UNIVERZITA PARDUBICE
Fakulta elektrotechniky a informatiky

# Mobilní datové sítě 3. generace

Vojtěch Richter

Bakalářská práce
2012

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: **2011/2012**

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

| | |
|---|---|
| Jméno a příjmení: | **Vojtěch Richter** |
| Osobní číslo: | **I08149** |
| Studijní program: | **B2646 Informační technologie** |
| Studijní obor: | **Informační technologie** |
| Název tématu: | **Mobilní datové sítě 3. generace** |
| Zadávající katedra: | **Katedra informačních technologií** |

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je analyzovat reálné možnosti využití mobilních sítí 3. generace ve městě Pardubice. Autor práce podrobně vysvětlí principy fungování datových přenosů v mobilních sítích od digitalizace hlasu a datových přenosů GSM, včetně architektury GSM sítí. Vysvětli principy technologie GPRS a jejího vztahu a architektuře GSM. Na základě teoretických principů těchto sítí vysvětlí principy technologií HSDPA, HSUPA a HSPA. Autor práce navrhne metodiku testování přenosu dat vybraných operátorů ve městě Pardubice. Na základě této metodiky provede reálné měření, které vyhodnotí a zanalyzuje.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

**RICHTR, Tomáš. Technologie pro mobilní komunikaci [online]. ČVUT, Praha: 2002 [cit. 2011-02-02]. Tomas.richtr.cz/. Dostupné z WWW:http://tomas.richtr.cz/mobil/obecne-prenos.htm.**
**GRANZOW, Dr.-Ing. Wolfgang. 3rd Generation Mobile Communications Systems: Mobile Communications Systems II [online]. Německo, 2000. 200 s. Skriptum. Friedrich-Alexander-Universitat- Erlangen-Nürnberg.**

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Josef Horálek**
Katedra softwarových technologií

Datum zadání bakalářské práce: **16. prosince 2011**
Termín odevzdání bakalářské práce: **11. května 2012**

L.S.

prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan

Ing. Lukáš Čegan, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 30. března 2012

**Prohlášení autora**

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 9. 5. 2012 Vojtěch Richter

**Poděkování**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Mgr. Josefu Horálkovi za účinnou metodickou, odbornou pomoc, trpělivost a za cenné připomínky a rady při zpracování mé bakalářské práce.

**Anotace**

Cílem práce je analyzovat reálné možnosti využití mobilních sítí 3. generace ve městě Pardubice. Autor práce podrobně vysvětlí principy fungování datových přenosů v mobilních sítích od digitalizace hlasu a datových přenosů GSM, včetně architektury GSM sítí. Vysvětlí principy technologie GPRS a jejího vztahu k architektuře GSM. Na základě teoretických principů těchto sítí vysvětlí principy technologií HSDPA, HSUPA, a HSPA. Autor práce navrhne metodiku testování přenosu dat vybraných operátorů ve městě Pardubice. Na základě této metodiky provede reálné měření, které vyhodnotí a zanalyzuje.

**Klíčová slova**

Mobilní sítě, GSM, GPRS, EDGE, UMTS, NMT, AMPS, HSDPA, HSUPA, data, datové přenosy, síťová architektura, mobilní, síť

## Title

Mobile data networks of 3rd generation

## Annotation

The purpose of thesis is to analyze real possibilities of use 3rd generation mobile networks in Pardubice. Author will specificly describe principles of data transfers in mobile networks from voice digitalization and GSM data transfers, to GSM architecture. He will describe also GPRS technology and it's relation to GSM architecture. On the basic principles of this networks will be described technologies as HSDPA, HSUPA and HSPA. Author will suggest method to test the data transfers of chosen mobile operators in Pardubice. On this method will be made a real measurement, which will be evaluated and analyzed.

## Keywords

Mobile networks, GSM, GPRS, EDGE, UMTS, NMT, AMPS, HSDPA, HSUPA, data, data transfers, network architecture, mobile, network

# Obsah

**Seznam zkratek** ..... **10**
**Seznam obrázků** ..... **12**
**Seznam tabulek** ..... **13**
**Úvod** ..... **14**
**1 Historie mobilní komunikace** ..... **15**
1.1 Počátky ..... 15
**2 První generace analogových cellulárních sítí** ..... **15**
2.1 AMPS ..... 15
2.2 NMT ..... 15
2.3 Technické specifikace NMT ..... 16
2.4 Digitalizace hlasu v NMT systémech ..... 17
2.5 FDMA ..... 17
**3 Druhá generace mobilních sítí – GSM** ..... **18**
3.1 Základní popis GSM ..... 18
3.2 Architektura GSM sítě ..... 19
3.3 Digitalizace hlasu v GSM sítích ..... 21
3.4 Přenosové kanály ..... 22
3.5 Přidělování kanálů ..... 23
3.6 Datové bursty ..... 24
3.7 Ostrůvkovitá koncepce ..... 25
3.8 Buňkový systém ..... 26
3.8.1 Srovnání ostrůvkovité koncepce a buňkového systému ..... 28
3.9 Velikosti a typy buněk v systémech GSM ..... 28
3.10 Handover ..... 29
3.11 Datové přenosy v bezdrátových sítích ..... 30
3.11.1 Circuit Switched Data (CSD) ..... 31
3.11.2 High-Speed Circuit Switched Data (HSCSD) ..... 32
3.12 TDMA ..... 34
**4 Dvou a půltá generace mobilních sítí – GPRS** ..... **36**
4.1 Základní popis GPRS ..... 36
4.2 Architektura GPRS sítě ..... 36

4.3 Princip datového přenosu ..... 37
4.4 Kódování v GPRS ..... 38
4.5 Třídy GPRS zařízení ..... 38
**5 2,75. generace mobilních sítí – EDGE ..... 39**
5.1 Základní popis EDGE ..... 39
5.2 8-PSK ..... 40
5.3 Kódování v EDGE ..... 41
5.4 Rozšíření EDGE ..... 42
**6 Mobilní sítě 3. generace ..... 44**
6.1 Základní popis UMTS ..... 44
6.2 Architektura UMTS ..... 45
6.3 Duplexy v UMTS sítích ..... 46
6.4 Handovery ..... 48
6.5 CDMA ..... 48
6.5.1 Srovnání CDMA s TDMA ..... 49
6.5.2 Další využití CDMA ..... 49
**7 Mobilní sítě 3,5. a 4. generace ..... 50**
7.1 Základní popis ..... 50
7.2 Rozšíření mobilních sítí 3. generace ..... 50
**8 Praktická část ..... 51**
8.1 Cíl praktické části ..... 51
8.2 Použité aplikace ..... 52
8.3 Místa vybraná pro měření ..... 53
**Závěr ..... 65**
**Použité zdroje ..... 66**
**Příloha A – Popis přílohy ..... 70**
**Příloha B – Tabulky s hodnotami opakovaných měření ..... 71**

# Seznam zkratek

| | |
|---|---|
| 16-QAM | 16-Quadrature Amplitude Modulation |
| ADC | Analog-to-digital converter |
| AMPS | Advanced Mobile Phone Service |
| AuC | Authenticity centre |
| BCCH | Broadcast Control Channels |
| BER | Bit Error Rate |
| BSC | GSM Base Station Controller |
| BSS | GSM Base Station System |
| BTS | Base Transceiver Station |
| CCCH | Common Control Channel |
| CDMA | Code division multiple access |
| CKSN | Ciphering Key Sequence Number |
| CN | Core Network |
| CSD | Circuit Switched Data |
| DCA | Dynamic Channel Allocation |
| DCCH | Dedicated Control Channles |
| DECT | Digital Enhanced Cordless Telecomunications |
| DMS | Data and Messaging Service |
| DTM | Dual Transfer Mode |
| ECSD | Enhanced Circuit Switched Data |
| EDGE | Enhanced Data Rates for GSM Evolution |
| EDGE TRU | EDGE Transciever Unit |
| EGPRS | Enhandced General Packet Radio Service |
| EIR | Equipment Identity Register |
| ETSI | European Telecommunications Standard Institute |
| FCA | Fixed Channel Allocation |
| FCC | Federal Communications Commission |
| FCCH | Frequency Correction Channel |
| FDD | Frequency Division Duplex |
| FDMA | Frequency Division Multiple Access |
| FFSK | Fast Frequency Shift Keying |
| FM | Frequency modulation |
| GGSN | Gateway GPRS Support Node |
| GMSC | Gateway MSC |
| GMSK | Gaussian minimum-shift keying |
| GPRS | General Packet Radio Service |
| GR | GPRS Register |
| GSM | Global System for Mobile Communications |
| GSM | Groupe Speciále Mobile |
| HLR | Home location register |
| HSCSD | High Speed Circuit Switched Data |
| HSDPA | High-Speed Downlink Packet Access |
| HS-SCCH | High-Speed Shared Control Channel |
| HS-SCH | High-Speed Downlink Shared Channel |
| HSUPA | High-Speed Uplink Packet Access |
| IMEI | International Mobile Equipment Identity |

| | |
|---|---|
| IMSI | International Mobile Subscriber Identity |
| LAN | Local Area Network |
| LLC | Logical link control |
| LLC | Logical Link Control |
| MAHO | Mobile Assisted HandOver |
| MCS | Modulation and coding scheme |
| MSC | Mobile Switching Center |
| MSISDN | Mobile Station International Subscriber Directory Number |
| NCHO | Network Controlled HandOver |
| NMC | Network management center |
| NMT | Nordic Mobile Telephone |
| NSS | Network and Switching Subsystem |
| OMC | Operations and Maintenance Center |
| OSS | Operation Support subsystem |
| PACCH | Packet Associated Control Channel |
| PBX | Private Branch Exchange |
| PCM | Pulse Coded Modulation |
| PCMCIA | Personal Computer Memory Card International Association |
| PCU | Packet Controller Unit |
| PDCH | Packet Data Traffic Channel |
| PCH | Paging Channel |
| PSTN | Public Switched Telephone Network |
| QoS | Quality of Service |
| QPSK | Quadrature Phase Shift Keying |
| RACH | Random Access Channel |
| RF | Radio frequencies |
| RNC | Radio Network Controller |
| RNS | Radio Network Subsystem |
| RPC | Remote procedure call |
| SACCH | Slow Associated Dedicated Control Channel |
| SDCCH | Stand-Alone Control Channel |
| SGSN | Serving GPRS Support Node |
| SGSN | Serving GPRS Support Node |
| SNDCP | Sub-network-dependent convergence protocol |
| TACS | Total Access Communication System |
| TD-CDMA | Time Division-Code Division Multiple Access |
| TDD | Time Division Duplex |
| TDMA | Time division multiple access |
| TLLI | Temporary Logic Link Identity |
| UE | User Equipment |
| UMTS | Universal Mobile Telephony System |
| UTRAN | UMTS Terrestrial Radio Access Network |
| VLR | Visitor Location Register |
| WCDMA | Wideband Code Division Multiple Access |

# Seznam obrázků

Obrázek 1 Frequency Division Multiple Access ..... 17
Obrázek 2 Architektura GSM ..... 21
Obrázek 3 Přenos hlasu v GSM sítích ..... 22
Obrázek 4 Přenosové kanály ..... 23
Obrázek 5 Struktura normálního burstu ..... 24
Obrázek 6 Ostrůvkovitá koncepce ..... 25
Obrázek 7 Buňkový systém ..... 27
Obrázek 8 Buňkový systém - sektorizace ..... 27
Obrázek 9 Přenos dat v GSM sítích ..... 32
Obrázek 10 Time Division Multiple Access ..... 35
Obrázek 11 Struktura multirámce ..... 36
Obrázek 12 Architektura GPRS ..... 37
Obrázek 13 GMSK modulace ..... 40
Obrázek 14 8-PSK modulace ..... 41
Obrázek 15 Architektura UMTS ..... 45
Obrázek 16 Zapojení v UTRAN ..... 46
Obrázek 17 Frequency Division Duplex ..... 47
Obrázek 18 Time Division Duplex ..... 48
Obrázek 19 Code Division Multiple Access ..... 49
Obrázek 20 Aplikace DSL.cz ..... 52
Obrázek 21 Aplikace OpenSignalMaps ..... 53
Obrázek 22 ulice Jindřišská - Vodafone HSDPA ..... 54
Obrázek 23 ulice Jindřišská - Vodafone EDGE ..... 54
Obrázek 24 ulice Jindřišská - T-Mobile HSDPA ..... 55
Obrázek 25 ulice Jindřišská - T-Mobile EDGE ..... 55
Obrázek 26 náměstí Republiky - Vodafone EDGE ..... 56
Obrázek 27 náměstí Republiky - Vodafone HSDPA ..... 56
Obrázek 28 náměstí Republiky – T-Mobile HSDPA ..... 57
Obrázek 29 náměstí Republiky – T-Mobile EDGE ..... 57
Obrázek 30 třída Míru - Vodafone EDGE ..... 58
Obrázek 31 třída Míru - Vodafone HSDPA ..... 58
Obrázek 32 třída Míru - T-Mobile HSDPA ..... 59
Obrázek 33 třída Míru - T-Mobile EDGE ..... 59
Obrázek 34 Masarykovo náměstí - Vodafone HSDPA ..... 60
Obrázek 35 Masarykovo náměstí - Vodafone EDGE ..... 60
Obrázek 37 Masarykovo náměstí - T-Mobile EDGE ..... 61
Obrázek 36 Masarykovo náměstí - T-Mobile HSDPA ..... 61
Obrázek 38 Hlavní nádraží - Vodafone HSDPA ..... 62
Obrázek 39 Hlavní nádraží - Vodafone EDGE ..... 62
Obrázek 40 Hlavní nádraží - T-Mobile HSDPA ..... 63
Obrázek 41 Hlavní nádraží - T-Mobile EDGE ..... 63

# Seznam tabulek

Tabulka 1 Vysílací pásma a kanály v NMT ..... 16
Tabulka 2 Frekvenční pásma v GSM sítích ..... 19
Tabulka 3 Sloty u GSM datových přenosů ..... 33
Tabulka 4 Kódovací schémata v GPRS ..... 38
Tabulka 5 Třídy GPRS zařízení ..... 39
Tabulka 6 Kódování technologie EDGE ..... 41
Tabulka 7 Třídy EGPRS ..... 43
Tabulka 8 Naměřené hodnoty - ulice Jindřišská ..... 55
Tabulka 9 Naměřené hodnoty - náměstí Republiky ..... 58
Tabulka 10 Naměřené hodnoty - třída Míru ..... 60
Tabulka 11 Naměřené hodnoty - Masarykovo náměstí ..... 62
Tabulka 12 Naměřené hodnoty - Hlavní nádraží ..... 64
Tabulka 13 1. měření ulice Jindřišská ..... 71
Tabulka 14 2. měření ulice Jindřišská ..... 71
Tabulka 15 3. měření ulice Jindřišská ..... 71
Tabulka 16 4. měření ulice Jindřišská ..... 72
Tabulka 17 5. měření ulice Jindřišská ..... 72
Tabulka 18 1. měření náměstí Republiky ..... 72
Tabulka 19 2. měření náměstí Republiky ..... 73
Tabulka 20 3. měření náměstí Republiky ..... 73
Tabulka 21 4. měření náměstí Republiky ..... 73
Tabulka 22 5. měření náměstí Republiky ..... 74
Tabulka 23 1. měření třída Míru ..... 74
Tabulka 24 2. měření třída Míru ..... 74
Tabulka 25 3. měření třída Míru ..... 75
Tabulka 26 4. měření třída Míru ..... 75
Tabulka 27 5. měření třída Míru ..... 75
Tabulka 28 1. měření Masarykovo náměstí ..... 76
Tabulka 29 2. měření Masarykovo náměstí ..... 76
Tabulka 30 3. měření Masarykovo náměstí ..... 76
Tabulka 31 4. měření Masarykovo náměstí ..... 77
Tabulka 32 5. měření Masarykovo náměstí ..... 77
Tabulka 33 1. měření Hlavní nádraží ..... 77
Tabulka 34 2. měření Hlavní nádraží ..... 78
Tabulka 35 3. měření Hlavní nádraží ..... 78
Tabulka 36 4. měření Hlavní nádraží ..... 78
Tabulka 37 5. měření Hlavní nádraží ..... 79

# Úvod

Motivací k vypracování bakalářské práce na téma mobilních datových sítí 3. generace bylo především velké rozšíření smartphonů a dalších chytrých mobilních zařízení, které v hojné míře využívají právě mobilní datové přenosy. Vzhledem k tomu, že se neustále mobilní operátoři předhánějí v tom, který z nich poskytuje nejrychlejší a nejspolehlivější datové přenosy, bylo mým cílem zjistit skutečné hodnoty datových toků na jejich sítích.

V teoretické části této práce jsou popsány principy funkčnosti mobilních sítí od počátků, až po nejnovější technologie. Součástí je také popis přenosů hlasu, včetně jeho digitalizace a principy datových přenosů.

Praktická část se věnuje reálným měřením ve městě Pardubice. Obsahuje průměrné hodnoty pořízené během opakovaných měření v různých částech města. Tato měření probíhala se SIM kartami dvou tuzemských operátorů, a to Vodafone a T-Mobile. Naměřené průměrné hodnoty jsou součástí práce, hodnoty ze všech opakovaných měření se nachází v příloze.

# 1 Historie mobilní komunikace

## 1.1 Počátky

První uveřejnění principů funkčnosti mobilní cellulární sítě se vztahují ke konci roku 1947, k interní zprávě americké firmy Bell Laboratories. Principem této sítě, která je dnes označována jako GSM, je rozdělení geografické oblasti na buňky (anglicky cells), kde každá buňka obsahuje vysílač i přijímač a jsou centrálně řízeny řídícím střediskem. Výhodou je nastavení buněk na stejné frekvence, tudíž přechod mezi buňkami uživatel sítě vůbec nepozná.

V roce 1948 spustila svou první automatickou radiotelefonní síť společnost Richmond Radiotelephone Company. To znamenalo, že ke zprostředkování hovorů již nebyl zapotřebí operátor přepojující hovory, jak tomu bylo dříve. I přes tento fakt se ale většina hovorů až do 60. let přepojovala.

Od této doby se většina společností specializovala na vývoj a zdokonalování cellulárních sítí. V Bell System udělali v tomto ohledu největší pokrok a v roce 1971 si zažádali o schválení patentu na „mobilní komunikační síť“, který jim byl následující rok přisouzen. Spuštění prvního testovacího provozu se ale protáhlo o 5 let kvůli průtahům ze strany Amerického komunikačního úřadu.

# 2 První generace analogových cellulárních sítí

## 2.1 AMPS

Ve Spojených státech amerických byla první testovací AMPS (Advanced Mobile Phone Service) síť spuštěna v okolí Chicaga v polovině roku 1978 společností AT&T na frekvenci 800 MHz. Testu se účastnili zaměstnanci firmy Bell System a teprve ke konci roku byla spuštěna síť ke komerčnímu testovacímu provozu, který skončil úspěchem. AMPS sítě se tedy začínaly budovat po celém světě, ale stále byl problém ze strany FCC (Amerického komunikačního úřadu), který nechtěl dovolit plné komerční spuštění, dokud se na celém území nenajdou konkurenceschopné firmy pro Bell System. Tyto průtahy zapříčinily, že první mobilní síť pro komerční využití byla spuštěna až v roce 1983 v Chicagu.

## 2.2 NMT

V Evropě tomu bylo jinak. Síť NMT (Nordic Mobile Telephone) je standard specifikovaný roku 1981 v severských zemích (Norsko, Švédsko, Finsko a Dánsko) pro mobilní telefony 1. generace. Existuje ve dvou variantách, kterými jsou NMT-450 a NMT-900. První varianta pracuje na frekvenci 450 MHz, druhá, která byla specifikována o rok později, pracuje na 900 MHz.

Roku 1981 se jako první NMT sítě spustily v Norsku a Švédsku. O rok později následovalo Dánsko s Finskem. V České republice spustil v roce 1991 jako první NMT síť operátor Eurotel. Od roku 2006 již v České republice NMT síť nefunguje. Uvolnila totiž frekvenci 450 MHz pro systém CDMA.

Další evropské sítě byly například Italská RTMS, Německá a Rakouská C-Net (Cellular Network) a Francouzský Radiocom, či TACS (Total Access Communications System) ve Velké Británii. Oproti USA, kde fungovala pouze AMPS síť, měla tedy Evropa mobilních sítí několik. Z tohoto důvodu byl Evropskou komisí spuštěn projekt GSM (Groupe Speciále Mobile), který měl za úkol vytvořit jednu digitální síť na frekvenci 900 MHz pro celou Evropu. K podobnému kroku přistoupily americké společnosti v roce 1990. Pro ně vznikl standard IS-54B.

## 2.3 Technické specifikace NMT

Mobilní systémy první generace využívají především frekvenční modulaci (FM), FDD duplex a přístupovou metodu FDMA. Hlavními slabinami těchto systémů jsou například nízká kvalita přenosu, nízké zabezpečení proti odposlechu hovorů, neefektivní využití frekvenčního pásma a absence roamingu.

**Tabulka 1 Vysílací pásma a kanály v NMT**

| Název systému | Vysílací pásmo BTS [MHz] | Vysílací pásmo mobilní stanice [MHz] | Šířka kanálu [kHz] | Počet kanálů |
|---|---|---|---|---|
| NMT 450 | 463-467,5 | 453-457,5 | 25 | 180 |
| AMPS | 869-894 | 824-849 | 30 | 832 |
| TACS | 935-950 | 890-905 | 25 | 1000 |
| C-Net 450 | 460-465,74 | 450-455,74 | 10 | 573 |

Pro komunikaci je využíván plný duplex za použití 2 simplexních kanálů. Rozmezí vysílacích výkonů je 1 až 15 W. NMT systémy zpočátku neumožňovaly tarifikaci a roaming. Tyto možnosti byly přidány dodatečně. Dalším doplněním se v roce 1999 stalo zabezpečení hovorů. Jednalo se o tzv. „analogový scrambling". Funguje na analogové bázi, je zapotřebí, aby jej podporovaly obě koncové mobilní stanice, nebo jej musí podporovat mobilní stanice a BTS. NMT podporuje i přenos dat přes signalizační kanál pomocí služby DMS (Data and Messaging Service). Ta však byla využívána pouze v Polsku a Rusku.

Signalizování na NMT systémech využívá Fast Frequecy Shift Keying (FFSK) modulaci a pracuje rychlostí 600 bit/s nebo 1200 bit/s. Signalizace běží ve stejném kanálu jako hlas a je pro ni typické krátké přerušení hovoru při pohybu mezi buňkami.

## 2.4 Digitalizace hlasu v NMT systémech

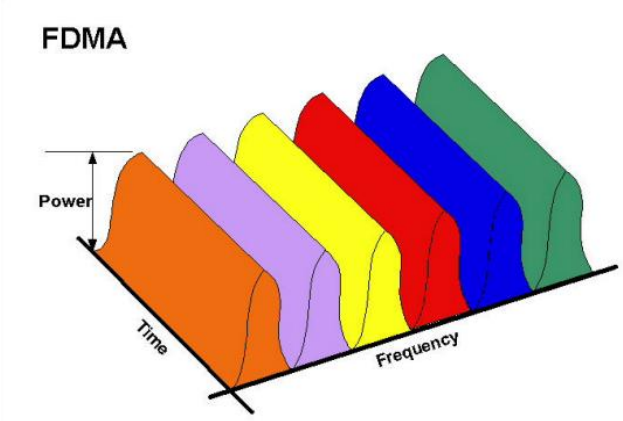
Při procesu digitalizace dochází k převodu analogového lidského hlasu do jeho digitální (binární) podoby.

Starší systémy využívaly dosti nešetrnou metodu digitalizace, známou jako Pulse Coded Modulation (PCM). Principem bylo nasnímání 8000 signálů za sekundu (jednalo se tedy o vzorek každých 125 mikrosekund). Poté se velikost tohoto vzorku vyjadřovala jako 8 bitové číslo. Po dopočtu (8000 vzorků × 8 bitů) lze zjistit, že rychlost přenosu se pohybuje na 64 kilobitech za sekundu. To je také velikost hovorového kanálu, na kterou byly stavěny typické telefonní sítě.

## 2.5 FDMA

Jedná se o zkratku Frequency Divison Multiple Access. Jedno z nejstarších a nejjednodušších schémat. Dostupná šířka pásma se dělí do několika kanálů určených pro kontrolu, signalizaci a hlas. Všechny patří přímo uživateli, až na kanál kontrolní, který sdílejí všichni uživatelé. Není moc efektivní - pokud totiž na kanálu nikdo nemluví, je zbytečný. FDMA řeší problém přidělování kanálů, ale už neřeší duplexní operace. Ty má na starosti FDD (Frequency Division Duplex) využívající dvou simplexních kanálů, které jsou od sebe oddělené, aby se zamezilo zbytečnému rušení na koncových zařízeních okruhu. FM rádio dělí spektrum do 30 kHz kanálů, zatímco FDMA dělí 30 kHz mezi 3 uživatele (každý tedy dostane 10 kHz). BSC (Base Station Controller) pro tento protokol má velmi omezenou kapacitu, a právě kvůli tomu ho dnes využívá pouze minimum systémů. Největší využití je v satelitech.

**Obrázek 1 Frequency Division Multiple Access**




*(zdroj: http://whitepapers.hackerjournals.com/wp-content/uploads/2010/04/FDMA-vs.-TDMA-vs.-CDMA.pdf)*

# 3 Druhá generace mobilních sítí – GSM

## 3.1 Základní popis GSM

Evropský telekomunikační institut (ETSI) se začal v roce 1989 starat o vývoj GSM. V roce 1991 byla zkratka změněna na Global System for Mobile Communications, byl vydán první standard a v Ženevě v rámci telekomunikačního veletrhu byla předvedena první zkušební síť GSM.

První sítě s tímto standardem byly spuštěny o rok později v Dánsku, Finsku, Švédsku, Německu, Itálii a Portugalsku. Téhož roku byla také uzavřena první smlouva týkající se roamingu. Smlouvu uzavřely společnosti Vodafone UK a Telecom Finland a jednalo se o první evropskou mezinárodní GSM síť. Po celé Evropě tato síť měla 70 členů ve 48 zemích a první milion uživatelů. Do GSM Asociace se také zařadila australská společnost Telstra.

Během této doby už se pracovalo na vytvoření systému v pásmu 1800 MHz. To obsahuje více kanálů, ale s menším dosahem. Systém byl postaven na standardu GSM a poprvé byl spuštěn ve Velké Británii na podzim roku 1993. V roce 1994 se Americký komunikační úřad rozhodl dát do dražby frekvence z pásma 1900 MHz. Od té doby nově vznikající mobilní sítě využívaly standard GSM-PCS 1900.

Dva roky nato byl definován standard GSM Phase 2, který již zahrnoval možnost datových přenosů.

**Tabulka 2 Frekvenční pásma v GSM sítích**

| typ GSM sítě | frekvenční pásmo pro downlink [MHz] | frekvenční pásmo pro uplink [MHz] |
|---|---|---|
| GSM 400 | 450,4 - 457, 6 | 460,4 - 467,6 |
| GSM 400 | 478,8 - 486 | 488,8 - 496 |
| GSM 850 | 824 - 849 | 869 - 894 |
| GSM 900 (PGSM) | 890 - 915 | 935 - 960 |
| GSM 900 (EGSM) | 880 - 915 | 925 - 960 |
| GSM-R | 876 - 980,8 | 921 - 924,8 |
| GSM 1800 (DCS - 1800) | 1710 - 1785 | 1805 - 1880 |
| GSM 1900 (DCS - 1900) | 1850 - 1910 | 1930 - 1990 |

## 3.2 Architektura GSM sítě

BTS je zkratka pro *Base Transciever Station*. Je to tzv. základnová stanice. Stará se o rádiové rozhraní mobilní stanice. Jedná se o rádiové řízení skládající se z vysílačů a antén potřebných k mobilnímu provozu v každé buňce (geografické oblasti). Skupiny BTS jsou řízeny pomocí BSC a komunikují pomocí rozhraní A-bis. Nejčastěji má přiděleno 3-5 rádiových kanálů a 24-40 účastnických kanálů. K jejímu řízení se používají speciální kanály pro přenos signalizačních signálů. V případě nutnosti BTS zašle ke koncové mobilní stanici signál o úpravě vysílacího výkonu. To zajišťuje vyloučení přílišných rozdílů mezí úrovněmi signálu v jednotlivých timeslotech.

GSM *Base Station Controller (BSC)* je základnová řídící jednotka. Poskytuje řídící funkce mezi ústřednou mobilních služeb MSC (Mobile Services Switching Center) a BTS. Zajišťuje funkce jako předávání mobilních stanic mezi buňkami, nastavování buňky

a přidělování rádiové frekvence podle úrovně výkonu BTS. Určitý počet BSC je kontrolován z ústředny mobilních služeb MSC.

GSM *Base Station System (BSS)* neboli systém základnových stanic. Poskytuje rozhraní mezi mobilními telefony a jinými částmi mobilní sítě. Zajišťuje také přidělování rádiových kanálů během komunikace a předávání hovorů mezi BTS. Skládá se ze dvou hlavních částí, kterými jsou jedna nebo více BTS umístěné v jedné nebo více buňkách a jedna nebo více BSC.

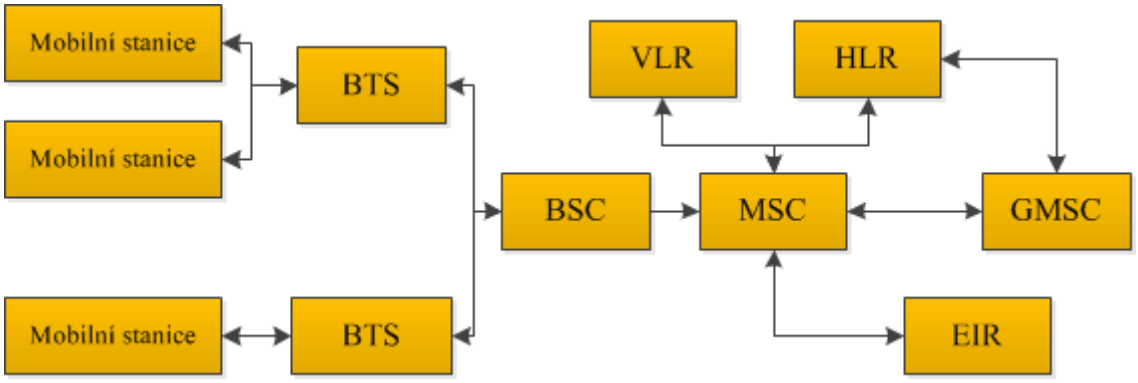
NSS je *Network and Switching Subsystem* a má za úkol vykonávání spínacích funkcí. Řídí komunikaci účastníků jedné GSM sítě, i komunikaci se sítěmi externími. Spínací funkce v subsystému má na starosti MSC. Pokud je MSC propojena do externích sítí, nazývá se Gateway MSC (GMSC).

*Operation Support Subsystem (OSS)* se skládá z OMC (Operations and Maintenance Center), NMC (Network Management Center) a ADC (Administrative Center), tedy servisního centra, centra managementu sítě a administrativního centra. Mezi jeho úkoly patří údržba hardwaru, údržba spínacího subsystému a řízení síťového provozu. Kontroluje, zda na síti není nějaká porouchaná stanice a sleduje registrování účastníků.

HLR je zkratkou *Home Location Register*, tedy domovský lokační registr. Jedná se o databázi obsahující nejdůležitější informace o uživatelích na dané síti. Jsou v ní obsažena telefonní čísla, IMSI (International Mobile Subscriber Identity) – číslo přidělené SIM kartě operátorem, MSISDN (Mobile Station International Subscriber Directory Number) – unikátní číslo identifikující SIM kartu v mobilní síti. Dále obsahuje AuC (Authenticity Centre), které před každým využitím služeb mobilní sítě ověřuje totožnost účastníka. Registr a AuC může sdílet více ústředen. Data o účastnících pohybujících se aktuálně v oblasti dané MSC jsou umístěna ve VLR (Visitor Location Register), jenž je obsažen v každé ústředně. Jeho obsah je smazán okamžitě po opuštění oblasti účastníkem.

Dalším registrem je *EIR (Equipment Identity Register).* Ten zaznamenává data o odcizených, či neprávem využívaných mobilních stanicích. Každý mobilní operátor má pouze jeden tento registr pro celou síť a je úzce propojen s ověřovacím centrem AuC. Při požadavku na využití služeb mobilní sítě si návštěvnický registr mobilní ústředny vyžádá po mobilní stanici identifikační číslo IMEI. Po odpovědi od mobilní stanice s IMEI číslem se toto číslo předá do EIR. Ten IMEI ověří ve své databázi, a poté určí na jaký seznam mobilní stanici zařadí: „bílý" (platně registrované mobilní stanice), „černý" (nahlášené odcizené mobilní stanice) nebo „šedý" (porouchané stanice).

**Obrázek 2 Architektura GSM**




*(zdroj: vlastní)*

*Mobile Switching Centre (MSC)* je důležitou částí GSM sítě a má za úkol přepínání hovorů, nastavování hovorů a základní přepínací funkce. Je nadřazeným prvkem BSC stanic a komunikuje také s ostatními MSC stanicemi a jejich registry. Stará se také o předávání kontroly a hovorů mezi různými stanicemi jak v interní, tak vzdálené síti bez toho, aby došlo k jejich přerušení.

Další částí je *Public Switched Telephone Network (PSTN).* Skládá se z mobilních sítí, satelitů, optických kabelů, telefonních linek, podmořských telefonních kabelů a mikrovlnných přenosů. Všechny tyto složky jsou spojeny za pomoci MSC stanic. To zajišťuje možnost komunikace mezi jakýmikoliv dvěma mobilními stanicemi na světě. Dříve se jednalo o analogové propojení, dnes je většina PSTN spojena digitálně a skládá se jak z mobilních stanic, tak stanic pevných. Podléhá standardu ITU-T, který umožňuje spolehlivé propojení různých světových telefonních sítí. Existuje také standard věnovaný adresnímu prostoru telefonních čísel - E.163 a E.164. Správně propojené sítě a dodržování pravidel standardů přidělování čísel mobilním stanicím umožňuje telefonování jakýmkoliv dvěma MS na světě.

## 3.3 Digitalizace hlasu v GSM sítích

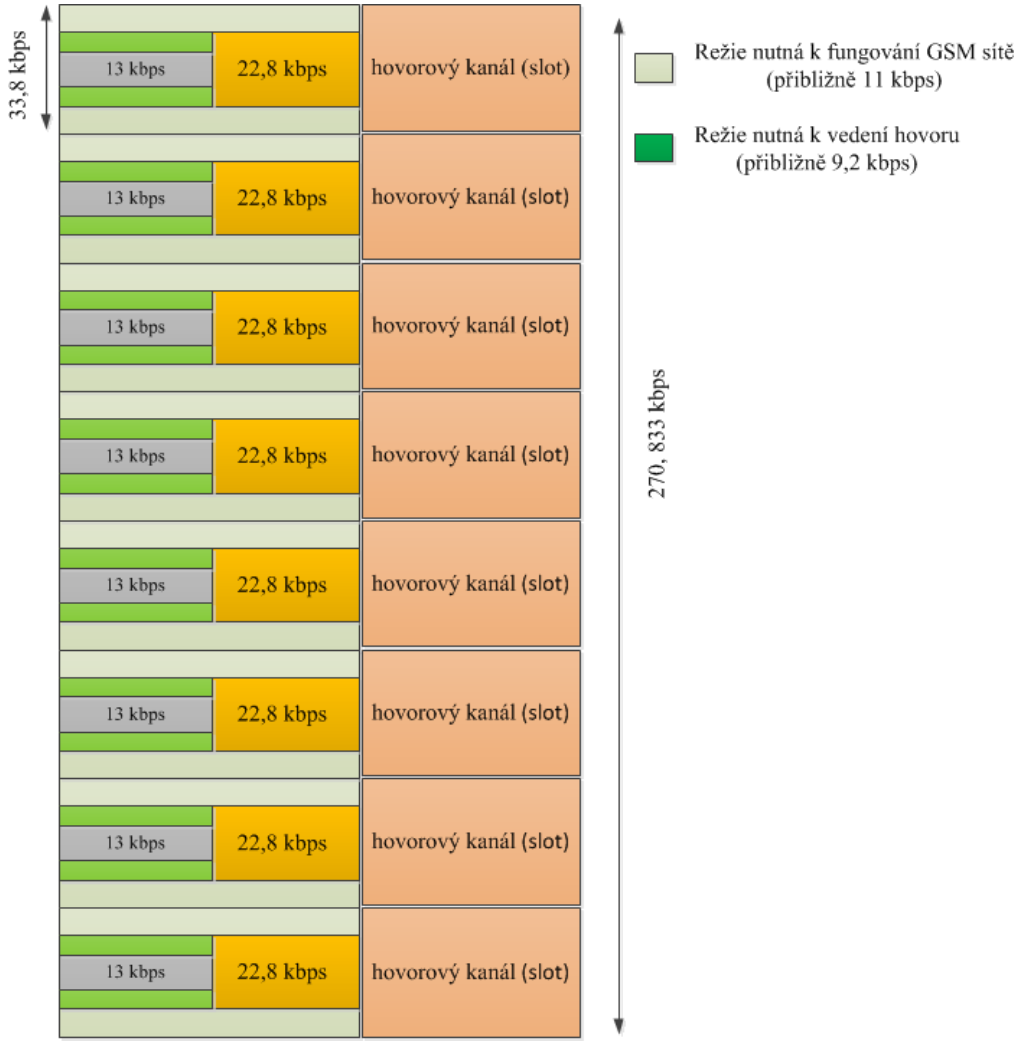
Při příchodu GSM sítí již byly použity efektivnější metody pro digitalizaci. Vzhledem k využívání mnohem menších přenosových kapacit, je generován menší objem přenášených dat a mohou být použity i nižší přenosové rychlosti. GSM digitalizace snímá vzorek hlasu po 20 milisekundách a je kódována 260 bity. Ve výsledku se tedy jedná o 13 kilobitů dat za sekundu.

Jelikož GSM sítě jsou poměrně dost náchylné k rušení, je zapotřebí přenášená data vhodně kódovat. Tím ochráníme přenášený hlas před chybami při přenosu, či poškozením dat. Pokud by nebyl zajištěn bezproblémový přenos, nepovede se sestavit zpět původní data, která měla být přenesena.

GSM používá různé typy kódování. Rozlišuje totiž, zda se přenáší obecná data, či hlas. Konvoluční kódování, používané pro přenos hlasu, umožňuje příjemci dat opravit některé

chyby, které během přenosu vznikly. To má samozřejmě za následek navýšení objemu přenášených dat. Po zakódování dojde ke zvětšení objemu dat na 456 bitů, které jsou generovány každých 20 milisekund. Za 120 milisekund se vygeneruje 2736 bitů, což beze zbytku zaplní slot v multirámci.

**Obrázek 3 Přenos hlasu v GSM sítích**




*(zdroj: vlastní)*

## 3.4 Přenosové kanály

Traffic Channels jsou určeny pro přenos hlasu, či dat. Dělí se podle uživatelské přenosové rychlosti, např. TCH/F14.4, TCH/F9.6, či TCH/H2.4. Písmena H a F značí, zda se jedná o plnou (full) nebo poloviční (half) rychlost. Kanály se dále rozdělují podle jednotlivých typů kódování a zabezpečení. Úroveň zabezpečení vždy klesá na úkor vyšší rychlosti přenosu.

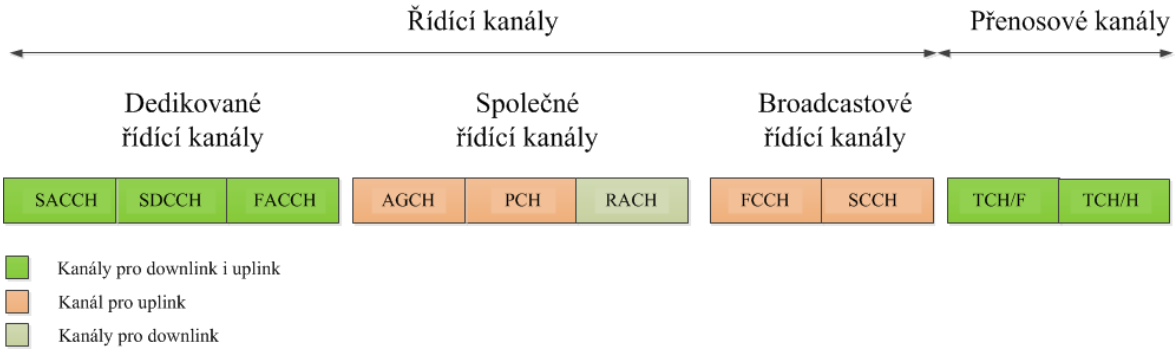
Řídící (Control Channels) kanály jsou určeny k přenosu řídících informací. Dále jsou děleny do 3 kategorií.

*Broadcast Control Channels (BCCH)* jsou jednosměrné downlink kanály, kterými základnová stanice informuje mobilní stanice. Kanálem je zasílán například identifikátor buňky, číslo kanálu, oblast, kód operátora apod. Do této skupiny patří také kanály pro synchronizaci (SCCH) a FCCH, což je frekvenční kanál.

*Common Control Channel (CCCH)* jsou společné řídící kanály využívané při navazování spojení mezi mobilní a základnovou stanicí. Při přihlášení zařízení do mobilní sítě je využit Random Access Channel (RACH). Pokud chce mobilní stanice využívat hlasových služeb, směrem k ní od BTS je vyhrazen PCH (Paging Channel). Do společných řídících kanálů patří také Access Grand Channel.

*Dedicated Control Channels (DCCH)*. Pokud mobilní stanice nemá kanál pro komunikaci s BTS, je jí přidělen tzv. Stand-Alone Control Channel (SDCCH). Tím se předávají informace potřebné k navázání přenosu. Přenosové kanály mají přidělen i Slow Associated Dedicated Control Channel (SACCH), který přenáší informace potřebné pro handover. Proudí po něm tedy informace jako kvalita signálu jednotlivých BTS, či jak si má mobilní stanice nastavit výkon.

**Obrázek 4 Přenosové kanály**




*(zdroj: vlastní)*

## 3.5 Přidělování kanálů

Při přechodech mezi buňkami je nutné mít vyřešenu otázku přidělování kanálů mobilním stanicím. U buňkových mobilních systémů jsou používány 2 nejdůležitější metody přidělování.

Fixní přidělování rádiových kanálů (FCA) - Fixed Channel Allocation. Metoda fixního přidělování je charakteristická pro analogové telefonní systémy typu NMT. Využívá rozdělení rádiového pásma na skupiny (o pevné velikosti) odpovídající počtu cellulárních buněk v daném svazku. Podle frekvenčního plánu jednotlivé buňky disponují natrvalo přidělenými komunikačními kanály. Velkou nevýhodou se jeví nemožnost použít volné kanály jedné buňky na výpomoc jiné, přetížené buňce.

Dynamické přidělování radiových kanálů (DCA) - Dynamic Channel Allocation. Řeší problém uvedený v předešlém přidělování. Umožňuje tedy přetížené buňce propůjčení

a využití volných kanálů v rámci daného svazku od buňky jiné. Samozřejmě nesmí být narušeny přípustné interferenční normy a mělo by být dodrženo pravidlo 5R, tedy bezpečná vzdálenost.

DCA systémy se využívají u bezšňůrových DECT telefonů a také u systémů GSM. Existují ve dvou variantách.

Adaptivní vůči provoznímu zatížení - dodržují princip minimální vzdálenosti opětovného využití frekvenčního spektra. Pokud existují volné kanály, lze je využít v libovolné momentálně přetížené buňce v rámci svazku.

Adaptivní vůči provoznímu zatížení a interferencím - není zapotřebí, aby tento systém přesně dodržoval minimální vzdálenosti opětovného využití frekvenčního spektra. Aby mohl volný kanál využít, musí být hodnota BER (bitová chybovost - poměr chybně přijatých bitů k celkovému počtu přijatých bitů za určitou dobu) v povolených mezích.

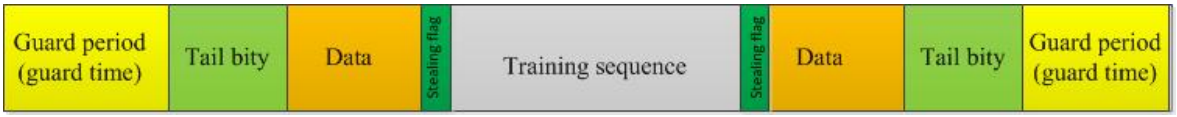
## 3.6 Datové bursty

Burst o velikosti 156,25 bitů je základní přenosovou jednotkou systémů GSM. Existuje 5 odlišných typů, každý s vlastní strukturou.

*Normální burst* se využívá k přenosu hlasových a řídících signálů. Obsahuje:

- Tail bity - nulové bity na začátku a konci burstu o velikosti 3 bity
- Training sequence - 26 bitový vzorek určený k úpravě signálu
- Stealing flags - nesou příznaky, zda daný burst přenáší data, či signály. Pokud burst přenáší data nebo hlas, příznak je 0, pokud slouží k signalizaci, pak 1
- Data - dva 57 bitové bloky dat
- Guard period/time - zabraňuje burstu překrývání, či rušení s přenosy jiných slotů

**Obrázek 5 Struktura normálního burstu**




*(zdroj: vlastní)*

Dalším burstem je tzv. *frekvenční*. Je tvořen pouze nulami a bývá zasílán při zapnutí mobilní stanice. Má za úkol synchronizovat mobilní stanici a tím zabránit jakýmkoliv rušením jiných stanic na jejich kanálech. Když mobilní stanice tento burst obdrží, od vysílaného kmitočtu odečte 67,7 kHz a dostane se tak na nosnou frekvenci. Jakmile je stanice připojena ke kanálu s nejsilnějším signálem, musí počkat na kmitočtovou korekci.

*Synchronizační burst* slouží k časové synchronizaci mobilní stanice. Přenáší informace jako TDMA Frame Number (číslo TDMA rámce), kód pro identifikaci základnové stanice nebo informace o operátorovi. Je zasílán přes synchronizační kanál.

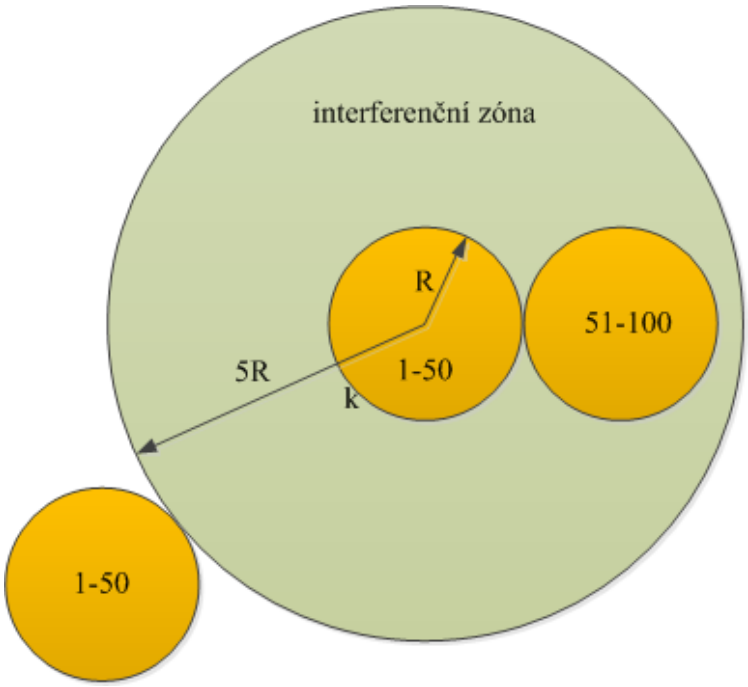
*Přístupový burst* má ochrannou dobu (Guard Period) 68,25 bitů. Je vysílán v okamžiku, kdy mobilní stanice vstoupí do sítě. Jakmile základnová stanice dostane požadavek na zařazení mobilní stanice do sítě, odpovídá jí s potvrzením a zasláním pokynu k nastavení časového posunu, které umisťuje do posledních 6 bitů. Jakmile mobilní stanice nastaví správnou dobu vysílání, začne přijímat normální bursty.

*Prázdný burst* je stejně strukturovaný jako normální burst, ale v jeho datových blocích se přenáší pouze předem definované sekvence nul a jedniček.

## 3.7 Ostrůvkovitá koncepce

Byla používána u prvních pozemních komunikačních systémů. Principem byla správa velké oblasti pouze jednou základnovou stanicí BTS. Tato koncepce ale měla několik nevýhod. Jelikož se jednalo o nejstarší metodu, stanice nebyly schopny si automaticky uživatele mezi sebou předávat. Proto každý účastník na síti musel při přechodu pod správu jiné BTS své zařízení manuálně přeladit na správné frekvenční pásmo. Protože základnová stanice spravovala velké oblasti, bylo zapotřebí, aby měla vysoký výkon. To samé platilo pro mobilní stanice, z čehož vyplývala vysoká energetická náročnost. Hlavním problémem však bylo špatně řešené přidělování frekvenčního pásma. Aby systém správně fungoval, byl zapotřebí velký počet přidělených kanálů a z toho vyplývající široká frekvenční pásma.

**Obrázek 6 Ostrůvkovitá koncepce**



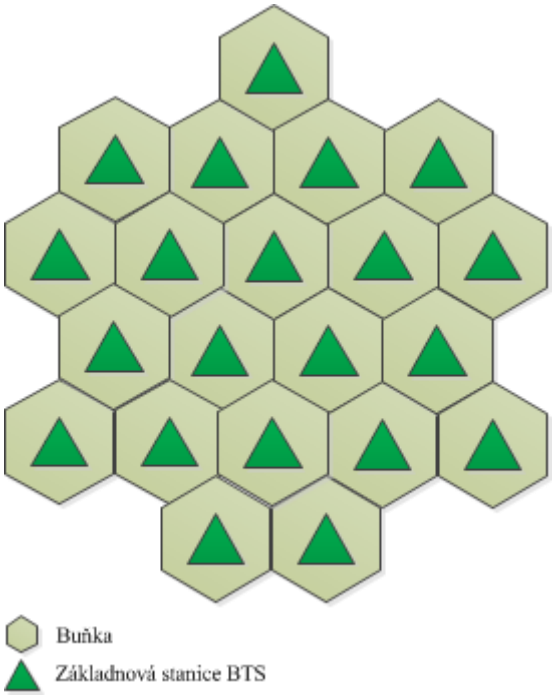

*(zdroj: vlastní)*

*„V oblasti znázorněné kruhem k o poloměru R je umístěna jediná základnová stanice, která obsluhuje celé toto území a disponuje rádiovými kanály číslo 1 až 50. Je-li spolehlivě pokryta oblast kruhu k, signál základnové stanice je jistě poměrně silný i v tzv. interferenční zóně v podobě kruhu l a v celé této oblasti se již kanály 1-50 nesmí vyskytovat a musí být využívány kanály 51-100, 101-150 atd. Celkově tedy bude pro pokrytí oblasti l zapotřebí přibližně 1250 různých kanálů. Tyto kanály se mohou opakovat až vně interferenční zóny, tedy po překročení bezpečnostní vzdálenosti (reuse distance) 5R.“* (RICHTR, Tomáš. Buňkové mobilní sítě: Princip buňkového systému. In:*Technologie pro mobilní komunikaci* [online]. c2002 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z WWW: <http://tomas.richtr.cz/mobil/bunk-princip.htm>)

## 3.8 Buňkový systém

Byl vyvinut v roce 1946 ve společnosti Bell. Oproti ostrůvkovité koncepci má tento systém výrazně lepší hospodaření s přidělenými frekvenčními pásmy. Umožňuje vícenásobné použití stejné frekvence v dané oblasti BTS. Jeden svazek se skládá ze 7 jednotlivých buněk. Každou buňku řídí základnová stanice se svými přidělenými komunikačními kanály a spravuje mobilní stanice k ní připojené. Další buňky svazku mají přiděleny jiné skupiny kanálů. Pokud se oblast buněk shoduje s interferenční oblastí, lze použít stejné kanály. Výhodou je tedy daleko lepší hospodaření s přiděleným spektrem kanálů, možnost využití handoveru a je za potřebí daleko nižší vysílací a přijímací výkon mezi BTS a mobilní stanicí. Na druhou stranu je však zapotřebí více základnových stanic. V předešlé koncepci spravovala velké území jen jedna, zde je za potřebí BTS do každé buňky. Abychom vytvořili síť, která má lepší vlastnosti jako například nižší vysílací výkony, či zvládala obsluhovat současně více mobilních stanic, můžeme svazek rozdělit na ještě menší buňky. Hovoříme pak o principu sektorizace.

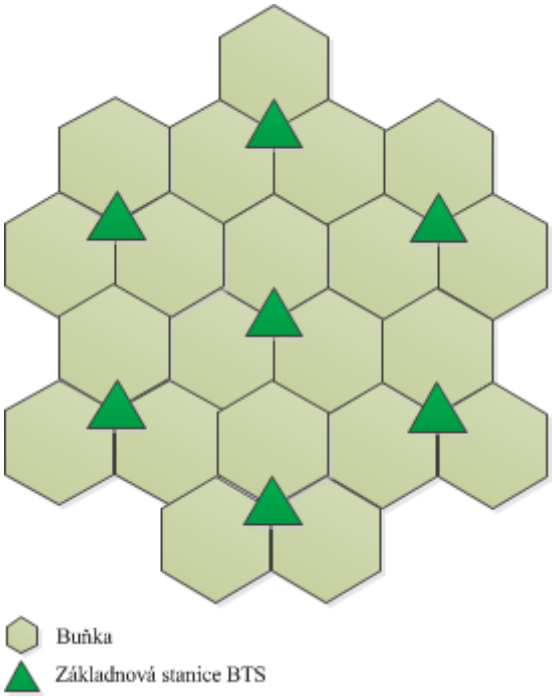
**Obrázek 7 Buňkový systém**




*(zdroj: vlastní)*

Ten dělí svazek na 21 menších buněk. Nezměníme tím počet potřebných kanálů, ale změní se počet potřebných BTS. Ten však můžeme snížit umístěním směrovacích antén ke styčným bodům vždy tří sousedících buněk.

**Obrázek 8 Buňkový systém - sektorizace**




*(zdroj: vlastní)*

### 3.8.1 Srovnání ostrůvkovité koncepce a buňkového systému

Za předpokladu, že svazek buněk odpovídá velikosti „ostrůvku", rozdělíme kanálové spektrum po sedmi kanálech. Celý svazek tedy bude obsahovat 49 kanálů, což zhruba odpovídá jednomu kruhu ve starším systému. Rozdílem a hlavní výhodou je však to, že sousední buňka může obsahovat kanály stejné. Vzdálenosti mezi buňkami, které využívají stejné frekvence je zhruba rovna pětinásobku jejich velikosti a výsledkem je tedy splnění podmínky 5R. V důsledku nám tedy k pokrytí jakéhokoliv území stačí 50 kanálů oproti 1250 kanálům ostrůvkovité koncepce.

## 3.9 Velikosti a typy buněk v systémech GSM

Vzhledem k nerovnoměrnému obydlení různých oblastí, je třeba důkladně naplánovat, jaké území budou jednotlivé stanice spravovat. Podle tohoto faktoru je zapotřebí řešit i nastavení jejich parametrů, jakými jsou například výkon a různé typy antén. Běžným postupem při budování GSM sítě je vytvoření nejdříve BTS stanic s velkými poloměry území, které mají pokrývat, a teprve s rostoucím počtem mobilních stanic na síti se přidávají BTS spravující menší buňky. Za tohoto předpokladu je třeba některé ze stanic spravujících původně velké oblasti jejich přenastavení - může se jednat o rekonfiguraci antén, či změnu výkonu.

*Makrobuňky* jsou typicky umisťovány nad úroveň zástavby. Dále se dělí na 3 typy.

Prvním z nich je tzv. „umbrella". Jedná se o deštníkové buňky spravující oblasti až do 30 kilometrů. Umísťují se především na vysoká místa a jsou schopny zpravidla dvěma až třemi sektory pokrýt oblast okresu. Pokud disponují vhodnými frekvencemi, mohou zastávat práci některých BTS se slabším signálem v oblastech s velkým výskytem vesnic, či členitým terénem, jako jsou horské oblasti. Rozmístění je velice podobné dříve používanému systému NMT450.

Dalším typem jsou *velké makrobuňky*, zpravidla pokrývající území velikosti města, nebo několika vesnic. Dosahem se jedná zhruba o 5 kilometrů.

*Malé makrobuňky* dosahují rozměrů kolem jednoho kilometru. Umisťují se na nižší objekty zástavby. Mají na starost rozdělovat co nejvíce frekvencí přiděleného spektra v nejbližším okolí.

Antény *mikrobuněk* se zpravidla usazují pod úroveň střech zástavby, ve většině případů se jedná o výšku maximálně druhého patra budov. Mají za úkol pokrývat nejbližší okolí, jako jsou křižovatky a ulice. Signál se vzhledem k umístění šíří především odrazem. Výhodami mikrobuněk jsou snadná instalace a snadný výběr kmitočtů. Naopak nevýhodami je složitější správa handoverů. Pokud se uživatel s mobilní stanicí pohybuje rychle mezi mikrobuňkami, hrozí, že nebude včas a správně proveden handover, tudíž hovor nebude možné udržet.

Nejmenším možným typem buněk jsou *pikobuňky*. Instalují se především přímo do budov, kde se předpokládá hojné využívání mobilních služeb, což by mohlo způsobit kapacitní

problémy nejbližší venkovní mikrobuňky, nebo za předpokladu, že konstrukce budovy neumožní snadný průchod signálu např. kvůli silným zdem.

*Opakovače (repeatery)* jsou principem jednoduchá zařízení, která mají za úkol pokrytí území s členitým terénem. Není tedy zapotřebí zavádění další BTS stanice. Repeater přijme signál, zesílí ho a následně odešle správné BTS stanici. Ta signál předá mobilní stanici, která komunikuje zpět s BTS a ta ho přeposílá opakovači. Má nastaven kanálový filtr, který zajišťuje práci pouze se signálem mobilního operátora, který ho vlastní. Opakovače se využívají na místech, kde je signál natolik slabý, že dosáhne pouze ke své nejbližší BTS a nikoliv už k opakovači samotnému. Pokud by totiž signál dosáhl jak na repeater tak na BTS, mohlo by vzhledem k fázovému posunu docházet ke špatnému přenosu dat. Zesílení musí být správně konfigurováno v obou směrech a vysílač by neměl během hovorů využívat skoků v pseudonáhodných posloupnostech po jednom rámci - tzv. „hoppingových sekvencí".

## 3.10 Handover

Sousedící buňky mohou využívat kanály s různými frekvencemi. Pokud se uživatel s danou mobilní stanicí pohybuje, je třeba zajistit její přeladění na novou frekvenci - tento proces se nazývá handover. V dnešních systémech je již plně automatický, bez potřeby zásahu uživatele a v podstatě nepostřehnutelný. Dříve bylo nutností manuální přeladění stanice na danou frekvenci. Aby proces předávání stanic mezi buňkami byl automatizovaný, je zapotřebí, aby jednotlivé BTS stále věděly, kde se nachází jednotlivé jimi spravované mobilní stanice. To se dá zajistit udržováním spojení mezi základnovou a mobilní stanicí. Ta komunikuje s nejbližšími BTS, které v reálném čase vyhodnocují sílu a kvalitu signálu. Data o kvalitě a síle předá ústředně, která vyhodnotí, jaká z BTS je nejblíže.

*Mezibuňkový handover* - také označován jako inter-cell handover. Jedná se o automatické přeladění mobilní stanice na správnou frekvenci při přechodu mezi jednotlivými buňkami. Jakmile se signál z jiné buňky jeví jako kvalitnější než současný, je mobilní stanice přeladěna a komunikuje se stanicí druhou.

*Vnitrobuňkový handover* - intra-cell handover. Pokud mobilní stanice najde kanály, které by zaručovaly kvalitnější komunikaci, je možné její přeladění i v oblasti jedné buňky.

Výše uvedené principy mohou být řízeny i bez spoluúčasti mobilní stanice. Naopak může řízení sama převzít, či se na něm pouze částečně podílet. Existují 3 hlavní typy handoverů.

*Handover řízený systémem (Network Controlled HandOver),* zkratka NCHO. Metoda, při které mobilní stanice neustále vysílá kontrolní signály ke všem základnovým stanicím v jejím dosahu. Ústředna poté rozhodne, na kterou z okolních BTS by měla mobilní stanice být připojena vzhledem ke kvalitě a síle signálu. Z důvodu neustálé komunikace je zapotřebí zajistit vysokou přenosovou kapacitu mezi BTS a ústřednou. Při tomto typu předávání se mobilní stanice vůbec rozhodování neúčastní. Využívá se především u NMT a analogových telefonních systémů.

*Handover řízený za spoluúčasti mobilní stanice (Mobile Assisted HandOver)*. Mobilní stanice neustále měří sílu a kvalitu signálu a naměřené hodnoty poskytuje BTS, kterou je spravována. Zpracovávat hodnoty typu poměr signálu a šumu, či síly signálu mohou i základnové stanice nacházející se v okolí. Stejně jako v případě NCHO, rozhodování, ke které BTS bude mobilní stanice připojena, má na starosti radiotelefonní ústředna. Rozdíl je však v tom, že MAHO se rozhoduje na základě údajů, které poskytla mobilní stanice. Mezi výhody tohoto handoveru patří menší nároky na přenosovou kapacitu BTS a ústředny. Nevýhodou jsou naopak vyšší datové toky mezi základnovou ústřednou a mobilní stanicí. S tímto typem se setkáme u GSM sítí.

*Handover řízený mobilní stanicí (Mobile Controlled HandOver)*. U tohoto typu handoveru si řídí přelaďování mezi stanicemi samotné mobilní zařízení. K tomu využívá jak údaje, které si sama naměřila tak i údaje od okolních BTS. Jakmile je příjem signálu z jiné základnové stanice lepší, sama mobilní stanice vyšle nové BTS požadavek na změnu frekvence. Mezi výhody patří šetření rádiového sektoru. Princip je využíván bezšňůrovými DECT telefony a je z uvedených typů handoverů nejrychlejší.

Při *tvrdém handoveru* je mobilní stanice odpojena od stávajícího kanálu, a teprve poté je jí přidělen kanál nový. Při přepojování dochází k téměř nepostřehnutelnému výpadku spojení. Jedná se o handover řízený systémem, je tedy používán v NMT, či GSM sítích.

Principem *bezešvého (seamless) handoveru* je vytvoření spojení s novou základnovou stanicí a až po jeho navázání je zrušeno spojení s BTS původní. Je zde nutnost synchronizace, jelikož mobilní stanice musí v jednu chvíli komunikovat na dvou kanálech. Tento typ handoveru využívají DECT systémy, jedná se tedy o handover řízený mobilní stanicí.

Při *měkkém (soft) handoveru* je mobilní neustále připojena k alespoň dvěma BTS. Jak se mobilní stanice pohybuje, jsou postupně rušena/navazována spojení s jednotlivými základnovými stanicemi. Vyžaduje vyšší kapacitu sítě a je využíván v systémech 3G a IS-95.

## 3.11 Datové přenosy v bezdrátových sítích

Převažující část veřejných bezdrátových sítí je určena především pro přenos hlasu. To se mění až u mobilních sítí 3. generace, které jsou využívány jak pro hlasové, tak datové přenosy. Avšak i u starších mobilních systémů existuje možnost využití datových přenosů.

První variantou jak přenášet data je modulování dat do analogového signálu a jeho následné přenášení. Data by poté byla přenášena v podstatě stejně jako hlas. Tato možnost je využitelná pro mobilní systémy navržené především pro přenos hlasu.

Další možností je rozdělení přenosu hlasu a dat do jednotlivých poskytovaných služeb. Data není nutné nijak uživatelem modulovat. Služby by si vytvořily vlastní přenosový

kanál s pevně danými parametry v rámci sítě. Zde je podstatným parametrem přenosová rychlost (bity za sekundu).

Jiným důležitým parametrem je rozlišení, zda přenosový kanál využívá principu přepojování paketů, či okruhů. Princip přepojování paketů garantuje danou přenosovou kapacitu. Je tím tedy zajištěno, že po celou dobu datového přenosu bude dosahována garantovaná rychlost. Druhý princip, tedy přepojování paketů, využívané v datových sítích, nezajišťuje stejnou rychlost po celou dobu přenosu. Kapacita sítě je sdílena pro více mobilních zařízení, z toho důvodu je menší šance dosáhnout maximální rychlosti. Takto tvořené mobilní systémy lze tarifikovat určením přesného počtu přenášených dat. Jakmile se žádná data nepřenáší, nejsou spotřebovávány žádné zdroje (BTS, kanály apod.). Oproti tomu jsou zdroje nepřetržitě využívány principem přepojování okruhů, resp. dokud existuje daný přenosový kanál. Jsou tedy zpoplatňovány na základě doby připojení, bez ohledu na přenesená data.

Na principu přepojování okruhů a účtování na základě doby připojení v nich fungují služby CSD (Circuit Switched Data) a HSCSD (High Speed Circuit Switched Data). Další datovou službou v GSM je GPRS (General Packet Radio Service) fungující na principu přepojování paketů a je účtována podle počtu přenesených dat.

### 3.11.1 Circuit Switched Data (CSD)

Circuit Switched, jinak řečeno přepojování okruhů, je odvozeno od principu fungování. Mezi odesílatelem a příjemcem se vytvoří přenosová cesta s pevně danou přenosovou kapacitou. Jedná se o nejstarší způsob datových přenosů. Nevyužívá k přenosu pakety, ale stejný princip jako přenos hlasu. V rámci každého kanálu lze pro přenosy využít 22,8 kilobitů za sekundu, jak již bylo zmíněno. Samozřejmě tato přenosová rychlost nelze plně využít, je zapotřebí od ní odečíst další náklady na režii - opravy chyb, navázání spojení, či zajištění přenosu.

Z počátku se pro datové přenosy využívaly podobné mechanismy zajišťující spolehlivý přenos jako u hlasových služeb. K datovým přenosům tedy nakonec byla vybrána rychlost 9,6 kilobitů za sekundu. Zbylých 13,2 kbps zbývajících ve slotu bylo použito na režii.

Časem bylo zjištěno, že datové přenosy nejsou až tak náchylné k chybovosti jako hlas. Bylo tedy možné jejich ochranu v podobě 13,2 kbps vymezených na režii snížit a tím zvýšit rychlost určenou pro samotný datový přenos. Ve výsledku je možná rychlost 14,4 kbps, ke které je však nutný dostatečně silný signál. Možnost využití maximálních rychlostí u variant 9,6 i 14,4 kbps klesá vzhledem ke vzdálenosti od BTS. Kvůli způsobeným chybám v přenosech ve větších vzdálenostech od základen se zvyšuje i chybovost a klesá tím i počet přenesených důležitých dat.

Jeden slot o velikosti 33,8 kbps potřebuje na režii 11 kbps (handovery, komunikace s BTS), ze kterých zbude 22,8 kbps použitelných pro přenos dat. V případě použití stejných zabezpečovacích mechanismů jako u hlasových hovorů tvoří režie na zajištění

datového přenosu podíl cca 13,2 kbps. Pokud zmíněné mechanismy oslabíme, zvýšíme tím přenosovou rychlost na 14,4 kbps a na režii připadá zhruba 8,4 kbps. Samozřejmě je možné další zmenšení režie, ale příjem datových přenosů se tím ještě zhorší. Bylo by však zapotřebí neustále dobrého příjmu, aby byla co nejmenší možnost chybovosti způsobená právě větší vzdáleností od BTS.

**Obrázek 9 Přenos dat v GSM sítích**

*(zdroj: vlastní)*

### 3.11.2 High-Speed Circuit Switched Data (HSCSD)

Technologie HSCSD je stejně jako její pomalejší varianta založena na přepojování okruhů. Je snadno implementovatelná, jelikož se mění pouze softwarové systémy, nikoliv hardwarové. Protože zůstává zachována koncepce GSM sítě, není možné měnit modulace, kódování, její strukturu týkající se rámců, multirámců, či slotů. Rozdílem mezi CSD a HSCSD je tedy efektivnější využití volných slotů, které mobilní síť v daný okamžik má. Pro zvýšení přenosové rychlosti je využit princip sdružování a používání více slotů najednou (maximum je 8). Jak CSD, tak i HSCSD fungují na bázi přepojování okruhů, což znamená, že přidělené sloty i s přenosovou kapacitou jsou trvale přiděleny po celou dobu existence komunikačního kanálu, ať už je využíván, či ne. Jsou tedy zpoplatňovány vzhledem k délce doby připojení.

U této technologie, je možné dosáhnout při využití všech 8 slotů v jednom kanálu přenosové rychlosti 115 kbps pro příjem a vysílání. HSCSD umožňuje využití i asymetrických přenosů. Ve výsledku je tedy možné používat různý počet slotů do různých směrů.

K využití maximálních rychlostí, které HSCSD umožňuje je zapotřebí, aby mobilní stanice byly schopny přijímat a slučovat daný počet příchozích rámců a dále je současně používat. Je rovněž nutné, aby daná buňka v okamžiku vytváření HSCSD spojení měla k dispozici nutný počet slotů. Další nutnou podmínkou je korektní nastavení mobilní sítě, která by neměla nijak omezovat počet slotů, jež je možné přenášet během jednoho přenosu.

**Tabulka 3 Sloty u GSM datových přenosů**

| Třída | Maximální počet slotů pro příjem | Maximální počet slotů pro vysílání | Celkový počet slotů | Typ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 2 | 2 | 1 | 3 | 1 |
| 3 | 2 | 2 | 3 | 1 |
| 4 | 3 | 1 | 4 | 1 |
| 5 | 2 | 2 | 4 | 1 |
| 6 | 3 | 2 | 4 | 1 |
| 9 | 3 | 2 | 5 | 1 |
| 10 | 4 | 2 | 5 | 1 |
| 12 | 4 | 4 | 5 | 1 |
| 13 | 3 | 3 | 6 | 2 |
| 18 | 8 | 8 | 16 | 2 |

Jak lze vidět v tabulce, třída číslo 18 umožňuje využití až 16 slotů (8 pro příjem, 8 pro vysílání). Plně duplexně lze tedy přenášet maximální možnou rychlostí 115,2 kb/s. Vyšší rychlosti už nejsou u technologie HSCSD za předpokladu neměnné struktury možné.

U 6. třídy HSCSD se používají asymetrické přenosy. Resp. 3 sloty pro příjem a 1 pro vysílání. Příjem dat může tedy běžet až 3 x 14,4 kbps (43,2 kbps) a data mohou být vysílána rychlostí 14,4 kb/s. V případě využití slotů s nižší rychlostí, tedy 9,6 kbps, je možný příjem rychlostí 28,8 kbps a vysílání 9,6 kbps.

Z tabulky je patrné, že jediná možnost využití asymetrického přenosu u 6. třídy je právě zvolená kombinace 3 sloty pro příjem a 1 pro vysílání. Vzhledem k maximálnímu možnému počtu 2 použitých slotů pro vysílání tato metoda nemůže být využita při přenosu mezi mobilními stanicemi. Není možné, aby jedna stanice přijímala rychlostí 43,2 kbps a druhá stejnou rychlostí vysílala. Tato možnost se tedy využívá zpravidla pro komunikaci mobilní stanice s poskytovatelem internetu, či jinou sítí, která umožňuje rychlejší komunikaci.

Symetrická řešení jsou oproti předchozím asymetrickým vhodná pro komunikaci dvou mobilních stanic. Obě zařízení totiž mají možnost stejnou rychlostí vysílat i přijímat.

Pokud síť využívá sloty o rychlosti 9,6 kbps, lze dosáhnout příjmu i vysílání rychlostí 19,2 kbps. S rychlejšími sloty (14,4 kbps) lze dosáhnout duplexní rychlosti 28,8 kbps.

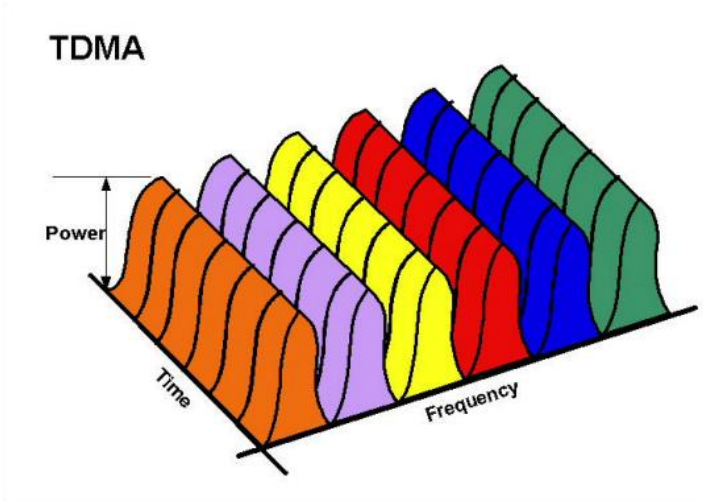
Nevýhodou HSCSD je vysoká náročnost na síť. Sloty vyhrazené pro tuto službu nelze totiž využít jinak. Jelikož každá cellulární buňka má přidělen pouze určitý počet kanálů, záleží čistě na mobilním operátorovi, jak si přidělené kanály rozvrhne. Sloty přidělené HSCSD jsou zablokované po dobu existence spojení, což způsobuje velké zatížení sítě i během handoverů, kdy uživatel mobilní stanice přechází z jedné buňky do jiné.

## 3.12 TDMA

Principem je dělení přenosových kanálů v čase. Dvojice komunikujících mobilních stanic dostane přidělen kanál na pevně daný časový interval. Po vypršení časového kvanta jej přenechá jiné komunikující dvojici, která tuto metodu rovněž zopakuje, dokud se nevyčerpají dvojice na daném přenosovém kanálu. Ten může být sdílen 8 dvojicemi (v nadstavbách TDMA jich zvládne až 16). V tu chvíli se kanál přidělí opět první dvojici v pořadí. Z principu tedy vyplývá, že každá dvojice účastnící se hovoru má přidělenu ⅛ přenosového kvanta, neboli time slotu. Přenosový kanál je tedy možné sdílet 8 hlasovými hovory.

Síť GSM 900 poskytuje až 124 jednotlivých kanálů, od sebe vzdálených 200 kHz. Tyto kanály se rozdělí technikou multiplexu na 8 slotů. Na každý slot vychází délka intervalu zhruba 0,557 milisekund.

**Obrázek 10 Time Division Multiple Access**




*(zdroj: http://whitepapers.hackerjournals.com/wp-content/uploads/2010/04/FDMA-vs.-TDMA-vs.-CDMA.pdf)*

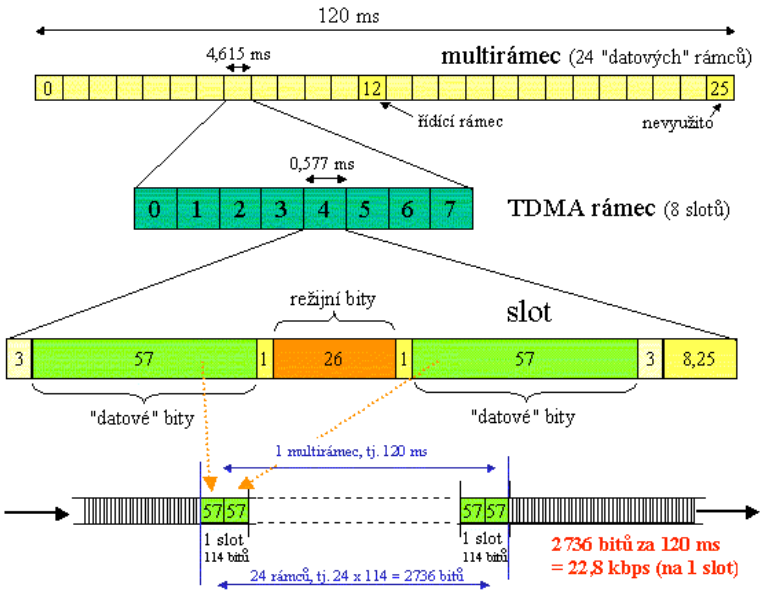
Osm slotů tvoří TDMA rámec o časovém kvantu 4,615 milisekundy. Rámce se seskupují do multirámců po šestadvaceti o délce 120 ms. Ty se od sebe oddělují zpožděním v podobě 3 slotů. Dvacet čtyři z 26 rámců se využívá pro přenos, 12. rámec je řídící a 25. je vyhrazen.

Nejčastější struktura slotů je 156,25 bitů velká. Skládá se ze dvou 57 bitových bloků ohraničených 1 a 3 oddělovacími bity. Další blok je tzv. režijní o velikosti 26 bitů. Slouží především k rozpoznání užitečného signálu a jiných rádiových vln.

Pro zjištění přenosové rychlosti je třeba několik jednoduchých počtů. Slot obsahuje 2 krát 57 nerežijních bitů, které nesou data. Jeden rámec obsahuje 8 slotů, multirámec jich obsahuje 26, ale 2 nenesou data. Výsledkem násobení datových bitů (2 x 57 x 24) je 2736 bitů za 120 ms. Přenosová rychlost vychází tedy 22,8 kb/s. Jedná se však o přenosovou rychlost týkající se pouze dat. Ve vzorci není započítána jakákoliv režie týkající se ať už předávání stanic mezi buňkami (handoverem), komunikací mezi BTS a mobilní stanicí, či přidělování samotného kanálu.

K výpočtu přenosové rychlosti multirámce je zapotřebí znát celkovou velikost jednoho slotu, tedy 156,25 bitů, že každý rámec obsahuje 8 slotů a 26 slotů je celkem v multirámci. Výpočtem získaná hodnota je 32 500 bitů přenesených za 120 ms - tedy 270,833 kb/s.

**Obrázek 11 Struktura multirámce**




*(zdroj: http://www.earchiv.cz/a008s200/a008s202.php3)*

# 4 Dvou a půltá generace mobilních sítí – GPRS

## 4.1 Základní popis GPRS

General Packet Radio Service mění charakter doposud fungujících přenosových služeb. To s sebou nese na jedné straně nové možnosti, na druhé ovšem vyžaduje změny ve struktuře mobilní sítě. Je tedy náročnější na implementaci než předešlé systémy.

Oproti systémům GSM se liší především tím, že nevyužívá přepojování okruhů, ale přepojuje pakety. Služba tedy může být tarifikována podle skutečného objemu přenesených dat a ne podle časového intervalu.

Jak již bylo zmíněno, je zapotřebí zásah do architektury sítě. V podstatě se jedná o přidání další vrstvy nad GSM síť, která bude mít na starosti přepojování paketů. Mezi prvky, které toto zajistí, patří například Serving GPRS Support Node (SGSN), Gateway GPRS Support Node (GGSN), PCU (Packet Controller Unit), či GPRS Register (GR). Jejich funkce je vysvětlena dále.

## 4.2 Architektura GPRS sítě

*SGSN* je zkratka pro *Serving GPRS Support Node*. Jedná se o hlavní část sítě GPRS. Je napojena na BSC a má za úkol např. autentizaci, také má funkci registru a je pro mobilní stanici v podstatě přístupovým bodem do GPRS sítě. Řídí konverzi protokolu IP, který je používán v páteřních sítích na protokol SNDCP (Sub Network Dependent Convergence Protocol) používaný v podsítích a LLC (Logical Link Control) protokoly, které jsou mezi samotnou SGSN a mobilní stanicí. Výše uvedené protokoly se starají o šifrování

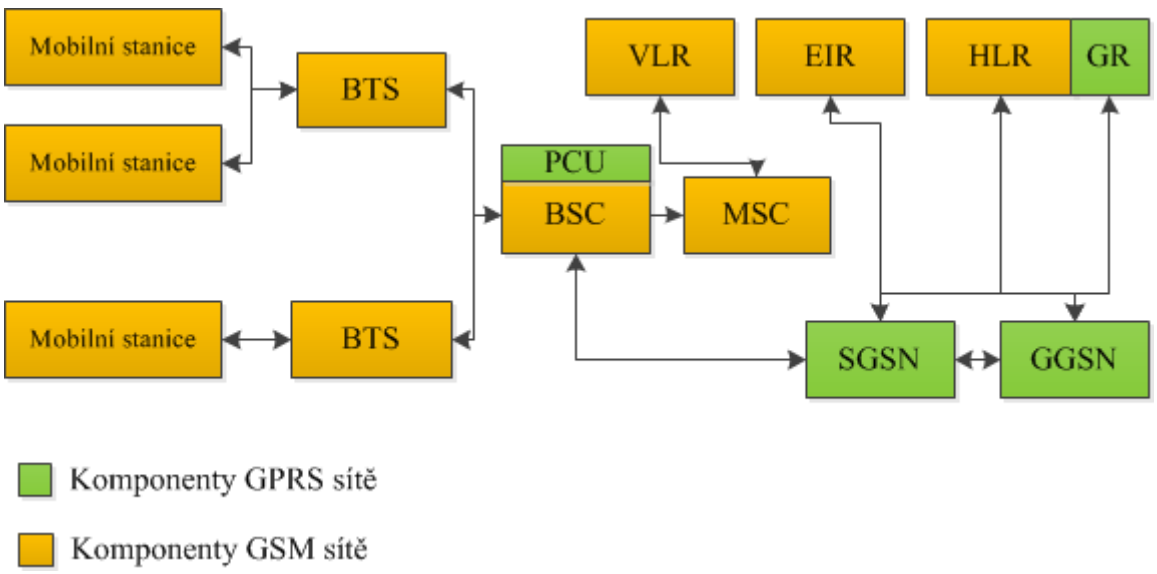
a kompresi dat. Při úspěšné autentizaci stanice je zaregistrována do GPRS sítě a pokud začne komunikovat, SGSN se postará o přepínání dat mezi ní a důvěryhodnou GGSN.

*Gateway GPRS Support Node (GGSN)* je výchozí brána pro mobilní stanice. Je připojena do vnějších sítí jako např. internet. Z pohledu těchto sítí se jeví jako směrovač do podsítí, protože GGSN schovává strukturu své sítě před sítěmi vnějšími. Jakmile GGSN obdrží požadavek na předání dat, nejprve zjistí, zda adresa požadovaného uživatele na jeho síti je aktivní a v takovém případě přepošle data k SGSN, která komunikuje přímo s mobilní stanicí. V opačném případě data zahodí.

*Packet Controller Unit (PCU)* je hardware přidaný ke GSM BSC. Má za úkol směrovat data do GPRS sítí.

*GR (GPRS Register)* je rozhraní sloužící pro komunikaci mezi HLR a GGSN.

**Obrázek 12 Architektura GPRS**




*(zdroj: vlastní)*

## 4.3 Princip datového přenosu

Než vůbec může datové spojení proběhnout, je třeba zjistit údaje o uživateli, jestli může GPRS využívat a předání jeho identity do SGSN. Zároveň mu bude přidělen šifrovací klíč Ciphering Key Sequence Number (CKSN) a jedinečný dočasný identifikátor Temporary Logic Link Identity (TLLI). Dalším prvkem je GPRS Context, který si uchovává daná SGSN a mobilní stanice. Obsahuje informace o směrování, jako např. kód BTS, kód kanálu, TLLI, CKSN, příznak, zda byla použita komprese a stav stanice.

Aby přenosy paketů fungovaly správně, využívá GPRS nový přenosový a řídící kanál. Packet Associated Control Channel (PACCH) je řídící kanál, který přenáší všechny potřebné informace pro přenos. Packet Data Traffic Channel (PDCH) je kanál přenosový.

Přenos funguje tak, že Logical Link Control (LLC) rámec se rozdělí na datové jednotky. Velikost každé z nich se vztahuje na použité kódování. Pokud přijímač nerozezná RPC blok, jenž datové jednotky obsahuje, je třeba ho retransmitovat. Pokud došlo k nějaké změně podmínek přenosu, či nastala chyba, RLC (Radio Link Control) blok se nepodaří přijímači rozkódovat.

## 4.4 Kódování v GPRS

U technologie GPRS se využívají 4 různá kódování. Kódovací schéma je vybráno na základě kvality přenosu. Kódovací schémata jsou v rozmezí CS-1 až CS-4. CS-1 je určeno pro nejpomalejší přenosy, nabízí však vysokou úroveň zabezpečení. Naopak je tomu u posledního schématu CS-4, které sice poskytuje rychlé přenosy, avšak nižší zabezpečení.

**Tabulka 4 Kódovací schémata v GPRS**

| Schéma | 1 slot | 2 sloty | 3 sloty | 4 sloty | 5 slotů | 6 slotů | 7 slotů | 8 slotů |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| CS-1 | 9,05 | 18,2 | 27,15 | 36,5 | 45,25 | 54,3 | 63,25 | 72,4 |
| CS-2 | 13,4 | 26,8 | 40,2 | 53,6 | 67 | 80,4 | 93,8 | 107,2 |
| CS-3 | 15,6 | 31,2 | 46,8 | 62,4 | 78 | 93,6 | 109,2 | 124,8 |
| CS-4 | 21,4 | 42,8 | 64,2 | 85,6 | 107 | 128,4 | 149,8 | 171,2 |

## 4.5 Třídy GPRS zařízení

Stejně jako u technologie HSCSD se dělí mobilní zařízení využívající GPRS do několika tříd. Každá třída využívá různý počet slotů pro přijímání (downlink) a odesílání (uplink). Nejvíce využívaná je třída 10 se 2 uplink a 4 downlink sloty. V jednu chvíli lze využívat nejvíce 5 slotů.

Mobilní zařízení můžeme rozdělit do 3 tříd. Každá z nich má jiné možnosti pro využití dat, či hlasu.

V třídě A je zařízení schopno využívat jak hlasové tak datové služby. Dual Transfer Mode (DTM) umožňuje vést hlasový hovor a zároveň přenášet data na stejném frekvenčním kanálu. Třída B zastaví příjem GPRS dat v okamžiku příjmu, či odesílání SMS nebo telefonního hovoru. Jakmile skončí hovor, či práce se SMS, GPRS přenos je obnoven. Mobilní stanice patřící do třídy C pracují výhradně se službou GSM nebo GPRS v danou chvíli. Zařízení této třídy tedy v jednu chvíli mohou pracovat jen s hlasovými službami, případně SMS nebo využívat GPRS přenos.

**Tabulka 5 Třídy GPRS zařízení**

| Třída | Počet slotů pro příjem | Počet slotů pro vysílání | Maximální počet slotů |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 2 |
| 2 | 2 | 1 | 3 |
| 3 | 2 | 2 | 3 |
| 5 | 2 | 2 | 4 |
| 8 | 4 | 1 | 5 |
| 10 | 4 | 2 | 5 |
| 12 | 4 | 4 | 5 |

# 5 2,75. generace mobilních sítí – EDGE

## 5.1 Základní popis EDGE

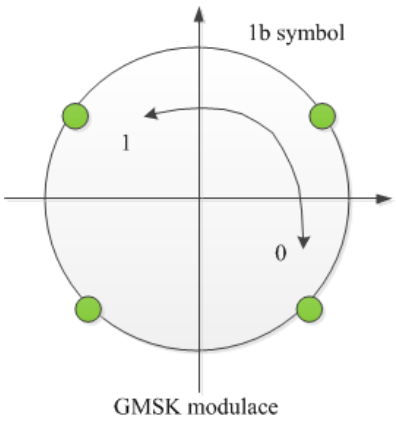
EDGE je zkratka Enhanced Data Rates for GSM Evolution, v překladu se jedná o zvýšené datové rychlosti pro vývoj GSM. Jelikož je EDGE dalším vývojovým stádiem sítí GSM nedá se zařadit do určité kategorie mobilních sítí, proto je technologie označována jako typ sítě 2,75. generace. Z důvodu, že se jedná o nadstavbu GSM nemůže EDGE pracovat samostatně.

Základem je GPRS, u kterého je pozměněna rádiová část mobilní sítě, především kódování a protokoly. Pro komunikaci využívá kanály o velikosti 20 kHz a frekvence 800, 900, 1800 a 1900 MHz. EDGE funguje také se stejnými multiplexy a se stejným rozložením kanálů. Každá BTS však potřebuje, aby do ní byl přidán transceiver, který EDGE podporuje. Rozdílem je, že tato technologie využívá vícestavovou modulaci pro přenosovou rychlost. Přenosovými rychlostmi se přibližuje sítím 3. generace díky jednotce EDGE Transciever Unit (EDGE TRU). Ta umožňuje vysílat větší počet symbolů během vysílacího intervalu díky osmistavovému klíčování označovanému jako 8-Phase Shift Keying (8-PSK).

## 5.2 8-PSK

Nahrazuje dvoustupňovou GMSK (Gaussian minimum-shift keying) modulaci. Rychlost při využití všech 8 slotů je 384 kb/s. Na jeden slot tedy připadá 48 kbps. Při optimálních podmínkách je možné za pomocí EDGE technologie přijímat data až 69,2 kb za sekundu v jednom slotu. V tomto případě je teoretická rychlost až 473,6 kb/s.

**Obrázek 13 GMSK modulace**

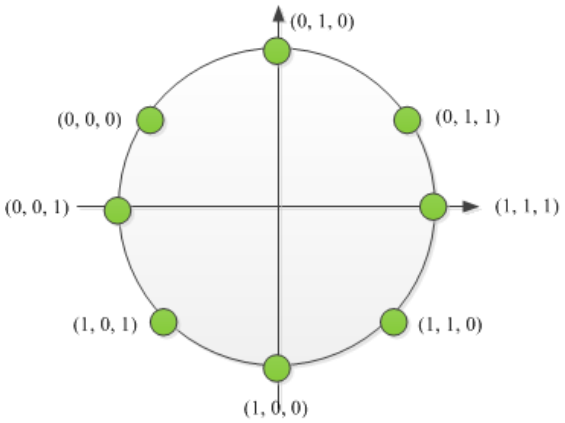



*(zdroj: vlastní)*

Vzhledem k tomu, že EDGE obsahuje 3 bity, zvyšuje se tedy třikrát i přenosová rychlost. V jednom timeslotu je tedy možné využívat rychlosti až 60 kb/s.

Singál, který EDGE přenáší, se skládá z jedniček a nul. Tři bity tvoří jeden symbol a každý z 8 celkových symbolů je v určeném fázovém posunu. Původní přenášený signál je rozdělen na jednotlivé symboly. Ty jsou poté modulovány a přeneseny k příjemci, který si signál demoduluje.

**Obrázek 14 8-PSK modulace**




*(zdroj: vlastní)*

## 5.3 Kódování v EDGE

U technologie EDGE je 9 různých kódovacích schémat. Volí se na základě kvality signálu. V případě, že signál je dobrý, lze využít nejrychlejšího MCS-9. Schémata se liší v přenosové rychlosti časového slotu a modulaci. Pokud je využito rychlejší MCS, roste možnost příjmu chybné datové jednotky.

**Tabulka 6 Kódování technologie EDGE**

| Rodina | Kódovací schéma | Velikost datové jednotky |
|---|---|---|
| A | MCS-3, MCS-6, MCS-9 | 37 B |
| A’ | MCS-3, MCS-6, MCS-8 | 34B, 34 + 3 B |
| B | MCS-2, MCS-5, MCS-7 | 28 B |
| C | MCS-1, MCS-4 | 22 B |

Schémata MCS-1 až MCS-3 jsou schopna přenášet jednu datovou jednotku, MCS-4 - MCS-6 dvě jednotky a zbývající 4 datové jednotky.

## 5.4 Rozšíření EDGE

ECSD je zkratka pro Enhanced Circuit Switched Data. Jedná se o pokročilejší techniku přepojování okruhů, avšak se stejným původním principem. Stejně jako CSD a HSCSD vytváří okruh mezi odesílatelem a příjemcem s garantovanou rychlostí a udržuje spojení i v případě, že stanice nekomunikují.

Rychlost ECSD je oproti původnímu CSD daleko rychlejší. CSD pracovalo s rychlostmi 9,6 nebo 14,4 kbps. U ECSD to může být 28,8, 32,0 nebo 43,2 kb/s za jeden timeslot. Maximální možná rychlost je pak 172,8 kbps a závisí samozřejmě na kvalitě signálu.

Rozšíření GPRS využívající paketového přenosu dat je EGPRS. Rychlost závisí na zvoleném kódování a modulaci a je schopna se podle kvality služeb přizpůsobovat. Maximální teoretická rychlost je 473,6 kbps. Nejčastěji se rychlost EGPRS pohybuje mezi 100 a 150 kb/s.

Stejně jako u tříd starších technologií se i zde dělí komunikace na timesloty, které mohou být použity pro uplink, či downlink. V tabulce jsou zobrazeny jednotlivé počty slotů a maximální možné rychlosti rozdělené podle EGPRS tříd.

**Tabulka 7 Třídy EGPRS**

| Třída | Sloty pro downlink | Sloty pro uplink | Maximální počet slotů | Rychlost pro downlink [kbps] | Rychlost pro uplink [kbps] | Maximální rychlost [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 2 | 59,2 | 59,2 | 118,4 |
| 2 | 2 | 1 | 3 | 118,4 | 59,2 | 177,6 |
| 3 | 2 | 2 | 3 | 118,4 | 118,4 | 177,6 |
| 4 | 3 | 1 | 4 | 177,6 | 59,2 | 236,8 |
| 5 | 2 | 2 | 4 | 118,4 | 118,4 | 236,8 |
| 6 | 3 | 2 | 4 | 177,6 | 118,4 | 236,8 |
| 7 | 3 | 3 | 4 | 177,6 | 177,6 | 236,8 |
| 8 | 4 | 1 | 5 | 236,8 | 59,2 | 296 |
| 9 | 3 | 2 | 5 | 177,6 | 118,4 | 296 |
| 10 | 4 | 2 | 5 | 236,8 | 118,4 | 286 |
| 11 | 4 | 3 | 5 | 236,8 | 177,6 | 296 |
| 12 | 4 | 4 | 5 | 236,8 | 236,8 | 296 |

# 6 Mobilní sítě 3. generace

## 6.1 Základní popis UMTS

Tato generace mobilních sítí už není orientována pouze na přenos hlasu, ale je schopna plně pracovat i s datovými přenosy. Existuje několik označení pro sítě této generace. Například v Evropě je označována jako UMTS (Universal Mobile Telephony System), v Americe je známa pod názvem CDMA2000.

Třetí generace mobilních sítí je implementována na systémy GSM. Podle prvního konceptu by se mělo jednat o tzv. UMTS ostrůvky v oceánu GSM sítě. Ke GSM sítím by se tedy měly přidat UMTS technologie pouze v místech, kde je pravděpodobné četné využívání jak datových, tak hlasových služeb. Tato situace se týká například velkých měst, či oblastí ve Švédsku, kde jsou obydleny jen určité oblasti, a proto není zapotřebí pokrývat větší oblasti pomocí UMTS.

UMTS síť se dělí na 2 části - na pevnou, tzv. Core Network (CN) a bezdrátovou.

Struktura bezdrátové sítě se velice podobá klasickému buňkovému systému, který byl již popsán dříve. Základem UMTS je Radio Network Subsystem (RNS), tedy rádiový subsystém. Skládá se z Node B stanic, což jsou základnové stanice, pouze jinak pojmenované a řídící stanicí Radio Network Controller (RNC). Dalšími součástmi bezdrátové UMTS sítě jsou tzv. UE, neboli User Equipment. Jedná se primárně o mobilní stanice uživatelů, či PCMCIA karty využívané v zařízeních jako jsou notebooky. Tato zařízení musejí zvládat úkony typu kódování/dekódování, šifrování/dešifrování, modulaci/demodulaci, autentizaci apod. Vzhledem k možnosti dělení duplexů na TDD a FDD jsou k dispozici různá zařízení, schopná pracovat s jednotlivými duplexy. Jednak ve FDD duplexu, potom TDD duplexu, anebo zařízení schopná pracovat s jejich kombinací. Node B stanice jsou v podstatě BTS známé ze sítí druhé generace. Důležitým úkolem je správné hospodaření s přidělenými kanály a frekvencemi, dále správa jednotlivých uživatelů zdržujících se v jejím dosahu a vhodné řešení handoverů. Skládá se z přijímačů a vysílačů z pravidla umístěných na vyvýšeném místě v okolí. RNC je UMTS podoba Base Station Controller stanice z GSM. Spravuje několik Node B, alokuje logické a fyzické kanály, volí vhodná modulační a kódovací schémata, řeší otázku handoverů, šifruje/dešifruje data a přiděluje CDMA kódy pomocí kterých jsou uživatelé schopni najít stanici, se kterou chtějí komunikovat. Dělí se na Serving RNC a Drift RNC.

Pevná síť je složena z fyzických komponentů, které mají za úkol podporovat vlastnosti sítě a telekomunikační služby. Jedná se především o dohled nad alokováním uživatelů, správou služeb a vlastnostmi sítě, dále také mechanismy řídící přenosy. Core Network se dále dělí na 3 části.

Serving Network je přímo připojena k bezdrátové části sítě a má za úkol správně směrovat hlasové služby a přenos dat mezi zdrojem a cílem. Home Network udržuje data

o uživatelích a zodpovídá za ně. Poslední částí je Transit Network. Ta se nachází mezi Serving nebo Home network a uživatelem.

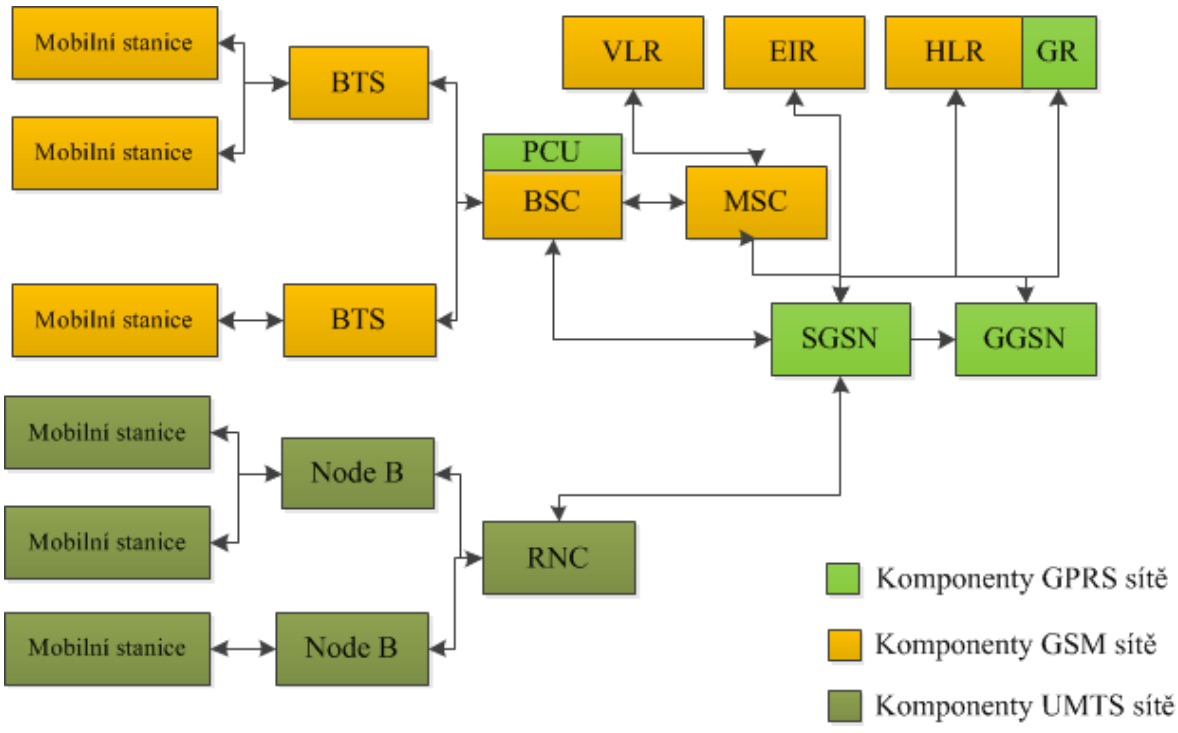
Sítě této generace využívají technologii CDMA (Code Division Multiple Access), tedy přístupovou metodu kódového dělení. UMTS využívá její rozšířenou formu, která se nazývá WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), tedy širokopásmové kódové dělení. Aby bylo možné určit, o jaké uživatele využívající služeb sítě se jedná, uživatel se identifikuje přiděleným binárním kódem.

WCDMA využívá 2 rádiové koncepty. Jedná se o Frequency Division Duplex (FDD) a Time Division Duplex (TDD). FDD je využíváno pro párové pásmo na frekvencích 1920-1980 MHz + 2110-2170 MHz a TDD pro nepárové pásmo 1910-1920 MHz + 2010-2025 MHz.

## 6.2 Architektura UMTS

UMTS systémy mají zpravidla téměř shodnou architekturu jako GSM sítě. Skládá se z hlavních prvků, kterými jsou UMTS Access Network (UTRAN) a UMTS Core Network (CN) založená na architektuře GSM/GPRS.

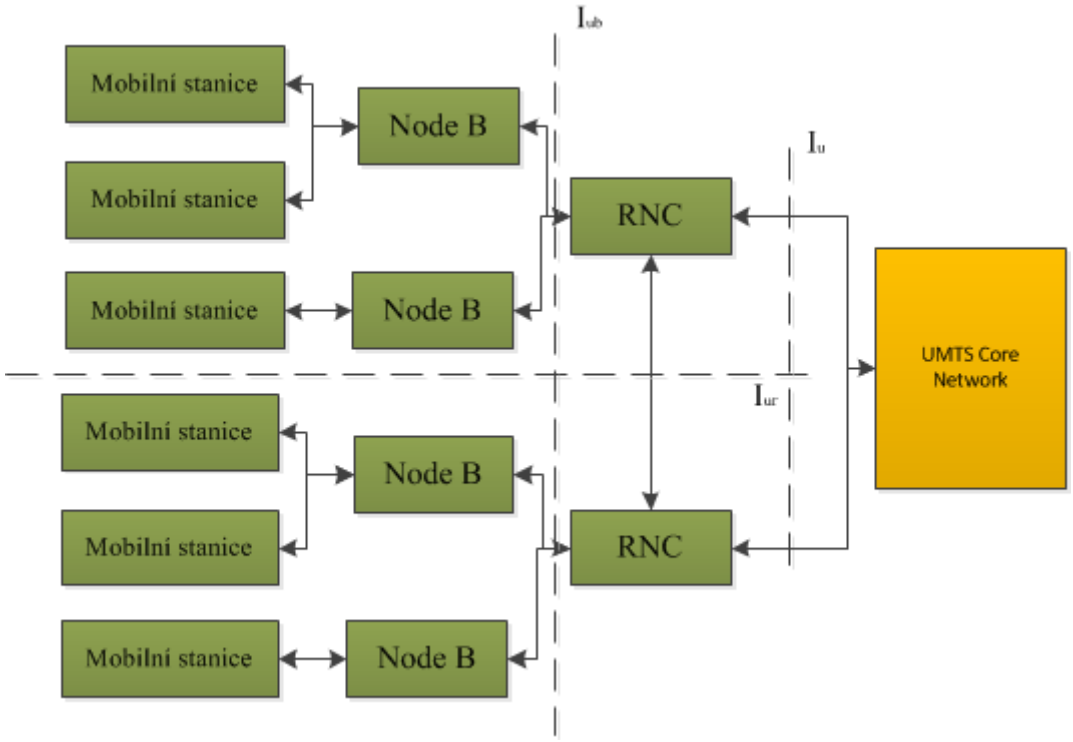
**Obrázek 15 Architektura UMTS**




*(zdroj: vlastní)*

RNS je Radio Network System, který se skládá z RNC (Radio Network Controller) jednotky a jedné nebo více základnových stanic Node B. Základnové stanice jsou k RNC připojeny pomocí $I_{ub}$ rozhraní. Radio Network Controller rozhoduje o provádění handoverů.

**Obrázek 16 Zapojení v UTRAN**




*(zdroj: vlastní)*

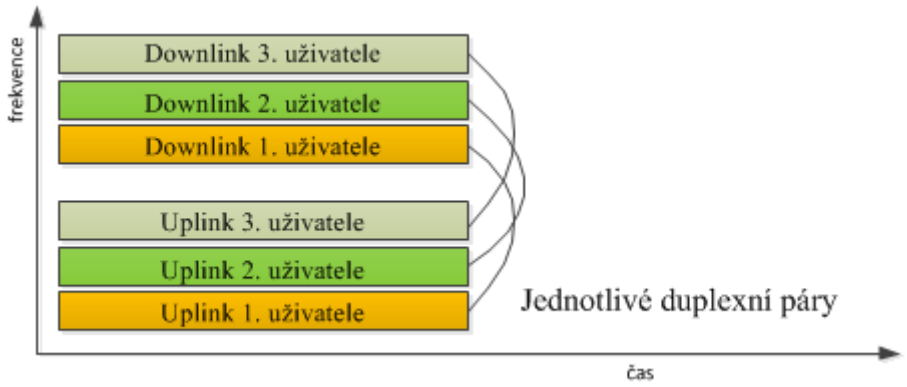
UMTS Terrestrial Radio Access Network, neboli UTRAN, se stará o rádiový přístup UMTS. Poskytuje spojení mezi pevnou sítí UMTS a koncovým zařízením. Skládá se z několika rádiových síťových subsystémů připojených ke Core Network.

Spojování mezi mobilní stanicí a UTRAN využívá jednu RNS jako Serving RNS, která má na starosti řízení rádiového spojení a zbylé fungují jako Drift RNS. Každá mobilní stanice připojena k síti patří vždy k jedné Serving RNS. Drift RNS má za úkol podporovat Serving RNS dodáváním rádiových zdrojů ve chvíli, kdy je nutno využít pro spojení s mobilní stanicí buňku řízenou danou Drift RNS.

## 6.3 Duplexy v UMTS sítích

Frequency Division Duplex (FDD) využívá tzv. duplexního páru, který pro datové přenosy využívá dvou různých frekvenčních kanálů. Jedním kanálem tak proudí data pro uplink a druhým pro downlink mezi Node B a UE. FDD je využíváno v technologii WCDMA.

**Obrázek 17 Frequency Division Duplex**




*(zdroj: vlastní)*

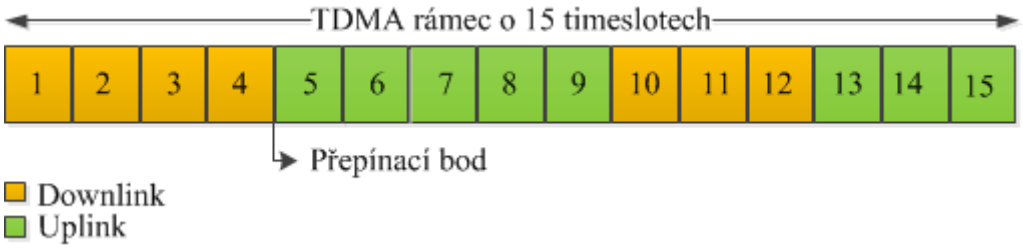
Dalším mechanismem WCDMA je zabraňování přetížení buňky. Jedná se o tzv. kontrolu přijetí. Jakmile se k základnové stanici zaregistruje nový účastník, rozhoduje se, zda účastník bude připojen nebo ne. Vzhledem k tomu, že se uživatelé mobilních sítí vesměs pohybují, nelze vždy zaručit přijetí požadavku na zařazení do sítě. Technologie WCDMA toto ošetřuje čtyřmi možnostmi. Prvním způsobem je přerušení spojení, čímž je zachována kvalita spojení již připojených stanic. Další možností je inter-system handover, který přepojí uživatele do jiného GSM systému. Je také možné uživatele mobilních stanic z přetížených buněk přesunout do buněk volnějších, případně na jejich méně, či vůbec zatížené frekvence. Poslední variantou, jak předejít přetížení buňky je redukce bitové rychlosti na síti.

U Time Division Duplexu (TDD) je pro přenos dat využíván pouze jeden kanál pro všechny uživatele, který je široký 5 MHz. Ten se dále dělí na časové sloty, kde 15 jich tvoří jeden 10ms TDMA rámec. Tři z 15 timeslotů jsou určeny pro signalizaci. Zbylých 12 timeslotů slouží pro přenášení dat uplinku, či downlinku. TDD nemá pevně daný počet slotů, které mohou být využívány pro odesílání, či přijímání. Je tedy možné sloty využívat v poměru 8+4, či 10+2. Jediným pravidlem je nutnost existence minimálně jednoho timeslotu pro uplink a jednoho pro downlink. Tato pravidla platí i pro existenci přepínacích bodů mezi přenosovými směry, tedy uplinkem a downlinkem.

TDD v UMTS sítích je také schopno využívat Quality of Service (QoS). Díky této službě je možno nastavovat různým zákazníkům, uživatelům, či službám priority. Pokud tedy chce operátor preferovat využívání jedné služby před druhou, či preferovat zákazníky, kteří si platí dražší tarify, lze zde uplatnit právě QoS.

Složitější konfiguraci u TDD vyžaduje časová synchronizace. Je nutné správné nakonfigurování zejména základnových stanic, které musí přesně vědět, v jakou chvíli mají přijímat a kdy vysílat. Tyto intervaly často řeší nadřazené BTS. TDD je také náchylnější k rušení signálu. Uživatelé využívající služeb TDD se mohou pohybovat maximální rychlostí 120 km za hodinu, u FDD je to až 500 km/h. Jakmile se uživatelé pohybují rychleji, nastávají problémy s komunikací a předáváním.

**Obrázek 18 Time Division Duplex**




*(zdroj: vlastní)*

## 6.4 Handovery

V případě *hard handoveru* dostane mobilní stanice pokyn k přesunutí na jiný kanál a přijímání signálu pouze od jedné základnové stanice.

*Soft handover* je prováděn mezi Node B stanicemi. V danou dobu připadá mobilní stanice pod správu dvou Node B stanic. Při přechodu mezi oblastmi tedy hovor nebude ukončen nebo přerušen. Mobilní stanice průběžně hledá novou Node B stanici na stejné frekvenci. Mezitím si porovnává a vyhodnocuje přijímané signály z okolních Node B. Podle vyhodnocených informací, které zařízení odešle zpět základnové stanici se RNC rozhodne, která okolní stanice je pro handover vhodná.

*Softer handover* je speciální možnost výše uvedeného Soft Handoveru. V tomto případě je mobilní stanice předávána v rámci různých buněk spravovaných jednou Node B stanicí. Principem funguje stejně jako Soft Handover. Jestliže předávka probíhá mezi buňkami využívajícími stejné frekvence, je používán název Intra-Frequency Handover. V opačném případě, kdy buňky nevyužívají stejné frekvence je použit Inter-Frequency Handover fungující principiálně stejně jako Hard Handover.

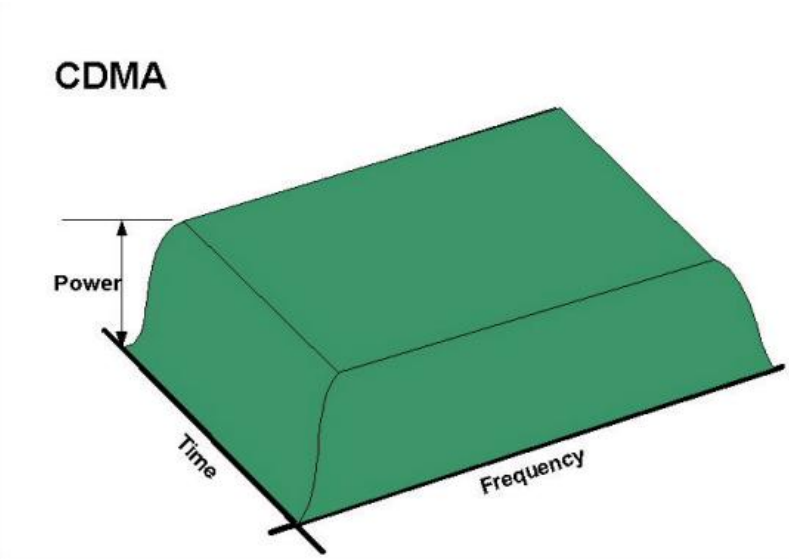
*Inter-system* handover probíhá mezi systémem UMTS a GSM. Jelikož jsou využívány v praxi oba typy sítí, je inter-system handover velmi důležitý. Aby byl přechod mezi jednotlivými typy sítí plynulý, je nutné, aby koncové zařízení bylo schopno pracovat jak s GSM, tak UMTS sítí.

## 6.5 CDMA

Protokol CDMA (Code Division Multiple Access) se liší od předešlých dvou technologií používáním kódovací techniky k přenosu hlasu či dat vzduchem. Spíše než dělení rádiových frekvencí do kanálů nebo časových intervalů odděluje CDMA technologie uživatele přidělováním digitálních kódů v rámci stejného frekvenčního spektra. Spread spektrum přenáší různé datové bity na různých signálech, na základě tajného schématu. Příjemci tedy stačí znát a naladit kódy, které ho zajímají a ostatní jsou ignorovány. Tento způsob je hojně používán jak v mobilních sítích tak i LAN sítích. Charakteristické pro CDMA jsou skupiny bitů digitalizované řeči, označené unikátním kódem, který je spojen s daným hovorem. Některé mobilní hovory jsou spojeny a přenášeny přes frekvenci

1,25 MHz a poté přeskládány dohromady na straně příjemce. Ten detekuje signál nalezením správné fáze mezi příchozím a lokálně generovaným signálem z kódu. Kódování hlasu funguje proměnlivou rychlostí (naplno když uživatel hovoří). To se přizpůsobuje vzdálenosti BTS a podle toho nastaví výkon (bližší stanice generují slabší signály). Za běhu zná mobilní systém CDMA frekvenci, takže se na ni naladí a hledá tzv. „pilot signál“, který reprezentuje BTS. Mobilní stanice uživatele si vybere nejsilnějšího pilota a přihlásí se k němu. Jakmile se uživatel pohybuje mezi mobilními buňkami, vybírá se automaticky nový pilot. Výhody CDMA technologie zahrnují vysokou kapacitu uživatelů a imunitu vůči rušení jinými signály. Jako TDMA dle normy IS-136 pracuje CDMA na frekvenci 1900 MHz, stejně jako na 800 Hz. Jeho varianty jsou velmi populární a jsou základními technologiemi bezdrátových 3G sítí.

**Obrázek 19 Code Division Multiple Access**




*(zdroj: http://whitepapers.hackerjournals.com/wp-content/uploads/2010/04/FDMA-vs.-TDMA-vs.-CDMA.pdf)*

### 6.5.1 Srovnání CDMA s TDMA

Přesto, že obě technologie se snaží dosáhnout stejného cíle, využívají k tomu jiné metody. TDMA dělí každý kanál do 3 časových slotů za účelem zvýšení množství přenesených dat. Více uživatelů tedy může sdílet jeden kanál bez toho, aby se navzájem rušili. CDMA oproti tomu komunikaci přidělí kód a tedy umožňuje průběh více hovorů najednou, které mohou být vedeny na jednom kanálu.

### 6.5.2 Další využití CDMA

*TD-CDMA (Time Division-Code Division Multiple Access)* - TDMA rámce a TDD přenos je lépe využitelný pro asymetrické přenosy, jako je využívání internetu. FDD technologie je v tomto ohledu horší, protože se hůře přizpůsobuje přenosovým nárokům složitějších aplikací. Výhoda právě TDMA je v tom, že dokáže variabilně přidělovat timesloty podle potřeby uživatele.

Signál je stejně jako u FDD modulován za pomoci QPSK modulace, tedy 10ms rámec s 15 timesloty. U jednotlivých mobilních zařízení je problém s kompatibilitou u FDD a TDD. Pokud chce účastník využívat oba typy sítí, musí disponovat vhodným zařízením, které je schopno pracovat v obou režimech.

TD-CDMA je schopno přenášet rychlostí až 2 Mb/s a je vhodnější pro využití v hustěji osídlených oblastech, kde nejsou tak časté a rychlé přesuny uživatelů mobilní sítě. Tento typ sítě se využívá daleko méně než FDD. Důvodem je, že je zapotřebí daleko hustší rozmístění základnových stanic, což s sebou nese samozřejmě zvýšení nákladů na vybudování sítě.

*TD-SCDMA (Time Division-Synchronous Code Division Multiple Access)* - jedná se o vylepšenou verzi předchozího TD-CDMA. Vznikla za pomoci Čínské akademie telekomunikačních technologií. Jedná se tedy o čínský standard postavený na základech GSM sítí. Tato varianta byla vyvinuta hlavně z důvodu lepšího organizování a synchronizování timeslotů. Typickou vlastností TDMA je přenos timeslotů v obou směrech, tedy downlinku i uplinku současně. Z důvodu předcházení kolizím bylo zapotřebí sloty správně synchronizovat, čemuž pomohla již výše zmíněná organizace zavedením právě standardu TD-SCDMA.

V Roce 2006 byla technologie schválena a přijata za standard sítí třetí generace. V technologii je využito nepárové spektrum TDD a kombinace TDMA a CDMA. Jednotlivé uživatele rozlišuje pomocí ortogonálních kódů a proměnlivého spread spektra. Díky využití synchronizace je zvýšena přenosová kapacita a je sníženo rušení.

# 7 Mobilní sítě 3,5. a 4. generace

## 7.1 Základní popis

Stejně jako u dřívějších GSM sítí se i zde setkáváme s rozšiřováním již existující infrastruktury mobilní sítě. Některé technologie nebyly shledány jako dostatečný pokrok pro umístění do samostatné generace, proto stejně jako u GPRS a EDGE vzniklo označení půlté generace.

## 7.2 Rozšíření mobilních sítí 3. generace

*HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access)* je technologie 3,5. generace, která softwarově rozšiřuje UMTS. Specifikována byla ve verzi Release 5. Do stávajícího UMTS přidává HSDPA dva logické a dva fyzické kanály. Jedním z přidaných a důležitých kanálů je HS-SCH (High-Speed Downlink Shared Channel). Přenosový kanál je sdílen uživateli a má dán fixní spread faktor 16. Změnou oproti stávajícím technologiím je, že rozhodování o opětovném odeslání porušených dat, či přidělování kanálu zařizuje Node B, nikoliv RNC. Adaptivní modulace, kódování a rychlé plánování zajišťuje vysoké přenosové rychlosti.

Jakmile mobilní stanice přijme porušená data, uloží je a zažádá si o znovuzaslání. Node B stanice si uchovává poslední odesílaná data ve svém bufferu, takže odpověď s paketem, který byl porušený, je velice rychlá.

Základnová stanice zpracovává údaje o síle signálu jednotlivých uživatelů a preferuje ty se signálem lepším. V jednu chvíli může sdílený kanál využívat maximálně 15 uživatelů. Těm jsou přiděleny kódy a přes řídící kanál HS-SCCH (High-Speed Shared Control Channel) dostanou informace potřebné k datovému přenosu. Data jsou modulována QPSK nebo 16-QAM (16-Quadrature Amplitude Modulation), která se používá pouze v případech kvalitních podmínek pro přenos. Právě podle přenosových podmínek se dynamicky mění kódování i modulace.

Protože je HSDPA technologie pouze softwarovým zásahem do UMTS infrastruktury, dá se poměrně snadno implementovat. Dále snižuje latenci, zvyšuje přenosovou rychlost a v neposlední řadě zlepšuje propustnost.

HSDPA je v Release 5 ve třech verzích. Verze 5.0 umožňuje rychlost 1,8 Mb/s, 5.1 rychlost 7,2 Mb/s a poslední 5.2 rychlost 14,4 Mb/s. V následujícím Release 6 je možné pracovat s downlink rychlostí až 28,8 Mb za sekundu.

Poslední zmíněný Release 6 obsahuje také technologii *HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access)*. Uplatňuje téměř totožné techniky jako HSDPA, avšak pro uplink. Tedy plánuje a přeposílá pakety stejným způsobem. Rozdílem je, že HSUPA nevybírá uživatele pouze na základě kvality signálu, ale bere také v potaz množství dat, které chce uživatel přenést a na dobu, jakou musel uživatel čekat. HSUPA také využívá dlouhodobých a krátkodobých grantů. Dlouhodobé se využívají pro více stanic, které vysílají a krátkodobé pro časové multiplexy. HSUPA dále nepoužívá adaptivní modulaci a kódování. Pracuje s handovery zavedenými ve standardu UMTS. Řízení zvyšování výkonu mobilních stanic má v této technologii na starosti hlavní RNC, zbylé ho smí pouze snižovat. Nejvyšší možná přenosová rychlost uplinku je zde 5,76 Mb/s.

# 8 Praktická část

## 8.1 Cíl praktické části

Úkolem této části bylo naměřit hodnoty rychlostí datových přenosů mobilních operátorů. Pro tento účel byly využity příslušné aplikace schopné měření hodnot síly signálu a datových toků na dané mobilní síti. Použity byly aplikace DSL.cz a OpenSignalMaps, obě zdarma ke stažení na internetovém obchodu play.google.com. Při všech měřeních byl využíván stejný mobilní telefon, a to HTC Desire s operačním systémem Android verze 2.3.3.

## 8.2 Použité aplikace

Aplikace DSL.cz slouží přímo k měření hodnot právě potřebných datových toků. Hodnoty jsou měřeny na základě právě využívaného typu mobilní sítě, tedy 2., či 3. generace a samozřejmě podle operátora, jehož SIM karta je v mobilní stanici. Primárně je měřena rychlost stahování (downlinku), avšak s možností naměření i rychlosti odchozích dat (uplinku).

**Obrázek 20 Aplikace DSL.cz**

*(zdroj: vlastní)*

OpenSignalMaps aplikace je oproti DSL.cz rozšířená o více možností týkajících se funkčnosti a práce se získanými daty jak v reálném čase, tak pomocí zapisování dat do její databáze. Mezi její výhody patří zejména zmíněná práce v reálném čase. Je tedy možnost sledovat sílu signálu v danou chvíli, jakým směrem je umístěna základnová stanice se kterou mobilní stanice komunikuje, historii přechodů mezi jednotlivými buňkami sítě, která z technologií fungujících na mobilní síti byla jakou dobu využívána apod. Velmi zajímavou vlastností aplikace OpenSignalMaps je možnost zobrazení mapy (ať už podle přesné nebo přibližné polohy), na které je vidět, která z BTS stanic uživateli mobilního zařízení poskytuje signál a primárně s ním komunikuje. Jak bude předvedeno níže, lze jasně pochopit, proč se technologii UMTS říká ostrůvky v oceánu GSM. Dále je aplikace také schopna měřit rychlost uplinku a downlinku. Této možnosti bylo využito především proto, aby bylo možné porovnat výsledné rychlosti v jednotlivých okamžicích za pomoci dvou odlišných aplikací.

**Obrázek 21 Aplikace OpenSignalMaps**

*(zdroj: vlastní)*

*Pojem ASU* - jedná se o hodnotu síly signálu přijímaného mobilní stanicí. Podle hodnoty asu lze dopočítat reálnou hodnotu signálu v decibelech (zkratka dBm). Pro GSM sítě je třeba dosadit hodnoty do vzorce dBm = 2 * asu – 113.

*Pojem Cell ID* - je unikátní identifikační číslo základnové stanice BTS v sítích GSM.

## 8.3 Místa vybraná pro měření

K měření rychlostí dat byly zvoleny různé oblasti v Pardubicích. Jednalo se především o frekventovaná místa v centru města a jeho okolí v době špičky, tedy zhruba mezi 2. a 5. hodinou odpolední. Měření byla na každém z míst několikrát opakována za účelem zjištění relevantních dat použitelných pro vyvození závěrů.

**Karlovina – ulice Jindřišská**

Místo se nachází kousek od centra Pardubic. Bylo zvoleno jako vhodné pro měření, jelikož se zde díky bohatému výběru služeb a obchodů zdržuje poměrně dost lidí. Je také situováno do vyšší okolní zástavby, a proto je zde předpoklad horšího signálu.

**Obrázek 23 ulice Jindřišská - Vodafone EDGE**

**Obrázek 22 ulice Jindřišská - Vodafone HSDPA**

*(zdroj: vlastní)*

Jak je patrné z obrázku, síla GSM signálu je na tomto místě -71 dBm 21 asu. Základnová stanice, se kterou mobilní stanice v daný okamžik komunikuje má své CID, neboli Cell ID, 17751. Vzhledem ke zmíněné vyšší okolní zástavbě především ve směru ke třídě Míru je signál poskytován ze vzdálenější, ale lépe dohledné BTS nacházející se ve Smilově ulici. U technologie 3. generace, tedy HSDPA je síla signálu podstatně vyšších -55 dBm 29 asu. BTS poskytující signál má ID 59161 a nepodařilo se bohužel s ní navázat přímé spojení, proto není ani zobrazena na mapce.

**Obrázek 25 ulice Jindřišská - T-Mobile EDGE**

**Obrázek 24 ulice Jindřišská - T-Mobile HSDPA**

*(zdroj: vlastní)*

Připojení EDGE v Jindřišské ulici poskytují u operátora T-Mobile úplně jiné základnové stanice, než tomu bylo u předešlého Vodafonu. Je patrné, že mobilní stanice komunikuje např. až se vzdálenou BTS v oblasti zámku. Síla signálu je v tomto místě -79 dBm 17 asu od stanice s ID 20302. U technologie UMTS se nepodařilo získat zobrazení spojení se základnovou stanicí poskytující služby 3. generace, stejně jako u operátora Vodafone. Jak již bylo zmíněno, možným důvodem je vyšší zástavba v okolí měřené destinace. I přesto se podařilo naměřit sílu signálu, která je -65 dBm 24 asu od BTS s CID 59274.

**Tabulka 8 Naměřené hodnoty - ulice Jindřišská**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -71/-55 | 8,74 | 27,98 | 520,6 | 1136,8 |
| Vodafone/OSM | -71/-55 | 10,56 | 22,84 | 1050,2 | 1499,6 |
| T-Mobile/DSL.cz | -79/-65 | 12,38 | 123,14 | 1146 | 4642 |
| T-Mobile/OSM | -79/-65 | 80 | 61,2 | 1424,8 | 4160 |

### Náměstí Republiky

Náměstí Republiky je situováno u Východočeského divadla v centru města. Je také poměrně důležitou tepnou pardubické hromadné dopravy. Spoje odtud jezdí v podstatě do všech směrů a částí Pardubic. Vzhledem k tomu je zde i poměrně rušno během odpolední špičky.

**Obrázek 26 náměstí Republiky - Vodafone EDGE**

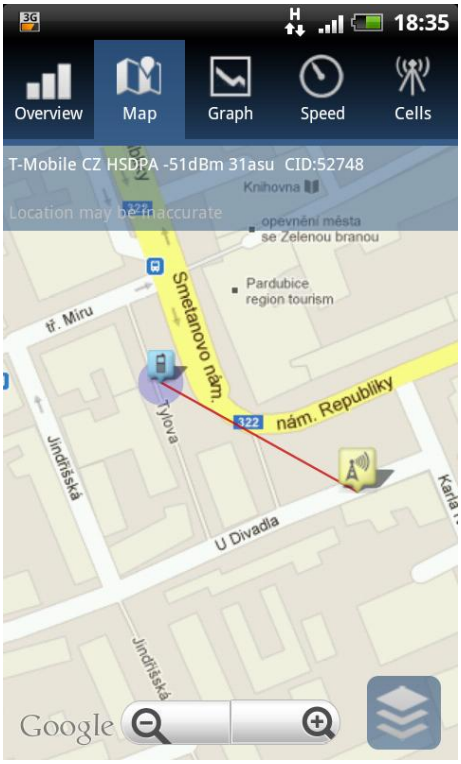
**Obrázek 27 náměstí Republiky - Vodafone HSDPA**

*(zdroj: vlastní)*

Spojení se základnovými stanicemi v tomto místě je kvalitní. V okolí se jich nachází poměrně dost, a oproti Jindřišské ulici je zde pro ně i snazší s mobilní stanicí komunikovat. Místo k měření se nacházelo přesně za zastávkami hromadné dopravy. Síla signálu byla průměrně -55 dBm 29 asu a signál byl poskytován od BTS s Cell ID 36212. U HSDPA je vidět, že stejně jako v případě měření na Karlovině poskytuje signál stejná BTS stanice s CID 59161. I kvalita signálu je zde obdobná, -57 dBm 28 asu.

**Obrázek 29 náměstí Republiky – T-Mobile EDGE**

**Obrázek 28 náměstí Republiky – T-Mobile HSDPA**




*(zdroj: vlastní)*

V okolí náměstí Republiky bylo nalezeno 14 BTS vhodných pro poskytování EDGE technologie operátora T-Mobile. Na obrázku lze vidět, že mobilní stanice stále komunikuje s BTS v oblasti zámku, stejně jako z ulice Jindřišská. Několik blízkých základnových stanic bylo také nalezeno v okolí třídy Míru. Síla signálu je v tomto místě -51 dBm 31 jak pro EDGE, tak pro HSDPA technologii. Signál HSDPA je poskytován ze základnové stanice v ulici U Divadla.

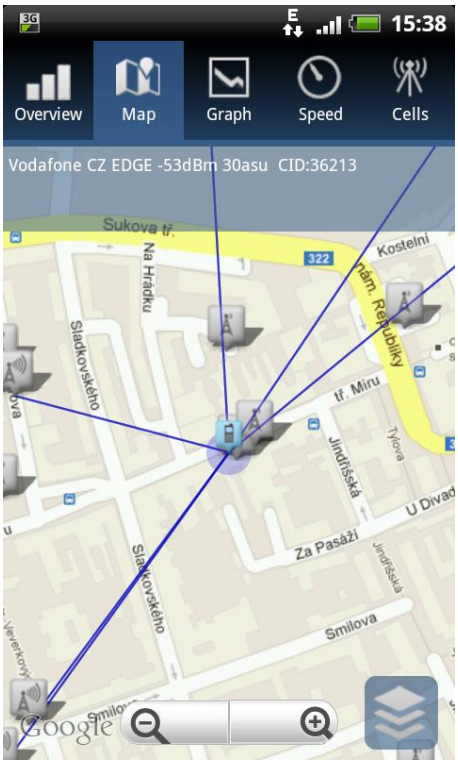
**Tabulka 9 Naměřené hodnoty - náměstí Republiky**

| operátor/aplikace | sílasignálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -53/-57 | 53,92 | 221,3 | 825,4 | 2050 |
| Vodafone/OSM | -53/-57 | 135,46 | 165,6 | 1465,2 | 2501,4 |
| T-Mobile/DSL.cz | -51/-51 | 33,48 | 194,2 | 1194 | 5536 |
| T-Mobile/OSM | -51/-51 | 66,4 | 179,4 | 1446,8 | 5282,6 |

## Třída Míru

Jedná se o jednu z nejrušnějších ulic v Pardubicích. Tato pěší zóna ve středu města s velkým množstvím obchodů, stravovacími zařízeními, obchodním centrem a zastávkami hromadné dopravy bývá ve špičce velmi rušná.

**Obrázek 30 třída Míru - Vodafone EDGE**




**Obrázek 31 třída Míru - Vodafone HSDPA**

*(zdroj: vlastní)*

Na obrázku je vidět, že budovy na třídě Míru mají umístěny základnové stanice přímo na sobě. Komunikace však probíhá se stanicemi umístěnými ve větší vzdálenosti. Je možné, že BTS přímo v ulici neměly volné kanály nebo nebylo možné se s nimi spojit, protože mobilní stanice byla přímo pod nimi, a proto byla měřící mobilní stanice nucena spojit se s BTS jinými. Síla signálu je srovnatelná s předešlou destinací na náměstí Republiky, ovšem změnila se základnová stanice poskytující GSM signál. Její ID je nyní 36213. U komunikace se systémem UMTS je signál poskytován ze vzdálené BTS umístěné kousek od pardubického Zámku. Poskytuje signál -55 dBm 29 asu a její Cell ID je 59613.

**Obrázek 33 třída Míru - T-Mobile EDGE**

**Obrázek 32 třída Míru - T-Mobile HSDPA**

*(zdroj: vlastní)*

I v případě třídy Míru mobilní stanice se SIM kartou T-Mobile udržuje spojení s BTS u pardubického Zámku. Od náměstí Republiky se nezměnila ani základnová stanice poskytující primárně mobilní stanici signál. V obou případech má Cell ID 20345. U HSDPA je síla signálu srovnatelná (EDGE -67 dBm 23 asu, HSDPA -69 dBm 22 asu), i přes to, že základnová stanice se nachází až v poměrně vzdálené oblasti Na Staré Poště.

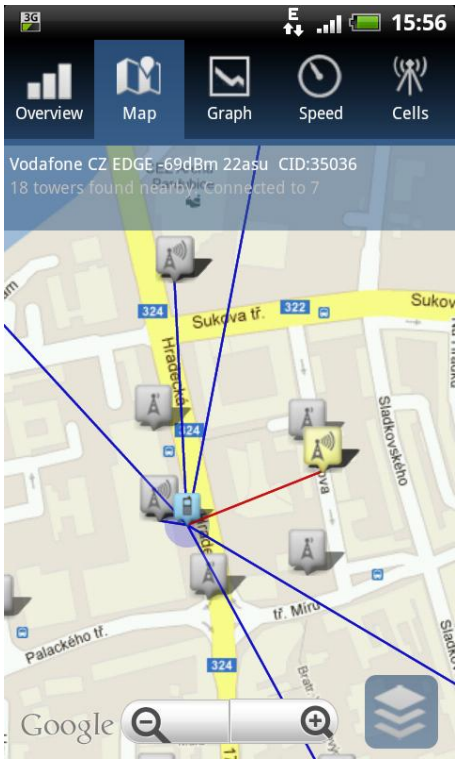
**Tabulka 10 Naměřené hodnoty - třída Míru**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -53/-55 | 50,46 | 214,6 | 1094 | 2986 |
| Vodafone/OSM | -53/-55 | 80,04 | 152,4 | 1545 | 2649,2 |
| T-Mobile/DSL.cz | -67/-69 | 30,74 | 147,4 | 844,6 | 2964 |
| T-Mobile/OSM | -67/-69 | 62,8 | 153 | 1508 | 3208,4 |

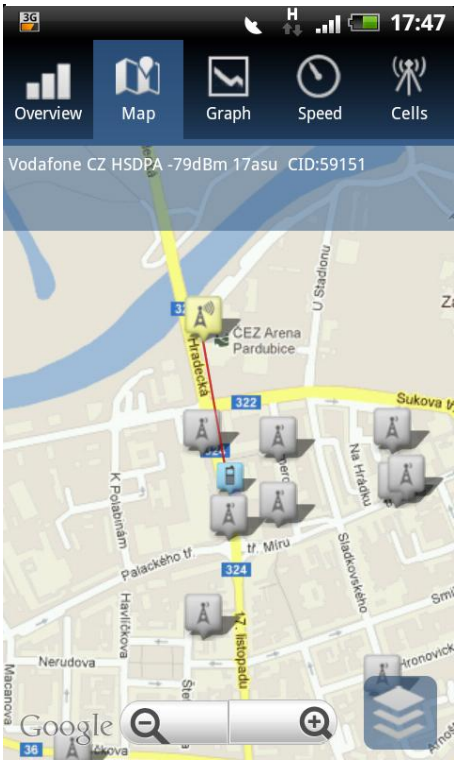
## Masarykovo náměstí

Nachází se přímo vedle AFI paláce na hlavní dopravní tepně vedoucí přes Pardubice. Je rovněž důležitým přestupním místem hromadné dopravy a zároveň se v okolí nachází bankovní instituce. Protože obchodní centrum AFI palác je hojně navštěvované, lze předpokládat i velké vytížení sítě během odpoledních hodin.

**Obrázek 35 Masarykovo náměstí - Vodafone EDGE**




**Obrázek 34 Masarykovo náměstí - Vodafone HSDPA**

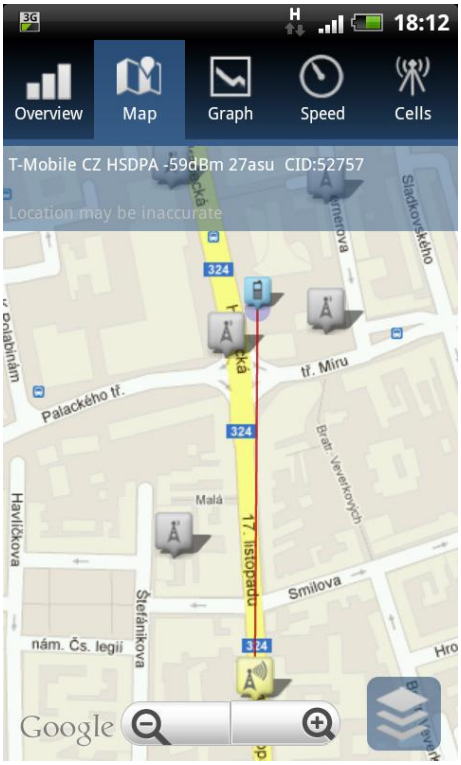



*(zdroj: vlastní)*

V případě Vodafone GSM sítě mobilní stanice z Masarykova náměstí zachytává signál od základnové stanice umístěné na vysílači u budovy Telefonica, i od dalších vzdálených vysílačů. Přímo však komunikuje s BTS v Pernerově ulici. Signál má sílu -69 dBm 22 asu. Cell ID BTS v Pernerově ulici je 35036. HSDPA technologie je dostupná ze základnové stanice situované u ČEZ Arény s ID 59151. Síla signálu v tomto případě je -79 dBm 17 asu.

**Obrázek 37 Masarykovo náměstí - T-Mobile EDGE**

**Obrázek 36 Masarykovo náměstí - T-Mobile HSDPA**




*(zdroj: vlastní)*

Stejně jako v případě operátora Vodafone, i T-Mobile má v centru města na Masarykově náměstí kvalitní signál s velkým výběrem BTS stanic. V případě EDGE komunikuje s podobnými stanicemi jako konkurenční operátor. Jedna z nich je například poblíž ČEZ Arény, další v ulici Hronovická. Signál je na Masarykově náměstí -51 dBm 31 asu. BTS poskytující HSDPA signál je oproti věži komunikující se SIM kartou Vodafonu na opačné straně, tedy směrem po ulici 17. listopadu, se signálem -58 dBm 27 asu.

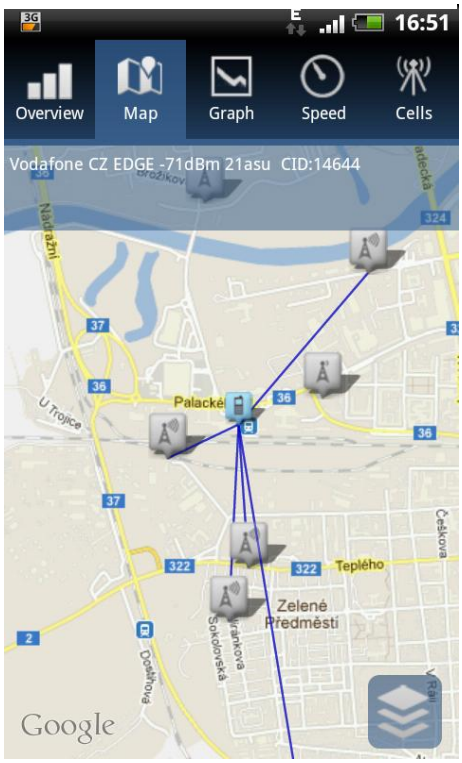
**Tabulka 11 Naměřené hodnoty - Masarykovo náměstí**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -69/-79 | 45,26 | 142,6 | 686,6 | 1467 |
| Vodafone/OSM | -69/-79 | 82,18 | 153,4 | 1781 | 1611,4 |
| T-Mobile/DSL.cz | -51/-59 | 23,34 | 200,6 | 932 | 3910 |
| T-Mobile/OSM | -51/-59 | 62,6 | 159,6 | 1405 | 3861,4 |

## Hlavní nádraží

Hlavní vlakové nádraží se nachází téměř na samém okraji Pardubic, kousek od nádraží autobusového. Pardubicemi vedou vlakové linky z Prahy do Brna a dále do různých zahraničních měst, jedná se tedy o významnou vlakovou zastávku. Na tomto místě byly měřeny hodnoty síly signálu přímo z budovy nádraží, nikoliv venku jako doposud u ostatních destinací.

**Obrázek 39 Hlavní nádraží - Vodafone EDGE**

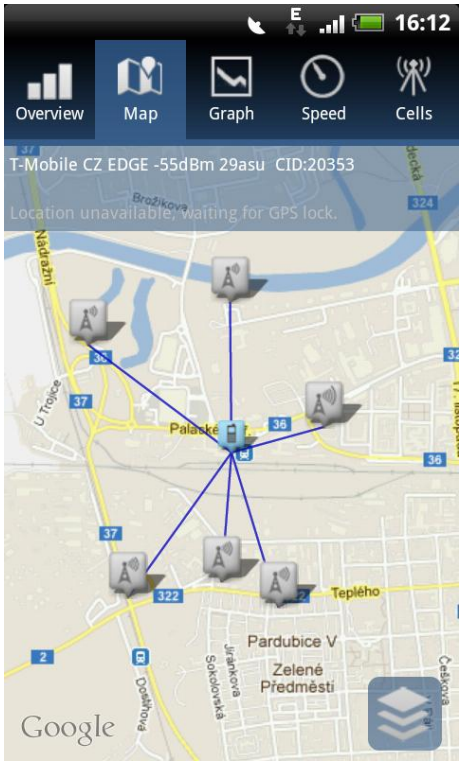



**Obrázek 38 Hlavní nádraží - Vodafone HSDPA**

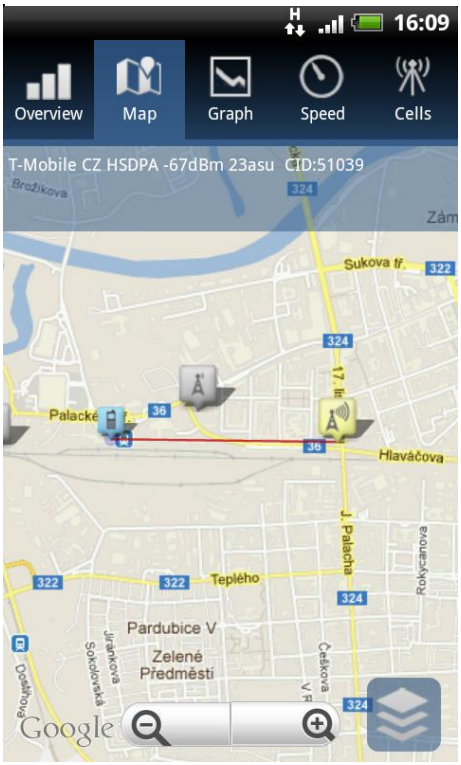
*(zdroj: vlastní)*

Protože se v okolí Hlavního nádraží nachází pouze řídká zástavba a komplex supermarketů, je síť BTS stanic podstatně řidší než tomu bylo v centru města, jak je vidět na obrázku týkajícím se GSM sítě. Signál v budově nádraží byl na úrovni -71 dBm 21 asu poskytovaný stanicí s ID 14644. Systém UMTS má stanici s technologií HSDPA poměrně vzdálenou, a to až na úrovni mostu Kapitána Bartoše. Kvalita signálu je poměrně nízká a to -91 dBm 11 asu od základnové stanice identifikované číslem 59213.

**Obrázek 41 Hlavní nádraží - T-Mobile EDGE**




**Obrázek 40 Hlavní nádraží - T-Mobile HSDPA**




*(zdroj: vlastní)*

Na Hlavním nádraží lze opět vidět, že komunikující BTS stanice T-Mobilu jsou úplně jiné než u Vodafonu. V podstatě všechny okolní základnové stanice s mobilním zařízením komunikují. To se také promítá na kvalitě signálu. U T-Mobile EDGE technologie to je 55 dBm 29 asu, u HSDPA -67 dBm 23 asu. Signál pro mobilní zařízení využívající technologií 3. generace je poskytován až ze vzdálené BTS umístěné na ulici 17. listopadu.

**Tabulka 12 Naměřené hodnoty - Hlavní nádraží**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -71/-91 | 62,38 | 238,6 | 934,2 | 2764,4 |
| Vodafone/OSM | -71/91 | 67,14 | 161 | 1704,4 | 2440,8 |
| T-Mobile/DSL.cz | -55/-67 | 26,1 | 179,6 | 1184,4 | 3296 |
| T-Mobile/OSM | -55/-67 | 57,2 | 156 | 1383 | 3379 |

# Závěr

Teoretická část bakalářské práce poskytla znalosti potřebné k pochopení funkčnosti mobilních sítí všech generací. Díky popisům technických specifikací a rychlostí typických pro dané generace mobilních sítí, je možno odvodit kvalitu poskytovaných služeb operátorů, jejichž SIM karty byly k měření využity.

Cílem praktické části bylo naměřit hodnoty datových toků na vybraných místech Pardubic. Zvolena byla frekventovaná místa v době odpolední špičky, na kterých byla provedena opakovaná měření za pomocí dvou mobilních aplikací.

Během jednotlivých měření se ukázalo, že je nutno počítat s určitou chybou. Například aplikace DSL.cz je schopna měřit na desetinná místa pouze v případě, že rychlost datového toku je nižší než 1 Mb/s. Toho je ale schopna aplikace OpenSignalMaps. Z porovnání hodnot naměřených jednotlivými aplikacemi je také patrné, že OSM měří v mnoha případech až několikanásobně vyšší hodnotu odchozích dat než je tomu u DSL.cz. Tudíž předpoklad určité nepřesnosti během měření je na místě.

Z výsledků vyplývá, že jako poskytovatel rychlejších datových přenosů v Pardubicích vyšel operátor T-Mobile. Poskytované rychlosti jsou mnohdy několikanásobně vyšší, než je tomu u operátora konkurenčního. A to i přes skutečnost, že hodnoty byly měřeny na stejných místech.

# Použité zdroje

*Telecommunications*: *a beginner's guide*. New York: McGraw-Hill/Osborne, c2002, 507 s. ISBN 00-721-9356-5.

UMAR, Amjad. *Mobile computing and wireless communications*: *applications, networks, platforms, architectures, and security*. S.l.: NGE Solutions, 2004, 507 s. ISBN 09-759-1820-6.

PETERKA, Jiří. Data v mobilních sítích: Sdílené využití frekvencí - časový multiplex. In: *EArchiv.cz*: *archiv článků a přednášek Jiřího Peterky* [online]. 2011 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://www.earchiv.cz/a008s200/a008s202.php3

PETERKA, Jiří. Data v mobilních sítích: Digitalizace hlasu. In: *EArchiv.cz*: *archiv článků a přednášek Jiřího Peterky* [online]. 2011 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://www.earchiv.cz/a008s200/a008s203.php3

KOKEŠOVÁ, Nikol. *Principy činností soudobých mobilních komunikačních sítí*: *Logická architektura systému*. Brno, 2007. Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/usr/staudek/mobilni/mobilni.html#kapitola_3_4_1.Bakalářská práce. Fakulta informatiky MU Brno. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Staudek, CSc.

Time Division Multiple Access (TDMA): Normal Burst. *GSM For Dummies* [online]. 2011 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://gsmfordummies.com/tdma/tdma.shtml#normalburst

RICHTR, Tomáš. Buňkové mobilní sítě: Handover. *Technologie pro mobilní komunikaci* [online]. ČVUT v Praze, 2002 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://tomas.richtr.cz/mobil/bunk-hand.htm

RICHTR, Tomáš. Buňkové mobilní sítě: Metody přidělování rádiových kanálů. *Technologie pro mobilní komunikaci* [online]. ČVUT v Praze, 2002 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://tomas.richtr.cz/mobil/bunk-kanal.htm

What is TDMA? Definition of TDMA: Cell Phone Glossary. *About.com* [online]. The New York Times Company, 2012 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://cellphones.about.com/od/phoneglossary/g/tdma.htm

GSM Glossary. In: *Argos Press* [online]. Canberra, 2003-2004 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://www.argospress.com/Resources/gsm/

Architektura systému GSM. In: *Neu-Mann.cz* [online]. 2008-2009, November 27th, 2008 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://www.neu-mann.cz/mobilni-komunikace/mobilni-technologie/architektura-systemu-gsm/

HANUS, Stanislav. *Bezdrátové a mobilní komunikace*. 1. vyd. Brno: VUT, 2001, 134 s. ISBN 80-214-1833-8.

Network Architecture: GSM Network Architecture. In: *GSM For Dummies* [online]. [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://www.gsmfordummies.com/architecture/arch.shtml

Public switched telephone network. In: *Wikipedia*: *The Free Encyclopedia* [online]. 2011, 10. dubna 2012 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Public_switched_telephone_network

RAMBOUSEK, Adam. Historie mobilní komunikace. In: Fakulta informatiky Masarykovy univerzity [online]. 2003 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2003/xrambous_index.htm

Nordic Mobile Telephone. In: *Wikipedie* [online]. 2012, 20. 3. 2012 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Nordic_Mobile_Telephone

RICHTR, Tomáš. Buňkové mobilní sítě: Analogové systémy ve světě. In:*Technologie pro mobilní komunikaci* [online]. ČVUT v Praze, 2002 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://tomas.richtr.cz/mobil/bunk-svet.htm

ŠPRONGL, Vojtěch. *NMT 450 síť první generace v ČR*. v Praze, 2007. Dostupné z: http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK07_semestralky/sit_1_generace-NMT450.pdf. Semestrální práce. České vysoké učení technické v Praze.

KOKEŠOVÁ, Nikol. *Principy činností soudobých mobilních komunikačních sítí*:*Bursty*. Brno, 2007. Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/usr/staudek/mobilni/mobilni.html#kapitola_3_4_1.Bakalářská práce. Fakulta informatiky MU Brno. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Staudek, CSc.

RICHTR, Tomáš. Buňkové mobilní sítě: Princip buňkového systému. In:*Technologie pro mobilní komunikaci* [online]. ČVUT v Praze, 2002 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://tomas.richtr.cz/mobil/bunk-princip.htm

Pokrýváme signálem GSM/DCS. In: *GSMweb.cz* [online]. 2002, 7.11.2002 [cit. 2012-04-29]. Dostupné z: http://www.gsmweb.cz/clanky/clanek.php?id=46

PETERKA, Jiří. Datové přenosy v bezdrátových sítích. *EArchiv.cz*: *archiv článků a přednášek Jiřího Peterky* [online]. 2011 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: http://www.earchiv.cz/b01/b1100011.php3

PETERKA, Jiří. CSD - Circuit Switched Data. *EArchiv.cz*: *archiv článků a přednášek Jiřího Peterky* [online]. 2011 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: http://www.earchiv.cz/a008s200/a008s204.php3

PETERKA, Jiří. HSCSD. *EArchiv.cz*: *archiv článků a přednášek Jiřího Peterky*[online]. 2011 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: http://www.earchiv.cz/b01/b1100014.php3

VELICKÝ, Tomáš. *Datové přenosy po GSM sítích, technologie HSCSD, GPRS a UMTS*. České Budějovice, 2002. Dostupné z: http://www.petrpexa.cz/diplomky/velicky.pdf. Diplomová práce. Pedagogická fakulta Jihočeské Univerzity. Vedoucí práce PaedDr. Petr Pexa.

KOKEŠOVÁ, Nikol. *Principy činností soudobých mobilních komunikačních sítí*:*HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)*. v Brně, 2007. Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/usr/staudek/mobilni/mobilni.html#kapitola_3_9_2.Bakalářská práce. Fakulta informatiky MU Brno. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Staudek, CSc.

ŘEZNÍČEK, Martin. *Přenosové formáty (modulace, mnohonásobný přístup) mobilních systémů 2. a 2,5. generace*. v Praze, 2006/2007. Dostupné z: http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK07_semestralky/prenosove_formaty_2G_a_2_5G.pdf.Semestrální práce. České vysoké učení technické v Praze.

KOKEŠOVÁ, Nikol. *Principy činností soudobých mobilních komunikačních sítí*:*EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)*. v Brně, 2007. Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/usr/staudek/mobilni/mobilni.html#kapitola_5. Bakalářská práce. Fakulta informatiky MU Brno. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Staudek, CSc.

JIŘIČKA, Martin. EDGE - (Enhanced Data for GPRS Evolution). *Fakulta aplikovaných věd západočeské univerzity v Plzni*: *Katedra informatiky a výpočetní techniky* [online]. 2004 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: http://www.kiv.zcu.cz/~simekm/vyuka/pd/zapocty-2004/edge-jiricka/ar01s02.html

MATUŠÍNOVÁ, Petra. Technologie UMTS aneb sítě třetí generace. *Mobil.cz* [online]. 2001 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: http://mobil.idnes.cz/technologie-umts-aneb-site-treti-generace-8211-dil-prvni-ppc-/mob_tech.aspx?c=A010612_0034212_mob_tech

KOKEŠOVÁ, Nikol. *Principy činností soudobých mobilních komunikačních sítí*:*Základní rozdělení UMTS*. v Brně, 2007. Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/usr/staudek/mobilni/mobilni.html#kapitola_6_5. Bakalářská práce. Fakulta informatiky MU Brno. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Staudek, CSc.

MATUŠÍNOVÁ, Petra. UMTS díl II. – Uzlové body a architektura systému. *Mobil.cz*[online]. 2001 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: http://mobil.idnes.cz/mob_tech.aspx?r=mob_tech&c=A010620_0034564_mob_tech

MATUŠÍNOVÁ, Petra. UMTS díl III. - Přístupové metody, Handover a kontrola výkonu. *Mobil.cz* [online]. 2001 [cit. 2012-05-01]. Dostupné z: http://mobil.idnes.cz/umts-dil-iii-pristupove-metody-handover-a-kontrola-vykonu-paq-/mob_tech.aspx?c=A010627_0034883_mob_tech

KOKEŠOVÁ, Nikol. *Principy činností soudobých mobilních komunikačních sítí*:*Handover v UMTS*. v Brně, 2007. Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/usr/staudek/mobilni/mobilni.html#kapitola_6_9. Bakalářská práce. Fakulta informatiky MU Brno. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Staudek, CSc.

KOKEŠOVÁ, Nikol. *Principy činností soudobých mobilních komunikačních sítí*:*Příklady handoveru*. v Brně, 2007. Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/usr/staudek/mobilni/mobilni.html#kapitola_6_9_4. Bakalářská práce. Fakulta informatiky MU Brno. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Staudek, CSc.

KOKEŠOVÁ, Nikol. *Principy činností soudobých mobilních komunikačních sítí*:*Vývoj mobilních komunikací (3.5G, 4G)*. v Brně, 2007. Dostupné z: http://www.fi.muni.cz/usr/staudek/mobilni/mobilni.html#kapitola_7_2. Bakalářská práce. Fakulta informatiky MU Brno. Vedoucí práce doc. Ing. Jan Staudek, CSc.

# Příloha A – Popis přílohy

V praktické části se nachází tabulky s průměrnými hodnotami ze všech opakovaných měření na daných místech, v příloze jsou umístěny tabulky se všemi naměřenými hodnotami.

# Příloha B – Tabulky s hodnotami opakovaných měření

**Tabulka 13 1. měření ulice Jindřišská**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -71/55 | 6,42 | 24 | 523 | 1010 |
| Vodafone/OSM | -71/55 | 4 | 27 | 840 | 1520 |
| T-Mobile/DSL.cz | -79/-65 | 11,4 | 173 | 1160 | 4580 |
| T-Mobile/OSM | -79/-65 | 61 | 29 | 1495 | 4187 |

**Tabulka 14 2. měření ulice Jindřišská**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -71/55 | 13,5 | 27,6 | 476 | 1174 |
| Vodafone/OSM | -71/55 | 19,2 | 7 | 1200 | 1499 |
| T-Mobile/DSL.cz | -79/-65 | 17,8 | 100 | 1130 | 4680 |
| T-Mobile/OSM | -79/-65 | 97 | 41 | 1374 | 2995 |

**Tabulka 15 3. měření ulice Jindřišská**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -71/55 | 7,58 | 25,5 | 498 | 1210 |
| Vodafone/OSM | -71/55 | 0 | 35 | 1371 | 1437 |
| T-Mobile/DSL.cz | -79/-65 | 13,1 | 115 | 1170 | 4690 |
| T-Mobile/OSM | -79/-65 | 143 | 58 | 1435 | 4399 |

**Tabulka 16 4. měření ulice Jindřišská**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -71/55 | 8,3 | 32,7 | 492 | 1220 |
| Vodafone/OSM | -71/55 | 14 | 24,2 | 700 | 1560 |
| T-Mobile/DSL.cz | -79/-65 | 15,3 | 136 | 1120 | 4610 |
| T-Mobile/OSM | -79/-65 | 64 | 57 | 1520 | 4666 |

**Tabulka 17 5. měření ulice Jindřišská**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -71/55 | 7,9 | 30,1 | 614 | 1070 |
| Vodafone/OSM | -71/55 | 15,6 | 21 | 1140 | 1482 |
| T-Mobile/DSL.cz | -79/-65 | 4,3 | 91,7 | 1150 | 4650 |
| T-Mobile/OSM | -79/-65 | 35 | 121 | 1300 | 4533 |

**Tabulka 18 1. měření náměstí Republiky**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -53/-57 | 47,6 | 204 | 697 | 2100 |
| Vodafone/OSM | -53-57 | 77,3 | 160 | 1110 | 2200 |
| T-Mobile/DSL.cz | -51/-51 | 22,1 | 206 | 1120 | 5580 |
| T-Mobile/OSM | -51/-51 | 46 | 195 | 1410 | 5065 |

**Tabulka 19 2. měření náměstí Republiky**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -53/-57 | 52,4 | 220 | 700 | 1980 |
| Vodafone/OSM | -53-57 | 120 | 214 | 1840 | 3010 |
| T-Mobile/DSL.cz | -51/-51 | 30,6 | 195 | 1210 | 5630 |
| T-Mobile/OSM | -51/-51 | 81 | 170 | 1497 | 5058 |

**Tabulka 20 3. měření náměstí Republiky**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -53/-57 | 51 | 198 | 870 | 2230 |
| Vodafone/OSM | -53-57 | 159 | 158 | 1776 | 2411 |
| T-Mobile/DSL.cz | -51/-51 | 36,9 | 177 | 1190 | 5100 |
| T-Mobile/OSM | -51/-51 | 59 | 157 | 1482 | 5176 |

**Tabulka 21 4. měření náměstí Republiky**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -53/-57 | 64,3 | 314,7 | 840 | 2420 |
| Vodafone/OSM | -53-57 | 164 | 162 | 1830 | 2516 |
| T-Mobile/DSL.cz | -51/-51 | 32,7 | 200 | 1230 | 5900 |
| T-Mobile/OSM | -51/-51 | 69 | 191 | 1463 | 5850 |

**Tabulka 22 5. měření náměstí Republiky**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -53/-57 | 54,3 | 170 | 1020 | 2020 |
| Vodafone/OSM | -53-57 | 157 | 139 | 770 | 2370 |
| T-Mobile/DSL.cz | -51/-51 | 45,1 | 193 | 1220 | 5470 |
| T-Mobile/OSM | -51/-51 | 77 | 184 | 1382 | 5264 |

**Tabulka 23 1. měření třída Míru**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -53/-55 | 47,6 | 204 | 840 | 2760 |
| Vodafone/OSM | -53/-55 | 84,7 | 142 | 1645 | 2370 |
| T-Mobile/DSL.cz | -67/-69 | 24,5 | 175 | 1060 | 3820 |
| T-Mobile/OSM | -67/-69 | 49 | 169 | 1675 | 1616 |

**Tabulka 24 2. měření třída Míru**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -53/-55 | 54,7 | 198 | 1030 | 2780 |
| Vodafone/OSM | -53/-55 | 79,9 | 157 | 1200 | 2560 |
| T-Mobile/DSL.cz | -67/-69 | 34,7 | 173 | 649 | 2030 |
| T-Mobile/OSM | -67/-69 | 78 | 183 | 1347 | 4021 |

**Tabulka 25 3. měření třída Míru**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -53/-55 | 58,2 | 320 | 1130 | 3660 |
| Vodafone/OSM | -53/-55 | 80 | 160 | 1785 | 2506 |
| T-Mobile/DSL.cz | -67/-69 | 31,9 | 110 | 880 | 3140 |
| T-Mobile/OSM | -67/-69 | 58 | 125 | 1526 | 4932 |

**Tabulka 26 4. měření třída Míru**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -53/-55 | 43,8 | 207 | 1170 | 3100 |
| Vodafone/OSM | -53/-55 | 73,6 | 166 | 1445 | 3070 |
| T-Mobile/DSL.cz | -67/-69 | 32,9 | 110 | 914 | 3190 |
| T-Mobile/OSM | -67/-69 | 53 | 157 | 1524 | 1649 |

**Tabulka 27 5. měření třída Míru**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -53/-55 | 48 | 194 | 1300 | 3230 |
| Vodafone/OSM | -53/-55 | 82 | 97 | 1650 | 2740 |
| T-Mobile/DSL.cz | -67/-69 | 29,7 | 169 | 720 | 2640 |
| T-Mobile/OSM | -67/-69 | 76 | 131 | 1468 | 3824 |

**Tabulka 28 1. měření Masarykovo náměstí**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -69/-79 | 38,4 | 133 | 721 | 1398 |
| Vodafone/OSM | -69/-79 | 69 | 149 | 1616 | 1576 |
| T-Mobile/DSL.cz | -51/-59 | 17,6 | 210 | 880 | 3220 |
| T-Mobile/OSM | -51/-59 | 60 | 163 | 1243 | 3984 |

**Tabulka 29 2. měření Masarykovo náměstí**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -69/-79 | 52,3 | 152 | 689 | 1568 |
| Vodafone/OSM | -69/-79 | 74,7 | 163 | 1748 | 1599 |
| T-Mobile/DSL.cz | -51/-59 | 21,9 | 215 | 1110 | 4340 |
| T-Mobile/OSM | -51/-59 | 58 | 177 | 1606 | 4225 |

**Tabulka 30 3. měření Masarykovo náměstí**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -69/-79 | 44,4 | 148 | 744 | 1448 |
| Vodafone/OSM | -69/-79 | 85 | 158 | 1834 | 1604 |
| T-Mobile/DSL.cz | -51/-59 | 32,9 | 172 | 875 | 3960 |
| T-Mobile/OSM | -51/-59 | 76 | 140 | 1289 | 3417 |

**Tabulka 31 4. měření Masarykovo náměstí**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -69/-79 | 49,7 | 141 | 623 | 1501 |
| Vodafone/OSM | -69/-79 | 89 | 152 | 1856 | 1636 |
| T-Mobile/DSL.cz | -51/-59 | 24,7 | 199 | 920 | 4110 |
| T-Mobile/OSM | -51/-59 | 47 | 152 | 1414 | 3726 |

**Tabulka 32 5. měření Masarykovo náměstí**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -69/-79 | 41,5 | 139 | 656 | 1420 |
| Vodafone/OSM | -69/-79 | 93,2 | 145 | 1771 | 1642 |
| T-Mobile/DSL.cz | -51/-59 | 19,6 | 207 | 865 | 3820 |
| T-Mobile/OSM | -51/-59 | 72 | 166 | 1473 | 3955 |

**Tabulka 33 1. měření Hlavní nádraží**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -71/-91 | 62,4 | 223 | 1078 | 3175 |
| Vodafone/OSM | -71/-91 | 58,4 | 154 | 1548 | 2351 |
| T-Mobile/DSL.cz | -55/-67 | 16,3 | 204 | 1020 | 2990 |
| T-Mobile/OSM | -55/-67 | 54 | 115 | 1647 | 3860 |

**Tabulka 34 2. měření Hlavní nádraží**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -71/-91 | 58,7 | 187 | 926 | 1112 |
| Vodafone/OSM | -71/-91 | 74,2 | 148 | 1688 | 2194 |
| T-Mobile/DSL.cz | -55/-67 | 21 | 143 | 1100 | 3990 |
| T-Mobile/OSM | -55/-67 | 72 | 193 | 1100 | 3955 |

**Tabulka 35 3. měření Hlavní nádraží**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -71/-91 | 49,6 | 303 | 494 | 2445 |
| Vodafone/OSM | -71/-91 | 61,3 | 160 | 1758 | 2819 |
| T-Mobile/DSL.cz | -55/-67 | 27,4 | 202 | 1417 | 3720 |
| T-Mobile/OSM | -55/-67 | 60 | 161 | 1552 | 3120 |

**Tabulka 36 4. měření Hlavní nádraží**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -71/-91 | 66,8 | 209 | 1170 | 4120 |
| Vodafone/OSM | -71/-91 | 69 | 177 | 1805 | 1916 |
| T-Mobile/DSL.cz | -55/-67 | 26,8 | 167 | 1207 | 1860 |
| T-Mobile/OSM | -55/-67 | 57 | 167 | 1400 | 2490 |

**Tabulka 37 5. měření Hlavní nádraží**

| operátor/aplikace | síla signálu 2G/3G [dBm] | Ø hodnota EDGE uplinku [kbps] | Ø hodnota EDGE downlinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA uplinku [kbps] | Ø hodnota HSDPA downlinku [kbps] |
|---|---|---|---|---|---|
| Vodafone/DSL.cz | -71/-91 | 74,4 | 271 | 1003 | 2097 |
| Vodafone/OSM | -71/-91 | 72,8 | 166 | 1722 | 2924 |
| T-Mobile/DSL.cz | -55/-67 | 39 | 182 | 1178 | 3920 |
| T-Mobile/OSM | -55/-67 | 43 | 144 | 1216 | 3470 |