



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

## **TESTOVÁNÍ MOBILNÍCH SÍTÍ S PODPOROU PROGRAMU ROMES**

TESTING OF MOBILE NETWORKS WITH HELP OF ROMES PROGRAM

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

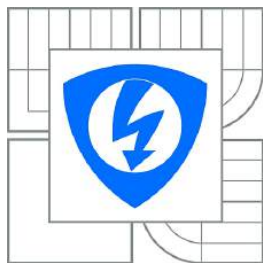
**VOJTĚCH KLEIN**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

prof. Ing. STANISLAV HANUS, CSc.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Elektronika a sdělovací technika**

**Student:** Vojtěch Klein

**ID:** 154766

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2014/2015

## NÁZEV TÉMATU:

### Testování mobilních sítí s podporou programu ROMES

#### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte možnosti programu ROMES firmy Rohde & Schwarz pro testování mobilních sítí, včetně rádiového skeneru a testovacího mobilního telefonu. Zaměřte se na základní parametry jednotlivých mobilních sítí. Na základě získaných poznatků vytvořte metodiku testování mobilních sítí GSM, UMTS a LTE. Dále vytvořte laboratorní úlohu na testování mobilních sítí a ověření základních parametrů uvedených systémů.

#### DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MOLISCH, A. F. Wireless Communications. Chennai, India: John Wiley and Sons, 2011.

[2] Operating Manual R&S. Munich, Germany: ROMES 4 Version 4.11, 2008.

**Termín zadání:** 9.2.2015

**Termín odevzdání:** 28.5.2015

**Vedoucí práce:** prof. Ing. Stanislav Hanus, CSc.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.**

*Předseda oborové rady*

#### UPOZORNĚNÍ:

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



## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá možnostmi využití programu ROMES firmy Rohde & Schwarz pro testování mobilních telekomunikačních sítí. Zaměřuje se na dnes aktivní a nově zaváděné systémy GSM (Groupe Spécial Mobile), UMTS (Universal Mobile Telecommunication System), LTE (Long Term Evolution).

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

ROMES, Rohde & Schwarz, Mobilní telekomunikace, LTE, UMTS, GSM, Měření rychlosti přenosu dat, PESQ,

## **ABSTRACT**

This thesis examines the possibilities of program ROMES by Rohde & Schwarz for testing mobile telecommunication systems. Thesis is focused on active and recently implemented systems GSM (Groupe Spécial Mobile), UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) LTE (Long Term Evolution).

## **KEYWORDS**

ROMES, Rohde & Schwarz, mobile telecommunications, LTE, UMTS, GSM, Measurement data rate, PESQ

Klein, V. *Testování mobilních sítí s podporou programu ROMES*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2011. 34 s., 13 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: prof. ing. Stanislav Hanus, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Testování mobilních sítí s podporou programu ROMES* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské 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 bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce prof. ing. Stanislav Hanus, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	VIII
SEZNAM TABULEK.....	X
ÚVOD.....	1
<b>1 MOŽNOSTI MĚŘENÍ V LABORATOŘI .....</b>	<b>2</b>
1.1 R&S TSMQ RADIO NETWORK ANALYZER.....	2
1.2 MOBILNÍ STANICE.....	2
1.3 GPS MODUL.....	2
<b>2 SOFTWARE ROMES .....</b>	<b>3</b>
2.1.1 <i>Basic Views</i> .....	3
2.1.2 <i>Navigation Views</i> .....	4
2.1.3 <i>UMTS Views</i> .....	5
2.1.4 <i>LTE Views</i> .....	6
2.1.5 <i>GSM Views</i> .....	6
2.1.6 <i>RF Power Scanner Views</i> .....	7
2.1.7 <i>UMTS Scanner Views</i> .....	8
2.1.8 <i>LTE Scanner Views</i> .....	8
2.1.9 <i>GSM Scanner Views</i> .....	9
2.1.10 <i>Data Quality Tester driver (DQA)</i> .....	10
2.1.11 <i>Speech quality driver</i> .....	11
<b>3 MOŽNOSTI TESTOVÁNÍ MOBILNÍCH SÍTÍ .....</b>	<b>12</b>
3.1 TESTOVÁNÍ DATOVÝCH PŘENOSŮ.....	12
3.1.1 <i>Měření v praxi</i> .....	13
3.1.2 <i>Statický test</i> .....	15
3.1.3 <i>Dynamický test</i> .....	16
3.2 SPECIÁLNÍ TESTY .....	18
3.2.1 <i>Subjektivní hodnocení kvality video sekvencí</i> .....	18
3.2.2 <i>Objektivní hodnocení kvality videosekvencí</i> .....	19
3.3 TESTOVÁNÍ KVALITY ŘEČI.....	20
<b>4 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ.....</b>	<b>22</b>
4.1 VÝPOČET STATISTICKÉ CHYBY PRO STATICKÝ TEST:.....	23
4.2 VÝPOČET STATISTICKÉ CHYBY PRO DYNAMICKÝ TEST .....	23
<b>5 VÝSLEDKY .....</b>	<b>25</b>
5.1 STATICKÝ TEST.....	25
5.2 DYNAMICKÝ TEST .....	28
<b>6 ZÁVĚR.....</b>	<b>34</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>35</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK .....</b>	<b>37</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH .....</b>	<b>38</b>
<b>ÚLOHA Č.XX TESTOVÁNÍ MOBILNÍCH SÍTÍ.....</b>	<b>39</b>
<b>ÚLOHA Č.XX TESTOVÁNÍ DATOVÝCH PŘENOSŮ V MOBILNÍCH SÍTÍCH .....</b>	<b>47</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.2 Odhadované BTS s elipsami "by power" [7].....	5
Obr. 2.3 UMTS Finger Data View[7].....	6
Obr. 2.4 Typická obrazovka Scanner Pilot View [7].....	8
Obr. 2.5 LTE Scanner MIMO View [7] .....	9
Obr. 2.6 Příklad uspořádání oken při měření parametrů GSM sítě .....	10
Obr. 2.7 Konfigurační okno pro nastavení měření v lineární módu .....	11
Obr. 2.8 Schéma sestavení hovoru.....	12
Obr. 3.1 Průměrná naměřená přenosová rychlost v závislosti na velikosti souboru, LTE, UMTS .....	14
Obr. 3.2 Průměrná neměřená přenosová rychlost v závislosti na velikosti souboru, GPRS.....	14
Obr. 3.3 Stanoviště pro měření statického testu[12].....	15
Obr. 3.4 Záznam měření při pohybu rychlostí 6 km/h [12].....	16
Obr. 3.5 Schéma měření dynamického testu .....	17
Obr. 3.6 Schéma při využití subjektivního testu použitím dvou sekvencí.....	18
Obr. 3.7 Schéma pro měření kvality video sekvencí .....	19
Obr. 3.8 Schéma testování hlasových signálů .....	21
Obr. 4.1 Teoretické normální rozdělení [16] .....	22
Obr. 5.1 Průměrná rychlost stahování pomocí FTP, statický test.....	26
Obr. 5.2 Průměrná rychlost odchozího toku pomocí FTP, statický test.....	27
Obr. 5.3 Přenosová rychlost stahování vzorové stránky, statický test.....	27
Obr. 5.4 Časová odezva sítě, statický test.....	28
Obr. 5.5 Průměrná rychlost stahování, 30 km/h .....	29
Obr. 5.6 Průměrná rychlost odchozího toku pomocí FTP, 30 km/h.....	30
Obr. 5.7 Průměrná rychlost stahování webové stránky, 30km/h .....	30
Obr. 5.8 Časová odezva sítě, 30 km/h .....	31
Obr. 5.9 Průměrná rychlost stahování pomocí FTP, 6 km/h .....	32
Obr. 5.10 Průměrná rychlost odchozího toku, 6 km/h.....	32
Obr. 5.11 Průměrná rychlost stahování webové stránky, 6 km/h.....	33
Obr. 5.12 Časová odezva sítě, 6 km/h .....	33



Obr. 6.1 Schéma zapojení pracoviště.....	41
Obr. 6.2 Uspořádání okna pro měření GSM.....	42
Obr. 6.4 Popis okna Navigation.....	44
Obr. 6.5 okno T-mobile Internet Manager.....	48
Obr. 6.6 Okno pro konfiguraci hardwaru připojeného k ROMES.....	49
Obr. 6.7 Zahájení měření .....	50
Obr. 6.8 Okno po nastavení měření .....	51
Obr. 6.9 Naměřené hodnoty při teréním měření.....	51

## SEZNAM TABULEK

tab. 2.1 Vybrané zkratky zobrazené v System Information View [7] .....	7
tab. 3.1 Slovní hodnocení MOS dle ITU-T P.862 [13].....	20
tab. 5.1 Výsledky dynamického testu při pohybu 30km/h .....	29
tab. 5.2 Výsledky dynamického testu pro rychlost 6km/h.....	31
Tab. 6.2 Vybraná čísla MNC .....	40
Tab. 6.3 Maximální přijímaný výkon v daném pásmu .....	45
Tab. 6.4 přijímané GSM signály z BTS.....	45
Tab. 6.5 Informace o Node Bs systému UMTS.....	46
Tab. 6.6 Změna přijímané úrovně na poloze telefonu .....	46
tab. 6.7 přehled datových sítí .....	47

# ÚVOD

Zavádění moderních telekomunikačních sítí do praxe vytváří nové nároky na výrobce měřicí techniky, poskytovatele sítí a v neposlední řadě také na vzdělávací instituce. Při zvyšování rychlosti přenosu dat a při zajištění kvality přenosu roste významně komplexnost těchto sítí a náročnost jejich analýzy. Konkrétně mluvíme o posunu od analogových celulárních sítí 1G k použití digitální technologie u 2G až po dnešní a nově zaváděné 3G až 4G sítě, ve kterých se využívá technologií OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiple Acces) nebo MIMO (Multiple Input Multiple Output).

První část bakalářské práce se zabývá možnostmi programu ROMES pracující s rádiovým skenerem s příslušenstvím od firmy Rohde & Schwarz a mobilní stanicí. Software umožňuje analyzovat strukturu a procesy mobilní sítě. Vzhledem k vývoji mobilních technologií v České republice a ve světě je potřeba inovovat současné laboratorní úlohy a zakomponovat do nich nové telekomunikační technologie.

Druhá část bakalářské práce se zabývá metodikou testování mobilních sítí. Zde je cílem srovnat kvalitu připojení pro různé mobilní systémy provozované v současné době v České republice. Metodika se zaměřuje na testování a veličiny důležité pro koncové uživatele. První oblastí je testování rychlosti datového přenosu. Druhou je měření kvality řeči. Třetí speciální oblastí je testování proudového videa.

# 1 MOŽNOSTI MĚŘENÍ V LABORATOŘI

## 1.1 R&S TSMQ Radio Network Analyzer

Laboratoř je vybavena rádiovým skenerem TSMQ od firmy Rohde & Schwarz. Toto zařízení dokáže skenovat spektrum od 80 MHz do 3 GHz. Zařízení bylo zkonstruováno především na dnes aktivní a nově zaváděné mobilní technologie v mobilních sítích. Z rodiny 2G je umožněno měřit GSM (Group Special Mobile), E-GSM (Extended GSM) a GSM-R (GSM Railway). Další skupinou je 2,5G a 2,75G GPRS (General Packet Radio Service), CDMA2000 (Code Division Multiple Access), EGPRS (Enhanced GPRS), EDGE (Enhanced Data Rates for GSM). Ze skupiny 3G až pre-4G sítí je schopen analyzovat WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Zařízení je využíváno operátory mobilních sítí při návrhu, optimalizaci a při hledání a analýze problémů.

Při měření se zařízení nepřipojuje do zkoumané sítě a pouze provoz monitoruje. Skener dekóduje informace vysílané základnovými stanicemi. U GSM tedy například dokáže vypsat list všech BTS (Base Transceiver Station) v dosahu spolu s informacemi o jejich identifikačních údajích a sílu signálu. U UMTS například frekvenci na které nodeB pracují a jejich skramblovací kódy.

Skener je schopen zaznamenat informace pro GSM technologie až o 100 kanálech za sekundu. Pro UMTS technologii až 50 záznamů za sekundu. Umožňuje měřit také více druhů mobilních technologií paralelně. [1][2][3].

## 1.2 Mobilní stanice

Laboratoř je vybavena několika mobilními telefony a také mobilními modemy.

Mobilní stanice Nokia C5 může být připojená do GSM nebo do WCDMA 900/2100 MHz sítě. Při měření jsme sice omezeni výběrem poskytovatele vzhledem k vložené SIM kartě. Mobilní stanice je připojena do sítě a umožňuje monitorovat komunikaci s BTS a analyzovat předávání spojení mezi BTS (handover) s využitím zpráv 3. vrstvy (Layer 3 Messages).[4]

Huawei E398 je USB modem, umožňující připojení do mobilních datových sítí. Podporuje připojení do LTE, UMTS, GSM. Tento modul není kompletně kompatibilní se SW ROMES. To umožňuje pouze základní analýzu připojení.[17]

## 1.3 GPS modul

Modul GPS má označení R&S®TSMX-PPS2. Modul zaznamenává informace o poloze a předává je do softwaru ROMES. V kombinaci s mapovými podklady a s informacemi z mobilní stanice jsme schopni analyzovat handover, optimalizovat polohu a zkoumat interference základnových stanic [5].

## 2 SOFTWARE ROMES

Laboratoř je vybavena notebooky s nainstalovaným softwarem ROMES verze 4.79. Tento software shromažďuje a zpracovává data z několika zařízení a vytváří rozhraní mezi zařízeními a uživatelem. Při využití rádiového skeneru TSMQ a mobilní stanice je možné sledovat detailní informace o parametrech mobilních sítí.

Grafické prostředí je děleno na listy, které si uživatel může sám definovat nebo využít již vytvořených struktur. Každý list se skládá z jednoho nebo více oken, u kterých se dá měnit jejich velikost a poloha na listu. Okno si můžeme představit jako podprogram, který nám podává určité informace, například sílu přijímaného signálu BTS nebo hlavní a servisní kanály mobilní stanice. Okna jsou aktivní pouze tehdy, když je zapnuté nahrávání nebo přehráváme již nahrané měření.

Do jednoho listu jsme schopni přidat okna, která popisují stavy různých mobilních sítí (například GSM a LTE) a paralelně sledovat jejich chování při různých situacích. Okna jsou rozdělena podle hardwaru, který využívají a také podle technologií které popisují.

V další části popisují jednotlivá okna, která je možno otevřít v programu[7].

### 2.1.1 Basic Views

Základní skupina oken zobrazující informace poskytované připojenými zařízeními.

**Alphanumeric View** zobrazuje aktuální hodnoty vybraného signálu v textové podobě.

**2D Chart View** obsahuje graf, kde jeden nebo více signálů jsou zobrazeny jako funkce v čase.

**Statistic Histogram** umožňuje pomocí výpočtů zobrazit statistické vlastnosti signálu.

**Event View** chronologicky zapisuje všechny události, které se objevily během měření. Všechny události jsou definovány v seznamu *Available Events*.

**Message View** vypisuje záznam o určitých zprávách systému generovaných během měření nebo při exportu.

**General Status View** zobrazuje textové informace obecného významu. Například množství vygenerovaných dat na jeden driver v uplynulých 10 sekundách.

**X-Y Graph View** se využívá při generování bodového diagramu, kde dva vybrané signály mohou korelovat a my se snažíme tuto závislost vyšetřit.

**Statistic View** zobrazuje klíčové statistické veličiny kteréhokoli signálu. Základním zobrazením je tabulka, která pro jednotlivé signály počítá tyto statistické indikátory: Počet vzorků (*Number of Samples*), Počet neplatných vzorků (*Number of invalid Samples*), Průměr (*Mean*), standartní odchylka (*Standart Deviation*), Minimum, Maximum a Procenta (1%, 5%, 50%, 95%, 99%). Každý signál může být analyzován podrobněji. CDF Analyzer (*Cumulative Distribution Function*) zobrazuje kumulativní distribuční funkci vybrané oblasti dat. PDF Analyzer (*Probability Distribution Function*) umožňuje graficky zobrazit funkci distribuce rozdělení pravděpodobnosti.

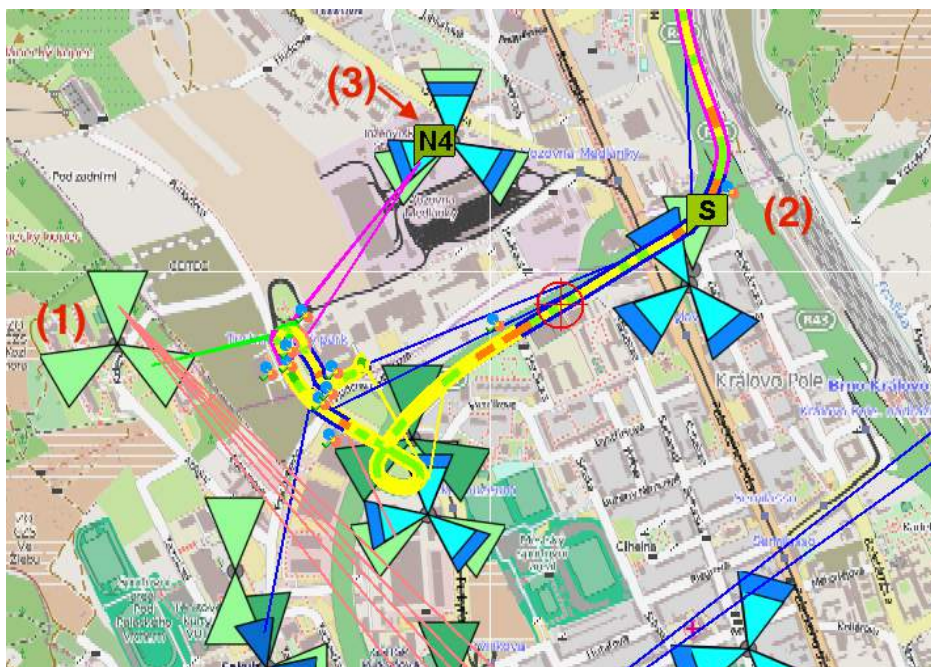
## 2.1.2 Navigation Views

Skupina oken vizualizující změřená data s korespondující zeměpisnou polohou.

**GPS Info** nahrává a analyzuje GPS informace. Vypočítává směr a rychlost testovacího vozidla, zobrazuje zeměpisnou šířku a délku, nadmořskou výšku, přesnost, kompas, čas a kvalitu připojení. Větší část okna se věnuje GPS satelitům, udává počet detekovaných satelitů, jejich relativní signálovou kvalitu a jejich využití při současném výpočtu.

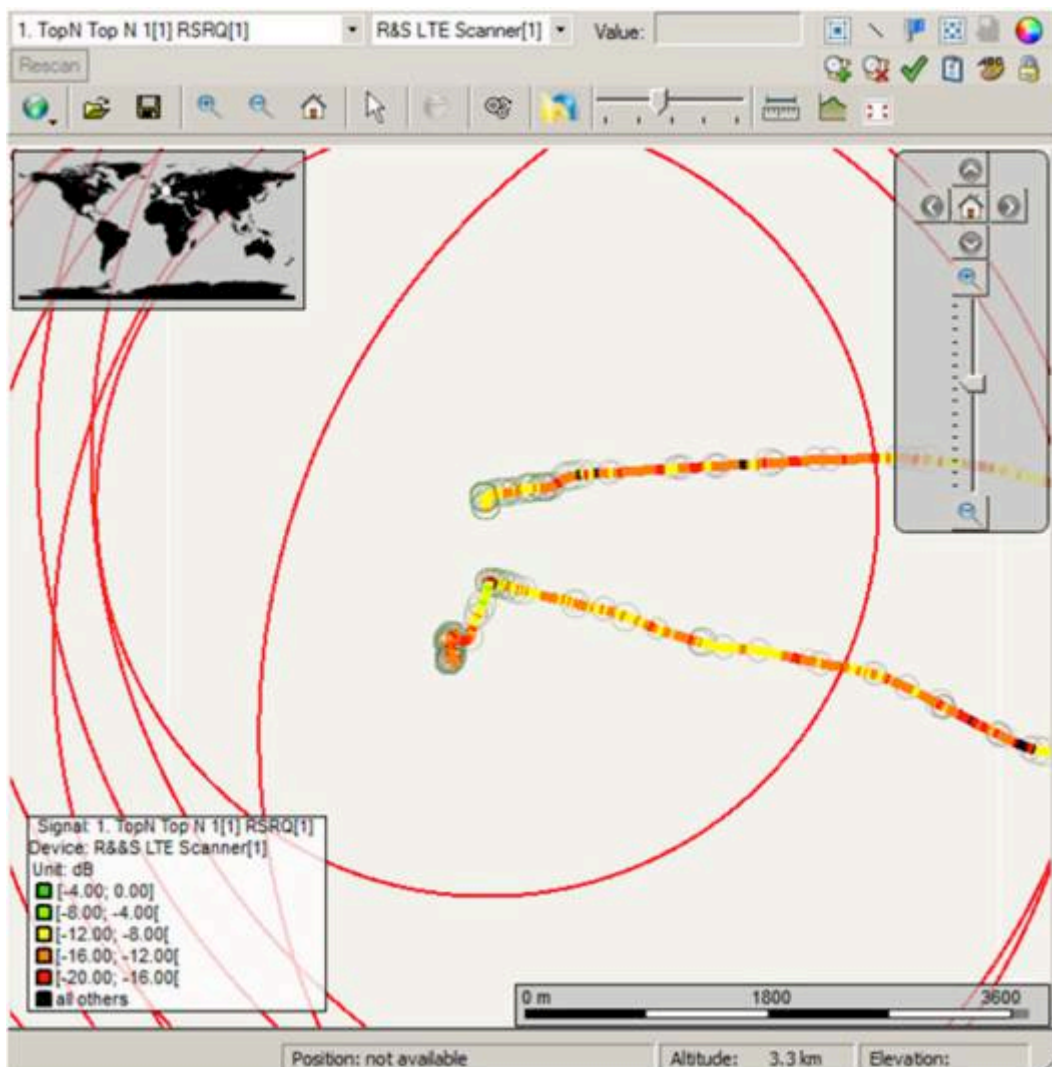
**Route Track** je diagram popisující měřenou cestu a chování měřených signálů. Tyto informace jsou zobrazovány na mapu, která tvoří pozadí. Základní zobrazená informace je cesta, kterou jsme v čase vykonali. Je tvořena křivkou, která spojuje jednotlivé naměřené body. Barva této křivky indikuje signálové hodnoty (například přijímaný výkon). Pro analýzu sítí UMTS ohraničení této křivky popisuje primární skramblovací kód.

Pro analýzu GSM signálu můžeme využít tyto funkce: zobrazení symbolů základnových stanic (BTS) (1), právě připojená aktivní buňka (2), servisní buňky (3), obr. 2.1. Úroveň signálu odpovídá barvě vyznačené na trase měření. V tomto případě parametr RxLev.



Obr. 2.1 Detail zobrazení v okně Navigation View pro GSM analýzu

Pro analýzu UMTS můžeme využít podobná zobrazení jako u GSM, ale nabídka funkcí je rozšířena o možné odhady o dosahu a provozu navrhované sítě. Po nakonfigurování minimální úrovně, můžeme zobrazit elipsy tuto úroveň následující, obr. 2.2.



Obr. 2.2 Odhadované BTS s elipsami "by power" [7]

### 2.1.3 UMTS Views

Tento soubor oken poskytuje detailní informace o síti *UMTS*.

**UMTS Finger Data View** – Zobrazuje důležité parametry z komunikace v první vrstvě (Layer 1) charakterizující různé downlink WCDMA signály v přijímači RAKE. **Úroveň  $E_c/I_0$**  - Energie jednoho čipu ku spektrální hustotě interferenčních signálů - je zobrazovaná v horizontálních prúžích. Pro každý signál jsou zobrazovány dodatečné informace:

**SC** - Skramblovací kód,

**Offset** - časový offset signálu vzhledem k měřicímu hardwaru,

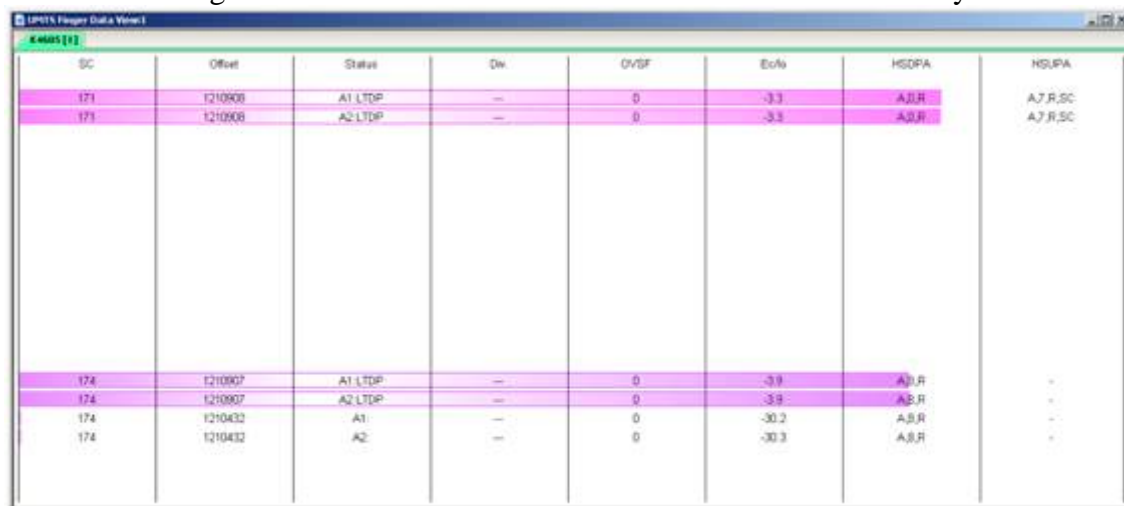
**Status** – která anténa zařízení je pro daný signál aktivní, další písmena podávají informaci, jestli signál je dostatečně silný a kvalitní pro překročení mezních prahů zaručující jednotlivé funkce pro kvalitu přenosu (např. Powe Control bit lock),

**OVSF** - Orthogonal Varioble Spreading Factor, číslo kódu,

$E_c/I_0$  – úroveň,

**HSDPA** – informace, zda je systém aktivní, index buňky, a referenční finger,

**HSUPA** - informace, zda tento režim je aktivní, rádiová linka v rozsahu 0-7 referenční finger a skramblovací kód buňky .



SC	Offset	Status	Dir	OVDP	Ec/N0	HSDPA	HSUPA
171	1210908	A1 LTDP	-	0	-3.3	A,B,R	A,Z,R,SC
171	1210908	A2 LTDP	-	0	-3.3	A,B,R	A,Z,R,SC
174	1210907	A1 LTDP	-	0	-3.9	A,B,R	-
174	1210907	A2 LTDP	-	0	-3.9	A,B,R	-
174	1210432	A1	-	0	-30.2	A,B,R	-
174	1210432	A2	-	0	-30.3	A,B,R	-

Obr. 2.3 UMTS Finger Data View[7]

**UMTS Cell set View** – Ukazuje přehled informací z vrstvy 1. Parametry o obsluhující buňce a vedlejších buňkách.

**UMTS NAS Status View** – Poskytuje informace z vyšších vrstev komunikace tzv. NAS (Non-Access Stratum). Tyto informace popisují spojení s obsluhující buňkou.

**UMTS TrCH View** – Toto okno se zaměřuje na kódové parametry downlinku a uplinku v Transportních kanálech (TrCHs, Transport Channels).

**UMTS Power Control View** – Zobrazuje výkon vysílače a parametry, které síť využívá pro zpětnou vazbu pro nastavení výkonové úrovně.

**UMTS Layer 1 Graph View** – Obsahuje kartézský graf zobrazující parametry UMTS nebo GSM Layer 1 jako funkci v čase.

## 2.1.4 LTE Views

Okna zobrazující data pořízena pomocí zařízení připojeného do LTE sítě.

**LTE CQI View** – Zobrazuje rychlý přehled hlášených indikátorů kvality signálu (CQI) [6].

**LTE CellSet View** – Přehled parametrů z vrstvy 1 o servisní a sousedních buňkách viditelných zařízením.

**LTE Chart View** – Graf popisující změnu parametrů servisní a sousední buňky. Zaměřuje se na informace o chybovosti v jednotlivých rámcích (Frame Error Rates) a kvalitu přijímaného signálu buňky.

## 2.1.5 GSM Views

Skupina oken zobrazující měřená data z GSM sítě.



**GSM Measurement Report View** – přehled přijímaných informací používaných mobilních zařízení.

**GSM Scan View** – Toto okno obsahuje graf. Zobrazuje signálovou úroveň a tabulku všech detekovaných kanálů.

**GSM Chart View** – Zobrazuje úroveň přijímaného signálu obsluhující buňky a až šesti sousedních buněk.

**GSM System Information View** – Zobrazuje GSM parametry, které jsou obsaženy v třetí vrstvě (3rd Layer) komunikace, tab 2.1.

tab. 2.1 Vybrané zkratky zobrazené v System Information View [7]

Kód	Anglický význam	Český význam
PWRC	Power Control Indicator	Indikátor řízení výkonu
BsAgBlksRes	No. of blocks on each CCCH reserved for access grant messages	Počet bloků v každém společném kontrolním kanálu, rezervovaných pro povolené zprávy
CCCH-Config	Common Control Channel Configuration	Společné řízení konfigurace kanálu
Emerg.Call	Emergency call permission	Povolení k tísňovému volání
MsTxPwrMaxCC H	Max. allowed transmitted RF power	Maximální povolený výstupní výkon
CellIdentity [hex]	Cell Identity code	Identifikační kód buňky
LAC [hex]	Location Area Code	Identifikační kód oblasti
MCC	Mobile Country Code	Kód státu
MNC	Mobile Network Code	Kód sítě
RxLev-AccMin	Min. received signal level at a MS for access to a cell	Minimální úroveň přijímaného signálu pro přístup do buňky

## 2.1.6 RF Power Scanner Views

**RF Power Scan Spectrum View** – zobrazuje celé spektrum třemi různými způsoby. Horní část okna zobrazuje celé spektrum. Střední část zobrazuje námi vybraný detail

spektra. Spodní část zobrazuje spektrum a jeho změnu v čase, kde velikost spektrálních složek je znázorněna barevnou škálou.

### 2.1.7 UMTS Scanner Views

Okna sloužící k analýze downlinku sítí UMTS. Většina měření se provádí ve dvou režimech:

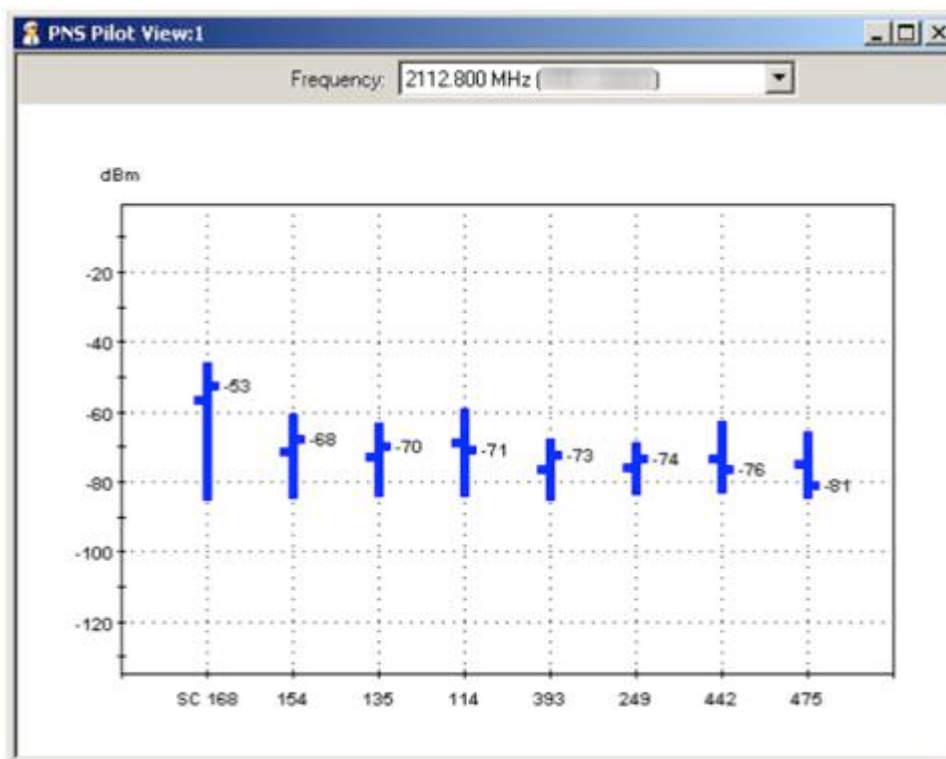
Spektrální analýza části spektra uplinku a downlinku.

Pseudošumová analýza (Pseudo Noise scan, PN) a identifikace jednotlivých Node B v přijímaném spektru. Hlavní důvod měření je testování a analýza možných interferencí.

**UMTS Scanner P-SCH View** – Graficky zobrazuje úroveň signálu prvního synchronizačního kanálu. Dodatečné dekódované informace jsou v tabulce pod grafem.

**UMTS Scanner CPICH View** – Průměrná hodnota na primárním CPICH kanálu (Common Pilot Channel) a komplexní analýza signálu přijatá pomocí PN posloupnosti. Signály jsou rozděleny podle časového slotu a dále jsou rozděleny podle primárního scramblovacího kódu.

**UMTS Scanner Pilot View** – Zobrazuje úroveň přijímaného signálu kanálu CPICH společně s jeho scramblovacím kódem.



Obr. 2.4 Typická obrazovka Scanner Pilot View [7]

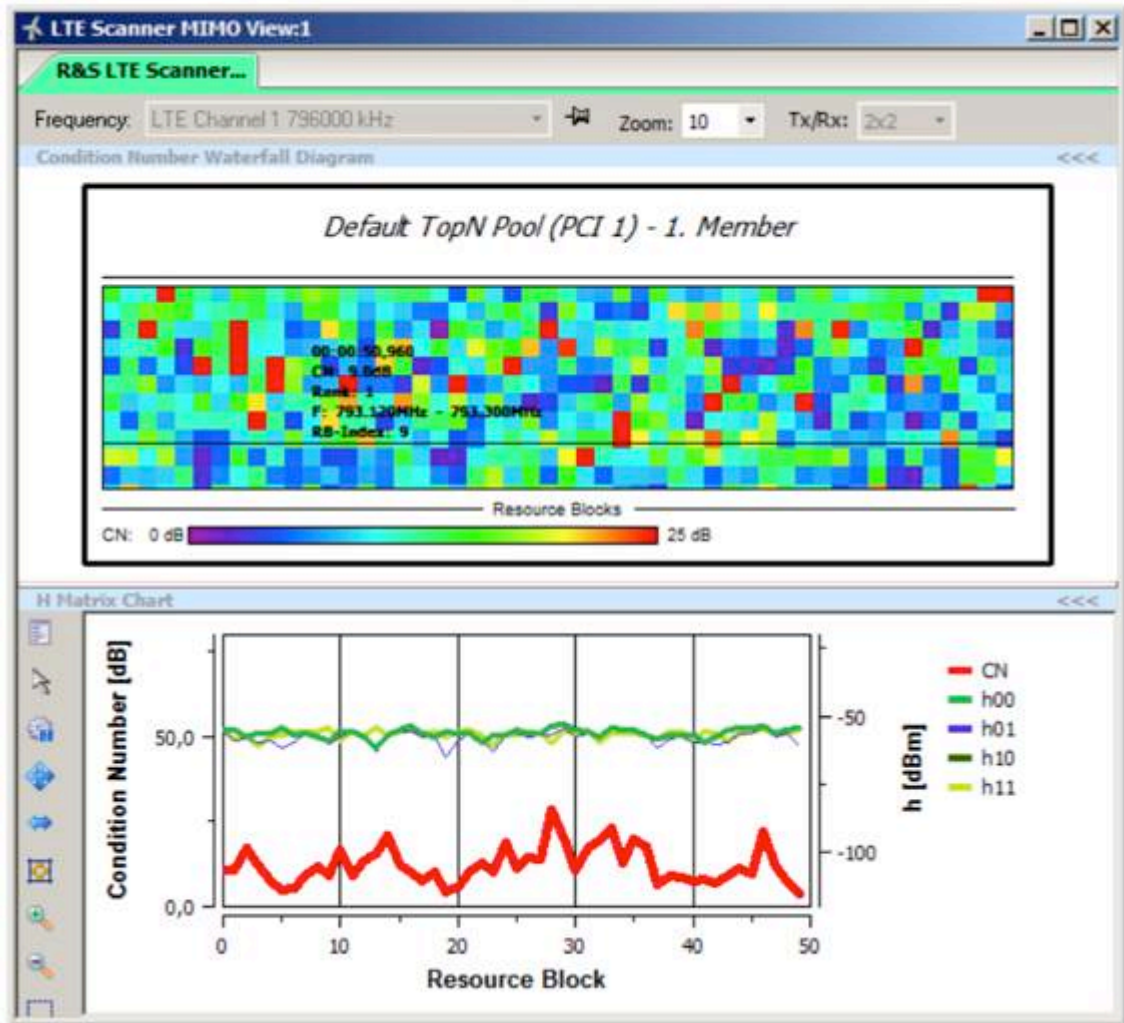
### 2.1.8 LTE Scanner Views

Okna umožňující analýzu LTE pomocí skeneru.

**LTE Scanner CIR View** – Zobrazuje impulzní odpověď kanálu na LTE signály.

Okno je rozděleno na graf a tabulku.

**LTE Scanner MIMO View** – Zobrazení barevně kóduje čísla přenesená v jednom resource bloku. Zobrazena jsou data z jedné buňky. Buňka je vybrána fyzickým číslem buňky (physical cell id), nebo TopN Member.



Obr. 2.5 LTE Scanner MIMO View [7]

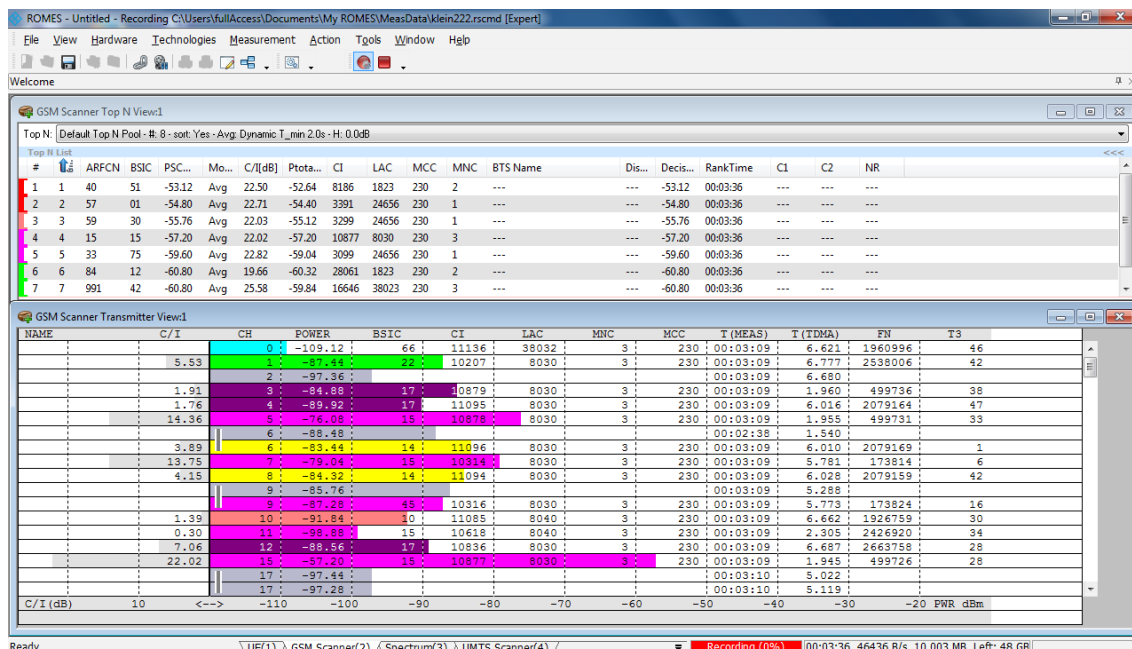
## 2.1.9 GSM Scanner Views

Skupina oken zaměřující se na popis GSM mobilní sítě.

**GSM Scanner Transmitter View** – Zobrazuje demodulovaná a dekodovaná data pořízená během měření. Data obsahují všechny dosažitelné BTS. Každý řádek popisuje jeden vysílač a k němu vybrané informace vysílané BTS.

**GSM Scanner Interference Analyzer View** – Zobrazuje grafickou reprezentaci vybrané události, kde probíhají interference.

**GSM Scanner Top N View** – Zobrazuje vlastnosti n-vybraných BTS signálů.



Obr. 2.6 Příklad uspořádání oken při měření parametrů GSM sítě

### 2.1.10 Data Quality Tester driver (DQA)

Tento driver ovládá proces měření datového přenosu a analýzu dat. Konfigurace měření se provádí v DQA window.

V části Available Jobs jsou všechny akce, které software umí provést pro zajištění měření datových parametrů. Vybrané akce:

Connect to Network – vybírá síťové spojení a definuje dobu pro opětovné připojení.

Disconnect from Network – zajišťuje odpojení síťového spojení a čas odpojení.

HTTP Download – akce umožňující stažení webové stránky pomocí HTTP protokolu.

Ping – test pro zjištění obousměrné odezvy systému. Uživatel si zvolí cílový server, maximální délku nebo počet opakování po kterou bude požadavek prováděn. Software umožňuje ovlivňovat také čas mezi jednotlivými požadavky.

Email Upload – událost umožňující nahrání a odeslání vzorového emailu dle zvoleného protokolu POP3, IMAP nebo SMTP.

VLC video streaming – funkce umožňující přehrát síťový proud videa (network stream). Klient může přijatý vysílaný proud uložit pro pozdější zpracování. Systém podporuje tyto proudové protokoly RTSP (Real-time Streaming Protocol), HTTP/Uncast, HTTP/Multicast.

FTP Upload – nahrání souboru na příslušný server, pomocí FTP protokolu.

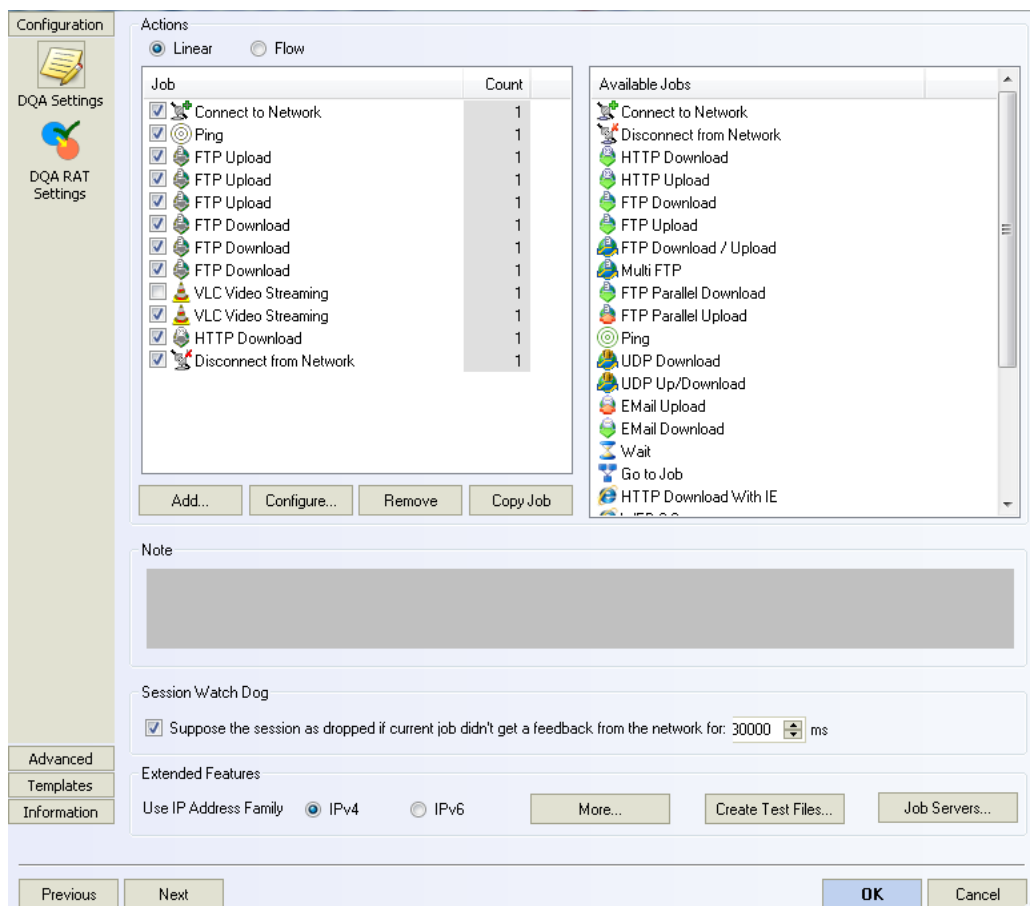
FTP Download – stáhnutí souboru pomocí FTP protokolu.

U všech akcí je možno nastavit jejich časovou skladbu. Významnou položkou je možnost nastavení maximální doby na provedení požadavku.

ROMES umožňuje vytvořit testovací soubory o libovolné velikosti, které je možné využít pro FTP přenos.

Testování může být provedeno ve dvou režimech:

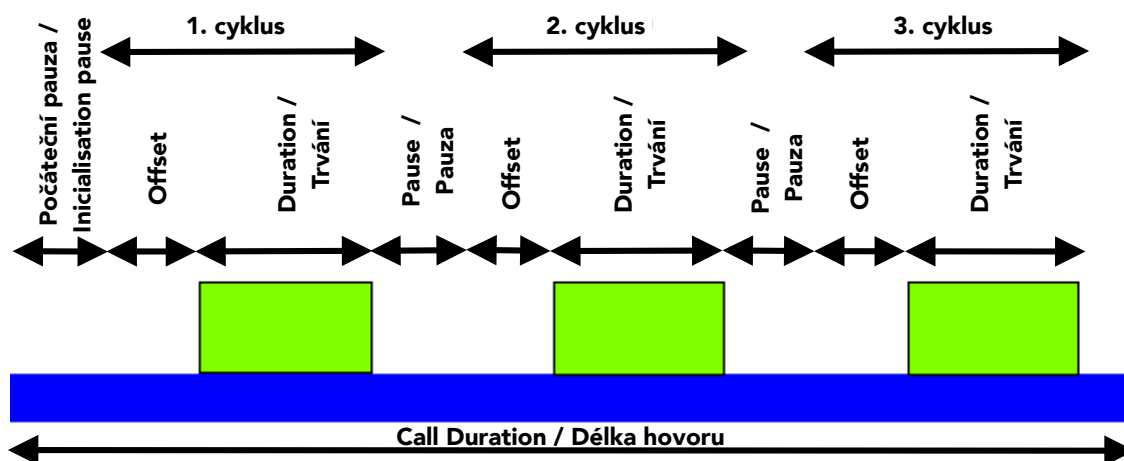
- Linear mode – Akce jsou zpracovávány sekvenčně, krok za krokem.
- Flow mode – Možnost některé akce zpracovávat paralelně. Ne všechny akce, ale podporují toto zpracování.



Obr. 2.7 Konfigurační okno pro nastavení měření v lineární módu

### 2.1.11 Speech quality driver

Driver ovládající sledování a vyhodnocení kvalitativních parametrů hlasových služeb. Nastavuje konkrétní kombinaci sekvencí pro měření. Pro spuštění testu je nutné nainstalovat SQA server, který odpovídá při měření na volání mobilní stanice. Pro představu o jednotlivých nastavovaných veličinách je zde schéma sestavovaného hovoru Obr. 2.8.



Obr. 2.8 Schéma sestavení hovoru

Pro zobrazení se využívá SQA Message View. Je to chronologický výpis událostí a prací provedených SQA driverem. K výpočtu se využívá vylepšené normy ITU P.862.1, která lehce pozměnila původní charakteristiku. [7]

## 3 MOŽNOSTI TESTOVÁNÍ MOBILNÍCH SÍTÍ

Uživatelé mobilních sítí nedokážou často objektivně posoudit kvalitu připojení a změny, které proběhly při změně technologie mobilní sítě. Cílem metodiky měření mobilních sítí je schopnost kvantifikovat zlepšení či zhoršení připojení v mobilní síti.

### 3.1 Testování datových přenosů

Pro porovnání kvality připojení datových sítí byly vytvořeny doporučující normy organizací IETF (Internet Engineering Task Force). Tato organizace vydává RFC (Request for comments), tyto dokumenty netvoří normy ale doporučení, jak se mají řešit některé problémy a situace. Vydání tohoto dokumentu má dvě fáze, po vytvoření RFC se vybrané řešení vyzkouší a pokud je dobré je mu přiděleno identifikační číslo. Již vyšlá doporučení se nemění a vydává se vždy nové. Všechna RFC jsou volně dostupná ze stránek organizace IETF

Doporučení 2544 snaží se zabránit prodeji služeb a zařízení s matoucími výsledky o jejich výkonu. Společně s RFC 1242 přesně definuje, co a jak je nutné testovat a jak tyto výsledky interpretovat.

Pro testování v sítích TCP/IP jsou předepsány tyto velikosti rámců 64, 128, 256, 512, 1024, 1280, 1518. [Byte] velikost rámců pro měření se vybírá tak, aby v měření byla zahrnuta co nejpodrobnější charakteristika.

**Maximální rychlost** je v definována jako nejvyšší hodnota odeslání rámců, při které jsou veškeré rámce bez problému přijaty nebo odeslány. Na začátku testu je odesláno několik rámců specifickou rychlostí. Poté jsou odeslané rámce porovnány s přijatými.

Pokud počet přijatých rámců odpovídá odeslaným, tak test pokračuje zvýšením rychlosti. Naopak je-li počet přijatých rámců nižší než počet odeslaných rychlost se sníží. Nejvyšší možná rychlost je poté definována tak, jako maximální rychlost při správném počtu přijatých a odeslaných rámců.

Další oblast pro měření je **testování chování při shlukovém provozu**, kdy jsou rámce odesílány maximální rychlostí na měřené zařízení. Výsledek testu je minimální hodnota mezi rámci, kdy nedochází k jejich ztrátě.

**Měření latence** je definováno jako čas, za který data dorazí od odesílateli k příjemci. Kvalitní připojení má co nejmenší latenci a tato latence je co nejméně proměnná.

Další definované testy jsou **měření ztrátovosti rámců, zpracování back to back rámců a zotavení systému po přetížení**. [10] [11]

### 3.1.1 Měření v praxi

Vzhledem ke složitosti a k dobrovolnému dodržování doporučení vydaných IETF se měření ustálilo na těchto základních testech.

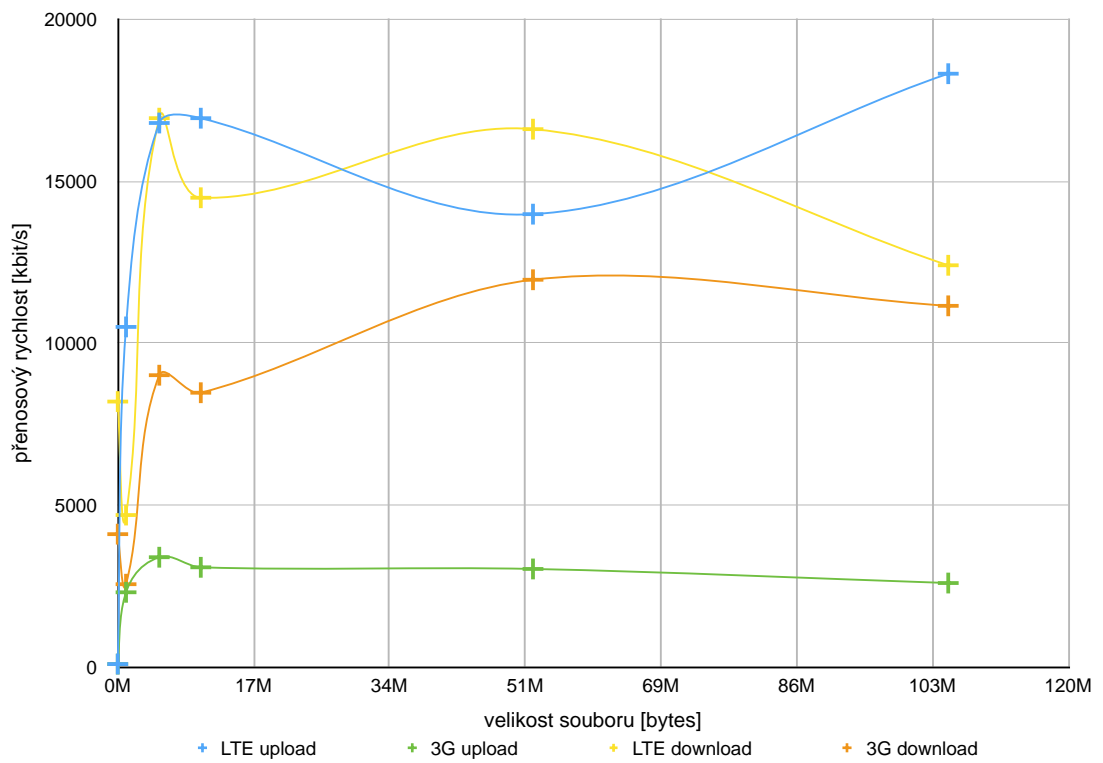
- Měření rychlosti stahování – Stáhnutí souboru o známé velikosti a na základě délky stahování, výpočet průměrné rychlosti. [bit/s]
- Měření rychlosti odchozího toku – Nahrání souboru o známé velikosti a výpočet průměrné rychlosti. [bit/s]
- Časová odezva sítě – Měření časového intervalu mezi odesláním a přijmutím odpovědi od serveru.

Cílem měření je srovnat rychlost připojení jednotlivých druhů mobilních technologií. Mluvíme tedy o GPRS, UMTS, LTE které můžeme testovat na území České Republiky. Pro posouzení rychlosti v jednotlivých mobilních sítích byly vybrány tyto parametry.

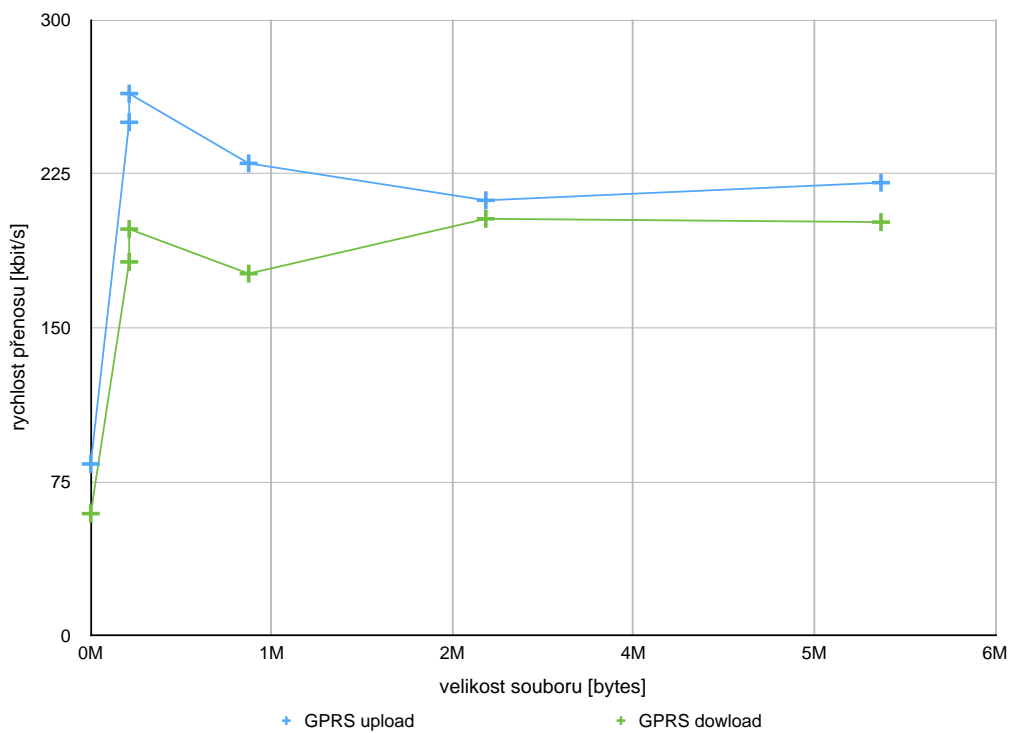
- Měření rychlosti stáhnutím souboru pomocí FTP protokolu
- Přenosová rychlost stahování vzorové webové stránky
- Měření maximální rychlosti nahrávání pomocí FTP protokolu
- Měření odezvy sítě – ping test

Jednotlivé nastavení měření se mění podle druhu testu. Před nastavováním jednotlivých specifických požadavků v měření, jsme proměřili charakteristiku velikosti souboru na přenosové rychlosti.

Z těchto charakteristik jsme vyčetli, že je nesmyslné používat malé velikosti souborů pro testování mobilních sítí. Minimální velikost jsou 4MB, kdy poprvé dostáváme průměrnou rychlost pro UMTS a LTE. U systému GPRS je tato hranice ještě nižší okolo 150 kB. [10]



Obr. 3.1 Průměrná naměřená přenosová rychlost v závislosti na velikosti souboru, LTE, UMTS



Obr. 3.2 Průměrná neměřená přenosová rychlost v závislosti na velikosti souboru, GPRS



### 3.1.2 Statický test

Test při němž se měřicí stanice nepohybuje. Test zahrnuje naměření hodnot na vybraných místech, v různých časech. V softwaru ROMES se využívá Data Quality Analyzer v lineárním módu.

Měření bylo provedeno na 4 místech. Tato místa jsou označena na mapě viz Obr. 3.3. Absolutní délka testu nemění vypovídající hodnotu výsledků. Připojení do sítě je provedeno pomocí Huawei E398. A před začátkem měření se vybere pomocí ovladače měřená mobilní síť.

Přenosová rychlost downlinku je nastavena jako postupné stahování 2 souborů z FTP serveru. Velikost jednoho souboru je 5Mib

Měření přenosové rychlosti uplinku je nastaveno jako postupné nahrávání 2 souborů o velikosti 5Mib na server pomocí FTP protokolu.

Měření časové odezvy sítě je nejméně časově náročné. Při tomto měření posíláme 30 požadavků na server, které dále vyhodnocujeme.

Pro měření přenosové rychlosti stahování webové stránky je zvolena referenční webová stránka dle doporučení ETSI (European Telecommunications Standards Institute) která je dostupná na adrese [www.radio.feec.vutbr.cz/Copernicus/Copernicus.htm](http://www.radio.feec.vutbr.cz/Copernicus/Copernicus.htm).

Celková doba měření je v ideálních podmínkách 1 minuta pro LTE, minuta a 30 vteřin pro UMTS a pro GPRS 8 minut a 30 sekund. V tabulkách naměřených hodnot jsou přiloženy vypočítané veličiny. Pro vyhodnocení uplinku a downlinku je vypočítána průměrná hodnota přenosových rychlostí. Aritmetický průměr je byl stanoven ze dvou hodnot přenosových rychlostí pro jednotlivé soubory. Pro měření časové odezvy sítě je spočítán průměr z naměřených hodnot a jejich maximální a minimální hodnota.



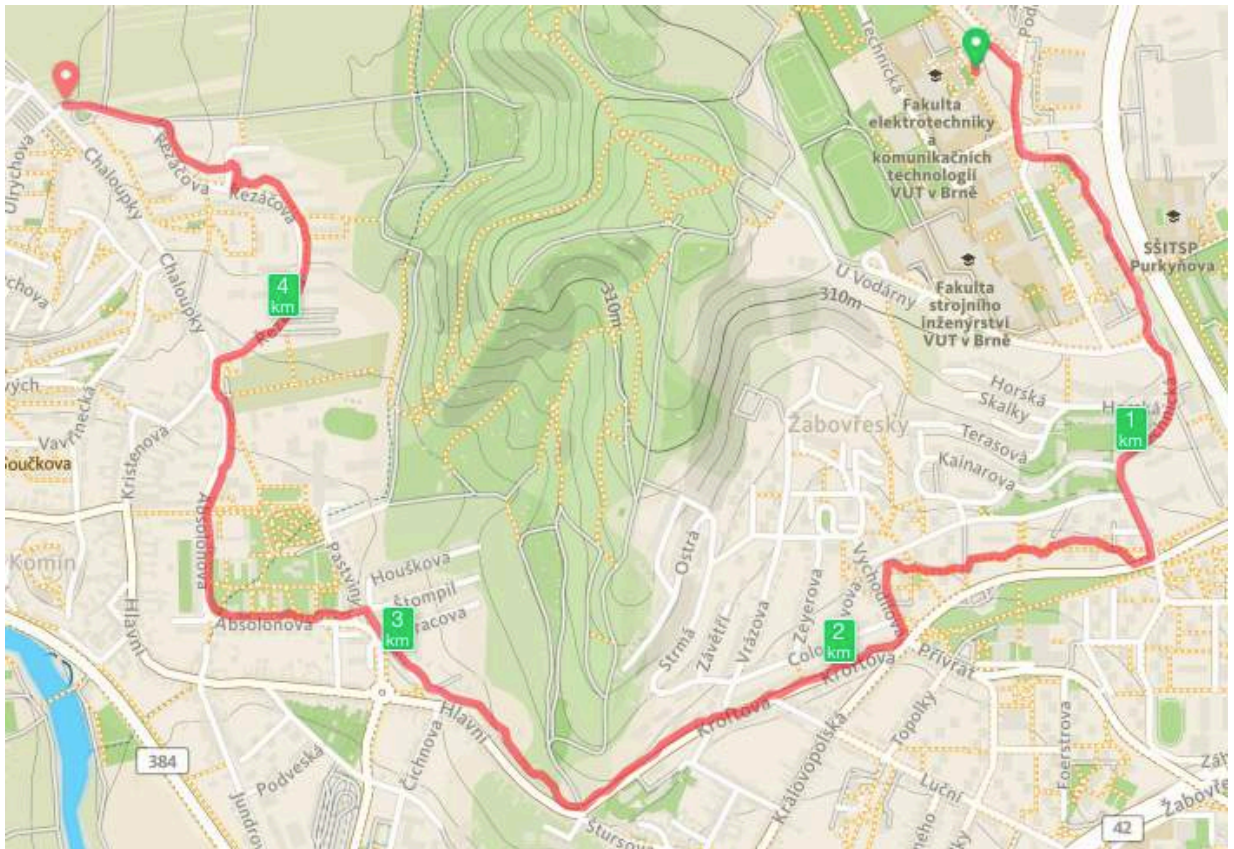
Obr. 3.3 Stanoviště pro měření statického testu[12]

Při provádění testů se snažíme měřit na co nejvíce stanovištích rovnoměrně

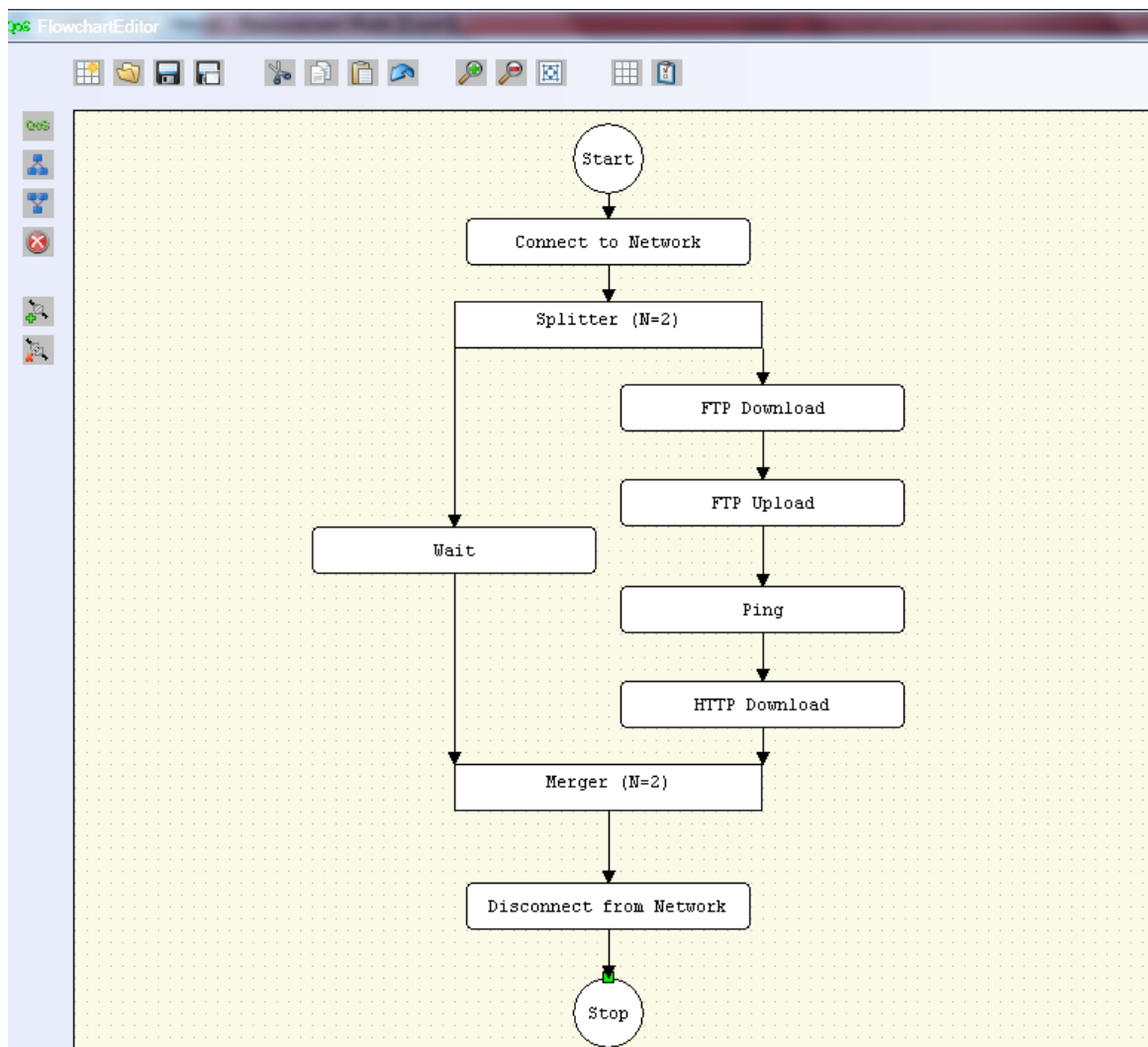
rozložených na měřeném území. Toto měření by mělo být provedeno několikrát v různém časovém období.

### 3.1.3 Dynamický test

Test při kterém na dané trase mobilní stanice pohybuje. Tento test klade vyšší nároky na síť vzhledem k nutnosti přechodu mezi buňkami a Dopplerovu efektu. Pro interpretaci výsledků musíme zajistit také stejný počet měření na měřené trase a aby měření probíhalo na stejných úsecích. Měření bylo prováděno ve dvou rychlostech, při chůzi, kdy byla průměrná rychlost 6 km/h a při jízdě automobilem 30 km/h . Trasa byla 5 km dlouhá a její průběh byl zaznamenán pomocí GPS trackeru viz obrázek Obr. 3.4. Pro úspěšné sestavení tohoto měření musíme využít flow mode softwaru ROMES.



Obr. 3.4 Záznam měření při pohybu rychlostí 6 km/h [12]



Obr. 3.5 Schéma měření dynamického testu

Connect to network – povel při kterém se stanice připojí do sítě.

FTP download – akce pro zahájení stahování 1 souboru z FTP serveru. Velikost jednoho souboru je závislá na použité technologii, tak aby během jedné periody měření se využil celý čas pro stahování. Maximální čas na vykonání tohoto procesu je 30 vteřin.

FTP upload - Měření přenosové rychlosti uplinku je nastaveno jako postupné nahrávání jednoho souboru o odpovídající velikosti pomocí FTP protokolu. Maximální čas na provedení tohoto povelu je 30 vteřin.

Ping test - Měření časové odezvy sítě je nejméně časově náročné. Při tomto testu je měření časově omezeno. Za dobu 15 s se provede tolik ping testů kolik systém stihne.

HTTP download - Přenosová rychlost stahování webové stránky je naměřena jako stáhnutí referenční webové stránky dle doporučení ETSI (European Telecommunications Standards Institute), která je dostupná na adrese [www.radio.feec.vutbr.cz/Copernicus/Copernicus.htm](http://www.radio.feec.vutbr.cz/Copernicus/Copernicus.htm). Maximální délka stahování nesmí překročit minutu.

Disconnect from Network – Odpojení od sítě.

Stop – konec cyklu.

Celková doba měření je ohraničena provedením akcí v obou větvích. V jedné větvi se jedná o časovač Wait 135 sekund a ve větvi druhé se jedná o součet maximálních časů jednotlivých akcí, což je 135 sekund. Pokud větev kde se odehrávají akce skončí dřív systém čeká na vykonání akce wait a až poté pokračuje.

Trasa je zaznamenána pomocí GPS lokátoru a naměřená data přiložena ve výsledcích měření ve formě mapy.

V tabulkách naměřených hodnot je vypočtena průměrná rychlost stahování pro celou trasu a také pro části rozdělené po kilometru.

Při provádění tohoto testu se projde několik tras na měřeném území při konstantní rychlosti. Při zpracování je každá trasa rovnocenná.

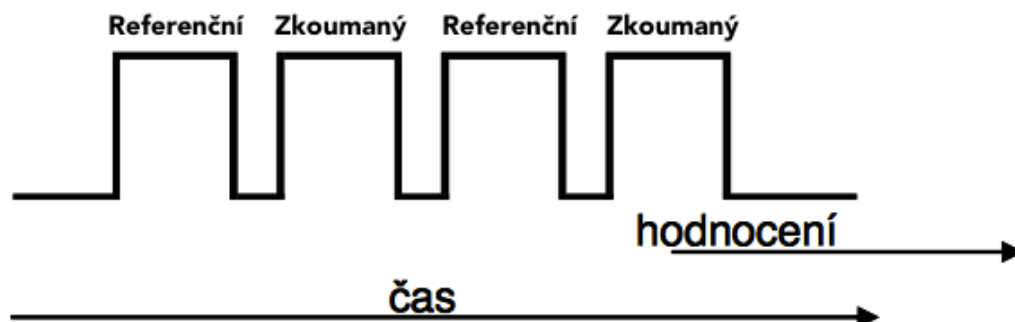
## 3.2 Speciální testy

Vyšší přenosové rychlosti umožňují poskytovat nové služby při připojení do mobilní sítě, například vysílání rozhlasu či příjem videa ve vysokém rozlišení. Tato problematika může měřena a testována pomocí softwaru ROMES a dalších návazných programů

### 3.2.1 Subjektivní hodnocení kvality video sekvencí

Při tomto druhu testů zkoumáme vliv scény na reálného uživatele. Metody jsou časově náročné a jsou neslučitelné s použitím v reálném čase. Pro tyto metody je nutné vybrat diváky, kteří na základě předem definovaných požadavků subjektivně posuzují vnímanou kvalitu obrazu. Pro subjektivní měření videa existují normy a doporučení, které se liší pro jednotlivé kvality videa HDTV, SDTV. Základní dělení metod je podle počtu sekvencí promítaných subjektům.

- Metody s použitím dvou sekvencí – pozorovateli se promítá referenční a testovaný snímek. Originál i degradovaný snímek jsou označeny. Typická délka snímků je 10 sekund ukázky a 3 sekundy šedého obrazu.



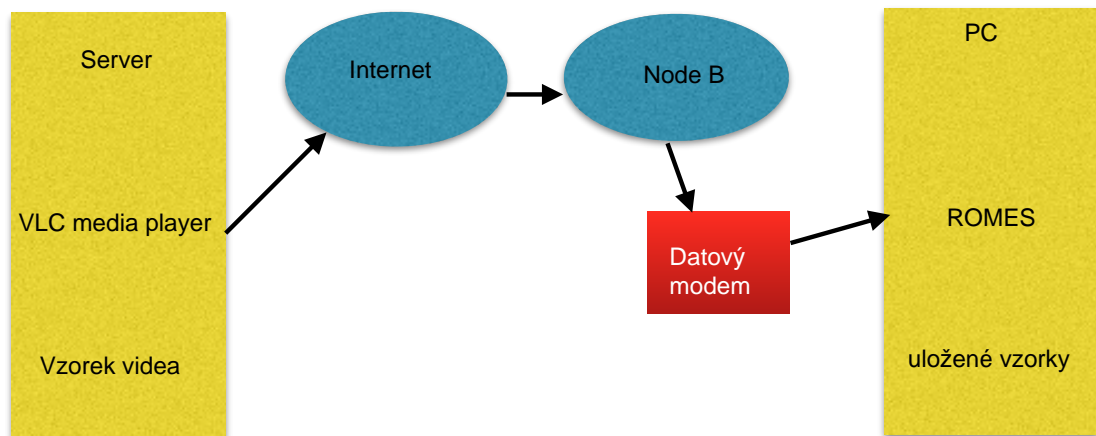
Obr. 3.6 Schéma při využití subjektivního testu spoužitím dvou sekvencí

- Metoda s použitím jedné sekvence – Pozorovateli je kontinuálně promítán

obraz a ten neustále zaznamenává kvalitu přenosu.

Vzhledem k jednodušší interpretaci využijeme metodu s použitím dvou sekvencí. Cílem bude zjistit v jaké kvalitě a jestli vůbec jsme schopni přenášet proud videa mobilních sítí. Vzhledem k nízkým datovým tokům u GPRS a EDGE se zaměříme na kvalitu u LTE a UMTS.

Server umístěný na Fakultě elektrotechniky (emocuc.urel.feec.vutbr.cz) vysílá proud videa ve smyčce. Tato smyčka má délku 10 vteřin. Server využívá protokol HTTP v multicast módu, kdy může jakýkoli účastník bez hesla se připojit a sledovat proud.



Obr. 3.7 Schéma pro měření kvality video sekvencí

Vzorové video je kódováno podle kodeku MPEG 4 H.264. Software ROMES skrz USB modem se k videu připojí a poté 10 vteřinový záznam nahraje a uloží zase ve formátu MPEG 4 H.264.

Poté je vytvořena testovací sekvence, kde první se přehrává vzor a následně zkoumaná sekvence, poté znovu vzor a druhá zkoumaná sekvence. Mezi jednotlivými ukázkami je 3 vteřinová šedá obrazovka.

Subjekt odpovídá do připraveného dotazníku, kde zatrhává svou volbu po každém zkoumané sekvenci. [14]

### 3.2.2 Objektivní hodnocení kvality videosekvencí

Vzhledem k rychlosti, snazší interpretaci a opakovatelnosti měření se upřednostňují metody objektivní. Historicky nepříliš přesné, ale v dnešní době výsledky dobře korelují s výsledky objektivních měření. Základní dělení metod:

- Metody s úplnou referencí – U těchto metod je dispozici referenční snímek i snímek zkreslený. Další dělení metody je na pixelově orientované metriky (PSNR – peak signal to noise ratio, NRMSE – normalised root mean square error) a metody založené na modelu lidského vidění (HVS – human visual system).
- Metody s částečnou referencí – Není nutné mít celý referenční snímek, stačí pouze některé informace o obsahu videa například informace o hranách.

- Metody bez reference – Referenční snímek není potřeba, ale problematika ohledně toho co je a není rušení je velmi vážná. Například pokud zkoumáme blokové artefakty v obraze, poté obraz šachovnice je vyhodnocen jako velmi problematický. Z tohoto důvodu se metodiky bez reference koncentrují vždy nějakým specifický druh rušení. Velká výhoda tohoto druhu měření je ve chvíli, kdy není dostupný originální snímek.

Vzhledem k přesnosti, je nejlepší využít pro testování mobilních sítí metody s úplnou referencí. [14][15]

### 3.3 Testování kvality řeči

Při testování kvality řeči je pro měření důležitý celkový dojem subjektu.

Z tohoto důvodu byli nejdříve vytvořeny metody subjektivní, které určovaly srozumitelnost telefonního hovoru. Tyto metody se dělí na dva druhy.

- Konverzační metody – Při testu jsou potřeba dva subjekty, které vedou dialog ve dvou zvukově oddělených místnostech. Na základě hovoru hodnotí na pevně dané stupnici výsledky testu.
- Poslechové metody – Při této metodě je potřeba pouze posluchač, jemuž jsou vzorky řeči přehrávány. On jednotlivé vzorky hodnotí.

Testování kvality řeči je nutné zpracovávat dle norem ITU-T. Pro subjektivní metody existuje norma ITU-T P.800, která definuje test na principu hodnocení srozumitelnosti telefonního hovoru. Z této normy vychází i stupnice MOS (Mean opinion score)

tab. 3.1 Slovní hodnocení MOS dle ITU-T P.862 [13]

MOS	Kvalita	Vada
5	Výborná / Excellent	Nepostřehnutelná
4	Dobrá / Good	Slyšitelná ale ne nepříjemná
3	Ucházející / Fair	Lehce nepříjemná
2	Špatná / Poor	Nepříjemná
1	Nedostatečná / Bad	Velmi nepříjemná

Vzhledem k náročnosti na provedení subjektivních testů bylo nutné vytvořit ekvivalentní objektivní testy, které budou schopny analyzovat řečové signály co nejpřesněji a jejich výsledky se budou blížit subjektivním testům. Výsledek této snahy je norma ITU-T .P.862., která definuje výpočet podle algoritmu PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality) .

Základ této metody je porovnání referenčního vzorku se vzorkem zkresleným. Algoritmus PESQ pracuje ve třech krocích.

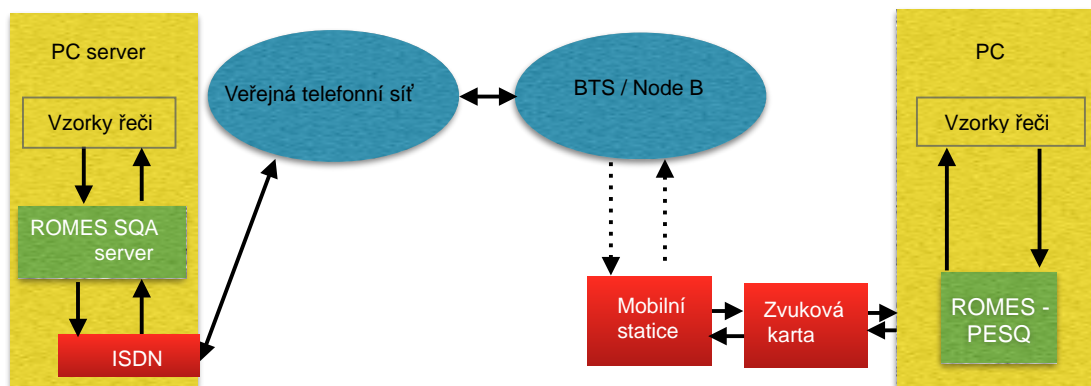
- **Předzpracování** – Srovnání úrovní přijatého a referenčního signálu. Časová synchronizace obou signálů. Tento krok je prováděn několikrát během jedné periody srovnávání, vzhledem k možnosti změny časového

posuvu během kódování

- **Tvorba modelu vnímání** – přenesení obou signálů do časově frekvenční oblasti. Využívá se rychlé Fourierovy transformace a Hanningova okna. Poté mapování do „Bark“ měřítka, které se přibližuje svou frekvenční charakteristikou lidskému sluchu. Transformace intenzity zvuku z fyzikálního akustického tlaku do měřítka hlasitosti Sone. Poslední část se zabývá hledání maskovacích prahů a hledáním míst kde šum má větší výkon než práh. Tento signál je nutné vyhodnotit jako rušivý.
- **Vyhodnocení pomocí kognitivního modelu** – V této části je snaha zajistit maximální podobnost výsledků objektivního měření s měřením subjektivním. Paralelní zpracování signálů ve dvou větvích, které simulují asymetrický efekt vnímání zkreslení. Výsledek je lineární kombinace výstupních hodnot obou větví.

Výsledky algoritmu PESQ jsou v rozsahu 0,5 až 4,5. I přes neschopnost vyhodnotit krajní část charakteristiky, dosahuje algoritmus průměrné korelace  $\rho = 0,935$

ROMES neobsahuje testované vzorky řeči. Ty mohou být například staženy ze stránek ITU-T <https://www.itu.int/net/itu-t/sigdb/genaudio/AudioForm-g.aspx?val=10000501> dle normy ITU-T P.501.



Obr. 3.8 Schéma testování hlasových signálů

PC server je připojen do veřejné telefonní sítě. Na tomto serveru je nainstalován program SQA server, který ukládá svůj díl výsledků (uplink od mobilní stanice). Testování může probíhat v obou směrech:

**Downlink** – Po zahájení hovoru server přehraje známý vzorek řeči, ten je přijat mobilní stanicí a poté pomocí analogového audio výstupu přenesen ke zvukové kartě, která signál konvertuje do digitální podoby. Poté je tento signál porovnáván s originálním nedegradovaným signálem, který je nahrán v počítači. Pomocí PESQ je vypočtena hodnota MOS.

**Uplink** – Po zahájení hovoru je přehrán vzorek řeči ten vstupuje do kodéru mobilní stanice, tento signál je přijat SQA serverem. Degradovaný vzorek je uložen a zpracován a proběhne výpočet dle PESQ.

Testování řeči probíhá vždy stejně neohledně na to jakou technologii přenosu používáme.

Vzhledem omezenému počtu ukázek mluvené řeči na stránkách ITU-T, doporučuji

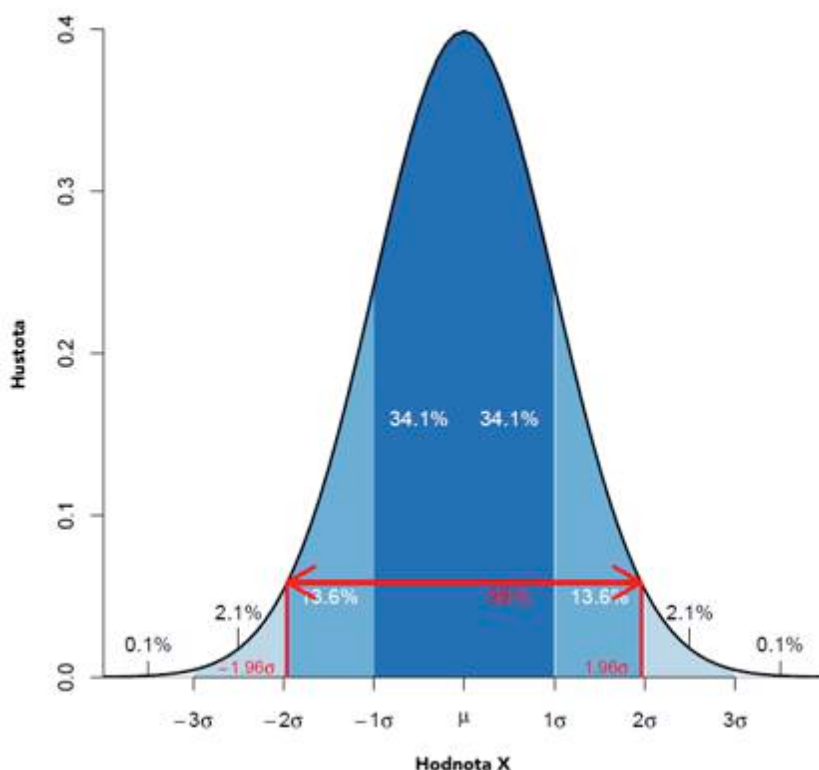
použit pro testování ukázkou Polštiny, jako jediného zástupce ze skupiny západoslovanských jazyků. Druhou ukázkou by mohla být angličtina jako nejpoužívanější jazyk při mezinárodní komunikaci.

[8][13][7][23]

## 4 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Pouze naměřené hodnoty nám nedávají celý obraz o výsledku měření. Pro kompletní výsledek je nutné měření statisticky vyhodnotit.

Pro vyhodnocení měření (mluvíme hlavně o výsledku dat z testování datových přenosů) využíváme normálního neboli Gaussova rozdělení. Toto rozdělení se typicky využívá pro hodnocení výsledků měření, kdy chyby měření jsou způsobené velkým počtem nezávislých příčin.



Obr. 4.1 Teoretické normální rozdělení [16]

Pro vypočtení statistická chyba pro normální rozdělení používáme tento vztah:

$$PR(p) = k \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}, \quad (4.1)$$



kde  $PR(p)$ .... statistická chyba měřené veličiny,

$k$  .....je kritická hodnota pro konfidenční interval neboli interval spolehlivosti (pro běžně užívaný konfidenční interval 95%, a normální rozložení je podle tabulek distribuční funkce standardizovaného normálního rozložení  $k = 1,96$ ),

$p$  .....je poměrné vyjádření úspěšných měření,

$n$  .....je celkový počet provedených měření.

## 4.1 Výpočet statistické chyby pro statický test:

Pro test downlinku při stahování 4 souborů na 100 stanovištích a tento test jsme provedli během sledovaného období čtyřikrát. Proto platí:

$$n = 4 * 100 * 4 = 1600$$

Při využití souboru dat obsahujícího 1600 měření a při průměrné hodnotě sledovaných statistik  $p=0,95$ , má měřená veličina statistickou chybu.

$$PR(p) = k \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = 1,96 \sqrt{\frac{0,95(1-0,95)}{1600}} = 0,0107, \quad tj. \pm 1,07\%$$

Vyhodnocení uplinku je analogické. Pro výpočet ping testu, se využívá stejný vztah. 30 požadavků na server 100 stanovišť a test proběhl čtyřikrát.

$$n = 30 * 100 * 4 = 12000$$

$$PR(p) = k \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = 1,96 \sqrt{\frac{0,95(1-0,95)}{12000}} = 0,00389 \quad tj. \pm 0,39\%$$

Pro výpočet statistické chyby při měření webové stránky stále vycházíme ze vztahu (1).

$$n = 1 * 100 * 4 = 400$$

$$PR(p) = k \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = 1,96 \sqrt{\frac{0,95(1-0,95)}{400}} = 0,0213 \quad tj. \pm 2,13\%$$

Při analýze vzorce vidíme, že snižování statistické chyby lze dosáhnout při zvětšení počtu prováděných měření. Tato závislost je nepřímo úměrná. [8]

## 4.2 Výpočet statistické chyby pro dynamický test

Pokud se pohybujeme rychlostí 6km/h jeden kilometr trasy jsme schopni projít za 10 minut. Jedno měření dynamického testu trvá 135 vteřin. Během kilometru trasy zpracujeme tento počet měření.

$$m = \frac{t * 60}{T} = \frac{10 * 60}{135} = \frac{600}{135} = 4,4\bar{4},$$

kde  $t$  ... délka měření v minutách  
 $T$  ... perioda jednoho měření v sekundách  
 $m$  ... počet měření na kilometr

Pro vyhodnocení uplinku a downlinku je nutné analyzovat počet měření takto. Při provedení měření na 10-ti trasách o délce 5km a dvou opakováních je počet měření tento

$$n = 10 * 5 * 4,44 = 222,2$$

Vzhledem k možnosti pouze konečného počtu měření je  $n=222$ .

$$PR(p) = k \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = 1,96 \sqrt{\frac{0,95(1-0,95)}{222}} = 0,0286, \quad tj. \pm 2,87\%$$

Při vyhodnocování Ping testu je vyhodnocení počtu měření náročnější, měření není omezeno počtem požadavků na server, ale časem ve kterém se snaží systém jich vyhodnotit co nejvíce. Vzhledem k využití tabulkových editorů, není problém při výsledné analýze počet pokusů spočítat. Při srovnávání různých technologií nám budou vycházet i různé statistické chyby. Výsledné hodnoty

LTE	15 576 ping testů.....	0,34%
UMTS	12 456 ping testů.....	0,38%
GPRS	1 290 ping testů.....	1,20%

Při pohybu rychlostí 22km/h jeden kilometr trasy proměříme za 2,72 minut. Při stejné délce testu zpracujeme na kilometru pouze 1,21 délku testu.

$$m = \frac{t}{T} = \frac{2,72 * 60}{135} = \frac{163,2}{135} = 1,21.$$

Při provedení měření na 10-ti trasách o délce 5km a dvou opakováních je počet měření tento

$$n = 10 * 5 * 1,21 = 60,5$$

Vzhledem k možnosti pouze konečného počtu měření je  $n=60$ .

$$PR(p) = k \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} = 1,96 \sqrt{\frac{0,95(1-0,95)}{60}} = 0,055, \quad tj. \pm 5,55\%$$

Pro ping test

LTE	4 205 ping testů.....	0,65%
UMTS	1 477 ping testů.....	1,11%
GPRS	387 ping testů.....	2,22%

Při zvyšování rychlosti pohybu významně roste chyba měření. [19][8]

## 5 VÝSLEDKY

Měření bylo provedeno při připojení do datové sítě T-mobile, která má dostupné vysílače v okolí školy. Využívané připojení pro síť 2G jsou EDGE s maximální rychlostí downlinku až 236,8 kbit/s a uplink 118,4 kbit/s. U sítě 3G to je HSPA+ a HSPA+42, kdy maximální rychlost downlinku dosahuje 42Mbit/s a rychlost uplinku 11.5 Mbit/s. LTE má dosahovat rychlostí až 150Mbit/s v downlinku a 57,6 Mbit/s v uplinku. Po spuštění vysílače je povinnost uvést vysílač do 80% zatížení po dobu 3 měsíců. Síť LTE byla spuštěna na jaře roku 2015, z tohoto důvodu výsledky nemusí odpovídat teoretickým předpokladům [21][20][22]

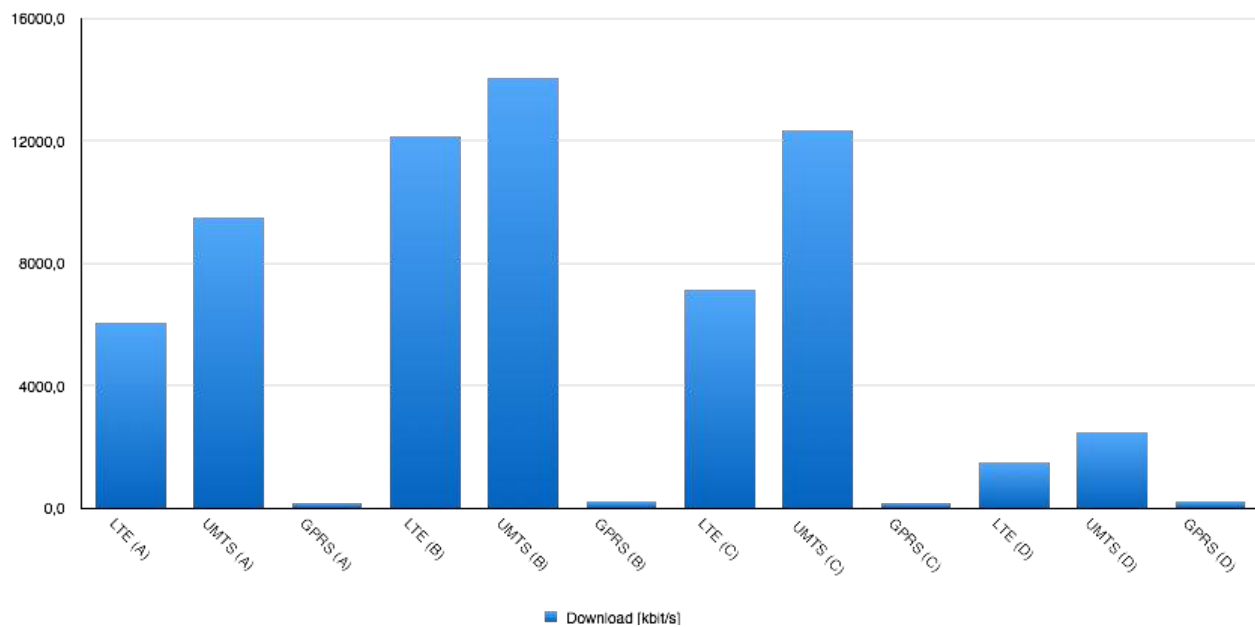
### 5.1 Statický test

Z výsledků můžeme vyčíst, že nejvyšší rychlost downlinku je pro u systému UMTS, maximální hodnota je 14,045 Mbit/s. LTE nedosahuje těchto rychlostí na žádném ze čtyř stanovišť.

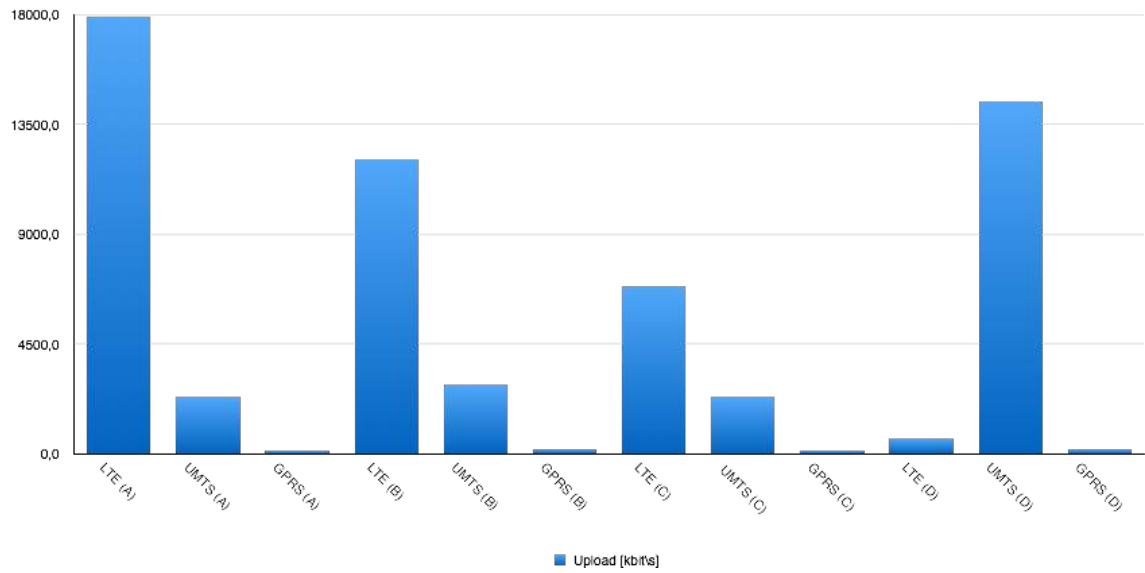
Opačný výsledek dostáváme u průměrné rychlosti odchozího toku, kde nejlepších výsledků dosahuje LTE a to 17,883 Mbit/s. Při stahování webové stránky nejlepších výsledků dosahuje LTE a tato rychlost dosahuje 2,7 Mbit/s. Ve všech případech technologie GPRS je hluboko vzdálena technologiím LTE a UMTS. Její výsledek je zajímavý svojí konzistencí, kdy ve všech čtyřech měřených bodech rychlost dosahuje minimálně v uplinku a downlinku 217 kbit/s.

Časová odezva sítě je nejkratší u sítě LTE, druhou nejrychlejší je UMTS, nejpomalejší je GPRS. U GPRS je odezva čtyřikrát delší než průměrná délka u LTE či UMTS

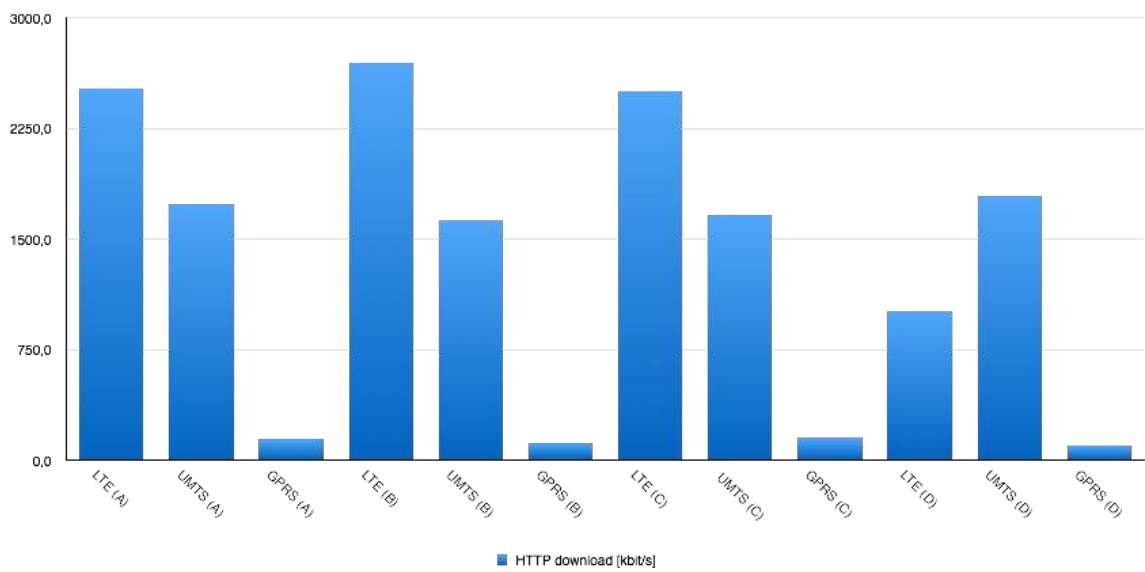
	síť	Download [kbit/s]	Upload [kbit/s]	Ping min [ms]	ping max [ms]	ping AVG [ms]	HTTP download [kbit/s]
Místo A	LTE	6047,8	17883,7	31	75	46	2518,3
	UMTS	9491,5	2340,8	37	63	47	1737,8
	GPRS	170,9	121,8	152	269	175	140,5
Místo B	LTE	12113,0	12062,1	26	47	33	2690,3
	UMTS	14045,9	2837,4	37	59	45	1626,8
	GPRS	184,5	172,5	171	212	188	120,3
Místo C	LTE	7109,2	6870,8	31	57	35	2503,7
	UMTS	12303,0	2321,3	39	66	49	1662,7
	GPRS	160,2	130,1	152	265	170	150,2
Místo D	LTE	1469,4	596,7	32	89	43	1007,9
	UMTS	2475,4	14405,6	36	48	42	1790,0
	GPRS	179,6	185,0	156	264	181	101,2
celkově	LTE	6684,8	9353,3	30,0	67,0	39,3	2180,1
	UMTS	9578,9	5476,3	37,3	59,0	45,8	1704,3
	GPRS	173,8	152,4	157,8	252,5	178,5	128,1



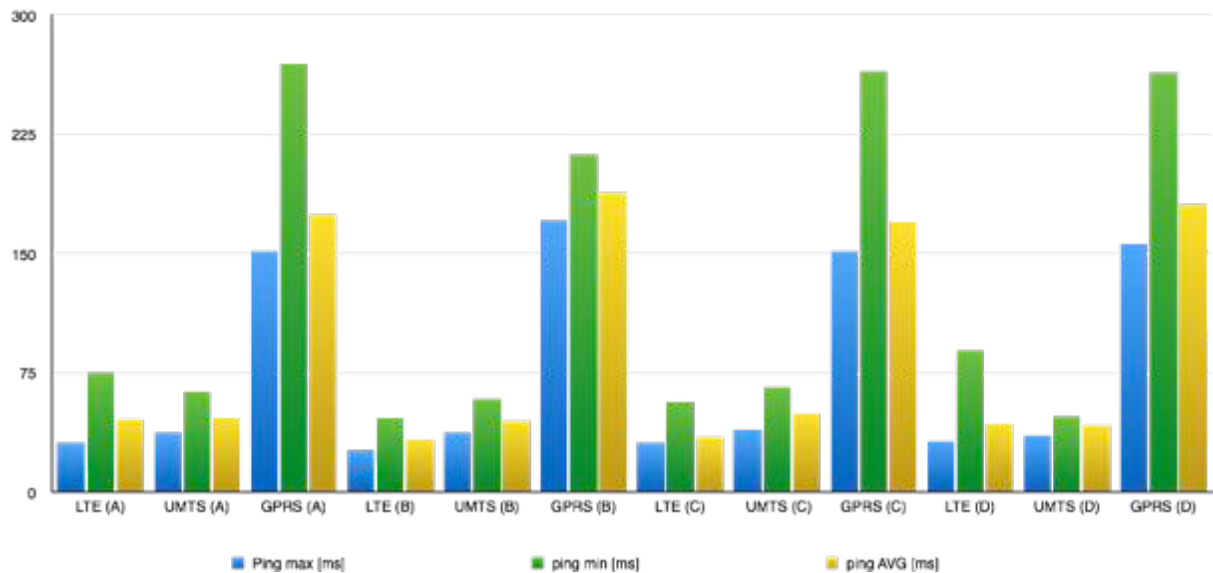
Obr. 5.1 Průměrná rychlost stahování pomocí FTP, statický test



Obr. 5.2 Průměrná rychlost odchozího toku pomocí FTP, statický test



Obr. 5.3 Přenosová rychlost stahování vzorové stránky, statický test



Obr. 5.4 Časová odezva sítě, statický test

## 5.2 Dynamický test

Měřená pěti kilometrová trasa byla rozdělena na kilometrové úseky, které byly vyhodnocovány. Výsledky naměřené v síti LTE jsou zkráceny, vzhledem k výstavbě infrastruktury LTE sítě, čtvrtá část měřeného nebyla během měření pokryta signálem.

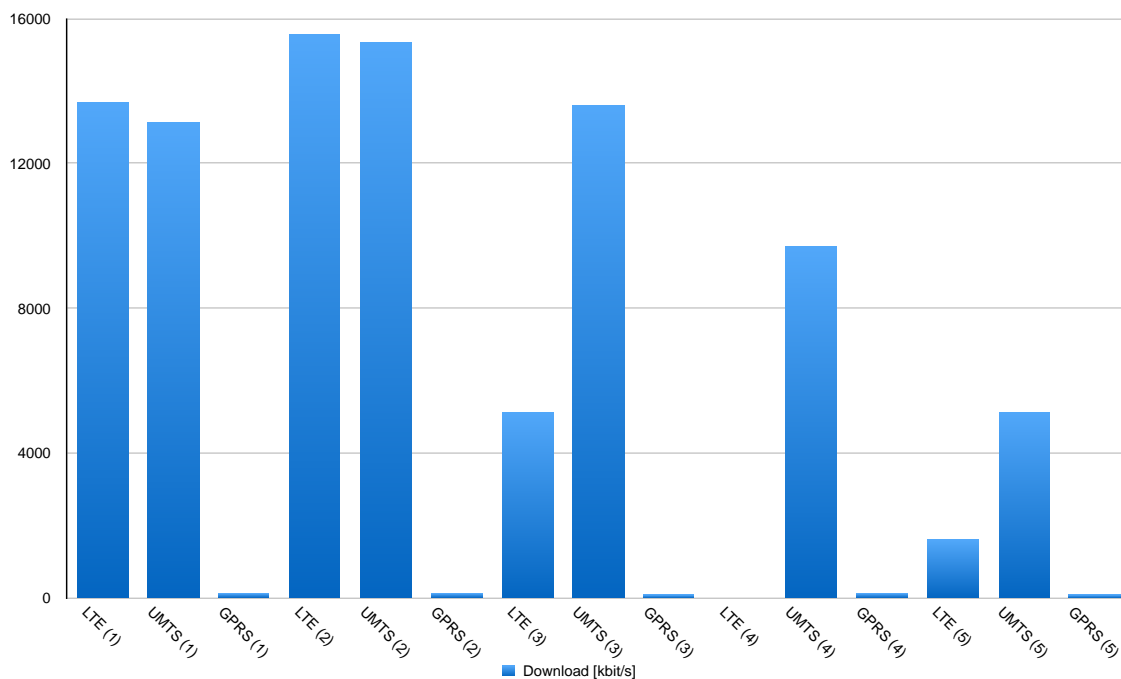
Nejvyšší rychlost stahování byla naměřena ve třetím úseku při rychlosti 6 km/h a to u sítě LTE 19 Mbit/s. Nejvyšší rychlosti odchozího toku bylo dosaženo v prvním úseku měřené trasy při rychlosti 6 km/h. Ve všech částech měřené trasy byla síť UMTS při rychlosti podat dobré výsledky pro stahování webové stránky.

Při měření časové odezvy sítě, jsme dosáhli výsledků velmi blízkých, jak u statického testu. Pouze síť LTE ukazovala malou odchylku od předchozích měření, kdy při rychlosti 30km/h byla průměrná časová pomalejší než síť 3G.

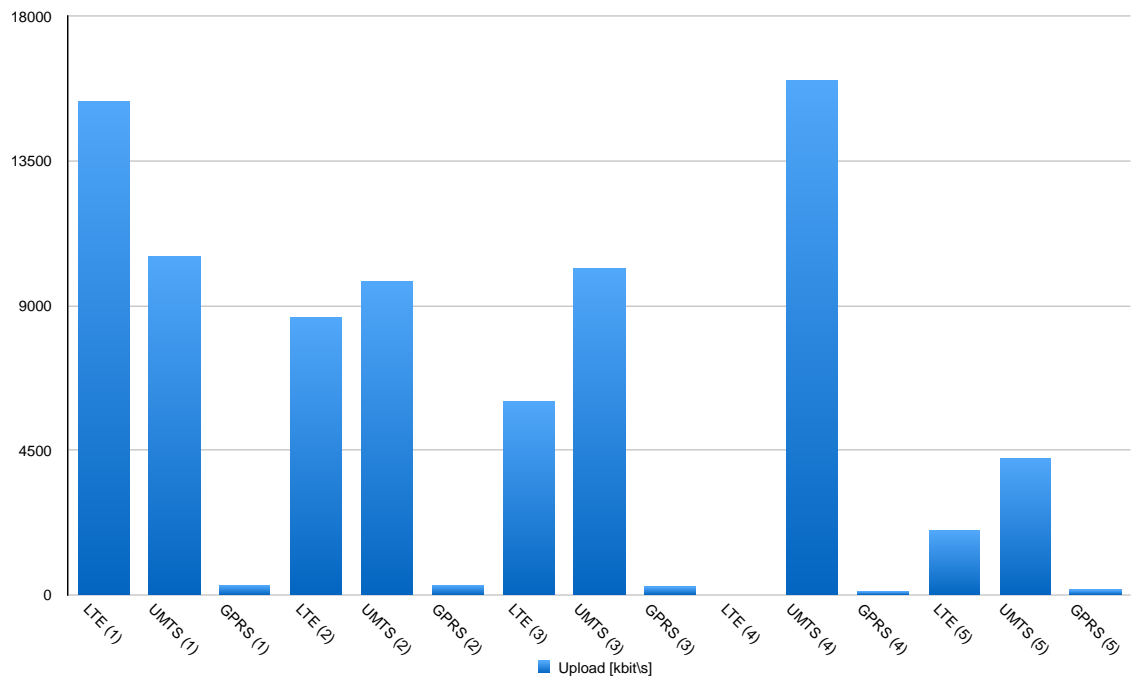
Z výsledků vychází, že chůze nemá vliv na zhoršení přenosových vlastností sítě. U rychlosti 30 km/h již můžeme vidět snížení přenosové rychlosti, avšak tyto rozdíly nejsou markantní.

tab. 5.1 Výsledky dynamického testu při pohybu 30km/h

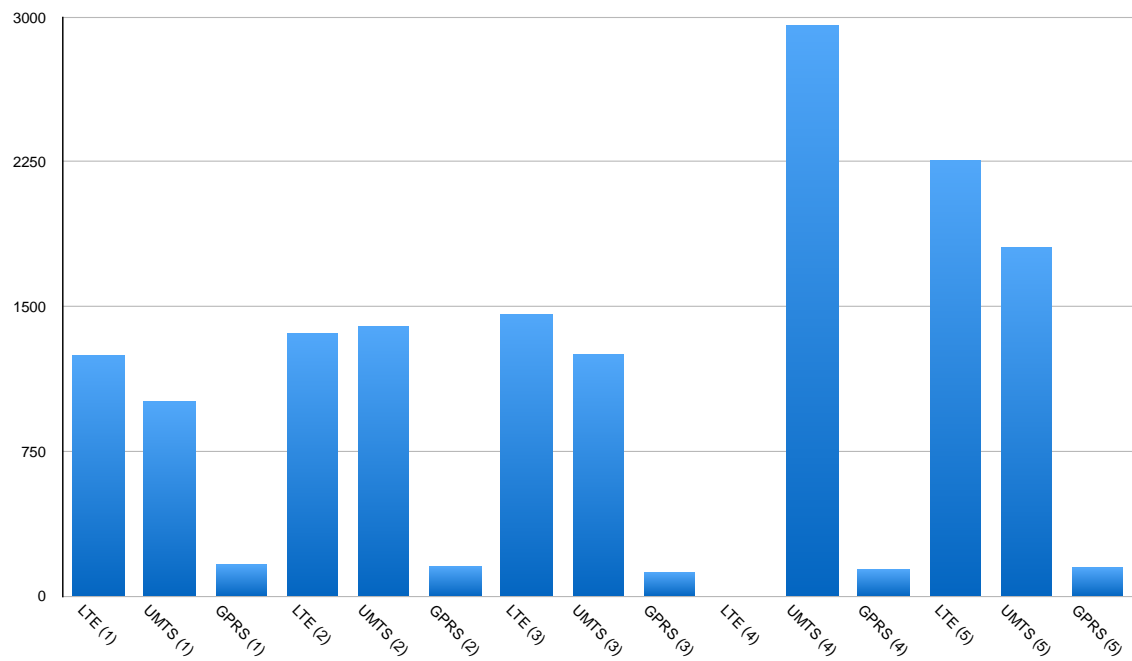
	siť	Download [kbit/s]	Upload [kbit/s]	Ping min [ms]	ping max [ms]	ping AVG [ms]	HTTP download [kbit/s]
Úsek 1	LTE (1)	13677,3	15363,7	32	75	49	1241,1
	UMTS (1)	13134,3	10534,7	29	50	36	1002,4
	GPRS (1)	133,7	280,4	176	250	181	164,7
Úsek 2	LTE (2)	15577,7	8637,3	30	54	43	1357,4
	UMTS (2)	15343,2	9737	29	55	41	1400,2
	GPRS (2)	134,2	298,3	169	231	172	150,9
Úsek 3	LTE (3)	5127,5	6007,3	31	81	47	1457,2
	UMTS (3)	13607,8	10138,5	29	41	35	1250,1
	GPRS (3)	101	240,2	157	231	168	120
Úsek4	LTE (4)	-	-	-	-	-	-
	UMTS (4)	9694,6	16014,9	29	57	44	2956,6
	GPRS (4)	126,7	130,2	193	292	210	137,5
Úsek 5	LTE (5)	1586	2009	156	261	183	2256,3
	UMTS (5)	5127,5	4253,9	32	62	41	1801
	GPRS (5)	99,2	158,7	176	262	193	145
Celkově	LTE (avg)	8992,125	8004,325	62,25	117,75	80,5	1578
	UMTS (avg)	11381,48	10135,8	29,6	53	39,4	1682,06
	GPRS (avg)	118,48	224,16	173,4	254	185,2	144,4



Obr. 5.5 Průměrná rychlost stahování, 30 km/h

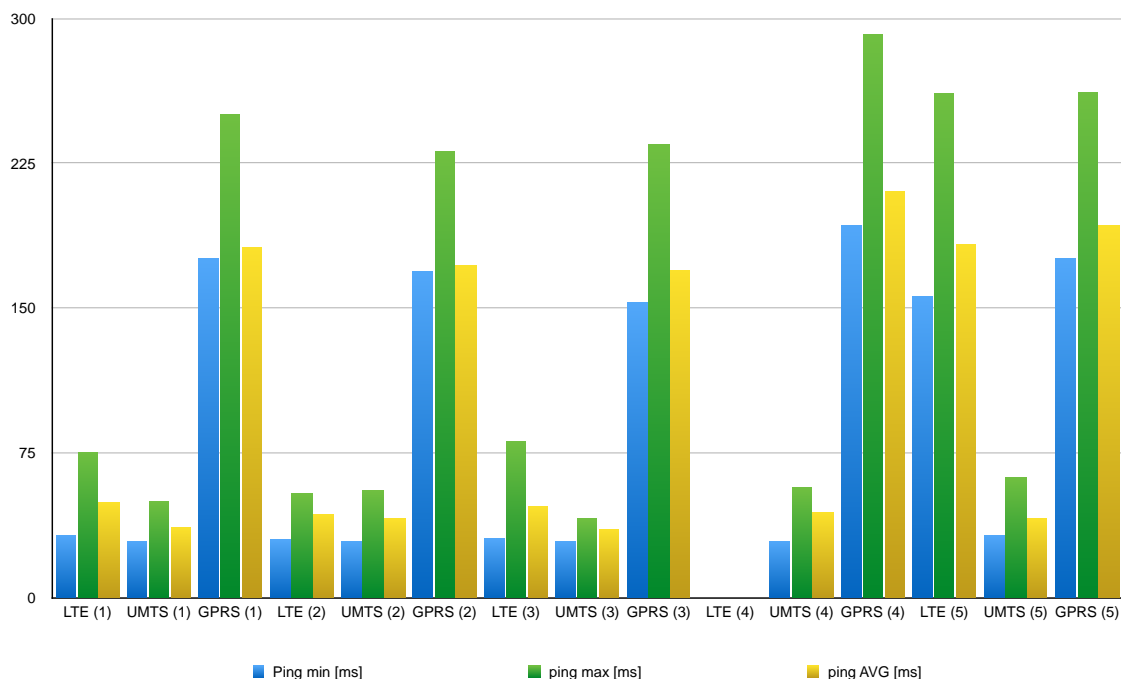


Obr. 5.6 Průměrná rychlost odchozího toku pomocí FTP, 30 km/h



Obr. 5.7 Průměrná rychlost stahování webové stránky, 30km/h

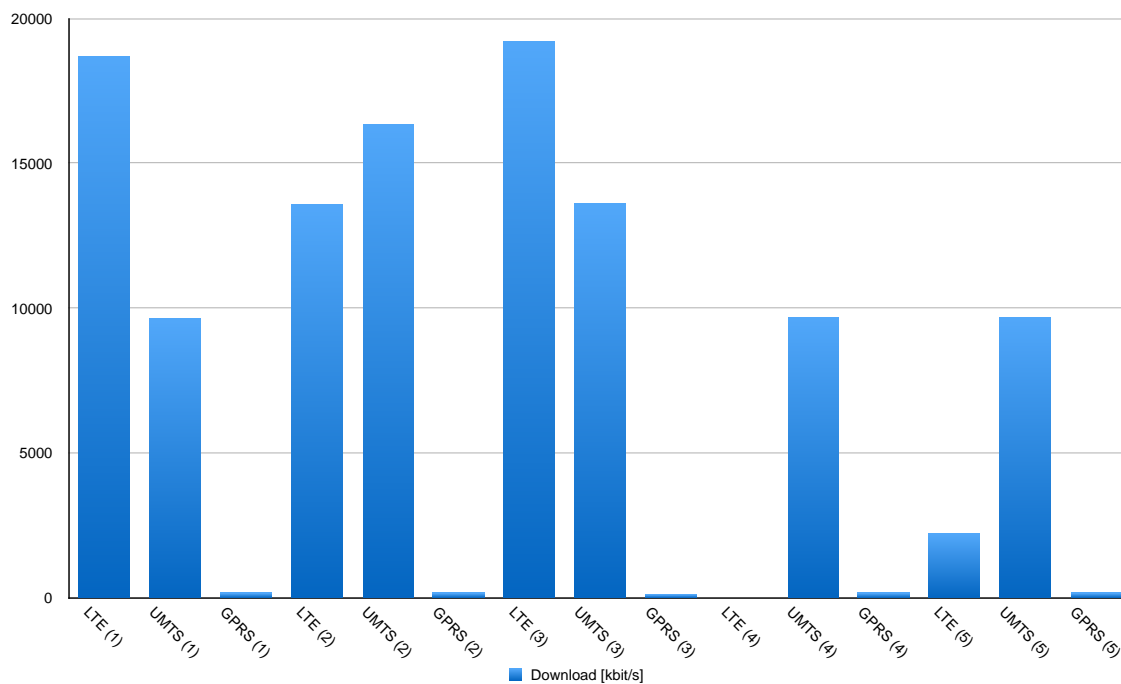




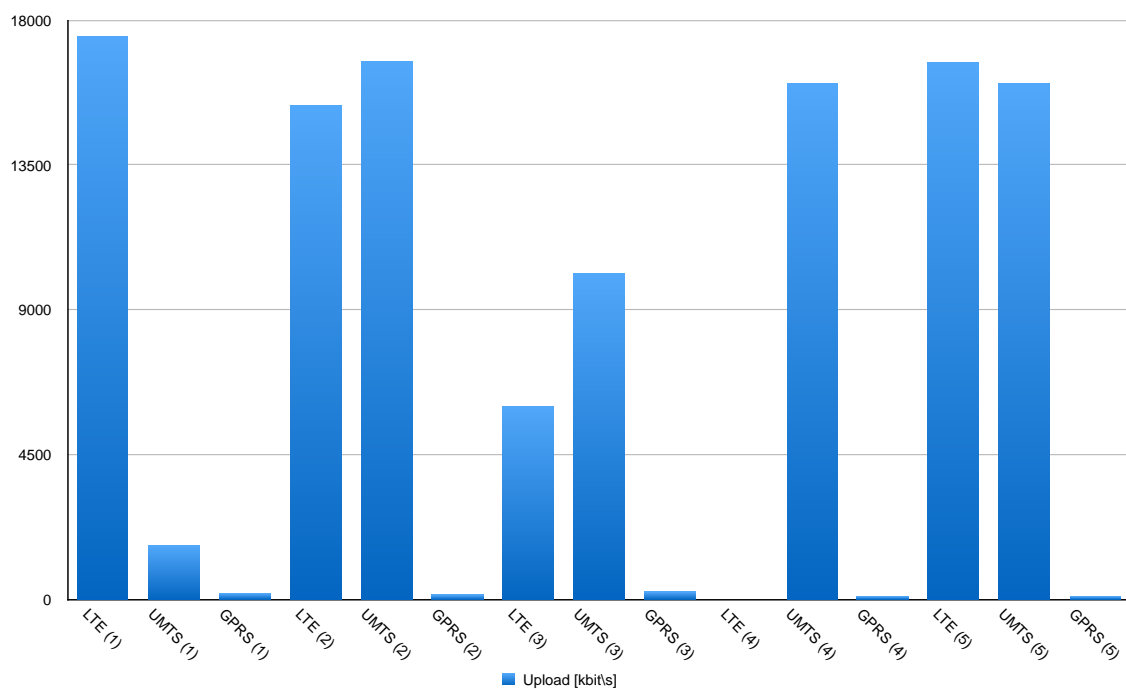
Obr. 5.8 Časová odezva sítě, 30 km/h

tab. 5.2 Výsledky dynamického testu pro rychlost 6km/h

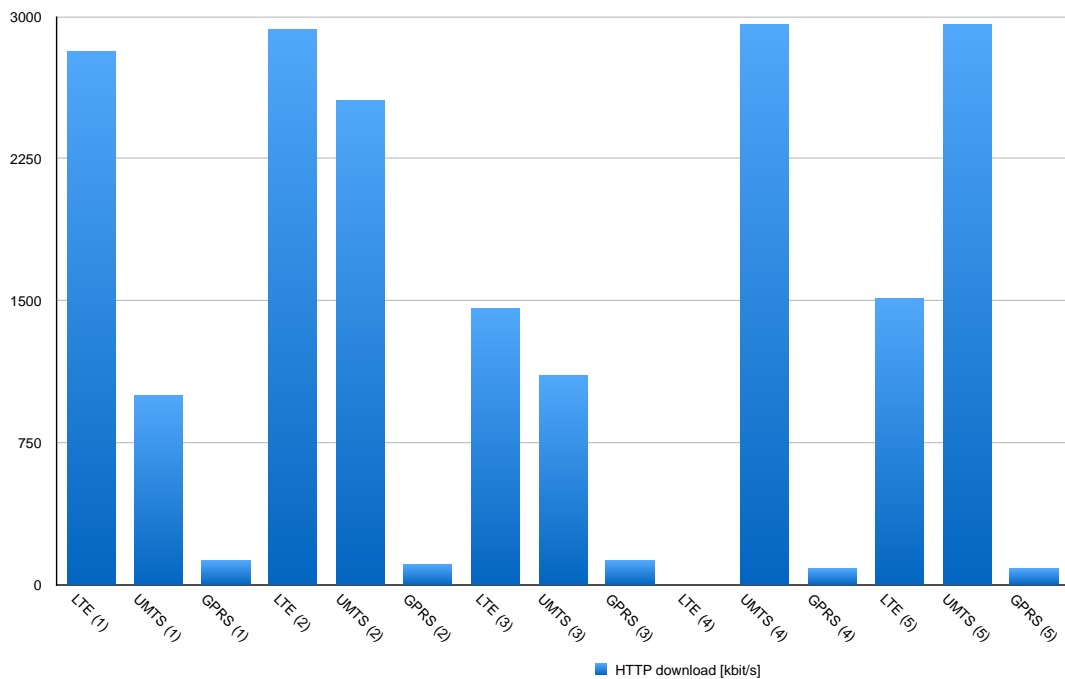
	síť	Download [kbit/s]	Upload [kbit/s]	Ping min [ms]	ping max [ms]	ping AVG [ms]	HTTP download [kbit/s]
Úsek 1	LTE (1)	1868,8	17527,4	27	43	35	2812,6
	UMTS (1)	9639	1663,3	29	50	36	999,2
	GPRS (1)	173,2	171,8	171	206	185	126,3
Úsek 2	LTE (2)	13577,7	15358,1	30	41	39	2936,6
	UMTS (2)	16343,2	16737	24	51	41	2551,6
	GPRS (2)	176	130,8	152	263	191	108
Úsek 3	LTE (3)	19170,9	6007,3	31	81	47	1457,2
	UMTS (3)	13607,8	10138,5	29	41	35	14,8
	GPRS (3)	98,6	253,2	153	235	170	123,9
Úsek4	LTE (4)	-	-	-	-	-	-
	UMTS (4)	9694,6	16014,9	29	57	44	2956,6
	GPRS (4)	175	119,8	174	193	184	86,3
Úsek 5	LTE (5)	2212,9	16697,1	32	58	45	1515,8
	UMTS (5)	9694,6	16014,9	29	57	44	2956,6
	GPRS (5)	175	119,8	174	193	184	86,3
Celkově	LTE (avg)	14185,325	13897,475	30	55,75	41,5	2180,55
	UMTS (avg)	11195,84	12113,72	28	51,2	40	1895,76
	GPRS (avg)	159,56	159,08	164,8	218	182,8	106,16



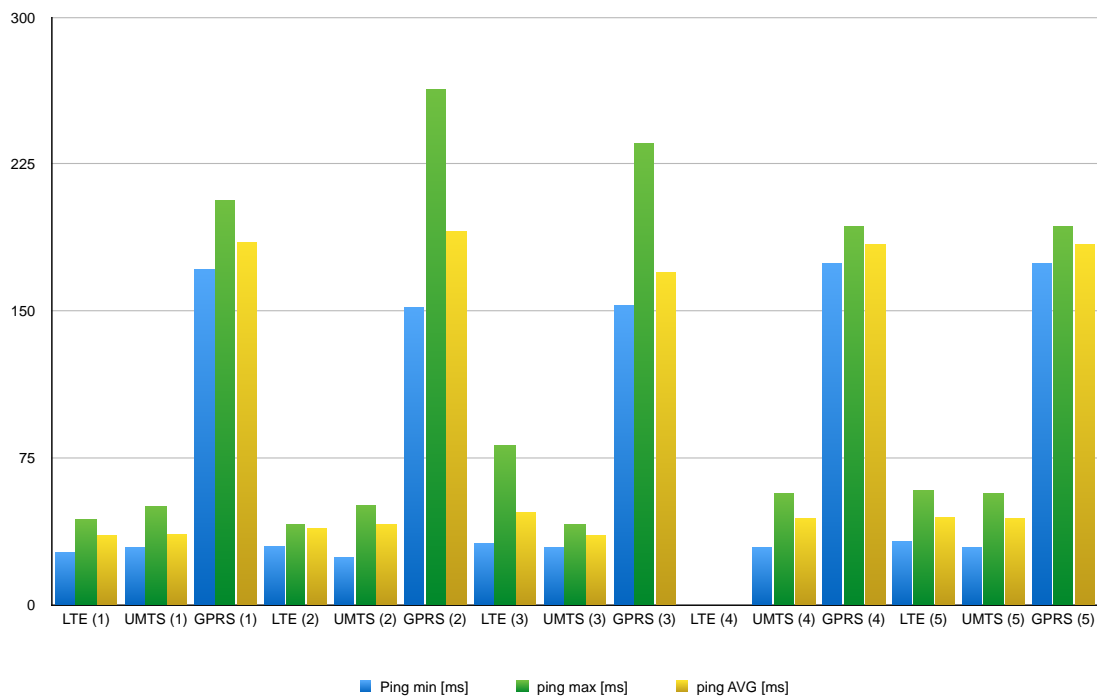
Obr. 5.9 Průměrná rychlost stahování pomocí FTP, 6 km/h



Obr. 5.10 Průměrná rychlost odchozího toku, 6 km/h



Obr. 5.11 Průměrná rychlost stahování webové stránky, 6 km/h



Obr. 5.12 Časová odezva sítě, 6 km/h

## 6 ZÁVĚR

V práci byly popsány základní principy pro metodiku testování mobilních sítí. V této problematice jsem se zaměřil na řešení, která využívají program ROMES 4.79. od firmy Rohde & Schwarz. Pro vytvoření metodiky jsem využil rádiový skener, mobilní stanici a mobilní modem.

První část popisuje možnosti programu ROMES a jejich využití, které nabízí pro testování mobilních sítí. Prakticky jsem odzkoušel funkčnost jednotlivých služeb. Služby byly odzkoušeny s rádiovým skenerem Rohde & Schwarz, s mobilní stanicí a USB modemem. Na základě této analýzy jsem zpracoval první laboratorní úlohu.

V druhé části bakalářské práce jsem vytvořil metodiku, která umožňuje porovnat parametry mobilních technologií GSM, UMTS a LTE. Při porovnávání sítí jsem se zaměřil na přenosovou rychlost, kvalitu přenosu proudového videa a řečových signálů.

Rozděлил jsem metodiku testování na několik samostatných testů, které by lépe dokázaly reprezentovat parametry sítě.

Metodika statického testu datových přenosů je založena na sekvenci úkonů, které má provést DQA driver na jednotlivých stanovištích. Na základě dat poskytnutých softwarem ROMES jsem výsledky zpracoval a analyzoval. Provedl jsem zkušební testy, na základě kterých jsem upřesnil časovou posloupnost úkonů, a nutný objem dat pro co nejpřesnější a časově rozumné zpracování. Stanovil jsem statistické vyhodnocení. Metodiku jsem otestoval na vzorku 4 stanovišť.

Metodika dynamického testu datových přenosů probíhá při pohybu měřícího zařízení. Sekvence úkonů je pozměněná, aby byla schopna lépe vyhodnotit pohyb v terénu. Po provedení zkušebních testů bylo nutné pozměnit metodiku vzhledem k nefunkčnosti GPS modulu, schopného komunikovat s softwarem ROMES. Následně jsem vytvořil doporučení, jak tyto výsledky vyhodnotit a statisticky zpracovat. Bylo provedeno měření na referenční 5 km dlouhé trase ve dvou rychlostech. Nejdříve chůzí rychlostí 6 km/h a poté v automobilu rychlostí 30 km/h.

Přenosu proudového videa a testování jeho kvality, na který navazuje popis metodiky testování řečových signálů v telefonních systémech, se věnuji v samostatné kapitole. Je zde zpracována problematika a návrh testování řeči s využitím programu ROMES aplikující algoritmus PESQ.

Software ROMES je vhodným programem pro aplikaci metodiky testování mobilních sítí s využitím rádiového skeneru R&S a mobilní stanice. Pro detailnější analýzu LTE by bylo vhodné doplnit instalace programu ROMES o specializované drivery.

# LITERATURA

- [1] R&S@TSMx Radio Network Analyzers. In: [online]. [cit. 2014-12-09]. Dostupné z: [http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datasheets/pdf\\_1/TSMx\\_dat\\_en.pdf](http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/TSMx_dat_en.pdf)
- [2] Guideline for Scanner-based Drive Tests. In: [online]. [cit. 2014-12-09]. Dostupné z: [http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_application/application\\_notes/1sp56/1SP56\\_10e.pdf](http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_application/application_notes/1sp56/1SP56_10e.pdf)
- [3] R&S@ ROMES Software Option UMTS Network Scanner. In: [online]. [cit. 2014-12-09]. Dostupné z: <http://www.isotest.es/web/Soporte/catalogos/rohde-schwarz/R&S%20ROMES.pdf>
- [4] Nokia C5-00 - Uživatelská příručka. In: [online]. [cit. 2014-12-09]. Dostupné z: [http://nds1.nokia.com/phones/files/guides/Nokia\\_C5-00\\_UG\\_cs.pdf](http://nds1.nokia.com/phones/files/guides/Nokia_C5-00_UG_cs.pdf)
- [5] R&S@TSMX-PPS2 GPS Module. In: [online]. [cit. 2014-12-09]. Dostupné z: [http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl\\_downloads/dl\\_common\\_library/dl\\_brochures\\_and\\_datasheets/pdf\\_1/TSMX-PPS2\\_bro\\_en.pdf](http://cdn.rohde-schwarz.com/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/TSMX-PPS2_bro_en.pdf)
- [6] HAJN, Pavel. *Analýza řídicí roviny mobilních sítí 4. generace*. Brno, 2013. 113 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [7] Operating Manual R&S. Munich, Germany: Romes 4 Version 4.11, 2008
- [8] HANUS, Stanislav. *Bezdrátové a mobilní komunikace II*. 1. vyd. Brno: FEKT VUT v Brně, 2005, 171 s. ISBN 80-214-2817-1.
- [9] HANUS, Stanislav. *Bezdrátové a mobilní komunikace*. 1. vyd. Brno: FEKT VUT v Brně, 2001, 134 s. ISBN 80-214-1833-8.
- [10] MODRÁK, Zdeněk. *Metody měření přenosových parametrů datových sítí*. Brno, 2013, 48 l. Bakalářská práce.
- [11] BRADNER, S. RFC 2544 – Benchmarking Methodology for Network Interconnect Devices, IETF, 1999.
- [12] *OpenStreetMap data license is ODbL v1.0* [online]. OSM Foundation, 12 September 2012,
- [13] Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs. Geneve, 2001. Dostupné také z: <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.862-200102-I/en>
- [14] ZACH, Onřej. *Nástroje pro měření kvality videosekvencí bez reference*. Brno, 2013, 62 l. diplomová práce.
- [15] NOGHE, Petr. *Objektivní hodnocení kvality videa v prostředí MATLAB*. Brno, 2011, 61 l. bakalářská práce.
- [16] *Metody robustní datové analýzy* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.adataa.com/home3.html>
- [17] *4G LTE mall* [online]. [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.4gltemall.com/huawei-e398-4g-lte-tdd-fdd-100mbps-usb-surfstick.html>
- [18] User Manual for ROMES SQA Server, 2008.
- [19] HANOUSEK, Jan a Pavel CHARAMZA. *Moderní metody zpracování dat: matematická statistika pro každého*. 1. vyd. Praha: Grada, 1992, 210 s. Educa '99. ISBN 80-85623-31-5.

- [20] *www.t-mobile.cz* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <https://www.t-mobile.cz/podpora/mapa-pokryti>
- [21] *GSA - The Global mobile Suppliers Association* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: [http://www.gsacom.com/news/gsa\\_335.php4](http://www.gsacom.com/news/gsa_335.php4)
- [22] *www.t-mobile.cz* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: <https://www.t-mobile.cz/podpora/caste-dotazy/-/refId/faq-1334229845579-session-33E8E152FFA9119CC85232F44555666Finst04>
- [23] HORÁLEK, Karel. *Úvod do studia slovanských jazyků*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 1955, 487 s.

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

DCT	Discrete Cosine Transform, diskrétní kosinová transformace
R&S	Rohde & Schwarz, výrobce měřicí techniky
GSM	Groupe Spécial Mobile, Globální Systém pro Mobilní komunikaci
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
FFT	Fast Fourier Transformation, Rychlá Fourierova transformace
GSM-R	GSM Railway, specifická GSM síť využívaná na železnicích
E-GSM	Extended GSM
GPRS	General Packet Radio Service,
CDMA	Code Division Multiple Access
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
USB	Universal Serial Bus
BTS	Base Transceiver Station
GPS	Global Positioning System
LTE	Long Term Evolution
OFDMA	Orthogonal Frequency-Division Multiple Access
CPICH	Common Pilot Channel
MIMO	Multiple-input multiple-output
ITU-T	International Telecommunication Union – Telecommunication sector
PESQ	Perceptual Evaluation of Speech Quality

# SEZNAM PŘÍLOH

<b>A</b>	<b>ÚLOHA Č.XX TESTOVÁNÍ MOBILNÍCH SÍTÍ .....</b>	<b>39</b>
<b>B</b>	<b>ÚLOHA Č.XX TESTOVÁNÍ DATOVÝCH PŘENOSŮ V MOBILNÍCH SÍTÍCH.....</b>	<b>47</b>



# ÚLOHA Č.XX TESTOVÁNÍ MOBILNÍCH SÍTÍ

## **Zadání :**

1. Testování pomocí programu ROMES a rádiového skeneru TSMQ
  - a. Seznamte se s obsazením spektra 80 MHz – 3 GHz
  - b. Zaznamenejte údaje dostupných BTS pro GSM
  - c. Zaznamenejte údaje dostupných Node Bs
2. Testování pomocí programu ROMES a mobilní stanice
  - a. Porovnejte výkonové úrovně ze servisní buňky a sousedních buněk.
  - b. Popište změnu vysílaného/přijímaného výkonu signálu v závislosti na poloze telefonu GSM/UMTS
  - c. Vytvořte a nadefinujte záložku pro měření UMTS v programu ROMES
3. Pomocí programu ROMES analyzujte záznam z terénního měření
  - a. Stav pokrytí různých mobilních systémů
  - b. Pozorování Handoveru v systému GSM
4. Vypracujte přehlednou zprávu o měření

## **Úvod :**

Kmitočtové spektrum rádiových vln je omezené přírodní bohatstvím. Vzhledem k tomu že se vlny šíří volným prostředím, je nutné koordinovat všechny uživatele aby nedocházelo k interferencím. Tuto koordinaci provádí International Telecommunications Union (ITU) a poté příslušné národní agentury v České Republice to je Český radiokomunikační úřad. Tyto regulace vytvářejí tlak na poskytovatele a na skupiny vyvíjející nové komunikační systémy. V tabulce Tab. 0.1 vidíte vybraná využívaná pásma v ČR.

Tab. 0.1 Vybraná pásma využívána v ČR z oblasti 80 MHz - 2500 MHz

<b>Pásmo</b>	<b>Frekvence [MHz]</b>
E-GSM Uplink	880-915
E-GSM Downlink	925-960
UMTS Uplink	1920-1980
UMTS Downlink	2110 – 2170
LTE 800 uplink	832-864
LTE 800 downlink	791-821
FM-rozhlasové vysílání	87,5-108

Složitost a komplexnost mobilních sítí neumožňuje měřit všechny vlastnosti pomocí základní elektrotechnických měřicích zařízení (osciloskop, spektrální analyzátor). Pro tyto účely je nutné využívat speciálních zařízení. Laboratoř je vybavena sestavou jejíž centrem je program ROMES od firmy Rohde & Schwarz nainstalovaný na notebooku. Umožňuje zpracování dat z mobilní stanice nebo z rádiového skeneru. Laboratoř je vybavena rádiovým skener TSMQ, který umožňuje měření mobilních sítí například GSM, UMTS, LTE a dalších. Z těchto sítí dokáže dekódovat mnoho informací. Dalším zařízením je mobilní stanice Nokia C5 umožňující připojení do GSM i UMTS sítě a zobrazovat informace o připojení, například informace z 3. Vrstvy(Layer 3), kde probíhá komunikace mezi BTS a mobilní stanicí. Při připojení GPS modulu je možné k naměřeným výsledkům přiřadit zeměpisné souřadnice a ty graficky zobrazit na mapových podkladech.

Systém GSM využívá jak frekvenční, tak časový mnohonásobný přístup. Pro výpočet frekvence, na které vysílá BTS a mobilní stanice při komunikaci v mobilní síti, můžeme využít následujících vztahů:

$$f_{CUL} = 890 + 0,2 * n \quad [MHz], kde 0 \leq n \leq 124, \quad (0.1)$$

$$f_{CULe} = 890 + 0,2 * (n - 1024) \quad [MHz], kde 975 \leq n \leq 1024, \quad (0.2)$$

$$f_{CDL} = f_{cul} + 45 \quad [MHz], \quad (0.3)$$

kde,  $f_{CUL}$  značí nosnou frekvenci kanálu pro uplink.  $f_{CULe}$  značí výpočet nosné pro uplink v síti GSM extended, který je v České republice využíván.  $f_{CDL}$  značí nosnou kanálu pro downlink. Za  $n$  se dosazuje číslo kanálu označované ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number).

Další oblastí kterou Český telekomunikační úřad reguluje je dražba kmitočtů pro komerční užití a přiřazení pevných kódů pro mobilní síť.

Tab. 0.2 Vybraná čísla MNC

Poskytovatel	MNC – Mobile network code
T-Mobile Czech Republic	01
O2 Czech Republic	02
Vodafone Czech Republic	03
Air Telecom a.s.	04
Správa železniční dopravní cesty, s.o.	98

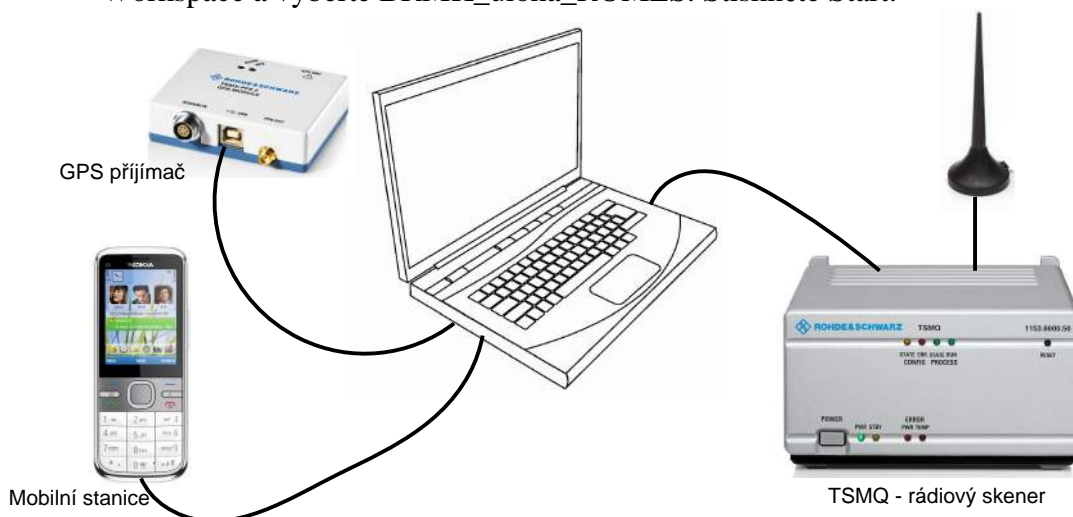
*Přidělená čísla a kódy* [online]. [cit. 2014-12-15]. Dostupné z: <http://www.ctu.cz/ctu-online/vyhledavaci-databaze/pridelen-a-cisla-a-kody.html>?

Pro nastavení výkonu mobilní stanice v systému GSM vysílá BTS signál každých 60 ms. Výkon je regulován od maximálního úrovně 13 dBm po 2 dB krocích.

Při analýze UMTS se zaměříme na dva charakteristické parametry tohoto druhu sítě. Je to frekvence, na které síť vysílá a skramblovací kód jednotlivé Node B (název pro základnové stanice v UMTS). Skramblování se využívá pro rozproštění spektra výstupního signálu. Pro zpětné dekódování užitečného signálu je nutné informaci o skramblovacím kódu přijímat mobilní stanicí.

### Příprava měření:

1. Zkontrolujte pracoviště, zda je zapojeno dle obrázku Obr. 4.1. K notebooku je připojen skener TSMQ, mobilní stanice Nokia C5 a GPS modul TSMX-PPS. Notebook obsahuje USB klíč, který je nezbytný pro spuštění programu ROMES.
2. Zkontrolujte, zda je zapnutá mobilní stanice MS a skener TSMQ (případně je zapněte). Po přihlášení do notebooku (login: fullaces, heslo: lab7107) spusťte program ROMES4.65 Measurement (ikona na ploše). Zvolte možnost Load Workspace a vyberte BRMK\_uloha\_ROMES. Stiskněte Start.



Obr. 0.1 Schéma zapojení pracoviště

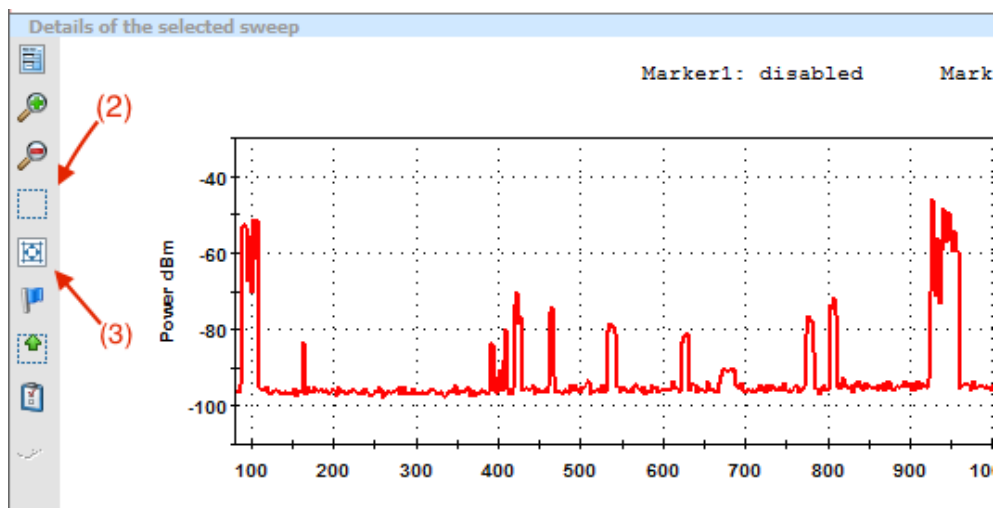
### Měření:

1. Měření pomocí skeneru:
  - a. Otevřete záložku **Spectrum**. Měření spustíte tlačítkem (1) **toggle recording** (obr. 5.2) nebo v horním panelu **Measurement - Start Recording**. Zvolte libovolný název souboru a uložte. Měření je v tuto chvíli spuštěno.



Obr. 0.1 Panel ovládání softwaru

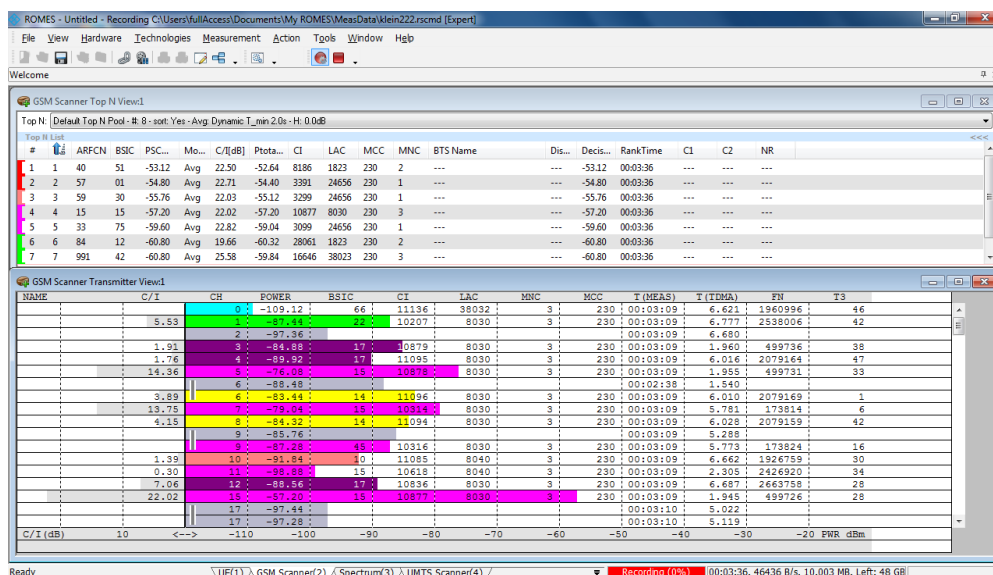
Pomocí tlačítka (2) - obdélníkový výběr, si můžete přiblížit oblast, o kterou se zajímáte. Celé skenované pásmo zobrazíte pomocí tlačítka (3):



Obr. 0.2 Detail okna RF Power Scan Spectrum View

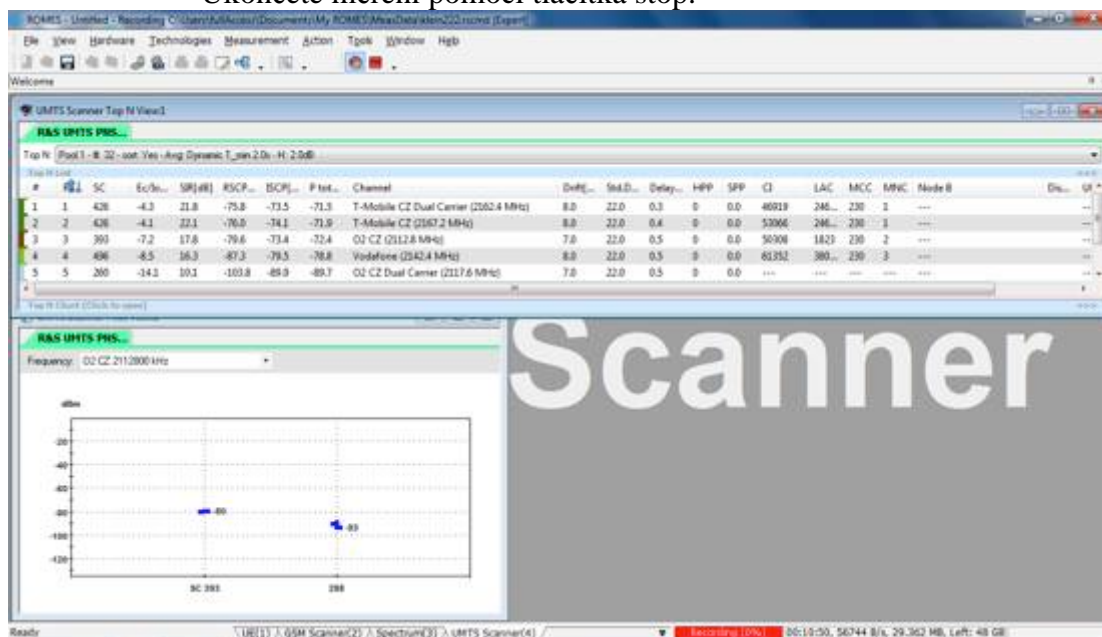
Prohlédněte si oblast vysílání E-GSM, UMTS a další vysílače ve spektru (viz Tab.6.3) Do tabulky doplňte **maximální** přijímanou úroveň signálu v jednotlivých pásmech. Pro toto je vhodné použít část okna kde je spektrum zaznamenáno v čase, pomocí barevné škály. Po ukázání myši na zkoumanou část spektra, se zobrazí měřená výkonová úroveň.

Otevřete záložku **GSM Scanner**. V okně **GSM Scanner Top N View**, vidíte 8 nejsilnějších stanic. V okně **GSM Scanner Transmitter view** si prohlédněte všechny detekované signály a zapište všechny unikátní **MNC kódy**, které má skener v dosahu, podle těchto kódů k nim přiřadte poskytovatele. Doplňte tabulku a zaznamenejte do ní tři BTS s největším signálem. Úroveň signálů jednotlivých BTS je označena veličinou Ptotal. Kanál na kterém BTS vysílají je nazýván **ARFCN**. Tento údaj naleznete v okně **Scanner Top N View**. Pomocí čísla MNC (tab. 1.1) dohledáte provozovatele těchto BTS. Vypočtete pomocí vzorce (4.1), (4.2) a (4.3), na jakém kmitočtu vysílají a přijímají tyto BTS signály při komunikaci s mobilní stanicí. **Zapište MCC (Mobile Country Code) a MNC (Mobile Network Code) příslušných BTS.**



Obr. 0.2 Uspořádání okna pro měření GSM

- b. V záložce UMTS Scanner, nalezneme okno UMTS Scanner Pilot view. Otevřete rozbalovací menu, s názvy operátorů a frekvencemi, na kterých vysílají. Vyberte od každého operátora jednu síť a запиšte skramblovací kód (osa x) a přijímanou výkonovou úroveň jednotlivých Node B. Ukončete měření pomocí tlačítka stop.



Obr. 0.3 Obrazovka při měření UMTS pomocí skeneru

## 2. Testování pomocí programu ROMES a mobilní stanice

- a. Přepněte mobilní telefon do sítě UMTS. V rolovacím menu File vyberte New Workspace. Stiskněte **ctrl+h** a otevře se dialog pro přidání hardwaru. Ve stromové struktuře rozbalte položku Mobile Devices a dvojklikem vyberte Generic Mobile GSM / WCDMA. Při stlačení pravého tlačítka na spodní liště programu Romes zvolte možnost **Create new View Area**. Zvolte jméno libovolné jméno a stiskněte **OK**. Pomocí menu View->Mobile Views->UMTS->UMTS Layer 1 Graph View vložte toto okno. Podobně postupujte i pro další okno **UMTS Power Control View**. Přehledně si rozestavte okna. Spusťte měření.

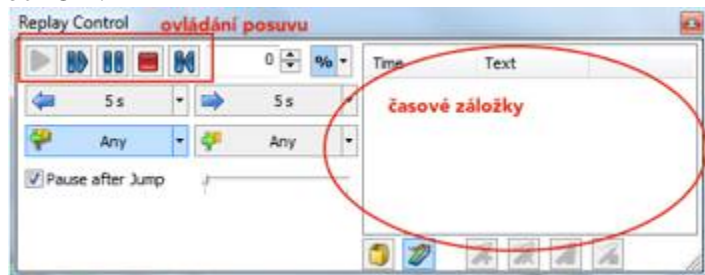
Vytočte číslo 603124398 a pozorujte okno **GSM Chart View**. Okomentujte modrou a červenou linii v Graph View a zkuste zdůvodnit, proč při změně polohy (volně a v ruce) se jejich průběh mění.

3. Pomocí programu ROMES analyzujte záznam z terénního měření. V rolovacím okně file -> open work space vyberte: Navigation\_Test\_UREL, otevřete measurement file Data (D:)/Dokumenty/MyRomes/workspace test\_UREL. Ve spodní části obrazovky vyberte záložku navigation. Pravým tlačítkem myši klikněte na mapu a zvolte možnost **Configure**.

Zvolte záložku **Values**. V okně **Selected Signals** zrušte všechny položky (2x na ně poklepat nebo pomocí <). V okně **Available Signals** vyberte (dvojklikem) následující položky:

- GSM – Measurement Report – **RxLev Sub** (úroveň přijímaného signálu GSM),
- UMTS PNS – TopN Pool 1[1] – 1. TopN Pool 1[1] TopN Element – **1**.

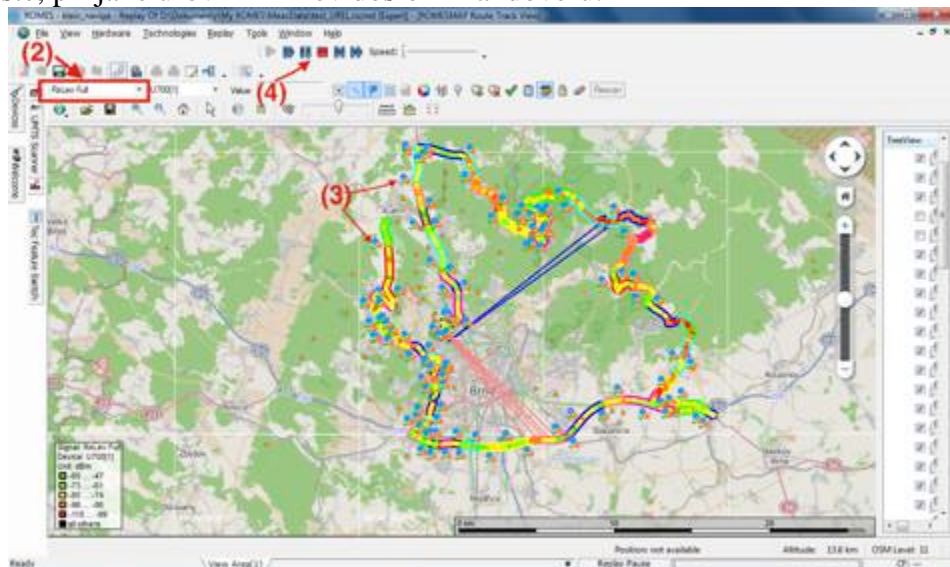
**TopN Pool 1[1] RSCP [1]** (úroveň přijímaného signálu UMTS). Potvrďte pomocí OK.



Obr. 0.3 Okno ovládající pohyb v záznamu

Prohlédněte si úroveň přijímaného signálu u UMTS a u GSM na měřené trase. Přepnutí mezi sítěmi se provádí pomocí tlačítka (2). TopNPool značí UMTS a RXLev Sub GSM. V levém dolním rohu mapy je legenda. Značka (3) značí místo, kde byl proveden handover. Pro pohyb v záznamu využijte okno Replay control.

V okně Replay control klikněte na časovou záložku (s časem 00:03:53). Znaménkem pauza spustíte záznam měření. Řídící buňka je značena S a servisní N. Stiskněte tlačítko pauza a pozorujte provedení handoveru. Přepněte se do okna GSM a znovu klikněte na bod měření 00:03:53. Do zprávy o měření запиšte, při jaké úrovni RXLev došlo k Handoveru.



Obr. 0.4 Popis okna Navigation

## **Protokol**

Ad1.a)

Tab. 0.3 Maximální přijímaný výkon v daném pásmu

<b>Pásmo</b>	<b>Přijímaný výkon [dBm]</b>
E-GSM Uplink	
E-GSM Downlink	
UMTS Uplink	
UMTS Downlink	
LTE 800 Uplink	
LTE 800 Downlink	
FM-rozhlasové vysílání	

Ad1.b)

Tab. 0.4 přijímané GSM signály z BTS

<b>Číslo kanálu – ARFCN[-]</b>	<b><math>f_{cul}</math> [MHz]</b>	<b><math>f_{cdl}</math> [MHz]</b>	<b>Výkon [dBm]</b>	<b>Poskytovatel [-]</b>	<b>MCC [-]</b>	<b>MNC [-]</b>

Ad1.c)

Tab. 0.5 Informace o Node Bs systému UMTS

Poskytovatel	Frekvence [MHz]	Počet vysílačů [-]	Scramblovací kódy				Výkon			

Ad2)

Tab. 0.6 Změna přijímané úrovně na poloze telefonu

Poloha	RxLev F [dBm]	RxLev N1 [dBm]
Na stole		
V ruce		

### **Použité přístroje a pomůcky:**

- Notebook s programem ROMES 4.74 Rohde & Schwarz
- Skener rádiového prostředí TSMQ Rohde & Schwarz
- Mobilní telefon Nokia C5
- GSM/UMTS anténa

### **Závěr:**



# ÚLOHA Č.XX TESTOVÁNÍ DATOVÝCH PŘENOSŮ V MOBILNÍCH SÍTÍCH

## Zadání :

1. Seznámení s laboratorní úlohou a programem ROMES firmy Rohde & Schwarz.
2. V programu ROMES spusťte měření datových přenosů.
3. Proveďte terénní měření na dvou místech v okolí školy.
4. Exportujte výsledky měření a vypočítejte základní statistické výsledky metody.
5. Zpracování zprávy o měření

## Úvod :

Jedním z nejdůležitějších parametrů pro uživatele mobilních sítí je přenosová rychlost, kterou jim může operátor poskytnout. Proto je kladen velký důraz na správné měření této veličiny. Teoretická rychlost datového přenosu se za poslední roky mnohonásobila viz tabulka.

tab. 0.1 přehled datových sítí

Sít'	Uplink	Downlink	První nasazení
GPRS	20 kbit/s	80 kbit/s	2000
EDGE	118,4 kbit/s	177,6 kbit/s	2003
HSPA+	22 Mbit/s	168 Mbit/s	2009
LTE	75.4 Mbit/s	299.6 Mbit/s	2009

Při měření se koncentrujeme na klíčové parametry přenosu.

- Měření průměrné přenosové rychlosti odchozího datového toku, tedy nahrání souboru pomocí protokolu FTP na server.
- Měření průměrné přenosové rychlosti stahování souboru pomocí FTP protokolu
- Měření přenosové rychlosti při stahování vzorové webové stránky ETSI - <http://www.radio.feec.vutbr.cz/Copernicus/Copernicus.htm>
- Ping test, měření časové odezvy sítě.

Měření se provádí v náhodně vybraných místech pokrývajících rovnoměrně zkoumanou oblast. Poté jsou statisticky zpracovány.

Statistická chyba libovolné měřené veličiny je dána vztahem

$$PR(p) = k \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}}, \quad (1)$$

kde  $PR(p)$  ... je statistická chyba měřené veličiny,

$k$  ... je kritická hodnota (konstanta) pro daný konfidenční interval neboli interval spolehlivosti (pro běžně užívaný konfidenční interval 95% a normální rozložení je podle příslušných tabulek  $k = 1,96$ ),

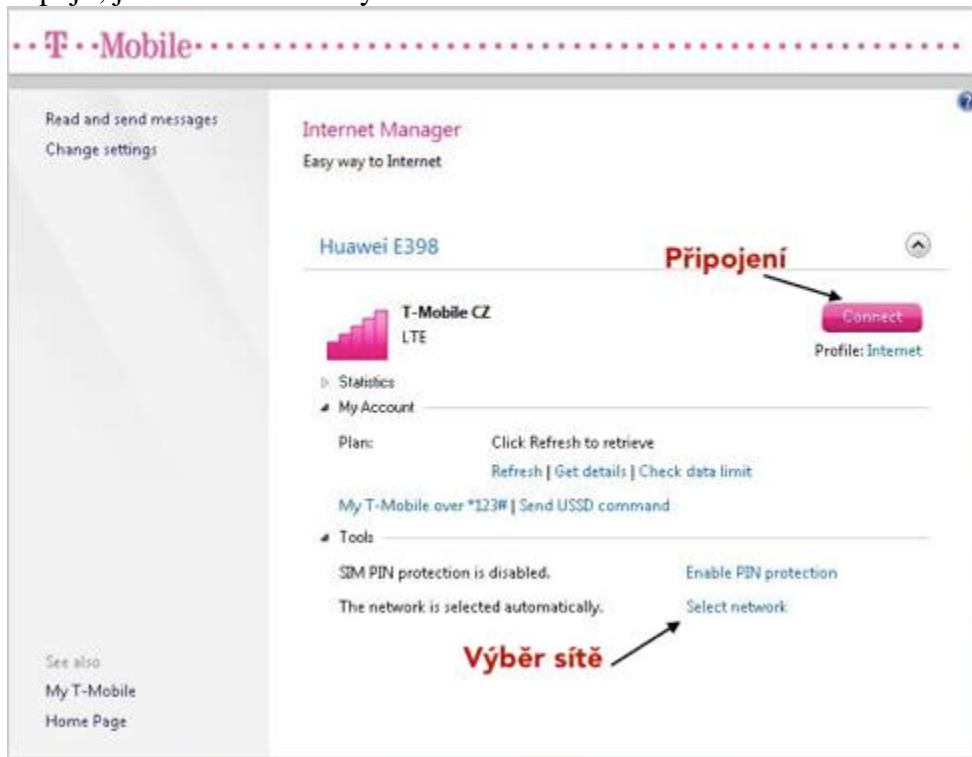
$p$  ... je poměrné vyjádření úspěšných měření,

$n$  ... je celkový počet provedených měření.

## **Měření:**

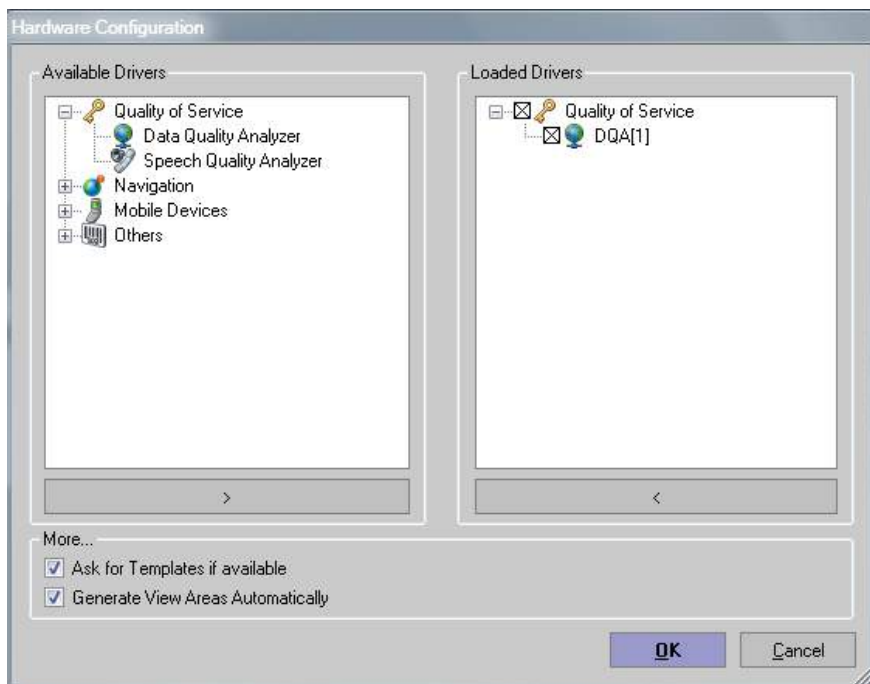
1. Zkontrolujte pracoviště. K notebooku je připojen USB modem LTE Huawei a USB klíč k softwaru ROMES.

Po přihlášení do notebooku (login: fullaces, heslo: lab7107). Spusťte program T-Mobile Internet Manager. V této části úlohy vyberte síť LTE a poté stiskněte tlačítko Connect. Při změně sítě je vždy nutné nejdříve se tlačítkem disconnect odpojit, jinak možnost volby není umožněna.



Obr. 0.1 okno T-mobile Internet Manager

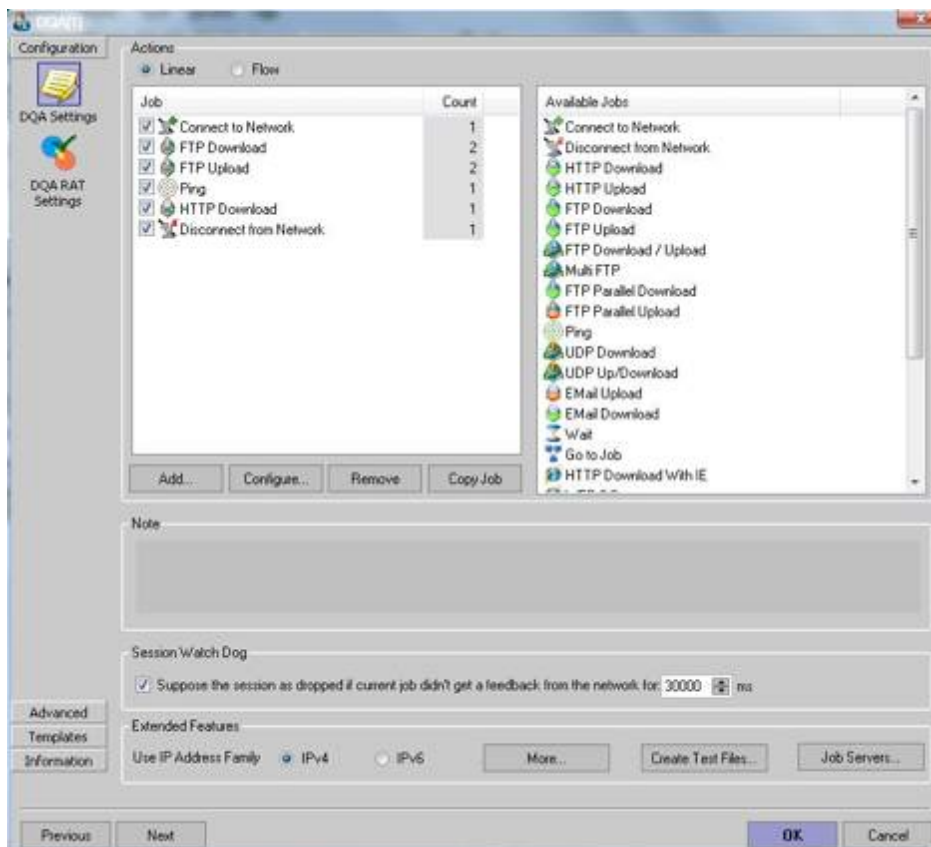
- Spusťte program ROMES4.65 Measurement (ikona na ploše). Zvolte možnost **Start with empty View Areas**. Stiskněte Start.
2. Přidejte hardware nutný k měření pomocí klávesové zkratky **ctrl+h**. Otevře se dialog, kde rozbalíte skupinu driverů Quality of service a dvojklikem vyberete **Data Quality Analyzer**. Zvolte **Load Template** a vyberte: **staticky\_test**.



Obr. 0.2 Okno pro konfiguraci hardwaru připojeného k ROMES

Otevřete z rozbalovacího menu Hardware položku DQA a zkontrolujte nastavení testu. V okně Job jsou vybrány tyto položky.

- **Connect to network** – druh připojení ROMES do sítě Type: Windows network Adapter.
- **FTP Download** – server: <ftp://ms2.urel.feec.vutbr.cz> , User Name: student, password: urel a je vybrán soubor 10Mib soubor ke stažení
- **FTP Upload** – server i přihlašovací údaje jsou stejné jako u bodu download a soubor je také 10 Mib velký.
- **Ping** – Server může být zvolen libovolně, ale po čas měření musí být stále stejný.
- **HTTP Download** – Kde je vyplněna adresa serveru, kde se nachází vzorová stránka ETSI.
- **Disconnect from Network** – Kde Idle Time je 10 000 ms. Tedy čas mezi měřeními.



- Potvrďte stiskem tlačítka OK. Zapněte měření stiskem tlačítka (1) v panelu zobrazeného na obrázku obr. 4.6



Obr. 0.3 Zahájení měření

Zadejte jméno souboru ve tvaru xlogin\_sít\_místo, kam se bude měření ukládat. Potvrďte. Měření je zahájeno. Okna nám podávají informace o průběhu měření.

- DQA Throughput View – grafické znázornění aktuálních hodnot uplinku a downlinku v čase.
- DQA Message View – Okno vypisující všechny zprávy o práci DQA driveru.
- DQA Progress View – Okno popisující průběh právě prováděné práce.

Při vypsání zprávy **Waiting 10 000 ms** v okně Message View ukončete měření stiskem tlačítka (2) dle obrázku obr. 4.6.

Minimalizujte okno softwaru ROMES a zapněte konfiguraci připojení v programu T-mobile Internet Manager. Odpojte se a poté vyberte síť UMTS.

Vraťte se do ROMES a zapněte měření.

3. Odpojte notebook od napájení a v okolí budovy Fakulty elektrotechniky proveďte měření na dvou místech. Zde postupujte jak v přechozím bodě.
4. V rolovacím okně File vyberte **Export measurement data**. Formát vyberte ASCII(\*.asc) a poté složku kde se vyexportovaná data uloží – D:\\BRMK. Poté zvolte konfigurační soubor podle kterého se export provede – staticky\_test.rma . Pomocí hromadného výběru vyber všechna měřená data která chceš exportovat a potvrďte.

Výsledky jsou ve formátu \*.asc . pro snadnější práci změňte příponu souborů na \*.txt. Jednotlivé soubory otevřete a nahraďte v nich všechny „?“ mezerou a desetinné tečky čárkami. Dialog otevřete pomocí klávesové zkratky ctrl+h. Importujte data do tabulkového editoru. Data načítejte z textových souborů, kde oddělovač je středník. Vypočítejte aritmetický průměr z délky stahování souborů a zapište výsledek do tabulky protokolu.

Obr. 0.4 Okno po nastavení měření

### **Protokol:**

	Downlink FTP [Mbit/s]	Uplink FTP [Mbit/s]	Downlink HTTP [Mbit/s]	Ping max [ms]	Ping min [ms]	Ping avg [ms]
LTE (A)						
UMTS (A)						
LTE (B)						
UMTS (B)						
LTE (C)						
UMTS (C)						

Obr. 0.5 Naměřené hodnoty při teréním měření

Vypočtete statistickou chybu měření pomocí vzorce (1). Jelikož se pro tak malé vzorky není smysluplné statistické výsledky počítat. Vypočítejte statistickou chybu při provedení stahování čtyř souborů na pěti stanovištích a tento test se opakuje ve sledovaném období čtyřikrát.

### **Použité přístroje a pomůcky:**

- Notebook s programem ROMES 4.74 Rohde & Schwarz
- LTE USB modem Huawei/E398

### **Závěr:**