multimediálních služeb, jelikož teoretická rychlost EDGE je 473,6 kbit/s. Mobilní síť rozšířené o EDGE jsou označovány jako síť **2,75G**.

Síť	Služba	Teoretická přenosová rychlost	Typická přenosová rychlost
2G GSM	CS	9.6 kbit/s nebo 14.4 kbit/s	9.6 kbit/s nebo 14.4 kbit/s
2,5G GPRS	PS	171.2kbit/s	4 až 50 kbit/s
2,75G EDGE	PS	473.6kbit/s	120kbit/s

Tabulka 1- Přenosové rychlosti [3]

### 2.1.3. Mobilní síť třetí generace

Síť třetí generace posunuly mobilní technologii na úroveň, kde je již možné provozovat služby, které svou datovou náročností převyšovaly možnosti sítí 2G, například video hovory. Systém UMTS (Universal Mobile Telecommunications Systém) je tvořen dle standardu 3GPP (The 3rd Generation Partnership Project) a splňuje požadavky ITU IMT-2000 (International Mobile Telecommunications – 2000). UMTS kombinuje použití

TDMA na obvyklých GSM pásmech s W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access) pro sdílení přístupového kanálu [3].

LTE (Long Term Evolution) patří mezi sítě třetí generace, jelikož nesplňuje všechny požadavky IMT Advanced (International Mobile Telecommunication Advanced) a je označováno jako síť **3,9G** [3].

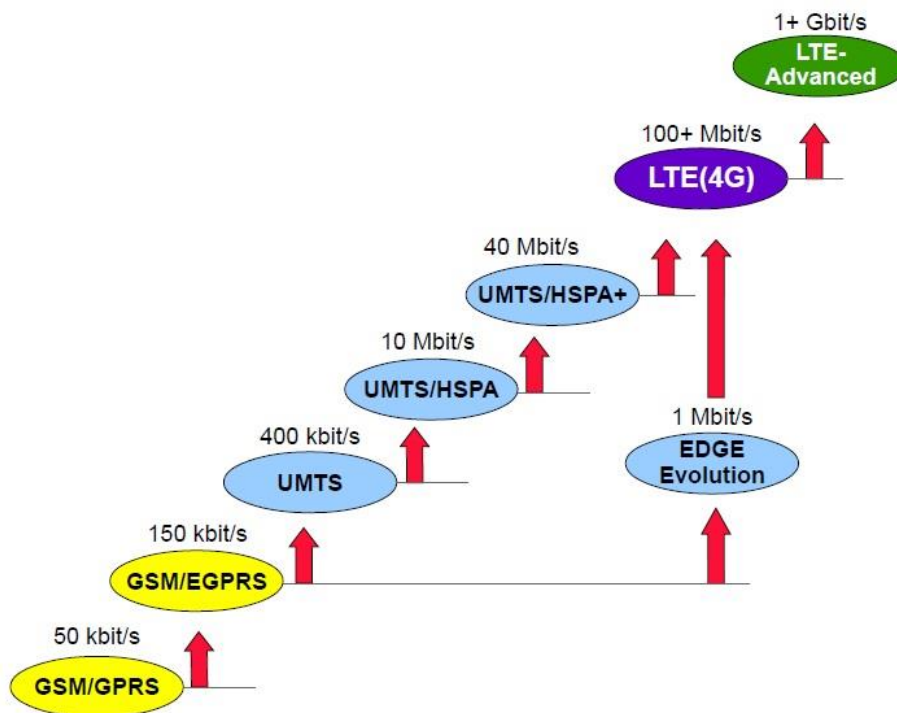
#### **2.1.4. Mobilní síť čtvrté generace**

Mobilní síť čtvrté generace již musí splňovat požadavky dle ITU (International Telecommunication Union), který je součástí IMT Advanced. Tyto požadavky umožní mobilnímu operátorovi reagovat na měnící se požadavky uživatelů 4G sítí. Do 4G sítí v současnosti patří LTE Advanced, WiMAX 802,16m a UMB (Ultra Mobile Broadband) – který je nejméně podporovaný. Většina výrobců telekomunikačních technologií podporuje LTE oproti UMB [3].

IMT Advanced určující funkce a požadavky [3]:

- Celosvětově udržitelná shodnost funkcionalit, při zachování flexibility podpory širokého spektra služeb a aplikací, způsobem co nejefektivnějšího vynakládání finančních prostředků.
- Kompatibilita služeb v rámci IMT s pevnými sítěmi
- Schopnost spolupracovat (interworking) s ostatními rádiovými přístupovými systémy.
- Vysoká kvalita mobilních služeb.
- Uživatelská zařízení (mobilní telefony) použitelná po celém světě.
- Uživatelsky přívětivé tzv. User-friendly aplikace, služby a zařízení.
- Celosvětové roamingové schopnosti.
- Zvýšení maximálních datových toků pro podporu pokročilých služeb a aplikací (100 Mbit/s s vysokou mobilitou terminálů a 1 Gb/s s nízkou mobilitou terminálů – stacionární připojení).





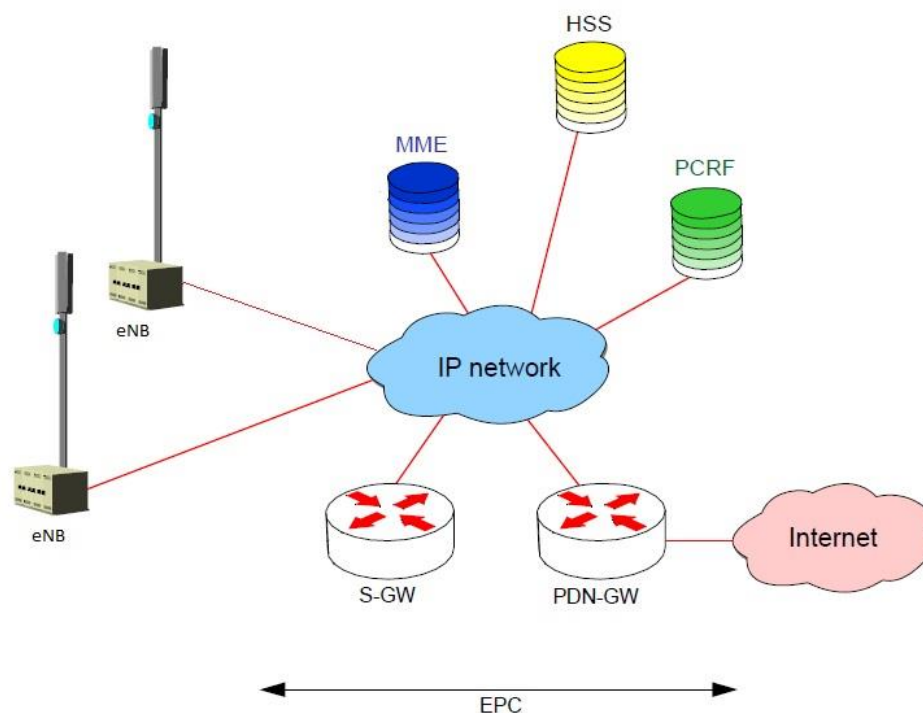
Obrázek 2 – Maximální rychlosti v mobilních sítích [4]

## 2.2. Vlastnosti a architektura LTE

Sítě LTE jsou složeny z rádiové přístupové sítě LTE a nového jádra EPC (Evolved Packet Core). LTE pracuje na ortogonálním frekvenčním multiplexu OFDM/OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pro downlink a OFDM/SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) pro uplink. Tím je vyhověno požadavkům 3GPP standardu. Přístupová síť LTE je složena z vysílačů, které se nazývají eNodeB. Tyto základnové stanice komunikují s CORE částí i mezi sebou pomocí IP sítě. Již zde neexistují BSC (Base Station Controller) jako v předchozích generacích mobilních sítí [2].

EPC se skládá z

- MME – Mobility Management Entity
- HSS – Home Subscriber Server
- S-GW – Serving Gateway
- PDN-GW – Packet Data Network Gateway
- PCRF – Policy and Charging Rules Function



Obrázek 3 – LTE síť [4]

**MME** je subjekt, který zakončuje Control Plane v rámci EPC a je zodpovědný za signalizaci, která zahrnuje EMM (Evolved Mobility Management) a ESM (Evolved Session Management). Obsahuje postupy, jako jsou Tracking Area Updates a EPS Bearer Management. MME také zodpovídá za bezpečnost NAS. Dále vybírá S-GW a PDN-GW po obdržení žádosti od UE (User equipment). Tento výběr je založen na lokaci UE a aktuálního zatížení v LTE síti. Další funkcionalita tohoto prvku je zahájení paging procedury. Při ověřování nově připojujícího se terminálu spolupracuje s HSS za účelem informací k ověření účastníka v AAA serveru (Access Authorization and Accounting) [3].

**S-GW** zakončuje S1-U Interface (User Interface) z E-UTRAN. Je to bod prostupu ke starším technologiím GPRS a UMTS. Další funkcí S-GW je downlink packet buffering. Když přijde datový provoz na UE, je třeba ukládat data po dobu pagingu a přepnutí UE do LTE aktivního stavu. S-GW směřuje data ke správnému eNodeB při downlinku a obráceně ke správné PDN-GW při uplinku [3].

**PDN-GW** je hraniční síťový prvek s PDN (Packet Data Network). Mezi funkce tohoto elementu patří packet filtering, což zahrnuje hloubkovou inspekci paketů

z IP diagramů přicházejících z PDN. PDN-GW umožňuje zákonný odposlech a sledování provozu procházející přes něj. Další neméně důležitá funkce je Transport Level Packet Marking, která umožňuje označování paketů UL (Uplink) a DL (Downlink) štítkem DSCP (Differentiated Services Code Point) na základě QCI (QoS Class Identifier) přiřazeného EPS beareru. Pro mobilní operátory má stěžejní funkci účtování PRCF (Policy Rules and Charging Function), PDN-GW sleduje typ a objem přenesených dat [3].

**PCRF** zodpovídá za funkcionalitu řízení policy v LTE síti pomocí PDF (Policy Decision Function) a kontrolu účtování pomocí CRF (Charging Rules Function). Jako takový, že poskytuje kontrolu nad službou LTE sítě pomocí QoS parametrů. PCRF získává tyto informace na Gx rozhraní kde používá Diameter protocol [3].

### **2.2.1. eNodeB (Evolved Node B)**

Jde o nový přístupový rádiový bod pro LTE síť – základnová stanice, která je specifikována pomocí 3GPP. V České Republice jsou tyto eNodeB dodávány od dvou největších dodavatelů - společností Huawei a Nokia. Produkty těchto dodavatelů využívají všichni tři čeští mobilní operátoři.

Tyto eNodeB jsou zodpovědné za následující:

- RRM (Radio Resource Management) – alokaci fyzických zdrojů pro uplink a downlink LTE terminálu a kontrolu přístupu a mobility [3].
- Data Compression – komprese dat se provádí jak v eNB, tak i v terminálu, který s ním komunikuje, s cílem maximalizovat množství uživatelských dat, které lze přenést na přidělených zdrojích [3].
- Data Protection – ochrana dat se provádí šifrováním dat mezi eNB a terminálem [3].
- Routing – zahrnuje směrování signalizace (Control Plane) do MME a uživatelských dat (User Plane) do S-GW [3].

- Klasifikace paketů a pravidla QoS - jedná se o „označení“ uplinkových paketů na základě předepsaných informací či pravidel poskytovatele. QoS (Quality of Service) – vyhrazení přenosové kapacity a garantování kvality, aby nedocházelo ke zpoždění či ztrátovosti, až na okraj LTE sítě [3].

### **2.3. Dohledový systém pro LTE síť**

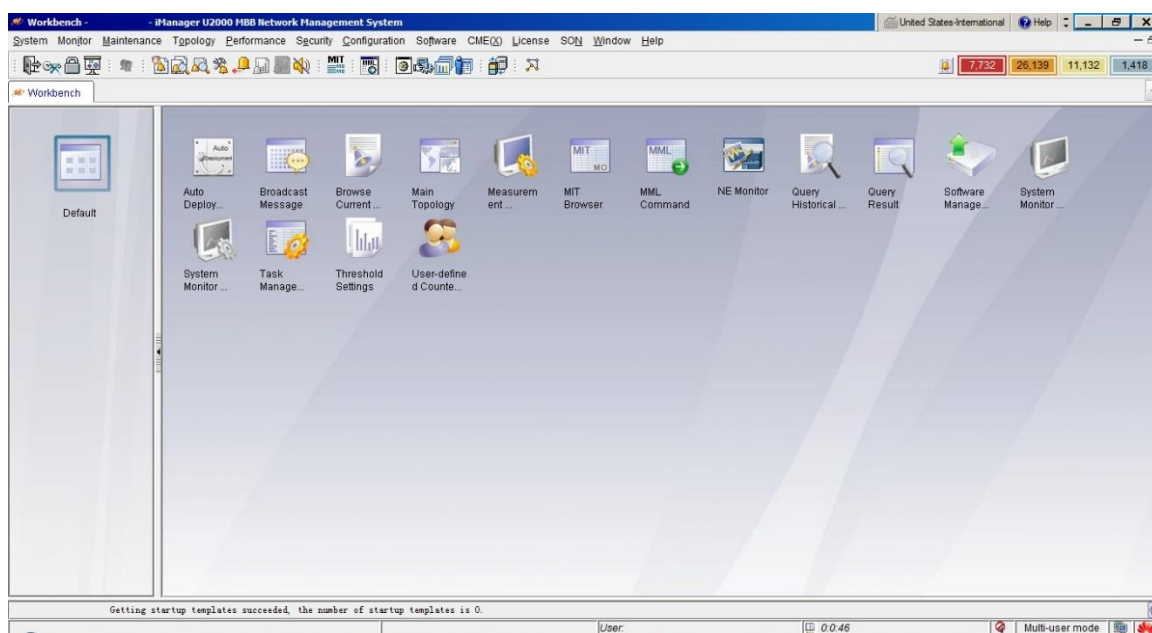
Pro dohled nad celou sítí (E-UTRAN a EPC) jsou používány různé systémy. Nicméně dodavatelé technologie preferují a doporučují vlastní proprietární řešení. Společnost Nokia dodává dohledový systém **NetAct** a společnost Huawei **iManager U2000**. Pomocí těchto systémů je možné spravovat celou přístupovou síť a EPC, tj. integrovat nové elementy (eNB, SGW, IPClock, atd.), modifikovat již zaintegrované (měnit rádiové i IP parametry, sousedství eNB pro korektní handover). V těchto systémech jsou implementovány SW managery pro SW upgrady a rollbacky. Další neméně důležitou součástí jsou systémy pro alarmová hlášení, které využívají specialisté NMC (Network Management Center) a techničtí specialisté pro provoz sítě.

#### **2.3.1. Huawei - iManager U2000**

Po nesnadném startu společnosti Huawei na českém telekomunikačním trhu, především proto, že ji předcházely zvěsti o nespolehlivosti či plagiátorství čínských produktů, se její produkty ukázaly jako spolehlivé a funkční. Dnes působí jako jeden z předních dodavatelů telekomunikačních řešení. Právě iManager U2000 je toho důkazem. Jeho předchůdce iManager M2000 mohl spravovat pouze jeden druh technologie 3G či LTE. Nyní již tato bariéra neexistuje a U2000 spojuje tyto technologie do jednoho dohledového systému. Systém U2000 je velice komplexní platformou, která sjednotila nástroje pro práci a veškerou správu mobilních telekomunikačních sítí.

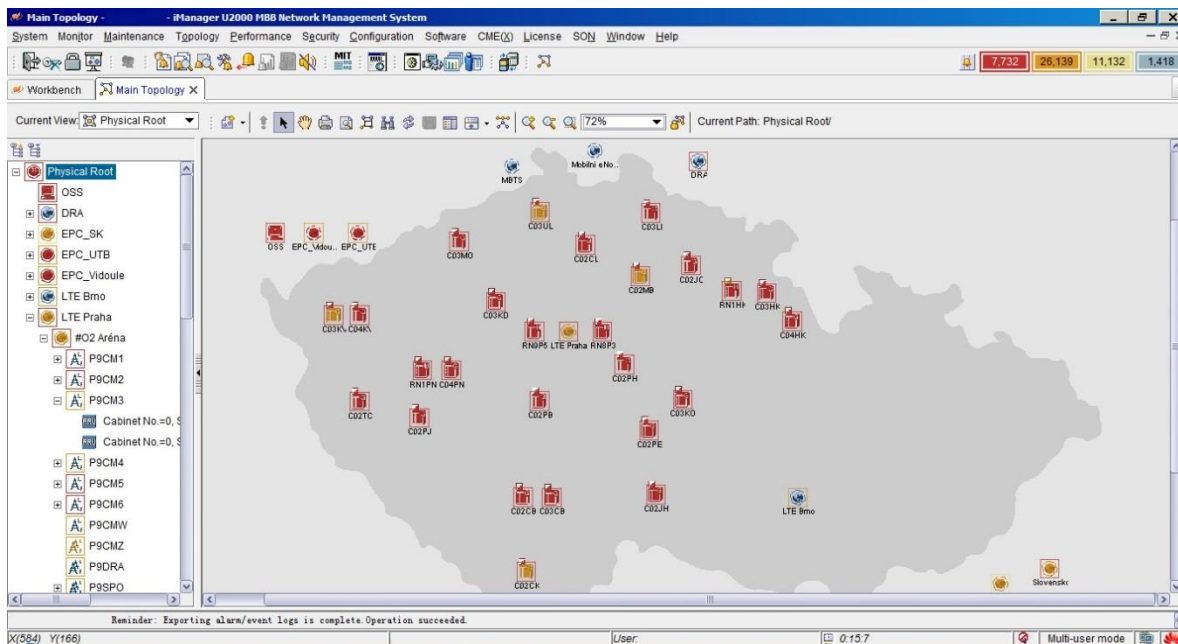
Především jde o:

- Monitorování sítě
- Údržbu sítě
- Nastavování a sledování výkonu
- Bezpečnost
- SW manager
- Konfigurace sítě
- Správa licencí sítě



Obrázek 4 – iManager U2000 [5]

Část dohledového systému Main Topology přehledně zobrazuje celou síť. V levé části je strom všech elementů, které jsou v dohledu zaintegrované. Z tohoto pohledu je možné rovnou přejít do Maintenance Clienta, MML Commandu či zobrazit aktuální alarmy daného elementu, popřípadě jejich historii.

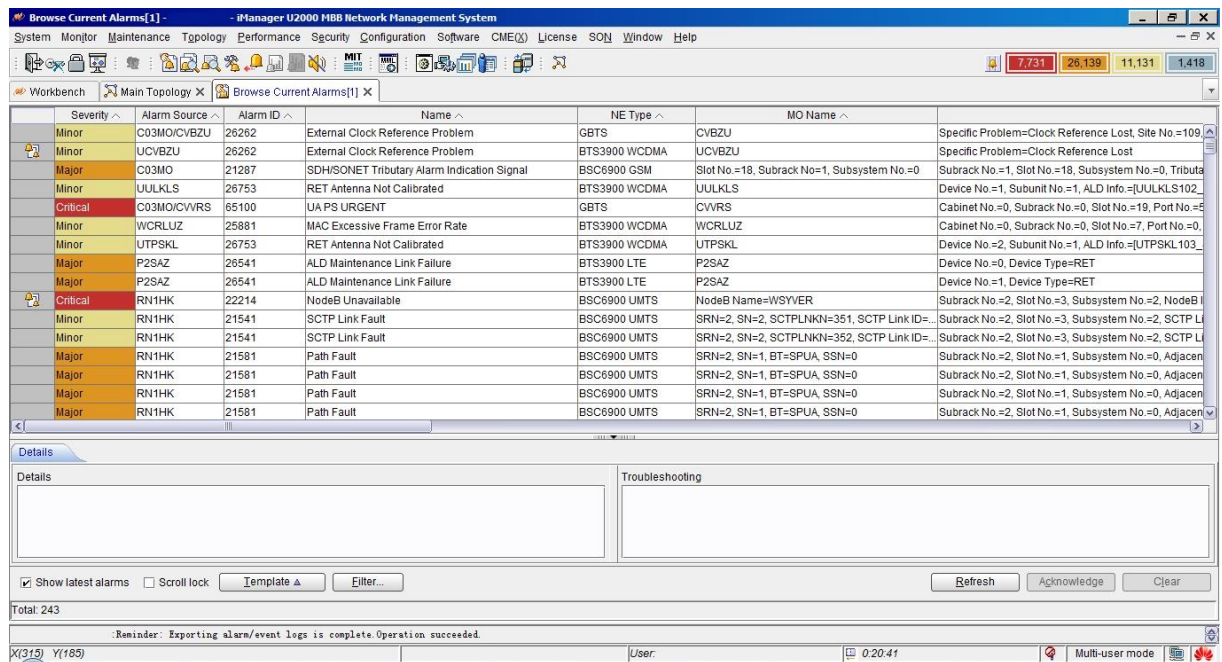


Obrázek 5 – iManager U2000 Main Topology [5]

Pokud jde o alarmy, tak dohledový systém U2000 disponuje alarm managerem, který má označení Browse Current Alarms. Alarmy jsou možné filtrovat dle elementů, severity alarmu (Critical – červený, Major – oranžový a Minor – žlutý), typu alarmu, jména alarmu, data vzniku alarmu a stavu.

Stavy alarmu rozlišuje tento systém následovně:

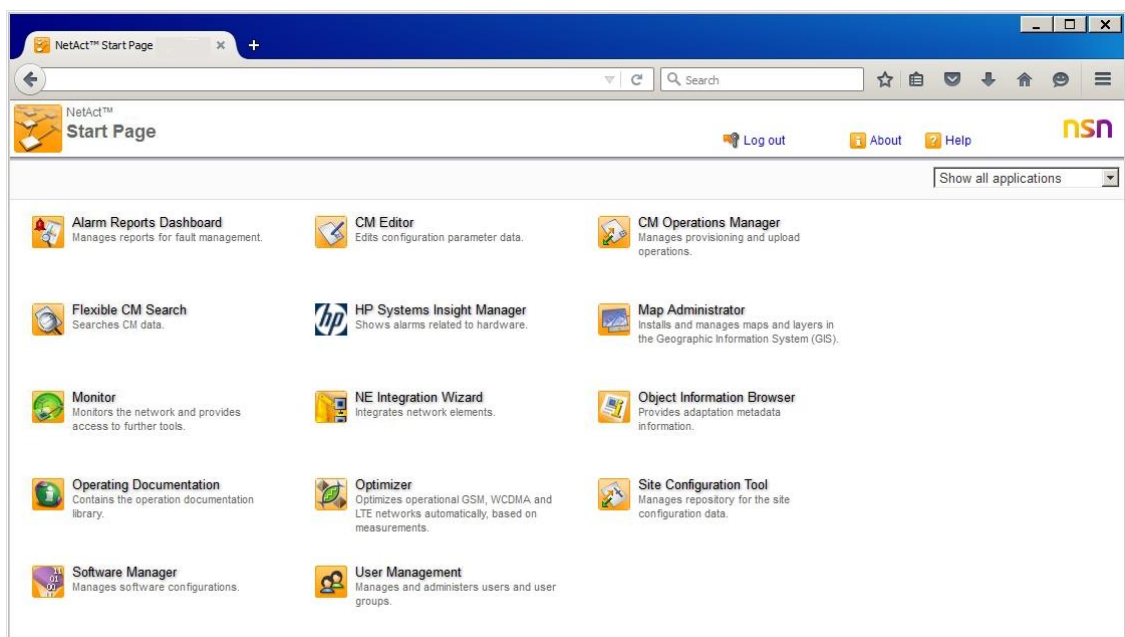
- Aktivní a nepotvrzený alarm
- Již neaktivní a nepotvrzený alarm
- Aktivní a potvrzený alarm
- Již neaktivní a potvrzený



Obrázek 6 – iManager U2000 Browse Current Alarms [5]

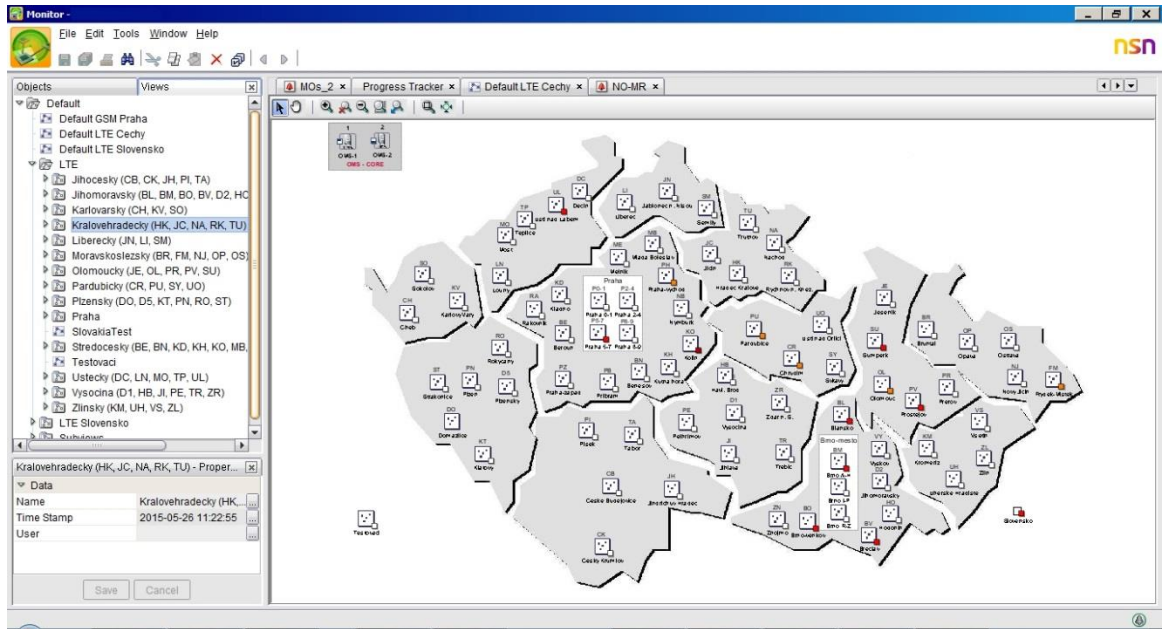
### 2.3.2. Nokia - OSS NetAct

Dohledový systém společnosti Nokia je stejně přehledný jako již zmíněný iManager U2000 od Huawei. Společnost Nokia používá systém OSS NetAct již od sítí druhé generace. Postupně prošel velkým vývojem.



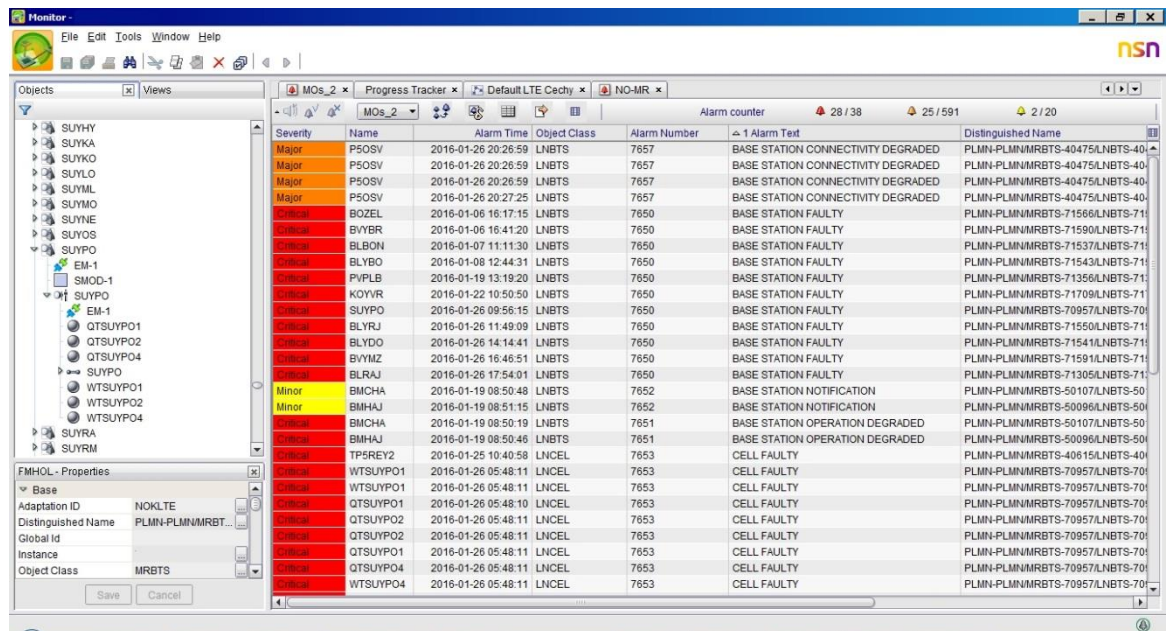
Obrázek 7 - NetAct [12]

Tím, že je celý systém virtualizovaný, tak i v případě HW problému je celý systém funkční. NetAct obsahuje mnoho velmi užitečných nástrojů. Jako pár nejdůležitějších bych zmínil Monitor, CM Operations Manager, CM Editor, Site configuration Tool, Software Manager a User Management.



Obrázek 8 – NetAct View [12]

Monitor je nástroj, který slouží jako globální nástroj pro dohled. Zobrazuje celou topologii, všechny elementy v mobilní síti, tzv. view – můžete jej vidět na předchozím obrázku.



Obrázek 9 – NetAct Alarms [12]



Další část Monitoru je alarmová část. Jak je vidět, tak Nokia vytvořila skutečně univerzální nástroj pro specialisty provozu sítě, tak i pro specialisty NMC (Network Management Center).

CM Operations Manager je nástroj pro konfiguraci sítě pomocí plánů. Plán je soubor změn v síti a je tvořen například pomocí CM Editoru. Při aktivaci plánu vytváří CM Operation Manager obraz sítě před změnou pro případný rollback (návrat do původního stavu). Nejčastěji slouží k optimalizaci mobilní sítě a sousedování nových eNB či jiných BTS (Base Transceiver Station). CM Editor také slouží pro modifikaci parametrů, ale pouze jeden parametr po druhém.

Site Configuration Tool je nástroj pro správu záloh konfigurací elementů zaintegrovaných v NetActu.

Veškeré SW změny se provádí pomocí Software Manageru. Jde o nástroj spravující SW verze v elementech. Základnové stanice mají vždy dvě verze SW. Jednu aktivní softwarovou verzi, s kterou aktuálně daný eNB běží a druhou pasivní, předchozí funkční SW verzi.

User Management je nástrojem systémových administrátorů.

## 2.4. Přenosové rychlosti v LTE

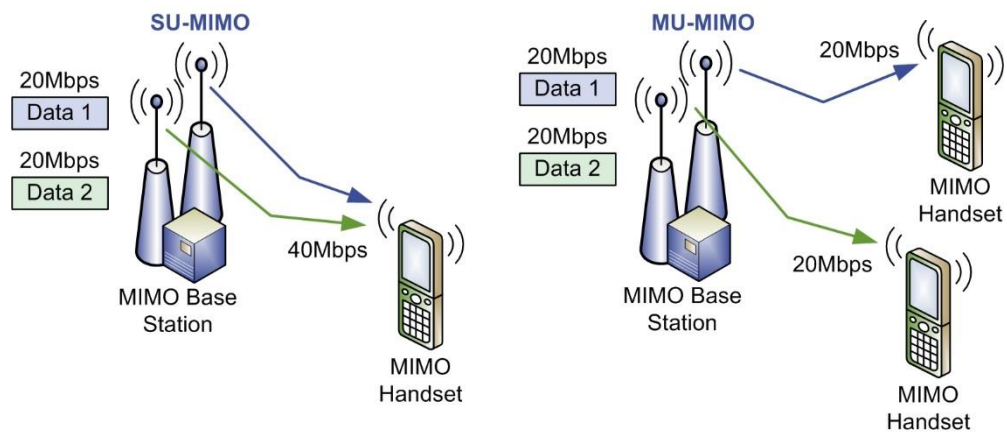
Přenosové rychlosti se ve skutečném světě liší od hodnot v tabulce 2. Ta obsahuje maximální rychlosti naměřené v laboratoři, tj. za ideálních podmínek. Měřeno pro pásmo se šířkou 20 MHz [10].

Anténní konfigurace:	2×2 MIMO		4×4 MIMO	
Směr přenosu / modulace:	Download/QAM16	Upload/QAM16	Download/QAM64	Upload/QAM64
Přenosová rychlost [Mbit/s]:	172,8	57,6	326,4	86,4

Tabulka 2- Maximální rychlosti v LTE [10]

MIMO (Multiple Input Multiple Output) souvisí s použitím více antén na vysílací části (Multiple Input) a na přijímací části (Multiple Output). Terminologie a metody používané v MIMO se mohou lišit od systému k systému, nicméně většinou spadají do jedné ze dvou kategorií [3]:

- SU-MIMO (Single User - Multiple Input Multiple Output) - ten využívá MIMO technologii pro zlepšení výkonnosti směrem k jednomu uživateli [3].
- MU-MIMO (Multi User - Multiple Input Multiple Output) - umožňuje více uživatelům být obslouženo za pomoci techniky prostorového multiplexování [3].



Obrázek 10 – MIMO [3]

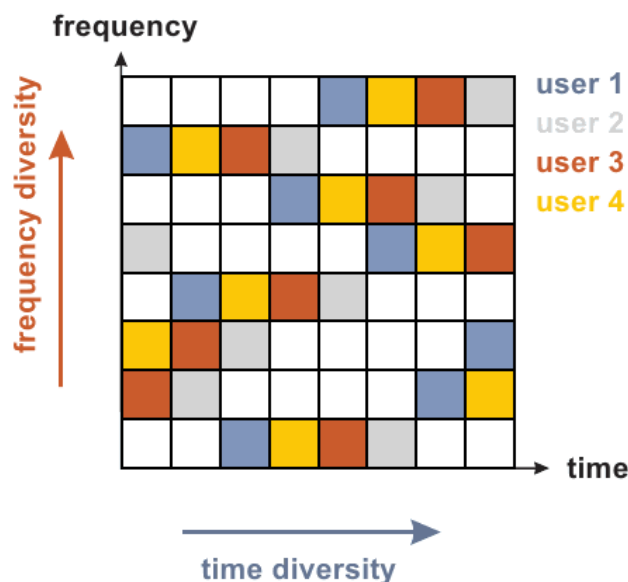
## 2.5. OFDMA

OFDMA je víceuživatelská verze populárního modulačního schématu OFDM. V OFDMA je vícenásobný přístup dosažen přiřazením podskupin pomocných nosných frekvencí pro jednotlivé terminály (uživatele). To umožňuje současný přenos nízkou rychlostí přenosu dat z několika terminálů [11]. Tyto pomocné frekvence mají mezi sebou rozestup 15 kHz a nejsou závislé na celkové šířce použitého pásma. Například 20 MHz pásmo obsahuje 1200 těchto pomocných nosných frekvencí.

### Propagované výhody OFDMA:

- Flexibilita nasazení přes různá kmitočtová pásma s malou potřebnou modifikace rádiového rozhraní [11].
- Zprůměrování rušení od sousedních buněk, použitím různých základních nosných permutací mezi uživateli v různých buňkách [11].
- Rušení v buňce jsou zprůměrovány pomocí alokace s cyklickými permutacemi [11].
- Dovolí pokrytí sítě jednou frekvencí, tam kde existuje problém pokrytí a poskytuje vynikající pokrytí [11].
- Nabídne frekvenční diverzitu šířením nosičů z celého použitého spektra [11].

Modulace OFDMA přiděluje v průběhu připojení terminálů různé pomocné nosné frekvence. Zdrojový blok (tzv. Resource block) používá 12 pomocných nosných frekvencí a 14 symbolů [10].



Obrázek 11 - OFDMA zdrojový blok [12]

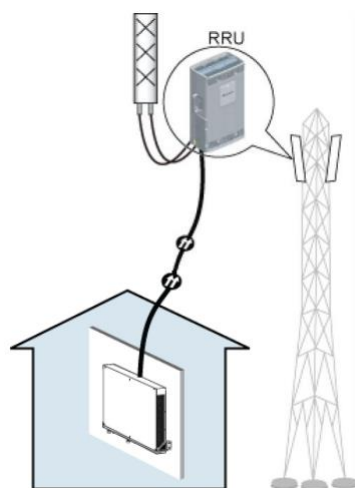
### 3. PŘEDSTAVENÍ A INTEGRACE eNodeB

Portfolio nabízených základnových stanic je v dnešní době široké a to jak z pohledu výběru dodavatelů (výrobců technologie), tak i z pohledu nabídky jednotlivých typů vlastních základnových stanic. Nejběžnější dělení provedení BTS (pro LTE eNodeB) je dle typu montáže do vnitřních prostor – indoor instalace a do venkovních prostor – outdoor instalace. Rozdíl těchto instalací je jak v hardwaru, tak i v provedení instalace. V případě indoor instalace je rack s napájením a řídicím modulem uvnitř budovy či instalačního kontejneru. Rádiové moduly mohou být též v tomto indoor racku – v tom případě mluvíme o vnitřních rádiových modulech, nebo venku co nejbližší anténám, pak se jedná o vzdálené rádiové moduly (v outdoorovém provedení). Takové moduly jsou odolné proti vlhkosti, větru a širokému spektru teplot. Oproti tomu při outdoor instalaci jsou všechny části základnové stanice v jednom boxu, který je mimo budovu a ten je celý odolný všem venkovním vlivům.

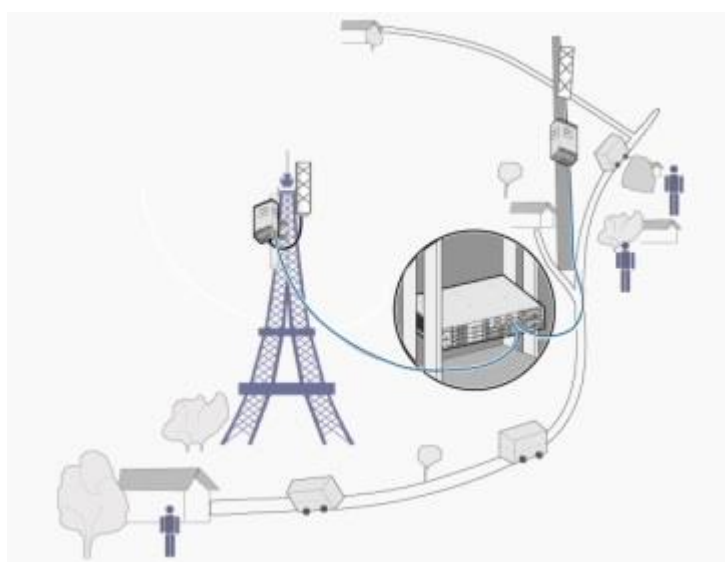
V poslední době do portfolia většiny výrobců základnových stanic přibyl další typ základnové stanice – tzv. mikrocelly či femtocelly. Jde o základnovou stanici, která pokrývá signálem jen velmi malou oblast a používá se nejčastěji v obchodních centrech, či velkých administrativních budovách.



Obrázek 12 – Indoor instalace eNodeB (vnitřní rádiové moduly) [16]



Obrázek 13 – Indoor instalace eNodeB (vzdálený rádiový modul) [7]

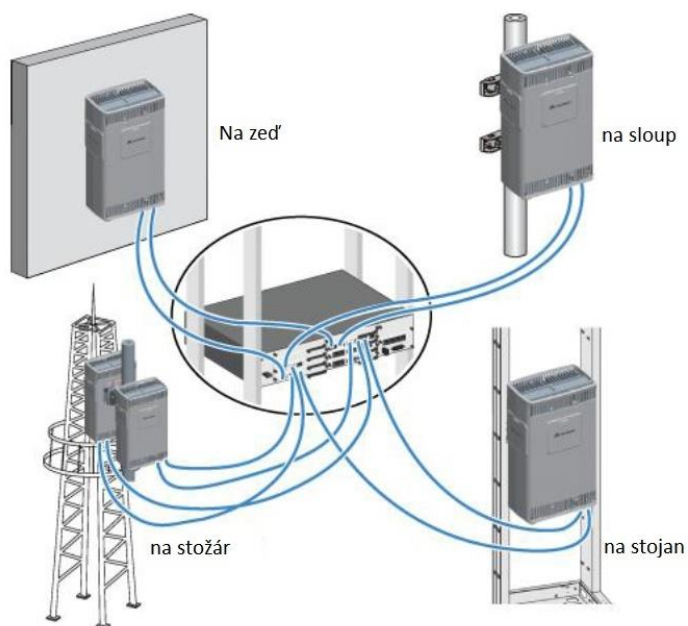


Obrázek 14 – Outdoor instalace eNodeB [13]

### 3.1. **Základnové stanice LTE HUAWEI**

Společnost Huawei přináší do mobilních sítí tři typy základnových stanic. Jak bylo již zmíněno, tak jde o indoor provedení eNodeB – BTS3900 a outdoor provedení eNodeB s označením BTS3900A. Jako třetí variantu základnové stanice jde o kombinaci předchozích dvou, s označením DBS3900. Tento typ eNodeB je specifický i tím, že jde použít i v kombinaci se zařízením jiného dodavatele. Centrální jednotka BBU se instaluje do 19 palcového rozvaděče a připojí se k RRU (Remote Radio Unit – vzdálený rádiový modul). Tato varianta eNodeB je velice

oblíbená u mobilních operátorů, jelikož jim snižuje náklady na instalaci. Jednoduše rozšíří již stávající technologii (2G, 3G) bez nutnosti instalace dalšího racku.



Obrázek 15 – Instalace DBS3900 Huawei [13]



Obrázek 16 – BTS3900 Huawei [14]



Obrázek 17 – BTS3900A Huawei [15]

### **3.2. *Integrace eNodeB BTS3900 Huawei***

Celý proces integrace a instalace nové základnové stanice (eNodeB) začíná v oddělení výstavby sítě. Ta zadává žádost o vykrytí LTE signálem v určité lokalitě a zároveň řeší umístění technologie v dané oblasti. V dnešní době jde spíše o rozšíření stávající lokality 2G či 3G sítě o LTE. V každém případě je nutné vyjasnit a dohodnout nájemní vztahy a často též posílení napájení stávající technologie.

Poté se požadavek na výstavbu eNodeB předává paralelně do dvou oddělení plánování. Jedno z nich je oddělení IP plánování sítě, které vyjasní způsob připojení nového eNodeB do IP sítě. Každá LTE lokalita navazuje několik spojení. Pro monitoring a management jde o O&M link (Operation and Maintenance Link) a spojení do EPC pomocí dvou IP Sec tunelů. Další komunikace eNodeB je s certifikačním serverem.

Další oddělení plánování je rádiové plánování. Zde mají na starost vydat veškeré rádiové parametry, azimuty a výkony pro každou anténu, kterou daný operátor má. Nesmí dojít k žádnému rušení za použití omezeného počtu kombinací radiových parametrů.

Následuje zpracování dat do formy skriptu v podání integrátora – provozní oddělení. Skript se skládá ze dvou částí. První z nich je skript, který obdrží montážní firma (Local script - viz. obrázek 18), která základnovou stanicí (eNodeB) zprovozní. Skript obsahuje data o cabinetu, v kterém se technologie nachází, řídicí jednotce UMPT, připojení O&M linku (pro funkcionality managementu lokality), IP routingu a základních IP adresách. Druhá část skriptu je pro samotného integrátora a obsahuje data k certifikační autoritě, IP Sec tunelech (každé eNodeB má definované dva), definici všech SGW a MME a v neposlední řadě kompletní rádiové parametry (Remote script).

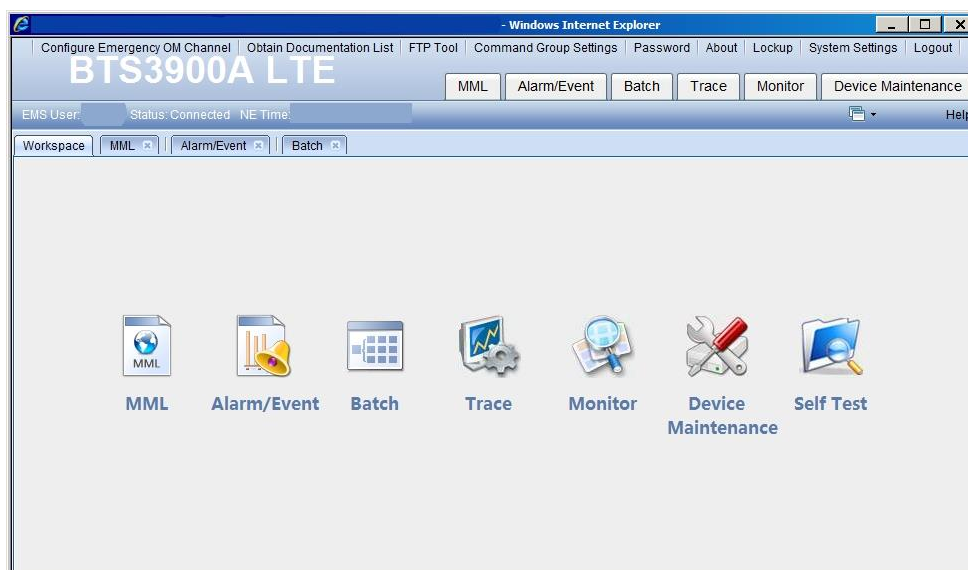
```

0          10          20          30          40          50          60          70          80          90          100         110         120         130
// local
SET DRXFSW: SWITCH=DISABLE;
SET TLFRSWITCH: TLFRSWITCH=DISABLE;
ADD ETHPORT: SN=6, SBT=BASE_BOARD, PN=1, PA=FIBER, SPEED=AUTO, DUPLEX=AUTO,MTU=XXX;
ADD DEVIP: SN=6, SBT=BASE_BOARD, PT=ETH, PN=1, IP="A.B.C.D", MASK="255.255.255.252";
ADD VLANMAP: NEXTHOPIP="A.B.C.D", MASK="255.255.255.252", VLANMODE=SINGLEVLAN, VLANID=XXX, SETPRIO=DISABLE;
ADD IPRT: SN=6, SBT=BASE_BOARD, DSTIP="0.0.0.0", DSTMASK="0.0.0.0", RTTYPE=NEXTHOP, NEXTHOP="A.B.C.D", DESCR="Default Route";
MOD ENODEB: ENODEBID=6, NAME="NAME", ENBTTYPE=BTS3900_LTE;
MOD CABINET: CN=0, TYPE=BTS3900;
ADD OMCH: IP="A.B.C.D", MASK="255.255.255.252", PEERIP=" A.B.C.D ", PEERMASK="255.255.255.224", BEAR=IPV4, SN=6, SBT=BASE_BOARD, BRT=NO;
ADD ACL: ACLID=3000, ACLDESC="UTB_CP_UP_X2";
ADD ACLRULE: ACLID=3000, RULEID=1, PT=IP, SIP=" A.B.C.D", SWC="0.0.0.0", DIP=" A.B.C.D", DWC="0.0.3.255", MDSCP=NO;
ADD ACLRULE: ACLID=3000, RULEID=2, PT=IP, SIP=" A.B.C.D", SWC="0.0.0.0", DIP=" A.B.C.D", DWC="0.0.3.255", MDSCP=NO;
ADD ACLRULE: ACLID=3000, RULEID=3, PT=IP, SIP=" A.B.C.D", SWC="0.0.0.0", DIP=" A.B.C.D", DWC="0.0.31.255", MDSCP=NO;
ADD ACLRULE: ACLID=3000, RULEID=4, PT=IP, SIP=" A.B.C.D", SWC="0.0.0.0", DIP=" A.B.C.D", DWC="0.0.31.255", MDSCP=NO;
ADD ACL: ACLID=3001, ACLDESC="VID_CP_UP";
ADD ACLRULE: ACLID=3001, RULEID=1, PT=IP, SIP=" A.B.C.D", SWC="0.0.0.0", DIP=" A.B.C.D", DWC="0.0.3.255", MDSCP=NO;
ADD ACLRULE: ACLID=3001, RULEID=2, PT=IP, SIP=" A.B.C.D", SWC="0.0.0.0", DIP=" A.B.C.D", DWC="0.0.3.255", MDSCP=NO;
ADD BRD: SN=6, BT=UMPT;
RMV BRD: SN=7;
RST ENODEB:;

```

Obrázek 18 – Ukázka Local scriptu [5]

Montážní firma se do eNodeB připojí lokálně a pracuje v Local Maintenance Terminálu (LMT), což je nástroj, který je nahrán v každé řídicí kartě (UMPT), kterou společnost Huawei dodá zákazníkovi. Pomocí tohoto nástroje může technik pracovat s MML příkazy, sledovat lokálně alarmy, spravovat SW či spouštět testy a monitorovat chod eNodeB.



Obrázek 19 – LMT [5]

Po zadání local scriptu se eNodeB připojí do dohledového systému U2000. Tam s ním začne pracovat integrátor.

Integrátor musí upravit remote script dle skutečné konfigurace nové základnové stanice. Skript vygenerovaný systémem obsahuje všechny varianty připojení rádií (vnitřní i vzdálené rádiové moduly a typ MIMO či SISO). Ukázka již upraveného skriptu je na další stránce.



```

// remote
// IPSEC
ADD IKEPROPOSAL: PROPID=1, ENCALG=AES192, AUTHMETH=IKE_RSA_SIG;
ADD IKEPEER: PEERNAME="NAME", PROPID=1, IKEVERSION=IKE_V2, IDTYPE=IP, REMOTEIP="A.B.C.D", REMOTENAME="SegW", PKEY="KEY", DPD=PERIODIC, LOCALIP="A.B
ADD IKEPEER: PEERNAME="NAME", PROPID=1, IKEVERSION=IKE_V2, IDTYPE=IP, REMOTEIP="A.B.C.D", REMOTENAME="SegW", PKEY="KEY", DPD=PERIODIC, LOCALIP="A.B
ADD IPSECPROPOSAL: PROPNAM="IPsec", TRANSMODE=ESP;
ADD IPSECPOLICY: SFGN="name", SPSN=1, ACLID=3000, PROPNAM="IPsec", PEERNAME="NAME", LTCFG=LOCAL;
ADD IPSECPOLICY: SFGN="name", SPSN=2, ACLID=3001, PROPNAM="IPsec", PEERNAME="NAME", LTCFG=LOCAL;
ADD IPSECBIND: SN=6, SBT=BASE_BOARD, PT=ETH, PN=1, SFGN="name";

//HW
ADD FMU: CN=0, MPN=0;
ADD DEVIP: SN=6, SBT=BASE_BOARD, PT=LOOPINT, PN=0, IP="A.B.C.D", MASK="255.255.255.255";
ADD DEVIP: SN=6, SBT=BASE_BOARD, PT=LOOPINT, PN=0, IP="A.B.C.D", MASK="255.255.255.255";
ADD BRD: CN=0, SRN=0, SN=2, BT=LBBP, WM=FDD;
ADD BRD: CN=0, SRN=0, SN=0, BT=LBBP, WM=FDD;
ADD BRD: CN=0, SRN=0, SN=16, BT=FAN;
ADD BRD: CN=0, SRN=0, SN=18, BT=UEIU;
ADD BRD: SN=19, BT=UPEU;
ADD RRUCHAIN: RCN=0, TT=CHAIN, HSN=2, HPN=0;
ADD RRUCHAIN: RCN=1, TT=CHAIN, HSN=2, HPN=1;
ADD RRUCHAIN: RCN=2, TT=CHAIN, HSN=2, HPN=2;
ADD RRUCHAIN: RCN=3, TT=CHAIN, HSN=0, HPN=0;

// subrack=4 pouze pro RFU
ADD SUBRACK: CN=0, SRN=4, TYPE=RFU, DESC="RFU";

// Option 1 : RFU
ADD RRU: CN=0, SRN=4, SN=0, RCN=0, PS=0, RT=MRFU, RS=LO, RN="RFU_0", RXNUM=2, TXNUM=2;
ADD RRU: CN=0, SRN=4, SN=2, RCN=1, PS=0, RT=MRFU, RS=LO, RN="RFU_2", RXNUM=2, TXNUM=2;
ADD RRU: CN=0, SRN=4, SN=4, RCN=2, PS=0, RT=MRFU, RS=LO, RN="RFU_4", RXNUM=2, TXNUM=2;

// Option 2 : RRU (subracky 60, 61, 62)
ADD RRU: CN=0, SRN=60, SN=0, RCN=3, PS=0, RT=MRRU, RS=LO, RN="RRU_60", RXNUM=2, TXNUM=2;

// transmission
ADD CNOOPERATOR: CnOperatorId=0, CnOperatorName="TO2 CZ", CnOperatorType=CNOOPERATOR_PRIMARY, Mcc="230", Mnc="02";
ADD MME: MMEID=0, FIRSTSIGIP="A.B.C.D", FIRSTIPSECFLAG=DISABLE, SECIPSECFLAG=DISABLE, LOCPORT=36412, DESCRIPTION="MME1";
ADD MME: MMEID=1, FIRSTSIGIP="A.B.C.D", FIRSTIPSECFLAG=DISABLE, SECIPSECFLAG=DISABLE, LOCPORT=36412, DESCRIPTION="MME2";
ADD S1SERVIP: CN=0, SRN=0, SN=6, S1SERVID="1", S1SERVIP="A.B.C.D", IPSECFLAG=ENABLE, IKEIP="A.B.C.D";
ADD S1SIGIP: CN=0, SRN=0, SN=6, S1SIGIPID="1", LOCIP="A.B.C.D", LOCIPSECFLAG=DISABLE, SELOCIPSECFLAG=DISABLE, LOCPORT=2910, SWITCHBACKFLAG=ENABLE;
ADD SGW: SGWID=0, SERVID="A.B.C.D", SERVIP2IPSECFLAG=DISABLE, SERVIP3IPSECFLAG=DISABLE, SERVIP4IPSECFLAG=DISABLE, DESCRIPTION="SGW1";
ADD SGW: SGWID=1, SERVID="A.B.C.D", SERVIP1IPSECFLAG=DISABLE, SERVIP2IPSECFLAG=DISABLE, SERVIP3IPSECFLAG=DISABLE, DESCRIPTION="SGW2";
ADD NTPC: MODE=IPV4, IP="A.B.C.D", SYNCCYCLE=600, AUTHMODE=MDS, KEY="huawei", KEYID=100;
// NTPC KEY : huawei

// CLOCK & SYNCHRO
ADD SYNCETH: SN=6, PN=1, PRI=1;
SET CLKMODE: MODE=MANUAL, CLKSRC=SYNCETH;
// ADD IPCLKLINK: ICPT=FTF, SN=6, CNM=UNICAST, IPMODE=IPV4, CIP="A.B.C.D", SIP="A.B.C.D", PROFILETYPE=1588V2;
// PING: SN=6, SRCIP="A.B.C.D", DSTIP="A.B.C.D", CONTPING=DISABLE, APPTIF=NO;
// SET CLKMODE: MODE=MANUAL, CLKSRC=IPCLK;
DSP CLKSRC;
DSP CLKSTAT: SN=6;
SET WEBLOGINPOLICY: POLICY=HTTPS_ONLY;
SET TZ: ZONET=GMT+0100, DST=YES, SM=WEEK, SMONTH=MAR, SWSEQ=LAST, SWEEK=SUN, ST=02&00&00, EM=WEEK, EMONTH=OCT, EWSEQ=LAST, EWEEK=SUN, ET=03&00&00;

// overeni stavu IPSEC a S1 interface
DSP IKESA: SN=6, IKEVSN=IKE_V2, DSPMODE=BRIEF;
DSP IPSECSA: SN=6, SFGN="name", SPSN=1;
DSP S1INTERFACE;
PING: SN=6, SRCIP="A.B.C.D", DSTIP="A.B.C.D", CONTPING=DISABLE, APPTIF=NO;

// Option 1 : radio RFU, rozvod 2T2R
ADD SECTOR: SECN=0, GCDF=DEG, LONGITUDE=14416073, LATITUDE=50090834, SECM=NormalMIMO, ANTM=2T2R, COMEM=COMBTYP_SINGLE_RRU, CN1=0, SRN1=4, SN1=0, PN1=ROA, CN2
ADD SECTOR: SECN=1, GCDF=DEG, LONGITUDE=14416073, LATITUDE=50090834, SECM=NormalMIMO, ANTM=2T2R, COMEM=COMBTYP_SINGLE_RRU, CN1=0, SRN1=4, SN1=2, PN1=ROA, CN2
ADD SECTOR: SECN=2, GCDF=DEG, LONGITUDE=14416073, LATITUDE=50090834, SECM=NormalMIMO, ANTM=2T2R, COMEM=COMBTYP_SINGLE_RRU, CN1=0, SRN1=4, SN1=4, PN1=ROA, CN2

// Option 2 : radio RRU, rozvod 2T2R
ADD SECTOR: SECN=3, GCDF=DEG, LONGITUDE=14416073, LATITUDE=50090834, SECM=NormalMIMO, ANTM=2T2R, COMEM=COMBTYP_SINGLE_RRU, CN1=0, SRN1=60, SN1=0, PN1=ROA, CN

// Cells
ADD CNOOPERATOR: TRACKINGAREAID=0, CNOOPERATORID=0, TAC=XXXX;
ADD CELL: LOCALCELLID=0, CELLNAME="CNAME1", SECTORID=0, FREQBAND=3, ULEARFCNCFGIND=NOT_CFG, DLEARFCN=1266, ULBANDWIDTH=CELL_BW_N50, DLBANDWIDTH=CELL_BW_N5
ADD CELL: LOCALCELLID=1, CELLNAME="CNAME2", SECTORID=1, FREQBAND=3, ULEARFCNCFGIND=NOT_CFG, DLEARFCN=1266, ULBANDWIDTH=CELL_BW_N50, DLBANDWIDTH=CELL_BW_N5
ADD CELL: LOCALCELLID=2, CELLNAME="CNAME3", SECTORID=2, FREQBAND=3, ULEARFCNCFGIND=NOT_CFG, DLEARFCN=1266, ULBANDWIDTH=CELL_BW_N50, DLBANDWIDTH=CELL_BW_N5
ADD CELL: LOCALCELLID=3, CELLNAME="CNAME4", SECTORID=3, FREQBAND=3, ULEARFCNCFGIND=NOT_CFG, DLEARFCN=1266, ULBANDWIDTH=CELL_BW_N50, DLBANDWIDTH=CELL_BW_N5
ADD CELLOP: LOCALCELLID=0, TRACKINGAREAID=0;
ADD CELLOP: LOCALCELLID=1, TRACKINGAREAID=0;
ADD CELLOP: LOCALCELLID=2, TRACKINGAREAID=0;
ADD CELLOP: LOCALCELLID=3, TRACKINGAREAID=0;
MOD FUSCHCFG: LOCALCELLID=0, QAM64ENABLED=BOOLEAN_FALSE;
MOD FUSCHCFG: LOCALCELLID=1, QAM64ENABLED=BOOLEAN_FALSE;
MOD FUSCHCFG: LOCALCELLID=2, QAM64ENABLED=BOOLEAN_FALSE;
MOD FUSCHCFG: LOCALCELLID=3, QAM64ENABLED=BOOLEAN_FALSE;

//Cells Activation - do it one by one !!!
ACT CELL: LOCALCELLID=0;
ACT CELL: LOCALCELLID=1;
ACT CELL: LOCALCELLID=2;
ACT CELL: LOCALCELLID=3;

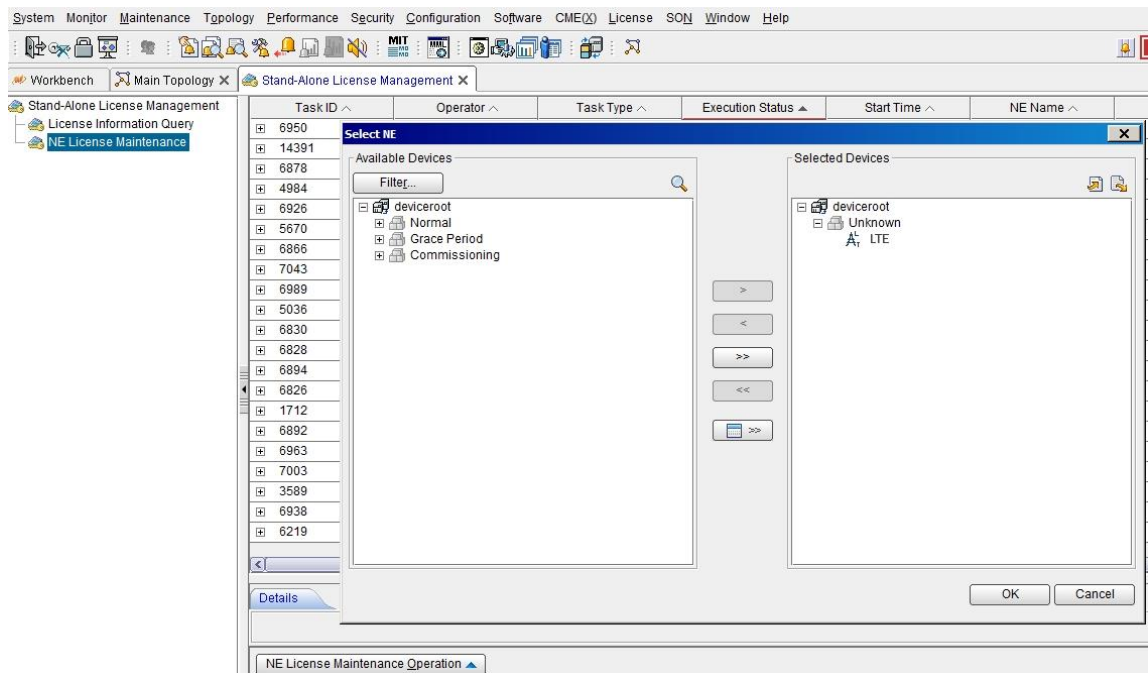
DSP CELL;

//Cells Deactivation
DEA CELL: LOCALCELLID=0;
DEA CELL: LOCALCELLID=1;
DEA CELL: LOCALCELLID=2;
DEA CELL: LOCALCELLID=3;

```

Obrázek 20 – Remote script [5]

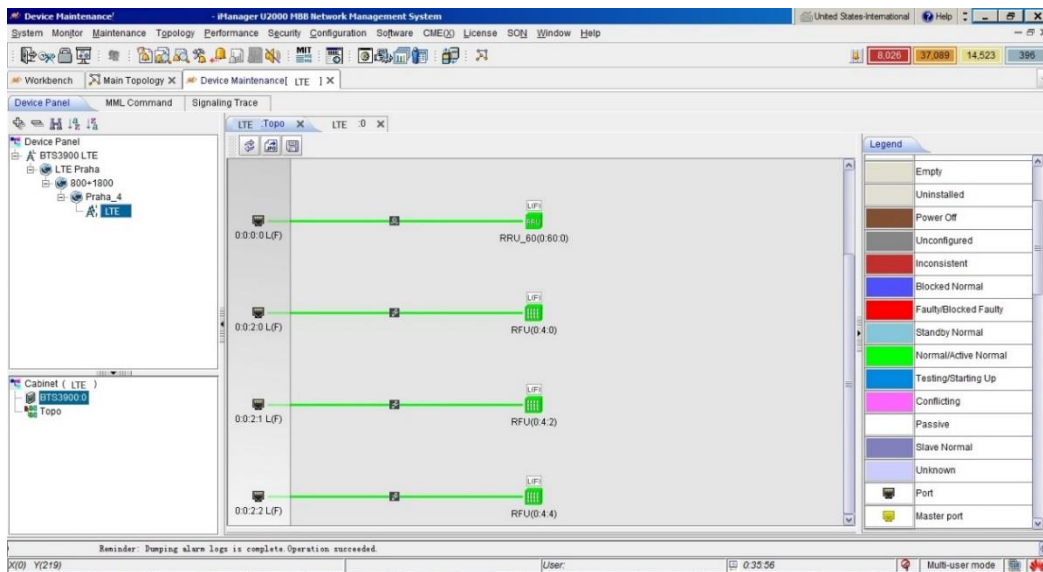
V první řadě musí na nový eNodeB nahrát licenci dodanou supportem Huawei, jak je vidět na obrázku 20. Bez této licence by lokalita nemohla vysílat. Licence obsahuje mimo jiné počet 5MHz bloků, které má daná lokalita vysílat. Tedy pro tří směrovou základnovou stanici v pásmu 3 (dle ČTU) a šířce pásma 15MHz je to 9 bloků. Pokud by lokalita měla 4 směry a licenci na 9 bloků, tak by poslední směr nevysílal.



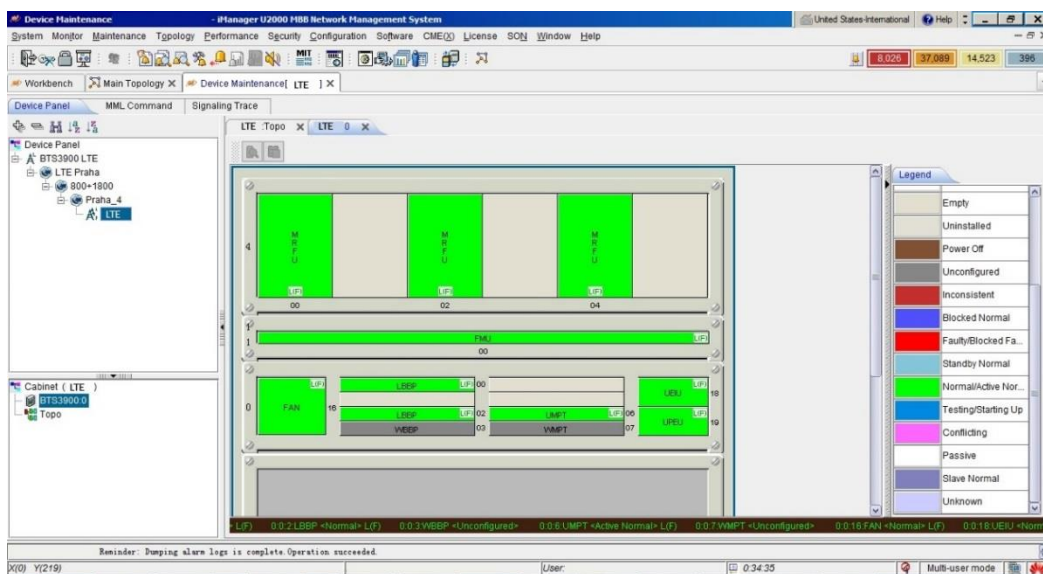
Obrázek 21 – Licence [5]

Dalším krokem při integraci je spuštění remote scriptu (obrázek 20) integrátorem a tím „oživením“ celé základnové stanice. V průběhu tohoto procesu může integrátor sledovat celý proces v nástroji Device Maintenance, kde je zobrazen celý eNodeB a je zde vidět stav jednotlivých karet a rádií. Tento nástroj se nachází v dohledovém systému U2000. Device Maintenance má možnost zobrazovat dva různé pohledy na eNodeB. V jednom je vidět pohled na připojení rádiových modulů (obrázek 22) a druhý je pohled na eNodeB. Tato část zprostředkovává (nahrazuje) integrátorovi pohled na stav všech modulů uvnitř cabinetu (obrázek 23).

Z dohledu iManager U2000 je možné spustit také Local Maintenance Terminal, kde se dá monitorovat provoz na základnové stanici. Toho integrátor využívá k odstranění nečekaných problémů či závad.



Obrázek 22 – Device Maintenance – pohled na propojení radiových modulů [5]



Obrázek 23 – Device Maintenance – pohled na eNodeB [5]

Na obrázku 23 je názorně vidět, že lokalita obsahuje i technologii 3G. Jde o karty v pozicích 03 a 07, jak je vidět na obrázcích 24 a 25.



Obrázek 24 – BBU - foto [5]

<b>FAN</b>	<i>Slot 0</i>	<b>LBBP</b>	<i>Slot 4</i>	<b>UEIU</b>	
	<i>Slot 1</i>		<i>Slot 5</i>		
	<i>Slot 2</i>	<b>LBBP</b>	<i>Slot 6</i>	<b>UMPT</b>	<b>UPEU</b>
	<i>Slot 3</i>	<b>WBBP</b>	<i>Slot 7</i>	<b>WMPT</b>	

Obrázek 25 – BBU - schématické [5]

Názvy jednotlivých karet a jejich funkce:

- UMPT (Universal Main Processing & Transmission Board)

Je hlavní řídicí a přenosová jednotka (pro LTE). Řídí celý eNodeB z pohledu O&M a signalizačních procesů. Poskytuje řídicí synchronizační a časový signál pro celé BBU. V současnosti je UMPT karta ve dvou provedeních - UMPTa1 a UMPTa2 (pro podporu LTE a UMTS odděleně). Místo UMPT je možné použít LMPT (LTE Main Processing and Transmission Unit), která podporuje pouze LTE [6].

- LBBP (LTE BaseBand Processing unit)

Jde o jednotku, která zprostředkovává komunikaci mezi rádiovými moduly a řídicí kartou. Převádí signál na optickou komunikaci (pouze pro LTE) [6].

- WMPT (WCDMA Main Processing & Transmission Board)

Hlavní řídicí a přenosová jednotka pro UMTS. Plní stejné funkce jako UMPT [7].

- WBBP (WCDMA BaseBand Processing unit)

Obdoba LBBP sloužící pro UMTS [7].

- UPEU (Universal Power and Environment interface Unit)

Zdrojový modul pro BBU. Převádí +24V DC nebo -48V DC na požadované napětí každé jednotky v BBU a poskytuje porty pro přenos

externích alarmů do řídicí jednotky (UMPT). Mezi externí alarmy patří například překročení mezní hodnoty teploty, stav napájení (jak sítě, tak i baterií) a další jednoduchá čidla jako kontrola otevření cabinetu [6].

- UIEU (Universal Enviroment Interface Unit)

Rozšiřující modul pro přenos externích alarmů. V případě více obsazeného BBU je možné jej nahradit jednotkou UPEU a tím zvýšit robustnost systému z pohledu napájení [6].

- FAN

Modul FAN řídí rychlost ventilátoru a kontroluje teplotu v BBU. Tím odvádí teplo od jednotek, aby mohly pracovat v optimálním prostředí [6].

Po integraci je vždy nutné provést řadu kontrol, zda je celá nová základnová stanice plně funkční a připravená na živý provoz. Jako jeden z kroků je kontrola spojení eNodeB s EPC. Kontrolu provedeme výpisem jednotlivých vláken vytvořených uvnitř tunelu.

**MML příkaz :** *DSP IKESA: SN=6, IKEVSN=IKE\_V1, DSPMODE=BRIEF;*

Správný výsledek má vypadat jako na následujícím obrázku.

```

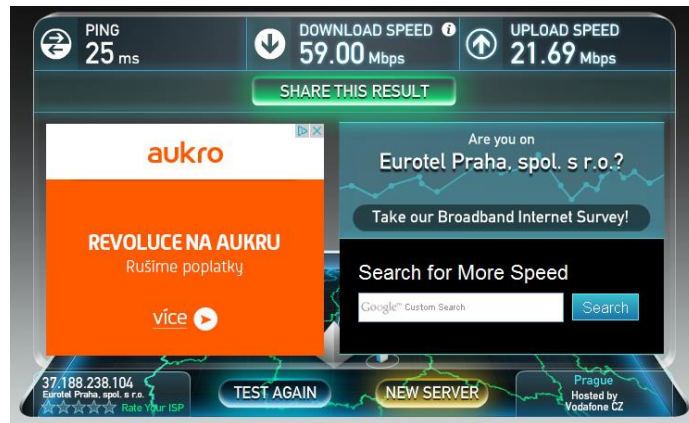
+++   HUAMEI
O&M   #1891
%%DSP IKESA: SN=6, IKEVSN=IKE_V1, DSPMODE=BRIEF;%%
RETCODE = 0 Operation succeeded.

DSP IKESA Result
-----
ACL ID  Rule ID  Peer Address  IKE Peer Name  SA Flag          User Display Phase  IKE Version
3000    1        A.B.C.D      ipsecgw        Ready|StayAlive  Phase2               IKE V1
3000    3        A.B.C.D      ipsecgw        Ready|StayAlive  Phase2               IKE V1
3000    2        A.B.C.D      ipsecgw        Ready|StayAlive  Phase2               IKE V1
NULL    NULL
(Number of results = 4)

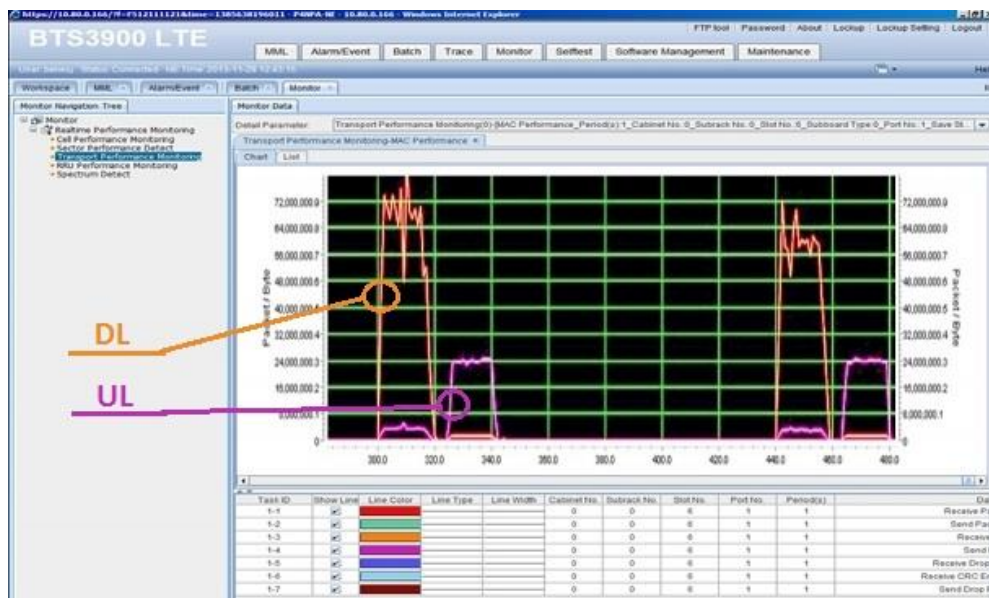
```

Obrázek 26 – IP Sec tunely [5]

Finálním testem nové základnové stanice je samozřejmě otestování. Technik, který instalaci na lokalitě prováděl, jej provede ve spolupráci se specialistou na integrace. Testuje se každý směr zvlášť, jelikož v tuto chvíli není nadefinováno sousedství jednotlivých buňek a proto není možné provádět handover mezi nimi. Test eNodeB, který je správně zintegrován, a všechny jednotky pracují, bude vypadat následovně.



Obrázek 27 – Zobrazení testu rychlosti eNodeB na lokalitě [5]

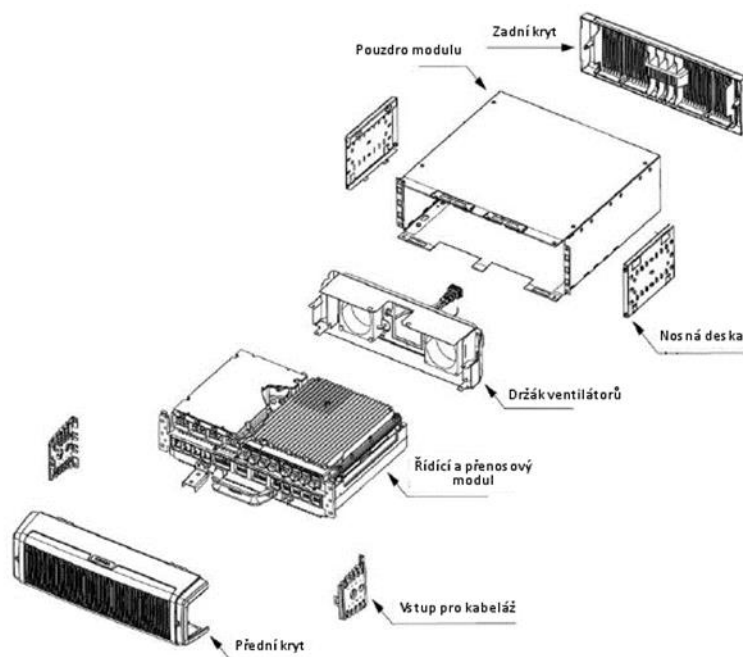


Obrázek 28 – Zobrazení testu rychlosti eNodeB v LMT [5]

Tímto krokem celá integrace eNodeB od společnosti Huawei končí. Po otestování se jednotlivé celly zablokují a celá lokalita se předá k zasousedování a následnému spuštění do komerčního provozu do oddělení optimalizace sítě.

### 3.3. Základnové stanice LTE NOKIA

Společnost Nokia obdobně jako Huawei má v portfoliu produktů Indoor a Outdoor základnové stanice eNodeB. Jen provedení je zcela jiné. Jde o modulární systém, který lze z indoorové instalace změnit pro outdoorové užití pouze pomocí krytů, které jsou připraveny odolávat všem venkovním vlivům. Tento systém je názorně vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 29 – Rozložené krytí řídicího modulu FSMF [8]

Základnové stanice společnosti Nokia mají možnost jako u společnosti Huawei využívat instalaci s vnitřním rádiovým modulem i vzdálenou rádiovou jednotkou. Pro obě varianty se používá stejný typ rádia, jen se musí doplnit o outdoorový kryt (obdoba krytu řídicí jednotky). Jak to vypadá v praxi je názorně vidět na obrázku 30. Jde o dva rádiové moduly FRMA, pro rádiové pásmo 800 MHz s připojením do antén s diversitou (MIMO mód).



Obrázek 30 – Outdoor instalace FRMA [5]

Nejčastěji se v ČR používá eNodeB typu Flexi Multiradio 10 BTS. Tento typ má jako řídicí modul FSMF kartu a typ rádiového modulu je různý. Může jít o FRMA (nejčastěji používané v ČR), FRMC, FXEB a nově i o FRHC a FRHF. Jednotlivé moduly se liší především dle rádiového pásma, v kterém pracují (800 MHz, 1800 MHz a 2600MHz). Další rozdíl je v počtu TX portů (vysílací port). Jednotlivé rozdíly jsou shrnuty v tabulce 3.

Typové označení	Název	Rádiové pásmo	Release	HW rozložení
472221A	FRMA	800	2.1	Flexi RF module 800EU Triple 60W
472655A	FRMC	800	3.0	FRMC Flexi RF Module 6TX 800
472501A	FXEB	1800	2.3	Flexi RF Module 1800 Triple 80W
472656A	FRHC	2600	3.0	FRHC Flexi RF Module 6TX 2600
472849A	FRHF	2600	3.0	FRHF Flexi RF Module 6TX 2600

Tabulka 3- Rádiové moduly Nokia [9]

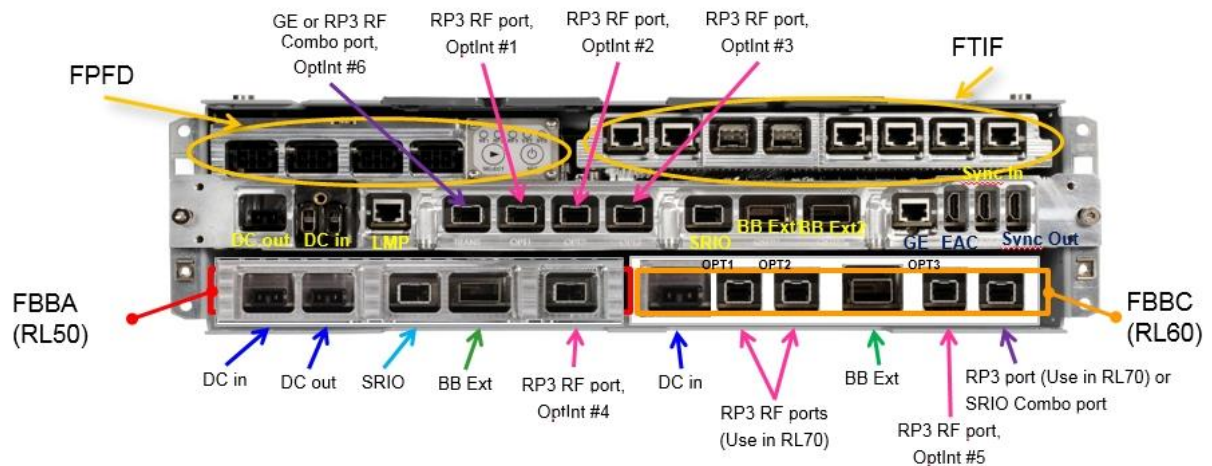
Řídicí modul FSMF je v dnešní době nejlepším a nejmodernějším řídicím modulem pro Flexi Multiradio 10 BTS společnosti Nokia. Jde o modul, který se používá pro LTE eNodeB v indoor i outdoor instalaci. Jen pro micro BTS je používána základnová stanice typu Flexi Zone. Nejčastěji se řídicí modul FSMF používá s rozšiřujícím interface modulem FTIF (optional Transport Sub-Module for FSMF). Další rozšiřující modul k FSMF je FBBA či FBBC (optional Baseband extension Module for FSMF), pro připojení více rádiových modulů. Modul PFPD je pro rozšíření distribuce napájení (optional Power Distribution Module for FSMF) [9].

Vlastnosti řídicího modulu FSMF:

- Výjimečně vysoká kapacita [9]
- Možnost použití 2 až 9 systémových modulů v poolu [9]
- Připojení až 25000 mobilních zařízení [9]
- Podpora vícepásmové konfigurace [9]



- Navýšení RF rozhraní z 4 na 6 [9]
- Možnost řetězení RF modulů [9]
- Vylepšené optické rozhraní s kapacitou od 3Gbps až na 6Gbps [9]

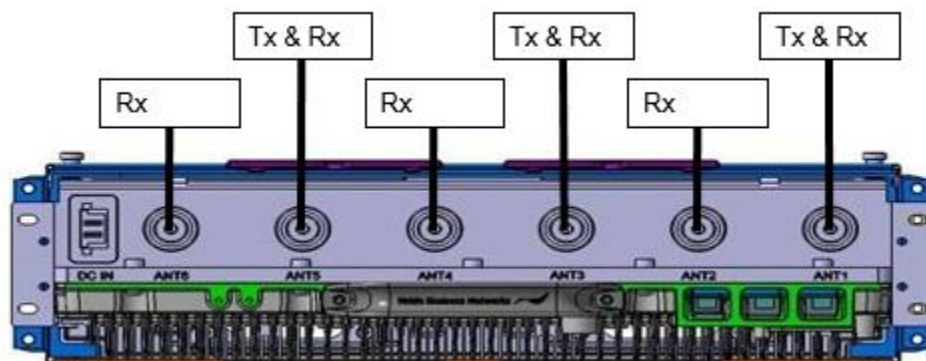


Obrázek 31 – Systémový modul FSMF s rozšiřujícími moduly [9]

Rádiové moduly FRMA podporují jeden, dva a nebo tři rádiové sektory. Zajišťují nejen RF funkcionalitu, ale i kontrolu a přívod elektrického proudu do antén. Mají integrované větráky pro odvod tepla. Rádiový modul je 3U vysoký [9].

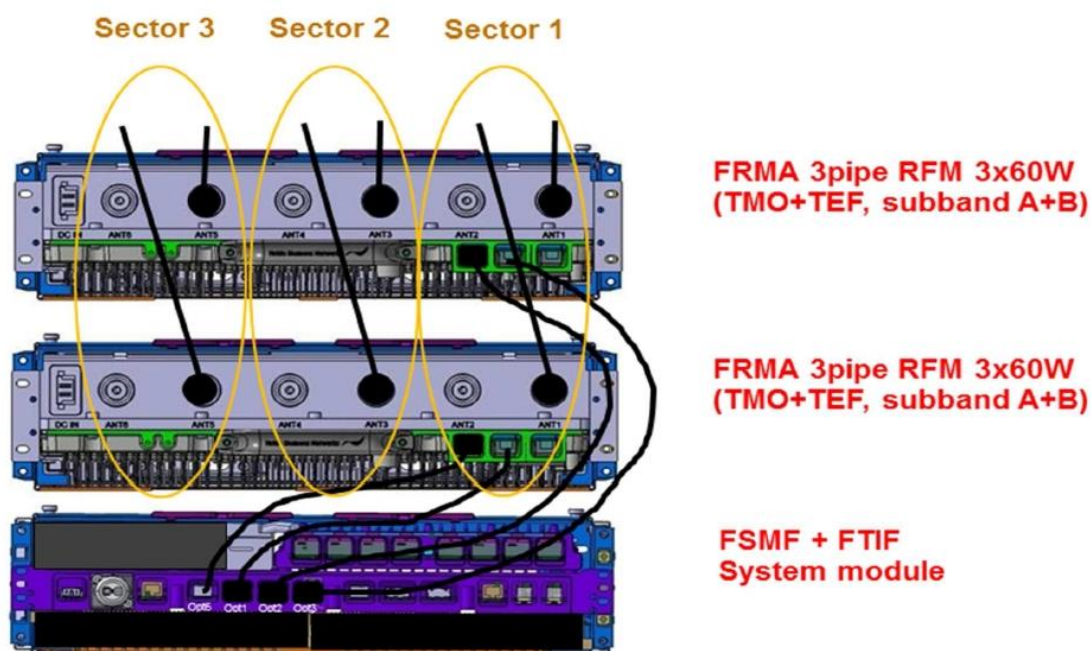
Podporované funkce a součásti FRxx/FXxx jsou:

- Řetězení až tří rádiových modulů [9]
- Integrovaný dohled antény [9]
- RF filtry pro hlavní a diversitní anténu [9]
- Převodník s napájením pro 3GPP elektrický náklon antény [9]
- Lineární výkonové zesilovače (dva v duálním a jeden v single RF módu) [9]



Obrázek 32 – Rádiový modul FRMA [9]

Nejběžnější zapojení sdíleného (O2 a T-Mobile) Nokia eNodeB je v konfiguraci s třemi sektory v pásmu 800 MHz. Pro tuto variantu je základnová stanice složena z řídicího modulu FSMF, jeho rozšiřující interface karty FTIF a dvou rádiových modulů FRMA.



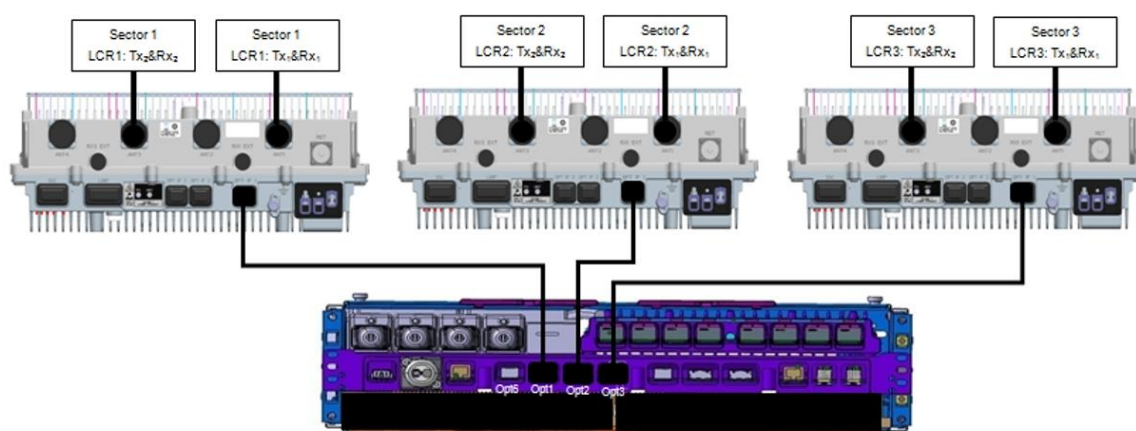
Obrázek 33 – Zapojení sdíleného eNodeB Nokia s FRMA [9]

Vzdálený rádiový modul FXEB je používán v rádiovém pásmu 1800 MHz. Má možnost využití maximálně 60 W výstupního výkonu. Modul se skládá ze dvou nebo čtyř nezávislých částí, které mohou vysílat a přijímat signály z různých rádiových technologií současně.

- až šest GSM nosných se separací minimálně 400 kHz
- až čtyři WCDMA nosné s minimálním oddělením 3,8 MHz
- LTE signál v šířce pásma 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, a 20 MHz
- kombinaci GSM, WCDMA a LTE



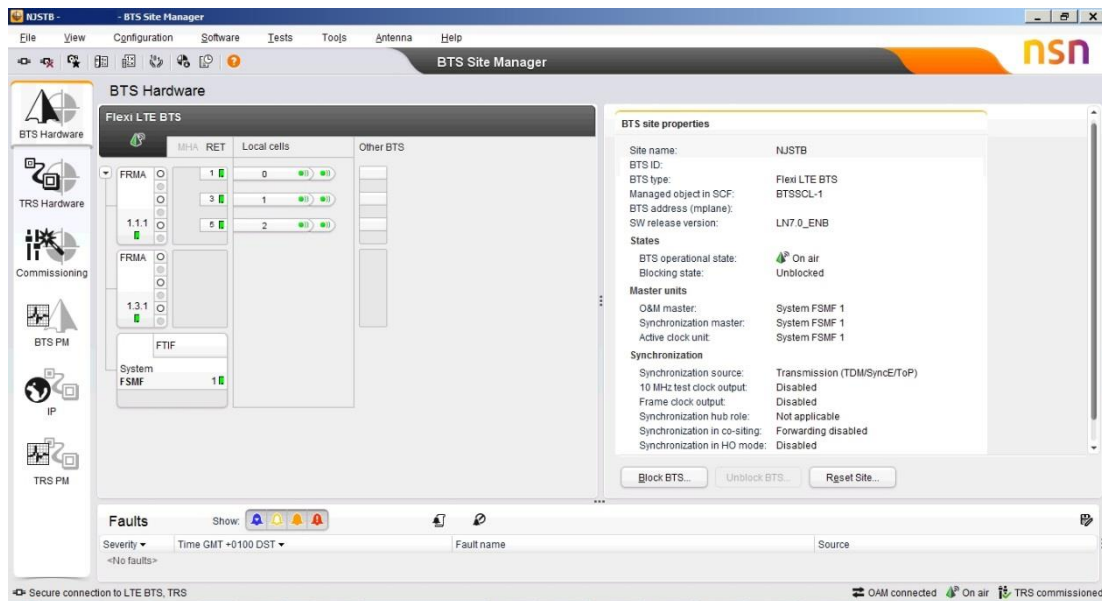
Obrázek 34 – Rádiový modul FXEB [9]



Obrázek 35 – Zapojení sdíleného eNodeB Nokia s FXEB [9]

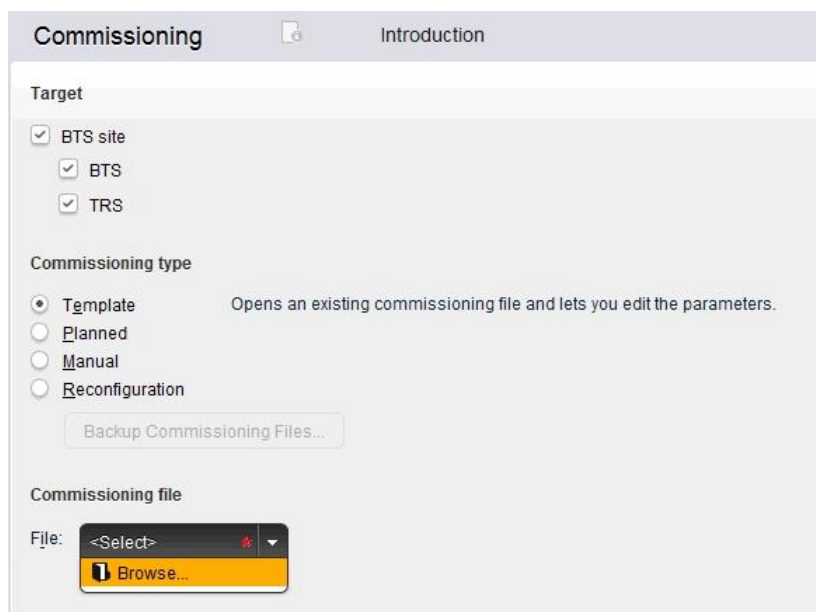
### 3.4. Integrace eNodeB Nokia

Příprava integrace základnové stanice společnosti Nokia je obdobná jako příprava pro eNodeB Huawei. Lišit se začínají v místě generace integračního skriptu. Z předem připravených a dodaných dat IP a všech rádiových parametrů se vytvoří jeden integrační skript ve formátu xml. Takto zpracovaná integrační data jsou předána montážní firmě. Ta provede instalaci HW na lokalitě a provede commissioning eNodeB pomocí BTS Site Manageru.



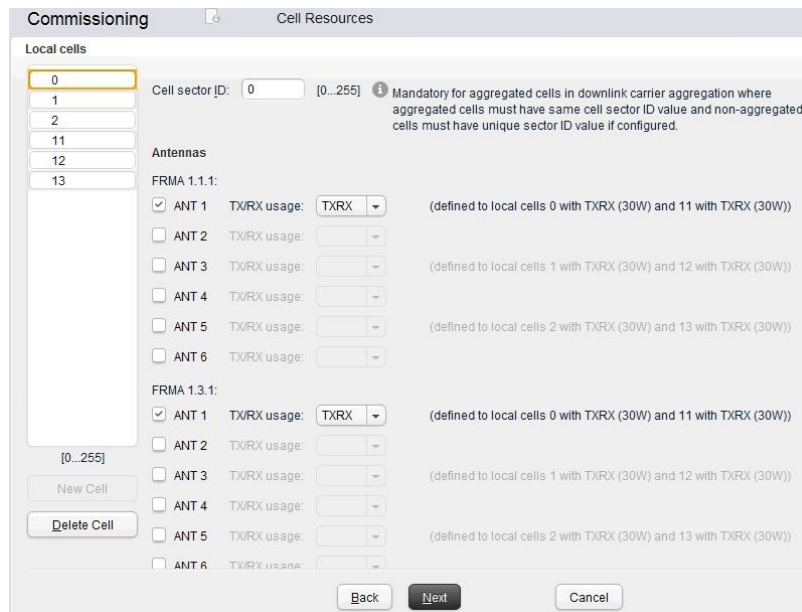
Obrázek 36 – Nokia BTS Site Manager [5]

Commissioning eNodeB znamená nahrání konfiguračních dat (ve formě xml) jakožto Template pro konfiguraci základnové stanice. V xml souboru jsou data pro IP část (v eNodeB označenou TRS) a rádiovou část – BTS.



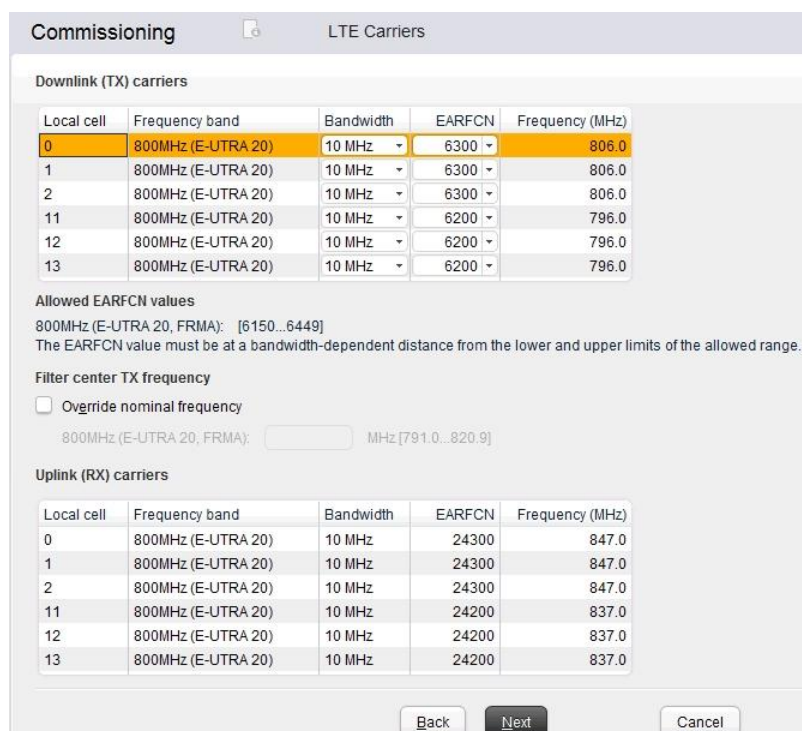
Obrázek 37 – Nokia BTS Commissioning [5]

Při integraci eNodeB se nejčastěji mění konfigurace nové základnové stanice oproti standardnímu zapojení (jenž je v xml skriptu) v sekci BTS (rádiová část), kde se definují porty na rádiových modulech pro jednotlivé celly. Na následujícím obrázku je názorně vidět, že se definuje port, mód portu (TXRX či jen RX) a vysílací výkon.



Obrázek 38 – Nokia BTS Commissioning – cell resources [5]

V sekci Cell Resources se definuje MIMO či SISO mód. Na obrázku 38 je nastavení MIMO. Pro cellu 0 jsou nastaveny dva anténní porty. Na FRMA 1.1.1 jde o ANT1 (hlavní anténa) a na FRMA 1.3.1 také ANT1 (diversitní anténa). Jelikož jde o sdílený eNodeB, tak na stejných portech je definována také cella 11 – cella druhého operátora.

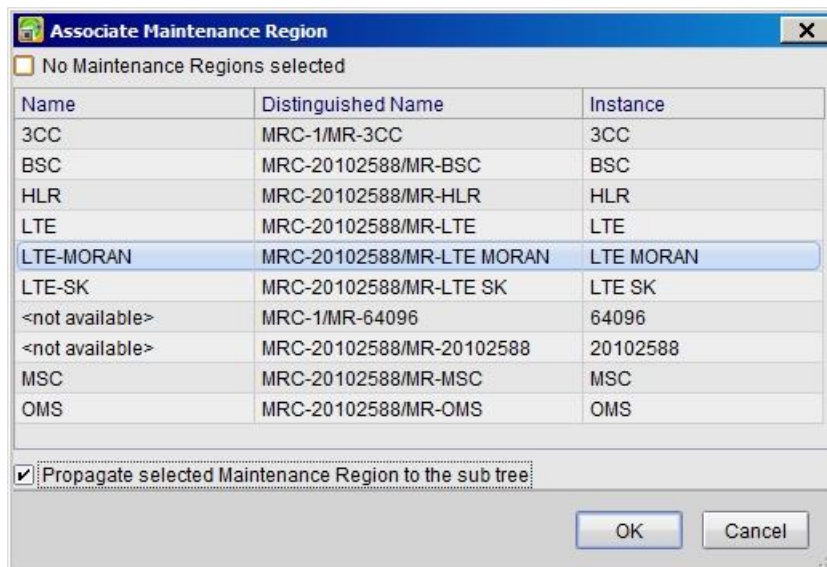


Obrázek 39 – Nokia BTS Commissioning – LTE carriers [5]

Na obrázku 39 - LTE Carriers je nastavení frekvenčního pásma, šířka pásma a parametr EARFCN pro jednotlivé celly. EARFCN v systému LTE je zkratka pro E-UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number. Tento parametr je v LTE centrální frekvence. Obecně EARFCN se vypočítá podle vzorce definovaného 3GPP. Podobně jako u GSM ARFCN v UMTS UARFCN, EARFCN slouží k jednoduchému RF plánování a procesu údržby v sítích LTE [9].

Po provedení commissioningu provede eNodeB restart, při kterém načte novou konfiguraci. Montážní firma nahraje do RETů konfigurační soubory pro připojené antény. Pomocí RETů se provádí elektrický náklon antén. Tímto krokem integrace přímo na lokalitě končí. Firma provede testy konektivity, rychlosti a poté deaktivuje celly.

Další část integrace provádí specialista integrací v dohledovém systému Netact. Nová základnová stanice se po úspěšné integraci na lokalitě sama přihlásí do Netactu. Nemá žádné jméno a je identifikovaná pomocí BTS ID. Integrátor ji pojmenuje včetně všech podsoučástí, aby odpovídala struktuře systému. Tato struktura je vidět na levé straně obrázku 9 – sekce Objects. Aby byl nový eNodeB dohledován a spravován je nutné mu přiřadit Maintenance Region.



Obrázek 40 – Nokia Maintenance Region [5]

Netact Maintenance Region se používá pro definici a správu skupin síťových prvků, které sdílejí stejné pověření pro přístup. Pomáhá při filtrování dané skupiny při SW upgradech, přidělení uživatelských práv. Po zadání Maintenance Regionu s ním může pracovat skupina specialistů pro optimalizaci sítě a technici dohledových systému.

Tímto krokem celá integrace eNodeB od společnosti Nokia končí. Stejně jako u integrace základnové stanice Huawei se po otestování jednotlivé celly zablokují a celá lokalita se předá k zasousedování a následnému spuštění do komerčního provozu do oddělení optimalizace sítě.

## 4. NÁVRHY A DOPORUČENÍ

Z předchozích kapitol o systémech, zařízeních a integraci nového eNodeB je zcela jasné, že výrobce Huawei i Nokia jsou na tom vcelku podobně. Je překvapující, jak se Huawei, relativně mladá firma na evropském telekomunikačním trhu, dokázala vyrovnat společnosti Nokia, jenž je na evropském mobilním telekomunikačním trhu již od počátku. Tento obrovský skok je jak po hardwarové a softwarové stránce, tak i na úrovni podpory zákazníků (odběratelů).

**MML** (Man-Machine Language) – je zarážející, že společnost Nokia opustila MML ve správě sítí poslední generace a nahradila jej oblíbenou platformou Java. Nokia používala MML už od druhé generace analogových sítí NMT, poté v GSM i UMTS. Naopak Huawei sklouobil MML s grafickým prostředím (včetně Javy) a tím zjednodušil integrace, modifikace a správu v konfiguracích základnových stanic LTE. Díky MML je možné pracovat s celou LTE sítí v jednom kroku, a to v tomto ohledu staví Huawei o stupínek výše než Nokii.

**SW upgrady** jsou obecně pro mobilní sítě důležité a prověří každého dodavatele a jejich systém podpory zákazníkům. Mobilní technologie se vyvíjí rychle a nároky na SW jdou ve stejném tempu kupředu. Zde musím vytknout společnosti Huawei, která má sice pěkně řešený vlastní průběh upgradu, nedostatečnou dokumentaci. Při přechodu mezi jednotlivými SW verzemi se mění i příkazová sada

MML. Ale není jasně zdokumentováno, jakým konkrétním MML příkazem je původní příkaz nahrazen. Stává se, že jeden příkaz je úplně vypuštěn, a je nahrazen sadou jiných příkazů. To následně komplikuje práci a je nutné řešit problémy s podporou dodavatele. Společnost Nokia tento problém nemá, jelikož v LTE nemá MML. Jejich dokumentace je precizní, avšak vlastní průběh SW upgradů je zdoluhavý a bohužel ně vždy plně funkční. Opět musí zasahovat technická podpora a řešit problémy, které nastanou. V SW upgradech mají obě společnosti lehké nedostatky, které dohánějí lokální technickou podporou.

Z mého pohledu se dá říci, že i přes drobné nedostatky, které jsem popsal výše, jsou oba dodavatelé technologie LTE na vysoké úrovni. Obě společnosti se snaží především zvyšovat kvalitu dodávané technologie a zákaznického servisu v podobě technické podpory, což přináší zjednodušení práce na straně odběratele.



## 5. ZÁVĚR

Hlavním cílem této práce byl popis vysokorychlostní mobilní datové sítě LTE s důrazem na její implementaci a se zvláštním zaměřením na základnové stanice. Další část bakalářské práce se zabývala porovnáním implementace eNodeB od dvou různých dodavatelů.

Celé seznámení s LTE sítí začalo vývojem mobilních sítí od první generace sítí až po LTE. Poté byla představena celá architektura LTE sítě s popisem jednotlivých prvků EPC a jejich funkcionalitou. Jako posledním prvkem byl představen eNodeB, a jeho jednotlivé části. Tím bylo dokončeno seznámení se s HW částí LTE a posunuli jsme se k SW řešení jednotlivých dodavatelů - k dohledovým systémům. V této části jsou vidět první odlišnosti i podobnosti. Oba systémy prošly dlouhým vývojem a dnes nabízejí mnoho funkcí pro dohled, správu či konfiguraci nejen LTE sítě. V závěru teoretické části byla představena OFDMA modulace.

V praktické části jsou detailně popsány základnové stanice a jejich integrace do živé LTE sítě. První je popsán eNodeB od společnosti Huawei a poté od společnosti Nokia. Zde je názorně vidět rozdíl mezi technologiemi i postupy, které jednotlivý dodavatelé doporučují. Jako zásadní rozdíl je nahrání konfiguračních dat do eNodeB a jejich následná modifikace. Hardware se od sebe liší úplně a podobnost technologií není vidět.

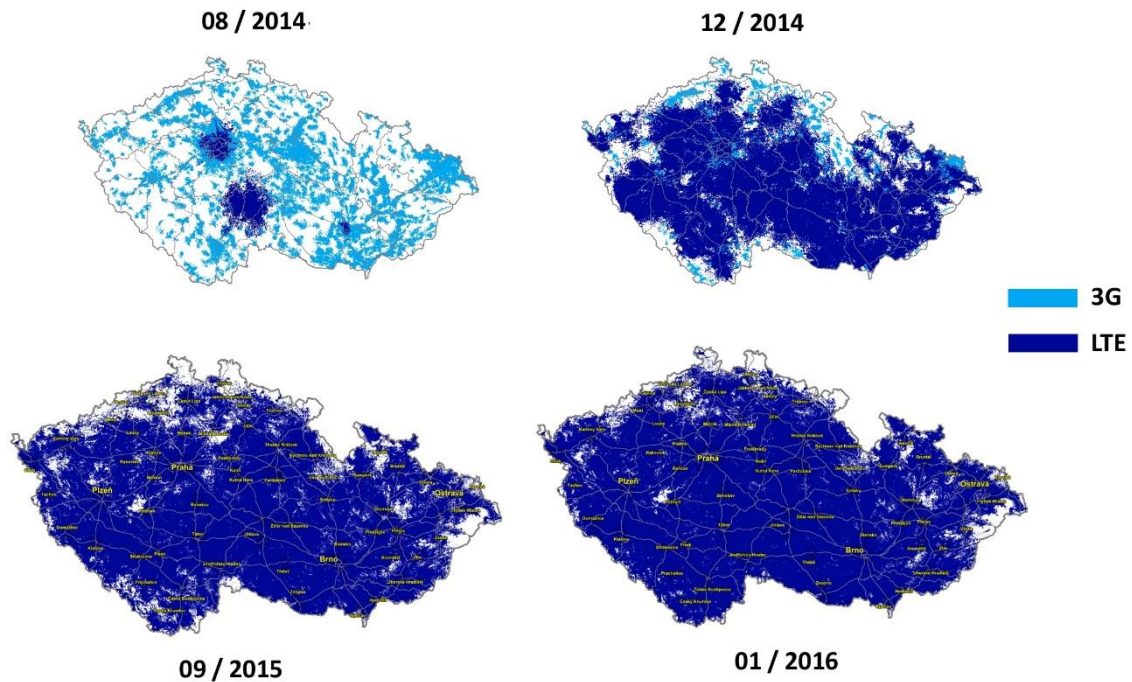
V poslední části jsem zmínil dva nedostatky, které se jeví jako relativně problematické pro provoz a integraci. Celkově se dá říci, že oba dodavatelé dodávají kvalitní a funkční řešení pro sítě poslední generace.

Po provedeném rozboru dodavatelských firem technologie pro LTE sítě bych chtěl zmínit pár důležitých informací, které se vztahují k aktuálnímu stavu LTE sítí v České republice.

Dne 15. srpna 2013 bylo vyhlášeno výběrové řízení ČTU na kmitočty 800, 1800 a 2600 MHz. Toto výběrové řízení je známé pod označením „Aukce 2013“ a byl to start 4G sítí v České republice. V této aukci získaly části frekvenčního pásma (dále jen bloky) společnosti Vodafone, T-Mobile a O2. V pásmu 800 MHz každý získal blok o

velikosti 2x10 MHz a 2x20 MHz v pásmu 2600 MHz. Ve frekvenčním pásmu 1800 MHz to byly bloky od 2x2 MHz až 2x4 MHz.

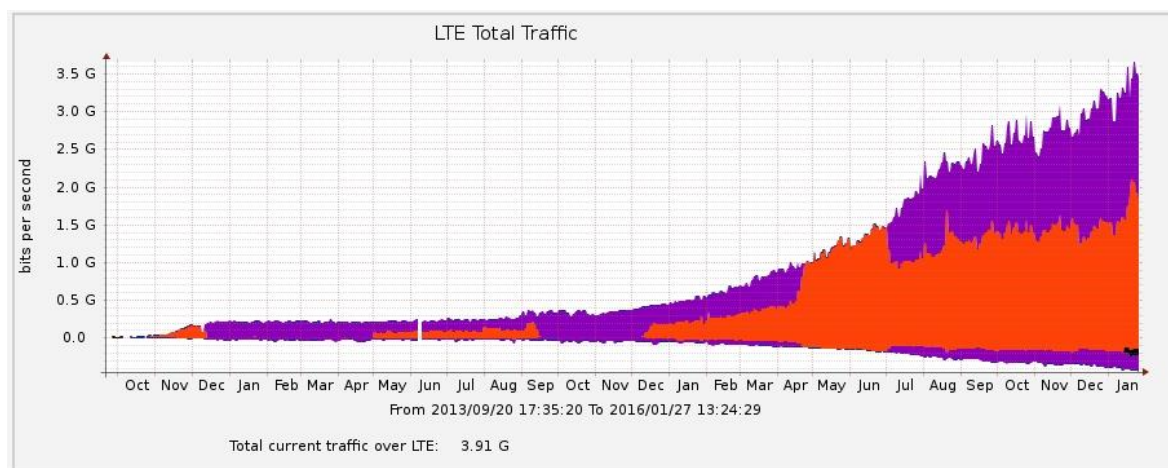
K velkému růstu výstavby došlo v druhé polovině roku 2014 a stále trvá. Všichni tři operátoři mají v současnosti pokrytí populace LTE signálem větší než 90%. Pro lepší a přesnější představu o průběhu pokrývání LTE signálem v ČR mobilním operátorem O2 přikládám mapy pokrytí z jeho internetových stránek.



Obrázek 41 – Vývoj pokrytí LTE signálem – operátor O2 [17]

Mobilní operátor O2 a T-Mobile se domluvili na společné výstavbě sítě LTE – jde o dohodu o sdílení. Proto bude mapa pokrytí u mobilního operátora T-Mobile vypadat téměř stejně. Operátoři si geograficky rozdělili území České republiky na východní a západní část. Za výstavbu a pokrytí východní části zodpovídá O2 a za západní část T-Mobile. Výjimkou jsou oblasti Prahy a Brna, které jsou vyjmuty ze sdílení. Důvodem této spolupráce je samozřejmě šetření nákladů na výstavbu a větší rychlost výstavby. Třetí operátor Vodafone si celou LTE síť staví sám. Jelikož mapa pokrytí operátora Vodafone vypadá téměř stejně, tak musel ve stejném časovém úseku postavit zhruba dvojnásobek eNodeB oproti T-Mobilu či O2. Z toho vyplývá, že musel investovat dvojnásobné finanční prostředky.

Na úplný závěr celé práce bych chtěl ukázat, jaký je nárůst provozu na LTE síti mobilního operátora O2 od spuštění prvního testovacího eNodeB (září 2013) téměř až do současnosti (konec ledna 2016). Ostatní operátoři mají obdobná měření s podobnými hodnotami.



Obrázek 42 – Vývoj provozu LTE – operátor O2 [5]

## 6. SEZNAM ZDROJŮ

### 6.1. *Tištěné zdroje*

- [1] SCHORM P. LTE/SAE overview. Úvodní kurz. Telefónica Czech Republic, a.s. Release 1, červen 2012.
- [2] SCHORM P. Evolved Packet System. EPS traffic 1. Telefónica Czech Republic, a.s. Release 1, 12. 9. 2013.

### 6.2. *Elektronické zdroje*

- [3] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD: LTE/SAE System Overview.pdf. 01. 05. 2010. [cit. 18. 08. 2015]
- [4] WRAY CASTLE: LTE/ASE Engineering Overview.pdf. April 2012. [cit. 26. 03. 2016]
- [5] ČESKÁ TELEKOMUNIKAČNÍ INFRASTRUKTURA a.s. data provozního oddělení. 2016. [cit. 18. 04. 2016].
- [6] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., eNodeB LTE FDD V100R005 Product Description.pdf. 2011. [cit. 27. 03. 2016]
- [7] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., DBS3900 Dualmode base Station HW.pdf. 2-2009. [cit. 30. 03. 2016]
- [8] NOKIA SOLUTIONS AND NETWORKS CO., LTE Flexi Multiradio BTS and Module Overview.pdf. 2013. [cit. 30. 3. 2016].
- [9] NOKIA CO., LTE Workshop.pptx. 13. 05. 2014. [cit. 2. 4. 2016]

### 6.3. *Internetové zdroje*

- [10] QUALCOMM: 3GPP Long-Term Evolution (LTE). [online]. 29. 04. 2014. [cit. 19. 08. 2015]. Dostupné z: <https://www.qualcomm.com/documents/lte-standard>
- [11] Citace. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. Orthogonal frequency-division multiple access. last modified on 28. 08. 2014 [cit. 21. 08. 2015]. Dostupné z:

[http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal\\_frequency-division\\_multiple\\_access](http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiple_access)

- [12] TELECOM CELLULAR TECHNOLOGY CONCEPTS. Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA). OFDM. [online]. 12. 2011. [cit. 21. 08. 2015]. Dostupné z: <http://cellular-technology-concepts.blogspot.cz/2011/12/orthogonal-frequency-division-multiple.html>
- [13] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD: Wireless Network – SingleBTS. huawei.com. [online]. [cit. 6. 01. 2016]. Dostupné z: [http://www.huawei.com/ucmf/groups/public/documents/attachments/hw\\_093570.pdf](http://www.huawei.com/ucmf/groups/public/documents/attachments/hw_093570.pdf)
- [14] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD: BTS3900. huawei.com. [online]. [cit. 6. 01. 2016]. Dostupné z: [http://enterprise.huawei.com/br/products/network/wireless/trustar/hw-u\\_173022.htm](http://enterprise.huawei.com/br/products/network/wireless/trustar/hw-u_173022.htm)
- [15] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD: BTS3900A. . huawei.com. [online]. [cit. 6. 01. 2016]. Dostupné z: [http://enterprise.huawei.com/br/products/network/wireless/trustar/hw-u\\_173026.htm](http://enterprise.huawei.com/br/products/network/wireless/trustar/hw-u_173026.htm)
- [16] TELECOM ENGINEERING WORLD. DBS3900 Hardware Installation Technology. [online]. [cit. 3. 04. 2016]. Dostupné z: [http://telecom-engineering-world.blogspot.cz/2015\\_03\\_23\\_archive.html](http://telecom-engineering-world.blogspot.cz/2015_03_23_archive.html)
- [17] O2 CZECH REPUBLIC A.S. O2. Mapa pokrytí signálem LTE operátorem O2 Czech republic. [online]. 02. 2016. [cit. 16. 02. 2016]. Dostupné z: <http://www.o2.cz/osobni/LTE/>

# Oskenované zadání práce

Univerzita Hradec Králové  
Fakulta informatiky a managementu  
Akademický rok: 2014/2015

Studijní program: Systémové inženýrství a informatika  
Forma: Kombinovaná  
Obor/komb.: Informační management (im3-k)

## Podklad pro zadání BAKALÁŘSKÉ práce studenta

PŘEDKLÁDÁ:	ADRESA	OSOBNÍ ČÍSLO
Beneš Jan	Rožďalovická 640/10, Praha - Kbely	I1300224

### TÉMA ČESKY:

Principy LTE a implementace jejich radiových subsystémů

### TÉMA ANGLICKY:

LTE principles and implementation of the radio subsystems

### VEDOUČÍ PRÁCE:

Mgr. Josef Horálek, Ph.D. - KIT

### ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je podrobně popsat principy LTE sítí s důrazem na implementaci a vyhodnocení propustnosti radiových subsystémů. V teoretické části autor představí principy LTE sítí a principy jejich implementace. V praktické části autor provede měření postupnosti a spolehlivosti přenosů LTE sítí s důrazem na data managementu a uživatelských dat.

### SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:

SESIA, Stefania, Issam TOUFIK a Matthew BAKER. LTE--the UMTS long term evolution: from theory to practice. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley, 2011, xl, 752 p. ISBN 978-047-0660-256.

AHMADI, Sassan, Issam TOUFIK a Matthew BAKER. LTE-advanced: a practical systems approach to understanding the 3GPP LTE releases 10 and 11 radio access technologies. 2nd ed. Hoboken, N.J.: Wiley, 2011, xxix, 1116 pages. ISBN 01-240-5162-6.

Podpis studenta:



Datum:

7. 10. 2015

Podpis vedoucího práce:

Datum: