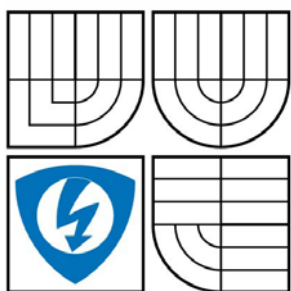


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKACNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**  
**ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

**FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION**  
**DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS**

## **MONITORING GSM SÍTĚ**

MONITORING OF GSM NETWORK

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**BC. TOMÁŠ TRÁVNÍČEK**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**ING. MARTIN KOUTNÝ**

BRNO 2008







## ANOTACE

Diplomová práce je zaměřena na problematiku monitorování GSM sítě pomocí mobilního telefonu. Problematika je rozebrána na bázi teoretické s popisem dostupných parametrů sítě. Dále práce nabízí popis existujících aplikačních prostředí poskytující uživateli dané údaje o síti. Stěžejní část práce popisuje vývoj aplikace zpracovávající údaje z mobilní sítě a data GPS. Pomocí zjištěných údajů tvoří výstupní data znázorňující intenzitu signálu v měřené oblasti. Součástí práce je i provedení měření ve zvolené oblasti s vyhodnocení zpracovaných dat.

**Klíčová slova:** Monitoring, GSM, GPS, signál, Python, Symbian

## ABSTRACT

This master's thesis is focused on problems of monitoring GSM network using a mobile phone. Problems are analyzed on a theoretic basis with a description of available network parameters. Then the thesis offers a description of existing application environments providing a user with given data about the network. The main part of this work describes a development of application compiling queue data from mobile network and GPS, and creates output data illustrating signal strength in selected areas. The work also includes extensive measuring in select areas together with an evaluation of the processed data.

**Keywords:** Monitoring, GSM, GPS, signal, Python, Symbian

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Monitoring GSM sítě“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

.....

Podpis autora

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Martinovi Koutnému, za metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

V Brně dne .....

.....

Podpis autora

## Seznam zkratek

- ADC** Administrativ Centre
- AGCH** Access Grant Channel
- AMPS** Advanced Mobile Phone System
- ARFCN** Absolute Radio Frequency Channel Number. Vyjadřuje číselné označení rádiového kanálu v rámci konkrétního přiděleného kmitočtového pásma GSM.
- AuC** Autentification Centre. Je to blok sítě GSM, který zajišťuje ověřování totožnosti účastníků mobilní sítě.
- BCCH** Broadcast Control Channels
  - BSC** Base Station Center. Označuje jednotku, která řídí základnové stanice v síti GSM.
  - BSIC** Base Station Identity Code. Kod sloužící pro odlišení okolních buněk.
  - BSS** Base Station Subsystem. Označuje podsystém sítě GSM, který zahrnuje základnové stanice BTS a jim nadřazené řídicí jednotky BSC.
  - BTS** Base Transceiver Station. BTS je vysílač a přijímač umístěný v krajině. Jsou to ty známé stožáry, konstrukce na střechách, sloupech. BTS zajišťuje spojení mobilního telefonu se sítí.
  - C1** intenzita signálu v dB vztažená k prahové hodnotě povolující přihlášení
  - C2** Jedná se o parametr, kterým je možné zvýhodnit nebo naopak potlačit některou z dostupných buněk
- CCCH** Common Control Channels
- CDMA** Code Division Multiple Access. Označuje vícenásobný přístup s kódovým dělením. Účastníci jsou odlišeni individuálním pseudonáhodným kódem.
- CFB** Call Forward Busy
- CFNRc** Call Forward Not Reachable
- CFNRy** Call Forward no Reply
  - CGI** Cell Global Identity - globální identifikátor buňky v celém světě
  - CCH** Control Channels
    - CID** Cell Identifier - identifikátor buňky - není jednoznačný v celé síti
    - CRO** Cell Reselect Offset. Preferenční parametr udávající hodnotu zvýhodnění dané buňky
    - DCA** Dynamic Channel Allocation. Systém přidělení kanálů dané buňce
- DCCCH** Dedicate control channels
- DCS-1800** Označuje systém GSM, který pracuje v pásmu 1710 MHz až 1880 MHz.
- DMS** Data and Messaging Service
- EDGE** Enhanced Data rates for GSM Evolution. Technologie postavená na současných sítích GSM, která umožňuje datové přenosy teoreticky až o rychlosti 384 kbit/s.
- EIR** Equipment Identity Register. Registr mobilních stanic, které jsou tu uloženy pod svým IMEI a jsou tříděny do bílého seznamu, šedého seznamu a černého seznamu.
- FACCH** Fast Associated Dedicated Control Channel
  - FCA** Fixed Channel Allocation. Systém přidělení kanálů dané buňce
  - FDD** Frequency Division Duplex. Systém frekvenčního oddělení.
- FDMA** Frequency Division Multiple Access. Označuje vícenásobný přístup s frekvenčním dělením
- GMSC** Gateway Mobile Switching Centre
- GPRS** General Packet Radio Service. Rychlé datové přenosy, způsob připojení k internetu.
- GPS** Global Positioning System. Označuje družicový systém pro přesné určování polohy.
- GSM** System for Mobile Communications. GSM je označení standardu digitálních sítí pro mobilní telefony
- HDOP** Horizontal Dilution of precision: Vliv rozestavení družic na určení polohy
- HLR** Home Location Register. Domovský registr, který obsahuje informace o účastníkovi.
- IMEI** International Mobile Equipment Identity. IMEI je obdobou výrobního čísla automobilu a v případě krádeže je jediným způsobem, jak telefon identifikovat.
- IMSI** International Mobile Subscriber Identity. Jednoznačný identifikátor mobilního účastníka v síti.
- ISDN** Integrated Services Digital Network. Označuje technologii přenosu dat po klasickém telefonním vedení. Základní ISDN připojení dovoluje rychlost až 128 kb/s



- LAC** Local area code. Kód označující oblast v mobilní síti. Slouží k rychlejšímu vyhledávání účastníků.
- LAI** Location Area Identification. Jiné označení pro LAC.
- MAHO** Mobile assisted handover. Síť řízený handover s asistencí mobilní stanice
- MAIO** Mobile allocation index offset
- MCC** Mobile Country Code. Kód označující zemi.
- MCHO** Mobile controlled handover. Mobilní stanicí řízený handover
- MNC** Mobile Network Code. Označení místní mobilní sítě.
- MS** Mobile Station. Označení mobilního terminálu v sítích GSM.
- MSC** Mobile Switching Centre - Označuje mobilní radiotelefonní ústřednu GSM, která řídí provoz podřízených jednotek BSC.
- MSISDN** Mobile Subscriber ISDN Number. Mezinárodní mobilní číslo.
- MSRN** Mobile Subscriber Roaming Number
- NCHO** Network controlled handover. Síť řízený handover
- NMC** Network Management Centre - Centrum managementu sítě. Podílí se na správě a monitorování mobilních stanic. Část subsystému OSS systému GSM.
- NMEA** National Marine Electronics Association: označení formátu GPS souřadnic.
- NMT** Nordic Mobile Telephone. Standard pro mobilní telefony 1. generace
- NodeB** základnová stanice použitá v technologii UMTS, ekvivalent pojmu BTS v sítích GSM
- NSS** Network and Switching Subsystem. Síťový a spínací subsystém
- OMC** Operation and Management Centre. Provozní a servisní centrum.
- OSS** Operation Subsystem. Operační subsystém
- PCN 1900** Označuje systém GSM, který pracuje v pásmu 1850 MHz až 1990 MHz
- PCH** Paging channel
- PSTN** Public Switched Telephone Network. Je standardní telefonní síť, kterou veřejnost používá k realizaci místních, meziměstských i mezinárodních telefonních hovorů.
- PTT** Push to talk - Push to talk je služba pro přímou hlasovou komunikaci v reálném čase
- RACH** Random Access Channel
- RAM** Random-Access Memory (RAM) je volně přístupná paměť, ze které lze číst a na kterou jde nová data i zapisovat
- RNC** Radio Network Controller - síťový kontrolér v sítích UMTS
- RXLevel** Poskytuje výsledek měření úrovně signálu na straně mobilního telefonu, hodnoty je potřeba přepočítat aby odpovídali hodnotám v dB.
- RxQuality** hodnota podobná RXLevel, rozhoduje o výběru aktivní buňky
- SACCH** Slow Associated Dedicated Control Channel
- SDCCH** Stand-Alone Dedicated Control channel
- SIM** Malá plastová karta obsahující vlastní mikroprocesor a paměť. Je na ní uloženo telefonní číslo uživatele, obsahuje také paměť pro telefonní seznam a zprávy SMS
- SMS** Short Message Service. Krátké textové zprávy, ve kterých lze odesílat text o délce 160 znaků.
- TA** Timing Advance. Hodnota časového předstihu, pro korekci různých vzdáleností mezi BTS a MS
- TACS** Total Access Communications System
- TDMA** time division multiple access - česky vícenásobný přístup s časovým dělením. Prakticky rozdělení kanálu na časové úseky, které jsou pak přidělovány účastníkům
- TEMS** Software sloužící k optimalizaci a měření mobilních sítí od společnosti Ericsson
- TCH** Tradic CHannels
- TMSI** Temporal Mobile Subscriber Identity. Dočasný identifikátor mobilního účastníka v síti.
- TO** Temporary offset
- TS** TimeSlot - Časový úsek přidělovaný jednotlivým uživatelům na přenos dat nebo hlasu.
- TXPower** Vysílací výkon terminálu
- UMTS** Universal Mobile Telecommunication System - Označení pro síť třetí generace, které nabízejí zejména vysoké datové přenosy a možnost videokonferencí.
- UTRA** UMTS terrestrial Radio Access
- VLR** Visitor Location Register - Návštěvní lokační registr

# Obsah

1	ÚVOD.....	13
2	GSM.....	14
2.1	HISTORIE GSM.....	14
2.2	STRUKTURA SÍTÍ GSM.....	15
2.2.1	<i>Mobilní terminál (MS)</i> .....	16
2.2.2	<i>Subsystém základnových stanic (BSS)</i> .....	16
2.2.3	<i>Síťový a spínací subsystém (NSS)</i> .....	16
2.2.4	<i>Operační subsystém (OSS)</i> .....	17
2.3	ZÁKLADNÍ PRINCIPY GSM.....	17
2.3.1	<i>Buňkový systém</i> .....	17
2.3.2	<i>Multiplexování v GSM sítích</i> .....	19
2.3.3	<i>Logická struktura - Bursty</i> .....	21
2.3.4	<i>Logická architektura - Přenosové kanály</i> .....	22
2.4	TECHNIKY NAVÁZÁNÍ, UDRŽENÍ A PŘENOS SPOJENÍ.....	23
2.4.1	<i>Handover</i> .....	23
2.4.2	<i>Navázání spojení</i> .....	25
2.4.3	<i>Lokalizace (a odposlech)</i> .....	26
3	MONITORING GSM.....	29
3.1	INFORMACE Z BTS.....	29
3.1.1	<i>Idle mód</i> .....	29
3.1.2	<i>Dedicated mód</i> .....	32
3.2	POPIS APLIKAČNÍCH PROSTŘEDÍ NET MONITORU.....	33
3.2.1	<i>Obecně</i> .....	33
3.2.2	<i>Net Monitor - Nokia 7110</i> .....	35
3.2.3	<i>GPSCell - Motorola MPx200</i> .....	39
3.3	ZPRACOVÁNÍ DAT.....	40
3.3.1	<i>Průběh signálu</i> .....	40
3.3.2	<i>Handover</i> .....	42
3.3.3	<i>Příklad zachyceného rámce dat, zvýhodnění buněk</i> .....	43
4	REALIZACE.....	45
4.1	AT PŘÍKAZY:.....	45
4.1.1	<i>Základní práce s AT příkazy</i> .....	45
4.1.2	<i>Mobilní zařízení</i> .....	45
4.1.3	<i>GPS</i> .....	49
4.2	PYTHON.....	50
4.3	POSTUP REALIZACE.....	51
4.4	GOOGLE EARTH.....	52
4.5	SYMBIAN SIGNED.....	53
4.6	JEDNOTLIVÉ ČÁSTI ŘEŠENÍ:.....	53
4.6.1	<i>Mobilní sběr dat</i> .....	53
4.6.2	<i>PC řešení</i> .....	54
4.7	GRAFICKÉ APLIKAČNÍ PROSTŘEDÍ.....	56
4.7.1	<i>Zachytávání dat</i> .....	56
4.7.2	<i>Zpracování dat</i> .....	58
4.8	ALTERNATIVNÍ POSTUP ŘEŠENÍ.....	60
4.8.1	<i>Závislost na hardwaru (Wavecom)</i> .....	60
4.8.2	<i>Závislost na operačním systému (Windows Mobile)</i> .....	61
4.9	VÝSLEDNÁ DATA.....	62
5	ZÁVĚR.....	67

## Seznam obrázků

Obr. 1: Struktura buňkového systému GSM.....	15
Obr. 2: Princip buňkového systému.....	18
Obr. 3: Princip frekvenčního multiplexu .....	19
Obr. 4: Princip časového multiplexu .....	20
Obr. 5: Struktura rámce.....	20
Obr. 6: Struktura normálního burstu.....	21
Obr. 7: Struktura přístupového burstu .....	21
Obr. 8: Logické kanály .....	22
Obr. 9: Navazování spojení do GSM.....	25
Obr. 10: Aplikace Monitor (OS Windows).....	34
Obr. 11: Aplikace CellTrack91 (OS Symbian).....	35
Obr. 12: Aplikace GSMMon (OS EPOC).....	35
Obr. 13: Nokia NM - Stránka 1 a) popis, b) nápověda, c) hodnoty v Idle modu, d) hodnoty v dedicated modu .....	36
Obr. 14: Nokia NM - Stránka 2 a) popis, b) nápověda, c) hodnoty v Idle modu, d) hodnoty v dedicated modu .....	36
Obr. 15: Nokia NM - Stránka 3 a) popis, b) nápověda, c) hodnoty v Idle modu, d) hodnoty v dedicated modu .....	37
Obr. 16: Nokia NM - Stránka 10 a) popis, b) nápověda, c) hodnoty v Idle modu, d) hodnoty v dedicated modu .....	38
Obr. 17: Nokia NM - Stránka 11 a) popis, b) nápověda, c) hodnoty v Idle modu, d) hodnoty v dedicated modu .....	38
Obr. 18: Nokia NM - Stránka 20 a) popis, b) nápověda, c) normální stav, d) během nabíjení .....	39
Obr. 19: GPS Cell a) o programu, b) hlavní okno aplikace, c) net monitor .....	40
Obr. 20: Aplikace Monitoring GSM - Zpracování dat: logické rozčlenění aplikace.....	55
Obr. 21: Aplikace Monitoring GSM - Zachytávání dat, GUI.....	57
Obr. 22: Aplikace Monitoring GSM - Zachytávání dat, funkční diagram.....	57
Obr. 23: Aplikace Monitoring GSM - Zpracování dat, GUI .....	59
Obr. 24: Aplikace Monitoring GSM - Zpracování dat, grafické vyjádření dat .....	59
Obr. 25: Aplikace Monitoring GSM - Zpracování dat, funkční diagram .....	60
Obr. 26: Graf intenzity signálu v prostoru .....	63
Obr. 27: Mapa pokrytí měřené oblasti (trasa měření).....	64
Obr. 28: Mapa pokrytí měřené oblasti .....	64
Obr. 29: Mapa pokrytí měřené oblasti (výřez).....	65
Obr. 30: Mapa pokrytí základnových stanic (detail) .....	66

## Seznam grafů

Graf 1: Průběh intenzity signálu při pohybu sítí.....	41
Graf 2: Detailní zobrazení průjezdu městem .....	42

## Seznam tabulek

Tab. 1: Frekvenční kanály v GSM.....	30
Tab. 2: Přepočet RxLevel .....	30
Tab. 3: Přepočet TxPower.....	32
Tab. 4: Přepočtu RxQuality .....	33
Tab. 5: Buňka 2577,x rozpis využití při testování .....	41
Tab. 6: příklad zachycených informací pro jeden časový okamžik.....	43
Tab. 7: Základní syntaxe AT příkazů .....	45
Tab. 8: Převod hodnot LAC a CID .....	46
Tab. 9: Převodní tabulka hodnot signálu .....	46
Tab. 10: Detailní rozpis zjištěných hodnot .....	48
Tab. 11: Hodnoty získané příkazem AT^SMON=1 .....	49
Tab. 12: Popis hodnot NMEA věty \$GPGGA.....	50
Tab. 13: Shrnutí celkového měření .....	66

# 1 Úvod

System GSM je unikátní ve své mobilní podstatě. Možnost komunikace účastníků při pohybu byla jedním ze základů, z kterého vznikl právě standard GSM. Základním prvkem této sítě je rádiové rozhraní, které je velmi variabilní. Těmto proměnám a jednotlivým charakteristikám se věnují celé týmy pracovníků telekomunikačních společností, aby zajistili maximálně efektivní pokrytí lokality. Signál se v prostředí odráží, některá místa jsou pokryta signálem dostatečně, některá méně. Právě z důvodu nutnosti zjišťování reálného pokrytí oblasti užitečným signálem vzniká potřeba vytvořit a používat kvalitní nástroje na sběr informací a jejich následné vyhodnocování s ohledem na reálné prostředí.

Tato práce se zaměřením na zmíněnou problematiku nabízí všeobecný pohled na danou problematiku. V práci je porovnáno a popsáno několik aplikačních prostředí, které zjišťují informace o mobilní síti. Žádná z použitých aplikací však nenabízí sběr informací o signálu a záznam těchto dat s určením konkrétního místa v měřené oblasti. Tímto problémem se práce bude zabývat a navrhne aplikační prostředí, které bude sjednocovat informace z mobilní sítě se souřadnicemi systému GPS. Na základě těchto dat pak vzniká možnost data sdružovat a vytvářet mapy pokrytí měřenou charakteristikou dané oblasti.

V práci je shrnut stručný vývoj této technologie. Záměrem práce je seznámení s architekturou systému, jeho chováním a sledování pomocí mobilních terminálů. Proto bude v práci probírána teoretická struktura standardu, způsoby spojování a přenášena data sítě. V textu bude především shrnuta problematika získávání údajů o mobilní síti pomocí GSM terminálu. Budou rozebrány přístupné údaje a možnosti aplikačních prostředí pro toto sledování. Jednotlivé varianty získaných informací budou porovnány a zhodnoceny. Intenzita signálu, označení aktivní buňky a podobné údaje dobře poslouží k objasnění procesů probíhajících v mobilních sítích. Konkrétní zachycená data budou podrobně zkoumána a budou z nich vyvozena odpovídající specifika sledované lokality. Vyhodnocení zachycených dat se pak odkazuje na popsané procesy v síti, jako je např. handover, zvýhodnění vysílače apod. Práce bude velkou měrou popisovat vývoj aplikace pro záznam dat ze sítě a jejich zpracování. Bude popisováno sdružování dat do celků s jejich grafickou reprezentací charakterizující měřenou oblast. Součástí práce bude i prezentace měřených dat s důrazem na měřené parametry a z nich budou vyvozeny charakteristiky měřené oblasti.

V práci bude popsán vývoj aplikace pro monitorování sítě GSM a budou prezentovány naměřené výsledky se zhodnocením v rámci reálné oblasti. Praktické ukázky budou dokládat schopnosti vytvořené aplikace a možnosti jejího použití v aktivním monitorování mobilní sítě.

## 2 GSM

### 2.1 Historie GSM

První náznaky vzniku mobilních sítí se datují již do roku 1949, kdy v Nizozemí vzniká první komerční síť Openbaar Landelijk Net. V tehdejší době to bylo velmi pokrokové řešení, které ve vrcholné době této sítě využívalo 2600 zákazníků. Ti však byli při hovorech odkázáni na operátorky, které jejich hovory spojovaly. Hovory byly pouze simplexní, což znamená, že mohla hovořit pouze jedna strana. Při celkovém pohledu se jednalo vlastně o telefonní síť napojenou na systém rádiových vysílaček.

Další vývoj šel velmi pomalu. Po malých krůčcích se odbourávaly počáteční problémy těchto sítí a zvyšoval se uživatelský komfort. V sedmdesátých letech 20. století již probíhalo spojení duplexně (mohly hovořit obě strany) a dokonce bez spojovatelky. Základní problémy a omezení sítě však stále přetrvávaly, což bránilo masovému nasazení. Především se jednalo o malou kapacitu sítě, velikost mobilních terminálů, které byly předurčeny spíše k užívání ve voze, velká náročnost na energii a omezené pokrytí. Základnové stanice v síti byly vždy naladěny pouze na jednu frekvenci, která se v síti neopakovala. V téže době nebyla stále vyvinuta technika předávání hovoru mezi vysílači, pokud se tedy účastník dostal mimo dosah vysílače, hovor se přerušil, a nový bylo možno navázat, až se terminál přeladil na novou frekvenci.

V šedesátých letech se začalo v Bellových laboratořích pracovat na systému, který by odstranil většinu dosavadních problémů. Právě zde proto vznikl základ celulární sítě jakožto základ dnešního GSM. Vznikala tak myšlenka systému složeného z mnoha malých buněk obsluhovaných základnovými stanicemi. Tyto stanice mají přidělené určité kmitočty, které se pak v celkové síti (při dodržení vzdáleností) mohou opakovat. Nová architektura sítě omezila dosah základnových stanic na desítky kilometrů, což byl podnět k vyřešení problému s předáváním hovorů. Vyvíjel se také automatický systém zjišťování polohy terminálu v mobilní síti, aby bylo kam směřovat hovory. V době 60. let bylo ovšem velmi obtížné řešit techniku předávání hovorů a metodu zjišťování polohy a tak se vývoj opozdil. Zvrat nastal až v sedmdesátých letech, kdy se na trh dostaly mikroprocesory schopné řešit naznačené problémy. To trvalo celá sedmdesátá léta a v roce 1983 byla ve Spojených státech amerických k dispozici první mobilní síť založená na novém standardu AMPS (Advanced Mobile Phone System) v pásmu 800MHz s analogovým přenosem.

V Evropě byla situace trochu odlišná, a již v roce 1981 zde vznikla první mobilní síť. Konkrétně se jednalo o síť švédského operátora Televerket2 (dnes Telia). Severské státy byly po právu označeny za průkopníky na poli mobilní komunikace v Evropě. Tato síť je často považována za první síť založenou na standardu NMT (Nordic Mobile Telephone). To ovšem není pravda, jelikož již 1. 9. 1981 (měsíc před švédským spuštěním) odstartovala v Saudské Arábii síť na stejném standardu.

Sítě založené na NMT se následně rozšířily především v severní Evropě, ale i jinde (např. Belgie, Nizozemí, Lucembursko, Rakousko, Finsko, Island a další). Státy západní Evropy standard NMT nepřijaly a raději zadávaly domácím dodavatelům vývoj vlastních konceptů.

V roce 1990 bylo proto v Evropě celkem 6 standardů a 11 modifikací, které nebyly bohužel kompatibilní. Výsledkem toho bylo, že uživatelé jednotlivých sítí (NMT 450) nemohli se svými telefony telefonovat v okolních zemích, i přesto, že jejich operátoři sepsali roamingové smlouvy.

I přes tuto nekompatibilitu mezi jednotlivými standardy vývoj trhu nestagnoval, jak by se dalo předpokládat, ale naopak rostl. Pro představu, švédská síť Televerket přilákala

devětkrát více zákazníků, než očekávaly ty neoptimističtější prognózy. Důsledkem toho však bylo to, že sítě standardu NMT 450 začaly pomalu naplňovat kapacitní maximum svých sítí.

V tento moment se tedy začal hledat opět nový standard, který by měl dostatečnou kapacitu a umožňoval by vzájemnou kompatibilitu jednotlivých národních sítí. Tou dobou se tedy začíná vytvářet systém GSM, dnes nejrozšířenější standard mobilních sítí [1],[3],[5].

## 2.2 Struktura sítí GSM

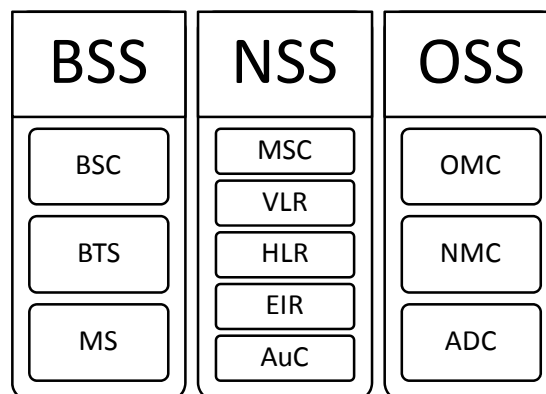
Systém GSM je složen z následujících částí:

**Externí telekomunikační síť** – mezi tyto telekomunikační sítě patří např. pevné telefonní linky, ISDN nebo jiné komunikační linky. U této složky systému GSM je důležité, že systém GSM je otevřený a umožňuje tedy připojit jakékoli komunikační prostředí a poté do něj směřovat např. hovory. V České republice se setkáme především s pevnými linkami společnosti Telefónica O2 Czech Republic, a.s.

**Operátoři** – Další nedílnou součástí GSM celku jsou poskytovatelé telekomunikačních služeb na mobilních sítích. Řídí systém GSM převážně po ekonomické a administrativní stránce.

**Buňkový systém GSM** – Poslední a také nejdůležitější částí GSM je vlastní struktura sítě. Ta zajišťuje vlastní připojení terminálu do sítě a vše potřebné k bezchybnému průběhu hovoru. Skládá se ze čtyř základních částí [4],[6],[8],[12]:

- Mobilní terminál (MS – Mobile Station) – je to zařízení, které zprostředkovává uživateli připojení do sítě.
- Subsystém základových stanic (BSS – Base Station Subsystem) s ním přímo komunikuje mobilní terminál přes rádiové spojení
- Síťový a spínací subsystém (NSS – Network and Switching Subsystem) jedná se o ústřednu, která má na starosti vyhledávání účastníků v síti a přepojování hovorů do správné části BSS
- Operační subsystém (OSS – Operation Subsystem) obstarává provoz a údržbu obou výše zmíněných subsystémů (tj. BSS a NSS), zabezpečuje funkci celého systému a vyřizuje tarifkaci účastníků, kontrolu plateb apod.



Obr. 1: Struktura buňkového systému GSM

### 2.2.1 Mobilní terminál (MS)

Toto zařízení umožňuje uživateli používat mobilní síť. Mělo by být dostatečně mobilní, aby bylo možné využívat služeb GSM kdekoli. Zařízení se dělí podle velikosti a typu použití na přístroje vhodné k zabudování (např. do automobilu apod.) dále na přenosné (tyto přístroje se již moc nevyskytují, ale jedná se o „kufříkové“ přístroje známé spíše z minulosti) a přístroje příruční.

Mobilní terminály se také mohou dělit podle vysílacího výkonu. Existuje rozdělení do pěti výkonnostních tříd. Přístroje určené k zabudování jsou většinou ve třídě 2 (tj. výstupní výkon  $8W^1$ ) a mobilní telefony náležejí do skupiny 4 (výstupní výkon  $2W^1$ ).

Aby terminál mohl správně komunikovat se sítí, je nutné, aby byla vložena karta SIM. Ta je jedinečná a plně uživatele identifikuje. Pomocí SIM karty se při zapínání přístroje provede ověření účastníka jedinečným číslem IMSI (International Mobile Subscriber Identity) jež jej celosvětově reprezentuje a s jehož pomocí se ověří údaje o účastníkovi v databázi. Dále používá terminál SIM kartu k ukládání různých dynamických informací, jako jsou např. dočasný identifikátor účastníka TMSI (Temporal Mobile Subscriber Identity), číselný kód oblasti LAI (Location Area Identification) nebo např. identifikátor aktuální buňky kde mobilní stanice nachází. Mobilní terminál je ta část sítě, s kterou se uživatel setkává nejčastěji. Na trhu jsou desítky různých modelů od různých výrobců.

Velmi důležitou vlastností je pak ještě kód IMEI, tedy neměnné výrobní číslo které rozlišuje každý přístroj a lze jej využít např. pro zablokování aparátu po krádeži.

### 2.2.2 Subsystem základnových stanic (BSS)

Ten obsahuje vše, co se rádiové komunikace týče. Jedná se především o základnové stanice (BTS – Base Transceiver Station) a základnová řídicí jednotka (BSC – Base Switching Centre). Tyto základní dva prvky BSS mají na starosti bezchybný provoz rádiové části sítě GSM. Buňkový systém, jenž je provozován v systému GSM vyžaduje střídání frekvencí, jejich detailní správu, aby nedocházelo k jejich vzájemnému rušení apod. To má na starosti právě BSC. V této jednotce dochází k plánování a přidělování frekvencí jednotlivým základnovým stanicím, které poté tvoří jeden ze dvou svazků buněk:

- **9x1**: každá buňka obsahuje ve svém středu vysílač, který vysílá na určité frekvenci. Ta se již v daném svazku nemůže opakovat, jelikož by docházelo k vzájemnému rušení. Tento způsob pokrytí území signálem se nazývá plošný a používá se např. ve městech.
- **3x3**: v této konfiguraci obsahuje jedna základnová stanice tři buňky a ty vysílají směrovými anténami na různých kmitočtech. Toho se využívá např. v blízkosti dálnic.

Buňky lze tvořit i různými kombinacemi výše popsaných postupů.

### 2.2.3 Síťový a spínací subsystém (NSS)

Jedná se o ústřednu, která má na starosti spojení sítě GSM s externími telekomunikačními sítěmi. Celý systém je založen na propojení těchto sítí, o jejichž spojení a koordinaci se stará spínací ústředna (MSC – Mobile Switching Centre). Tato ústředna

---

<sup>1</sup> uvedené údaje se týkají sítě 900 MHz



musí být vždy dostatečně koncipována na požadavky, které na ni mohou být kladeny, např. ve městech. Od normálních ústředěn se liší celý systém NSS tím, že z důvodů mobility účastníků je vždy potřebné je dohledat, ověřit apod. Proto se zde nacházejí další prvky:

- **Domovský lokační registr** (HLR – Home Location Register) obsahuje veškeré informace o účastnících z dané lokality. V databázi jsou obsaženy např. informace o předplacených službách apod. Tyto data systém vždy hledá, pokud o nějakou službu účastník žádá. Každému účastníkovi náleží záznam pouze do jedné HLR aby nedocházelo k chybám způsobeným neaktuálními informacemi v jiných HLR. Proto je systém vytvořen tak, aby MSC mohli přistupovat do všech dostupných HLR. Součástí tohoto registru je navíc i AuC (Authentication Centre) které ověřuje uživatele.
- **Návštěvní lokační registr** (VLR) je další ze součástí NSS. Tento registr obsahuje data účastníků, kteří jsou aktuálně v jeho dosahu. Data jsou získána od HLR mobilního účastníka a není s nimi nijak nakládáno (nejsou pozměňována v době pobytu účastníka). Jakmile účastník opustí oblast VLR jsou data smazána. Důležité je poznamenat, že data jsou aktualizována pouze v HLR, a VLR si je vždy získá, nikdy je sám nemění.
- **Registr mobilních stanic** (EIR – Equipment Identity Centre) to je registr mobilních stanic, kde jsou uvedeny všechny terminály pod svým nezáměnným IMEI (International Mobile Equipment Identity) číslem. Tyto telefony jsou tříděny do různých seznamů, které omezují jejich použití. Pokud je tedy přístroj na „black-listu“, znamená to, že je zablokován (byl například ukraden a zablokován policií) a v dané síti již tedy nelze použít.

#### 2.2.4 Operační subsystém (OSS)

Tento subsystém má hlavně administrativní funkce a obsahuje tyto podsystémy:

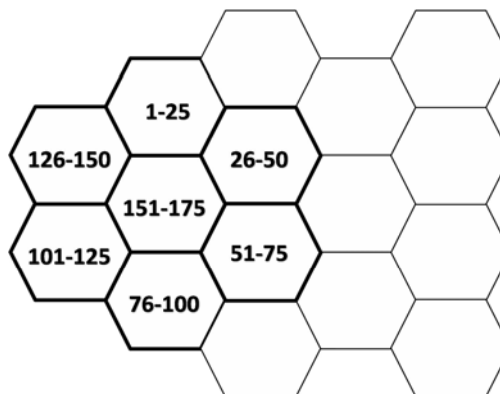
- **Provozní a servisní centrum** (OMC – Operation and Management Centre) má na starosti obsluhu a dohled nad technickými prostředky ostatních částí systému GSM (tj. NSS a BSS)
- **Centrum managementu sítě** (NMC – Network Management Centre) spravuje mobilní terminály, provádí jejich monitoring, detekci porouchaných přístrojů apod.
- **Administrativní centrum** (ADC – Administrative Centre) obstarává management uživatelů sítě GSM, dohlíží na správnost tarifkace, registrace uživatelů apod.

## 2.3 Základní principy GSM

### 2.3.1 Buňkový systém

V dřívějších dobách se používala tzv. ostrůvková koncepce pokrytí komunikačního prostředí. Jednalo se o jediný vysílač s dosahem na poměrně velké území. To však skýtalo řadu nevýhod. Jelikož sousední vysílač nemohl mít stejná frekvenční pásma, bylo potřeba při každém přechodu do oblastí pokryté jiným vysílačem manuálně přeladit koncové zařízení na danou frekvenci. Vysílače na obou stranách (jak základová stanice, tak terminál) musely disponovat velkým výkonem, a proto byl provoz velmi energeticky náročný. Nejzávažnějším problémem tohoto systému bylo bezesporu neefektivní nakládání s přidělenými frekvencemi. Každý vysílač potřeboval na vyplnění celého okolí co nejširší

frekvenční pásmo, což ovšem nemohlo být přiděleno, kvůli sousedním vysílačům. Kanály se mohly začít opakovat až v bezpečné vzdálenosti, a to 5ti násobku dosahu daného vysílače. Toto vše udělalo z ostrůvkového systému velice neefektivní systém. V roce 1946 se v Bellových laboratořích začal vyvíjet buňkový systém, který měl dané nevýhody odstranit.



Obr. 2: Princip buňkového systému

Buňkový (celulární) systém tedy přinesl především efektivní využití přiděleného kmitočtového pásma. Aby vše fungovalo korektně, jsou buňky seskupeny do svazků (clusterů, skupin), které mají především logický charakter. Každá buňka má v tomto seskupení předělené určité jedinečné pásmo kmitočtů, s kterým disponuje a poskytuje uživatelům. Pokud bude svazek tvořen např. 7mi buňkami, pak první bude disponovat např. 1. - 25. kanálem, druhá 26. - 50. kanálem apod. v daném sektoru se dále tyto kmitočty již nesmí opakovat, čímž je odstraněno případné rušení. Struktura sítě je tedy vždy navrhována tak, aby kmitočtové svazky se svými buňkami na sebe navazovaly. Celé území je pak pokryto navazujícími sektory, které splňují interferenční podmínky, což znamená (jak již bylo uvedeno) že stejné buňky (stejně kmitočtové rozsahy) jsou od sebe vzdáleny pětinásobek jejich poloměru.

Buňky jsou rozděleny podle charakteru pokrývané oblasti. Jedná se především o tyto typy:

- **Makro buňka:** rozloha až 35 km – oblasti řídkého osídlení a rychle se pohybujících účastníků (dálnice),
- **Mikro buňka:** rozsah do 1 km – oblasti s vyšším počtem účastníků, např. města,
- **Piko buňka:** rozloha do několika desítek metrů – vysoký počet účastníků, např. obchody, výstaviště, společenské prostory apod.
- **Deštníková buňka** většinou pokrytí míst mezi piko a mikro buňkami.

Jednotlivé buňky se spojují do logických svazků. Tyto svazky pak tvoří logické celky, které například využívají stanovené frekvenční pásmo. Na otevřených oblastech s malým počtem uživatelů se proto s výhodami používají větší svazky, naopak v prostorách s hustším pohybem účastníků najdou své uplatnění buňky menších rozměrů.

Buňkový systém v sobě skrývá podstatné výhody oproti svému předchůdci: umožňuje handover (tedy plynulý přechod mezi buňkami), podstatně menší použité výkony a nesporně vyšší efektivitu v použití frekvenčního pásma. Tyto výhody jsou však vykoupeny technologickou náročností. V oblasti kde dříve stačil jediný vysílač, je jich nyní umístěno rovnou sedm.

Pro vytvoření ještě kvalitnější sítě, se používá sektorizace. Tato metoda spočívá v osazení základnové stanice vícero sektorovými anténami, které rozdělí oblast do 3 nebo

6ti menších, vzájemně se nenarušujících oblastí, tzv. sektorů. V každém sektoru lze využít různých kmitočtů a tím zvýšit kapacitu pokryté oblasti. Rozloha celé oblasti se tedy zmenší, ale zmenší se také vysílací výkon.

Kanály v sektorech lze rozdělovat dvojím způsobem. Jedná se o fixní přidělování kanálů jednotlivým základnovým stanicím, nebo dynamické přidělování. Fixní distribuce kanálů FCA (Fixed Channel Allocation) je velice prostá, avšak nikdy není nejefektivnější. Sektor nereaguje na změny v pohybu účastníků a tak může nastat situace, že některé buňky budou plně obsazeny a nebudou již dále disponovat volnou kapacitou, zatímco ostatní buňky budou zatíženy jen z poloviny. Dynamické přidělování kanálů DCA (Dynamic Channel Allocation) odbourává tyto problémy a kanály přiděluje tam, kde je to potřeba. Kanály jsou nabídnuty všem buňkám ve skupině a využije je právě ta, která je potřebuje pro uspokojení potřeb účastníků [2],[6],[9],[10],[11],[13],[15].

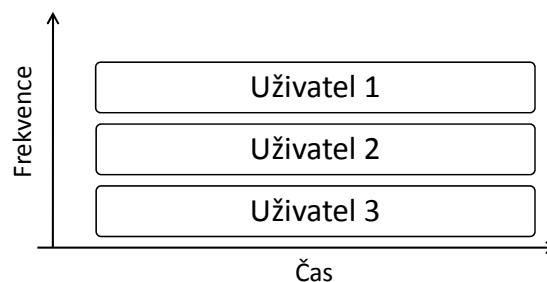
### 2.3.2 Multiplexování v GSM sítích

Multiplexování označuje metodu hromadného přístupu ke komunikačnímu kanálu. Snaha potlačit kolize mezi přístupujícími účastníky vyvrcholila k vytvoření přístupových metod, které jednotlivé účastníky oddělují. Podle formy dělení se jedná o multiplex frekvenční, časový nebo kódový [8],[9],[10],[11],[13].

#### Frekvenční (FDMA) a časový (TDMA) multiplex

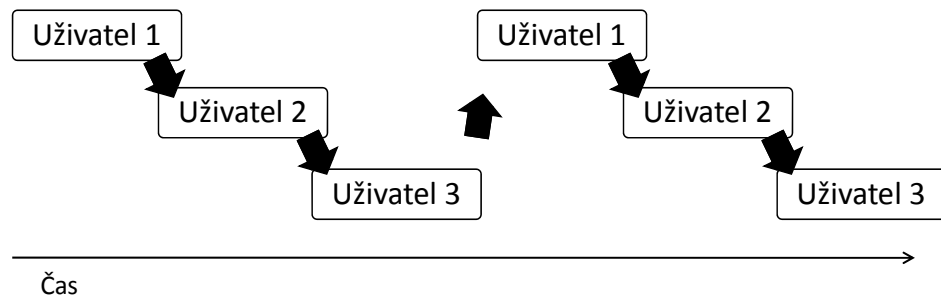
Metoda frekvenčního oddělení (FDMA - Frequency Division Multiple Access) je založená na použití různých frekvenčních kanálů. Znamená to, že celé přidělované pásmo poskytovaného systému se rozděluje na dílčí části a ty jsou pak přidělovány jednotlivým uživatelům. Každému uživateli připadá jeden frekvenční rozsah.

Výhodou této metody je jednoduchost s ohledem na synchronizaci, dále pak např. snadná implementace. Tyto výhody jsou bohužel vykoupeny kapacitními limity, jelikož počet kanálů limituje i počet uživatelů. Navíc, je kanál rezervován pro daného uživatele, i když neprobíhá žádná komunikace, což není v dnešní době již akceptovatelné.



Obr. 3: Princip frekvenčního multiplexu

Další přístupovou metodou je časový multiplex (TDMA - Time Division Multiple Access). Tato metoda obsluhuje účastníky na společném frekvenčním kanále a přiděluje jim vždy pouze jeden časový úsek v TDMA rámci. Tento rámec se v čase souvisle opakuje a uživatel tedy získává přístup opakovaně, ale jen na daný čas. Metoda tedy umožňuje i ostatním uživatelům vysílat a přijímat na stejném kanále, jsou odděleni pouze časově. To sebou ovšem nese velké požadavky na přesnou synchronizaci.



Obr. 4: Princip časového multiplexu

TDMA rámeček obsahuje např. 3 timesloty, které se souvisle opakují. Každý první timeslot je přitom přiřazen uživateli 1, každý druhý uživateli 2 atd. V reálném čase tedy na frekvenčním kanálu hovoří vždy jeden účastník, a pokud je délka TDMA rámečku dostatečně krátká, není „přerušování“ vůbec patrné.

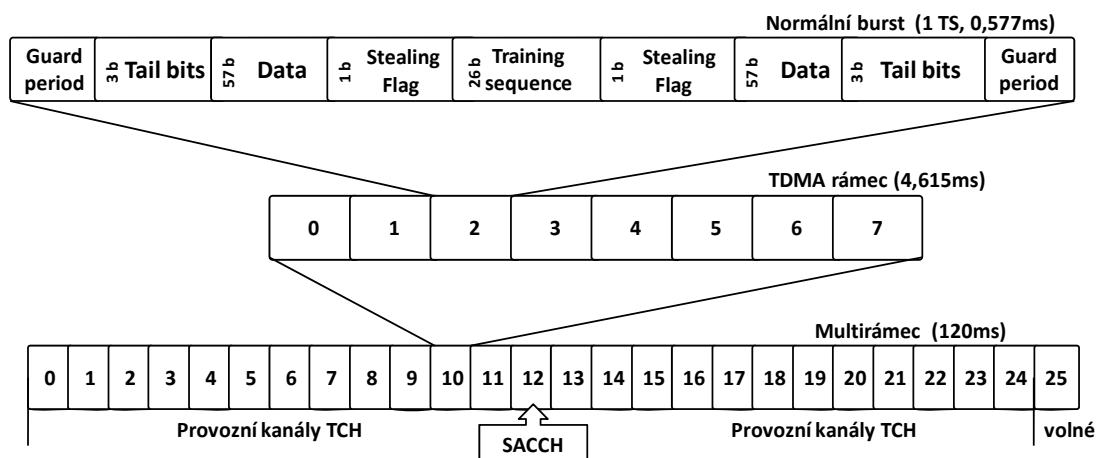
### Techniky přístupu v GSM

Pro systém GSM je frekvenční pásmo velmi omezené, a proto byla vybrána kombinace obou výše popsaných způsobů přístupu ke kanálu. Pro GSM 900 bylo vymezeno 890-915 MHz pro uplink a 935-960 MHz pro downlink. Celkově tedy systém disponuje 2x 25 MHz. Systém FDMA tedy rozdělí 25 MHz do 124 nosných kanálů o šířce 200 kHz. Každý z těchto kanálů je pomocí přístupové metody TDMA „rozdělen“ do TDMA rámečků které obsahují 8 timeslotů. Jednotlivé timesloty jsou pak přidělovány uživatelům.

Pro shrnutí kapacity základní sítě GSM 900:

124 kanálů je rozděleno do 8 mi timeslotů, které se přidělují uživatelům. Kapacita je tedy 992 duplexních kanálů. (timesloty mají délku 0,577 ms a TDMA rámeček tedy 4,615 ms). Komunikace je vedena technikou FDD (Frequency Division Duplex) tedy frekvenčního oddělení po dvou kanálech, jedním pro směr od terminálu k základnové stanici a druhým v opačném směru.

Celková struktura TDMA rámečků má samozřejmě i své vyšší jednotky. Např. 26 TDMA hovorových rámečků tvoří multirámeček (0,12 s), 51 multirámečků tvoří superrámeček (6,120 s) a spojení 2048 superrámečků vytváří hyperrámeček (3 h 28 min).



Obr. 5: Struktura rámečku

### 2.3.3 Logická struktura - Bursty

Základní přenosovou jednotkou v systému GSM je burst (anglický výraz, překládá se jako řetězec), jedná se 156,25 b dlouhou sekvenci dat, s přesně stanovenou strukturou dat (každý má délku 148 b, ale k této sekvenci je vždy přidáno netradičně 8,25 b jako jakási tolerance dat vkládaných do timeslotů). Bursty mohou mít jednu z pěti funkcí a proto i pět různých struktur. [2],[8],[9],[11].

Základní uspořádání viz Obr. 6. Jeho skladba je následující:

Guard period	3 <sup>b</sup> Tail bits	57 <sup>b</sup> Data	1 <sup>b</sup> Stealing Flag	26 <sup>b</sup> Training sequence	1 <sup>b</sup> Stealing Flag	57 <sup>b</sup> Data	3 <sup>b</sup> Tail bits	Guard period
--------------	--------------------------	----------------------	------------------------------	-----------------------------------	------------------------------	----------------------	--------------------------	--------------

Obr. 6: Struktura normálního burstu

- Tail bits – 3 nulové bity na konci a na začátku burstu
- Training sequence – 26 b předdefinovaný vzorek určený pro ekvalizaci signálu
- Stealing flags – příznaky určují, zda se v datových oblastech přenášejí řídicí nebo hlasová sekvence
- Data – 2 x 57 b obsahujících data
- Guard space – ochranná doba (8,25 b), ve které může dojít k časovému posunu burstu

Tento burst se používá při standardní komunikaci mezi terminálem a základnovou stanicí.

Odlíšnou délkou struktury (87 b) má **Burst Přístupový (Access Burst)** který obstarává přenos dat s požadavky na BTS (požadavky na spojení hovoru apod.) používá se výhradně na kanálu RACH (bude vysvětleno později). Struktura je následující:

7 <sup>b</sup> Tail bits	41 <sup>b</sup> Training sequence	36 <sup>b</sup> Data	3 <sup>b</sup> Tail bits	68,25 <sup>b</sup> Guard period
--------------------------	-----------------------------------	----------------------	--------------------------	---------------------------------

Obr. 7: Struktura přístupového burstu

Přístupový burst se využívá při připojení mobilní stanice do sítě. Jeho hlavní funkcí je eliminovat vliv zpoždění signálu způsobeného odstupem mobilního terminálu od vysílací stanice. Ochrana doba tohoto burstu je celých 68,25 b, pro korekci je však využito pouze 63 b, zbylých 6 b obsahuje informace o základnové stanici, díky kterým terminál upraví dobu vysílání. Maximální ochranná doba je tedy 232,6  $\mu$ s (v přepočtu 70km mezi BTS a MS a MS a BTS).

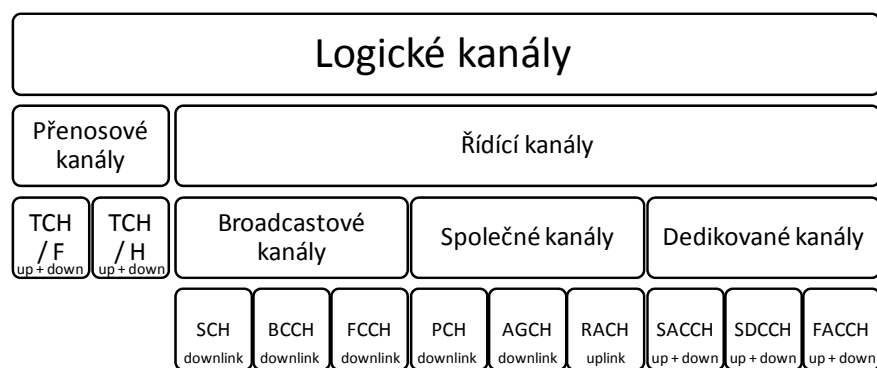
**Frekvenční Burst** je dalším z řady který je stejný jako normální. Jeho hlavním úkolem je frekvenční synchronizace mobilního terminálu. Tento burst se posílá především při zapínání terminálu, kdy jej BTS odešle a tím mobilnímu terminálu nadefinuje správnou nosnou kanálu. Po frekvenční synchronizaci většinou ještě následuje synchronizace časová, kterou obstarává **Synchronizační Burst**. Ten přenáší informace o mobilním operátorovi a např. čísla TDMA rámce. Slouží k synchronizaci multiplexu TDMA a je používán před navázáním spojení, nebo při handoveru.

Posledním typem burstu je **Prázdný Burst**. Nenesení žádná uživatelská data, ale pouze předdefinované sekvence, aby bylo dobře rozpoznatelné, o který z burstů se jedná.

### 2.3.4 Logická architektura - Přenosové kanály

V mobilní síti probíhá veškerá komunikace po přenosových kanálech (TCH – Tradic CHannels) a řídicích kanálech (CCH – Control CHannels). Přenosové kanály jsou logicky určeny na přenos uživatelských dat jako data a hlas. Jejich přenosová rychlost se odvíjí podle použitého typu přenosu. Může se jednat o přenos Full rate (označováno F) nebo Half rate (označováno H) což označuje plnou (F) nebo poloviční (H) rychlost (existuje již i TCH/Q tedy Quarter Rate (čtvrtinová rychlost)). Kanály tedy mohou být TCH/F 22.8, TCH/F 14.4, TCH/F 9.6, TCH/F 4.8, TCH/F 2.4, TCH/H 4.8, a TCH/H 2.4 (čísla označují přenosovou rychlost). Jednotlivé kanály se odlišují především použitým kódováním a způsobem zabezpečení proti chybám. Tyto kanály jsou nasazeny do komunikačních systémů pro přenos dat. Rozdíl mezi F a H není např. u hlasu vůbec patrný. Jen velmi jemně se zhorší kvalita přenosu v režimu H, nicméně každý timeslot je pak schopen přenést dva kanály, čímž se velice zvýší kapacita sítě.

Další a daleko početnější skupinou kanálů jsou kanály řídicí. Ty se dělí na broadcastové, společné řídicí a dedikované [2],[4],[8],[11],[12].



Obr. 8: Logické kanály

**Broadcastové řídicí kanály** (BCCH Broadcast Control Channels) Tyto jednosměrné kanály poskytují mobilní stanici celistvé informace o části mobilní sítě, kde se právě nachází. Informace zahrnují kód oblasti, státu, identifikátory buněk, specifikaci přidělených kanálů, informace o operátorovi apod. mezi důležité informace také bezesporu patří informace pro korekci vysílacího výkonu na mobilním terminálu, aby nedocházelo k interferencím. Do těchto kanálů spadají synchronizační kanály (SCH) provádějící rámcovou synchronizaci mobilní stanice, broadcastové řídicí kanály (BCCH) které přenášejí veškeré údaje o síti a kanály frekvenční korekce (FCCH).

**Společní řídicí kanály** (CCCH – Common Control Channels) Těmito kanály se přenáší informace nutné k navázání spojení mezi mobilním terminálem a základnovou stanicí. Pro směr k mobilní stanici je vyhrazen kanál Paging channel (PCH) který informuje o příchozím požadavku na spojení. Vysílání opačným směrem je pak vedeno kanálem Random Access Channel (RACH). Vysílá se vždy v náhodný okamžik, vybraný mobilní stanicí metodou Slotted aloha. Posledním kanálem je Access Grant Channel (AGCH) který alokuje některý z kanálů TCH a přidělí jej mobilní stanici pro komunikaci.

**Dedikované řídicí kanály** (DCCCH – Dedicate control channels) Tyto kanály jsou důležité při komunikaci mobilní stanice se sítí. Jestliže mobilní stanice nemá přidělen žádný přenosový kanál TCH pro přenos dat, je pro ni vymezen kanál Stand-Alone Dedicated Control channel (SDCCH) který nese informace potřebné k získání TCH. Kanál je využit pro registraci a ověření uživatele, dále pro nastavení hovoru a poloze terminálu

v síti. Po přiřazení přenosovému kanálu, je vždy přiřazen také řídicí kanál Slow Associated Dedicated Control Channel (SACCH) přenášející důležité informace o okolní síti, vysílacím výkonu apod. Tyto informace se pak využívají např. při handoveru. Zvláštností těchto kanálů je ta, že v případě potřeby přenosu většího množství dat v krátkém čase (např. právě při handoveru) se alokuje kanál Fast Associated Dedicated Control Channel (FACCH) který je vložen místo kanálu přenosového.

## 2.4 Techniky navázání, udržení a přenos spojení

### 2.4.1 Handover

Z principu buňkového systému je zřejmé, že se uživatel pohybuje mezi buňkami. Počet využívaných buněk se liší především v závislosti na pohybu mobilní stanice, ale hlavně na charakteru okolí. Prostor, kde se daná stanice vyskytuje, může být pokryt jednou vysílací základnou, která obsáhne velké území (např. venkov – malý počet uživatelů). Druhým, extrémním případem může být území pokryté mikro nebo dokonce piko buňkami, které jsou nezbytné pro poskytování dostatečné kapacity sítě v dané lokalitě (např. nákupní zóny, kanceláře apod.). V závislosti na daných podmínkách dochází k překrývání jednotlivých buněk. Pokud mobilní stanice již ztrácí signál z jedné buňky systému, musí vyhledat novou, s dostatečným signálem a automaticky se přeladit na její frekvence. Tomuto automatickému procesu se potom říká právě Handover. Jedná se o předávání mobilní stanice mezi jednotlivými buňkami. Podmínkou handoveru je plně automatické přeladění, bez vědomí a zásahu uživatele. Celý proces předání trvá jen nepatrnou chvíli. Délka procesu je nuceně zkrácena, aby nebylo přerušeno patrně ani při probíhajícím hovoru. Obecně můžeme proces handoveru rozdělit do dvou skupin:

1. podle průběhu handoveru, respektive způsobu přepnutí mezi kanály (hard, soft, softer, seamless),
2. podle části sítě, která handover řídí (sítí řízený handover, mobilní stanicí řízený handover a sítí řízený handover s asistencí mobilní stanice).

Ad 1) Podle průběhu:

**Tvrдый handover** (hard) – jedná se o přerušené spojení. Síť nejprve odpojí mobilní stanici z původního kanálu a teprve potom ji opět připojí, již k novému kanálu. Mobilní stanice je tedy na dobu cca 100ms odpojena. Během hovoru není toto odpojení patrné, při přenosu dat ale může dojít k ztrátě informace.

**Bezešvý handover** (seamless) – tento handover nejprve naváže spojení na novém kanále, a až poté se odpojí od původního kanálu.

**Měkký handover** (soft) – mobilní terminál je během pohybu v síti připojen na všechny dostupné základnové stanice (vždy minimálně dvě). Spojení v tomto případě probíhá po všech kanálech paralelně, což zvyšuje kapacitu sítě. Handover probíhá zcela intuitivně, některá spojení se zruší a co nejdříve se obnoví již na nových kanálech.

Ad 2) Podle řízení:

**Sítí řízený handover** (NCHO – Network controlled handover) – kvalitu kanálů v tomto případě měří základnové stanice a ty na základě výsledků provádí rozhodování o přepojení mobilní stanice. Mobilní stanice v tomto případě nemá žádný vliv na handover a není zatěžována jakýkoli měřeními, což se s výhodou používá u analogových systémů.

**Mobilní stanicí řízený handover** (MCHO – Mobile controlled handover) – měření kvality všech kanálů provádí jak základnová stanice, tak i mobilní terminál. V tomto případě však rozhodnutí o přepnutí na jiný kanál dává mobilní stanice. Předá informace a požadavky systému a ten provede vlastní přepnutí.

**Sítí řízený handover s asistencí mobilní stanice** (MAHO – Mobile assisted handover) – mobilní terminál zde neustále měří sílu signálu a chybovost příjmu od okolních základnových stanic. Tyto informace pak předává základnové stanici, ke které je aktuálně přihlášen. Současně základnová stanice společně s terminálem měří kvalitu spojení probíhajícího mezi nimi. Základnová stanice pak naměřená data vyhodnotí a rozhoduje o přepnutí mobilní stanice na jiný kanál. Tohoto postupu se nejčastěji využívá právě v GSM.

Z pohledu struktury GSM sítě je možné rozeznat ještě tyto typy handoverů:

- Intra – cell handover – přepíná se mezi jednotlivými kanály základnové stanice např. při rušení na dané frekvenci.
- Intra – BSC handover – přepnutí mezi základnovými stanicemi spadající pod společnou BSC.
- Inter – BSC handover – přechod mezi základnovými stanicemi náležícími do různých oblastí působnosti BSC, přepínání řídí v tomto případě společně MSC.
- Inter – MSC handover – přepnutí mezi oblastmi dvou různých MSC.

Intra cell a intra BSC handover se označují jako interní, neboť jsou řízeny vždy společnou řídicí základnovou stanicí (BSC) a ostatní vyšší prvky jsou jen informovány o dokončení přechodu. Ostatní typy jsou pak označovány jako externí, jelikož se na přepínání již aktivně podílí i MSC.

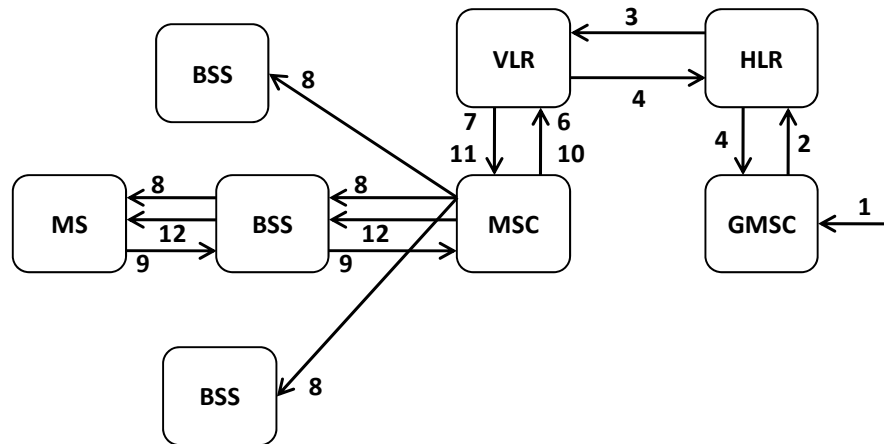
Naměřené hodnoty jsou v systému vloženy do algoritmů, které rozhodují o chování sítě. V mobilní síti GSM jsou dva algoritmy. První z nich uplatňuje metodu navýšení vysílacího výkonu mobilní stanice (pokud se intenzita signálu dostala k určité mezi), a potlačuje tak nutnost handoveru. Druhý postup naopak nevynucuje zvýšení výkonu mobilní stanice a vyvolá handover v mobilní síti. První algoritmus je velmi jednoduchý nicméně zvyšováním výkonu mobilní stanice se mohou zvýšit interference. Druhý postup interference nezvyšuje, je však také daleko složitější a je potřeba zapojení vícero prvků sítě.

**Příklad intra – BSC handoveru (v mezi společné BSC).**

Mobilní terminál společně se základnovou stanicí zasílají v předem daných intervalech data o kvalitě spojení. Řídicí jednotka (BSC) tyto data podrobuje analýze a srovnává s prahovou hodnotou, kdy je potřeba provést handover. Pokud je daná prahová hodnota překročena, dochází k handoveru. BSC tedy kontaktuje novou BTS a přidělí jí volný kanál, pro daného účastníka. Dále je mobilní terminál odpojen z kanálu staré BTS a následně připojen k novému kanálu vybrané BTS. Původní kanál je po úspěšném handoveru uvolněn k dalšímu použití. Koncový terminál je nyní v dosahu nové BTS, kde kvalita spojení nepřesahuje prahovou hodnotu [4],[9],[10],[11],[13],[14].



### 2.4.2 Navázání spojení



Obr. 9: Navazování spojení do GSM

Navázání spojení je komplikováno především buňkovým principem sítě a mobilitou účastníků. Jelikož je potřeba stále udržovat informaci, kde se účastník nachází, je systém komplikovaný a obsahuje velké množství různých částí. Celý proces spojení lze ilustrovat:

- 1) Průběh propojení pevné linky na mobilní terminál
- 2) Průběh propojení mobilního terminálu do pevné linky

Ad 1) Při propojení z pevné sítě do mobilní se provádí mnoho kroků vedoucích k úspěšnému spojení s terminálem v síti. Po vytočení čísla se určí, kam bude hovor směřovat. To se zjistí jednoduše z identifikačního kódu již obsaženého ve vytočeném telefonním čísle. Zjistí se tedy kód země i operátor. Hovor je tedy směřován do GMSC (Gateway Mobile Switching Centre) daného operátora (GMSC obecně umožňuje propojení mobilní sítě s pevnými linkami). Směrovací centrum mobilního operátora vyhledá příslušný domovský lokační registr (HLR) přidružený k volanému číslu. HLR ověří účastníka a jeho nastavené služby (např. oprávnění telefonického spojení apod.) a naváže spojení s návštěvnickým lokačním registrem (VLR) té části sítě, kde se mobilní terminál právě nachází. Mobilní stanice se může nacházet jak v rámci jiné MSC v dané síti, tak např. v zahraničí v síti některého z roamingových partnerů. HLR však vždy obsahuje informace o aktuální MSC a proto může kdykoli navázat spojení a získat informace typu MSRN (Mobile Subscriber Roaming Number), MSC apod. Tyto informace (MSRN, MSC), přesně definující polohu terminálu, pak předá zpět GMSC. Směrovací centrum pak již naváže přímo spojení s daným MSC. Zde nastává proces zjištění stavu a aktuální polohy ve VLR. V případě, že je mobilní stanice dostupná, provede digitální ústředna MSC paging signálu do všech BTS v BSS které spadají pod MSC. Jakmile obdrží MSC odezvu od mobilního terminálu, je úkolem VLR ověřit a provést potřebná nastavení komunikace. Posléze VLR předá služby MSC a ta již naváže spojení s mobilní stanicí.

Pokud je mobilní stanice nalezena, ale není aktuálně dostupná (probíhá jiný hovor, volaný účastník hovor nezvedá) jsou definována speciální čísla, která jsou zaslána zpět do MSC. Jedná se o CFB (Call Forward Busy) resp. CFNRy (Call Forward no Reply). V závislosti na mobilním operátorovi nebo vlastním nastavení účastníka je možné na tato čísla nadefinovat např. hlasovou schránku, nebo oznámení operátora, informující volajícího o aktuálním stavu linky.

Pokud již při navazování spojení není mobilní stanice dostupná (mimo dosah signálu, vypnuta apod.) je úkolem HLR předat do směrovací ústředny číslo CFNRc (Call Forward Not Reachable), na kterém může být opět nadefinována hlasová schránka nebo jiná oznámení.

Zajímavý případ nastává, pokud má uživatel nastaveno přesměrování určitých hovorů na jiné mobilní číslo. Může se jednat o přesměrování podmíněné nebo nepodmíněné (automatické). Automatické je aktivní vždy, např. přesměrování určité skupiny uživatelů. Podmíněné je poté realizované pouze v určitých případech (např. nedostupná stanice apod.). Údaje o mobilním čísle, kam jsou hovory směrovány, je uložen v HLR. Pokud je tedy účastník automaticky směrován, je proces navazování velmi podobný, jen se hledá jiný terminál.

Ad 2) Tento způsob komunikace je znatelně jednodušší. Mobilní terminál požádá pomocí kanálu Random Access Channel o navázání spojení. Dostupná MSC ověří v VLR údaje o účastníkovi, ověří možnosti a nastavení jeho služeb. Pokud je vše v pořádku předá požadavek skrze GSM až do PSTN (Public Switched Telephone Network). Tam je hovor nasměrován k danému cíli a pokud je volaný dostupný, je hovor navázán [2],[8].

### 2.4.3 Lokalizace (a odposlech)

Mobilní terminály jsou přenosné a uživatelé je používají na všech místech, kde je to možné. Určení polohy mobilního terminálu tak mnohdy znamená i určení polohy uživatele. Z tohoto principu vychází snaha, lokalizovat mobilní terminál v síti, resp. v terénu aby bylo možné zjistit, kde se daný uživatel nachází. Při volání na tísňovou linku většinou uživatel, který utrpěl nějaká zranění, není sám schopen určit přesně (nebo vůbec) svoji polohu. Proto je snaha využívat mobilních terminálů pro jeho vyhledání a odeslání záchranné služby na konkrétní místo. Dalším důvodem lokalizace uživatele může být hledání člověka podezřelého ze spáchání nějaké trestné činnosti. V dalším textu budou shrnuty základní principy lokalizace uživatele v terénu pomocí jeho mobilního terminálu.

Princip zjištění polohy je postaven na třech základních principech. Jedná se o:

- přesné a dané polohy jednotlivých základnových stanic.
- Je známo, s jakou základnovou stanicí mobilní terminál komunikuje
- Je známá hodnota korekce hovoru (TA) z které je možné určit vzdálenost od základnové stanice.

Tyto principy se různě kombinují pro maximální přesnost.

#### Lokalizace pomocí jedné základnové stanice

Mobilní terminál po svoji funkčnost potřebuje komunikovat s BTS. V síti GSM stačí, když bude komunikovat s jedinou BTS aby mohl telefonovat, posílat SMS apod. lokalizace pomocí jedné BTS je tedy velmi nepřesnou metodou zaměření uživatele, oproti tomu ovšem nevyžaduje zvláštní investice do struktury sítě. Mobilní terminál je tedy možné lokalizovat v celém okruhu kolem základnové stanice. Základním nedostatkem této metody je ovšem velikost území, které je tímto způsobem vytyčeno. Maximální poloměr dosahu signálu je 35 km v celém okolí základnové stanice. Tato metoda nám tedy dává celkem nekonkrétní polohu uživatele v terénu. Nicméně vzhledem k celkové hustotě buněk v síti, vyřízení některých míst apod. lze i touto metodou dosáhnout vcelku uspokojivých výsledků. V průměrných podmínkách lze očekávat, že se uživatel bude nacházet maximálně 10 km od BTS. Ve větších městech je pak poloměr do 100 m. Ještě lepší situace

nastává v mikro-buňkách, které vykrývají např. nákupní zóny nebo nádraží (zde je rozsah desítky až stovky metrů). Na druhou stranu může nastat opravdu nepříjemná situace, kdy je uživatel napojen na některou z překryvných (deštníkových) buněk, tam může být vzdálenost až 30 km.

### **Lokalizace pomocí jedné základnové stanice a parametru TA**

Jedná se o rozšíření předchozího způsobu, jelikož je lokalizace upřesněna pomocí parametru TA (Timing Advance, časový předstih – tento parametr je podrobně vysvětlen v kapitole 3.1). Použitím tohoto parametru výrazně zmenšíme prostor, ve kterém se účastník nachází. Z celého kruhu se vyřízne mezikruží o šířce asi kilometru ve vzdálenosti dané hodnoty TA. Pokud je při této metodě využito sektorové antény, prostor se o to ještě zmenší. Pokud se jedná např. o BTS se třemi sektory, tak výsledkem této metody je mezikruží o šířce 1 km a úhlu pouze 120°. Bohužel ve městech je tato metoda velmi neefektivní. Hodnoty TA odpovídají 550 m. Zaměřená buňka může být mnohdy menší, nebo pouze nepatrně větší.

### **Lokalizace pomocí tří základnových stanic**

Tato metoda využívá tři základnových stanic v okolí uživatele pro přesné určení jeho polohy. Metoda je ovšem velice náročná. Je zapotřebí získat údaje o mobilním terminálu z více BTS a tyto údaje posléze zpracovat. Přesnost určené polohy je pak závislá na velikosti okolních buněk, nicméně je to nepřesnější z popsaných metod.

U všech výše uvedených postupů je brát v potaz charakter prostředí. Některé budovy, skalní útvary apod. mohou signál velmi odrážet, stínit nebo jinak modifikovat. Při diagnostice sítě a zpracování dat pro vlastní zaměření uživatele je nutné brát na tyto abnormality zřetel.

### **Metoda lokalizace v GSM v ČR (tísňové linky)**

Z obecných podmínek v české republice je lokalizace omezena především při získávání informací ze sítě. V podstatě není možné získat více informací než definici BTS ke které je uživatel připojen během spojení. Druhým problémem je přenos informace v jednoduché formě na operační středisko záchranné služby.

Princip zjišťování polohy je následující:

Každá buňka je rozdělena na dvě území. První je takové, kde se mobilní účastník nachází s 90% pravděpodobností. Druhé území je převážně v okrajích, a označuje onu zbývající 10% pravděpodobnost. Tvar a konkrétní rozlohu zná většinou pouze operátor a ten se s těmito daty velice tají. Navíc, v rámci aktualizací sítě se tyto útvary každým dnem mohou měnit. Tyto změny by potom znamenaly proces replikace do databází obsluhového centra tísnových linek a to je nemyslitelné. Jelikož si těchto dat mobilní operátoři velmi cení, a nechtějí prezentovat nastavení své sítě, bylo zapotřebí vyvinout jinou metodu.

Nový postup je založen na rozdělení území republiky na 1000 dílů, které nejsou závislé na rozložení základnových stanic. Tyto díly mohou mít různé tvary, velikosti a charakter. Poté, co operátor provede lokalizaci daného subjektu ve své síti. Identifikuje místo, kde se účastník nachází s maximální pravděpodobností a předá koordinačnímu středisku informace o poloze (udá některý s dílů sítě). Tím středisko dostane informaci o dané lokalitě a operátor neprozradí nic ze svého strategického nastavení sítě. V každém dílku může být tak jedna až n základnových stanic a může do něj zasahovat jedna až n oblastí s 90% pravděpodobností výskytu.

V české republice bohužel nenastala shoda v označení území a proto každý z operátorů má svoji síť rozdělenou jiným způsobem. Na toto nejvíce doplácí právě

koordinální střediska, která tak musejí být schopna porozumět různým typům dat, které od operátorů obdrží. Po přijetí informace pak dojde pouze k zobrazení dané oblasti, případně specifikací na konkrétní místo.

Velikost dílů je asi 40 až 100 km čtverečních, což je asi desetina velikosti, kterou teoreticky pokryje základnová stanice. Na druhou stranu je zde paradox v rozměru dílu sítě a úspěšností lokalizace. Pokud bychom brali celou republiku jako jediný díl, bude přesnost 100% za cenu velkého dílu. Pokud se tedy díly zmenší, čímž se zvýší relativní přesnost a zaměření, bude ale stoupat chybovost lokalizace. Cílem tohoto poměru je asi 90% úspěšnost přesného zaměření.

Policie české republiky je vybavena speciálními přístroji (pod souhrnným názvem Agáta) umožňujícími lokalizace mobilní stanice. Jedná se většinou o dodávku, v jejímž interiéru je zabudovaná parabolická anténa a výpočetní technika, která dokáže lokalizovat terminál s přesností na metry v hustě osídlené zástavbě a dokonce na centimetry v méně obydlené oblasti. Dále tyto technické prostředky poskytují policii sledování terminálů a užitím speciálních technik i odposlech.

V současnosti se této službě využívá především při lokalizaci člověka v tísni. Existují i některé programy kde se lze orientovat na mapě pomocí GSM polohy (místo GPS souřadnic), nicméně je tento systém velice komplikovaný, proměnný a drahý. Použití GPS se pro navigaci a určení aktuální polohy ze strany uživatele hodí více.

### **Odposlechy**

Odposlouchávat mobilní komunikaci nelze, případně velmi obtížně. Z tohoto důvodu se využívá přímo operátorů, a ti zaznamenávají data, která pak následně předávají policii. Administrativní proces samotného odposlechu je poměrně složitý. Zjednodušeně je třeba soudní povolení k odposlechu podezřelé osoby. Díky tomuto příkazu pak vyšetřovatel kontaktuje útvar zvláštních činností (UZČ), který zprostředkovává komunikaci mezi orgány činnými v trestním řízení a operátory. Po stanovenou dobu probíhá vlastní odposlech ve specializovaném centru operátora. Zaznamenaná data pak UZČ poskytne vyšetřujícím orgánům. Jiným způsobem odposlechu je např. použití výše zmíněného systému Agáta. Poslední z možností je namontování „štěnice“ do mobilního zařízení, ale to již nesouvisí s vlastní sítí GSM [2],[16],[17],[18].

## 3 Monitoring GSM

Mobilní terminál jako takový komunikuje velmi často s mobilní sítí, a z důvodů popsaných výše v textu, i sám provádí některá měření. Obsahuje mnoho důležitých informací o své vlastní poloze v síti, přesné určení připojených prostředků apod. Mobilní terminály však nejsou nastaveny tak, aby tyto informace uživateli záměrně ukazovaly (až na sílu signálu a přihlášené síti). I přesto je možné ve většině přístrojů tyto informace zjistit aktivací NET-MONITOR menu. To se většinou provádí drobnějšími softwarovými zásahy do mobilního přístroje a ten posléze zpřístupní veškeré informace které má k dispozici. Tyto informace si lze prohlížet jednak v mobilním přístroji v již zmíněném menu, nebo pomocí telefonu připojeného k PC, kde tyto informace zjistí (skrže mobilní terminál) software třetích stran. Informace se týkají nastavení okolních BTS a lze s nimi nakládat různě. Mobilní operátoři např. používají speciální terminály spojené s přenosnými počítači, které jim umožňují testovat aktuální místo v síti. Dalším využitím je např. zjištění přibližné polohy účastníka a díky této poloze nastavovat různé chování mobilního terminálu (např. změna profilu, odeslání SMS apod.). Servisní menu v mobilních telefonech však nemusí zobrazovat pouze informace o síti. Např. v mobilních telefonech Nokia se zobrazují informace o baterii, její životnost, teplota, aktuální nabití apod. Tato menu zkrátka zobrazují různé technické informace, které většinu uživatelů vůbec nezajímají, proto bývají většinou skryta.

### 3.1 Informace z BTS

#### 3.1.1 Idle mód

Idle mód mobilní stanice vypovídá o připravenosti na přenos dat. Mobilní terminál je tedy připojen a přihlášen v síti svého poskytovatele služeb a je ve stavu „bdělosti“. Neprobíhají žádné datové přenosy ani přenos hlasu, ale lze tyto přenosy během okamžiku navázat. Režim kdy jsou přenášena data mezi terminálem a základnovou stanicí je označován jako Dedicated mod. Tyto dva režimy se liší také v přenášených parametrech, tedy např. v Dedicated stavu je počítána chybovost kanálu apod. [4],[7],[8],[9],[10],[14],[20].

Parametry v Idle módu:

#### CGI

Na rádiovém rozhraní mobilního telefonu je možné zachytit velké množství informací. Pro správnou funkčnost komunikace je nesmírně důležité přesné určení polohy mobilního terminálu. To probíhá jednoznačným identifikátorem s označením CGI (Cell Global Identity). Tento identifikátor specifikuje danou buňku v oblasti celého světa. Skládá se ze čtyř částí. První z nich je Mobile Country Code (MCC tedy kód země). Další částí je Mobile Network Code (MNC tedy označení operátora v dané zemi). Dalšími daty jsou Local Area Code (LAC) a Cell Identity (CI je také označováno jako CID tedy Cell Identifier) které nám určují oblast buňky a její přené označení. CGI je tedy celistvé označení a určuje přesnou a nezáměnnou polohu mobilního terminálu v síti. Vzhledem k užití kódu země a kódu mobilního operátora je zřejmé, že se čísla buněk v různých zemích mohou shodovat, nicméně není možné, aby v jedné oblasti (LAC) bylo více buněk se stejným označením (pod správou stejného operátora).

### CID

Jak je popsáno výše, tento identifikátor určuje danou buňku. Pro CID se používá několik formátů zápisu. Používá se především zápis v decimálním tvaru bez desetinné čárky. Např. buňka označená jako 32082 naznačuje, že se jedná o základnovou stanici s více sektory (poslední číslo odpovídá druhému sektoru). Proto se někdy tento parametr zapisuje jako 3208,2.

### BSIC

Údaj rozlišuje základnové stanice v jednom místě, které vysílají na stejném kanále. Kód se skládá z BCC a NCC (Broadcast a Network Color Code). Podle BCC je možné odlišit buňky náležící do stejné sítě. Pomocí NCC se pak rozeznávají buňky různých operátorů a apod. Nejedná se o jedinečný identifikátor buňky, jako je např. CGI. Hodnoty BSIC jsou v síti operátora použity několikrát a jejich hlavní funkcí je pouze odlišit okolní buňky (rozsah hodnot je od 0 do 63).

### Channel

Vysílací kanál, na kterém je mobilní terminál připojen. Číslo kanálu jsou:

Tab. 1: Frekvenční kanály v GSM

	<b>GSM 900</b>	<b>GSM 1800</b>
Kanály	1 – 124	512 – 885
Uplink [MHz]	890 – 915	1710 – 1785
Downlink [MHz]	935 – 960	1805 – 1880

Downlinku odpovídá směr z BTS k MT a uplinku směr opačný. Jednotlivé kanály mají šířku 200 kHz. Podle hodnoty kanálu lze snadno určit, zda se jedná o vysílání na 900 MHz nebo 1800 MHz.

### RXLevel

Tato hodnota nám udává sílu signálu přijímaného ze základnové stanice v dosahu. Měření většinou provádí mobilní stanice nezávisle na BTS. BTS však měří pouze aktivní spojení s terminálem a od něj navíc získá hodnoty signálu i z okolních vysílačů. Výsledky měření se předávají do BSC, kde se v příslušných blocích hodnotí a rozhoduje o případném handoveru. Vlastní hodnota RXLEV je uváděna jako 5ti bitové číslo, které je možné přímo převést na hodnotu síly přijímaného signálu v dBm. Převod je uveden v tabulce (Tab. 2). Hodnoty příjmu tedy dosahují 0-63 (-48 až -110 dBm). Hodnota 0 (-110 dBm) v tomto případě udává velmi slabý či žádný signál.

Tab. 2: Přepočítání RxLevel

<b>RXLev</b>	<b>Přijímaná úroveň [dBm]</b>
0	< -110
1 – 62	- (110 – RXLev)
63	> -48

**C1**

Síla signálu v dB vztažená k prahové hodnotě povolující přihlášení (tedy k hodnotě RXLev Access Minimum, která se v ČR pohybuje mezi -90 až -105 dBm). Hodnota udává, o kolik je přijímaný signál vyšší oproti prahové minimální hodnotě.

**CRO**

Preferenční parametr udávající hodnotu zvýhodnění dané buňky (Cell Reselect Offset).

**C2**

Jedná se o parametr, kterým je možné zvýhodnit nebo naopak potlačit některou z dostupných buněk (nastavení provádí operátor).

Vztah mezi hodnotami:  $C2 = C1 + CRO$ .

Parametr C2 tedy například udává, o kolik silnější musí být sousední buňka, aby byla vybrána jako aktivní a byl proveden handover. Vzhledem k hustotě buněk a jejich vysílacím výkonům bylo třeba zanést do rozhodování jistou hysterezi. Signál může v závislosti na pohybu, ale i okolí velmi kolísat. Kdyby mobilní terminál vždy vyžadoval spojení s nejsilnější buňkou, bylo by to velmi náročné a síť by byla zaneprázdněna prováděním handoverů. Proto se zavádí daný parametr a v síti se stanovuje prodleva, která určuje, jak dlouho musí daná buňka splňovat kritéria, aby byla zvolena jako aktivní.

**IMSI / TMSI**

IMSI je zkratkou pro International Mobile Subscriber Identification (mezinárodní identifikační číslo mobilního účastníka). Toto číslo se skládá z hlavičky, MCC (Mobile Country Code), tedy identifikačního kódu země, MNC (Mobile Network Code) a dále MSIN (Mobile Station Identification Number), což je identifikace účastníka v síti. Je to v praxi identifikátor, pod kterým vystupuje mobilní telefon v síti. Tento identifikátor ale nemá nic společného s mobilním telefonním číslem které se označuje MSISDN (Mobile Subscriber ISDN Number). IMSI je při navázání spojení v síti odesláno mobilním telefonem do sítě a tím je účastník identifikován. Pro zvýšení bezpečnosti v síti GSM na rádiovém spojení je mobilnímu terminálu vytvořeno TMSI (Temporary Mobile Station Identification) pod kterým dále vystupuje. TMSI je vytvořeno zcela náhodně (v ústředně) a znemožňuje dohledání mobilního terminálu a tedy i majitele. Hodnota TMSI je tedy volně přístupná a dá se v mobilním terminálu zjistit. Může vypadat např.: HEX: 5802DC59 (DEC: 1476582489). Je zřejmé, hodnota s IMSI nemá nic společného, jelikož IMSI má podobu DEC: 23003xxxxxxxxxxx. TMSI se z bezpečnostních důvodů poměrně často mění, např. při přesunu do jiné LAC kdy se provede LU (Location Update).

Kód IMSI není volně přístupný, ale dá se zjistit po připojení SIM karty k počítači a použitím příslušného softwaru. Tento postup je třeba provést např. při pokusu o klonování SIM karet apod. (např. T-mobile již delší dobu používá SIM karty s omezeným přístupem, což při pokusu o klonování, kartu zničí).

**Další údaje**

Mobilní telefon zpřístupňuje i další údaje, např. RAR (Random Access Retransmission) nebo např. důvod posledního ukončení hovoru (hodnota 16 odpovídá normálnímu ukončení stiskem tlačítka). Tyto parametry se vyhodnocují a operátoři tak mohou odhalit nekorektně fungující terminály v síti.

Telefon zobrazuje také informaci, zda se nachází v roamingu, tedy cizí síti, dále podporu tísňových volání, nastavení HalfRate nebo FullRate přenosu. Je možné zjistit i parametry DTX, tedy Discontinual Transmission (během hovoru se nepřenáší žádná data,

pokud účastníci nehovoří). Tento parametr lze zapnout i v mobilním terminálu, ale většinou je to potlačeno, a řídicí rozhodnutí má síť.

Terminál obsahuje i spoustu počítadel, které zaznamenávají různé děje v mobilním terminálu. Například je zde počítadlo, které hodnotí Location Update. To je složeno z dvou částí, jednak odpočítává čas od poslední aktualizace v minutách (hodnota násobená šesti) ale také obsahuje maximální hodnotu, do kdy musí dojít k aktualizaci.

Další počítadla udávají např. počty synchronizací s okolními BTS a počet měření s vyhodnocováním signálu od sousedních buněk.

### 3.1.2 Dedicated mód

Tedy režim, kde telefon aktivně komunikuje se sítí. Jedná se o navázaný hovor, datové spojení apod. Parametry, které jsou v terminálu obsaženy jsou rozšířeny o aktuální měření probíhajícího spojení [4],[7],[8],[9],[10],[14],[20].

#### TX power

Během hovoru je možné zjistit i vysílací výkon terminálu. Ten se udává v hodnotách, které je potřeba převést na hodnoty výkonu. Převod se provádí pomocí převodní tabulky (viz Tab. 3). Je důležité si všimnout, že pro pásmo kolem 900 MHz dosahují výkony daleko vyšších hodnot, než pro pásmo kolem 1800 MHz.

Tab. 3: Přepočet TxPower

TXPower	vysílací výkon:			
	GSM 900		GSM 1800	
	[W]	[dBm]	[mW]	[dBm]
0	20	43	1000	30
1	12,6	41	631	28
2	8	39	398	26
3	5	37	251	24
4	3,2	35	158	22
5	2	33	100	20
6	1,3	31	63	18
7	0,8	29	40	16
8	0,5	27	25	14
9	0,32	25	16	12
10	0,2	23	10	10
11	0,13	21	6,3	8
12	0,08	19	4	6
13	0,05	17	2,5	4
14	0,03	15	1,6	2
15	0,02	13	1	0
16	0,013	11		
17	0,008	9		
18	0,005	7		
19	0,0032	5		

Jak bylo možné během měření pozorovat, při navázání hovoru se výkon automaticky nastaví na maximum, nicméně se okamžitě začne snižovat. Snižuje se až k mezi, kdy se nezvýší chybovost. Tam se hodnota ustálí. Během hovoru může dojít ke kolísání intenzity signálu a proto se i vysílací výkon v průběhu hovoru může měnit.



**RxQuality**

Udává počet chybných bitů během komunikace (BER – Bit error rate). Hodnota chybovosti opět není uvedena přímo, ale přepisem, který je uveden v tabulce. RxQuality a RxLevel jsou zásadní parametry, které vyhodnocují kvalitu spojení.

Tab. 4: Přepočtu RxQuality

QLF	RX Quality chybovost přenosu [% chybných bitů]
X	Terminál nevysílá
0	< 0.2
1	0.2 - 0.4
2	0.41 - 0.8
3	0.81 - 1.6
4	1.61 - 3.2
5	3.21 - 6.4
6	6.41 - 12.8
7	> 12.8

**TS**

Hodnota udává číslo timeslotu ve kterém mobilní terminál komunikuje. Hodnota je 0-7 a odpovídá tedy 8 časovým slotům, které se střídají v GSM rámci.

**TA**

Timing Advance udává časový předstih, který je nutný pro bezchybnou komunikaci. Jedná se o korekci vzdálenosti mobilního terminálu od vysílače. Elektromagnetické vlny se šíří limitní rychlostí světla, ale i přesto je potřeba zajistit aby se jednotlivé timesloty během komunikace s různě vzdálenými terminály nepřekrývaly. Pomocí algoritmů a příslušných měření je tedy mobilnímu terminálu přiřazena hodnota časového předstihu v rozmezí 0 – 63. Podle definice začne mobilní terminál vysílat dříve, než kdyby byl u BTS. Pomocí této hodnoty tedy lze určit přibližnou vzdálenost BTS a mobilní stanice. Vzhledem k maximálnímu dosahu základnové stanice, který je 35 km, lze jednoduše určit, že hodnotě TA odpovídá 547 m. Díky této hodnotě je pak velmi snadné určit přibližnou polohu základnové stanice, což bude použito později [19].

**3.2 Popis aplikačních prostředí NET Monitoru****3.2.1 Obecně**

Služby NET monitor se dají v dnešní době zpřístupnit na většině běžných telefonů. Jako základ jsem použil mobilní telefon Nokia 7110 s aktivovaným menu Net Monitor. Aktivaci jsem provedl pomocí počítače a telefon tedy v pohotovosti zobrazuje „stránky“ s informacemi. Jako druhý příklad jsem zvolil volně dostupný program GPSCell nainstalovaný na Motorole MPx200. Tento mobilní telefon používá operační systém Windows Mobile 5.0 a aplikace je určena pro tento operační systém. V základním režimu zobrazuje 6 nejsilnějších základnových stanic v okolí. Lze zapnout i samotný net monitor a především lze zachytávat data během pohybu sítě. Dalšími možnostmi, které jsem vyzkoušel, je sledování sítě v mobilním telefonu SonyEricsson k750i, kde se aktivace příslušného menu provede prostým zadáním kódu. Seznámil jsem se také s net monitorem na mobilním telefonu Siemens ME45, kde bylo třeba provést opět softwarový zásah a tím

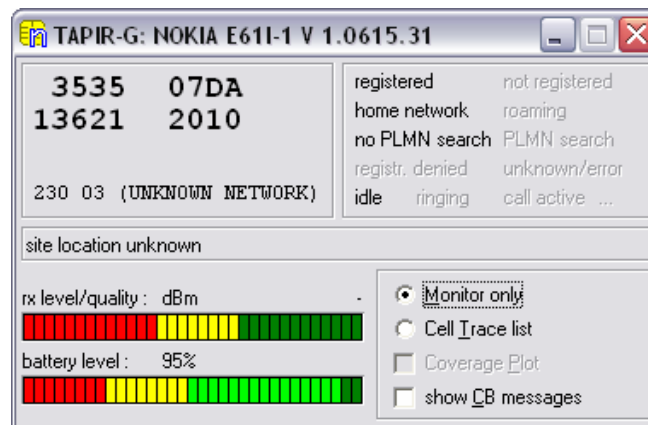
zpřístupnit dané menu [25]. Menu je velmi obsáhlé, a poskytuje celkový přehled o síti podobný jako již zmíněná Nokia 7110. Ta má ovšem menu přehlednější a lépe uspořádáno. Na operační systém Symbian existuje aplikace CellTrack91 (viz Obr. 11), která má velmi pěkné prostředí, graficky znázorňuje intenzitu signálu během pohybu sítě apod. Neobsahuje však mimo základních údajů žádné detailnější informace. Pro pozorování mobilní sítě je tedy tento software zcela nedostačující.

Dalšími možnostmi sledování sítě jsou např. spojení kapesního PC s mobilním terminálem (např. komunikátory Psion) a použití softwaru GSMMon (viz Obr. 12), který zpřístupňuje údaje o síti. Program má velmi vydařené prostředí, vykresluje graficky pozice základnových stanic (pokud má k dispozici jejich databázi). Nevýhodou je nutnost spojení zařízení Psion s mobilním telefonem pomocí IrDA. To je v terénu a při pohybu sítě velmi obtížné.

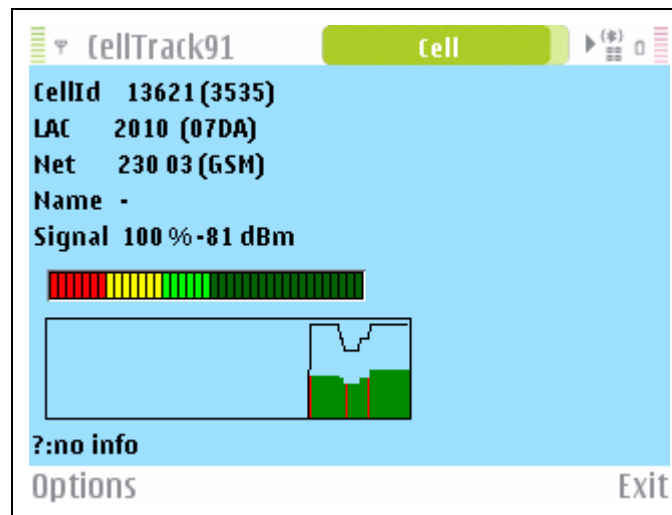
Poslední možností je použití softwaru určeného pro přenosné PC. Celkově se dělí na dvě skupiny:

Programy pro profesionální použití, monitoring GSM, návrh sítě apod. Tato skupina umožňuje zjištění komplexních informací, ale většinou je vázána na mobilní terminály určitého výrobce, či jinak hardwarově specifikovaná. Tento software je tedy velmi obtížné použít v rozsahu této práce (příklady aplikací: TEMS od společnosti Ericsson, Motorola Drive Test Tool od společnosti Motorola apod.)

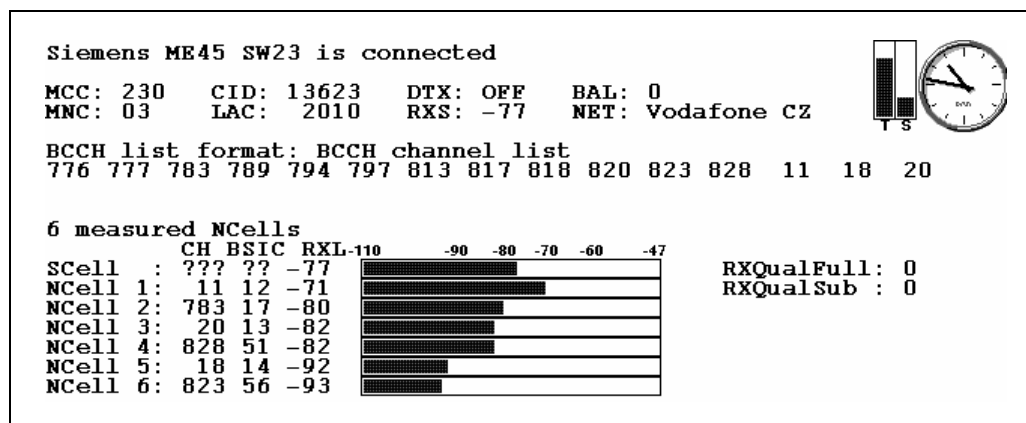
Druhou skupinou jsou programy pro laické využití, sloužící uživatelům k zjištění základních informací o síti. Mezi tyto programy patří např. Monitor (viz Obr. 10) od společnosti Nobbi. Tento program v základní verzi poskytuje pouze minimum informací, a především záleží na typu připojeného přístroje, kolik nabídne dat. Dalším programem je BTSScan od společnosti GSMcables. Aplikace nabízí široké pole poskytovaných informací, limitující je ovšem licence a použitý telefon. S mobilním telefonem Nokia 7110 ukazuje program paradoxně více informací než s novějším přístrojem Nokia E61i. Oba programy jsou určeny především pro laické využití a nelze je použít pro návrh sítě, kvalitní monitoring apod.



Obr. 10: Aplikace Monitor (OS Windows)



Obr. 11: Aplikace CellTrack91 (OS Symbian)



Obr. 12: Aplikace GSMMon (OS EPOC)

### 3.2.2 Net Monitor - Nokia 7110

V mobilním telefonu Nokia 7110 lze jednoduchým softwarovým zásahem aktivovat 12. položku menu, pod kterou se skrývá Net Monitor. Toto jednoduché menu je koncipováno do několika obrazovek, mezi kterými se lze pohybovat buď přímým zadáním čísla stránky v menu Net Monitor, nebo postupným rolováním. Při aktivaci net monitoru se telefon vrátí do základní pohotovostní obrazovky (tedy ven z menu), ale místo názvu operátora a zobrazení aktivního profilu se vypisují různé hodnoty. Podržením tlačítka „\*“ se místo daných hodnot vykreslí zkratkovitá nápověda. Nápovědu lze využít pro orientaci v zobrazených hodnotách a opětovným stiskem stejného tlačítka se nápověda vypne.

Nebudu se zde zabývat celým menu Net Monitor a všemi informacemi, které toto menu poskytuje, jelikož by to přesáhlo meze diplomové práce. Zmíním pouze ty nejzajímavější a nejvíce informativní displeje, které nám uvádí ty nejdůležitější parametry sítě. (Jednotlivé stránky jsou přepsány z displeje telefonu a pro lepší orientaci je vždy nejprve uveden pohled, kde místo hodnot jsou písmena (řada „aaaa“ nebo např. „Bggg“ apod.) a pomocí těchto písmen bude odkazováno na dané hodnoty),[20],[21],[22],[23],[24].

## Informace o buňce

První strana Net Monitoru obsahuje nejcelistvější informace o mobilní síti (viz Obr. 13). Znaky *bbb* udávají na displeji číslo kanálu, v tomto případě 828 (tedy kanál na frekvenci 1800 MHz). Další hodnota (*ccc*) je úroveň přijímaného signálu v dBm (tedy -64 dBm) což odpovídá dobrému příjmu (rozsah -105 až -45 dBm). Vysílací výkon (*ddd*) se zobrazuje pouze ve vysílacím režimu, tedy až na Obr. 13 d). Hodnota 8, která odpovídá tomuto parametru, se musí přepočíst (viz Tab. 3). Uvedená hodnota podle přepočtu odpovídá výkonu 0,025 Watt. Hodnoty TS (TimeSlot, *e*), TA (Time Advance, *ff*), Rx (RxQuality, *g*) a RLT (Radio Link Timeout, *mmmm*) se samozřejmě zobrazují pouze v dedicated módu. Hodnoty *nnn* a *ppp* odpovídají parametrům C1 a C2, které rozhodují o výběru dané základnové stanice. Písmeny *oooo* je označen aktuální použitý kanál. V Idle modu je to tedy CCCH (Common Control Channel) který nepřenáší ani nepřímá žádná data. V dedicated módu se poté přepne na jeden z přenosových kanálů, v našem případě se jedná o TEFR (Trafic Channel Enhanced Full Rate) tedy přenosový kanál s kódováním přenosu v plné kvalitě.

+++++	#####	+++++	+++++
+abbb ccc ddd+	#CH RxL TxPwr#	+ 828 -64 xxx+	+ 828 -68 * 8+
+ e ff g mmmm+	#TS TA RQ RLT#	+ 0 0 x xxxx+	+ 2 1 0 24+
+ nnn ppp+	# C1 C2 #	+ 42 54 +	+ 39 51 +
+ oooo +	# CHT #	+ CCCH +	+ TEFR +
+++++	#####	+++++	+++++
a)	b)	c)	d)

Obr. 13: Nokia NM - Stránka 1 a) popis, b) nápověda, c) hodnoty v Idle modu, d) hodnoty v dedicated modu

## Detaily aktuální buňky

Následující stránka obsahuje informace týkající se především aktivní buňky (viz Obr. 14). Písmena *aa* udávají mód pagingu (NO znamená Normal), *b* značí maximální počet náhodného přeladění, *c* je indikátor roamingu (při aktivním roamingu je zobrazeno „R“). Hodnoty *dd* značí BSIC, tedy speciální indikátor dané buňky který slouží k rozlišování okolních buněk. Na dalším řádku se pak nacházejí informace o důvodu ukončení posledního hovoru (*ee*, hodnota 16 značí normální ukončení hovoru) a RxQuality (viz Tab. 4). Třetí řádek udává hodnoty CRO (Cell reselect offset, *ggg*), TO (Temporary offset, *hh*) a PenT (Penalty time, *iii*). Tyto hodnoty slouží k provozu sítě a přechodu mezi jednotlivými buňkami, např. pomocí CRO lze upřednostnit některou z okolních BTS (rozsah je 0-126 dB, a platí  $C2 = C1 + CRO$ ). Poslední řádek udává informace o frekvenčním přeskokování. Pokud  $H=1$  pak je přeskokování povoleno. MAIO (Mobile allocation index offset, *mm*) a HSN (Hopping semence number, *nn*) pak upřesňují nastavení kmitočtového skákání. V našem případě je  $H=0$  a hopping je tedy potlačen.

+++++	#####	+++++	+++++
+ aa b c Bdd +	#PM RAR Ro BC#	+ NO 4 B41 +	+ NO 4 B41 +
+ ee f +	#Re1R QLF #	+ 16 x +	+ 16 0 +
+ ggg hh iii +	#CRO TO PenT #	+ 12 0 0 +	+ xxx xx xxx +
+ H=j mm nn +	#H MAIO HSN #	+ H=0 xx xx +	+ H=0 xx xx +
+++++	#####	+++++	+++++
a)	b)	c)	d)

Obr. 14: Nokia NM - Stránka 2 a) popis, b) nápověda, c) hodnoty v Idle modu, d) hodnoty v dedicated modu

## Okolní buňky

Třetí strana menu zobrazuje informace o okolních buňkách (viz Obr. 15). Šest okolních buněk je sepsáno v krátkém seznamu pod sebou s nezákladnějšími parametry, které od okolních základnových stanic získáváme. První řádek je vyhrazen aktuální buňce. Obsahuje informace o kanálu buňky, na kterém komunikuje s mobilním terminálem (v našem případě se jedná o již zmíněný kanál 828, tedy síť na frekvenci 1800 MHz, *aaa*). Parametry C1 a C2 jsou zobrazeny pro každou buňku. Za pozornost ovšem stojí jejich souvislost. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1.1,  $C2 = C1 + CRO$ . Jak je zřejmé z Obr. 15 c) je CRO pro síť 1800 MHz vyšší, než pro síť 900 MHz. Jednotliví operátoři tímto způsobem potlačují nebo naopak zvýhodňují starší (900 MHz), nebo naopak novější (1800MHz) síť. V našem případě je  $CRO = 12$  dB, resp. 4 dB.

Pro každou měřenou buňku je také uvedena přijímaná úroveň signálu (*ccc*). Buňky se řadí podle kvality přijímaného signálu a posílají aktuální údaje základnové stanici. Ta pak předá informace spojovací ústředně, která pomocí speciálních algoritmů provede rozhodnutí o handoveru.

+++++	#####	+++++	+++++
+aaabbbcccd+	#SCH C1 rx C2#	+828 35-71 47+	+828B41-68 50+
+aaabbbcccd+	#1CH C1 rx C2#	+ 11 28-78 24+	+ 11B10-75-99+
+aaabbbcccd+	#2CH C1 rx C2#	+783 26-80 38+	+ 7B 8-95-99+
+ ef gh +	# 1N 2N #	+ N N +	+ N N +
+++++	#####	+++++	+++++
a)	b)	c)	d)

Obr. 15: Nokia NM - Stránka 3 a) popis, b) nápověda, c) hodnoty v Idle modu, d) hodnoty v dedicated modu

## TMSI, Paging a LU parametry

Informace uvedené na stranách 4 a 5 jsou totožné s uvedeným příkladem strany 3. Další informace nemají tak zásadní charakter, tak je zde neuvádím. Pozice 10 v menu je vyhrazena informacím o identifikaci uživatele v síti (viz Obr. 16). Na prvním řádku je uveden dočasný identifikátor TMSI (v HEX formátu). Na druhém řádku je uveden odpočet k provedení místní updatu (LU). Tento parametr je nastavován sítí a slouží k udržování aktuální informace o mobilním účastníkovi (především jeho poloze v síti). Location updating je prováděn vždy, když jsou přenášena data, když se zapíná nebo vypíná přístroj, případně probíhá handover. Pokud je však telefon v naprostém klidu, je vhodné pravidelně aktualizovat jeho pozici v síti, a tím si ověřit stav účastníka. Druhý řádek nám udává maximální hodnotu počítadla (*ccc*), kdy se provede update a čas jak dlouho již nebyla pozice aktualizována (*bbb*). Hodnoty nejsou uvedeny v minutách, ale lze použít jednoduchý převodní vztah: jednotka odpovídá 6 minutám. V našem případě dojde k aktualizaci každé tři hodiny.

Zbylé řádky udávají hodnotu pagingového opakování (*d*, posílání ověřovacích údajů), údaje o signalizačních chybách (*ee*), špičkové hodnoty na Transport channel (*ff*), hodnoty automatické korekce frekvence (*ggggg*) a v neposlední řadě opět přenosový kanál (*hhh*).

```

+++++++          #####          ++++++          ++++++
+TMSIaaaaaaa+   #TMSI(hex) #   +TMSI5802DC59+   +TMSI5802DC59+
+T321:bbb/ccc+   #T321ctr/tim#   +T321: 0/ 30 +   +T321: 0/ 30 +
+PRP:d ee ff+   #PaRP DSF AGC#   +PRP:5 18 95+   +PRP:5 xx 95+
+ ggggg hhh +   # AFC Ch #   + 170 828+   + 170 828+
+++++++          #####          ++++++          ++++++
a)                b)                c)                d)

```

Obr. 16: Nokia NM - Stránka 10 a) popis, b) nápověda, c) hodnoty v Idle modu, d) hodnoty v dedicated modu

### Parametry sítě

Parametry sítě jsou uvedeny na stránce 11 (viz Obr. 17). První řádek přehledně zobrazuje informace o aktuálním operátorovi. Hodnoty MCC (Mobile country code, *aaa*) jsou závislé na aktuální zemi (např. Česká republika: 230). Parametr MNC (Mobile network code, *bbb*) již specifikuje jednotlivé operátory (třiciferní označení operátora je pouze v sítích DCS 1900). V tomto případě se jedná o Vodafone Czech Republic. LAC (Local area code, *cccc*) vyjadřuje místní oblast daného operátora, kde se mobilní terminál právě nachází. Jedná se o specifikaci přibližně na úrovni okresů. Dále je uvedeno číslo kanálu a identifikátor aktuální buňky. Identifikátor aktuální buňky je čtyřciferný a poslední hodnota udává sektor, ve kterém se nachází mobilní terminál. Veškeré údaje, které jsou zde uvedeny, slouží k jednoznačné identifikaci mobilní buňky v celém světě. Tato jednoznačná identifikace se nazývá CGI (Cell Global Identity) a skládá se z MCC, MNC, LAC a CID.

```

+++++++          #####          ++++++          ++++++
+CC:aaa NCbbb+   # MCC MNC #   +CC:230 NC03 +   +CC:230 NC03 +
+ LAC:cccc +   #LocAreaCode #   + LAC: 2010 +   + LAC: 2010 +
+ CH : dddd +   #ServChannel #   + CH : 828 +   + CH : 828 +
+ CID:eeee +   # CellId #   + CID:13621 +   + CID:13621 +
+++++++          #####          ++++++          ++++++
a)                b)                c)                d)

```

Obr. 17: Nokia NM - Stránka 11 a) popis, b) nápověda, c) hodnoty v Idle modu, d) hodnoty v dedicated modu

### Informace o baterii

Posledními údaji, které předvedu z menu Net Monitor na mobilním telefonu Nokia, jsou údaje o baterii (viz. Obr. 18). Tyto údaje se nezobrazují na všech mobilních telefonech značky Nokia, nicméně model 7110 je těmito informacemi vybaven. První řádek udává aktuální napětí na baterii v rozmezí 0,00 – 9,99 V (*aaa*, desetinná čárka se vynechává). Údaj *bbbb* zobrazuje způsob nabíjení (např. *charg* – nabíjení, *faile* – chyba, *DicCh* – vybíjení baterie, *FastC* – rychlé nabíjení, *LiAFu* – baterie se blíží k nabitému stavu apod.). Druhý řádek udává přibližnou teplotu baterie (*ccc*, +27 °C) a dobu nabíjení (hodnota *ddd* je ve formátu HMM a udává časovač který se zapíná počátkem nabíjení). Předposlední řádek udává nabíjecí napětí a kontrolní nabíjecí výstup. Zbylé hodnoty udávají typ a kapacitu baterie (*gggg*, u Li-ion baterií je třeba hodnotu vynásobit 4mi, tedy 0.9 V x 4 = 3,6 V, což odpovídá udávané kapacitě) a počítadlo při nabíjení (*hhhh*).

```

+++++++          #####          ++++++          ++++++
+ aaa  bbbbb+    #BatVol ChMod#    + 389  xxxxxx+    + 384  LiAFu+
+ Tccc  ddd+     #BTemp ChTime#    + T+27   0+      + T+27   2+
+ Ceee  Wfff+    #ChrgVol Pwm #    + C  0   W  0+    + C  60  W 255+
+ gggg  hhhh+    # BTyp  BFDC #    +  900  4162+    +  900   96+
+++++++          #####          ++++++          ++++++
a)                b)                c)                d)

```

Obr. 18: Nokia NM - Stránka 20 a) popis, b) nápověda, c) normální stav, d) během nabíjení

### Shrnutí

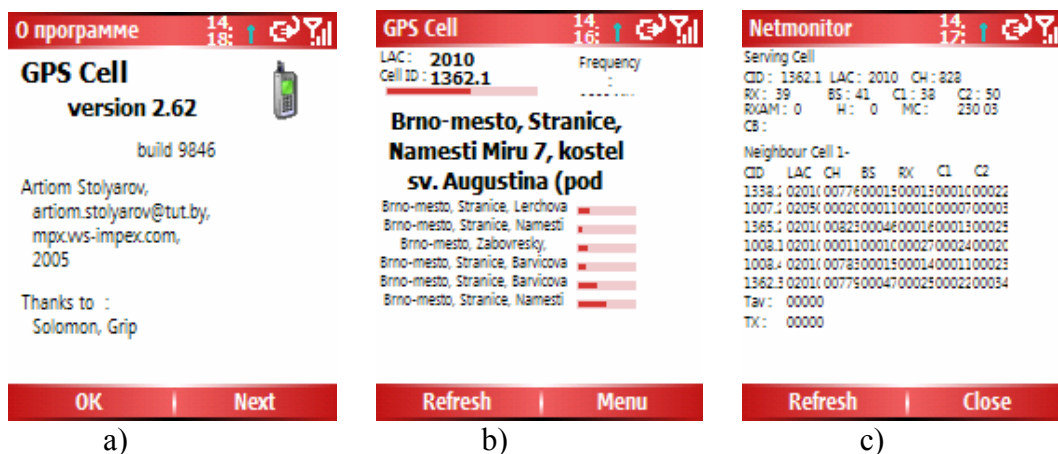
Jak bylo předvedeno v předchozí části textu, menu Net Monitor na mobilním telefonu Nokia 7110 je opravdu velmi obsáhlé. Čítá nepřehledné množství informací a tím poskytuje celistvý pohled na mobilní síť. Menu neumožňuje export dat, proto byla na praktickou část práce použita aplikace GPSCell.

### 3.2.3 GPSCell - Motorola MPx200

K zachytávání informací o mobilní síti jsem v tomto případě již nevolil servisní menu mobilního telefonu, ale doinstalovanou aplikaci s označením GPSCell. Tato aplikace umožňuje zobrazení základních informací o aktuální buňce. Mimo jiné také graficky zobrazuje informace o okolních buňkách. Jak je možné vidět na snímcích obrazovky přístroje (viz Obr. 19), je to velmi jednoduchá aplikace. Nejde o nic jiného, než získávání informací o okolních buňkách, a jejich zobrazování na ploše aplikace. Aplikace umožňuje velmi jednoduchý import databáze základnových stanic, kde vyhledává zadané údaje a zobrazuje je na displeji místo identifikace pomocí Cell Identity (viz Obr. 19 b). Aplikace umožňuje i detailní přehled všech dostupných údajů na jedné obrazovce. Přepnutí do zobrazení „Net monitor“ se provede v menu a na displeji se objeví základní údaje (CID, LAC, channel, RXlev, C1, C2 apod.) pro aktuální a šest dostupných základnových stanic.

Program dále umožňuje poměrně spolehlivé zachytávání měřených údajů do textových souborů. V menu pod položkou settings je možné zvolit, jaké údaje se budou ukládat do záznamů (standart – pouze základní, Netmonitor – detailní informace o buňkách, new base stations – informace o nových mobilních stanicích, při handoveru apod.). Možnosti zachytávání se dají různě kombinovat a navíc se dá nastavit interval, po kterém se budou informace ukládat. Textové soubory se zachycenými daty se dají snadno importovat do programu Excel a lze vytvářet různé grafy průběhu intenzity signálu. Z měřených údajů je velmi zajímavé pozorovat, jak se liší buňky v hodně osídlených oblastech a například buňky v okolí dálnic. Konkrétní data budou popsána dále.

Program GPSCell je velmi dobře naprogramovaný, poskytuje kvalitní zachytávání dat v kombinaci s příjemným grafickým prostředím. Implementace databází poskytuje vysoký komfort při zkoumání sítě. Bohužel program nepodporuje komunikaci s GPS zařízením a tak jsou data zachycená programem spíše orientační a nelze z nich vyvozovat závěry o konkrétní oblasti.



Obr. 19: GPS Cell a) o programu, b) hlavní okno aplikace, c) net monitor

### 3.3 Zpracování dat

V této části práce budou prezentovány některé z výsledků zachycených pomocí programu GPSCell. Zachytávání dat jsem prováděl několikrát, ale použité budou pouze dostatečně charakteristické části, poukazující na specifické chování mobilní stanice v síti GSM.

#### 3.3.1 Průběh signálu

Měření jsem prováděl při cestování po jižní Moravě, data jsou zachytávána většinou mimo město, v průměrné rychlosti 70 km/h. Interval zachytávání byl nastaven na 10 s. Mobilní telefon se tedy vždy přemístil přibližně o 194 m mezi každým měřením. Tyto informace nejsou směrodatná, pouze je zde uvádím, aby čtenář měl představu o průběhu měření. Mobilní telefon byl v průběhu testu umístěn ve schránce spolujezdce, což v kombinaci s méně citlivou anténou, způsobilo nepatrné snížení intenzity signálu.

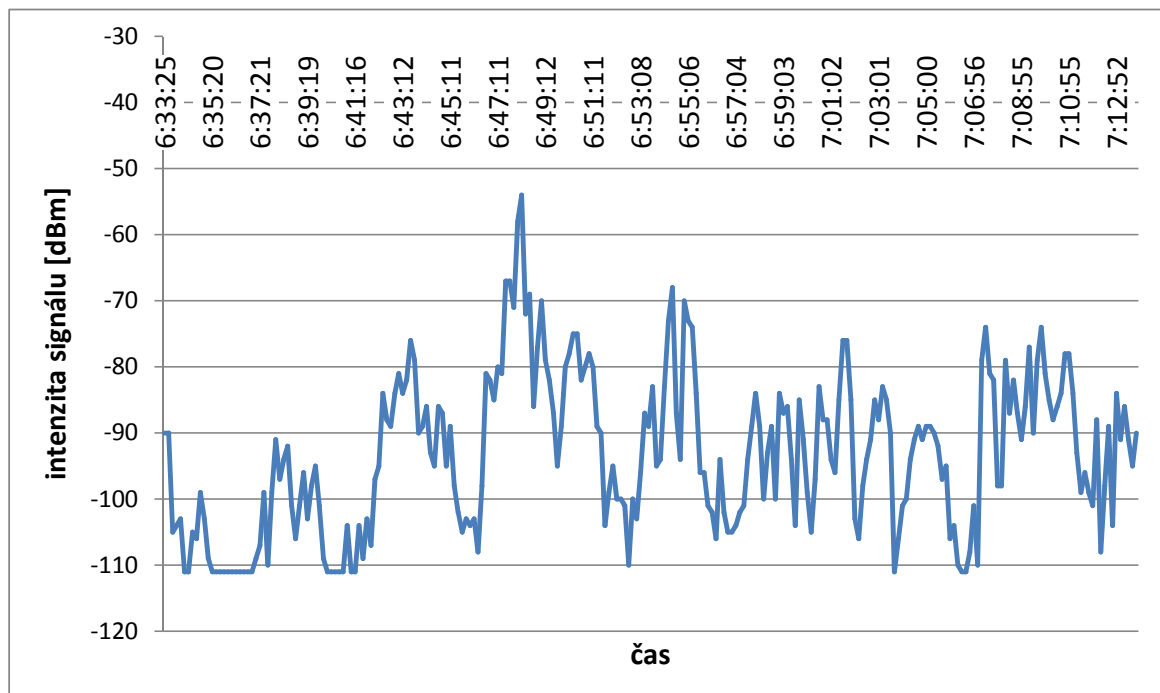
Handover, jak již bylo popsáno výše, probíhá při snížení signálu na kritickou hodnotu, když okolní buňka má již určitou dobu lepší příjem než buňka aktivní nebo při potlačení některé z buněk operátorem, kdy operátor upřednostní použití jiných frekvencí. Jedním z nejdůležitějších důvodů je, aby mobilní stanice zůstala vždy na příjmu s co nejmenšími nároky na síť i na vlastní vysílací výkon. Koncový terminál je většinou v pohybu, proto je handover velmi častou akcí prováděnou mezi terminály a mobilní sítí.

Zachycená data poskytují velmi kvalitní hodnoty pro zpracování a vyjádření jevů, které probíhají během pohybu v síti.

Na grafu č. 1 je znázorněn průběh intenzity signálu v závislosti na čase. Jedná se o měření v pohybu a lze pozorovat, že měřená oblast byla většinou velmi slabě pokryta signálem. Měření bylo zahájeno v 6:33. z Grafu je patrné, že krátce po zahájení měření mobilní telefon ztratil signál (6:35 - 6:37). Při dalším pohybu bylo spojení s okolními BTS opět navázáno. Měření probíhalo v řídké obydlené oblasti, a projíždělo se pouze okresními městy. Pohyb městy je velmi dobře pozorovatelný na průběhu signálu.



Graf 1: Průběh intenzity signálu při pohybu sítě



Přibližně v 6:47 jsem se pohyboval v centru Moravských Budějovic, kde se nachází hlavní vysílač poblíž dvou nákupních center nedaleko centra města. Tento vysílač je osazen hned šesti sektory pro zvýšení své kapacity. Jednotlivé sektory jsou použity pro různé oblasti a různé nasazení, proto jsem při své testovací cestě využil hned pět sektorů z šesti. Jednotlivé charakteristiky sektorů daného vysílače jsou vidět v tabulce (viz Tab. 5).

CID: 2577,x; LAC 2040; 6 sektorů

Tab. 5: Buňka 2577,x rozpis využití při testování

	Č. kanálu	Frekvence [MHz]	Využití [Čas]	Pořadí
Sektor 1	15	900	6:52:50 – 6:53:18	7.
Sektor 2	20	900	6:45:12 – 6:45:32	1.
Sektor 3	11	900	–	–
Sektor 4	815	1800	6:48:32 – 6:48:52	3.
			6:50:02 – 6:51:31	5.
			6:51:50 – 6:52:50	6.
Sektor 5	781	1800	6:45:32 – 6:48:32	2.
Sektor 6	776	1800	6:48:52 – 6:50:02	4.

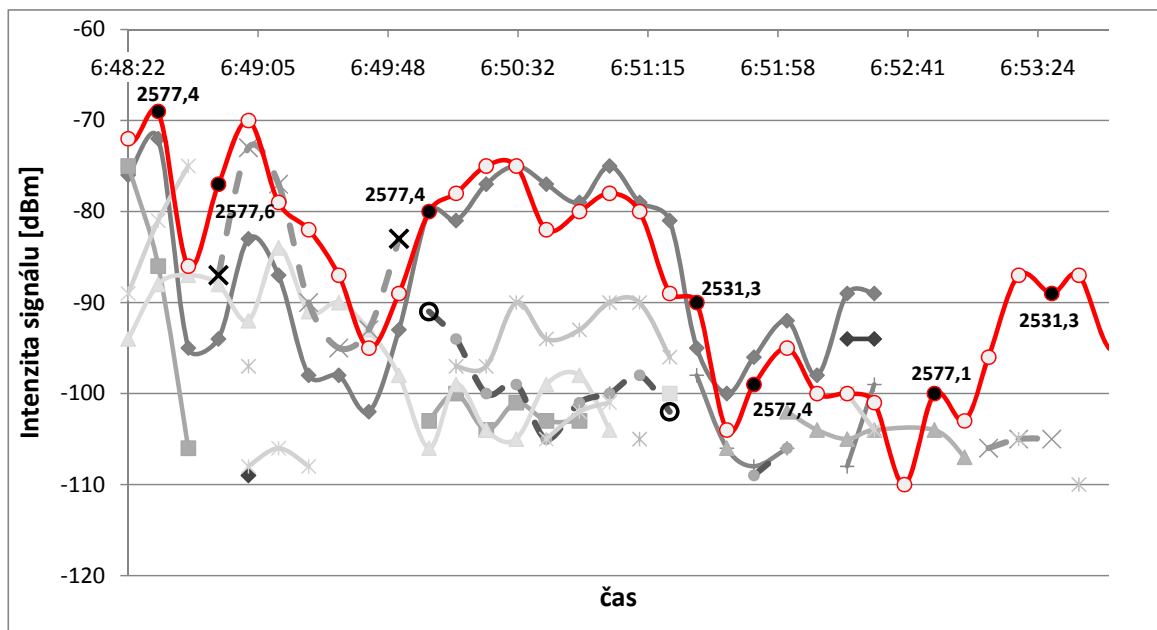
V tabulce jsou uvedeny hodnoty získané ukládáním logu o dostupných BTS. Ve čtvrtém sloupci jsou uvedeny časy, kdy byl daný sektor využit a dále je naznačeno pořadí sektorů během našeho testu. Z hodnot lze vyvodit, že 1. a 2. sektor jsou určeny pro delší dosah a určeny pro periferie města. Oproti tomu sektory na frekvenci 1800 MHz pokrývají celé město i blízké obchodní centra. Toto využití je zřejmé v rámci kapacit a dosahu jednotlivých frekvencí. Čtvrtý sektor je zřejmě nejsilnější a slouží k pokrytí hlavní části města. V čase 6:51:31 - 6:51:50 se jako aktivní přihlásila buňka z vedlejšího města.

Vysílač je vzdálen přibližně 8 km. Vysvětlení této situace je velmi jednoduché. Mobilní stanice se v ten okamžik dostala do stínu řady domů (při sjíždění z kopce), čímž byl vysílač 2577 velmi oslaben. V ten stejný okamžik se vysílač 2531.3 ocitl v přímé viditelnosti na vzdálenost 8 km. Byl tedy mobilním telefonem na dobu 20 s vyhodnocen jako výhodnější.

### 3.3.2 Handover

Z grafu na straně 41 je zřejmé, že při pohybu sítě dochází velmi často k handoveru. Signál je velmi proměnlivý a proto musí mobilní terminál neustále řešit problematiku přeladění. Při detailnějším pohledu je možné pozorovat jisté zákonitosti. Které budou ukázány na příslušném zobrazení jednotlivých vysílačích výkonů (viz Graf 2). Na tomto grafu je zobrazen časový úsek od 6:48:22 až 6:53:48. Během tohoto krátkého úseku provedl mobilní telefon 7 krát handover.

Graf 2: Detailní zobrazení průjezdu městem



V grafu jsou vyneseny hodnoty intenzity signálu z dosažitelných základnových stanic. Aktivní spojení je zobrazeno celistvou čarou červené barvy se světlými body. Černé body s číslicemi na této křivce vyjadřují již zmiňované handovery s číslem buňky, na kterou se mobilní stanice přeladila. Ostatní křivky symbolizují intenzity okolních buněk (případně sektorů).

První handover byl proveden hned zpočátku pozorovaného úseku a to na buňku 2577 4. sektor. Intenzita sektoru čtyři však začala prudce klesat, a mobilní stanice přeladila na 6. sektor stejné buňky. V grafu je nyní vyznačen aktuální průběh intenzity signálu sektoru 6, nicméně je zajímavé pozorovat vývoj intenzity i u jiných sektorů. Proto jsem zvýraznil i sektor 4. jedná se o čárkovanou křivku začínající v čase 6:48:52 velkým černým X. Z grafu je naprosto zřejmé, že se nacházíme v oblasti, kde oba sektory mají velmi podobné charakteristiky. Jak je vidět, intenzita obou sektorů nejprve stoupá a pak opět klesá. Jako nejvýhodnější buňka je na konci klesání vyhodnocen opět 4. sektor a proto

zanedlouho dojde k dalšímu handoveru. V bodě tohoto handoveru jsem pro zajímavost opět zvýraznil i neaktivní, tedy 6. sektor. Jedná se o čárkovanou křivku začínající a končící velkým kruhem. Jak je vidět, v této pozici se už charakteristiky jednotlivých sektorů odlišují poměrně značně. Nacházíme se tedy v oblasti pokryté 4. sektorem. Zde je patrné, že aktivní sektor má podobnou nebo dokonce nižší kvalitu signálu než 1. sektor (křivka s body v podobě kosočtverce vyskytující se v době 6:50:00 do 6:52:00 kolem aktivní buňky). Jak je ale uvedeno v tabulce shrnující informace o této buňce (viz Tab. 5) 1. sektor vysílá na frekvenci 900 MHz oproti sektoru 4, který má pracovní frekvenci 1800 MHz. Z pozorovaného chování sítě je zřejmé, že operátor (v tomto případě Vodafone Czech Republic preferuje v tomto případě použití vyšší frekvence a proto je 1. sektor potlačen (i za cenu většího počtu handoveru). Jak již bylo popisováno výše, v 6:51:31 dojde chvilkovému přeladění na základnovou stanici ve vedlejším městě tedy 3531,3. Intenzita této buňky však brzy klesne díky zástavbě a její vzdálenosti od měřícího terminálu, a proto dojde opět k přeskoku na buňku 2577,4. Při pohybu směrem z města se dalo očekávat přeladění na již zmiňovaný 1. sektor. Z průběhu handoverů lze konstatovat, že sektory s pracovní frekvencí 900 MHz operátor poskytuje uživatelům na okrajích města a sektory využívající vyšších frekvencí používá na dostatečné pokrytí centra. Při pohybu směrem k sousednímu městu již není překvapením handover na buňku 2531,3. Narůstající intenzitu signálu buňky 2577,1 před zmíněným handoverem lze vysvětlit pohybem po nezastavěném území, kdy byla přímá viditelnost na daný vysílač. Z důvodů vzdálenosti pak ale došlo k zmíněnému handoveru.

### 3.3.3 Příklad zachyceného rámce dat, zvýhodnění buněk

Během pohybu sítě program GPSCell (viz kapitola 3.2.3) ukládá zachycená data do textového souboru, který lze později využít k zpracování. Data byla zapisována každých 10 s. V tabulce níže (viz Tab. 6) jsou uvedeny zachycené informace pro jeden časový okamžik.

Tab. 6: příklad zachycených informací pro jeden časový okamžik

Date	Time	LAC	CID	SYG	MCC	MNC	BC	Local area info
14.10.2003	6:50:52	2040	2577.4	-80	230	3	???	

#	arfcn	bsic	c1	c2	timeal	cbq	lac	cid	fn_ofs	maxret	nGPRS	reest	rxlev	rx_min	timeal	place
1	11	15	10	10	2656	0	2040	2577.3	59821	2	5	1	13	5	2656	-
2	776	14	7	19	0	0	2040	2577.6	5	2	5	1	10	0	0	-
3	15	9	29	29	2656	0	2040	2577.1	59826	2	5	1	32	5	2656	-
4	20	11	5	5	2656	0	2040	2577.2	59816	2	5	1	8	5	2656	-
5	781	11	15	27	0	0	2040	2577.5	10	2	5	1	18	0	0	-
6	9	10	6	6	768	0	2040	6553.5	46829	2	5	1	9	5	768	-

Tabulka je složena z dvou částí, horní část obsahuje informace o aktivní buňce a zbylé data se pak týkají buněk okolních. Záměrně jsem vybral okamžik 6:50:52, kde je možné poukázat na zajímavé skutečnosti. V seznamu okolních buněk máme 5 sektorů buňky 2577 (podrobné informace o této buňce jsou uvedeny v Tab. 5). Pouze však 6. a 5. sektor vysílají na frekvenci 1800 MHz.

Z parametrů C1 a C2 pro tyto sektory je možné vyčíst, že jsou zvýhodněny o celých 12 dB. V reálných podmínkách je přijímaný výkon z vysílače 1800 MHz přibližně o 8 dB nižší než stejný výkon na frekvencích GSM 900. V případě požadavku na zvýhodnění vyšších vysílacích frekvencí je potřeba tyto frekvence dostatečně posílit. Parametr C2 je v tomto případě rozhodující pro výběr buňky. V tabulce lze pozorovat, že buňka 2577.1 s úrovní signálu -79 dBm (RxLev = 32) má parametr C2 roven 29 dB. Buňka 2577.5 vysílající na vyšší frekvenci má úroveň pouze -93 dBm i přesto má však parametr C2 hodnotu 27 dB. Parametr CRO je v tomto případě roven +12 dB. Dále je potřeba si také všimnout, že i parametr RxLevMin – tedy minimální přístupná úroveň, je snížen o 5 dB oproti vysílači na nižších frekvencích.

Pro aktivní buňku nejsou parametry C1 a C2 bohužel přístupné, lze však předpokládat, že hodnota signálu (označena SYG v našem případě rovna -80 dBm) je nižší než jakou vykazuje 1. sektor, i přesto není daný sektor zvolen jako aktivní. Na dané buňce lze očekávat, že všechny sektory budou zvýhodněny stejně, proto by 1. sektor musel dosáhnout hodnoty signálu -67 dBm aby mohl být zařazen jako aktivní buňka.

V tabulce jsou dále zajímavé parametry, např. ARFCN značí číslo kanálu, BSIC je identifikátor na rozlišování okolních buněk na stejných frekvencích, samozřejmě jsou uvedeny identifikační údaje buňky LAC a CID. Dále jsou uvedeny např. minimální přístupové hodnoty buněk a aktuální hodnota intenzity signálu (RXLev). Program GPSCell dále dovede identifikovat jednotlivé buňky a přiřazovat k nim ze své databáze jména (sloupec „places“). Aktuální databázi jsem ale neměl k dispozici.

## 4 Realizace

### 4.1 AT příkazy:

Společnost Hayes Microcomputer Products, Inc vyvinula v roce 1981 Hayes Smartmodem, který jako první své doby neposkytoval jen standardní převod komunikace na sériové lince na tóny komunikačního kanálu, ale navíc obsahoval sekvence, pomocí kterých mohl být konfigurován. Mimo konfigurace mohl být modem přiměřen k vykonání žádaného úkonu (např. vytočení čísla apod.) nebo informoval uživatele o svém aktuálním stavu. Tento způsob ovládání modemu se ukázal natolik pružný a efektivní, že jej časem převzali i všichni ostatní výrobci modemů. Souhrn příkazů byl označován jako „Hayes command set“ (hayes příkazy). Příkazy mají svoji standardní syntaxi začínající „AT“ (ze slova attention) které dává modemu jasně najevo, že bude následovat příkaz. Díky tomuto prvku, který se vyskytuje (až na výjimky) v každém příkazu, se začalo pro množinu příkazů používat označení *AT příkazy* [28],[30].

#### 4.1.1 Základní práce s AT příkazy

Tab. 7: Základní syntaxe AT příkazů

AT	Stav modemu
AT Dn	Modem vytočí číslo n
AT A	Modem přijme příchozí volání
AT H	Modem ukončí spojení

Na dané příkazy modem odpoví dle svých specifik a podle svého aktuálního stavu. Na příkaz „AT“ bezchybně připojený modem odpoví výrazem „OK“.

AT příkazy se používají stále a jsou integrovány do většiny zařízení, které se připojují k počítači. Lze jimi ovládat například mobilní telefony, xDSL modemy apod. Každý z výrobců si sadu příkazů přizpůsobuje vlastním požadavkům a schopnostem svých zařízení, proto existuje v dnešní době pro každé zařízení vlastní sada příkazů a nelze zaručit přenositelnost jednotlivých příkazů mezi přístroji.

Komunikace pomocí AT příkazů se stala univerzální a dnes ji používá většina standardních aplikací. V dalších částech práce se pod označením AT příkazy budou zmiňovat standardy týkající se pouze mobilních telefonů a GPS modulu.

U GSM mobilních terminálů jsou AT příkazy standardizovány ETSI (The European Telecommunications Standards Institute), který pravidelně vydává standardy (např.: 3GPP TS 27.005 a 27.007), které obsahují popis odpovědí na jednotlivé příkazy. Vzhledem k rozdílnosti mobilních přístrojů je však výhodnější získat seznamy příkazů přímo od výrobců. Výrobce mnohdy do svých přístrojů implementuje různorodé příkazy, které pak slouží např. při spolupráci s dodávaným softwarem na správu adresáře apod.

#### 4.1.2 Mobilní zařízení

Pro realizaci aplikace zpracovávající informace o mobilní síti jsou nezbytné některé parametry sítě. Mezi tyto data patří především Cell Global Identity (Mobile Country Code + Mobile Network Code + Local Area Code + Cell Identity) a RxLev (úroveň signálu)

buňky. Pro jednoznačnou identifikaci buněk v celém světě tyto parametry dostačují, proto se ostatními nebude diplomová práce zabývat [31].

### Používané AT příkazy v mobilních terminálech

Pro zjištění potřebných identifikačních údajů buňky lze využít příkazy:

#### MCC a MNC:

Příkaz: AT+COPS?

Odpověď: +COPS: 0,2,"23003"

Tyto příkazy vyvolají v mobilním telefonu reakci, která nese informace o identifikaci operátora v dané zemi. U některých přístrojů je však místo této číselné identifikace telefon opatřen databází jmen operátorů. V tom případě přístroj místo označení „230 03“ uvede přímo název „Vodafone CZ“.

#### LAC a CID:

Příkaz: AT+CREG=2;+CREG?

Odpověď: +CREG: 2,1,"07DA","3535"

Informace o umístění aktuální buňky na území operátora určuje kombinace Local Area Code a Cell Identification. Tyto údaje lze zjistit pomocí složeného příkazu *AT+CREG=2;+CREG?*. Jeho první část určuje, že má telefon zaregistrovat aktuální pozici v síti a pomocí *CREG?* jsou tyto informace odeslány jako odpověď. Údaje jsou uváděny v Hexadecimálním tvaru (převedené hodnoty do desítkové soustavy jsou v Tab. 8):

Tab. 8: Převod hodnot LAC a CID

	Hex:	Dec:
LAC	07DA	2010
CID:	3535	13621

#### RXLev:

Příkaz: AT+CSQ

Odpověď: +CSQ: 18,99

Posledním velmi důležitým údajem je intenzita signálu v daném místě. Tuto úroveň lze zjistit příkazem CSQ který vrací úroveň signálu a aktuální chybovost kanálu. Úroveň není uvedena v referenčních jednotkách a je třeba ji převést na reálnou úroveň podle převodní tabulky (viz Tab. 9) která je uvedena v [30].

Tab. 9: Převodní tabulka hodnot signálu

Zjištěná úroveň	Reálná úroveň signálu [dBm]
0	-113
1	-111
2 až 30	-109 až -53
31	-51 nebo vyšší
99	Neznámá hodnota

Uvedené příkazy jsou natolik univerzální, že platí pro většinu přístrojů různých výrobců. V rámci co nejširší kompatibility jsou tedy použity v aplikaci realizující měření a zachytávání dat z počítače pomocí připojeného GSM terminálu.

### Rozšířené sady AT příkazů

Výrobci mobilních telefonů implementují do přístrojů standardní seznam AT příkazů, pomocí kterých je možné mobilní telefony ovládat. Většina výrobců si však do přístrojů implementuje i vlastní sadu příkazů, které koordinují speciální funkce přístrojů daných výrobců. Sady příkazů jsou odlišeny návěštím, které obsahuje většinou zkratku výrobce (např. AT\*SE - SonyEricsson, AT+M - Motorola, AT-S - Sony apod.). Firma, která nevyužívá vlastní sadu AT příkazů je Nokia. Tato společnost zavedla pro své telefony vlastní komunikační protokoly (F2bus, IR Nokia), kterými lze přístroje ovládat [31].

### Siemens - AT příkazy

Výrobce mobilních telefonů Siemens rozšířil standardní sadu příkazů o několik příkazů, které umožňují modifikovat speciální nastavení telefonů. Rozšířenou sadu příkazů lze rozeznat použitou syntaxí: „AT^S“. Mezi tyto příkazy patří např. čtení SMS, ukládání kontaktů do telefonního seznamu, a různé další funkce přistupující k vnitřní paměti mobilního telefonu. Pro mobilní telefony Siemens existuje velmi specifický příkaz zjišťující informace ze SIM toolkit. Pomocí tohoto příkazu („AT^SSTK“) lze zjistit hodnoty úrovní dostupných kanálů v měřeném místě. Tato metoda je poměrně složitá, jelikož jsou návratové hodnoty sepsány velmi úsporně (viz následující příklad) [32].

### Příklad použití:

Informace o buňce:

Příkaz: AT^SSTK=22,0

> D009810301260082028182

Odpověď: ^SSTK: 8103012600820282818301009307**32F020071F6DF1**

Prvních 28 znaků neobsahuje relevantní údaje, budou tedy ignorovány. Následující data (v uvedeném případě „*32F020071F6DF1*“) musí být rozdělena následujícím způsobem:

1-6 znak:

LAI **32F020** tedy: MCC2|MCC1|1111|MCC3|MNC2|MNC1| tedy 230 02

7-10 znak:

LAC hex: **071F** => dec: 1823

11-14 znak:

CID hex: **6DF1** => dec: 28145

Pokud by čtení dat touto metodou podporovalo více mobilních terminálů, byla by implementace tohoto postupu velmi efektivní. Při odeslání jediného příkazu lze získat hodnoty MCC, MNC, LAC i CID. U ostatních přístrojů je třeba k zjištění stejných informací použít 3 nezávislé AT příkazy.

Informace o síti:

Tyto informace obsahují data o okolních kanálech, jejich úrovních, číslech a identifikátorech BSIC. Celý proces čtení údajů se skládá z několika kroků. Pro zahájení procesu je nutné odeslat po sériové lince příkaz, jehož konkrétní syntaxe je uvedena níže. Odpověď se poté zpracovává v několika krocích. V prvním kroku se hexadecimální data po znaku převedou na bitový zápis. V následujícím kroku se data rozdělí do skupin se specifickou délkou bitů. Tyto skupiny se pak převedou do desítkové soustavy a podle jejich posloupnosti se určí konkrétní hodnoty. V Tab. 10 jsou uvedeny některé z hodnot získané daným postupem pro první 3 kanály.

Příkaz: AT^SSTK=22,0  
> D009810301260282028182

Odpověď: ^SSTK:  
8103012602820282818301009610A92901601A8E05D6407B4708C4F000009D0F0AC2E0

Krok 1) 29-60. znak („A92901601A8E05D6407B4708C4F00000“)

A	9	2	9	0	1	6	0	1	A	8	E	0	5	D	6
1010	1001	0010	1001	0000	0001	0110	0000	0001	1010	1000	1110	0000	0101	1101	0110...

4	0	7	B	4	7	0	8	C	4	F	0	0	0	0	0
0100	0000	0111	1011	0100	0111	0000	1000	1100	0100	1111	0000	0000	0000	0000	0000

Krok 2)

1	0	101001	0	0	101001	0	000	000	101	100000	00011	010100	011100	00001	011101...
1	<b>041</b>	0	041	0	0	<b>5</b>	<b>32</b>	<b>3</b>	<b>20</b>	<b>28</b>	<b>1</b>	<b>29</b>			

011001	00000	001111	011010	00111	000010	001100	01001	111000	000000	00000	000000
<b>25</b>	<b>0</b>	<b>15</b>	26	7	2	12	9	56	0	0	0

Tab. 10: Detailní rozpis zjištěných hodnot

DTX-použito	<b>0</b>
RxLev aktivní buňky	<b>41</b>
Počet okolních buněk	<b>5</b>
RxLev pro buňku č. 1	<b>32</b>
BCCH frekvenční pro buňku č. 1	<b>3</b>
BSIC buňky č. 1	<b>20</b>
RxLev pro buňku č. 2	<b>28</b>
BCCH frekvenční pro buňku č. 2	<b>1</b>
BSIC buňky č. 2	<b>29</b>
RxLev pro buňku č. 3	<b>25</b>
BCCH frekvenční pro buňku č. 3	<b>0</b>
BSIC buňky č. 3	<b>15</b>

Obdobný postup zpracování dat lze použít i pro získání seznamu okolních BCCH kanálu (více k těmto metodám je uvedeno v [32], kapitola 10.5.2.20)

Vzhledem k nevhodnosti zmíněného řešení po stránce obsahové (neumožňuje identifikovat konkrétní základnové stanice apod.), i po stránce kompatibility (tyto příkazy



jsou dostupné pouze pro mobilní telefony Siemens řady X25, X35 a X45) nebude toto řešení dále rozebíráno.

Podobný postup na novějších mobilních telefonech značky Siemens je založen na snímání dat přímo z aplikace NetMonitor. Pomocí příkazů  $AT^SMON=1$  a  $2$  lze získat přepis NetMonitor menu z mobilního telefonu. Ukázkové hodnoty jsou uvedeny v Tab. 11.

Vyjádření hodnot je přehledné, každý řádek udává jednu z vysílacích buněk. Údaje na řádcích označují číslo kanálu, RxLev, C1, C2 a BSIC.

Tab. 11: Hodnoty získané příkazem  $AT^SMON=1$

S046	77+29+29	35
1084	79+27+27	24
2092	84+22+22	21
3044	84+22+22	24
4094	85+21+21	02
5089	88+18+18	51
6000	00+00+00	00

Hodnoty v Tab. 11 jsou totožná s hodnotami popisovanými v předchozím odstavci.

Mobilní telefony Siemens řady X65 umožňují po aplikaci neoficiálního patche přístup k rezervovaným částem paměti. Mobilní telefon poté poskytuje informace o okolních buňkách a úrovních signálu. Vzhledem k nezaručené podpoře daného patche, nutnosti reinstalace telefonu a použití servisního kabelu, nebude ani tento postup využit pro zpracování výsledné aplikace.

### 4.1.3 GPS

GPS zařízení komunikují na sériovém rozhraní a poskytují uživateli informace o aktuální pozici pomocí daného souřadného systému. Pro realizaci zadání diplomové práce bylo použito modulu Nokia LW-3D od společnosti Nokia. Tento modul lze připojit přes technologii Bluetooth ke kompatibilnímu zařízení. Po připojení a navázání spojení tento modul automaticky začne odesílat data o pozici (v souřadném systému) na sériové rozhraní. Data jsou ve formátu NMEA vět. Bloky dat začínají identifikačním symbolem, který je následován konkrétními daty [33].

Zmíněný GPS modul poskytuje v 1 s intervalu následující informace:

```
$GPGGA,122331.762,4913.8975,N,01634.7168,E,1,03,3.6,306.4,M,43.5,M,,0000*5E
$GPGSA,A,2,11,20,01,,,,,,,,,3.7,3.6,1.0*30
$GPGSV,3,1,09,11,73,198,35,20,60,270,34,01,44,056,28,17,31,303,25*7D
$GPGSV,3,2,09,23,29,199,,32,26,071,23,31,23,094,,14,18,042,*7C
$GPGSV,3,3,09,19,05,176,*4D
$GPRMC,122331.762,A,4913.8975,N,01634.7168,E,0.19,137.54,120308,,A*6D
```

V aplikaci je využito první věty, ve které jsou obsaženy informace o aktuální poloze (podrobně uvedeno níže v Tab. 12).

*\$GPGGA,122331.762,4913.8975,N,01634.7168,E,1,03,3.6,306.4,M,43.5,M,,0000\*5E*

Popis jednotlivých hodnot je uveden v následující tabulce:

Tab. 12: Popis hodnot NMEA věty \$GPGGA

<čas(UTC)>	122331.762
<zeměpisná šířka>	4913.8975
<sever/jih>	N
<zeměpisná délka>	01634.7168
<východ/západ>	E
<kvalita>	1
<satelity>	03
<hdop>	3.6
<výška>	306.4
<jednotka>	M
<Geoidal separation>	43.5
<jednotka vzdálenosti>	M
< Stáří poslední aktualizace DGPS>	
<Id. číslo referenční stanice pro DGPS>	0000
*<Kontrolní součet>	*5E

Použití kvalitnějších GPS modulů vyžaduje komplexnější nastavení komunikace a formátu poskytovaných dat. Pro tyto účely jsou k dispozici AT příkazy, kterými se ovládá daná komunikace s GPS modulem

Jako vhodná alternativa řešení se nabízí zařízení Wavecom Wismo Quik Q2501B [34], které integruje GSM i GPS čip. V tomto případě se mobilní i lokalizační část ovládá speciálními AT příkazy. GPS příkazy budou uvedeny velmi stručně:

Nastavení komunikace: *AT+WGPSCONF*

Získání informací o pozici: *AT+WGPSPOS*

Informace o pozici: *+WGPOS: <fix>, <čas>, <datum>, <zeměpisná šířka>, <zeměpisná délka>, <nadmořská výška>, <hdop>, <rychlost>, <kurz>, <počet satelitů>*

## 4.2 Python

„Python je dynamický, objektově-orientovaný programovací jazyk, který se může využít v mnoha oblastech vývoje softwaru. Nabízí významnou podporu k integraci s ostatními jazyky a nástroji a přichází s mnoha standardními knihovnamí“[35].

Programovací jazyk Python se vyznačuje efektivními funkcemi pro zpracování textu, práci se soubory a zpracováním (např. třídění) seznamů. Projekt Python je multipatformní a proto jej lze využít pod více operačními systémy (včetně Symbian OS).

Po instalaci standardních knihoven jazyka, je dostupný IDE (integrated development environment) ve kterém lze spouštět jednotlivé příkazy. Mimo tohoto způsobu lze vytvářet programovací skripty (soubory \*.py), které vykonávají soubor příkazů v uvedeném pořadí a tím vytvářejí aplikaci. Tento způsob vývoje sebou nese řadu

výhod (okamžité testování funkčnosti, zpracování zdrojového kódu během spuštění, přehlednost apod.).

Python nabízí velké množství rozšíření v podobě modulů, které jsou vytvářeny nezávisle na jádře jazyka. Mezi moduly patří např.: NumPy, SciPy, NumArray, PyWin32, PySerial, Matplotlib, Pil, Pysk, PySsh, M2Crypto a mnoho dalších.

Moduly se instalují podle typu hostujícího operačního systému a ve skriptech se projede jejich import pomocí příkazu *import*. Tímto postupem se zpřístupní veškeré funkční metody daného modulu.

Počítačová aplikace pro zachytávání dat pomocí sériové linky z mobilního telefonu a GPS modulu využívá modul PySerial pro práci se sériovou linkou počítače.

Při realizaci aplikace pro zpracování naměřených dat se využilo doplňkových modulů, které nejsou součástí programového jádra jazyka. Např.: pro funkci interpolace hodnot plochy měření byl využit modul Numpy, pro vykreslení do grafu modul Matplotlib.

### 4.3 Postup realizace

Řešení zadání je logicky separována do několika úseků. Jedná se především o rozdělení podle použitého hardwaru. Použitím programovacího jazyka Python bylo možné (podporou různých platforem) přesunout většinu funkcí pro zachytávání dat na operační systém Symbian S60 (mobilní operační systém především telefonů Nokia). Přesun funkcí na Symbian OS umožňuje vyšší mobilitu účastníka a tím i zjednodušení celého procesu získávání dat. Uživatel aplikace není nucen používat pro zachytávání dat počítač či notebook, ale postačí mobilní zařízení s operačním systémem Symbian S60 (v3) a podporou funkce Bluetooth. Pomocí technologie Bluetooth bylo nutné k mobilnímu zařízení připojit modul GPS poskytující údaje o aktuální poloze zařízení<sup>2</sup>.

Pro zvýšení efektivity daného řešení byla vytvořena obdoba aplikace pro zachytávání dat z mobilní sítě spustitelná na počítačových systémech. Tato aplikace využívá spojení sériovou linkou (např. virtuální Bluetooth COM port) pro získávání údajů z mobilního telefonu a GPS modulu. Tyto informace zpracovává obdobným způsobem jako varianta pro operační systém Symbian a vytváří logicky stejně uspořádaná výstupní data.

Druhá část programového řešení je již realizována pouze pro počítačové systémy (vyšší výkon při zpracování a požití speciálních modulů, které nejsou dostupné pro mobilní platformu). Tato část realizace zpracovává vstupní hodnoty a vytváří datové a grafické výstupy. Data mohou být reprezentována jako grafy či jako vstupní data pro aplikaci Google Earth (umožňuje reprezentaci pokrytí signálu přímo na mapě dané oblasti).

---

<sup>2</sup> *Vzhledem k omezeným finančním možnostem nemohla být aplikace přizpůsobena mobilním telefonům integrujícím čip GPS a byla proto otestována pouze s Bluetooth modulem GPS od společnosti Nokia (typ: LD-3W).*

## 4.4 Google Earth

Google Earth je softwarové řešení sloužící k zobrazení map světa složeného ze satelitních snímků. Aplikace vznikla v roce 2001 v dílnách firmy Keyhole, která však byla v roce 2004 odkoupena společností Google. Společně s největším světovým vyhledávačem se aplikace znatelně rozšířila. Kombinuje výhody satelitních snímků, mapových podkladů i vyspělého vyhledávače. Aplikace se doplňuje s webovým vyhledávačem i mapami na stránkách maps.google.com [36], [37].

Google Earth je celosvětová aplikace sloužící velkému množství uživatelů k zábavě i podnikání, umožňuje zobrazení velkého množství informací (počasí, terén, zajímavá místa apod.). I přes rozsah celého projektu, nejsou mapové podklady v aplikaci na všech místech natolik detailní, aby sloužily k dobré reprezentaci daného místa. Tento fakt je však dočasný, jelikož se aplikace a data, se kterými pracuje, stále aktualizují (jako řešení může posloužit zobrazení vrstvy reprezentující kompletní infrastrukturu silnic).

Google vyniká kvalitními řešeními se zaměřením na uživatele. Aplikace Earth není výjimkou a obsahuje robustní softwarové jádro, které usnadňuje využití poskytovaných prostředků. Aplikace i webový mapový prohlížeč podporují vstupní soubor s koncovkou \*.kml. Tyto soubory mohou obsahovat velké množství informací např.: trasy, objekty apod. Vytvářená aplikace pro zpracování naměřených dat tedy obsahuje algoritmus, který generuje příslušný KML soubor a plní jej požadovanými daty. Po provedení důsledné separace dat, jejich příslušné zařazení a definování, vzniká velmi kvalitní datový soubor na principu formátu XML, plně reprezentující vložená data.

Pro zvýšení efektivity monitorovací aplikace je využito potenciálu obou zmíněných mapových řešení pro reprezentaci zachycených dat. Tímto postupem je dosaženo vyváženého a pohotového řešení, které dokáže reprezentovat zachycená data přímo z terénu (ve webovém prohlížeči) a dále pak detailně vykreslit a graficky reprezentovat zpracovaná data v aplikaci Google Earth.

Data měřené trasy se v aplikaci reprezentují barevně na daných souřadnicích podle dosahované úrovně signálu. Graf pokrytí (v aplikaci Google Earth kombinovatelný s měřicí trasou) je pak sloučením barevných oblastí, kde jsou reprezentována naměřená a dopočtená data zkoumané lokality.

Na konci roku 2007 uvolnila společnost Google aplikaci Google Maps pro mobilní zařízení s operačním systémem Symbian (podpora S60 3rd edice). Firma tím rozšířila podporované platformy (vedle stávajících Windows Mobile, Blackberry, UIQ a Palm OS). Mobilní aplikace je velmi rychlá, pracuje s moduly GPS i základnovými stanicemi GSM pro určení polohy a podporuje zobrazení satelitních snímků i standardní mapu. Aplikace má nativní podporu souborů KML, ovšem s mnohými omezeními. Datové soubory kml lze importovat pouze po jejich uploadu na libovolný webový server. Při spouštění je dále potřeba napsat celá webová adresa k danému souboru. Dále obsahuje mobilní platforma omezení v XML syntaxi daných souborů, a proto se nezobrazí většina dostupných informací. Vzhledem k těmto omezením nebude dané řešení prozatím podporováno. Lze očekávat, že společnost Google vypracuje nové algoritmy a pokud se zpřístupní možnost importovat datové soubory přímo z paměti mobilního přístroje, stane se tento postup v určitých situacích velmi efektivní. Data pak bude možné v mobilním telefonu zachytávat, zpracovávat a zobrazit na mapě v aplikaci Google Map for Mobile [38].

## 4.5 Symbian Signed

Asociace Symbian byla nucena zvýšit bezpečnostní požadavky na aplikace určené pro mobilní zařízení. Byl tedy zvolen postup udělování certifikátů ověřeným subjektům a kompatibilním aplikacím. Tato podpora byla zahrnuta i do samotného operačního systému a tím se zamezila možnost instalace aplikací bez platného certifikátu.

Certifikát dané aplikace potvrzuje, že se jedná o zabezpečenou aplikaci pocházející od ověřeného zdroje. Aplikace musí splňovat zadaná kritéria kompatibility a systémových požadavků, aby mohla být podepsána („signed“) a vydána s platným certifikátem. Vydávání certifikátů obstarává asociace Symbian na webových stránkách Symbian Signed [www.symbiansigned.com]. Zde je možné po registraci ověřovat a podepisovat vlastní aplikace. Toto ověřování se v případě soukromé osoby provádí pouze na konkrétní IMEI přístroje a proto nelze tento certifikát použít pro distribuci na odlišné přístroje. Velké společnosti zabývající se vývojem aplikací pro operační systém Symbian vlastní tzv. Developer certifikát, který je opravňuje k vydání aplikací pro více zařízení najednou. Systém certifikací je nutné zohlednit i při samotném vývoji aplikací, kdy při použití zvláště podporovaných programovacích jazyků (C++, Java) je třeba používat vlastní certifikát pro daný testovací přístroj. Při použití jazyka Python se celá situace zjednodušuje, jelikož není potřeba skripty podepisovat. Tento fakt významně urychluje samotný vývoj aplikací a jejich testování. V případě aplikace umožňující lokalizaci GSM (určení identifikace základnové stanice) je však potřebné podepsat (vlastním certifikátem) běhové prostředí python (IDE), které bez certifikátu neumožňuje přístup k systémovým informacím (informace o aktuální základnové stanici). Pro běžné aplikace v programovacím jazyku python je však zcela dostačující použití již podepsaného prostředí (certifikát společnosti Nokia, např. Python Skript Shell 1.4.1 3rdEd). Během vývoje aplikace v jazyku python, je potlačena nutnost certifikace vyvíjených i vydávaných aplikací (v podobě skriptů).

Od března roku 2008 není možné bezplatně certifikovat aplikace v režimu offline bez Publisher ID (certifikát uživatele je možné získat na stránkách www.trustcenter.de po zaplacení 200\$/rok). Asociace Symbian spustila tzv. Online certifikaci, která je však stále v beta fázi a není plně funkční.

## 4.6 Jednotlivé části řešení:

### 4.6.1 Mobilní sběr dat

Aplikace realizující sběr informací o mobilní síti je založena na speciálních funkcích prostředí Python na operačním systému Symbian. Získání informací je prováděno pomocí knihovny *location* která zpřístupňuje údaje o aktuální základnové stanici.

Příkazem `gsm_loc = location.gsm_location()` je načtena do proměnné `gsm_loc` identifikace aktuální základnové stanice (údaje MCC;MNC;LAC;CID).

Pro získání hodnoty signálu je použita funkce `sysinfo`. Tato knihovna zprostředkovává údaje o systému a pomocí specifikace `signal_dbm()` lze zjistit intenzitu signálu aktuální buňky.

Pomocí výše uvedených postupů se zajistí získání veškerých potřebných (možných) údajů z GSM části měřicí soustavy.

Pro zjištění informací o poloze je třeba navázat spojení (Bluetooth) s modulem GPS a přijatá data následně zpracovávat do vhodného formátu pro export. Všechna data,

společně s aktuálním časem, jsou v daném okamžiku (podle zvoleného intervalu) ukládána do připraveného textového souboru. Obsahem souboru jsou pak data s časovým určením. Pro další zpracování je časový údaj irelevantní, a proto bude v dalším zpracování odstraňován.

Aplikace při opakování těchto jednoduchých příkazů nevyužívá znatelnou měrou systémové prostředky, proto ji lze využívat dlouhodobě bez nadměrného zatížení paměti apod.

Zjištěným problémem je kolize mezi aktivní a pasivní částí telefonního přístroje. Pokud během měření přejde přístroj do aktivního módu (příchozí hovor, SMS, GPRS spojení apod.) dojde k zablokování prostředků, které využívá knihovna *location* a tím se data o aktuální buňce stanou nečitelná (tato situace nenastává vždy). Funkce tedy vrací prázdná data, což je potřeba ošetřit v řídicí části programu. Tento problém je možné odstranit pouze následným restartem přístroje. Z tohoto důvodu je vhodné pro měření používat SIM karty určené pouze pro k tomuto účelu. Pokud daná situace nastane, program automaticky prázdné hodnoty nastaví na nuly a opakovaně vyzívá uživatele k restartování přístroje.

I přes informační hodnotu, kterou tímto problémem záznam postrádá, probíhá měření dále. Záznam vykazuje jisté nedostatky v identifikaci aktuální buňky, avšak stále obsahuje data určující velikosti naměřeného signálu a aktuální polohu. Tyto hodnoty postačují k zpracování grafického výstupu.

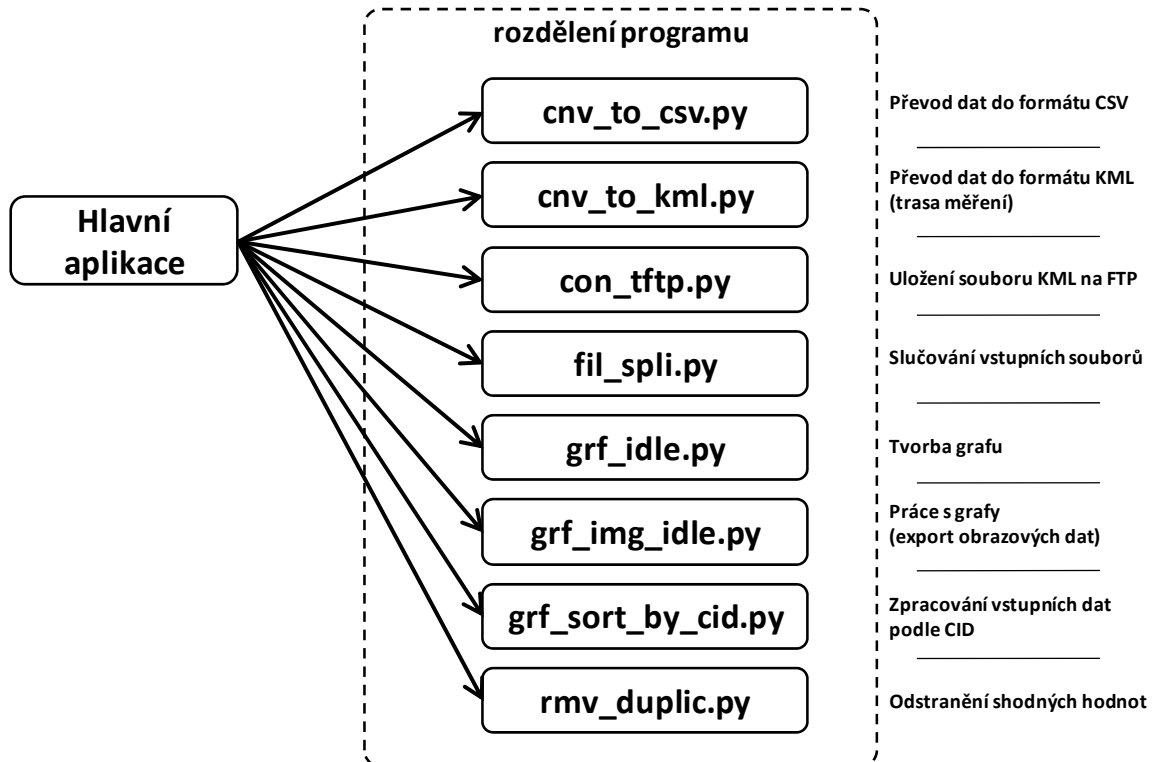
Pro mobilní zařízení je k dispozici skript převádějící naměřená data do souboru KML (Google Earth a Google Maps). Další skript pak umožňuje nahrání souboru na FTP server [www.monitoringgsm.ic.cz](http://www.monitoringgsm.ic.cz) kde je veřejně dostupný. Touto formou lze velmi rychlým způsobem sdílet naměřená data a publikovat je na zmíněné adrese. Tato data lze také zobrazit v aplikaci Google Maps for Mobile (ovšem s omezeními, které již byly popsány).

#### 4.6.2 PC řešení

Základní částí vlastní realizace této práce je zpracování a reprezentace naměřených dat. Počítačová platforma byla zvolena, jelikož nabízí vyšší výkon a lepší prezentační schopnosti než mobilní zařízení.

Prostředí aplikace se skládá z grafického ovládacího panelu a příkazové řádky. Panel obstarává ovládání a spouštění jednotlivých úkonů a příkazová řádka vypisuje informace o daném úkonu. Tyto informace jsou reprezentovány pro větší přehlednost a kontrolu vykonávaných postupů. Základní informace jsou uživateli poskytovány i v informačním panelu, který se nachází v hlavním okně (zobrazování informací v příkazové řádce velmi zpomaluje běh celé aplikace a zpracování dat, proto ve finální verzi aplikace bude toto zobrazování potlačeno na minimum).

Program nabízí uživateli export do datových souborů typu CSV plně kompatibilním s aplikacemi Microsoft Excel apod. Další možností je export trasy měření do souboru KML, který lze interpretovat v aplikaci Google Earth, a po nahrání na příslušný FTP server i na webu Google Maps. Data jsou pro lepší přehlednost seříděna podle čísel aktuálních buněk, je tedy možné jednoduchým způsobem v mapě zobrazit dosah vybrané základnové stanice. Jednotlivé body měření jsou symbolizovány barevnými čtverci, kde barva symbolizuje úroveň zjištěného signálu. Účelem grafu trasy je zobrazení naměřených hodnot na daných pozicích. Uživatel si pak při zobrazení volí, jaké informace vyžaduje.



Obr. 20: Aplikace Monitoring GSM - Zpracování dat: logické rozčlenění aplikace

Funkce zobrazení grafu vytváří 2D graf se souřadnými osami odpovídajícími zeměpisné délce a šířce. Data jsou odlišena barevnými odstíny podle intenzity změřeného signálu. Pro celkové zobrazení dané oblasti je použito interpolace, která z dostupných dat vypočte zbylé hodnoty kompletní plochy. Pro tento výpočet byla zvolena funkce `Griddata` modulu `Matplotlib.numerix`. Funkce je definována následujícím způsobem:

```
zi = griddata(x,y,z,xi,yi,masked=True,fill_value=1e+30)
```

Hodnoty  $x$  a  $y$  obsahují souřadnice nespojitě plochy s hodnotami  $z$ . Proměnné  $xi$  a  $yi$  určují rozsah souřadnic, pro které se provádí výpočet. Výsledné hodnoty ( $zi$ ) jsou pak reprezentací výpočtů v každém společném bodě souřadnic  $xi$  a  $yi$ . Volbou `masked=True` funkce nepočítá hodnoty, které leží mimo geometrický útvar vymezený krajními body souřadnic. `Fill_value=1e+30` nastavuje výpočetní postup interpolovaných hodnot.

Interpolace je jedna z nejdéle trvajících instancí celé aplikace. Funkce při zpracování vyžaduje data, která neobsahují duplicitní hodnoty. Ty však během měření mohou vzniknout, proto je tento problém v aplikaci řešen speciálním algoritmem. Zmíněný skript odstraňující duplicitní hodnoty přidává k datům pomocnou proměnnou, která vznikne sečtením zeměpisných souřadnic. Pro zvýšení efektivity je zeměpisná šířka násobena konstantou, pro odlišení součtů podobných hodnot, kde se rozdíly kompenzují. Skript data následně seřadí podle pomocné proměnné a při opakujících se hodnotách odstraní celý řádek dat. Tímto postupem se odstraní duplicitní hodnoty a funkce `griddata` již funguje spolehlivě.

Graf hodnot je zobrazen v rozhraní `PyLab`. `PyLab` je procedurální prostředí pro vykreslování objektů knihovny `matplotlib`, `scipy`, `numpy` a dalších. Stylizace grafů je podobná profesionálnímu prostředí `Matlab` a komplexním využitím a všestranností nabízí

rozsáhlé spektrum typů zobrazených grafů. Z této nabídky byl vybrán plošný graf, který nejlépe reprezentuje naměřená i vypočtená data. Zobrazení bylo nutné přizpůsobit hodnotám proto je rozsah hodnot vždy velice blízký maximálnímu rozsahu hodnot v dané souřadné ose. Data grafu lze pomocí Pylab prostředí dále přizpůsobovat a různými způsoby modifikovat jejich zobrazení. Graf lze exportovat do souborů \*.png. Tato možnost je přímo závislá na hodnotě nastaveného rozlišení, které je úměrné kvalitě výstupního souboru. Tato funkce byla přímo implementována do aplikace a výstupní soubory mají rozlišení 4075 x 3075 pixel s 32b hloubkou. Toto rozlišení bylo zvoleno jako kompromis mezi velikostí souboru a obrazové kvality.

Aplikace také nabízí přizpůsobení dat zobrazených na grafu. Zatrhávacími políčky „Vrstevnice v grafu“, „odlišení barvami“ a „zobrazení trasy v grafu“ lze definovat, zda se mají dané položky do grafu vykreslit. Tímto způsobem lze graf efektivně přizpůsobit vlastním požadavkům.

Důležitou funkcí aplikace je zobrazení naměřených i vypočtených hodnot na mapě. Tuto funkci obstarává další ze skriptů, který přizpůsobí grafická data vykreslení v aplikaci Google Earth a exportuje soubor KML s příslušnými daty.

Volba metody implementace grafických dat do mapových byla velmi složitá. Vzhledem k dostupnosti aplikace Google Earth byl zvolen postup zobrazení dat v této aplikaci. Celý proces spočívá v zpracování grafických dat do externího obrazového souboru. Data jsou přizpůsobena daným souřadnicím a rozlehlosti změřené oblasti. Souřadná data jsou pak uložena do příslušného souboru, který umožní zobrazení grafu (mapy pokrytí) v aplikaci Google Earth.

Ostatní metody se oproti danému řešení jeví neefektivně vzhledem k nutnosti vlastní databáze mapových souborů, které by byly vkládány přímo do rozhraní Pylab. Tento postup omezuje uživatele, jelikož bez mapových souborů by nebylo možné reprezentovat data. Zvolenou metodou tato situace nastat nemůže, jelikož software Google Earth mapy již obsahuje.

Současné zobrazení dat měřené trasy a grafu celkového pokrytí signálu poskytuje uživateli dobrou prezentaci oblasti. Tato data lze použít pro plánování dalšího měření (převážně prázdných míst), případně pro zkoumání vlivu jednotlivých BTS na celkové pokrytí oblasti.

Kód aplikace je rozdělen na několik podprogramů jak je uvedeno na Obr. 20), které pracují s datovými soubory. Datové soubory se ukládají do dočasného adresáře, který si aplikace vytvoří a po ukončení opět smaže. Data při opakovaných dotazech nejsou zpracovávána znovu, ale upravují se již předzpracovaná data dostupné úrovně. Tím se urychluje celková práce s daty obsahující velké množství informací.

## 4.7 Grafické aplikační prostředí

### 4.7.1 Zachytávání dat

Aplikace zachytávání dat pro mobilní zařízení i pro PC obsahují stejné funkční bloky a postup zachytávání dat je identický. Grafické prostředí pro mobilní přístroj nebylo z důvodů přehlednosti vyvíjeno a na displeji mobilního přístroje se tak při měření zobrazují pouze textové informace o průběhu záznamu. Tyto informace jsou méně komfortní, ale svoji informační hodnotou v rozsahu této práce jsou nezbytné.

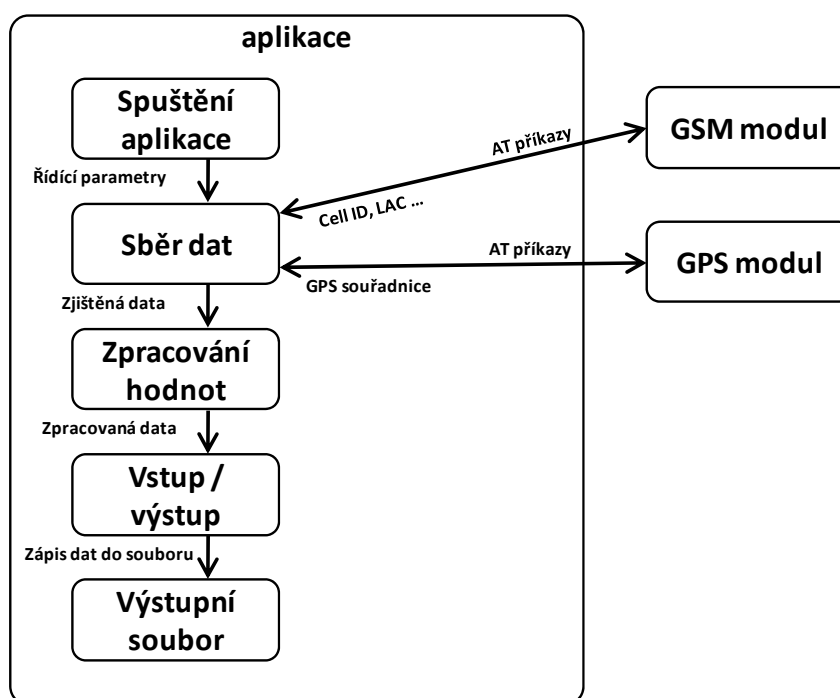
U PC platformy (vzhledem k možnosti oddělení grafického uživatelského prostředí a textového informačního panelu) je aplikace více vyvinuta. Při spuštění jsou



otevřena dvě okna. První z nich obstarává bezproblémovou obsluhu dostupných procesů a druhé vypisuje aktuální měřené údaje a podrobné informace o průběhu měření. Grafické prostředí (jak je uvedeno na Obr. 21) obsahuje jednoduché menu a plochu s ovládacími prvky. V levé části aplikace se volí název výstupního souboru a spuštění samostatného měření. V pravé části jsou textová pole, kde je třeba vyplnit čísla COM portů, pomocí kterých je možné se připojit k mobilnímu telefonu (pole nadepsané GSM) a GPS modulu (nadepsané GPS). Po vyplnění korektního čísla a stisku tlačítek „připojit“ dojde k navázání spojení. Stiskem tlačítka Start je možné spustit samotné zachytávání údajů. V Menu Interval je možné měnit přibližnou hodnotu času (v rozmezí 2 a 60 s) mezi zaznamenanými hodnotami.



Obr. 21: Aplikace Monitoring GSM - Zachytávání dat, GUI



Obr. 22: Aplikace Monitoring GSM - Zachytávání dat, funkční diagram

Obr. 22 zobrazuje jednotlivé instance probíhající během měření. Instance Sběr dat, Zpracování a Výstup se během měření neustále opakují v zadaném intervalu. Komunikace s externími moduly GSM a GPS u PC probíhá pomocí AT příkazů. V této části se aplikace pro mobilní zařízení liší, jelikož pro komunikaci s GSM modulem používá vlastní funkci

*Location*. Data jsou pravidelně zapisována do výstupního souboru, aby se předešlo ztrátě informací při nekorektním ukončení aplikace. Pokud i přes zakomponovaná opatření dojde k zablokování aplikace, po jejím vypnutí lze ve výstupním souboru najít i poslední naměřená data.

#### 4.7.2 Zpracování dat

Grafické prostředí pro zachytávání dat bylo vytvořeno pouze pro platformu PC (důvody jsou uvedeny v předchozích částech textu). Opět se po spuštění aplikace otevřou dvě uživatelská okna, jedno sloužící pro ovládání a druhé pro výpis textových informací.

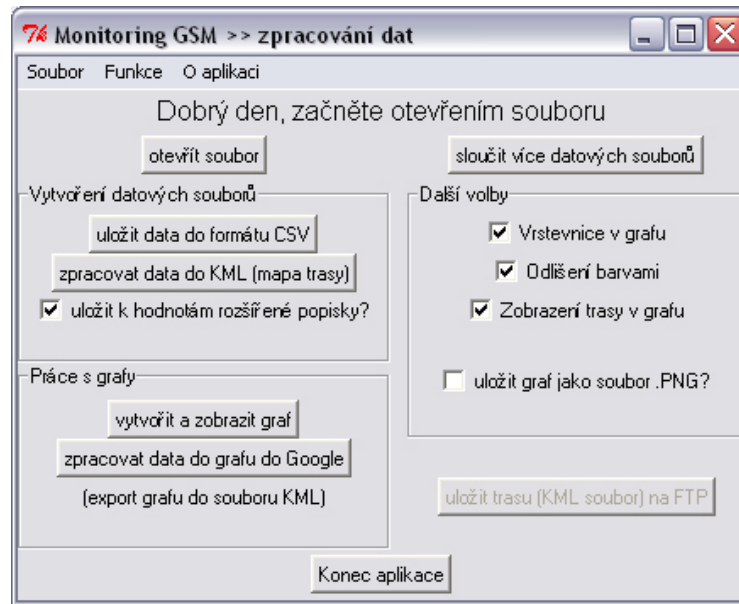
Ovládací panel (Obr. 23) je rozčleněn do několika částí, které spolu navzájem souvisejí. Obsahuje menu, kde jsou zahrnuty všechny funkce. Pro zpřehlednění jsou však funkce také rozmístěny po celé ploše panelu.

Před zpracováním dat je nutné vybrat vstupní soubor volbou *otevřít soubor*, případně použít implementovanou funkci na slučování více vstupních souborů (*sloučit více datových souborů*). Zpracování nabízí široké možnosti výstupů, které jsou na panelu rozděleny do skupin. Jedná se o výstupy v podobě datových souborů: data budou transformována do souboru CSV a uložena do aktuální složky, případně se zpracují do souboru KML, který umožňuje znázorňovat jednotlivé hodnoty v aplikaci Google Earth. K datovému souboru KML se váže zatrhávací tlačítko *uložit k hodnotám rozšířené popisky*, které určí, jak budou data v aplikaci Google Earth reprezentována.

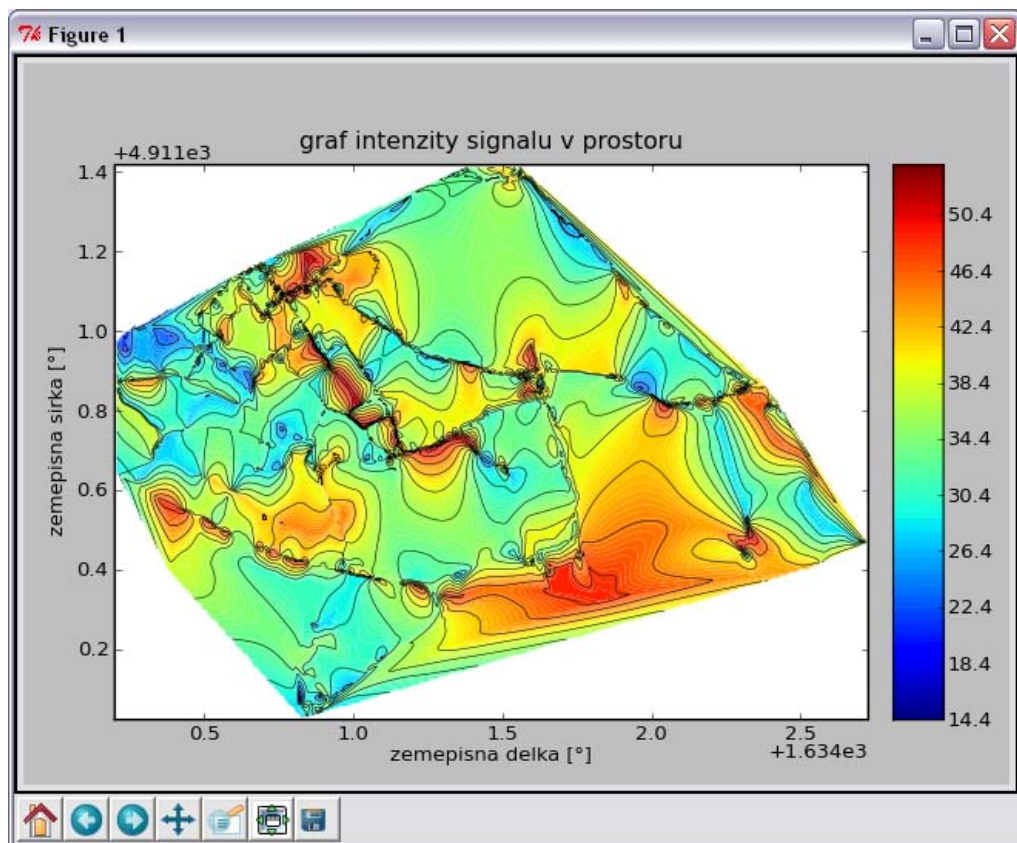
Dalším celkem jsou funkce znázorňující měřená data v podobě grafu. Před vytvořením grafických hodnot je možné nadefinovat si informační obsah výstupního grafu volbami v části *Další volby*. Je možné určit zobrazení vrstevnic, odlišení barvami, původní hodnoty v grafu případně různé kombinace.

První volba (*vytvořit a zobrazit graf*) zobrazí graf v novém okně (viz Obr. 24). Dle zvolených kritérií obsahuje graf barevné odlišení (podle uvedené stupnice, jenž znázorňuje hodnoty RxLev), vrstevnicové vyjádření případně zvýraznění měřených hodnot. Stejná kritéria lze uplatnit i pro volbu *zpracovat data do grafu do google*, kdy dojde k vytvoření KML souboru který umožní zobrazit mapu pokrytí změřené oblasti signálem v aplikaci Google Earth nad mapovými podklady. Mezi doplňkové volby aplikace patří např. uložení kml souboru se zpracovanými vstupními daty na FTP apod.

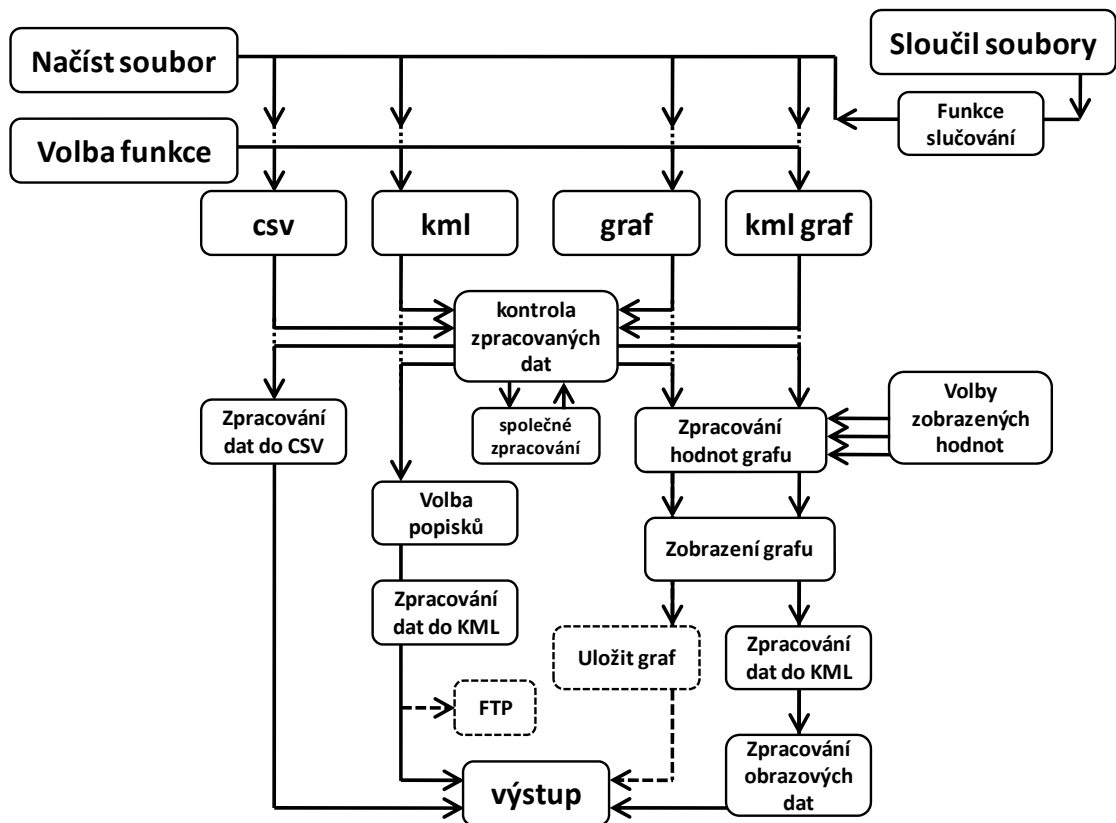
Při zpracování jednotlivých hodnot dochází ke sdílení již zpracovaných dat, což velmi urychluje pokročilou práci s daty. Jak je znázorněno na diagramu (Obr. 25) při každém spuštění některé z funkcí dochází ke kontrole zpracovaných dat a v případě jejich nedostatku jsou volány společné skripty, které data zpracují do požadované úrovně. Zpracování probíhá v několika úrovních pro rychlejší práci následujících instancí. Zrychlení při malém počtu vstupních hodnot není postřehnutelné, avšak při vyšším zatížení aplikace se projevuje efektivita tohoto řešení.



Obr. 23: Aplikace Monitoring GSM - Zpracování dat, GUI



Obr. 24: Aplikace Monitoring GSM - Zpracování dat, grafické vyjádření dat



Obr. 25: Aplikace Monitoring GSM - Zpracování dat, funkční diagram

## 4.8 Alternativní postup řešení

Zadání diplomové práce lze řešit i jinými metodami, které zde budou stručně popsány. Metody jsou závislé na určitém kritériu, kvůli kterému nemohly být realizovány. Kritériem je např. použitý hardware či operační systém zařízení. Jak bude uvedeno níže, obě kritéria spolu úzce souvisejí, a navzájem se doplňují.

### 4.8.1 Závislost na hardwaru (Wavecom)

První z uvedených alternativních přístupů k zadání této práce je použití specializovaného přístroje, integrujícího např. modul GSM a GPS. Příkladem zmíněného zařízení je např. WISMO Quick Q2501 od společnosti Wavecom. Tento výrobek v sobě integruje GSM, GPRS a GPS moduly, které mohou být použity dohromady nebo jednotlivě. Zařízení lze koordinovat pomocí AT příkazů, kterými je možné zjistit jak aktuální polohu zařízení (modul GPS), tak i seznam všech základnových stanic GSM, které lze v okolí naměřit (duální modul GSM). Moduly disponují sériovými porty RS 232 pomocí kterých lze komunikovat s PC a zjišťovat potřebné údaje [39].

Jak bylo zmíněno dříve, komunikace se zařízením probíhá pomocí AT příkazů. Pro zjištění intenzity signálů okolních buněk se používá příkaz *AT+CCED*. Konkrétní syntaxe je *AT+CCED=0,3* pro jednorázové zjištění („0“) aktuálních i okolních buněk („3“). Modul na tento příkaz odpoví postupným vypsaním údajů o aktuální buňce ve formě:

***MCC, MNC, LAC, CI, BSIC, BCCH Freq (absolute), RxLev, RxLev Full, RxLev Sub, RxQual, RxQual Full, RxQual Sub, Idle TS***

A následuje sled informací o dostupných okolních buňkách, ve formě:

***MCC, MNC, LAC, CI, BSIC, BCCH Freq (absolute), RxLev***

Pro zjištění GPS pozice se využívá příkazů, které byly podrobně popsány v kapitole 4.1.3, nebudou zde proto znovu popisovány.

Vzhledem k zaměření této práce by zařízení Wismo Quick Q2501 umožňovalo detailnější proměření charakteristik v síti s vyšší přesností. Záznamy by obsahovaly komplexnější hodnoty, jelikož by bylo možné v každý časový okamžik měřit intenzity všech okolních buněk. Data by pak umožňovala kvalitnější zpracování a vyhodnocování pokrytí dané lokality.

Zásadní nevýhodou ovšem zůstává finanční náročnost pro získání vlastního modulu a nutnost připojení modulu k počítači během měření.

V porovnání s výše navrhovanou a realizovanou metodou zachytávání dat vyniká především kvalita záznamu při použití modulu firmy Wavecom. Není však možné měřit data pouze mobilním telefonem, případně obdobnou formou mobilního zařízení. Řešení je dále vázáno na konkrétní modul firmy Wavecom, což značně omezuje rozšíření skupiny osob provádějící měření současně.

#### **4.8.2 Závislost na operačním systému (Windows Mobile)**

Na mobilních zařízeních s operačním systémem Windows Mobile typu Phone Edition nebo Smartphone je vhodná implementace podpory RIL (Radio Interface Layer). Tato vrstva byla vyvinuta firmou Microsoft k implementaci na zmíněná zařízení pro koordinaci komunikace mezi aplikacemi a komunikační částí přístroje. V mobilním operačním systému společnosti Microsoft není možné přistupovat ke komunikační části přístroje přímo, ale pouze pomocí této vrstvy. Vrstva řídí přístup k hardwaru, omezuje požadavky během kritických situací, koordinuje komunikační požadavky a mnoho dalšího. V prvních verzích mobilních operačních systémů (Windows Mobile 2002, 2003, a 2003se) byla existence těchto prostředků společností Microsoft tajena, a zveřejněno bylo pouze aplikační prostředí, zastupující jednotlivé funkce. Vzhledem k vnějším podmínkám byly společně s uvedením nového operačního systému (WM 5.0 a 6.0) uveřejněny i některé detaily zmíněné vrstvy (kompletní popis RIL stále není veřejně dostupný) [40],[41],[42].

Zmíněná vrstva nabízí široké možnosti uplatnitelné v této práci. Certifikační politika a podpora ze strany společnosti však danou efektivitu značně omezují.

Pro zjištění informací o aktivní buňce lze využít funkci *RIL\_GetCellTowerInfo*, která poskytuje detailní informace o buňce (MobileCountryCode; MobileNetworkCode; LocationAreaCode; CellID; BaseStationID; BroadcastControlChannel; RxLevel; TimingAdvance a podobně). Možnost zjištění údajů o okolních buňkách zde také existuje (jak bylo popsáno v dřívějších částech práce u příkladů zachytávání), avšak dokumentace není volně přístupná. Jedná se o speciální funkci implementovanou samotným výrobcem přístroje (funkce *RIL\_DevSpecific*), nebo o neveřejnou funkci, pro jejíž použití je

zapotřebí vývojový certifikát společnosti Microsoft (ani jednu z uvedených možností není možné vyzkoušet v rámci rozsahu této práce).

Je zřejmé, že metoda nenabízí v základním provedení nic navíc, oproti popsané realizaci. Realizace v jazyce Python nabízí širší přenositelnost a tím širší využití měřicího potenciálu (PC versus GSM).

Jak bylo krátce uvedeno, problematika měření GSM sítě nabízí široké možnosti řešení. Každý z uvedených postupů však má své pozitiva i omezení. Řešení uvedená v této podkapitole jsou náročná na finanční rozpočet realizace, ale mohou nabízet komplexnější výstupní data. V rámci řešení projektu pro uzavřenou komunitu není třeba brát ohled na maximální dostupnost daného řešení široké veřejnosti, proto vazba na konkrétní typ hardware nemusí být považováno jako negativum.

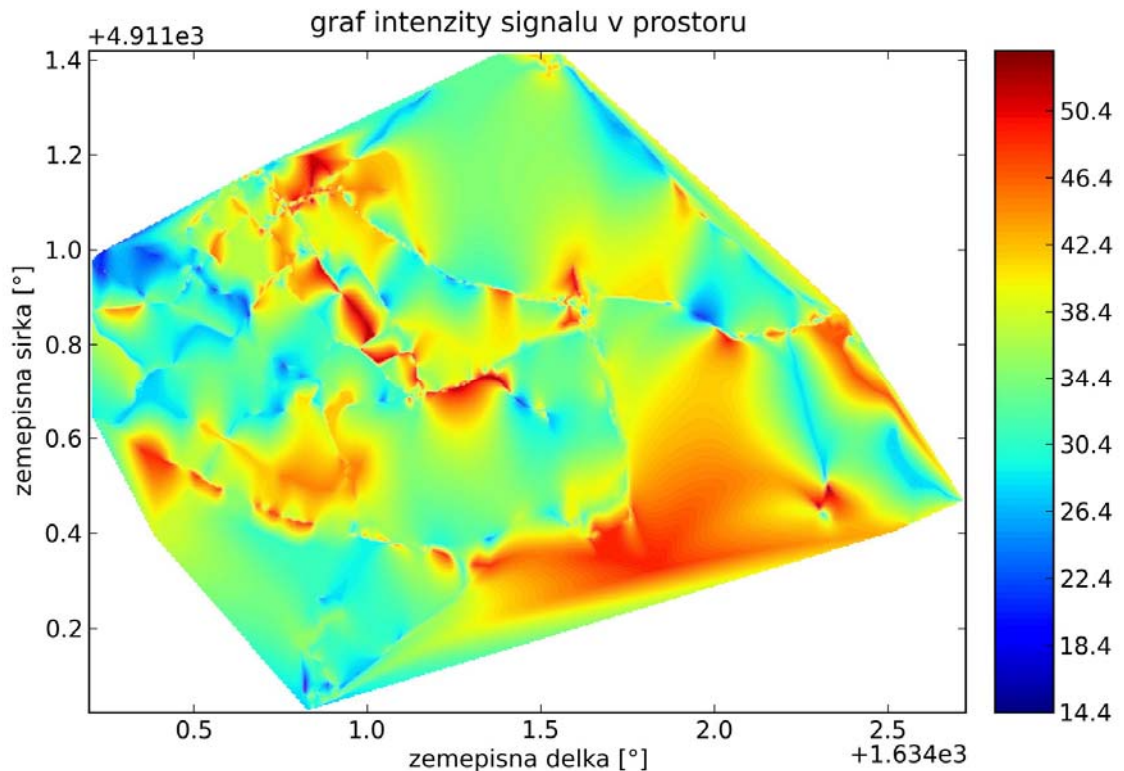
## 4.9 Výsledná data

V této kapitole budou popsána ukázková výstupní data, která byla vytvořena na základě dlouhodobějšího měření.

Soubor vstupních hodnot obsahoval po sloučení více měřených dat 8990 řádků obsahujících potřebná data (po odstranění řádků obsahujících čas a datum, případně prázdných řádků). Tato data vznikla během delší doby, sloučením dvaceti měření v různých časech a na různých místech s proměnným překrytím s předchozími měřeními. Vstupní soubor obsahuje pouze 8015 relevantních dat, zahrnujících všechna potřebná data (intenzitu signálu, označení buňky, GPS souřadnice apod.). Seznam po odstranění duplicitních hodnot (hodnot, které určují měřené parametry ve stejném geografickém místě) se redukoval na délku 7999 řádků.

Z výše odvozeného počtu řádků vstupního souboru jsou vytvořeny výstupní soubory, které jsou reprezentovány na následujících obrázcích.

Obr. 26 zobrazuje intenzitu signálu v celé ploše měření. Celková plocha měření vznikla interpolací některých z hodnot, proto nelze považovat celou plochu pokrytou kvalitativními údaji. Hodnoty zobrazované v grafu odpovídají hodnotám RxLev v celkovém rozmezí 63 – 0. (více k této hodnotě v kapitole 3.1 Informace z BTS). Oblasti pokryté silným signálem se tedy zbarvují do červené barvy, oproti tomu oblasti s nízkým pokrytím jsou modré. Graf i stupnice jsou generovány dynamicky, může tedy nastat situace, kdy oblast, označena v jednom grafu žlutou barvou, je v jiném označena modrou i při stejných hodnotách. Vždy je bezpodmínečně nutné zohledňovat rozsah hodnot, tedy stupnici barev s přiřazenými hodnotami, která vždy pokrývá pouze rozsah hodnot ve zpracovaných hodnotách.

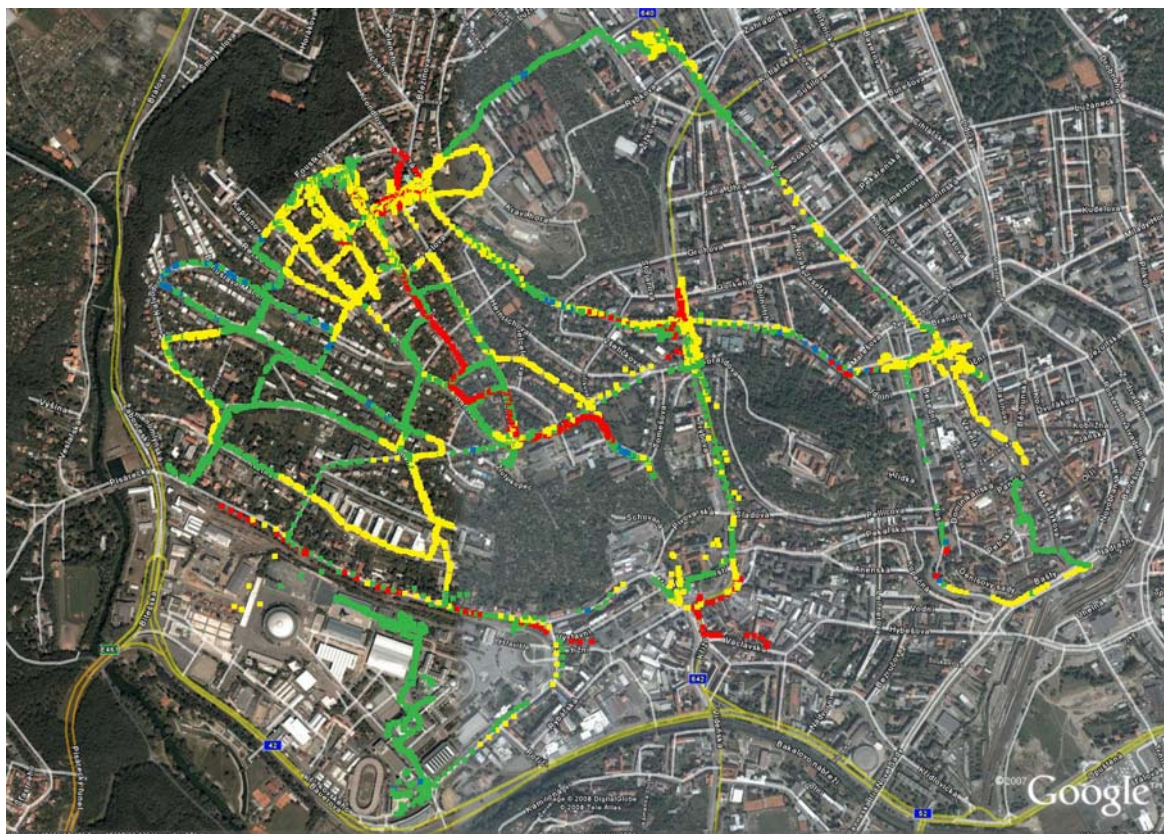


Obr. 26: Graf intenzity signálu v prostoru

Ostré přechody v grafu jsou způsobeny několikanásobným měřením v daném místě, kdy byla při měřeních zaznamenána rozdílná hodnota. Tu pak zpracovávající blok zhodnotí v rámci malé vzdálenosti jako ostrý přechod hodnot. Pro zefektivnění grafu by bylo možné tyto hodnoty odstranit jednoduchým zkoumáním okolí každého bodu. Tento postup by však byl vhodný pouze při práci s exaktními hodnotami každé z dostupných základnových stanic, proto nebyl tento proces implementován.

Pro lepší představu o pokrytí oblasti signálem implementuje vytvořená aplikace export do souboru aplikace Google Earth. Výstup pro zmíněné měření je umístěn na Obr. 28, kde je graf pokrytí integrován do reálného prostředí. Mapa prostředí je v aplikaci Google Earth složena ze satelitních snímků. Pro přehlednost je v obrázku zahnutá i vrstva zobrazující jednotlivé ulice. (Pro porovnání je na Obr. 27 uvedena trasa měření, která ukazuje kde bylo měření přesně prováděno).

Na detailním pohledu na naměřenou oblast kolem Havlíčkovy ulice na Obr. 28 je patrné umístění jednotlivých naměřených vysílačů. Ty jsou symbolizovány malými ikonami s popiskem BTS a číslem CID. První vysílač (CID: 10081 – 6) je patrný např. na ulici Barvičova, mezi křižovatkami s ulicemi Tůmova a Wanklova a Wolkrova. Další BTS je patrná například na náměstí Míru (CID 13621 – 3). Okolo obou zmíněných BTS je patrná zvýšená úroveň signálu (zvláště u 1362x)

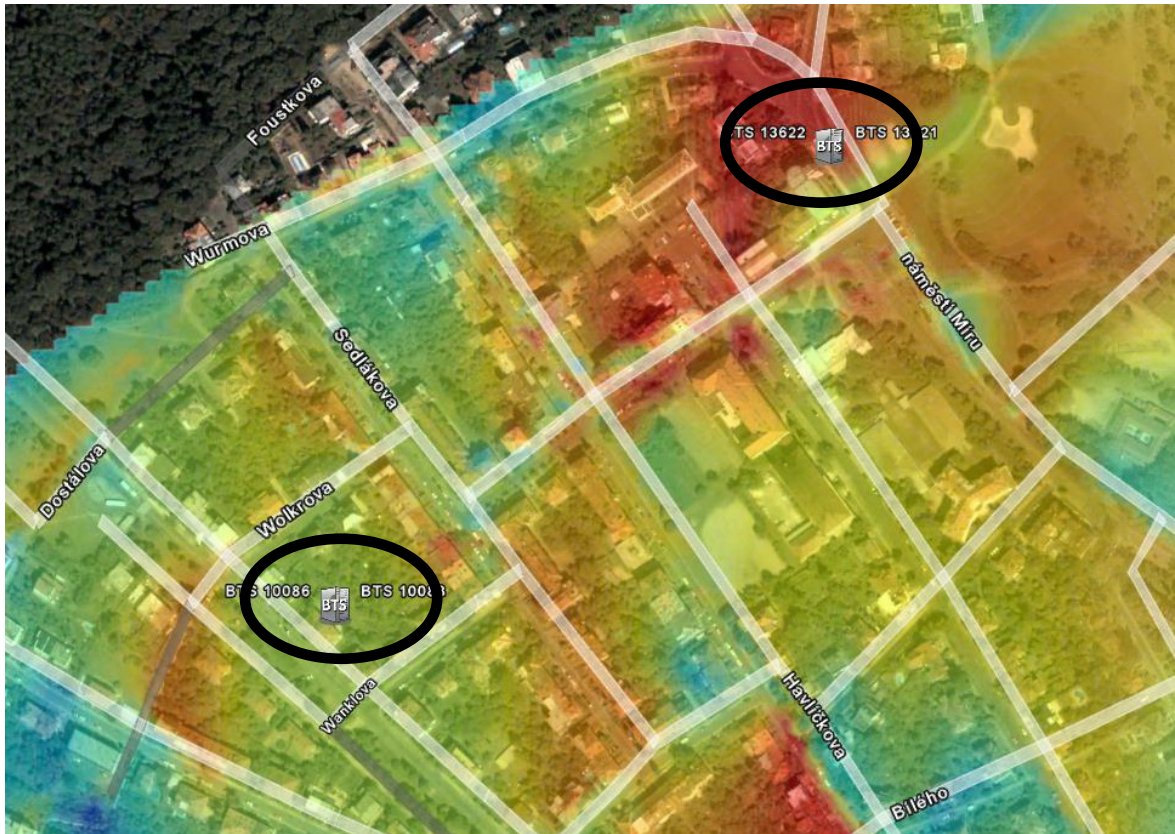


Obr. 27: Mapa pokrytí měřené oblasti (trasa měření)



Obr. 28: Mapa pokrytí měřené oblasti

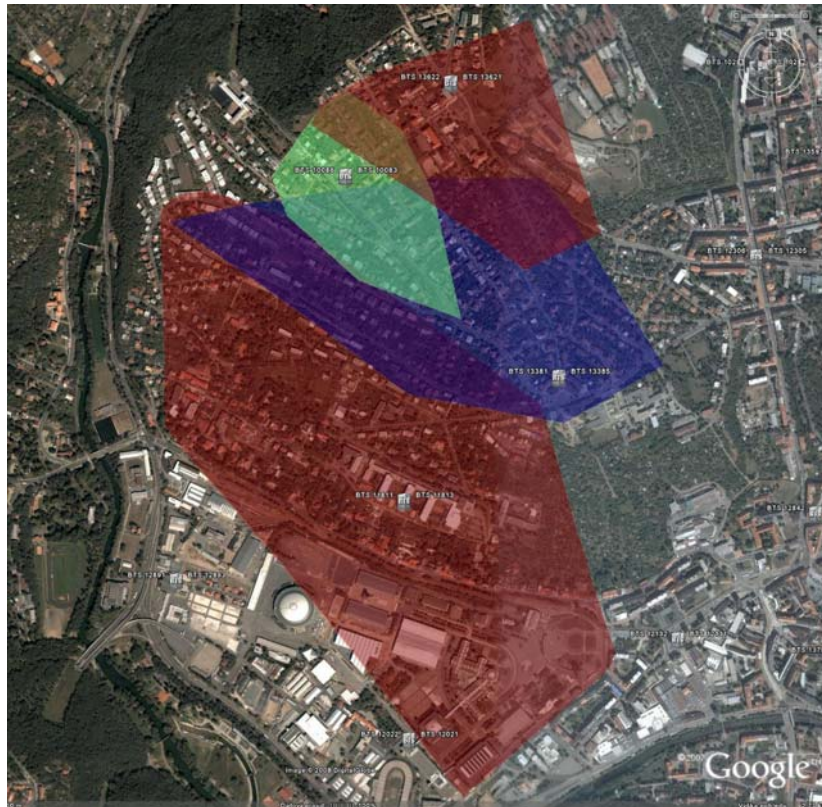




Obr. 29: Mapa pokrytí měřené oblasti (výřez)

Pro zvýraznění pokrytých oblastí jednotlivými vysílači byly data zpracovány do podoby zobrazené na Obr. 30. Na tomto obrázku jsou hodnoty jednotlivých základnových stanic odlišeny barvou. Není zde zdůrazněný průběh hodnot intenzit, ale pouze příslušnost k daným základnovým stanicím. Jak je patrné, oblasti jednotlivých vysílačů se poměrně značně překrývají a tím vytvářejí spolehlivou mapu pokrytí. Je nutné uvést, že pomocí metod použitých pro zpracování není možné dosáhnout kompletního pokrytí určité BTS. Základní metoda vždy zaznamenává intenzitu aktivní buňky, a za předpokladu že se uživatel vzdálí od vysílače k jinému, s vyšší intenzitou, dojde k přeladění a není tak možné v husté síti BTS naměřit oblasti s nízkým pokrytím. Tento problém je možné vyřešit poměrně elegantně např. pomocí mobilního telefonu Nokia 7110, který lze v Net Monitor menu „připojit“ na konkrétní BTS. Po spojení mobilního telefonu s vytvořenou aplikací je možné data snímat a vytvořit tak kompletní mapu pokrytí jedné BTS. Metoda byla odzkoušena, ale kvůli nutnosti použití PC nebyla použita pro naměření takového množství dat, které by dostačovalo pro vytvoření kvalitní mapy pokrytí.

Na Obr. 30 je tedy patrné pokrytí vysílačů 1008x (zelená barva) a 1362x (menší vínová oblast) uvedených v popisu předchozího obrázku. Velmi silným vysílačem zkoumané oblasti je pak 1338x umístěný na žlutém kopci (označen modrou barvou) a dále vysílač 1181x umístěný na kolejích na ulici Vinařská (velká vínová oblast). V rámci přehlednosti obrázku nebyly uváděny všechny vysílače (např. na Mendlově náměstí, křižovatce Údolní ulice s ulicí Úvoz nebo např. základnové stanice v areálu BVV), které posloužily pro vytvoření celkové mapy pokrytí.



Obr. 30: Mapa pokrytí základnových stanic (detail)

### Shrnutí měření

Jednotlivé charakteristiky měření jsou uvedeny v Tab. 13. Z hodnot je možné konstatovat, že bylo provedeno komplexní proměření zvolené oblasti, a že naměřené hodnoty popisují reálný stav sítě v dané lokalitě. V rámci možností daného postupu měření, jsou data dostatečně reprezentativní, a dobře popisují charakter oblasti. Např. kolem základnových stanic byla přesně podle předpokladu zaznamenána vyšší intenzita signálu (viz Obr. 28).

Tab. 13: Shrnutí celkového měření

Vstupní data [řádků]	8990
Relevantní data [řádků]	8015
Počet LAC [-]	4
Počet CID [-]	38
Počet sektorů [-]	88
Celková délka měření [km]	64,5
Celková změřená plocha [km <sup>2</sup> ]	4.09

## 5 Závěr

Podrobně byla prostudována problematika GSM a vše s ní související. Práce popisovala získané informace a shrnovala veškeré technologie týkající se sledování mobilní sítě. Dále popisovala možnosti řešení a uváděla maximálně efektivní řešení, které bylo možné vypracovat pro maximální šíři využití.

V první části práce byla velmi stručně zmíněna historie a postupný vývoj mobilní komunikace ve světě. V další kapitole pak byla rozebrána struktura sítě standardu GSM, jednotlivé prvky důležité pro propojení účastníků a techniky sdílení přenosového pásma. V této části byly teoreticky popsány a vysvětleny principy handoveru, multiplexování, celulárního systému a např. přenosových kanálů (kap. 2).

V další části textu nazvaném Monitoring GSM byly zkoumány informace, které je možné získat z mobilní sítě, pomocí uživatelských terminálů. Byly sledovány parametry sítě i metody jejich získávání. Bylo popsáno prostřední Net Monitor na mobilním telefonu Nokia, které poskytuje široké spektrum informací o síti. Dále byla popsána aplikace GPSCell, umožňující sběr naměřených dat. Tato data byla následně zpracována a důkladně popsána v závislosti na způsobu měření i na charakteristice daného prostředí.

Další část textu zahrnovala popis realizace aplikace dle zadání. Jednotlivé aplikační celky byly popsány po stránce funkční i uživatelské. Nejdříve byl popsán způsob komunikace po sériové lince pomocí AT příkazů. Dále byl vysvětlen důvod výběru programovacího jazyka Python pro realizaci celého projektu. Následující text byl věnován rozdělení aplikace do celků, využívajících různých platforem a usnadňující tím samotné měření. Zbytek kapitoly se pak věnoval popisu grafického prostředí a posloupnosti naprogramovaných funkcí. Dále byly uvedeny dva alternativní postupy se zhodnocením efektivity v rámci tohoto projektu. Závěrem kapitoly byly uvedeny naměřené výsledky společně s grafickými daty, které vytvořila realizovaná aplikace.

Z naměřených dat je zřejmé, že realizovaná metoda monitorování sítě respektuje reálnou situaci a přináší grafickou prezentaci rozložení intenzity signálu, která odpovídá realitě. V rámci měření bylo zachyceno 8990 hodnot, které reprezentovaly údaje z 38 základnových stanic. Vzhledem k množství hodnot lze měření považovat, v rámci zvolené oblasti, za dostatečné (délka trasy měření byla 64,5 km).

Výsledkem tohoto projektu jsou dále aplikace, které splňují všechny funkce zmíněné v zadání práce. Programy umožňují zachytávání dat pomocí mobilního terminálu ze sítě GSM a z modulu GPS. Umožňují zpracovat data do výstupních souborů csv případně do kml souborů (pro aplikaci Google Earth) pro zobrazení trasy měření nebo celkového grafu pokrytí dané oblasti signálem. Aplikace dále umožňuje grafické znázornění vstupních dat, v závislosti na zvolených parametrech v aplikaci.

Práce se nezabývala pouze jedním možným řešením zadaného problému, ale na několika místech popisovala alternativní řešení. Především se hodnotila celková efektivita jiného postupu oproti uvedenému. Řešení, které je popsáno v této práci, je v daném rozsahu nejefektivnější. Díky nízké náročnosti na použitá zařízení jej lze snadno realizovat. Základním nedostatkem zůstává nemožnost paralelního záznamu informací z okolních základnových stanic, což by vedlo k přesnějším a kvalitnějším výsledkům. Jako jediné možné řešení daného problému se jeví použití specializovaného zařízení společnosti Wavecom, což však zvyšuje celkové náklady na realizaci měřicí stanice.

Vytvořená aplikace může nalézt uplatnění v oblasti monitoringu sítě s mnoha výhodami. Jedná se o velmi nenáročnou a spolehlivou metodu, která zachytává data s takovou spolehlivostí, jakou poskytuje použitý terminál. Aplikace lze využít pro dlouhodobější sledování statické lokality, kdy je možné využít systému kombinace PC sestavy a připojeného terminálu pro sběr informací. Druhou možností využití aplikace je mobilní sběr dat, kde je upřednostněna především mobilita zařízení potřebného pro záznam dat ze sítě (v tomto případě dostačuje mobilní terminál). Tato metoda se vyznačuje především jednoduchostí vlastního záznamu, ale i možností okamžitého sdílení naměřených dat přes webové rozhraní.

Téma práce nabízí i nadále řadu dalších možností řešení. Jako nejzajímavější z alternativ lze hodnotit možnosti hardwarového modulu firmy Wavecom. Za pozornost však stojí i problematika softwarového řešení na platformě Windows Mobile. Obě metody přináší flexibilní řešení a různé způsoby implementace do problematiky monitorování sítě.

## Použitá literatura a jiné zdroje

- [1] VELICKÝ, Tomáš. Datové přenosy po GSM sítích, technologie HSCSD, GPRS a UMTS, 2002. 84 s. Pedagogická fakulta Jihočeské Univerzity. Vedoucí diplomové práce PaedDr. Petr Pexa. Dostupný z WWW: <home.pf.jcu.cz/~pepe/Diplomky >.
- [2] KOKEŠOVÁ, Nikol. Principy činností soudobých mobilních komunikačních sítí, 2007. 70 s. Masarykova Univerzita, Fakulta informatiky. Dostupný z WWW: <is.muni.cz>.
- [3] RAMBOUSEK, Adam. Historie mobilní komunikace. [s.l.], 2003. 10 s. Masarykova Univerzita, Fakulta informatiky. Vedoucí kolokviální práce Jan Kučera. Dostupný z WWW: <www.fi.muni.cz/usr/jkucera >.
- [4] Mobilni Systémy [online]. 2003 [cit. 2007-11-01]. Dostupný z WWW: <www.mobilnisystemy.cz>.
- [5] Historické pozadí GSM – vznik standardu GSM. Mobil.cz [online]. 22. 1. 2002 [cit. 2007-11-01]. Dostupný z WWW: < www.volny.cz/ok1dub/mobily>.
- [6] Wikipedia [online]. 2006 [cit. 2007-11-01]. Dostupný z WWW: <cs.wikipedia.org>.
- [7] GSM world [online]. 2006 [cit. 2007-11-01]. Dostupný z WWW: <www.gsmworld.com>.
- [8] NOVOTNÝ, Vít. GSM 2004. skriptum VUT Brno, 2002. 54 s.
- [9] HANUS, Stanislav. Bezdrátové a mobilní komunikace. 1. vyd. Brno : VUT v Brně, 2003. 134 s. ISBN 80-214-1833-8.
- [10] GSM hack [online]. 2006 [cit. 2007-11-01]. Dostupný z WWW: <phreaking.soom.cz/web>
- [11] Princip buňkového systému [online]. Dostupný z WWW: <tomas.richtr.cz/mobil>
- [12] Architektura GSM sítě [online]. Dostupný z WWW: <www.id2.cz/popisy/architektura.html>
- [13] Peterka E-archiv [online]. Dostupný z WWW: <www.earchiv.cz>
- [14] HEINE, Gunnar. GSM Networks : Protocols, Terminology and Implementation. 1998. 482 s. ISBN 978-0890064719.
- [15] DUDEK, Ondřej. Struktura GSM. 2003. 6 s. České vysoké učení technické v Praze, Vedoucí semestrální práce Karel Mikuláščík. Dostupný z WWW: <radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/>.
- [16] Lokalizace volajícího při tísňovém volání z mobilního telefonu [online]. 22.7.2003 [cit. 2007-11-01]. Dostupný z WWW: <http://www.zachrannasluzba.cz/odborna/0306\_lokmt.htm>
- [17] Lokalizace [online]. Dostupný z WWW: <t-mobile.cz/Web/Partnership/>
- [18] Základní lokalizační metody v GSM [online]. Dostupný z WWW: <access.feld.cvut.cz>
- [19] Už vím, proč si mobil nezavolá dál než na 35 km. Mobilmania.cz [online]. 1. 12. 2004 [cit. 2007-11-01]. Dostupný z WWW: <http://www.mobilmania.cz>.
- [20] GSMweb.cz [online]. Dostupný z WWW: <www.gsmweb.cz>
- [21] Engineering mode on Nokia mobile phones [online]. Dostupný z WWW: <http://www.mobileshop.org/howitworks/engmodenokia.htm>

- [22] Nokia Net Monitor Manual [online]. 11. 11. 2002 [cit. 2007-11-01] 34 s. Nobbi. Dostupný z WWW: <[www.nobbi.com](http://www.nobbi.com)>
- [23] Použití NetMonitoru. PCsvět.cz [online]. 13. 2. 2003 [cit. 2007-11-01]. Dostupný z WWW: <[www.pcsvet.cz](http://www.pcsvet.cz)>
- [24] Nokia NetMonitor [online]. Dostupný z WWW: <[www.catman.info](http://www.catman.info)>
- [25] Vyždímejte všechny funkce ze svého Siemensu. Mobil.cz [online]. 13. 12. 2004 [cit. 2007-11-01]. Dostupný z WWW: <[mobil.idnes.cz](http://mobil.idnes.cz)>
- [26] Slovník, podpora na mobil [online]. Dostupný z WWW: <[www.mobilia.sk](http://www.mobilia.sk)>
- [27] Mpirical companion [online]. Dostupný z WWW: <[www.mpirical.com/companion.html](http://www.mpirical.com/companion.html)>
- [28] Dálkový přenos dat v praxi [online]. [cit. 2008-03-01]. Dostupný z WWW: <[telefon.unas.cz/prendat/prendat7.htm](http://telefon.unas.cz/prendat/prendat7.htm)>
- [29] Serial Programming:Modems and AT Commands, Wikibooks.org [online]. [cit. 2008-03-01] dostupný z WWW: <[en.wikibooks.org/wiki/Serial\\_Programming:Modems\\_and\\_AT\\_Commands](http://en.wikibooks.org/wiki/Serial_Programming:Modems_and_AT_Commands)>
- [30] ETSI TS 100 916 V7.7.0 [online] 2001-12. Dostupný z WWW: <[www.etsi.org/WebSite/Standards/Standard.aspx](http://www.etsi.org/WebSite/Standards/Standard.aspx)>
- [31] AT commands [online]. [cit. 2008-03-01]. Dostupný z WWW: <[www.traud.de/gsm/atex.htm](http://www.traud.de/gsm/atex.htm)>
- [32] ETSI TS 04.08 [online] 2001-12. Dostupný z WWW: <[www.etsi.org/WebSite/Standards/Standard.aspx](http://www.etsi.org/WebSite/Standards/Standard.aspx)>
- [33] GPS a komunikační protokol NMEA - 3 (dekódování dat), ABClinuxu.cz [online]. [cit. 2008-03-01]. Dostupný z WWW: <[www.abclinuxu.cz/clanky/ruzne/gps-a-komunikacni-protokol-nmea-3-dekodovani-dat](http://www.abclinuxu.cz/clanky/ruzne/gps-a-komunikacni-protokol-nmea-3-dekodovani-dat)>
- [34] WISMO Quik Q2500 series (Specific AT commands for GPS management)[online]. 2. 11. 2004 [cit. 2008-03-01] 19 s. Wavecom. Dostupný z WWW: <[www.wavecom.com](http://www.wavecom.com)>
- [35] Programovací jazyk Python [online]. Dostupný z WWW: <[www.pycz.cz](http://www.pycz.cz)>
- [36] Google Earth [online]. [cit. 2008-04-01]. Dostupný z WWW: <[en.wikipedia.org/wiki/Google\\_Earth](http://en.wikipedia.org/wiki/Google_Earth)>
- [37] Google Earth: kolem světa za pár minut, Živě.cz [online]. 30. 6. 2005 [cit. 2008-03-01] Dostupný z WWW: <<http://www.zive.cz/default.aspx?article=125552>>
- [38] Google Maps for Mobile (GMM) and KML [online]. 6. 10. 2007 [cit. 2008-03-01]. Dostupný z WWW: <<http://inside.wehostsheep.net/help/?p=34>>
- [39] AT Commands Interface Guide for x50a [online]. 2. 11. 2004 [cit. 2008-03-01] 415 s. Wavecom. Dostupný z WWW: <[www.wavecom.com](http://www.wavecom.com)>
- [40] Radio Interface Layer [online]. 11. 3. 2007 [cit. 2008-04-01]. Dostupný z WWW: <[wiki.xda-developers.com/index.php?pagename=RIL](http://wiki.xda-developers.com/index.php?pagename=RIL)>
- [41] RIL Functions [online]. 25. 3. 2008 [cit. 2008-04-01]. Dostupný z WWW: <<http://msdn2.microsoft.com/en-us/library/>>
- [42] United States Patent 6826762 (RIL patent) [online]. 16. 2. 2001 [cit. 2008-03-05]. Dostupný z WWW: <[www.freepatentsonline.com/6826762.html](http://www.freepatentsonline.com/6826762.html)>