

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra technologických zařízení staveb



**Prostředky rádiové přístupové sítě a rádiové rozhraní
vysokorychlostní mobilní datové technologie LTE**

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Zdeněk Votruba, Ph.D.

Autor: Pavel Boudník

© 2015 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra technologických zařízení staveb

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Boudník Pavel

Informační a řídicí technika v agropotravinářském komplexu

Název práce

Prostředky rádiové přístupové sítě a rádiové rozhraní vysokorychlostní mobilní datové technologie LTE

Anglický název

Means of the radio access network and radio interface high-speed mobile data technology LTE

Cíle práce

Cílem práce je seznámení a popis technologie LTE s výrazným zaměřením na prostředky rádiové přístupové sítě a jejich implementace. Praktické využití sítě LTE pro připojení a komunikaci výherních terminálů, bankomatů a jako zdroj internetového připojení v malých sítích LAN a WLAN.

Metodika

Seznámení se s technologií a technikou používanou v rádiových mobilních přenosech. Posouzení variant a možností technologie. Předpokládaný vývoj v České republice a prognóza na reálný 4G přenos v ČR. Demonstrace klasického nasazení včetně diskuse vhodnosti. Finanční kalkulace včetně alternativního řešení.

Osnova práce

1. Úvod
2. Popis architektury technologie LTE
3. Principy Air Interface LTE
4. EPS základní prvky, rozhraní a identity
5. Prostředky a implementace přístupové sítě LTE - eNB
6. Bezpečnost a mobilita
7. Interworking a Circuit switching v LTE
8. Praktické využití LTE - komunikaci výherních terminálů, bankomatů a jako zdroj internetového připojení v malých sítích LAN a WLAN.
9. Závěr a finanční zhodnocení

Rozsah textové části

30 až 40 stran textu včetně obrázků, grafů a tabulek

Klíčová slova

rádiová síť, datové přenosy, počítačová síť, spolehlivost, bezpečnost

Doporučené zdroje informací

Pužmanová, R.: Bezpečnost bezdrátových sítí, CPress, 2008

Lacko, L.: Programujeme mobilní aplikace, CPress, 2013, EAN:9788025101766

Pogue, D.: iPhone 3GS, CPress, 2010, EAN:9788025128527

články v časopisu Automa a Elektro

Vedoucí práce

Votruba Zdeněk, Ing.

Termín zadání

listopad 2013

Termín odevzdání

duben 2015



doc. Ing. Miroslav Příkryl, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan fakulty

V Praze dne 3.2.2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "*Prostředky rádiové přístupové sítě a rádiové rozhraní vysokorychlostní mobilní datové technologie LTE*" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne

podpis:

Pavel Boudník

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Zdeňku Votrubovi, Ph.D. za odbornou pomoc, vstřícný přístup během konzultací, cenné náměty a rady. Dále bych chtěl poděkovat kolegům ze zaměstnání za přínosné náměty a cenné rady.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je seznámení se základními prvky rádiové přístupové sítě (tzv. RAN – Radio Access Network) vysokorychlostní mobilní datové technologie LTE. Základní technologické prvky a jejich implementace se zvláštním zaměřením na základnové stanice. Porovnání technologie od různých výrobců. Praktické využití mobilní sítě 4. generace pro datové připojení výherních terminálů, bankomatů a jako zdroj internetového připojení v malých sítích LAN a WLAN.

Klíčová slova

bezpečnost, datové přenosy, počítačová síť, rádiová síť, spolehlivost

Abstrakt

The aim of this thesis is to introduce the basic elements of the radio access network (ie. RAN – Radio Access Network) high-speed mobile data technology LTE. The basic technological elements and their implementation with a particular focus on the base station. Comparison technologies from various manufacturers. Practical use of mobile networks fourth generation for data connectivity gaming terminals, ATMs and as a source of Internet connectivity in small networks, LAN and WLAN.

Key words

security, data transmission, computer network, radio network, reliability

Slovník použitých zkratek:

- 3GPP** (Triád Generativní Partnership Project) – partnerský projekt založený na podporu vývoje mobilních sítí vycházejících ze systémů GSM
- Air Interface** – rádiové rozhraní
- ARQ** – (Automatic Repeat Request) – automatická retransmise
- 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
- CSD** (Circuit Switched Data) – nejstarší metoda přenosu dat vyvinutá přímo pro digitální mobilní síť
- CSFB** – Circuit Switched FallBack
- ČTÚ** – Český telekomunikační úřad
- DFT** (Discrete Fourier Transform) – Diskrétní Fourierova transformace
- DSL** (Digital Subscriber Line) – technologie využívající telefonního vedení nebo kabelové televize pro vysokorychlostní přenos dat. Podsystemy – ADSL (Asimetric DSL), VDSL (Very High Speed DSL)
- EDGE** (Enhanced Data rates for GSM Evolution) – služba umožňující datové přenosy v mobilních sítích druhé generace
- eNode B, eNB** (evolved Node B) – základnová stanice ve vysokorychlostní mobilní datové síti LTE
- EPS** – Evolved Packet System
- FDD** (Frequency division duplex) – blok elektromagnetického spektra určený pro přenos ve směru od mobilního terminálu k základnové stanici
- FFT** (Fast Fourier Transform) – Rychlá Fourierova transformace
- GAN** (Generic Access Network) – rozšiřující prvek mobilních hlasových, datových a multimediálních aplikací přenášných internetovým protokolem
- GPRS** (General Packet Radio Service) – služba umožňující datové přenosy v mobilních sítích druhé generace
- HSPA** (High Speed Packet Access) – Vysokorychlostní paketový přístup v sítích třetí generace
- IEEE** (Institute of Electrical and Electronics Engineers) – mezinárodní nezisková profesní organizace usilující o vzestup technologie související s elektrotechnikou
- IFFT** (Inverse Fast Fourier Transform) – Inverzní rychlá Fourierova transformace
- IMS** (IP Multimedia subsystem) – mezikrok ve vývoji od sítí druhé a třetí generace k sítím čtvrté generace, zaměřený na multimediální datové přenosy
- IMSI** – International Mobile Subscriber Identity
- IMT-2000** (International Mobile Telecommunications for the year 2000) – zastřešující iniciativa Mezinárodní telekomunikační unie (ITU) pro 3. generaci mobilních sítí
- ISI** (InterSymbol Interference) – Mezisymbolové interference

LAN – Local Area Network

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

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

MML (Man-Machine Language) – programovací jazyk definovaný pro správu telekomunikačních a síťových zařízení pomocí konzolového standardizované rozhraní [12]

Node B – základnová stanice v mobilní telekomunikační síti třetí generace

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

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

SIM – Subscriber Identification Module – identifikační karta do mobilního telefonu

TDD (Time division duplex) – systém umožňující asymetrický přenos dat ve směru od a do mobilního terminálu

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

TMSI – Temporary Mobile Subscriber Identity

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

USIM – Universal Subscriber Identification Module – identifikační karta do mobilního telefonu

VoLTE – Voice over LTE

VPN – Virtual Private Network

Wifi (Wireless fidelity) – bezdrátová komunikace v bezdrátových sítích

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

WLAN – Wireless Local Area Network

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 [13]

Obsah

1	Úvod	1
2	Popis architektury technologie LTE	2
2.1	Základní vlastnosti LTE	2
2.1.1	Přenosové rychlosti v systému LTE	2
3	Principy Air Interface LTE.....	3
3.1	OFDMA.....	4
3.2	SC-FDMA	5
4	EPS základní prvky, rozhraní a identity	6
4.1	Vývoj mobilních sítí	6
4.1.1	První generace mobilních sítí	6
4.1.2	Druhá generace mobilních sítí.....	7
4.1.3	Třetí generace mobilních sítí	9
4.1.4	Čtvrtá generace mobilních sítí.....	10
4.1.5	3GPP Releases	12
4.2	Základní identifikátory v EPS	19
4.2.1	IMSI (International Mobile Subscriber Identity).....	19
4.2.2	USIM (Universal Subscriber Identity Module).....	20
4.2.3	Identifikace eNode B a EPC.....	20
5	Prostředky a implementace přístupové sítě LTE – eNB.....	20
5.1	Posouzení technologií od různých výrobců.....	20
5.2	Nokia Siemens Network OSS NetAct [9]	21
5.2.1	Monitoring	23
5.2.2	Top Level User Interface	23
5.3	Huawei iManager M2000 – Mobile Element Management System	24
5.4	e Node B – Základnové stanice systému LTE.....	27
5.5	Zhodnocení dodavatelů.....	29
6	Bezpečnost a mobilita.....	30
7	Interworking a Circuit switching v LTE.....	31
8	Praktické využití LTE – komunikace výherních terminálů, bankomatů a jako zdroj internetového připojení v malých sítích LAN a WLAN.....	33
9	Závěr a finanční zhodnocení.....	34
10	Citovaná literatura:	38
11	Seznam obrázků.....	41
12	Seznam tabulek.....	42

1 Úvod

Hlavním úkolem této práce je analýza a zpracování získaných informací o prostředcích rádiové přístupové sítě, popis mobilní bezdrátové technologie LTE. Bezdrátové a mobilní sítě nás dnes provázejí na každém kroku a jen velmi těžko si už dokážeme představit datové komunikace bez nich. Z pohledu konečného řešení se bezdrátové sítě od fixních neliší a nabízejí stejné služby a flexibilitu. Topologii bezdrátových sítí lze taktéž stavět podobně jako u fixních sítí, s použitím stejných síťových prvků jako jsou servery, směrovače, firewally a jiné. Jediný rozdíl je v nutnosti použití vysílacích a přijímacích prvků různě modulovaného signálu namísto fyzického propojení metalickými či optickými kabely. Donedávna ještě limitující podmínka přenosové rychlosti už začíná ztrácet na důležitosti. Dnešní bezdrátové sítě jako jsou Wi-Fi, WiMAX a mobilní datové sítě současných telekomunikačních operátorů již dosahují takových rychlostí, že jsou schopné konkurovat fixním sítím, jako jsou např. různé varianty DSL. Zvláště datová mobilní síť, v zatím posledním komerčně využívaném systému LTE (Long Term Evolution), je na takovém vzestupu, že již nyní dokáže plně nahradit fixní technologii ADSL a VDSL.

Součástí analýzy je i vysvětlení terminologií a služeb v přístupové síti systému LTE. V dalším textu je uveden vývoj mobilních sítí se stručným popisem jednotlivých generací a služeb v nich implementovaných. Část práce je věnována rozboru technologií a techniky používané v rádiových mobilních přenosech a zejména prvkům přístupové sítě RAN (Random Access Network). Určitá část je věnována základnovým stanicím neboli eNode B, ve starších generacích mobilních sítí známých pod pojmem BTS (Base Transceiver Station).



2 Popis architektury technologie LTE

2.1 Základní vlastnosti LTE

První diskuse týkající se vývoje nového rádiového rozhraní, jenž by mělo následovat po plánovaném rozšíření HSPA (High Speed Packet Access) započaly už v listopadu 2004 v rámci doporučení 3GPP (Third Generation Partnership Project). Od počátku tohoto vývoje panovala shoda většiny světových operátorů a výrobců telekomunikační techniky na tom, že je potřeba zavést společný soubor specifikací, který by díky své flexibilitě dokázal zlepšit podporu výrobců technologií a zjednodušil migrační strategie operátorů po celém světě. Jeden z nejdůležitějších faktorů pro vývoj LTE byl ten, aby mohl každý operátor migrovat na LTE, přestože se nachází v různém stádiu vývoje poskytovaných služeb a provozovaných technologií. 14. 12. 2009 byl datum spuštění první veřejné sítě LTE (operátor TeliaSonera ve švédském Stockholmu a Norském Oslu). Systém LTE je, dle specifikace 3GPP, součástí sítí 4G (4. generace). [1], [2]

2.1.1 Přenosové rychlosti v systému LTE

V tabulce 1 jsou uvedeny maximální přenosové rychlosti dosažitelné v ideálním prostředí, tj. v laboratoři a v pásmu o šíři 20 MHz. Skutečné rychlosti v reálném prostředí jsou závislé především na počtu připojení pod jednotlivými buňkami a mohou se výrazně lišit. [2]

Tabulka 1 Špičkové rychlosti v systému LTE [2]

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

Parametry systému LTE:

- Přenosové rychlosti downlinku až 326 Mbit/s při šířce pásma 20 MHz.
- Přenosové rychlosti uplinku až 86,4 Mbit/s při šířce pásma 20 MHz.
- Přenos možný v režimech TDD (Time division duplex) i FDD (Frequency division duplex).
- Modulace: 16QAM, 64QAM a QPSK.
- Výběr z více šířek pásem až do 20 MHz: 1,4; 3; 5; 10; 15; 20 MHz. Kanály široké 1,6 MHz se používají v nepárovém kmitočtovém pásmu pro TDD.
- MIMO – (Multi-Input Multi-Output) kombinované antény pro příjem i vysílání, slouží k eliminaci přeslechů a ech.
- Částečné opakované využití frekvencí (Fractional Frequency Reuse).
- Kanálově závislé plánování zdrojů na více nosných (Multicarrier channeldependent resource scheduling).
- Zvýšená spektrální efektivita.
- Snížená latence – méně než 100 ms.
- Zaručená mobilita při vylepšeném výkon až do rychlosti 120 km/h. Funkčnost zajištěna až do rychlosti 350 km/h.
- Až 200 aktivních terminálů na jedné buňce (5 MHz šířka pásma), 400 aktivních terminálů pro větší šířku pásma.
- Komplexní podpora řízení kvality služby (QoS).

Tyto parametry vyjadřují základní vlastnosti systému LTE a teoretické hodnoty, kterých je možno dosáhnout zpravidla jen v laboratorních – ideálních podmínkách. V reálné komerční síti jsou např. přenosové rychlosti velmi závislé na vzdálenosti mobilního terminálu od základnové stanice a také na počtu aktivních připojení v konkrétních lokalitách.

3 Principy Air Interface LTE

Air Interface neboli rádiové rozhraní. Přes fyzickou vrstvu směrem k vyšším vrstvám poskytuje služby datových přenosů. Přístup k datovým službám umožňuje sub vrstva: MAC (Media Access Control). Aby mohla fyzická vrstva korektně poskytovat služby datových přenosů, musí splňovat následující důležité podmínky:

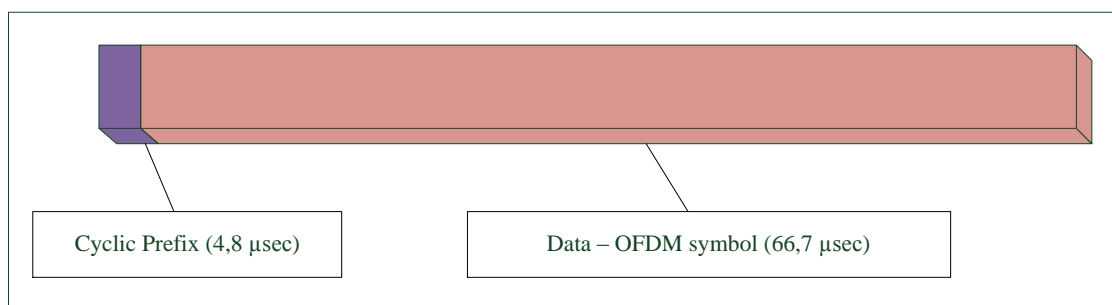
- detekce chyb na přenosovém kanálu a indikace k vyšším vrstvám
- kódování/dekódování přenosového kanálu
- hybridní ARQ (korekce retransmisí)
- přizpůsobení rychlosti kódovaného přenosového kanálu fyzickému kanálu
- mapování kódovaného přenosového kanálu do fyzického kanálu
- modulace a demodulace fyzických kanálů
- frekvenční a časová synchronizace
- Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) – použití víceprvkových antén

Při vývoji Air Interface systému LTE byl kladen veliký důraz na výběr modulačního schématu přístupového rozhraní, tak aby co nejlépe vyhověl požadovaným standardům dle 3GPP. Bylo zvoleno schéma OFDM/OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pro downlink a OFDM/SC-FDMA (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) pro uplink. [2]

3.1 OFDMA

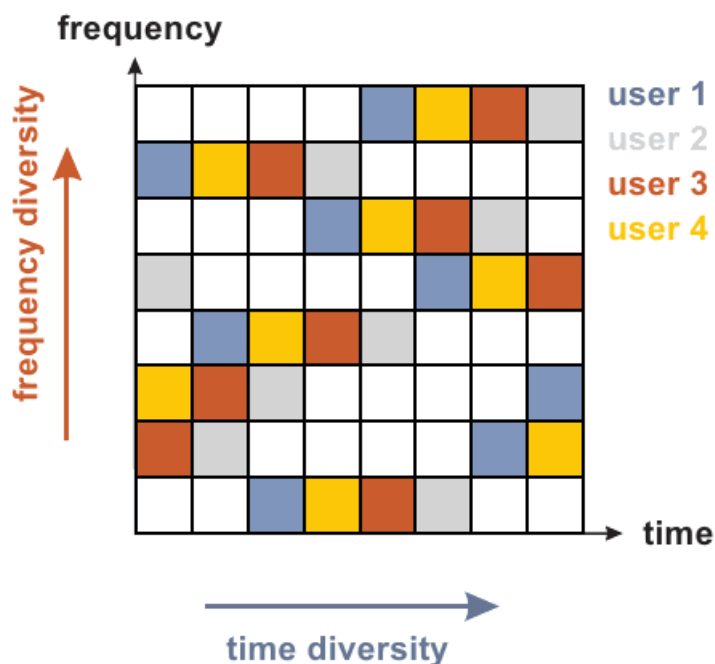
Je verze digitálního modulačního schéma pro vícenásobný přístup. Vícenásobného přístupu je dosaženo přiřazením podmnožiny pomocných nosných frekvencí (sub-carriers) jednotlivým terminálům – uživatelům. Toto umožňuje současný přenos nízkou rychlostí více terminálům najednou. Jedná se vlastně o rozdělení toku dat rychlého přenosu do řady paralelních pomalejších toků. [5] To znamená, že každý úzkopásmový signál je přenášen pomocnou nosnou frekvencí. Pomocné nosné frekvence jsou definovány v 15kHz rozestupech. Tyto rozestupy jsou udržovány bez ohledu na konečnou šířku použitého pásma. Dle šířky pásma je použito od 75 do 1200 (20MHz pásmo) pomocných nosných frekvencí. Rozestup 15 kHz byl zvolen, aby nedocházelo ke snížení výkonu ve vysokorychlostní mobilitě. Např. WiMAX systémy využívají menší rozestup nosných frekvencí (cca 11 kHz) a jsou více negativně ovlivněny vysokorychlostními podmínkami než systémy LTE. Po aplikaci IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) je signál opět složen a rozšířen o CP (Cyclic Prefix). V CP je obsaženo několik koncových vzorků následujícího OFDM symbolu (obrázek 1). Díky CP dochází k vyloučení mezisymbolových interferencí (ISI), které jinak u vysokorychlostních přenosů způsobují značné problémy. [2]

Obrázek 1 CP + OFDM symbol [2]



OFDMA je schopno v průběhu času přidělovat terminálům (uživatelům) různé pomocné nosné frekvence. Resource block (zdrojový blok) přidělený terminálu systémem se skládá z 12 pomocných nosných frekvencí, z nichž každá se skládá ze 14 symbolů. [2] Na obrázku 2 je znázorněno, jak systém přiděluje zdrojové bloky různým terminálům.

Obrázek 2 OFDMA přidělování zdrojových bloků [7]



3.2 SC-FDMA

Jedná se o velmi podobné modulační schéma jako OFDMA. Jde o přiřazování více terminálů k jednomu společnému komunikačnímu zdroji tzv. carrieru. SC-FDMA lze interpretovat jako lineárně předkódovaný systém OFDMA. Předkódování se provádí tak, že v prvním kroku se provede DFT (Diskretní Fourier Transform – Fourierova transformace) a následně se provede zpracování OFDMA [6]. SC-FDMA bylo vybráno pro svou vysokou efektivitu v uplinku s přihlédnutím k omezení v mobilních zařízeních a jeho schopnost zmírnit příliš vysoké poměry mezi špičkovými a průměrnými výkony (PAPR – Peak to Average Power Ratios), které jsou charakteristické pro OFDMA. Díky tomu bylo dosaženo nižšího vybíjení baterií v mobilních zařízeních. PAPR a jeho hodnota tak představuje kompromis mezi efektivitou výkonu a životností baterie. [2]

Funguje to tak, že na straně přijímače se signál demoduluje, odebere se CP a zesílí se. Výsledek je převeden FFT (Fast Fourier Transform) stejně jako u OFDMA. Na tento výsledek je aplikováno IFFT (Inverse Fast Fourier Transform), čímž získáme časově orientovaný signál. Následně je tento signál odeslán do detektoru, který z něj vytvoří data k přenosu. Je použit jen jeden detektor na jedné nosné frekvenci a není potřeba detekovat bity na více pomocných nosných frekvencích. Sice toto rozprostírání přináší vyšší nároky jak na straně vysílače, tak na straně přijímače, ale také výhodu ve významném snížení poměru PAPR, jak již bylo popsáno výše. [2]

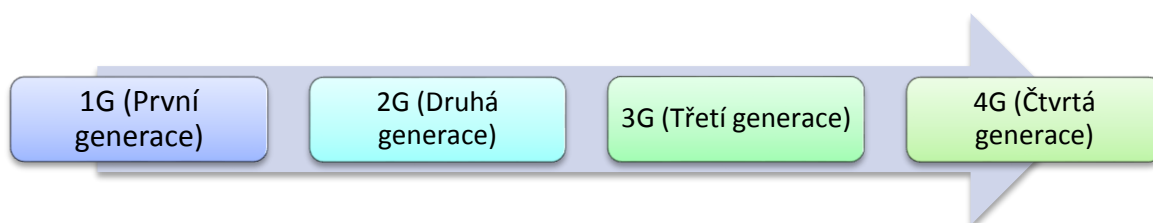
4 EPS základní prvky, rozhraní a identity

Jelikož EPS (Evolved Packet System) je také součástí přístupových sítí mobilních systémů starších generací, je důležitý popis historického vývoje těchto sítí následovaný detailnějším rozbohem EPS. Tato analýza je obsažena v následujícím textu této kapitoly.

4.1 Vývoj mobilních sítí

Mobilní sítě byly vyvíjeny mnoho let. Počáteční systémy, označované jako „sítě první generace“, jsou v současnosti již kompletně nahrazeny sítěmi „druhé generace“ (2G) a „třetí generace“ (3G). V současnosti jsou již mohutně nasazovány sítě „čtvrté generace“ (4G).

Obrázek 3 Vývoj mobilních celulárních sítí



4.1.1 První generace mobilních sítí

První generace (**1G**) mobilních sítí nebyly ještě digitální a tudíž využívaly analogové modulační techniky. Mezi hlavní systémy patřily:

- **AMPS** (Advanced Mobile Phone Systém) – Poprvé použito v roce 1976 v USA. Tento systém se využíval, převážně ve státech Severní a Jižní Ameriky, Ruska a v Asii, s různými druhy problémů. Slabé zabezpečení přenosů, náchylné k hackingu a problémy s klonováním telefonních přístrojů. [1]
- **TACS** (Total Access Communications Systém) – Evropská verze AMPS, ale s nepatrnými modifikacemi včetně použití odlišných frekvenčních pásem. Tento systém se převážně používal ve Velké Británii a v jistých částech Asie. [1]
- **ETACS** (Extended Total Access Communication System) – Vylepšená verze TACS, která umožnila použití většího počtu kanálů a tím i většího počtu uživatelů telefonujících ve stejný okamžik. [1]
- **NMT** (Nordic Mobile Telephone) – Jedná se o analogovou mobilní telefonní síť, vyvinutou telekomunikačními správami Finska, Dánska, Norska a Švédska pro zajištění kompatibilního radiotelefonního systému ve všech těchto státech. Po roce 1981 byly sítě NMT vybudovány právě v těchto zemích, ale brzy se seznam rozšířil o mnoho dalších evropských a asijských zemí. V roce 1991 zavedla firma Eurotel systém NMT 450 také v tehdejší Československu.

Jednalo se o úplně první mobilní síť na našem území, pracující na frekvenci 450 MHz, s šířkou pásma 25 kHz a využívající 180 kanálů. Po ukončení provozu této analogové sítě, byla spuštěna na stejné frekvenci datová bezdrátová síť třetí generace CDMA2000 1xEV-DO.

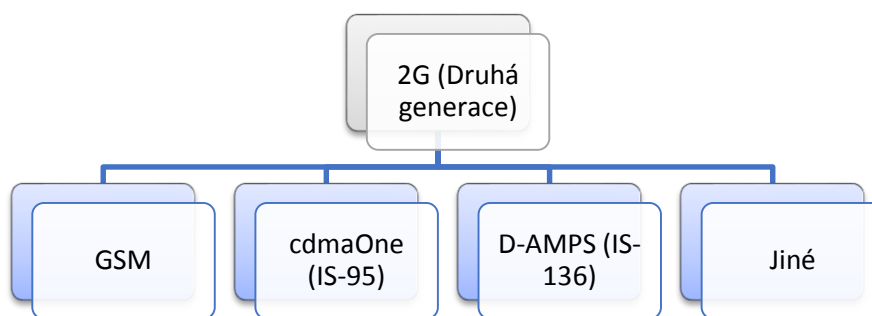
Všechny tyto analogové systémy byly založeny na frekvenční modulaci (FM). Postrádaly jakoukoli bezpečnost, možnost datových přenosů a schopnost mezinárodního roamingu.

4.1.2 Druhá generace mobilních sítí

Druhé generace (**2G**) mobilních sítí už využívají digitální technologie pro vícenásobné připojení. Např. TDMA (Time Division Multiple Access) a CDMA (Code Division Multiple Access). Obrázek 4 ilustruje některé z druhů systémů druhé generace včetně:

- **GSM** (Global System for Mobile communications) – Nejúspěšnější a nejrozšířenější ze všech technologií 2G. Tato technologie byla původně vyvinuta, dle standardů ETSI (European Telecommunications Standards Institute), pro Evropu a konstruována pro provoz ve frekvenčních pásmech 900MHz a 1800MHz. Nyní má celosvětovou podporu a navíc je k dispozici i v jiných frekvenčních pásmech, jako např. 850MHz a 1900MHz. Mobilní telefony jsou charakteristické tím, že jsou vybaveny přijímacími moduly s možností volby více frekvenčních pásem tzv. tri band (tři pásma) či quad band (čtyři pásma). GSM systém používá TDMA a jako takový využívá 8 timeslotů v jednom 200kHz radiovém pásmu (radio carrier). [1]
- **cdmaOne** – Jedná se o CDMA systém založený na IS-95 (Interim Standard 95). Využívá techniku rozšířeného spektra, která obsahuje směs kódů a časování k identifikaci buněk a kanálů. Šířka pásma je 1,25 MHz. [1]
- **D-AMPS** (Digital – Advanced Mobile Phone System) – Založeno na IS-136 (Interim Standard 136). Jedná se o účinné vylepšení AMPS. Podporuje techniku přístupu TDMA. D-AMPS je využíváno převážně v Severní Americe, na Novém Zélandu a také v určitých částech Asie – Pacifického regionu. [1]

Obrázek 4 Druhá generace mobilních systémů [1]



Kromě toho, že jsou sítě 2G již digitální, přinášejí výrazné zlepšení v oblasti kapacity a bezpečnosti. Nabízejí další přídavné služby, jako jsou krátké textové zprávy neboli SMS (Short Message Service) a datové přenosy – CSD (Circuit Switched Data).

2,5G Sítě

Většina sítí 2G byla dovyvinuta a rozšířena o další standardy a služby. Např. GSM bylo rozšířeno o službu GPRS (General Packet Radio System), pro podporu datového paketového přenosu a zvýšení přenosové rychlosti. Jelikož GPRS nesplňuje podmínky pro síť 3G (třetí generace), je obvykle označováno jako síť 2,5G. Porovnání sítí 2G a 2,5G je zřejmé z tabulky 2. [1]

2,75G Sítě

GSM/GPRS systémy byly rozšířeny o datovou službu EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution). EDGE je prezentováno téměř čtyřnásobnou propustností datového toku, než poskytuje GPRS. Teoretická přenosová rychlost 473,6 kbit/s již umožňuje mobilním operátorům nabízet multimediální služby. Stejně jako GPRS, tak i EDGE služby jsou řazeny do kategorie sítí 2G resp. 2,75G, jelikož opět nesplňují požadavky kladené na datové přenosy v sítích 3G. [1]

Tabulka 2 Přenosové rychlosti v sítích 2G [1]

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

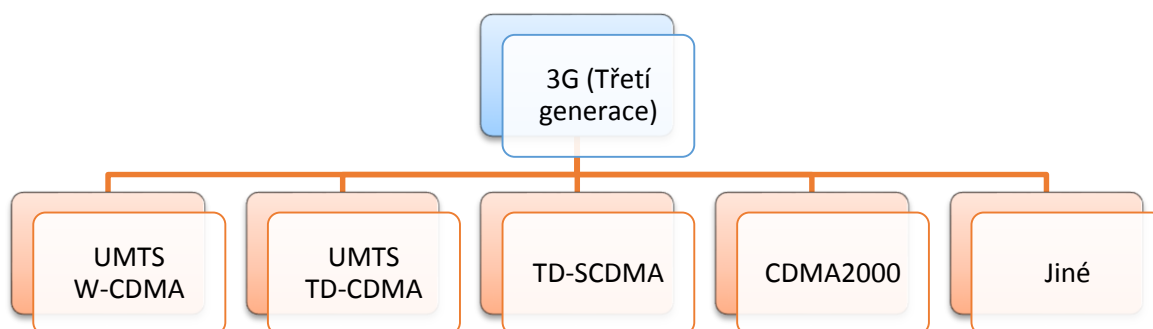
4.1.3 Třetí generace mobilních sítí

Sítě třetí generace (**3G**), jsou definovány dle standardů IMT-2000 (International Mobile Telecommunications – 2000). Jsou definovány schopností poskytnout vyšší přenosové rychlosti oproti sítím 2G. Pro stacionární typy datových přenosů je možné dosáhnout přenosových rychlostí až 2 Mb/s. V jedoucím vozidle pak až 384 kbit/s. [1] Hlavní technologie 3G jsou znázorněny na obrázku 5.

Obsahují následující služby:

- W-CDMA (Wideband CDMA) – Vyvinuto již dle standardů 3GPP (Third Generativní Partnership Project). Existuje mnoho variací tohoto standardu, včetně TD-CDMA a TD-SCDMA. Vývoj W-CDMA vychází převážně z GSM/GPRS sítí. Jedná se o systém na bázi FDD (Frequency Division Duplex), zaujímající 5MHz pásmo. Současná nasazení jsou především na frekvenci 2.1GHz. Provoz na nižších frekvencích je samozřejmě také možný, např. UMTS1900, UMTS900, UMTS850 atd. W-CDMA podporuje hlasové a multimediální služby s počáteční teoretickou rychlostí 2 Mbit/s. Většina poskytovatelů služeb původně nabízela rychlost „jen“ 384 kbit/s na uživatele. Tato technologie se neustále vyvíjí a následující 3GPP releases, dokázaly zvýšit přenosové rychlosti až na 40 Mbit/s. [1]
- TD-CDMA (Time Division CDMA) – Nejčastěji označováno jako UMTS TDD (Time Division Duplex). Je součástí specifikace UMTS s částečně omezenou podporou. Systém využívá kombinaci CDMA a TDMA, tak aby co nejefektivněji alokoval zdroje. [1]
- TD-SCDMA (Time Division Synchronous CDMA) – Společně vyvinuto firmou Siemens a CATT (China Academy of Telecommunications Technology). TD-SCDMA se odkazuje na specifikace UMTS a je často označováno jako UMTS-TDD LCR (Low Chip Rate). Disponuje nízkou mobilitou připojení. Díky této vlastnosti je, stejně jako TD-CDMA, jedno z nejvhodnějších řešení v mikro a piko buňkách, pokrývajících signálem velmi malá území. [1]
- CDMA2000 – Jedná se o standard vícepásmové technologie, využívající CDMA. Jde o soubor standardů CDMA-EVDO (Evolution-Data Optimized), který je vyvinut v různých „revizích“, lišících se přenosovými rychlostmi (např. Rev.0, Rev.A, Rev.B, atd.). Je třeba poznamenat, že CDMA2000 je zpětně kompatibilní s cdmaOne. [1]

Obrázek 5 Třetí generace mobilních systémů [1]



- WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) – Jedná se o další bezdrátovou technologii, která splňuje požadavky IMT2000 3G. Air interface je součástí standardu IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.16. Tento standard definuje PTP (Point To Point) a PTM (Point To Multipoint) systémy. Později rozšířeno o poskytování mobility a větší flexibility. Pro podporu vývoje, kompatibility a spolupráce mezi výrobci WiMAX technologie vznikla organizace „WiMAX Forum“. Používáno převážně v Severní Americe. [1]

4.1.4 Čtvrtá generace mobilních sítí

Čtvrtá generace (**4G**) celulárních bezdrátových systémů musí splňovat požadavky stanovené podle ITU (International Telecommunication Union), jako součást IMT Advanced (International Mobile Telecommunications Advanced). V tabulce 3 jsou uvedeny určující funkce a požadavky dle IMT Advanced, umožňující reagovat na měnící se potřeby uživatelů sítí 4G. [1]

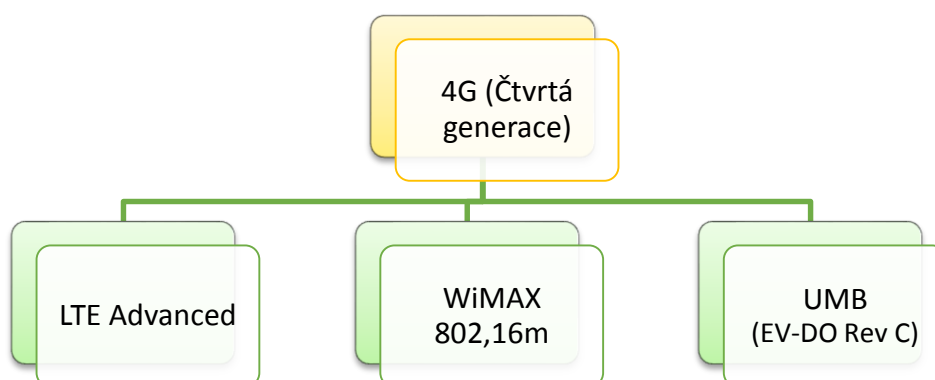
Tabulka 3 IMT Advanced určující funkce a požadavky [1]

IMT Advanced určující funkce a požadavky
Celosvětově udržitelná shodnost funkcionalit, při zachování flexibility podpory širokého spektra služeb a aplikací, způsobem co nejefektivnějšího vynakládání finančních prostředků.
Kompatibilita služeb v rámci IMT a 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).

Sítě 4G obsahují tyto hlavní systémy:

- LTE (Long Term Evolution) – součást rodiny specifikací dle 3GPP. Nesplňuje však všechny funkce IMT Advanced a jako takové je někdy označováno jako 3.9G. Teprve LTE Advanced je součástí pozdějších 3GPP Releases a bylo navrženo tak, aby splňovalo požadavky na síť 4G. [1]
- WiMAX 802,16m – IEEE a WiMAX Forum označují 802,16m jako další variantu sítě 4G. [1]
- UMB (Ultra Mobile Broadband) – Označováno jako EV-DO Rev C. Je součástí 3GPP2 specifikací. Nicméně většina výrobců telco technologií a poskytovatelů služeb se rozhodla podporovat spíše LTE namísto UMB. [1]

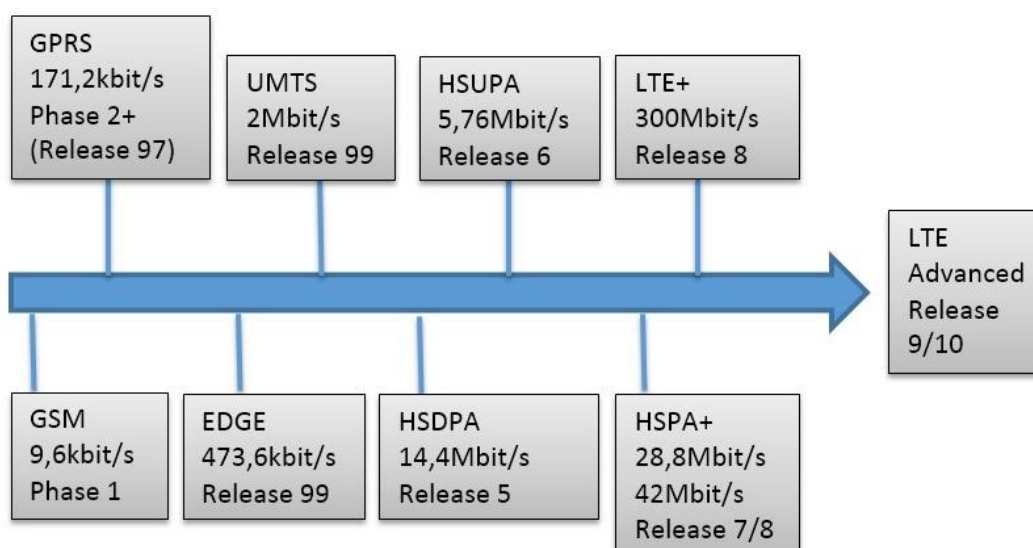
Obrázek 6 Čtvrtá generace mobilních sítí - tři hlavní systémy [1]



4.1.5 3GPP Releases

Vývoj GSM, GPRS, EDGE, UMTS, HSPA a LTE je známý v etapách, které jsou nazývány jako 3GPP Releases. Dodavatelé hardwaru a vývojáři softwaru používají tyto releasy jako součást svého vývojového plánu. Obrázek 7 ukazuje hlavní 3GPP Releasy, zahrnující převážně vylepšení rádiového rozhraní.

Obrázek 7 3GPP Releases [1]



3GPP Releasy zlepšují nejen rádiové rozhraní sítě, ale i jiné aspekty. Například Release 5 odstartoval zavedení IMS (IP Multimedia Subsystem), v „core“ částech telekomunikačních sítí.

4.1.5.1 Pre-Release 99 [1]

Tzv. Pre-Release 99 byl poprvé zaveden již při spuštění datové služby GPRS v GSM sítích. Mezi hlavní fáze a 3GPP Releases ve vývoji GSM patří:

- GSM Phase 1
- GSM Phase 2
- GSM Phase 2+ (Release 96)
- GSM Phase 2+ (Release 97)
- GSM Phase 2+ (Release 98)

4.1.5.2 Release 99

Nasazení 3GPP Release 99 je spojeno se zavedením UMTS a také se zdokonalováním EDGE a GPRS. UMTS již obsahuje všechny funkce potřebné pro splnění požadavků na IMT-2000, které jsou definovány ITU. UMTS již podporuje CS (Circuit Switched) hlasové a video služby. Dále podporuje PS (Packet Switched) datové služby, které využívají běžné i vyhrazené kanály. Prvotní rychlosti, pro datový přenos v UMTS systémech, byly 64 kbit/s, 128 kbit/s a 384 kbit/s. Pozn.: teoretické maximum je 2 Mbit/s. [1]

4.1.5.3 Release 4

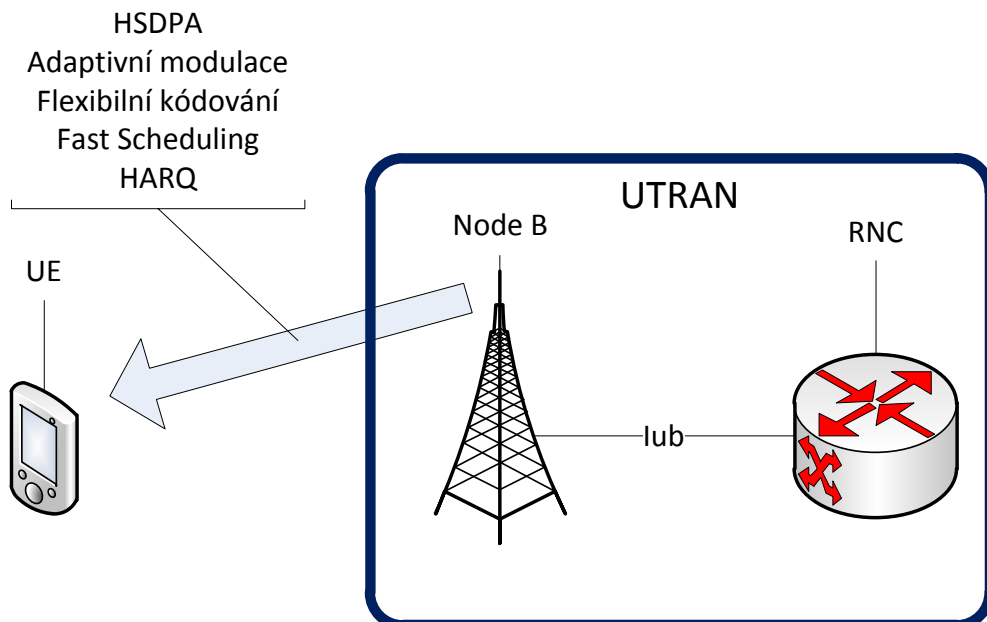
Release 4 obsahuje další vylepšení „core“ částí telekomunikačních sítí. Navíc přináší významné vylepšení v rádiovém přístupu v podobě nezávislosti kanálů. Zavádí se pojem „All IP Network“ a poskytovatelé mobilních služeb jsou nuceni zavádět nové segmenty CORE a RAN částí sítě. Například centrální prvek MSC (Mobile Switching Centre) neboli ústředna je nahrazen prvky s názvem: MSC Server a MGW (Media Gateway). V RAN části sítě je nahrazen prvek BSC (Base Station Controller) novým typem a to RNC (Radio Network Controller). Takto zdokonalená síť vede k lepšímu využití a zdokonalení technických možností a také ke zvýšení konkurenčního boje mezi výrobcí telco zařízení. [1]

4.1.5.4 Release 5 [1]

Release 5 představuje první významné rozšíření Air Interface UMTS dle specifikace HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), vedoucí k zvýšení kapacity a spektrálnímu zefektivnění. Na obrázku 8 jsou znázorněny některé z hlavních funkcí Release 5, mezi které patří:

- Adaptivní modulace – Kromě UMTS modulace QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), obsahuje HSDPA také podporu pro 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation).
- Flexibilní kódování – na základě zpětné vazby od mobilního zařízení, ve formě CQI (Channel Quality Indicator), je základnová stanice UMTS neboli Node B, schopno měnit rychlost efektivního kódování a tím zvýšit účinnost systému.
- Fast Scheduling (rychlé plánování) – HSDPA obsahuje 2ms TTI (Time Transmission Interval), díky kterému může, Node B rychle a efektivně alokovat zdroje pro mobilní zařízení.
- HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request) – Je použito v případě neúspěšného doručení paketu do UE (User Equipment) neboli do mobilního telefonu. Tato funkce zlepšuje načasování opakovaného přenosu (retransmission timing), čímž dochází k nižší závislosti na RNC (Radio Network Controller).

Obrázek 8 HSDPA (Release 5) [1]



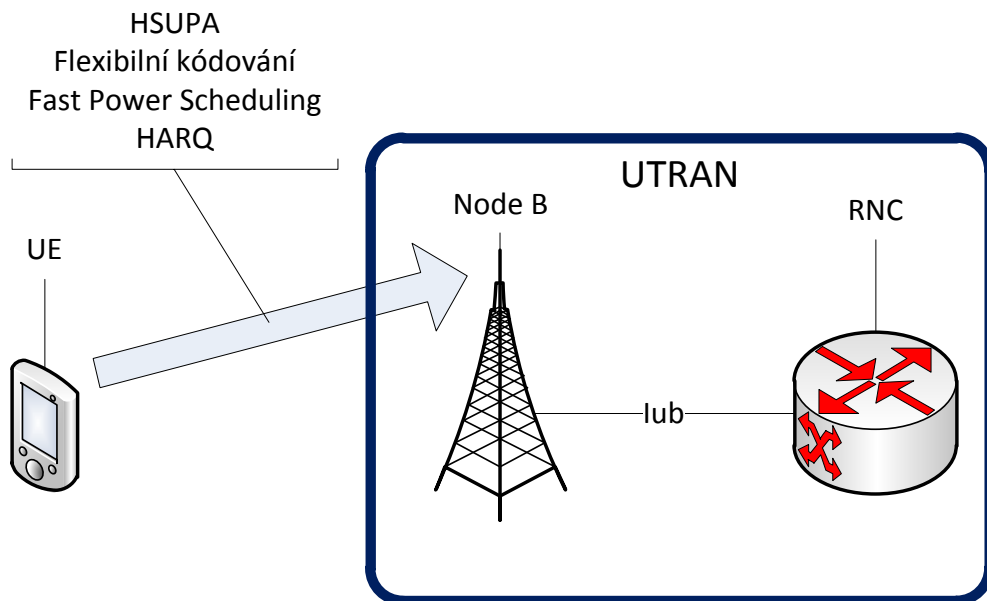
4.1.5.5 Release 6

Release 6 přidává další funkce. Díky službě HSUPA (High Speed Uplink Packet Data) se stává velice zajímavý pro další vývoj přístupové sítě RAN. Termín HSUPA je dosti rozšířený, avšak v terminologii 3GPP je znám taktéž pod pojmem "Enhanced Uplink". Stojí určitě za zmínku, že služby HSDPA a HSUPA jsou provozovány společně a tak je spíše známější a také více používaný termín HSPA (High Speed Packet Access). [1]

HSUPA stejně jako HSDPA přidává nové funkce pro zlepšení přenosu paketových dat. Na obrázku 9 jsou znázorněny tři hlavní vylepšení, obsažené v HSPA:

- Flexibilní kódování – HSUPA má schopnost dynamicky změnit kódování, a tím zlepšit celkovou účinnost systému [1].
- Fast Power Scheduling – Zásadním faktem u HSUPA je, že disponuje metodou plánování výkonu pro různé mobilní terminály. Tato funkce plánování se používá buď ve 2ms nebo 10ms intervalu TTI (Time Transmission Interval) [1].
- HARQ – HSUPA stejně jako HSDPA také využívá HARQ. Hlavní rozdíl je v relaci časování pro opakované přenosy (retransmise) [1].

Obrázek 9 HSUPA (Release 6) [1]



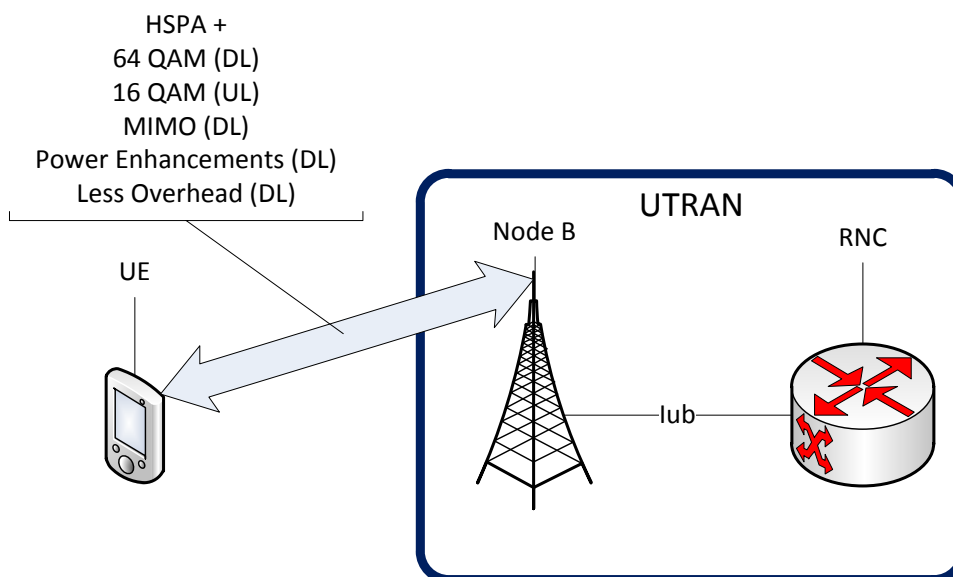
Vylepšení obsažená v Release 6 nejsou omezena pouze na službu HSUPA. Mimo jiné, je v tomto releasu obsažena např. technologie GAN (Generic Access Network), umožňující použití technologií alternativního rádiového přístupu. [1]

4.1.5.6 Release 7 [1]

Hlavní vylepšení pro RAN v Release 7 je HSPA+. Stejně jako HSDPA a HSUPA, přináší další vylepšení přenosu paketových dat. Na obrázku 10 jsou znázorněny klíčové funkce obsažené v Release 7:

- 64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation = kvadrurní amplitudová modulace) – Jde o druh více stavové digitální modulace. Číslice 64 znamená, že amplituda a fáze pomocné nosné vlny mohou nabývat 64 různých hodnot a přenášejí tedy současně 6 bitů ($2^6 = 64$). Je k dispozici v DL (downlink) a umožňuje službě HSPA+ dosahovat teoretické rychlosti 21.6 Mbit/s.
- 16 QAM – Kvadrurní amplitudová modulace umožňující přenášet současně 4 bity ($2^4 = 16$). Je k dispozici v UL (Uplink), a umožňuje dosáhnout teoretické rychlosti 11,76 Mbit/s.
- MIMO (Multiple Input Multiple Output) – Přináší hlavně zvýšení signálového zisku. Eliminují se vícenásobné odrazy signálu a je redukován šum. Nabízí teoretickou rychlost downlinku 28,8 Mbits/s. Termín MIMO představuje kombinaci přijímacích a vysílacích antén.
- Power Enhancements – Vylepšení výkonu. Do těchto vylepšení bylo zahrnuto mimo jiné také CPC (Continuous Packet Connectivity), obsahující např. DTX (Discontinuous Transmission), DRX (Discontinuous Reception) a HS-SCCH (High Speed – Shared Control Channel). Použití těchto funkcionalit má za následek snížení odběru elektrické energie a tudíž nižší vybíjení akumulátorů v mobilních přístrojích.
- Less Overhead – Nižší zatížení. Jde o vylepšení downlinku na MAC (Medium Access Control) vrstvě, při užití MIMO konfigurace. V praxi to znamená, že je na této vrstvě potřeba méně hlaviček. Následně se snižuje zatížení, a tím se zlepšuje účinnost celého systému.

Obrázek 10 HSPA+ (Release 7) [1]



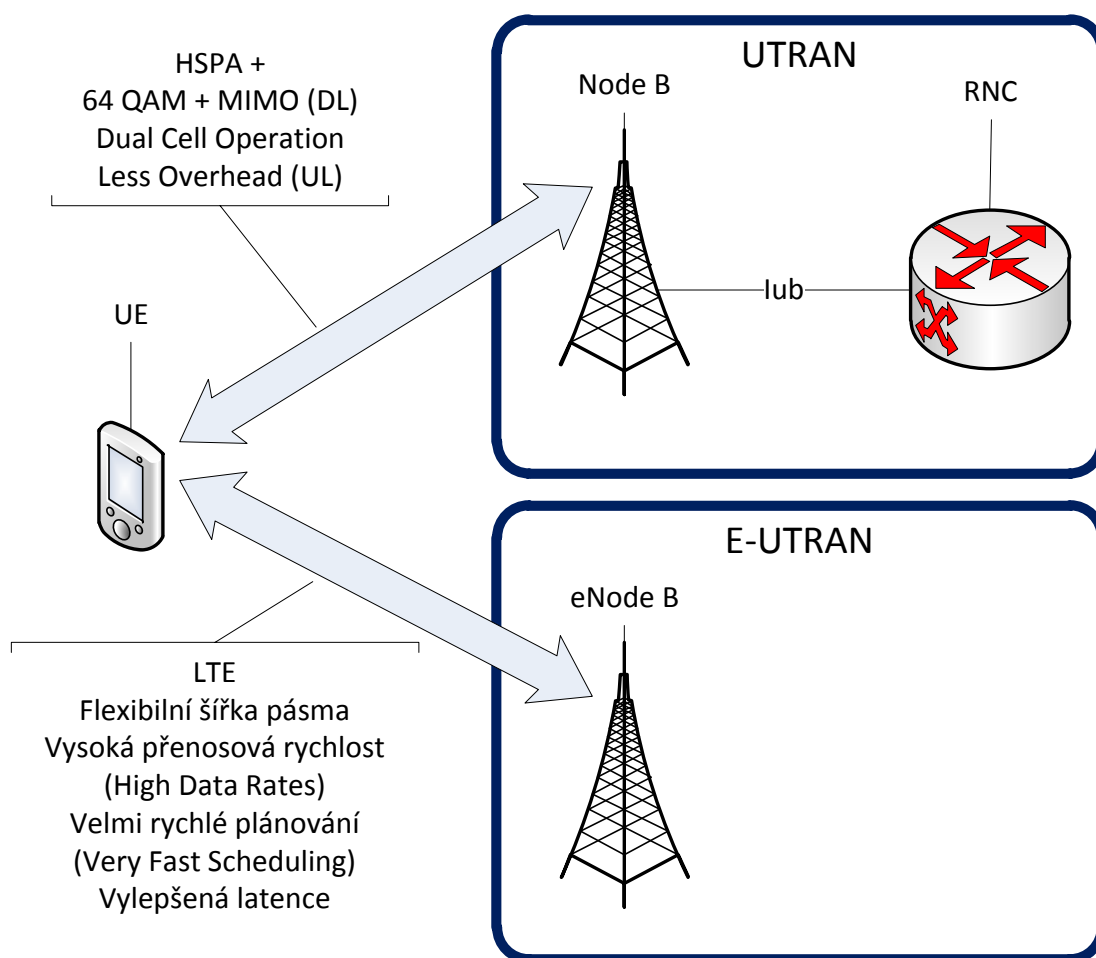
4.1.5.7 Release 8 [1]

V Release 8 je opět přidáno mnoho nových RAN funkcionalit jako např. další vylepšení HSPA+. Nicméně klíčové je zařazení LTE (Long Term Evolution). Na obrázku 11 jsou znázorněny některé z hlavních funkcí Release 8 HSPA+ a LTE.

Release 8 obsahuje tyto klíčové funkce:

- 64 QAM a MIMO – Release 8 umožňuje kombinaci 64 QAM a MIMO. Touto kombinací lze dosáhnout zvýšení teoretické rychlosti na 2×21.6 Mbit/s tj. 42 Mbit/s.
- Dual Cell Operation – DC-HSDPA (Dual Cell – HSDPA) – Umožňuje mobilním zařízením efektivně využívat dva 5 MHz UMTS carryery. Pozn.: V Release 8 nejsou mobilní zařízení schopna kombinovat MIMO a DC-HSDPA.
- Less Uplink Overhead – Nižší zatížení Uplinku. Přináší snížení zatížení na Uplinku, podobně jako Release 7 na Downlinku.

Obrázek 11 Release 8 HSPA+ a LTE [1]



LTE přináší novou verzi rádiového přístupu v podobě E-UTRAN (Evolved – Universal Terrestrial Radio Access Network). E-UTRAN obsahuje jednotlivé eNode B a zajišťuje komunikaci, pomocí UP (User Plane) a CP (Control Plane) protokolu, mezi základnovou stanicí a core částí sítě, viz obrázek 13. Protokol Control Plane, by se dal jednoduše přirovnat k signalizaci a User Plane k uživatelským datům, na která jsou aplikována různá bezpečnostní opatření (Security Policy). ENode B v E-UTRAN spolu navzájem komunikují pomocí rozhraní, které se nazývá X2. ENode B jsou dále propojena pomocí dalšího rozhraní S1 do EPC (Evolved Packet Core), konkrétně do MME (Mobility Management Entity) a S-GW (Serving Gateway). Rozhraní do MME je pojmenováno „S1-MME“ a „S1-U“ do S-GW.

4.1.5.8 Release 9 a následující

I když je systém LTE obsažen již v Release 8, je i nadále rozvíjen v Release 9. V Release 9 je obsaženo velké množství funkcí a jedna z nejdůležitějších je podpora dalších frekvenčních pásem. [1]

Obrázek 12 Release 9 a další



Release 10 obsahuje 3GPP standardizace pro LTE Advanced. Obsahuje úpravy a modifikace vedoucí k zjednodušení poskytování služeb v sítích 4G. [1]

4.2 EPS

Evolved Packet System (EPS) je souhrnný název pro kompletní přístupovou síť, tzv. RAN (Random Access Network) a část „core“ prvků systému LTE. Termín EPS byl zaveden již v době, kdy byly poprvé definovány standardy pro síť čtvrtých generací dle 3GPP. V EPS jsou obsaženy prvky přístupové sítě (eNode B). Dále elementy centrální části sítě EPC (Evolved Packet Core): MME (Mobile Management Entity), Serving Gateway (SGW), Packet Data Network Gateway (PDN-GW); termíny podrobněji vysvětleny v dalších částech této práce. Systém má také za úkol zprostředkovat a umožnit výběr uživatelskému terminálu připojení k ostatním sítím, nejen k LTE (např. síť 3G).

4.2.1 Základní identifikátory v EPS

4.2.1.1 IMSI (International Mobile Subscriber Identity)

Jde o unikátní číslo přidělené mobilním operátorem každé SIM kartě, provozované v mobilní síti. IMSI číslo je mobilním telefonem odesláno do „core“ části sítě. V interních systémech operátora dále slouží k dohledání detailů o uživateli. Kvůli zvýšení bezpečnosti a možnostem odposlechu na úrovni radiových vln je IMSI zasíláno co nejméně a často je nahrazeno náhodně generovaným TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity). [20]

IMSI většinou obsahuje 15 číslic: první tři reprezentují kód země (MCC – Mobile Country Code), další číslice kód mobilního operátora (MNC – Mobile Network Code). MNC se skládá většinou ze dvou (v Evropě) nebo ze tří (Severní Amerika) číslic. Ostatní číslice reprezentují unikátní kombinaci jednotlivých uživatelských účtů. [20]

IMSI je v souladu se standardem E. 212 Mezinárodní telekomunikační unie (ITU).

4.2.2 USIM (Universal Subscriber Identity Module)

Vývoj mobilních datových služeb v sítích 3G a 4G přinesl další generaci SIM karet, která se nazývá USIM. Je bezpodmínečně nutné použití karty tohoto typu pro fungování uživatelských terminálů v systémech LTE. Avšak nejen v sítích čtvrté generace jsou tyto karty použitelné. Samozřejmostí je zpětná kompatibilita s mobilními systémy předchozích generací.

4.2.3 Identifikace eNode B a EPC

Přístupové body tzv. eNode B jsou jednoznačně identifikovány pomocí ECGI (Evolved Cell Global Id). Prvky EPC používají identifikaci na síťové úrovni. Jde o IP adresy jednotlivých gatewayí, jména přístupových bodů tzv. APM a IP Security policy.

5 Prostředky a implementace přístupové sítě LTE – eNB

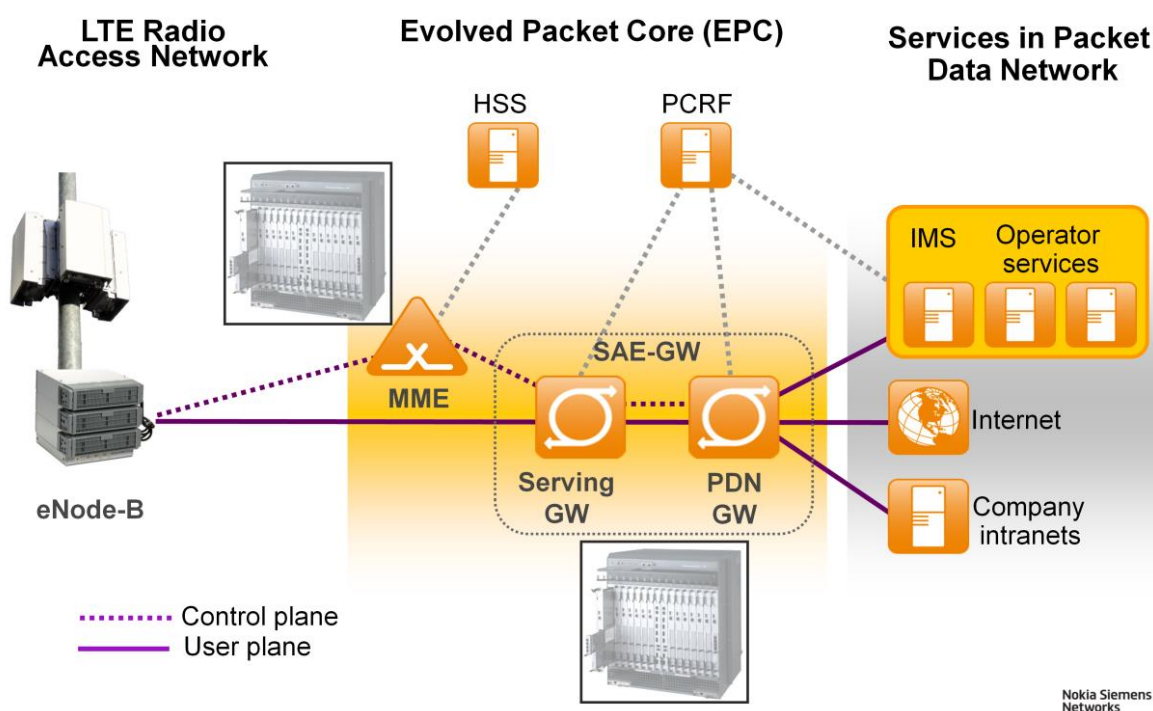
5.1 Posouzení technologií od různých výrobců

Tato část je věnována posouzení technologií a technik používaných v přístupových sítích systému LTE od dvou největších dodavatelů v České republice. Jedná se o firmy Nokia Siemens Networks a Huawei, jejichž technologie využívají všichni tři současní mobilní operátoři v ČR.

V LTE systému je technologie přístupové sítě RAN v podstatě tvořena pouze základnovými stanicemi (eNode B), jak je vidět na obrázku 13. Tato síť je celá spravována z jednoho místa a to z MME (Mobility Management Entity). MME je klíčový uzel přístupové sítě. Tento element se stará o to jak se chová mobilní terminál ve stavu nečinnosti, provádí vyhledávání a je zodpovědný za přihlášení a odhlášení terminálu ze sítě. Dále také určuje jakou Serving Gateway má terminál použít při počátečním připojení a dále v průběhu připojení. Také se stará o korektní změnu eNode B při pohybu terminálu (handover). Ve spolupráci s HSS (Home Subscriber Server) je zodpovědný za uživatelskou autentizaci.

Pomocí proprietárních systémů dodavatelských firem Nokia Siemens Network OSS (Operation & Support System) NetAct a iManager M2000 firmy Huawei je možné ovládat celou přístupovou síť se všemi eNode B. Prostřednictvím těchto systémů lze např. integrovat nová eNode B do sítě LTE, modifikovat jejich vysílací a přijímací parametry, provádět softwarové upgrady a updaty, nastavovat sousedství pro korektní handovery a dohlížet v NMC (Network Management Center) alarmová hlášení. Přestože oba systémy dokáží spolupracovat s prvky i od jiných dodavatelů, obvykle jsou používány separátně v rámci jednoho propojeného LTE systému.

Obrázek 13 LTE síťová architektura dle 3GPP Rel. 8 [8]



5.2 Nokia Siemens Network OSS NetAct [9]

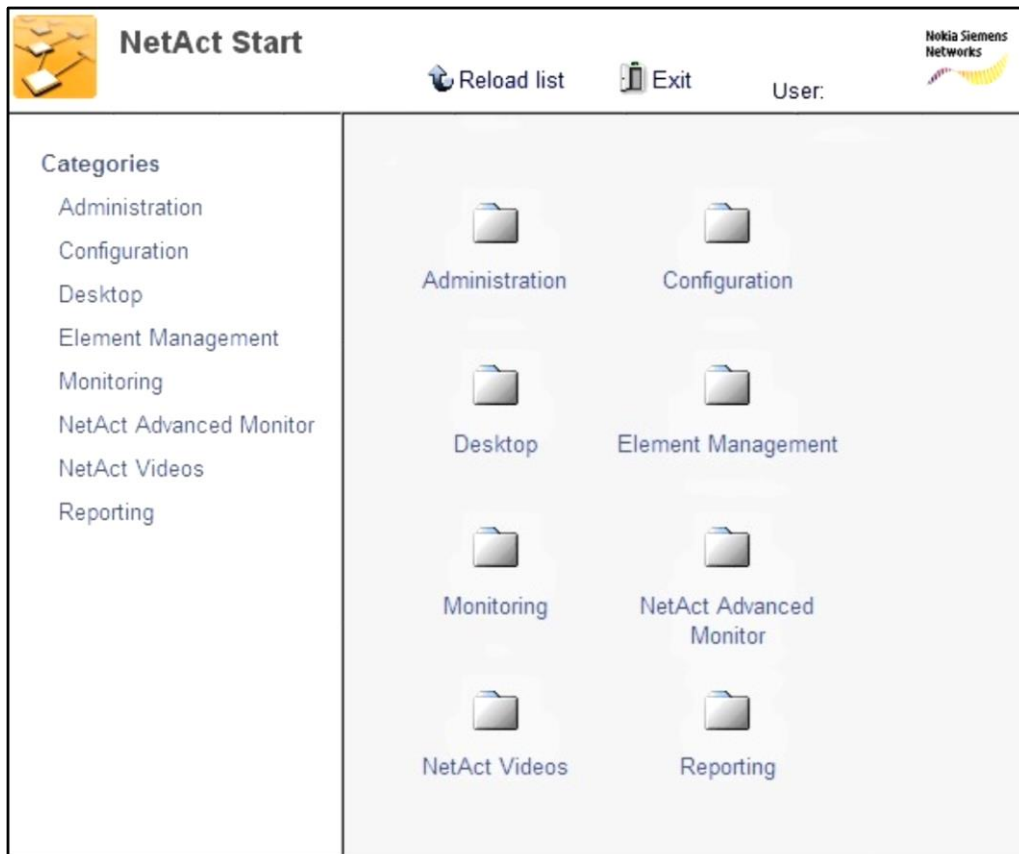
Systém OSS NetAct od Nokia Siemens Networks prošel dlouholetým vývojem a jeho první nasazení bylo už v sítích druhé generace (2G). Současná verze tohoto nástroje je hlavním produktem firmy v oblasti NMS (Network Management System). Nabízí ucelený přehled a plnou kontrolu nad různými mobilními širokopásmovými technologiemi, LTE včetně. Systém je virtualizován, což znamená, že je zachována plná kontinuita v případě selhání hardwaru a nedochází ke zbytečným prostojům při softwarových upgradech. Poskytuje jeden ucelený pohled na celou síť s jednoduchou indikací kritických stavů a zobrazení maxima informací s nimi spojených.

NetAct obsahuje následující nástroje:

- NetAct Monitor – centralizovaný monitorovací systém.
- NetAct Performance Manager – slouží k optimalizaci sítě a monitorování zatížení.
- NetAct Configurator – konfigurační nástroj s možností ukládání před konfiguračních obrazů sítě, sloužící jako záloha pro případný návrat (Rollback).
- NetAct Administrator – umožňuje spravovat síťové prvky a zasahovat do jejich hardwarové i softwarové konfigurace z jednoho centrálního místa. Nabízí také zálohování a obnovení funkčnosti.
- Nokia Cloud Application Manager – automaticky upravuje nasazení a správu aplikací, které jsou založeny na principu cloudu. Tzn. pokud NSN vydá nějaké aktualizace, pro aktuálně instalované prvky, automaticky je stáhne a nainstaluje.
- Nokia Network 360 – poskytuje jednotný a ucelený obraz na všechna provozní data aktuálně nainstalovaných síťových prvků.

Následující obrázky demonstrují ukázky nejčastěji užívaných nástrojů NetAct, sloužících k běžným provozním operacím.

Obrázek 14 NetAct - Úvodní stránka[18]

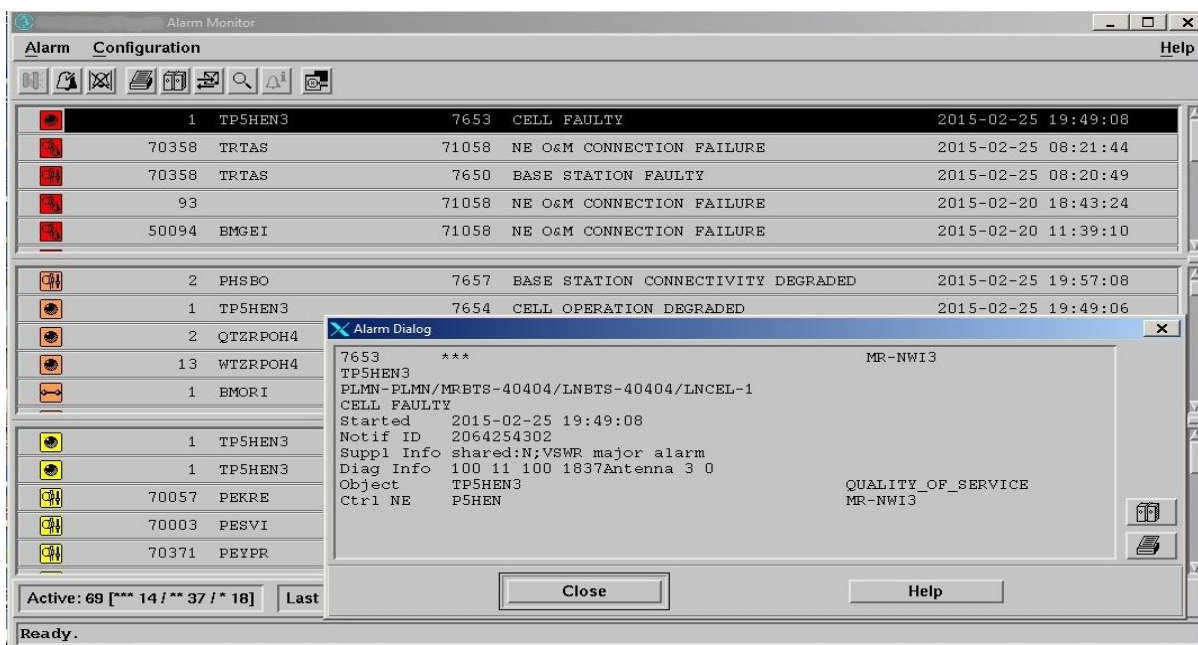


Na obrázku 14 je hlavní stránka systému NetAct. Zde jsou znázorněny jednotlivé sekce s nástroji, z kterých si konkrétní uživatel vybírá takový, s kterým chce pracovat. K přístupu do konkrétních složek a ke spuštění konkrétních nástrojů musí mít uživatel oprávnění, které mu je přiděleno systémovým administrátorem.

5.2.1 Monitoring

V nástroji Monitoring (Alarm Monitor), viz obrázek 15, je velmi dobrá orientace. Jsou zde znázorněny aktivní alarmy, které jsou barevně odlišeny dle jejich důležitosti. Červenou barvou s nejvyšší prioritou kritické (critical), oranžovou hlavní (major) a žlutou ty s nejnižší prioritou (minor). Po provedení dvojkliku na konkrétním alarmu se otevře okno s podrobnějšími informacemi o tomto alarmu (supplementary info).

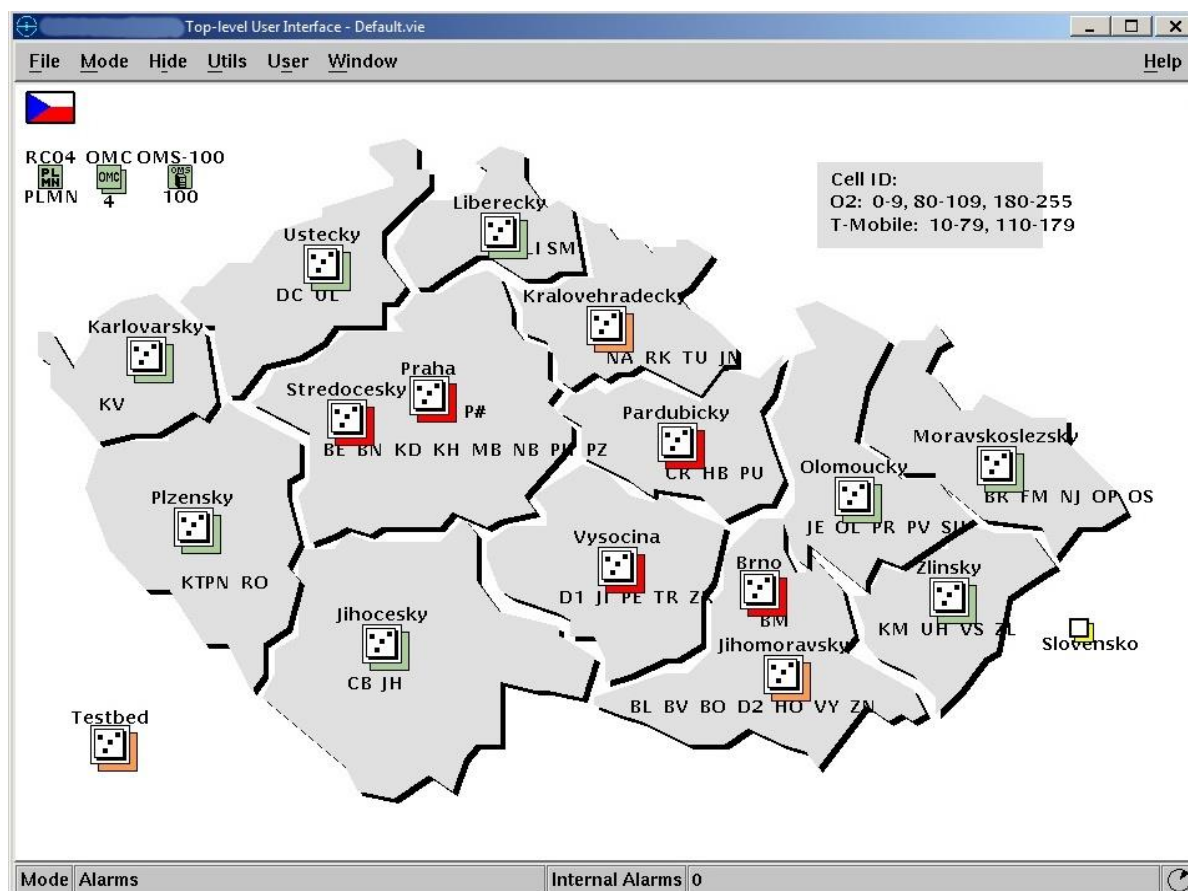
Obrázek 15 NetAct - Alarm Monitor[18]



5.2.2 Top Level User Interface

Podává kompletní informace o stavu sítě. V případě obrázku 16 je znázorněna mapa České republiky s jednotlivými kraji (subview). Ikona každého kraje je podbarvena dle nejvyšší priority alarmu v konkrétním subview obsaženém. Grafika je modifikovatelná a záleží jen na administrátorovi, jak ji při implementaci připraví pro pozdější použití.

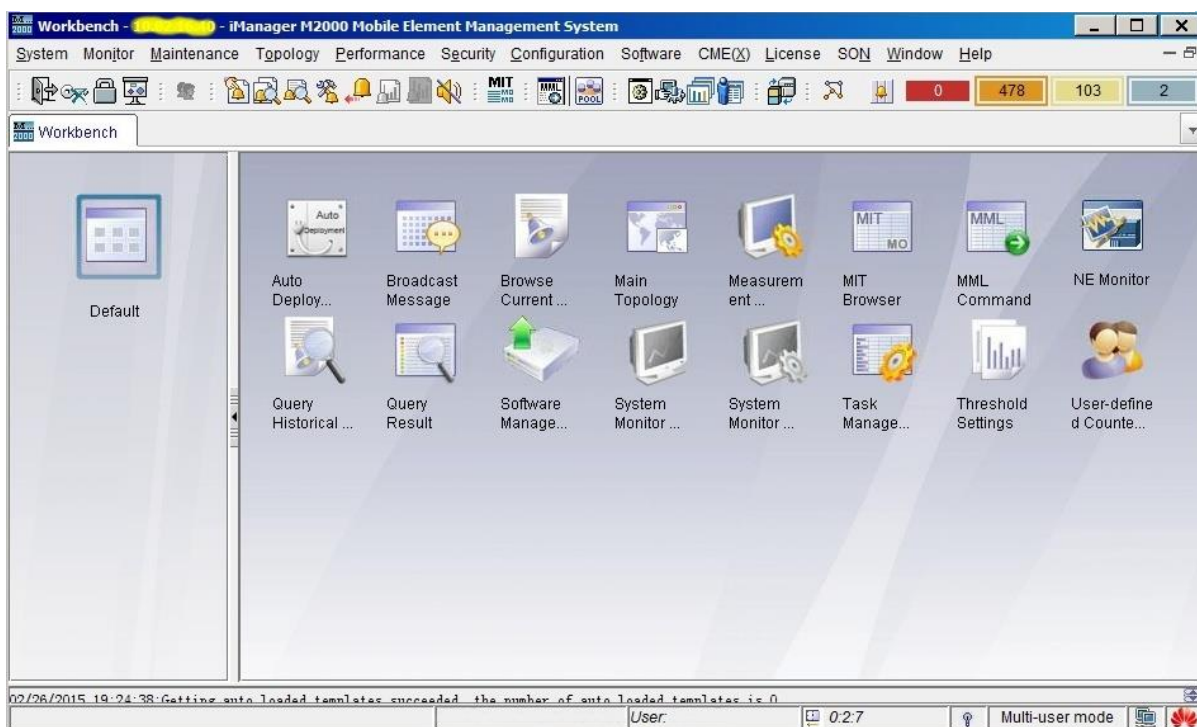
Obrázek 16 Top Level User Interface[18]



5.3 Huawei iManager M2000 – Mobile Element Management System

Ještě před pár lety převládala k produktům čínské státní telekomunikační firmy Huawei velká nedůvěra. Po prvotních nezdarech se ovšem její produkty v oblasti telekomunikační techniky natolik zlepšily, že dnes je nakupují i ti největší světoví operátoři. Jeden z opravdu velmi dobře vyvinutých produktů je právě iManager M2000. Podobně jako OSS NetAct od Nokia Siemens Network poskytuje operátorům centralizovanou, snadno použitelnou a vysoce efektivní platformu pro kompletní správu mobilních sítí. Sjednocením různých síťových ovládacích prvků do jedné platformy, přispělo ke zlepšení kvality sítě. M2000 disponuje funkcemi pro správu sítě, jako jsou konfigurace, nastavování a sledování výkonu, bezpečnost a správa přidružených systémů. Je ideální pro řízení multi standardních rádiových přístupových sítí (GSM / UMTS / LTE), core sítí, a IMS (IP Multimedia subsystem). [10]

Obrázek 17 iManager M2000 Current Alarm Browser [18]



M2000 obsahuje mnoho funkcí, ale dvě z nich jsou asi nejdůležitější a v praxi nejvíce používané. První z nich je Current Alarm Browser, viz obrázek 18. Jedná se o zobrazovač aktivních alarmů napříč celou mobilní sítí a je to nejdůležitější nástroj pro dohledová centra telekomunikačních operátorů. Priority aktivních alarmů jsou barevně rozlišeny stejně jako v nástroji Monitoring od dodavatele Nokia Siemens Network a navíc je zde přidána kategorie s nejnižší prioritou tzv. Upozornění (Warning), která má barvu šedou. Druhým velice důležitým a nejvíce využívaným nástrojem v provozních odděleních je Main Topology, viz obrázek 19. Poskytuje ucelený pohled na aktuálně instalovanou bázi síťových elementů. Funkčně se jedná o jistý druh rozcestníku pro všechny další nástroje obsažené v M2000.

Obrázek 18 iManager M2000 Current Alarm Browser [18]

Severity	Alarm ID	Name	NE Type	Alarm Source	MO Name	Location Information
Minor	14001	S1ap Link Down	USN	USN1UTB	USN1UTB	SubrackNo=1, SlotNo=0, ProcType=SGP, ProcNo=3, MCC=230, MNC=02, EnodeBType=MAC
Minor	14001	S1ap Link Down	USN	USN2VID	USN2VID	SubrackNo=0, SlotNo=4, ProcType=SGP, ProcNo=5, MCC=231, MNC=06, EnodeBType=MAC
Minor	29246	Cell Simulated Load Startup	BTS3900 LTE	P8BUL	Local cell ident.	Local Cell id=1, Cell Name=TP8BUL4
Minor	26757	RET Antenna Running Data and Configuration Mismatch	DBS3900 LTE	P7BUB	P7BUB	ALD No =0, ALD Info =(ALD_0)KACSF5101422]
Minor	14001	S1ap Link Down	USN	USN1UTB	USN1UTB	SubrackNo=1, SlotNo=3, ProcType=SGP, ProcNo=5, MCC=230, MNC=02, EnodeBType=MAC
Warning	26819	Data Configuration Exceeding Licensed Limit	BTS3900 LTE	P7UMP	P7UMP	
Warning	26545	RF Unit TX Channel Switched Off Through Command	BTS3900 LTE	P6KLT	P6KLT	Cabinet No =0, Subrack No =4, Slot No =4, TX Channel No =1, Board Type=MRFU
Warning	2871	Service filter rule is not effective	UGW	UGW1UTB	UGW1UTB	Slot No =17, Product Type=GGSN+PGW, Alarm Reason=filter, filter-group, I7-info, I7-info-gro
Minor	26830	Local User Consecutive Login Retries Failed	BTS3900 LTE	BMSVO	BMSVO	Service User Name=admin, Service User IP=192.168.0.12, Specific Problem=Password E
Minor	14001	S1ap Link Down	USN	USN1UTB	USN1UTB	SubrackNo=1, SlotNo=3, ProcType=SGP, ProcNo=3, MCC=230, MNC=02, EnodeBType=MA
Minor	14001	S1ap Link Down	USN	USN2VID	USN2VID	SubrackNo=0, SlotNo=1, ProcType=SGP, ProcNo=1, MCC=230, MNC=02, EnodeBType=MA
Major	11608	GTPU Tunnel Path Broken	USN	USN1UTB	USN1UTB	Local IP=160.218.41.161, Peer IP=80.10.3.2, Path Version=GTP V1, Subrack number=0, SI
Critical	301	NE Is Disconnected	OSS	OSS	BMSKO	neName=BMSKO, neIP=10.80.32.142, neBackupIP=NULL, NE error port = 6007, NE error c

Details

Alarm Source: CG1UTB
 MO Name: CG1UTB
 Location Information: License file name=NULL, Product name=CG9812, Feature name=CGCAP, Test left days=14
 Additional Information:
 Trouble Ticket ID:
 Request ID:
 Common Alarm Identifier: NA

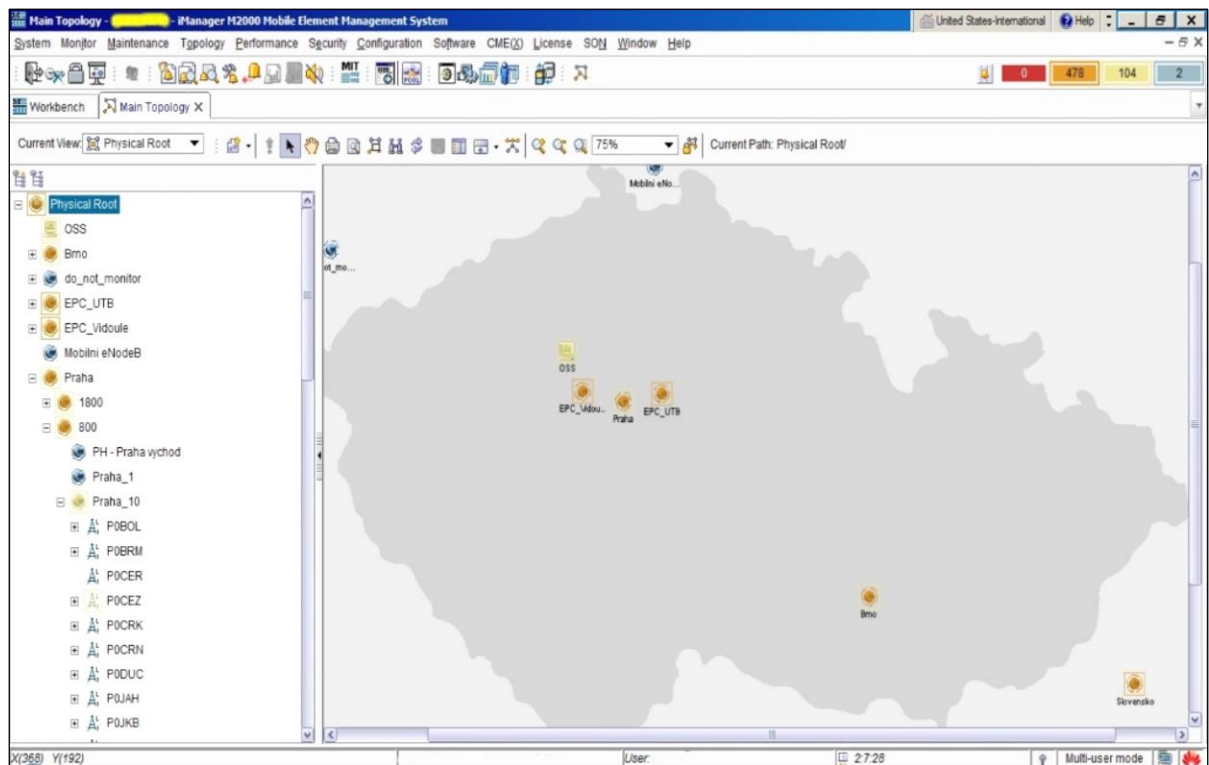
Troubleshooting
 Reason and Advice: [\[Click here for details\]](#)

Show latest alarms Scroll lock

No. 4, Total: 593, Selected: 1

(Mode SSL) User 0 13:39 Multi-user mode

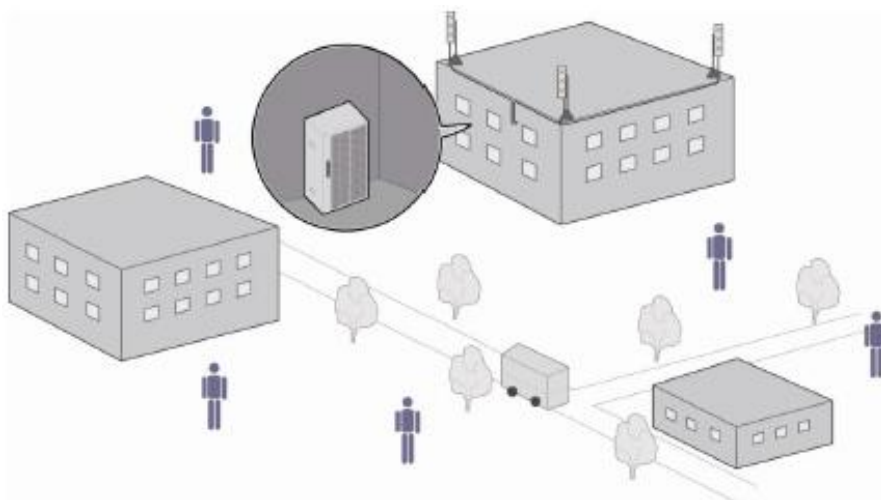
Obrázek 19 iManager M2000 Main Topology [18]



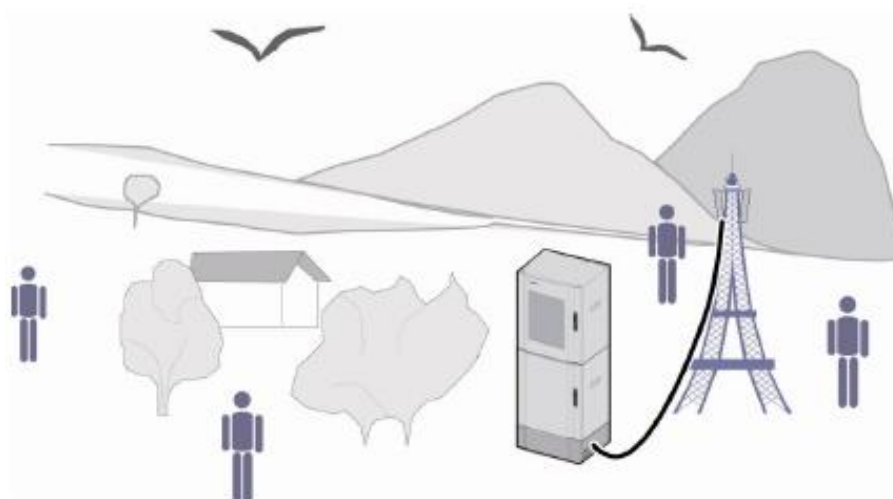
5.4 eNode B – Základnové stanice systému LTE

Oba výrobci nabízejí ve svém portfoliu několik typů eNode B (BTS). Základní rozdělení eNode B je pro montáž do vnitřních prostor (Indoor) a pro montáž do venkovních prostor (Outdoor). Na obrázku 20 a 21 jsou vyobrazeny právě tyto dvě varianty montáží. V případě Indoor verze jsou řídicí moduly vždy instalovány uvnitř budovy. Rádiové moduly lze instalovat v Indoor verzi spolu s řídicími moduly ve stejném stojanu, anebo venku co nejbližší anténám. Ve verzi Outdoor jsou všechny moduly instalovány spolu v jednom boxu, odolném povětrnostním vlivům a velkému rozptylu venkovních teplot.

Obrázek 20 Indoor varianta eNode B [11]

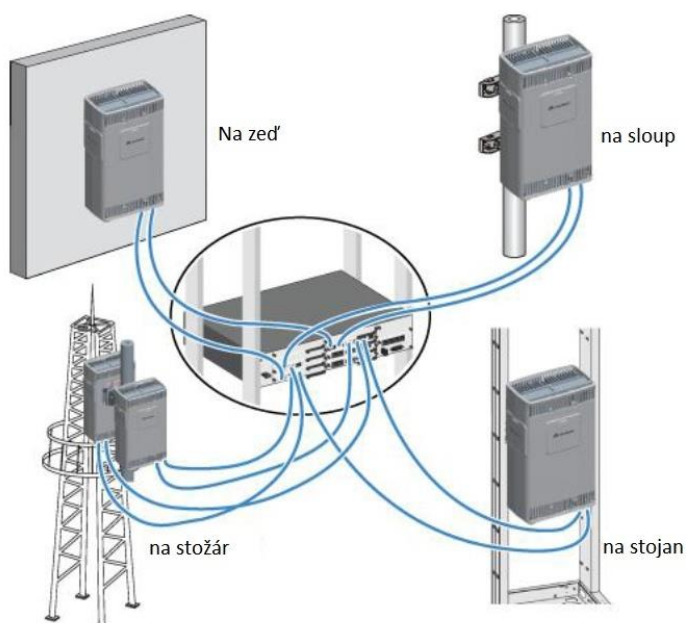


Obrázek 21 Outdoor varianta eNode B [11]



Firma Huawei navíc nabízí ještě jednu kombinovanou variantu tzv. DBS. V této kombinované variantě lze použít část zařízení od jiného dodavatele. Centrální jednotka je určena k instalaci do 19 palcových rozvaděčů, čímž lze šetřit místo pro další instalace a snížit tak náklady na montáž. Dále přináší snížení spotřeby elektrické energie, tudíž snížení režijních nákladů. Anténní a rádiové prvky lze snadno instalovat do stísněných prostor např. na zeď, na schodiště, do skladů anebo do venkovních skříní s jinou již nainstalovanou technologií, viz obrázek 22 [11]. S úspěchem se tato varianta používá k pokrytí signálem systému LTE v obchodních centrech a administrativních budovách velkého rozsahu.

Obrázek 22 Možnosti instalace Huawei DBS [11]



Základnové stanice systému LTE neboli eNode B od obou dodavatelů, ať už se jedná o Indoor či Outdoor variantu, jsou zpravidla instalovány do boxů, ve kterých jsou již obsaženy technologie 2G a 3G. V případě dodavatele Nokia Siemens Network se jedná o Flexi BTS a u Huawei jde o řadu základnových stanic SingleBTS – BTS3900 (BTS3900 – Indoor, BTS3900L – vysokokapacitní Indoor, BTS3900A – Outdoor a DBS3900). Jedná se o moderní systémy, kde díky integraci více systémů do jednoho stojanu dochází k šetření použitých prvků na konkrétní lokalitě a ke snížení odběru elektrické energie. Další nepopíratelnou výhodou takto integrovaných BTS je možnost, v případě výpadku dodávky elektrické energie, upřednostňovat u záložního zdroje napájení konkrétní technologie. V České republice mají v současnosti nejvyšší prioritu služby poskytované integrovanému záchrannému systému, tudíž hlasové služby v sítích 2G a 3G. Pokud není dodávka elektrické energie obnovena v předem stanoveném časovém intervalu, přestane záložní zdroj dodávat energii z lokálních baterií do technologií s nižší prioritou a tím co nejvíce prodlouží dobu napájení pro technologie hlasových služeb.

5.5 Zhodnocení dodavatelů

Z hlediska funkcionalit jsou technologie systému LTE od obou výrobců srovnatelné. Jediné rozdíly lze nalézt v designovém a technologickém zpracování a hlavně ve způsobu ovládání.

Přestože firma Nokia Siemens Network byla průkopníkem v používání programovacího jazyka MML (Man-Machine Language), který implementovala již ve své analogové síti druhé generace NMT, tak dnešní správa systému LTE je celá postavena na platformě Java s uživatelsky příjemným grafickým rozhraním. Ukázky tohoto rozhraní je možno vidět na obrázcích 15 a 16 v textu výše. Bohužel jak se říká, nic není zadarmo. Nové rozhraní bylo ochuzeno o některé funkcionality, které bylo možné využívat v dřívějších systémech, díky programování pomocí MML. Mimo toto rozhraní lze LTE systém spravovat příkazy v programovacím jazyce XML (Extensible Markup Language). Převážně pomocí skriptů v jazyce XML jsou lokálně instalovány nové eNode B. Integrace prvků rádiového přístupu – eNB do systému NetAct jsou naopak více realizovány pomocí grafického rozhraní.

O mnoho let mladší čínská firma Huawei vsadila na kombinaci grafického rozhraní a programovacího jazyka MML a vcelku elegantně je dokázala skloubit do jednoho funkčního nástroje s názvem iManager M2000. Z pohledu obsluhy je tento nástroj velice přehledný a snadno ovladatelný. V jednom nástroji je integrována veškerá podpora rádiové přístupové sítě a tím velice usnadňuje orientaci v celém systému. Robustností celého nástroje je většina provozních operací velmi svižně odbavována a ke všem jeho funkcím je velmi snadný přístup. Díky propracovanému grafickému rozhraní a možnosti programování prostřednictvím MML, s dobře propracovaným systémem nápovědy, je velmi snadné provádění modifikací jednotlivých prvků. Schopnost velmi jednoduché modifikace všech již integrovaných eNode B v jednom kroku, staví tento nástroj o stupínek výše nežli srovnatelný nástroj od Nokia Siemens Network. Celkově je tento nástroj od firmy Huawei mnohem propracovanější a elegantnější.

Ukázky typů eNode B:

Obrázek 23 Nokia Siemens Network Flexi BTS LTE [8]



Obrázek 24 Nokia Siemens Network Flexi BTS LTE – Test Lab O2 Czech republic [18]



Obrázek 25 Huawei BTS3900
Indoor[14]



Obrázek 26 Huawei BTS3900A Outdoor[15]



6 Bezpečnost a mobilita

Pro bezpečnost přenášených informací v mobilních sítích, byl učiněn s nástupem digitální technologie – GSM, velký posun dopředu. Bylo znemožněno např. odposlouchávání frekvenčně modulovaných analogových přenosových kanálů, díky různým typům kódování a použitím dokonalejších modulačních schémat. K výrazně vyšší bezpečnosti hlavně dopomohlo zavedení *Subscriber Identity Module* tzv. SIM karty a dalších identifikátorů jako jsou IMSI a TMSI; jak již bylo popsáno v textu výše. Díky těmto identifikátorům došlo k eliminaci odposlechu na úrovni radiových vln. V sítích třetí a čtvrté generace je navíc zaveden zdokonalený identifikátor v podobě tzv. USIM (Universal Subscriber Identity Module) karty. Díky této kartě a nové koncepci autorizace základnových stanic – Node B v sítích 3G a eNode B v sítích 4G, bylo dosaženo zatím asi nejvyšší bezpečnosti v přenosech na úrovni mobilních sítí. Node B a eNode B jsou autorizovány na základě MAC adres, IP adres a dvou certifikátů. Jeden certifikát vydaný přímo dodavatelem technologie a druhý přidělený konkrétním telekomunikačním operátorem. Těmito opatřeními se podařilo úplně odstranit problém tzv. falešných základnových stanic, které mohly být využívány k odposlechu mobilních telefonů. Tyto základnové stanice jsou schopny vysílat signál s omezeným výkonem a pro uživatele 2G mobilní sítě se prezentovat, jako běžná BTS. Díky tomu že tyto falešné stanice normálně komunikují s běžnou mobilní sítí, zákazník není schopen rozpoznat, že telefonuje přes rozhraní, kde ho může někdo odposlouchávat.

Dle standardu 3GPP pro síť LTE je zaručena mobilita, při vylepšeném výkon, až do rychlosti 120 km/h. Tato rychlost je garantována zvláště pro použití v jedoucích osobních automobilech, dálkových autobusech a vlacích. Pro rychleji se pohybující dopravní prostředky

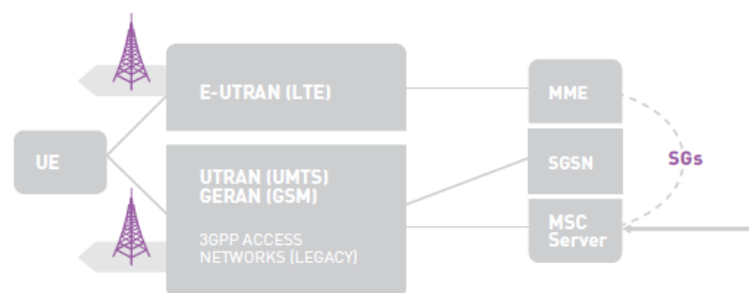
je dle tohoto standardu zajištěna funkčnost připojení až do rychlosti 350 km/h. Bohužel v rychlostech překračujících 120 km/h může docházet ke krátkodobým výpadkům a nelze tudíž plně garantovat přenosové rychlosti obvyklé pro sítě čtvrté generace. Dobrá úroveň mobility je samozřejmě závislá především na dokonalosti pokrytí signálem sítí 4G, tudíž na hustotě základnových stanic a kvalitnímu nastavení parametrů sousedství jednotlivých lokalit.

7 Interworking a Circuit switching v LTE

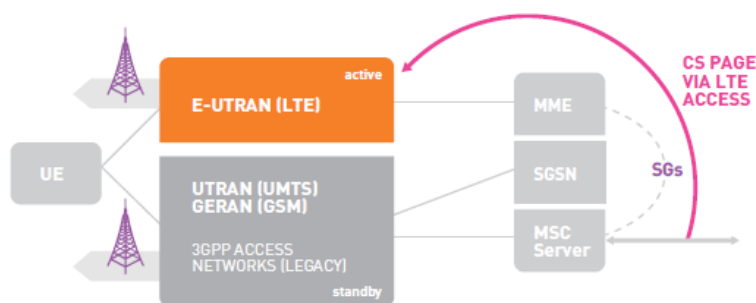
Jak už bylo zmíněno v textu výše, je systém LTE tzv. *all IP* a tudíž nepodporující technologii přepínání okruhů (circuit switching), která je využívána pro běžné hlasové volání v sítích 2G a 3G. Pro to abychom mohli s běžnými mobilními telefony podporujícími technologii 4G, využívat jak datové přenosy, tak hlasové služby, musíme využít nějaký druh spolupráce mezi sítěmi druhé a třetí generace a sítěmi čtvrté generace.

Způsob spolupráce okruhově spínaných hlasových služeb a SMS s datovými službami v sítích 4G byl popsán již v 3GPP Release 8. Řešení, které tuto spolupráci dokáže zajistit, se nazývá CSFB (Circuit Switching FallBack). Jedná se o technologii, která je schopna poskytnout hlasové služby a textové zprávy zařízením s podporou LTE. V případě, že mobilní telefon potřebuje vytvořit hlasové spojení, anebo odeslat textovou zprávu, musí tzv. „spadnout“ ze sítě LTE zpět do sítě 2G nebo 3G. V anglickém jazyce tento proces nazýváme „fall back“. Služba CSFB je často vnímána jako přechodné řešení pro operátory provozující sítě LTE. Princip CSFB je znázorněn na obrázcích 27, 28, 29 a 30.

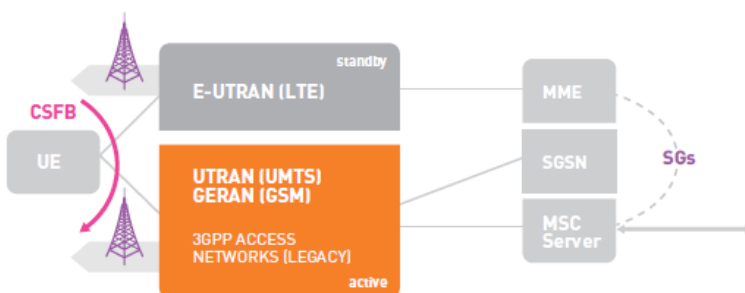
Obrázek 27 EPS dle standardu 3GPP – standby režim terminálu [22]



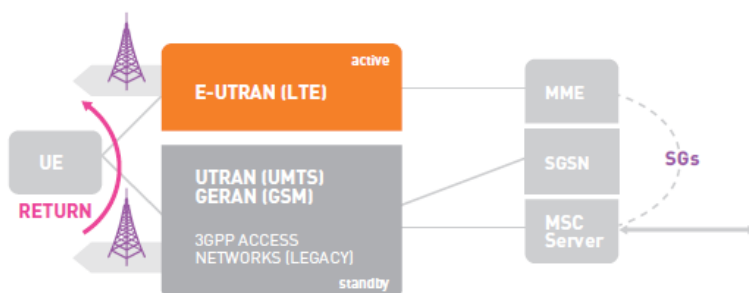
Obrázek 28 Příchozí hovor na zařízení pod LTE [22]



Obrázek 29 Circuit Switched FallBack [22]



Obrázek 30 Návrat do LTE po ukončení hlasového spojení [22]

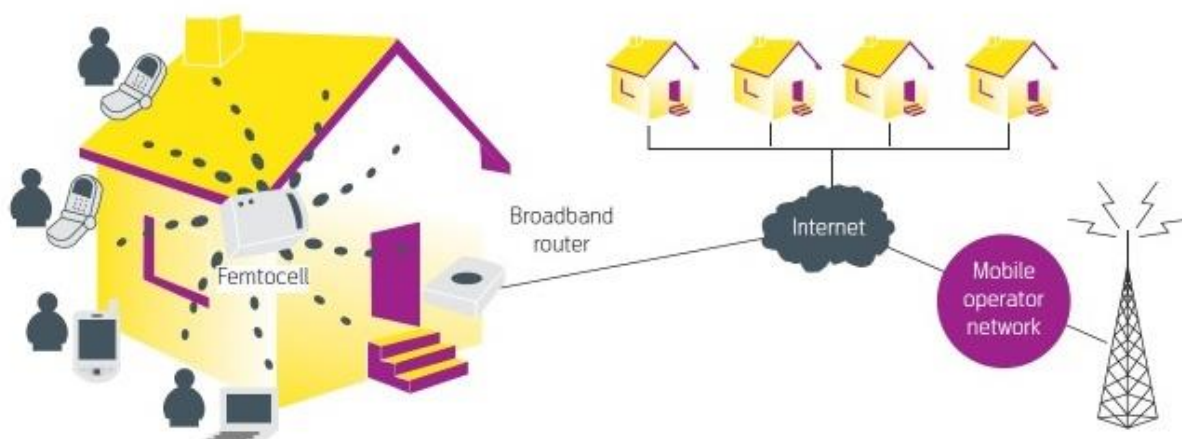


Za dlouhodobé řešení a cíl pro poskytování hlasových služeb v sítích LTE je považována až služba VoLTE (Voice over LTE). Tuto službu celosvětově zatím komerčně nabízí jen několik operátorů. V České republice je tato služba již také otestována a jedná se o jejím brzkém komerčním nasazení. Jedná se v zásadě o stejnou službu jako je VoIP (Voice over IP), neboli přenos hlasu pomocí internetového protokolu. Tuto službu využívá např. aplikace „skype“. Limitující faktor pro využití VoLTE je použití přístroje s podporou této technologie.

8 Praktické využití LTE – komunikace výherních terminálů, bankomatů a jako zdroj internetového připojení v malých sítích LAN a WLAN.

Díky přenosovým rychlostem, kterých lze v současných sítích 4G dosáhnout a také jakých bude možno dosáhnout v blízké budoucnosti, nabízí se velmi praktické využití této datové sítě v komerční zóně jako spolehlivý zdroj připojení k internetu anebo k podnikovým sítím, tzv. VPN (Virtual Private Network). Elegantně lze využít síť 4G pro připojení k internetu celých obytných a činžovních domů. Pro své přenosové rychlosti a kapacity připojení pod jednotlivými eNode B, které v závislosti na šířce přenosového pásma pojmu až 400 připojení v jeden okamžik, jsou systémy LTE dobře využitelné v málo dostupných oblastech. Jedno z možných využití lze nalézt na obrázku 27.

Obrázek 31 LTE jako zdroj internetu pro domácí síť [21]



Další neméně zajímavé je využití mobilní datové sítě jako primární či sekundární způsob připojení výherních terminálů a bankomatů. Již v sítích 3G tuto možnost využívá v České republice nespočet společností jako např. G-tech, Fortuna, Česká spořitelna, Komerční banka atd. Obvykle se jedná o kombinaci terminálu s možností připojení k mobilní datové síti a směrovače. Síť LTE poskytují ve srovnání s předchozími generacemi vyšší stupeň zabezpečení, vyšší přenosovou rychlost a vyšší kapacitu připojení na jednotlivé BTS. Díky těmto vlastnostem, lze předpokládat, že v budoucnosti budou tyto typy připojení migrovány právě do sítí 4G.

Na trhu jsou již dostupná zařízení od různých firem, která spojují příjem signálu LTE s následnou distribucí Wi-Fi signálu. Velmi oblíbená a elegantní jsou zařízení tzv. kapsní velikosti, spojující právě tyto dvě funkce. Jsou to např. výrobky firem Huawei či Alcatel, viz obrázky 32 a 33. Mají velikost podobnou dnešním chytrým mobilním telefonům a uživatel je

tak může provozovat, kde chce. Velmi elegantní využití je např. jako zdroj pokrytí Wi-Fi signálem v automobilech, prostředcích veřejné dopravy, ve vlacích a dálkových autobusech.

Obrázek 32 Huawei E5330 [23]



Obrázek 33 ALCATEL OT LINK Y850 LTE [24]



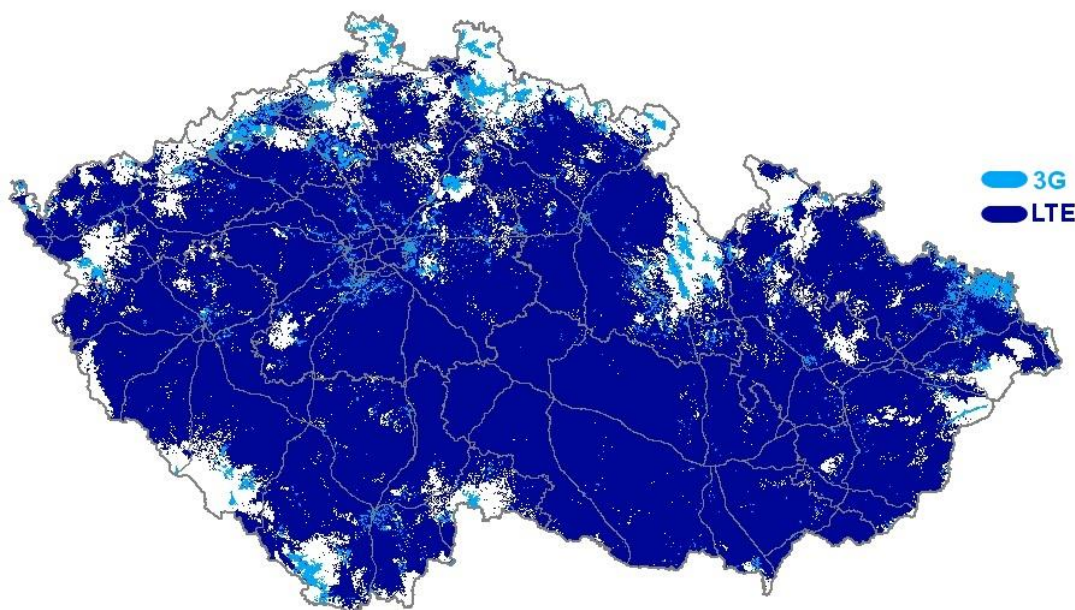
9 Závěr a finanční zhodnocení

Po uskutečněné analýze a zpracování získaných informací o prostředcích rádiové přístupové sítě a popisu mobilní bezdrátové technologie LTE, bych rád závěrem uvedl ještě několik důležitých informací, vztahujících se k zhodnocení aktuálního stavu sítí čtvrté generace v České republice.

Počátek sítě 4G systému LTE v České republice se datuje dnem 15. srpna 2013, kdy ČTÚ vyhlásil výběrové řízení, dále známé jako „Aukce 2013“ na kmitočty 800, 1 800 a 2 600 MHz. Záměrem ČTÚ bylo v rámci výběrového řízení nabídnout zájemcům ucelenou sadu kmitočtů pro výstavbu nových moderních mobilních sítí 4. generace, využívajících LTE technologii. Podpořit tak zvýšení dostupnosti vysokorychlostních mobilních služeb a přístupu k internetu i ve venkovských oblastech. Vítězi aukce se staly společnosti T-Mobile, O2 a Vodafone. Každý z úspěšných účastníků získal blok o velikosti 2×10 MHz v pásmu 800 MHz a 2×20 MHz v párové části pásma 2600 MHz a přiděly v rozsahu 2×2 MHz až 2×4 MHz v pásmu 1800 MHz.

V roce 2014 došlo k masovému růstu výstavby sítí 4G systému LTE v celé České republice. V současné chvíli pokrytí populace signálem LTE dosáhlo úrovně více než 90%. Mobilní operátoři uvádějí hodnoty 93% (T-Mobile), 96% (Vodafone). Pro operátora O2 jsou v tuto chvíli dostupná data o pokrytí např. z mapy uveřejněné na jejich webové stránce, viz obrázek 34. Koncem měsíce února roku 2015 má operátor O2 zaintegrováno a spuštěno 1200 eNode B v síti LTE. Počty eNode B instalovaných operátorem T-Mobile jsou přibližně stejné. Téměř shodné počty eNode B u těchto dvou operátorů jsou díky dohodě o sdílení. Tuto dohodu uzavřeli zástupci obou firem a domluvily se na společné výstavbě této nové mobilní sítě a následně na jejím vzájemném sdílení. V praxi to vypadá tak, že si území České republiky rozdělily na dva geografické celky. Na východní a západní část. Výstavbu západní části zajišťuje T-Mobile a východní O2. Jediné výjimky, kde síť operátoři budují tzv. nesdílenou, jsou města Praha a Brno. Účelem této dohody bylo samozřejmě šetření nákladů na výstavbu. Bohužel toto šetření přináší nevýhodu ve formě sdílení přenosových médií a tím i menší možnost využití šířky přenosového pásma. Operátor Vodafone si celou síť LTE staví sám, se všemi pozitivivy i negativy.

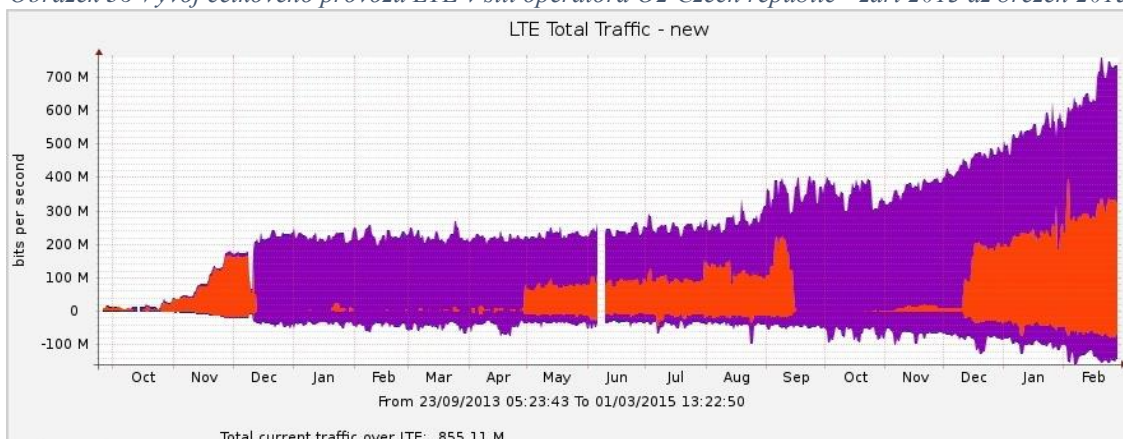
Obrázek 34 Mapa pokrytí signálem LTE k únoru 2015(operátor O2) [17]



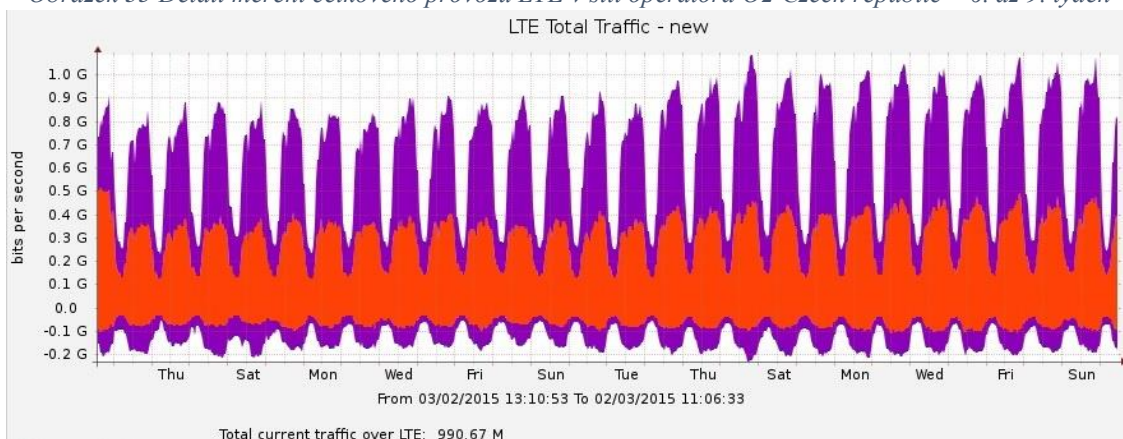
Na obrázku 34 je znázorněno pokrytí signálem LTE operátorem O2. Jelikož toto pokrytí je výsledkem spolupráce s operátorem T-Mobile, tak i jeho mapa bude vypadat stejně. Mapa pokrytí operátorem Vodafone je velice podobná, což znamená, že musel vystavět minimálně stejný počet eNode B, jako oba předchozí operátoři dohromady a tudíž investoval zhruba dvojnásobné finanční prostředky. Na konci roku 2016 by měly být splněny, dle ČTÚ a pravidel udělení licence, požadavky na pokrytí signálem LTE. Počet eNode B u operátora O2 by se měl blížit číslu 3250.

Aktuální provoz 4G LTE v České republice lze celkem dobře odvodit z obrázků 35 a 36, na kterých jsou znázorněny měření celkového LTE provozu v síti operátora O2. Grafy (obrázek 35) znázorňují naměřený celkový provoz na časové ose od spuštění prvního testovacího eNode B až do současnosti. Na obrázku 36 je detail měření ve třech týdnech. S podobnými naměřenými hodnotami se můžeme setkat i u zbylých dvou operátorů.

Obrázek 36 Vývoj celkového provozu LTE v síti operátora O2 Czech republic - září 2013 až březen 2015



Obrázek 35 Detail měření celkového provozu LTE v síti operátora O2 Czech republic – 6. až 9. týden



Dle studie „**Mobility Report**“, kterou vydala švédská firma Ericsson v roce 2013, obsahující prognózu vývoje počtu chytrých telefonů s paušálním připojením k internetu, bude v roce 2019 jejich počet trojnásobný oproti dnešnímu stavu a datový provoz bude až desetinásobný. Tou dobou by měly již dvě třetiny celosvětové populace mít přístup k LTE sítím [19]. Tuto prognózu lze snadno aplikovat i na Českou republiku. Se vzrůstajícím podílem tzv. chytrých telefonů na českém trhu mobilních komunikací, samozřejmě roste i celkový provoz v mobilních datových sítích, LTE nevyjímaje. Růst provozu je zatím pozvolný, jelikož výstavba mobilních sítí LTE v ČR je zhruba v první třetině a také na trhu s mobilními telefony je zatím poměrně nevelký výběr zařízení s podporou LTE. S přibývajícím počtem eNode B a zvětšujícím se územím pokrytým signálem LTE, dojde pravděpodobně k velmi prudkému nárůstu celkového provozu. Tento nárůst bude zapříčiněn nejenom běžnými uživateli s chytrými mobilními telefony, ale i korporátními zákazníky, kteří vyžadují rychlé bezdrátové připojení k síti internet a doposud využívali sítě 3G (HSPA+ nebo CDMA).

Na úplný závěr této práce uvádím ještě několik důležitých faktů, které měly a pravděpodobně ještě budou mít zásadní vliv na hodnocení sítí LTE z finančního pohledu:

- Zásadním faktem je cena, za kterou nakupovali v aukci současní operátoři frekvenční bloky pro provoz sítí 4G. V pásmu 800 MHz získal T-Mobile aukční bloky A1 a A2 za souhrnnou cenu 2,231 mld. Kč, O2 získalo 2 aukční bloky v kategorii A2 za cenu 2,386 mld. Kč a Vodafone získal aukční blok A3 za 2,664 mld. Kč. Každá ze společností dále získala 4 bloky ve FDD pásmu 2 600 MHz a část bloků kategorie B2 v pásmu 1800 MHz. [16] Jedná se zhruba o poloviční částky oproti cenám, které v roce 2001 zaplatili tito operátoři za licence na provozování sítí 3G. Je zřejmé, že v průběhu několika let došlo ke značnému poklesu vstupních nákladů a lze tedy předpokládat, že v budoucnu bude docházet i k postupnému snižování cen koncovým zákazníkům. Tento trend lze sledovat již nyní.
- Při současných ročních obrátech stávajících operátorů, které se pohybují v řádech mld. Kč, se jeví návratnost vložených finančních prostředků jako velmi rychlá.
- Bohužel spuštění sítě LTE, zvláště v pásmu 800 MHz, přináší občanům ČR jisté komplikace. Jedná se o vysokofrekvenční rušení signálu digitálního televizního vysílání. Jelikož nejnižší použitá frekvence sítě LTE je příliš blízko nosné frekvenci 60. kanálu televizního pásma UHF, dochází k rušení multiplexu, který je právě na tomto kanálu vysílán. Toto rušení je odstraňováno lokálně na náklady operátorů, čímž se dále zvyšuje finanční zatížení spojené s výstavbou sítě LTE.
- Za další důležitý fakt považuji rozšíření pokrytí mobilním vysokorychlostním signálem téměř poloviny všech okresů, zejména řídce osídlených. Toto pokrytí musí být realizováno do 30 měsíců, od nabytí licence. Jak je uvedeno v podmínkách frekvenční aukce. [16]
- A jako poslední fakt, který pravděpodobně bude mít podstatný vliv na tvorbu cen a výši zisků provozovatelů, je přístup virtuálních operátorů k sítím LTE. [16]

10 Citovaná literatura:

- [1] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD: LTE/SAE System Overview.pdf. 01. 05. 2010. [cit. 29. 03. 2015]
- [2] QUALCOMM: *3GPP Long-Term Evolution (LTE)*. [online]. 29. 04. 2014. [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: <https://www.qualcomm.com/documents/lte-standard>
- [3] ZYREN, Jim. Overview of the 3GPP Long Term Evolution Physical Layer. *Freescale.com*. [online]. 07. 2007. [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: http://www.freescale.com/files/wireless_comm/doc/white_paper/3GPPEVOLUTION_WP.pdf
- [4] JANSSEN, Cory. Definition — What does Frequency Division Duplex (FDD) mean?. Time Division Duplex (TDD). *Techopedia*. [online]. [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: <http://www.techopedia.com/definition/27018/frequency-division-duplex-fdd>
<http://www.techopedia.com/definition/27019/time-division-duplex-tdd>
- [5] Citace. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Orthogonal frequency-division multiple access. last modified on 28. 08. 2014 [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_frequency-division_multiple_access
- [6] Citace. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Single-carrier FDMA. last modified on 25. 06. 2014 [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Single-carrier_FDMA
- [7] TELECOM CELLULAR TECHNOLOGY CONCEPTS. Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA). *OFDM*. [online]. 12. 2011. [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: <http://cellular-technology-concepts.blogspot.cz/2011/12/orthogonal-frequency-division-multiple.html>
- [8] NOKIA SIEMENS NETWORK: LTE Flexi Multiradio BTS and Module overview.pdf. 2011. [online]. [cit. 29. 03. 2015]
- [9] NOKIA NETWORKS: NetAct overview.pdf. 2014. [online]. [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: <http://networks.nokia.com/portfolio/products/operations-support-systems/netact>
- [10] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD: iManager M2000. *huawei.com*. [online]. [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: <http://www.huawei.com/en/products/oss/mbb-om-product/imanager-m2000/>

- [11] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD: Wireless Network – SingleBTS. *huawei.com*. [online]. [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: http://www.huawei.com/ucmf/groups/public/documents/attachments/hw_093570.pdf
- [12] Citace. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. MML (programming language). last modified on 02. 08. 2010 [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/MML_%28programming_language%29
- [13] Citace. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. Extensible Markup Language. last modified on 19. 08. 2014 [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Extensible_Markup_Language
- [14] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD: BTS3900. *huawei.com*. [online]. [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: http://enterprise.huawei.com/br/products/network/wireless/trustar/hw-u_173022.htm
- [15] HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD: BTS3900A. . *huawei.com*. [online]. [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: http://enterprise.huawei.com/br/products/network/wireless/trustar/hw-u_173026.htm
- [16] ČESKÝ TELEKOMUNIKAČNÍ ÚŘAD. *Český telekomunikační úřad. Výroční zpráva pro rok 2013*. [online]. ČTÚ, © 2004. [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: https://www.ctu.cz/cs/download/vyrocní_zpravy/vyrocní_zprava_ctu_2013_.pdf
- [17] O2 CZECH REPUBLIC A. S. *O2. Mapa pokrytí signálem LTE operátorem O2 Czech republic*. [online]. 03. 2015. [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: http://www.o2.cz/osobni/LTE/#_il=czos-menu
- [18] O2 CZECH REPUBLIC A. S. data provozního oddělení. 2015. [cit. 29. 03. 2015].
- [19] ERICSSON. *Mobility report 2013*. *ericsson.com*. [online]. 01. 11. 2013. [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: <http://www.ericsson.com/res/docs/2013/ericsson-mobility-report-november-2013.pdf>
- [20] Citace. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. International Mobile Subscriber Identity. last modified on 07. 02. 2015 [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/International_Mobile_Subscriber_Identity
- [21] PROKOPEC, Jan. *Komunikační systémy pro perspektivní kmitočtová pásma – LTE Advance*. [online]. Ústav radioelektroniky FEKT VUT v Brně. 05/2012. [cit. 29. 03. 2015]. Lze nalézt na: http://www.radio.feec.vutbr.cz/kosy/soubory/update01/04/05_prokopec_LTE.pdf

- [22] QUALCOMM: *Circuite switching*. [online]. [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: <https://www.qualcomm.com/media/documents/files/circuit-switched-fallback-the-first-phase-of-voice-evolution-for-mobile-lte-devices.pdf>
- [23] O2 CZECH REPUBLIC A. S. *O₂*. Huawei E5330. [online]. [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: <https://www.o2.cz/osobni/modemy-a-data/huawei-e5330.html>
- [24] O2 CZECH REPUBLIC A. S. *O₂*. ALCATEL OT LINK Y850 LTE. [online]. [cit. 29. 03. 2015]. Dostupné z: <https://www.o2.cz/osobni/mobilni-modemy/alcatel-onetouch-y850-lte.html>

11 Seznam obrázků

Obrázek 1 CP + OFDM symbol [2]	4
Obrázek 2 OFDMA přidělování zdrojových bloků [7]	5
Obrázek 3 Vývoj mobilních celulárních sítí	6
Obrázek 4 Druhá generace mobilních systémů [1]	8
Obrázek 5 Třetí generace mobilních systémů [1].....	10
Obrázek 6 Čtvrtá generace mobilních sítí - tři hlavní systémy [1].....	12
Obrázek 7 3GPP Releases [1].....	12
Obrázek 8 HSDPA (Release 5) [1].....	14
Obrázek 9 HSUPA (Release 6) [1].....	15
Obrázek 10 HSPA+ (Release 7) [1]	17
Obrázek 11 Release 8 HSPA+ a LTE [1]	18
Obrázek 12 Release 9 a další.....	19
Obrázek 13 LTE síťová architektura dle 3GPP Rel. 8 [8].....	21
Obrázek 14 NetAct - Úvodní stránka[18].....	22
Obrázek 15 NetAct - Alarm Monitor[18].....	23
Obrázek 16 Top Level User Interface[18].....	24
Obrázek 17 iManager M2000 Current Alarm Browser [18]	25
Obrázek 18 iManager M2000 Current Alarm Browser [18]	26
Obrázek 19 iManager M2000 Main Topology [18]	26
Obrázek 20 Indoor varianta eNode B [11]	27
Obrázek 21 Outdoor varianta eNode B [11].....	27
Obrázek 22 Možnosti instalace Huawei DBS [11].....	28
Obrázek 23 Nokia Siemens Network Flexi BTS LTE [8].....	29
Obrázek 24 Nokia Siemens Network Flexi BTS LTE – Test Lab O2 Czech republic [18].....	29
Obrázek 25 Huawei BTS3900 Indoor[14].....	30
Obrázek 26 Huawei BTS3900A Outdoor[15].....	30
Obrázek 27 EPS dle standardu 3GPP – standby režim terminálu [22]	31
Obrázek 28 Příchozí hovor na zařízení pod LTE [22].....	32
Obrázek 29 Circuit Switched FallBack [22].....	32
Obrázek 30 Návrat do LTE po ukončení hlasového spojení [22]	32
Obrázek 31 LTE jako zdroj internetu pro domácí sítě [21].....	33
Obrázek 32 Huawei E5330 [23]	34
Obrázek 33 ALCATEL OT LINK Y850 LTE [24].....	34
Obrázek 34 Mapa pokrytí signálem LTE k únoru 2015(operátor O2) [17]	35
Obrázek 36 Detail měření celkového provozu LTE v síti operátora O2 Czech republic – 6. až 9. týden 2015 [18].....	36
Obrázek 35 Vývoj celkového provozu LTE v síti operátora O2 Czech republic - září 2013 až březen 2015 [18].....	36

12 Seznam tabulek

Tabulka 1 Špičkové rychlosti v systému LTE [2]	2
Tabulka 2 Přenosové rychlosti v sítích 2G [1]	8
Tabulka 3 IMT Advanced určující funkce a požadavky [1].....	11