

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra telekomunikační techniky

Diplomová práce

Měření spotřeby mobilních zařízení v buňkových sítích

**Vedoucí práce:
Autor:**

**doc. Ing. Zdeněk Bečvář, Ph.D.
Bc. Tomáš Dragoun**

2014

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou prací zpracoval sám s přispěním vedoucího práce a používal jsem pouze literaturu a zdroje v práci uvedené. Dále prohlašuji, že nemám námitek proti půjčování nebo zveřejňování mé diplomové práce nebo její částí se souhlasem katedry.

Datum: 9. 5. 2014

.....

podpis studenta

Poděkování

- Vedoucímu práce doc. Ing. Zděnkovi Bečvářovi, Ph.D. za pomoc a cenné rady při tvorbě diplomové práce.
- Společnosti T-Mobile Czech Republic a.s. za využití pracoviště a všech měřicích zařízení.
- Týmu mezinárodní integrace a validace terminálů za veškerou pomoc a čas, který mi věnovali.

Anotace:

Diplomová práce se zabývá aktuální otázkou spotřeby mobilní telefonu v buňkových sítích z pohledu koncového uživatele. Hlavním testovaným parametrem byl vliv přenosu dat na celkovou spotřebu energie v sítích GSM, UMTS a LTE. Práce porovnává využitelnost jednotlivých technologií.

V prvním případě je testování zaměřeno na přehrávání záznamů z internetového serveru pro sdílení videa. U druhého je porovnán vzdálený přístup na FTP server. V poslední bodě je měření realizováno při změně úrovně radiového signálu.

Získaná data jsou vyhodnocena a pro přehlednost zobrazena v jednotlivých grafech.

Annotation:

The thesis deals with the current issue of mobile phone consumption in cellular networks from the perspective of end user. The main tested parameter was influence of data usage on total energy consumption in GSM, UMTS and LTE networks. The thesis compares the usability of various technologies.

In the first case, the testing focus on playing video records from online video sharing sites. The second measurement compares the remote access to the FTP server. The last point is realized by measuring the change in the quality of the radio channel.

The measured data are evaluated and arranged in the individual clear diagrams.

Obsah

OBSAH	5
ÚVOD	6
1 MOTIVACE A SOUVISEJÍCÍ PRÁCE	8
1.1 SOUVISEJÍCÍ PRÁCE	8
1.2 MOTIVACE	8
2 MOBILNÍ SÍŤE	10
2.1 ARCHITEKTURA SÍŤI.....	10
2.1.1 <i>Architektura GSM sítě</i>	10
2.1.2 <i>Architektura UMTS</i>	11
2.1.3 <i>Architektura LTE sítě</i>	11
2.2 FDD x TDD PŘÍSTUP	12
2.3 TŘI ZÁKLADNÍ METODY VÍCENÁSOBNÉHO PŘÍSTUPU:.....	12
2.4 MCS – (<i>MODULATION CODING SCHEME</i>)	13
2.4.1 <i>GSM</i>	13
2.4.2 <i>UMTS</i>	14
2.4.3 <i>LTE</i>	14
2.5 MODULACE POUŽÍVANÉ V GSM, UMTS A LTE.....	16
2.5.1 <i>GSM</i>	16
2.5.2 <i>UMTS a LTE</i>	17
3 PRAKTICKÁ ČÁST DIPLOMOVÉ PRÁCE	18
3.1 MĚŘÍCÍ PRACoviŠTĚ – SLEDOVÁNÍ VIDEA A FTP SERVER	19
3.2 MĚŘÍCÍ PRACoviŠTĚ – ÚTLUM	25
3.3 METODIKA – SPOTŘEBA ENERGIE PRO PŘENOS VIDEA.....	28
3.4 METODIKA – STAHOVÁNÍ/ODESÍLÁNÍ DAT Z/NA FTP SERVER.....	29
3.5 METODIKA – ÚTLUM.....	29
3.6 MĚŘENÍ - SPOTŘEBA ENERGIE PRO PŘENOS VIDEA.....	31
3.7 MĚŘENÍ - STAHOVÁNÍ/ODESÍLÁNÍ SOUBORŮ Z/NA FTP SERVER	35
3.8 MĚŘENÍ - ÚTLUM.....	43
4 ZÁVĚR	48
POUŽITÁ LITERATURA	49
PŘÍLOHY	51
PŘÍLOHA A: GRAFY – PŘENOS VIDEA	51
PŘÍLOHA B: GRAFY – STAHOVÁNÍ SOUBORŮ Z FTP SERVERU.....	53
PŘÍLOHA C: GRAFY – NAHRÁVÁNÍ SOUBORŮ NA FTP SERVER.....	55
PŘÍLOHA D: GRAFY – ÚTLUM.....	57
PŘÍLOHA E: SCHÉMA ZAPOJENÍ CELÉ SÍŤE.....	58
PŘÍLOHA F: SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	59
PŘÍLOHA G: FREKVENCE NA TESTOVACÍ SÍŤI	61

Úvod

S uvedením každého nového mobilního telefonu jsou specifikovány maximální výdrže přístrojů na jedno nabití. Hodnoty jsou měřeny v laboratorních podmínkách. V běžné praxi nedosažitelné. Diplomová práce testuje nejvybavenější telefony, které lze na trhu pořídit. Z hlediska porovnání spotřeby baterie v jednotlivých generacích mobilních sítí, s důrazem na síť poslední generace LTE (*Long Term Evolution*).

V posledních několika letech výrazně narůstají prodeje tzv. smartphone telefonů, které již zdaleka nejsou určeny pouze na volání a posílání krátkých textových zpráv, jak tomu bylo v počátcích vzniku mobilních telefonů. Běžnou součástí jsou fotoaparáty vysokých rozlišení, displeje s velikostí překračující 4 a více palců, GPS i Glonass antény pro příjem přesné polohy mobilního telefonu a hlavně možnost využívat připojení k internetu kdekoliv.

Poměrně intenzivně rozebíranou a opomíjenou skutečností jsou baterie přístrojů a s ním spojené datové přenosy. Přenosové rychlosti, kterými dnes disponují přístroje a samotné sítě mobilních operátorů dosahují více jak jednotek Mb/s.

První komerčně využívanou sítí, která umožňovala přenos dat a byla založena na principu paketového přenosu, byla technologie GPRS, která prošla modernizací na technologii EDGE. Za tzv. revoluci ve využívání mobilního telefonu k příjmu dat a tím služeb Internetu, e-mailu, MMS zpráv, byla považována technologie UMTS. V počátcích její rozvoj nebyl tak intenzivní, jak se původně očekávalo. S výstavbou sítě a pokrýváním území touto technologií začal výrazně narůstat počet uživatelů „chytrých telefonů“. S tím se začala objevovat otázka - je spotřeba mobilních telefonů s připojením k síti 3. generace větší? Často se uživatel setkával se situací, že raději využíval starší generaci, kde údajně byla baterie na spotřebu méně náchylná. Ještě více se tento problém začal zmiňovat s příchodem zatím poslední sítě LTE.

Diplomová práce je rozdělena do třech hlavních kapitol. První část práce obsahuje motivaci a související práce, které na podobné téma již v minulosti vznikly.

Druhá, nazvaná Mobilní sítě, v sobě zahrnuje stručný teoretický popis. Obecně jsou popsány architektury GSM, UMTS a LTE sítě. V krátkosti je zde zmínka o duplexním přenosu, vícenásobném přístupu, MCS (*Modulation Coding Scheme*) a použitých modulacích pro jednotlivé sítě GSM, UMTS a LTE.

Třetí a zároveň poslední část diplomové práce je nejobsáhlejší. Praktická část popisuje testovací pracoviště, na kterém byla veškerá měření realizována. Je zde do detailu uvedena metodika. V posledních kapitolách jsou vyhodnoceny výsledky pro všechna realizovaná měření.

Práce vznikla za účelem porovnat dnes velmi využívané datové přenosy v mobilních telefonech. Telefon zdaleka není určen pouze na volání. Postupně každým rokem roste objem přenesených dat v sítích mobilních operátorů. Uživatelé svá data často mají uložena na cloudových účtech řady poskytovatelů a vzdáleně k těmto datům přistupují. Stahují velké objemy dat. Využívají mobilních aplikací pro sdílení videosouborů. Co se ale velmi opomíjí, je kapacita baterie jednotlivých zařízení. Využívání zmíněných služeb má výrazný vliv na výdrž telefonu.

Z tohoto důvodu bylo hlavním záměrem a přínosem práce samotné porovnat technologie GSM, UMTS i LTE. Určit klady a zápory. Hlavním parametrem testování byl vliv přenosu dat na celkovou spotřebu energie v sítích GSM, UMTS a LTE.

1 Motivace a související práce

1.1 Související práce

Diplomová práce byla inspirována jinými výzkumy na podobné téma. Stále více uživatelů přistupuje k Internetu pomocí mobilního telefonu, z tohoto důvodu se internetové stránky často optimalizují pro velikosti displejů. Spotřebou mobilního telefonu v případě surfování na Internetu s upraveným rozlišením se zabývá článek [01]. Další testování, které porovnává procházení internetu přes Wi-Fi a síť 3G, je ve studii [02]. Spotřeba energie surfování na webu je analyzována v článku [10]. Studie se zabývá spotřebou baterie v případě prohlížení webových stránek. Spotřebou LTE technologie se poměrně intenzivně zabývá studie [09], která výsledky porovnává se sítěmi UMTS a Wi-Fi. V [08] a [10] bylo využito stejné zařízení Power monitor od společnosti Monsoon jako v případě diplomové práce. Avšak práce se nezabývají stejnou problematikou. Porovnávají a testují jiné parametry. Aplikace Power Tutor [10] umístěná na play.google.com umožňuje výpis spotřeby energie, ale hodnoty nejsou zdaleka tak přesné jako v případě měření pomocí Power monitoru. Souvisejících prací, které porovnávají spotřebu mobilních telefonů nebo simulují jednotlivé komponenty zařízení, je více. Žádná z těchto prací neporovnává zatížení všech tří technologií GSM, UMTS i LTE. Ani v jedné z prací není otestována spotřeba zařízení při přehrávání videí ze serveru YouTube. Okrajově se [06] [03] zabývá porovnáním GSM a UMTS sítí při stahování objemnějších dat. Není zde ale zohledněna poslední dostupná LTE technologie [15]. Diplomová práce oproti jiným porovnává i ovlivnění spotřeby energie s rozdílnou kvalitou přenosového kanálu.

1.2 Motivace

Prodeje chytrých mobilních telefonů se každým rokem obrovským tempem navyšují. Moderní mobilní telefony jsou atraktivní platformou, která se stále více prosazuje do běžného života koncových uživatelů. S tím je spojená stále větší náročnost na výpočetní výkon a z něj plynoucí výdrž baterií mobilních telefonů. Mobilní telefon dnes není určen pouze na volání a posílání krátkých textových zpráv. Z přístrojů se stala multimediální zařízení. Zde dochází k situaci, kdy jsou přístroje vybaveny nejrychlejšími procesory, kvalitními zobrazovacími panely, ale samotné kapacity přístrojů se nenavyšují tak rychlým tempem. Spotřeba telefonu je často uváděna s velmi malou přesností. Z tohoto důvodu je častým tématem spotřeba baterie. Výrobci využívají

převážně Li-Ion nebo ve výjimečném případě Li-Pol baterie. Do mobilních telefonů jsou dodávány z důvodu malých rozměrů a velké kapacity, kterou není současnými technologickými postupy možné navýšit. Práce se problematikou spotřeby baterie zabývá z pohledu koncového uživatele. Testovány byly služby, které jsou běžně používány. Hlavní záměr bylo porovnat spotřeby mobilních telefonů s připojením přes GSM, UMTS i LTE technologie.

2 Mobilní sítě

Mobilní sítě prochází od jejich vzniku neustálým vývojem. Od analogových sítí 1. generace přes GSM, UMTS a LTE. Přenosové rychlosti a hlavně požadavky koncových uživatelů se neustále zvyšují. S uvedením LTE technologie narůstá reálná rychlost přenosu dat na desítky Mb/s.

2.1 Architektura sítí

2.1.1 Architektura GSM sítě

Požadavek pro vznik GSM byl takový, aby celý systém nebyl uzavřený a autonomní. Důležitým faktorem byl i přístup do dalších externích sítí. Architekturu lze rozdělit na tři základní subsystémy:

Subsystém základnových stanic BSS (*Base Station Subsystem*): Je tvořen desítkami řídicích základnových stanic (*Base Station Controller*), sítí základnových stanic (*Base Transceiver Station*) a transkodovací jednotkou (*TransCoder*). BSC slouží pro řízení jednotlivých BTS, pro přidělování a uvolňování kanálů, pro handover mezi buňkami aj. S fixní částí sítě komunikuje přes rozhraní A, se základnovými stanicemi skrze rozhraní A-bis. Mobilní terminál koncových uživatelů (*Mobile Station*) je do sítě operátora přes BTS připojen pomocí rozhraní U_m . TRAU mění přenosovou rychlost hovoru z 13kb/s na 16 kb/s a dále provádí multiplex 4 kanálů na 64kb/s.

Síťový a spínací Subsystém NSS (*Network and Switching Subsystem*): Jedná se o pevnou část GSM systému. Mobilní radiová ústředna (*Mobile Switching Center*) je hlavní komponentou celého systému. MSC zajišťuje směrování, ukončování hovorů, podporuje doplňkové služby apod. Umožňuje propojení s datovou sítí, jiným operátorem, ISDN nebo veřejnou telefonní sítí. HLR (*Home Location Register*) slouží pro uložení veškerých dat o užitelích jeho sítě. VLR (*Visitor Location Register*) v sobě uchovává informace o účastníkovi pohybující se v dané MSC, po opuštění se data ruší. EIR (*Equipment Identity Register*) – databáze odcizených nebo neoprávněně používaných přístrojů. AuC (*Authentication Centre*) – Autentizační centrum má na starosti správné přihlášení uživatele do sítě.

Operační podpůrný systém (*Operation Support Subsystem*) zajišťuje činnost celého systému. Provozní a servisní centrum (*Operation and Maintenance Centre*) – řídí správnou funkci BSS a NSS systémů. NMC (*Network Monitoring and Control Center*) je

pracoviště, které dohlíží na správnou funkci celého GSM systému. Administrativní centrum (*Administrative Center*) – realizuje účtování poplatků za hovory, SMS zprávy, datový provoz.

2.1.2 Architektura UMTS

V případě UMTS je struktura celé sítě podobná GSM. UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*) je síť rádiového přístupu pro UMTS, ke které přes rozhraní U_{u} přistupují uživatelské terminály (*User Equipment*). Skládá se ze subsystémů rádiových sítí RNS (*Radio Network Subsystem*). Ty jsou řízeny jednotkami RNC (*Radio Network Controller*), které s páteří sítí CN (*Core Network*) komunikují přes rozhraní I_{u} . Pokud propojení probíhá s přepojováním okruhů (*Circuit Switched Domain*) je ještě více specifikováno na rozhraní $I_{\text{u}} - \text{CS}$, kde koncovým bodem je ústředna MSC. V případě komunikace s doménou na přepojování paketů se jedná o $I_{\text{u}} - \text{PS}$ a zde je koncovým bodem uzel SGSN (*Serving GPRS Support Node*). RNC se stará o přidělování rádiových kanálů, řízení handoveru a dalších rádiových částí. V systému UMTS se základnové stanice označují jako Node-B. Komunikace mezi Node-B a RNC probíhá přes rozhraní I_{ub} .

Jádro sítě (CN) je obdobou NNS u GSM. Je tvořeno ústřednami MSC pro spojování účastníků pevné a mobilní sítě. Brána GMSC (*Gateway MSC*) umožňuje propojení s externími telekomunikačními sítěmi. Jako v případě GSM je zde i např. HLR, AuC nebo centrum krátkých textových zpráv (*SMSC*). Uzly GSN jsou dvojího typu. SGSN provádí šifrování, tarifkaci aj. GGSN má za úkol propojení s externími sítěmi, např. Internetem.

2.1.3 Architektura LTE sítě

Zatím posledním vývojovým stupněm jsou síť LTE.

Evolved Packet Core (EPC) zajišťuje oddělení přenosu dat od obslužných informací. Její součástí je *Serving Gateway* (SGW) – Obslužná brána, která je rozhraním mezi eNodeB a samotným jádrem sítě (CN). *Packet Data Network* (PDN) *Gateway* (PGW) – Brána sítě paketových dat je koncovým bodem paketových dat. *Mobility Management Entity* (MME) – Entita správy mobility – stará se o připojení uživatelského terminálu do sítě, o handover, signalizační a řídicí funkce. *Policy and Charging Rules Function* (PCRF) – řídí všechna datová spojení a realizuje samotné účtování. eNB je do fixní části sítě připojeno pomocí rozhraní S_1 . Uživatelný terminal (UE) pomocí rozhraní U_{u} .

Konkrétně T-Mobile Czech Republic využívá ve vlastní síti EPC od společnosti Cisco a eNB od Huawei. V případě testovací sítě je vše od výrobce Huawei.

V Příloze: F je ukázka propojení všech generací sítě od GSM, přes UMTS až k LTE.

2.2 FDD x TDD přístup

Systémy pro bezdrátovou komunikaci v případě obousměrného (duplexního) přenosu existují ve dvou základních variantách. V prvním případě se jedná o variantu s frekvenčním dělením FDD (*Frequency Division Duplex*). Přenos informace probíhá souběžně na dvou kanálech o různých kmitočtech.

Druhou možností je varianta s časovým dělením TDD (*Time Division Duplex*). Zde je pro samotnou komunikaci vyhrazen jeden kanál o rozdílných časových okamžicích.

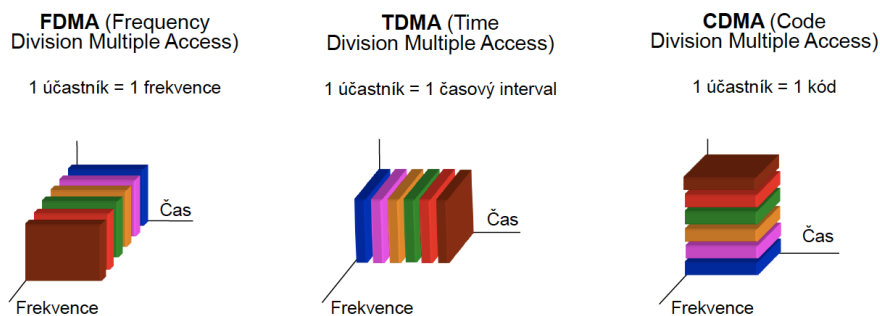
2.3 Tři základní metody vícenásobného přístupu:

FDMA – (*Frequency Division Multiple Access*) – V případě frekvenčního dělení má každý uživatel přiděleno konkrétní spektrum, na kterém probíhá komunikace obrázek č. 1.

TDMA – (*Time Division Multiple Access*) – Přístup, u kterého komunikace s jednotlivými účastníky probíhá v konkrétní časový úsek. Každý uživatel má přidělen jiný časový rámec obrázek č. 1.

CDMA – (*Code Division Multiple Access*) – Všichni uživatelé využívají ve stejný okamžik celé přidělené frekvenční spektrum. Aby bylo možné jednotlivé uživatele od sebe oddělit, má každý uživatel přidělen jedinečný kód obrázek č. 1.

Zde jsou zmíněny pouze tři základní vícenásobné přístupy. Existuje celá řada kombinací a variant, které zmiňované tři doplňují o další vlastnosti. Jedná se např. o TDMA/FDMA, DS-CDMA, FH-CDMA, TH-CDMA aj.



Obr. 1 Základní metody vícenásobného přístupu [16]

2.4 MCS – (Modulation Coding Scheme)

Jednotlivá kódová schémata se liší množstvím ochranných informací. Rozlišují se podle poměru užitečných a řídicích dat. Kvalita rádiového kanálu určuje, jaké MCS bude pro přenos informace využito, aby nedošlo ke ztrátě dat.

Modulační kódová schémata se kromě množství ochranných dat liší i typem použité modulace.

2.4.1 GSM

MCS	Efektivní kódový poměr	Modulace	Max. rychlost v timeslotu (kb/s)
MCS-1	0.53	GMSK	8.8
MCS-2	0.66	GMSK	11.2
MCS-3	0.8	GMSK	14.8
MCS-4	1.0	GMSK	17.6
MCS-5	0.37	8PSK	22.4
MCS-6	0.49	8PSK	29.6
MCS-7	0.76	8PSK	44.8
MCS-8	0.92	8PSK	54.4
MCS-9	1	8PSK	59.2
MCS-1	0.53	GMSK	8.8
MCS-2	0.66	GMSK	11.2
MCS-3	0.8	GMSK	14.8

Tab. 1 MCS pro GSM [20]

2.4.2 UMTS

Přenosová rychlost na jeden timeslot zde není pevně daná jako v případě GSM technologie.

CQI value	Transport Block Size	Number of HS-PDSCH	Modulation	Reference power adjustment Δ	N _m	X _{rv}	
0	N/A		Out of range				
1	137	1	QPSK	0	43200	0	
2	173	1	QPSK	0			
3	233	1	QPSK	0			
4	317	1	QPSK	0			
5	377	1	QPSK	0			
6	461	1	QPSK	0			
7	650	2	QPSK	0			
8	792	2	QPSK	0			
9	931	2	QPSK	0			
10	1262	3	QPSK	0			
11	1483	3	QPSK	0			
12	1742	3	QPSK	0			
13	2279	4	QPSK	0			
14	2583	4	QPSK	0			
15	3319	5	QPSK	0			
16	3565	5	16-QAM	0			
17	4189	5	16-QAM	0			
18	4664	5	16-QAM	0			
19	5287	5	16-QAM	0			
20	5887	5	16-QAM	0			
21	6554	5	16-QAM	0			
22	7168	5	16-QAM	0			
23	9719	7	16-QAM	0			
24	11418	8	16-QAM	0			
25	14411	10	16-QAM	0			
26	15761	10	64-QAM	0			
27	21754	12	64-QAM	0			
28	26490	13	64-QAM	0			
29	32257	14	64-QAM	0			
30	32257	14	64-QAM	-2			

Obr. 2 Mapovací tabulka CQI pro uživatelný terminál kategorie 13 v případě UMTS [7] a [10]

2.4.3 LTE

CQI index	modulation	code rate x 1024	efficiency
0	out of range		
1	QPSK	78	0.1523
2	QPSK	120	0.2344
3	QPSK	193	0.3770
4	QPSK	308	0.6016
5	QPSK	449	0.8770
6	QPSK	602	1.1758
7	16QAM	378	1.4766
8	16QAM	490	1.9141
9	16QAM	616	2.4063
10	64QAM	466	2.7305
11	64QAM	567	3.3223
12	64QAM	666	3.9023
13	64QAM	772	4.5234
14	64QAM	873	5.1152
15	64QAM	948	5.5547

Tab. 2 index CQI [7] a [10]

MCS Index I_{MCS}	Modulation Order Q_m	TBS Index I_{TBS}	Redundancy Version RV_{idx}
0	2	0	0
1	2	1	0
2	2	2	0
3	2	3	0
4	2	4	0
5	2	5	0
6	2	6	0
7	2	7	0
8	2	8	0
9	2	9	0
10	2	10	0
11	4	10	0
12	4	11	0
13	4	12	0
14	4	13	0
15	4	14	0
16	4	15	0
17	4	16	0
18	4	17	0
19	4	18	0
20	4	19	0
21	6	19	0
22	6	20	0
23	6	21	0
24	6	22	0
25	6	23	0
26	6	24	0
27	6	25	0
28	6	26	0
29	reserved		1
30			2
31			3

Tab. 3 MCS index [6] a [8]

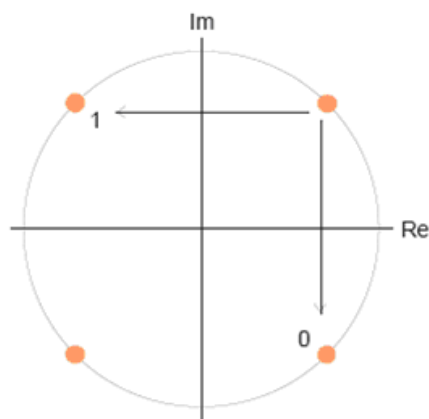
2.5 Modulace používané v GSM, UMTS a LTE

V síti GSM, UMTS i LTE je přenos digitální informace zajištěn modulací signálu. Podle zvolené sítě a kvality radiového kanálu je přidělena konkrétní modulace.

2.5.1 GSM

GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)

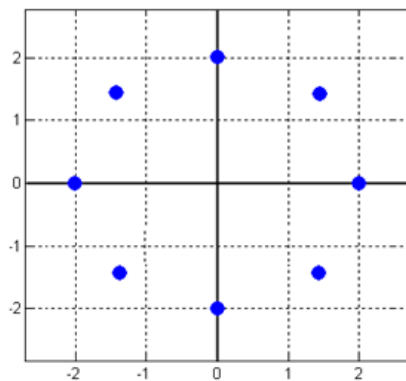
V GSM síti se používá modulace (resp. klíčování) GMSK obrázek č. 3. Jedná se o typ diferenčního fázového klíčování. Vysílání log. „1“ je reprezentováno kladnou změnou hodnoty fáze resp. zápornou u log. „0“.



Obr. 3 GMSK modulace [20]

8-PSK (Eight Phase Shift Keying)

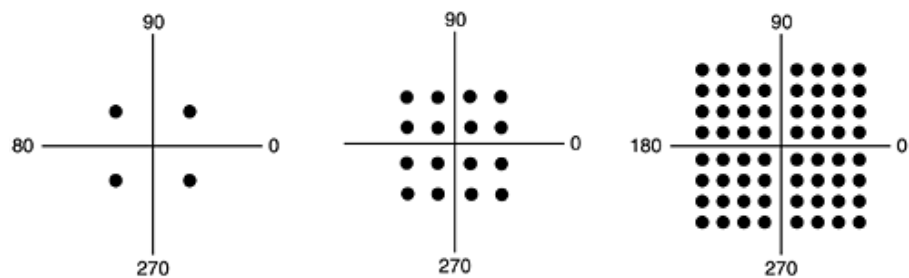
8-úrovňová fázová modulace vychází z použití efektivnějšího způsobu modulace. Doplnjuje původní GMSK o více stavů obrázek č. 4.



Obr. 4 8-PSK modulace [20]

2.5.2 UMTS a LTE

U UMTS se můžeme setkat s třemi typy modulace. QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) přenáší 2 bity na jeden symbol. 16-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) pracuje se 4 bity na symbol, u které je nutné rozlišovat velikost amplitudy. *Release 8* definuje použití modulace 64-QAM a metody MIMO (*Multiple Input Multiple Output*), která navyšuje rychlost až na 42 Mbit/s technologií DC-HSPA+ (*Dual Carrier High-Speed Packet Access Evolved*).



Obr. 5 Modulace QPSK, 16QAM a 64QAM [17]

3 Praktická část diplomové práce

Praktická část měření spotřeby energie je rozdělena do třech hlavních bloků. Prvním měřením byla spotřeba energie při přenosu velkého objemu dat ve formě dvou referenčních videí. Toto měření bylo prováděno pro tři různé datové technologie GSM, UMTS a hlavně nejnovější LTE.

Druhé měření spočívalo v přenosu dat z FTP serveru. Z FTP serveru byly pomocí všech tří datových technologií přenášeny vygenerované soubory o nominálních velikostech od 8kB až do 64MB. Soubory byly stahovány do samotného přístroje (*download*) a později byly nahrávány zpět na FTP (*upload*).

Ve třetím měření byl pro technologie UMTS a LTE sledován vliv kvality přenosové cesty na spotřebu energie a na průměrný výkon testovaného přístroje.

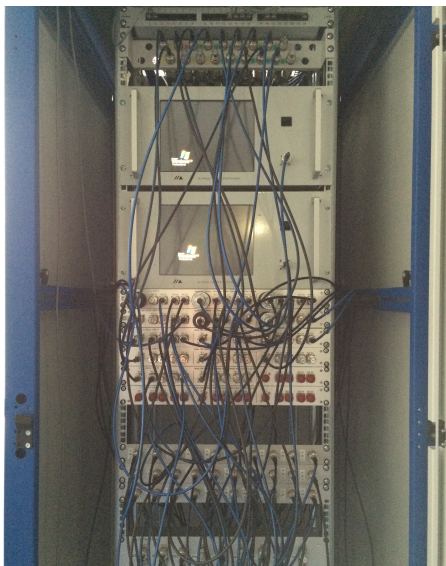
3.1 Měřicí pracoviště – Sledování videa a FTP server

Samotné měření bylo realizováno v jedné z testovacích místností pro integraci a validaci terminálů v hlavním sídle společnosti T-Mobile v Praze na Roztylech. Uvnitř místnosti je několik základnových stanic, které jsou určeny pouze pro testovací účely a nejsou používány k obsluze uživatelů.

Dále je místnost vybavena přístroji umožňujícími testování vlastní uzavřené sítě a zařízením, které dokáže simulovat útlum přenosové cesty na požadovanou úroveň.



Obr. 6 BS stanice pro účely testování



Obr. 7 Ukázka stojanového rozvaděče pro zapojení celé testovací sítě

Frekvence pro testování

T-Mobile v současnosti využívá třech datových sítí GSM, UMTS a nejnovější LTE, vždy na jiných frekvencích. Testovací frekvence v místnosti je u GSM na 1800 MHz, u UMTS se jedná o 2100 MHz a v poslední variantě u LTE je frekvence pro testování 1800 MHz.

V tabulce č.6 jsou souhrnně uvedeny vlastnosti jednotlivých zmiňovaných sítí včetně frekvencí, na kterých jsou testy prováděny.

	GSM		UMTS	LTE		
Pásmo	900	1800	2100	800	1800	2600
Šířka pásma	x 200 kHz	x 200 kHz	4 x 5 MHz	Až 10 MHz	Až 20 MHz	Až 20 MHz
Standard	3GPP Rel-98	3GPP Rel-98	3GPP Rel-7	3GPP Rel-9	3GPP Rel-9	3GPP Rel-9
Výkon	10W	2W		2 x 20W/10MHz	2 x 40W/20MHz	2 x 40W/20MHz
Modulace	GMSK	GMSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK
Download	8PSK	8PSK	64QAM	64QAM	64QAM	64QAM
Upload	8PSK	8PSK	16QAM	16QAM	16QAM	16QAM
Dodavatel	Huawei	Huawei	NSN	Huawei	Huawei	Huawei

Tab. 6 Frekvence využívané společností T-Mobile

V prvním kroku byly vybrány přístroje, které by bylo vhodné testovat. Po zvážení všech možností a vlastností jednotlivých telefonů byly vybírány nejvybavenější přístroje největších světových výrobců.

Ze všech zařízení měl v měření největší zastoupení Samsung společně s korejským výrobcem HTC, každý se třemi přístroji. Po jednom telefonu byl vybrán do testování Sony, Nokia a Blackberry. Nejpočetnější zastoupení měl systém Android se sedmi kusy. Aby bylo měření objektivnější, byl vybrán jeden model se systémem Windows a po jednom měl zastoupení i Blackberry OS10. Pro testování nebylo možné využít ani jeden z produktů amerického výrobce Apple. iPhone je v řadě věcí velmi uzavřený a např. rozebrání a testování samotného telefonu není výrobcem v českém zastoupení T-Mobile umožněno.

	Samsung Galaxy S5	Samsung Galaxy S4 cat.4	Samsung Galaxy S4	Sony Xperia Z1
Displej:				
Úhlopříčka	5,1" (113 x 64mm)	5" (111 x 62mm)	5" (111 x 62mm)	5" (111 x 62mm)
Rozlišení (bodů)	1080 x 1920	1080 x 1920	1080 x 1920	1080 x 1920
Jemnost (DPI)	432	441	441	441
Typ	Super AMOLED	Super AMOLED	Super AMOLED	TFT LCD
Procesor:				
Typ (Qualcomm)	MSM8974	MSM8974	APQ8064T	MSM8974
Takt (MHz)	2 500 MHz	1 900 MHz	1 900 MHz	2 200 MHz
Architektura	ARMv7	ARMv7	ARMv7	ARMv7
Typ jádra	4x Krait	4x Krait	4x Krait	4x Krait
Výroba	28 nm	28 nm	28 nm	28 nm
Technologie:				
	EDGE	EDGE	EDGE	EDGE
	UMTS/HSPA+	UMTS/HSPA+	UMTS/HSPA+	UMTS/HSPA+
	LTE-A	LTE-A	LTE	LTE-A
Baterie:				
Kapacita	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion
Typ	2 800 mAh	2 600 mAh	2 600 mAh	3 000 mAh

	HTC (One M8)	HTC One (M7)	HTC One SV	Nokia Lumia 1020	Blackberry Z30
Displej:					
Úhlopříčka	5" (111 x 62mm)	4,7" (104 x 59mm)	4,3" (94 x 56mm)	4,5" (98 x 59mm)	5" (111 x 62mm)
Rozlišení (bodů)	1080 x 1920	1080 x 1920	480 x 800	768 x 1280	720 x 1280
Jemnost (DPI)	441	469	217	332	294
Typ	S-LCD	S-LCD	S-LCD	AMOLED	Super AMOLED
Procesor:					
Typ (Qualcomm)	MSM8974	APQ8064T	MSM8930	MSM8960	MSM8960T
Takt (MHz)	2 300 MHz	1 700 MHz	1 200 MHz	1 500 MHz	1 700 MHz
Architektura	ARMv7	ARMv7	ARMv7	ARMv7	ARMv7
Typ jádra	4x Krait	4x Krait	2x Krait	2x Krait	2x Krait
Výroba	28 nm	28 nm	28 nm	28 nm	28 nm
Technologie:					
	EDGE	EDGE	EDGE	EDGE	EDGE
	UMTS/HSPA+	UMTS/HSPA+	UMTS/HSPA+	UMTS/HSPA+	UMTS/HSPA+
	LTE-A	LTE	LTE	LTE	LTE
Baterie:					
Kapacita	Li-Ion	Li-Pol	Li-Ion	Li-Ion	Li-Ion
Typ	2 600 mAh	2 300 mAh	1 800 mAh	2 000 mAh	2 880 mAh

V případě první a druhé části byla veškerá měření realizována pomocí zařízení Power monitor od společnosti Monsoon Solution. Stejně tomu tak bylo i u třetího měření. Zde byl měřicí systém doplněn ještě o další důležité komponenty.

Měřicí zařízení umožňuje odebrat aktuální hodnotu zatížení daného přístroje v intervalech 100 μ s. Výstupními daty softwaru dodávaného s měřicím zařízením jsou průměrná hodnota proudu spotřebovaného telefonem, výkon přístroje, celková spotřebovaná energie za určený časový úsek a grafy s průběhem výkonu nebo aktuální hodnotou proudu. Software umožňuje exportování dat do formátu CSV a jeho následné zpracování např. pomocí nástroje Matlab.



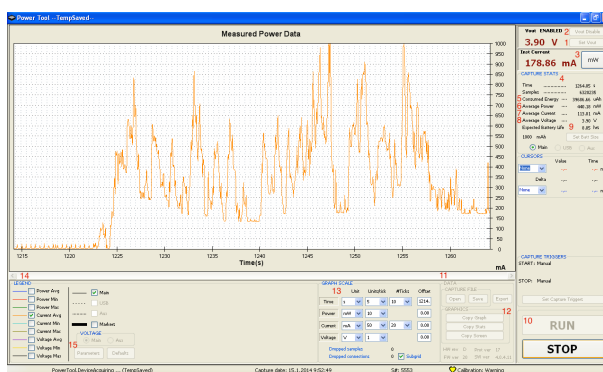
Obr. 8 Měřicí zařízení připojené k počítači přes USB port

Zařízení bylo stejně jako v případě mobilních telefonů zapůjčeno po dobu testování společností T-Mobile Czech Republic a.s.. Software je možné si stáhnout zdarma z internetových stránek výrobce [1].

Na obrázku č. 9 je grafické rozhraní softwaru k měřicímu přístroji. Velkou část zde zaujímá vykreslování grafu, kde je možné měnit časovou osu od jednotek μ s do desítek s. Na pravé horní straně je možnost nastavit tlačítkem (1) - *Set Vout* velikost napětí, kterým je měřený přístroj napájen. Toto napětí se standardně volí o velikosti 3,9V. *Vout Disable/Enable* - tlačítko (2) ovlivňuje samotné napájení telefonu zvoleným napětím. *Inst Current* - tlačítko (3) zobrazuje podle našich potřeb aktuální spotřebu proudu nebo výkon. Další částí (4) je tabulka s názvem *CAPTURE STATS*, kde jsou vypsány získané hodnoty během daného měření. *Consumed Energy* (5) udává spotřebovanou energii za zvolený časový úsek (uAh), *Average Power* (6) průměrný výkon (mW), *Average Current* (7) průměrný proud (mA), (9) *Average Voltage* (V) průměrnou velikost napětí, která je po celou dobu měření konstantní. Poslední

informací je pak *Expected Battery Life* (9), kde při nastavení kapacity baterie telefonu získáme odhad životnosti baterie při aktuálním zatížení. Tlačítka *Run/Stop* (10) slouží pro spuštění daného měření ve zvolený okamžik.

V další části rozhraní jsou *Data* (11) pro uložení a opětovné načtení změřených hodnot, oblast *Graphics* (12) pro generování průběhu. *Graph Scale* (13) slouží pro nastavení časové osy x a osy y. Zaškrtnuté kolonky u *Legend* (14) umožňují vykreslení zvolených průběhů. Nejčastěji byl volen průměrný proud (*Current Avg*) a výkon (*Power Avg*). Poslední částí rozhraní softwaru je tlačítka *Parameters* (15), kde lze nastavit detailněji maximální proud pro zapnutí přístroje, čas pro spuštění a další hodnoty, které předcházejí destrukci měřeného zařízení.



Obr. 9 rozhraní systému Power monitor

Schéma zapojení



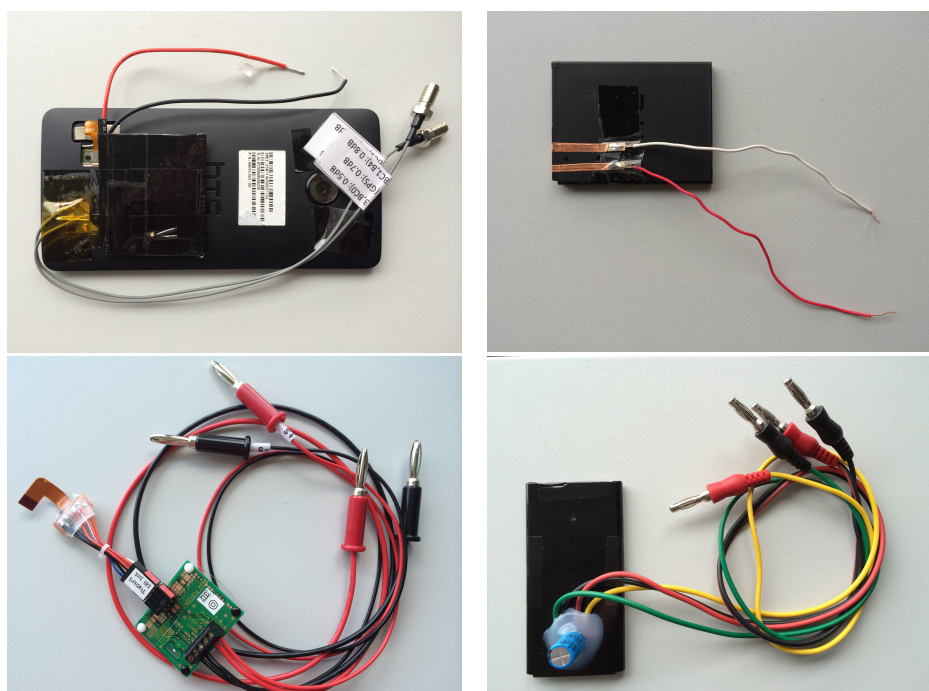
Tab. 7 Zapojení měřicího pracoviště č. I

Obrázek č. 10 ukazuje samotné zapojení celého měření. Software Power monitor od společnosti Monsoon Solution je pouze ve verzi pro systém Windows, proto bylo zapotřebí instalaci realizovat na počítači s touto verzí operačního systému. Přes USB port je zajištěna komunikace mezi měřícím zařízením a notebookem.



Obr. 10 Měřící pracoviště I.

Aby mohlo být měření realizováno, bylo zapotřebí testované přístroje pro měření přizpůsobit. Tento způsob se od každého telefonu liší. U zařízení značky Samsung konkrétně typ Galaxy S4 stačilo pouze vyvést kladný a záporný pól z baterie obrázek č. 8 a přes přípojné kabely propojit telefon s měřícím zařízením. U jiných značek tomu bylo obdobně, nebo bylo zapotřebí telefon připojit přes speciální sběrnici jako v případě Sony Xperia Z1 obr. 8. U některých typů došlo i k mírné úpravě připojené baterie viz telefon HTC One (M8). Vše je detailně vidět na přiložených obrázcích.



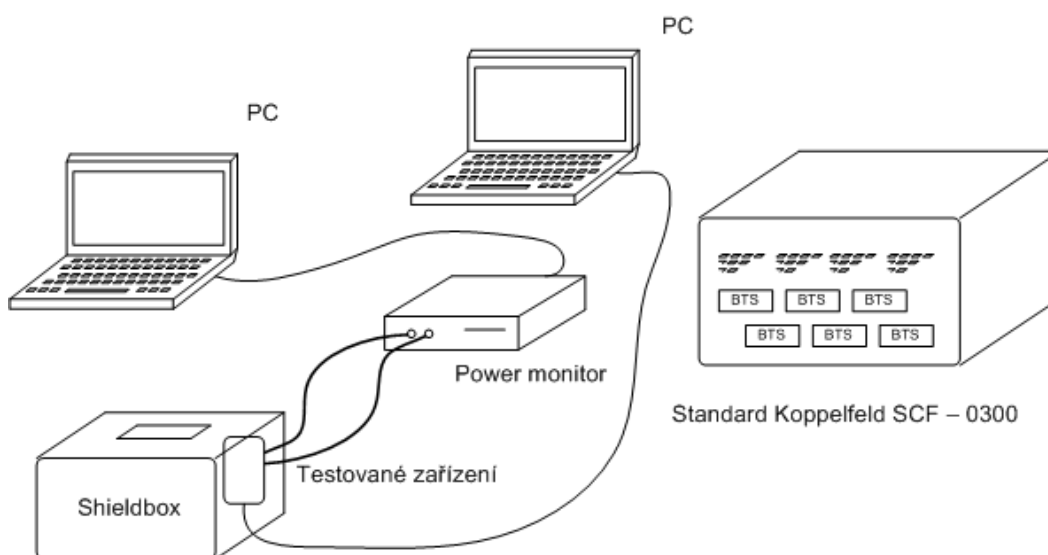
Obr. 11 Způsoby připojení baterie

3.2 Měřicí pracoviště – Útlum

V třetím případě bylo měření realizováno ve stejné místnosti. Zapojení celého měřicího pracoviště bylo doplněno dalšími zařízeními.

Pro testovací účely má měřicí pracoviště ve firmě T-Mobile vystavenou vlastní mobilní síť, kde je možné vybrat konkrétní pásmo a na něm realizovat celé měření. Jedná se o síť určenou pouze a jenom pro testování v místnosti týmu resp. pro danou osobou. To umožňuje dosažení stejných podmínek pro samotné měření a tím získání velmi přesných hodnot určených pro další zpracování.

Schéma zapojení



Tab. 8 Měřicí pracoviště č. II

Kromě Power monitoru pro měření aktuální spotřeby mobilního telefonu bylo použito několik dalších speciálních přístrojů a komponent, které zaručují co nejvěrnější simulaci konkrétní sítě a samotného radiového kanálu.

V první řadě se jednalo o zařízení od německé společnosti MTS Systemtechnik s označením Standard Koppelfeld SCF - 0300. Zařízení umí pracovat ve frekvenčním rozsahu od 400MHz do 2900MHz a umožňuje simulovat systém až šesti základnových stanic pro sítě GSM, UMTS i LTE. Útlum na jednotlivých BS stanicích lze volit v rozmezí od 0 dB až po 93 dB s krokem 1 dB.

Na obrázku č. 12 je vidět hlavní nastavitelná část zařízení. Jednotlivá tlačítka slouží pro definování konkrétních parametrů BS stanic.



Obr. 12 Zařízení Standard Koppelfeld SCF – 0300 [11]

Na obrázcích č. 10 je detailně zobrazen „shieldbox“, do kterého se vkládá samotný telefon.

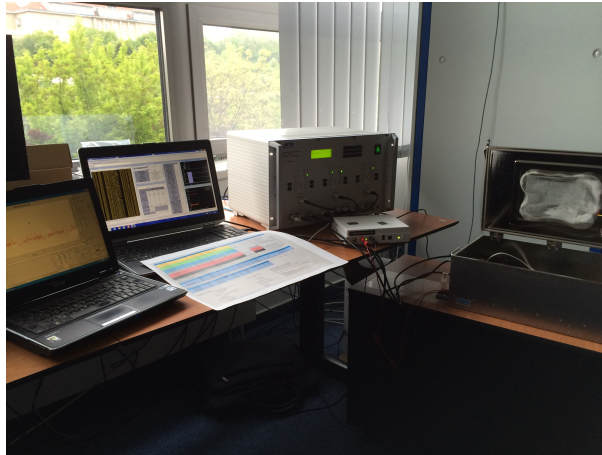


Obr. 13 Box pro testovaný telefon

Cílem je dosáhnout vlastností bez rušení dalšími sítěmi a k tomu toto zařízení slouží. Je tvořeno silnými ocelovými pláty tloušťky 5 mm. Na horní straně je doplněno malým otvorem vyplněným ocelovou sítí, která zabraňuje nežádoucím vlivům. Box má pro komunikaci s dalšími komponentami vyvedeny USB porty sloužící na

propojení s PC, zdířky pro napájení z měřicího zařízení aktuálního výkonu telefonu, port COM aj.

V případě bližší specifikace je možné navštívit i odkaz výrobce [11].

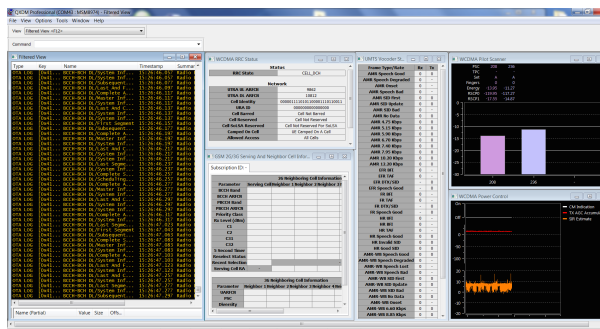


Obr. 14 Pracoviště pro měření vlastností útlumu

Software QUALCOMM eXtensible Diagnostic Monitor Professional dodávaný k měřicímu zařízení je od stejnojmenného výrobce procesorů Qualcomm. Umožňuje testování mobilních telefonů právě s tímto typem procesoru, to byla také hlavní podmínka volby zařízení. Telefony dodávané na dnešní trh jsou téměř ve všech případech od tohoto dodavatele. To dokazuje i výpis použitých zařízení v samotné diplomové práci.

Software nabízí náhled na všechny parametry sítě, které je možné získat. Od jednotlivých úrovní signálu, přes kanál, v kterém zařízení se síť komunikuje, k výpisu všech sousedních sítí a množství dalších informací.

Na obrázku č. 15 je přiložena ukázka eXDM softwaru.



Obr. 15 Software od společnosti Qualcomm

Levá část provádí výpisy dané sítě, uprostřed jsou některé z parametrů UMTS sítě, pod těmito informacemi je možné vidět výpis sítí, které testovaná stanice vidí ve svém okolí. Tyto informace jsou lépe zobrazeny na obrázku č. 16. Pro samotné měření na síti UMTS byla nejdůležitější pravá horní část, ve které je vidět využívaný kanál vč. útlumu, na kterém telefon v danou chvíli pracuje. Pro účely měření byl u UMTS vyhrazen kanál 236 bližší informace v Příloze: G. Velikost útlumu zde dosahuje hodnoty okolo 118dBm, z tohoto důvodu je viditelný i další kanál. Při této hodnotě útlumu již nebylo možné přenášet data. Se snížením útlumu dojde i k zobrazení opět pouze jednoho kanálu a tím i možnosti přenosu dat.

The screenshot shows a software window titled "GSM 2G/3G Serving And Neighbor Cell Information". It contains a table with the following data:

2G Neighboring Cell Information							
Parameter	Serving Cell	Neighbor 1	Neighbor 2	Neighbor 3	Neighbor 4	Neighbor 5	Neighbor 6
BCCH Band	GSM 900	GSM 900	GSM 900	DCS	GSM 900	GSM 900	
BCCH ARFCN	104	102	29	623	56	80	
PBCCH Band	Current 900/1800	Current 900/1800	Current 900/1800	Current 900/1800	Current 900/1800	Current 900/1800	
PBCCH ARFCN	Setting	Setting	Setting	Setting	Setting	Setting	
Priority Class	0	0	0	0	0	0	
Rx Level (dBm)	-47	-71	-73	-76	-80	-81	
C1	58	34	32	29	25	24	
C2	58	34	32	29	25	24	
C31	0	0	0	0	0	0	
C32	0	0	0	0	0	0	
5 Second Timer	Stopped	Stopped	Stopped	Stopped	Stopped	Stopped	
Reselect Status	Not Barred	Not Barred	Not Barred	Not Barred	Not Barred	Not Barred	
Recent Selection	No Cell Reselection In Last 15 Seconds						
Serving Cell RA		Belongs to RA	Belongs to RA	Belongs to RA	Belongs to RA	Belongs to RA	

Below this table, there are sections for "3G Neighboring Cell Information" and "3G Settings".

Obr. 16 Výpis sousedních sítí z prostředí softwaru od Qualcomm

3.3 Metodika – Spotřeba energie pro přenos videa

Aby měření měly co nejpřesnější vypovídací hodnotu, byly všechny telefony měřeny za jednotného nastavení sítě co se týče přehrávání záznamu pomocí sítě GSM, UMTS i LTE. Přístroje měly zvoleny totožné parametry tj.: Wi-Fi, GPS, NFC, bluetooth, veškeré aktualizace a synchronizace vypnuty, jas displeje a hlasitost nastaveny na střední hodnotu. U letového režimu automaticky dojde i k zamezení přenosu dat přes všechny datové technologie.

Po připojení telefonu k měřicímu zařízení a spuštění přístroje byl každý model vždy zaktualizován na poslední dostupnou verzi systému včetně aplikace Youtube, ve které probíhalo spuštění videa.

Pro objektivnější měření byla použita dvě videa ze serveru www.youtube.com o nominální délce 4 minuty a 20 minut. Rozdílné velikosti byly voleny úmyslně pro vyhodnocení výsledků v případě kratšího i delšího záznamu

3.4 Metodika – Stahování/odesílání dat z/na FTP server

Pro účely měření byl poskytnut datový prostor na FTP serveru Fakulty elektrotechnické na adrese: <ftp://video.feld.cvut.cz> umožňující čtení i zápis dat. Do složky pro potřeby diplomové práce byly nahrány soubory o následujících nominálních velikostech: 9x8kB, 9x64kB, 9x512kB, 8x8MB, 2x64MB. Přes obchod Google Play byla do mobilních telefonů nainstalována aplikace ES File Explorer File Manager, která umožňuje na přístrojích s operačním systémem Android od verze 2.1 vzdálený přístup na FTP server. Hlavní výhodou je i stahování dat na pozadí, z důvodu právě již zmiňovaného uzamčení telefonu a tím dosažení relevantnějších dat z měření.

Nejprve bylo zapotřebí připojit testované zařízení na měřící prvek od společnosti Monsoon Solution jako v případě prvního měření. Po připojení na FTP server a zvolení první datové technologie 2G byly vybrány soubory pro stažení dat ve směru k uživateli. Měření byla pro získání spolehlivých informací opakována a z nich následně vytvořeny aritmetické průměry. Po stažení všech zmiňovaných velikostí je celý postup opakován pro zbývající dvě technologie UMTS a LTE.

Po otestování všech variant pro downlink je postup realizován i pro uplink tzn. ve směru od uživatele. Data jsou ve stejné posloupnosti jako v předchozím případě nahrávána na server.

Z důvodu časové náročnosti měření (doba měření spotřeby jednoho telefonu je zhruba jeden den) bylo provedeno měření na pěti typech telefonů. Dalším z důvodů byla nemožnost nainstalování FTP klienta na telefony bez operačního systému Android. Pro systémy Windows Phone ani Blackberry OS10 neexistovala relevantní aplikace podobající se zmiňované pro systém od společnosti Google. Z důvodu dodání nového telefonu pro testování a to konkrétně nejnovějšího a nejvybavenějšího přístroje od HTC One s označením M8, byl do měření doplněn. V případě prvního měření byl testován pouze předchozí model One (M7). Zmiňovaný novější v té době ještě nebyl pro testování uvolněn. Hlavním rozdílem je použitý procesor.

3.5 Metodika – Útlum

Pro testovací účely má měřící pracoviště ve firmě T-Mobile vystavenou vlastní mobilní síť, kde je možné vybrat konkrétní pásmo a na něm realizovat celé měření. Jedná se o síť určenou pouze a jenom pro testování v místnosti týmu. To umožňuje

dosažení stejných podmínek pro samotné měření a tím získání velmi přesných hodnot určených pro další zpracování.

V Příloze G je konkrétní specifikace kanálu, na kterém bylo celé testování prováděno, konkrétně se jedná o kanál č. 236 na frekvenci 2100 v případě UMTS, pro LTE byl vyčleněn kanál s frekvencí 1800 MHz.

Vzhledem k času, po který bylo možné zmiňované pracoviště využívat, bylo testování omezeno pouze na jeden přístroj. Pro měření byl vybrán telefon Samsung Galaxy S5. V době testování přístroje byla na daném pracovišti nefunkční nejstarší technologie GSM. Z tohoto důvodu mohla být otestována pouze technologie UMTS a LTE.

Po úspěšném zapojení celého systému a připojením testovaného telefonu bylo nejprve potřebné se seznámit s celou problematikou samotného měření a porozumět softwaru umožňujícímu testování.

Se zapnutím přístroje a možností testování bylo potřebné zobrazit tzv. vývojářské menu, které se na displeji telefonu zobrazí po zadání kódu `*#0808#`. Je zapotřebí vybrat volbu RNDIS + DM + MODEM. Bez zvolení této možnosti by nebylo testování vůbec realizovatelné.

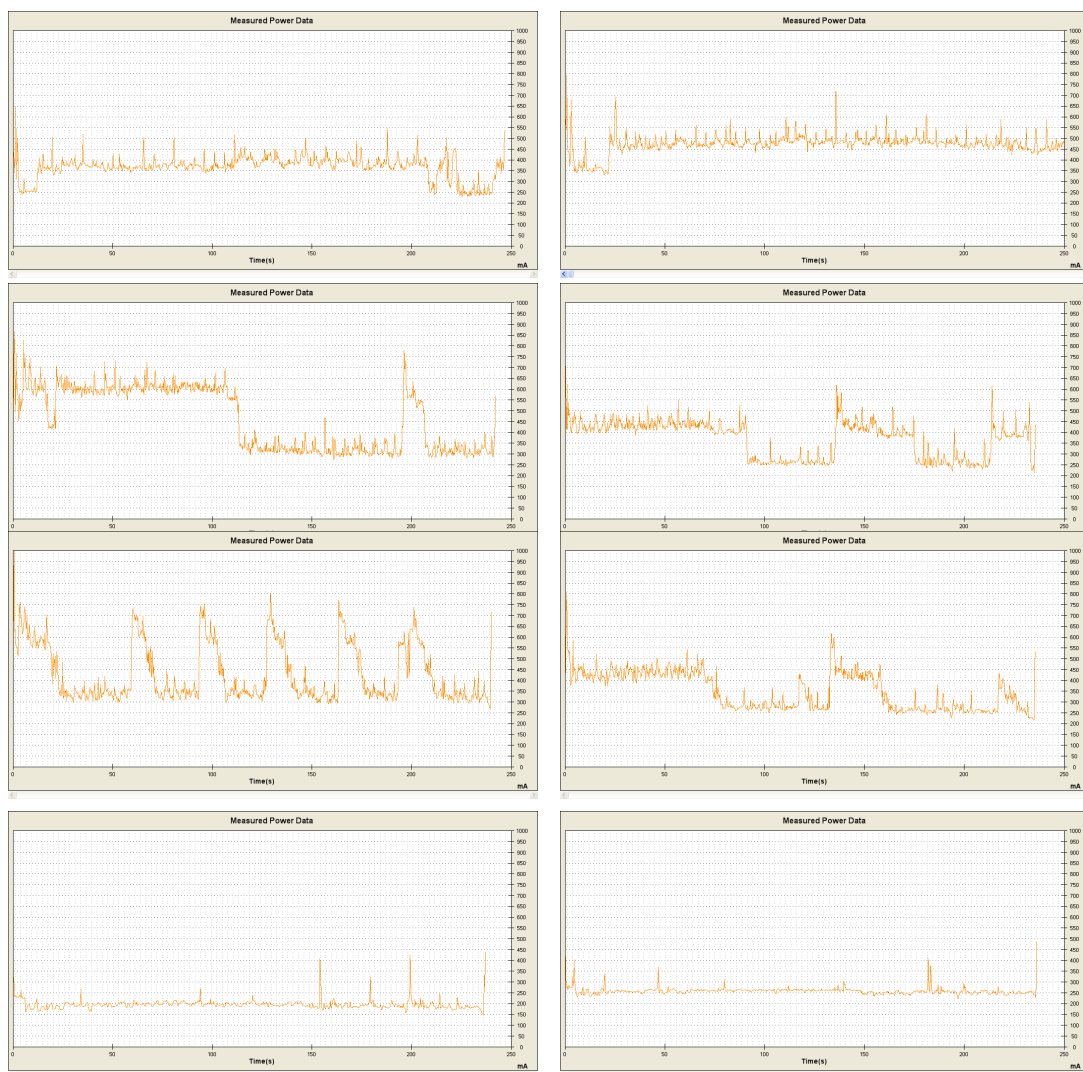
V softwaru výrobce procesoru bylo vidět, že i několikamilimetrové neutěsnění krytu mělo za následek získání hodnot o velmi špatné vypovídací hodnotě. Z důvodu ovlivňování aktuální spotřeby připojením telefonu přes USB, došlo při uzavřeném boxu k nastavení parametrů sítě a následnému odpojení přístroje od PC a tím napájení zařízení pouze z měřicího systému aktuální spotřeby.

Aby bylo možné otestovat chování telefonu s různými parametry sítě, byl zvolen rozsah útlumu přístroje od -70 dBm do -118dBm s krokem 10 dBm, tj. od naprosto ideálních podmínek přenosové cesty až po zcela nevyhovující, kde mohlo docházet k výpadkům přenosu dat.

Po aritmetickém průměru došlo k vynesení hodnot do grafů uvedených ve výsledcích měření. Pro testování byly zvoleny dva druhy souboru: 9x512kB a 8x8MB ve směru k uživateli i od něj. Testování proběhlo na sítích UMTS a LTE.

3.6 Měření - Spotřeba energie pro přenos videa

Na přiložených obrázcích č. 14 lze sledovat odlišné průběhy spotřeby energie pro postupné stahování a přehrávání videa, nejprve pro technologii GSM v prvním případě. Následné UMTS a dalším průběhem byla technologie LTE. V posledním případě doplněn průběh s přehráváním videa v letovém režimu. Špičky, které se zde objevily, mohou být způsobeny snahou mobilního telefonu synchronizovat data i pokud se jedná o letový režim. Pro zajímavost jsou zobrazeny průběhy dvou telefonů, konkrétně Samsung Galaxy S4 v cat. 4 a HTC One (M7).

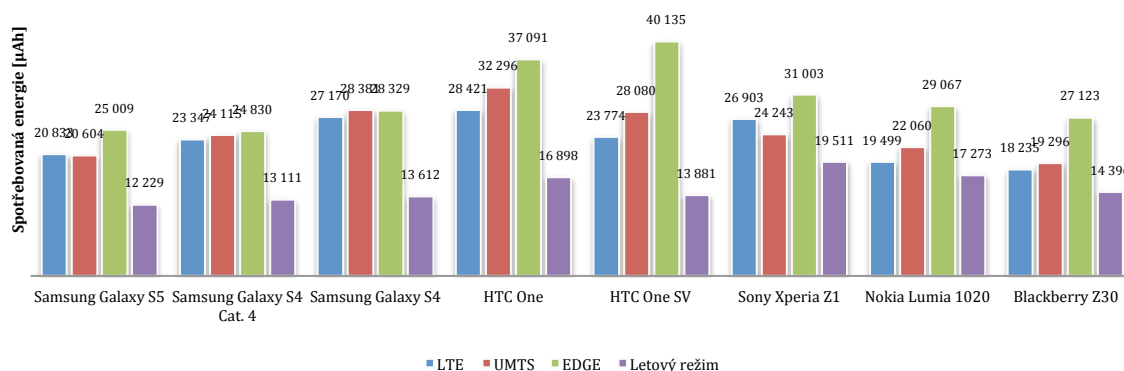


Obr. 17 Aktuální velikost výkonu. Shoda GSM, UMTS, LTE, letový režim

Ve výsledcích měření lze porovnat spotřebu jednotlivých mobilních telefonů připojených přes GSM, UMTS i LTE. Výsledky jsou doplněny o spotřebu energie při přehrávání totožného videa v letovém režimu. Z důvodu velkého počtu grafů byly zbylé

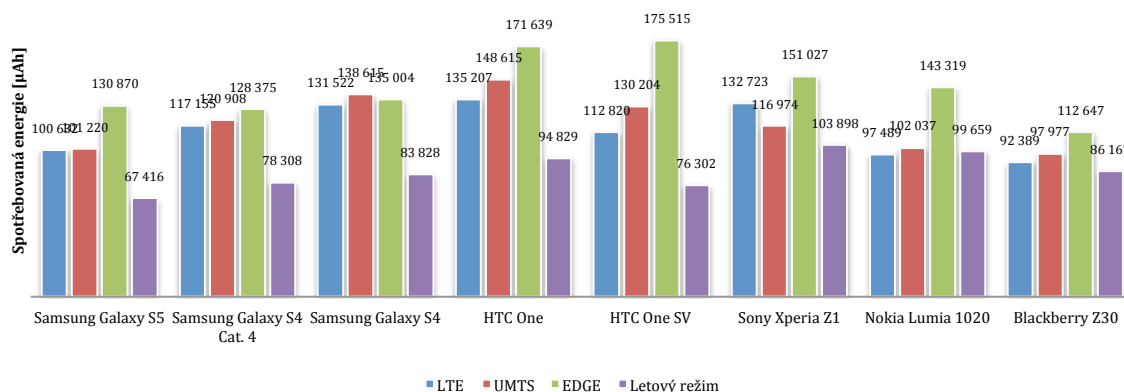
přesunuty do Přílohy A, kde je možné detailněji všechny výstupní grafy porovnat.

Na obrázku č. 18 se záznamem o délce 4 min je vidět celková spotřebovaná energie, která je ve všech případech nejnižší pro nastupující technologii LTE. Jinak je tomu pouze u dvou přístrojů a i zde není rozdíl markantní. U přístroje Samsung Galaxy S5 nebyla testována finální verze systému Android, z tohoto důvodu mohla tato situace nastat. Jedná se minimální a zanedbatelný rozdíl v porovnání s technologií UMTS. Větší nárůst okolo dvou procentních bodů nastal mezi LTE a UMTS u přístroje značky Sony. Zde jen těžko můžeme hledat vysvětlení, proč daný přístroj měl vyšší spotřebovanou energii. Tento rozdíl byl u telefonu patrný pro všechna měření, která na přístroji byla realizována. Chování by se muselo podrobit dalšímu zkoumání za odchyťáváním veškeré komunikace pomocí wiresharku a vlastního APN.



Obr. 18 Celková spotřebovaná energie všech testovaných přístrojů - video 4 min.

U delšího časového záznamu Příloha A byl vyšší průměrný výkon sítě LTE v porovnání s UMTS již pouze v případě jednoho přístroje. Jednalo se o stejný přístroj Sony.



Obr. 19 Celková spotřebovaná energie všech testovaných přístrojů - video 20 min.

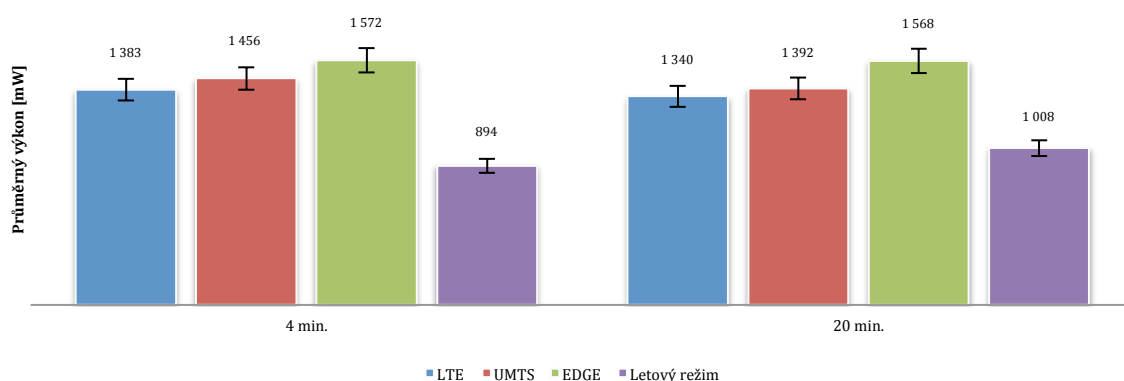
Zdaleka nejhůře dopadla technologie EDGE, ať už se jednalo o průměrnou velikost výkonu viz Příloha A po dobu přehrávání videa, nebo o celkovou spotřebovanou energii. Z uživatelského hlediska nebylo možné video ve vysokém rozlišení přehrát, využitelnost byla prakticky nulová. Proto bylo video přepnuto do nižšího rozlišení, kde kvalita reprodukce byla výrazně za kvalitou dvou novějších technologií. Nárůst spotřeby je způsoben poměrně dlouhým načítáním videa do vyrovnávací paměti, ale zároveň i samotným vyšším aktuálním výkonem po dobu přehrávání video záznamu.

Po otestování všech přístrojů vyšla nastupující technologie LTE jako zcela nejšetnější na spotřebu baterie, jediný zástupce, kde tomu tak nebylo, byl zmiňovaný přístroj od Sony a konkrétně model Xperia Z1.

Závěr

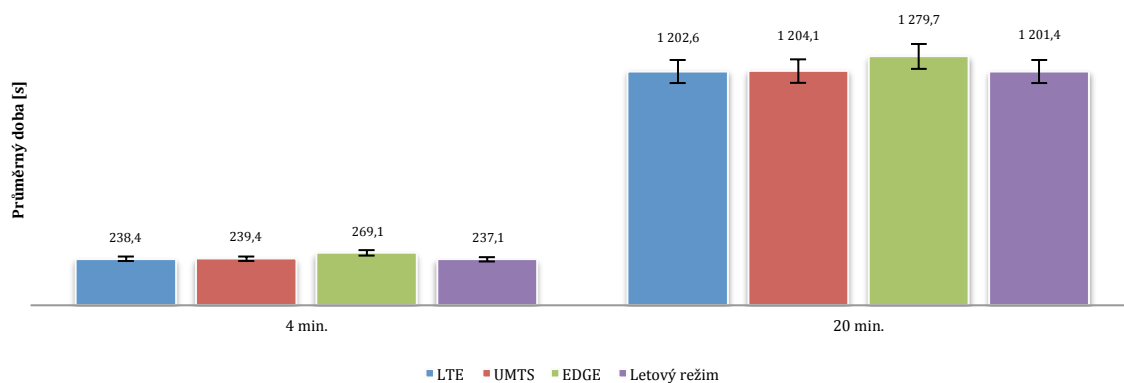
Pokud detailněji rozebereme průměrného výkon obrázků č. 20, celkovou spotřebu obrázků č. 20 a rychlost spuštění videa obrázků č. 21, je nastupující technologie LTE ve všech ohledech nejlépe hodnocená. Přiložené obrázky jsou toho důkazem. Ani v jednom případě nelze mluvit o zvýšené spotřebě baterie pro nejnovější sítě HSPA+ a hlavně samotné LTE.

Již v případě samotného výkonu jsou vidět vyšší hodnoty pro 2. generaci mobilní sítě, kterou je technologie GSM. U UMTS je pokles výkonu okolo 10% oproti GSM, u LTE je pokles ještě znatelnější téměř 15%.



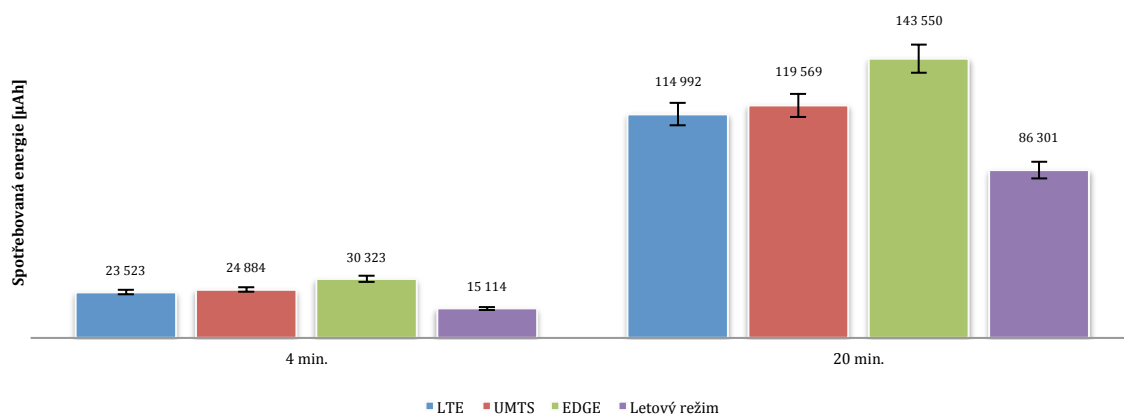
Obr. 20 Průměrný výkon přes všechny změřené přístroje

U průměrné doby přehrávání videa obrázek č. 21 je znatelný nárůst času pro nejstarší technologii GSM. V případě 4 minutového videa je celková doba od spuštění videa do konce přehrávání navýšena od 30 sekund. Je to způsobeno pomalým načítáním záznamu. U 20 minutového videa je doba prodloužena o 80 sekund. Tím je využitelnost GSM technologie značně za UMTS a LTE. U novějších technologií probíhalo samotné přehrávání téměř okamžitě.



Obr. 21 Průměrná doba přehrávání videa přes všechny změřené přístroje

Vyšší čas pro přehrání záznamu a výkon u GSM technologie má za následek nejvyšší celkovou spotřebovanou energii oproti sítím LTE a UMTS. Nejlepších výsledků dosáhla technologie LTE, následována sítěmi 3. generace UMTS. LTE je na celkovou spotřebovanou energii šetrnější řádově o 25%. UMTS dosahuje v porovnání s GSM úspory spotřebované energie 20% obrázek č. 22.



Obr. 22 Celková spotřebovaná energie přes všechny změřené přístroje

3.7 Měření - Stahování/odesílání souborů z/na FTP server

V případě prvního měření šlo o testování spotřeby baterie telefonu spuštěním videa ze serveru www.youtube.com. Zde velká část výkonu byla využita na samotnou obrazovou složku. Aby bylo testování objektivnější a mohlo dojít k porovnání s dalšími variantami, byly v druhém případě stahovány soubory z FTP serveru při uzamčeném mobilním telefonu a tudíž zhasnutém displeji. Zde již můžeme mluvit více o spotřebě telefonu hlavně na rádiové části.

	DOWN (kB)			UP (kB)		
	LTE	UMTS	GSM	LTE	UMTS	GSM
9 x 8kB	4 (3 – 6)	4 (3 – 5)	2 (1,5 – 2,8)	10 (8 – 12)	7 (3 – 12)	1,5 (1 – 2,2)
9 x 64kB	40 (30 – 50)	30 (25 – 40)	12 (9 – 15)	80 (50 – 100)	40 (20 – 60)	10 (5 – 15)
9 x 512kB	250 (200 – 300)	150 (100 – 200)	25 (20 – 30)	350 (250 – 450)	130 (70 – 190)	20 (15 – 25)
8 x 8MB	1000 (800 – 1300)	600 (400 – 800)	28 (23 – 32)	1100 (700 – 1600)	200 (150 – 300)	25 (20 – 30)
2 x 64MB	1400 (1300 – 1600)	700 (400 – 1000)	-	1200 (700 – 1700)	250 (180 – 350)	-

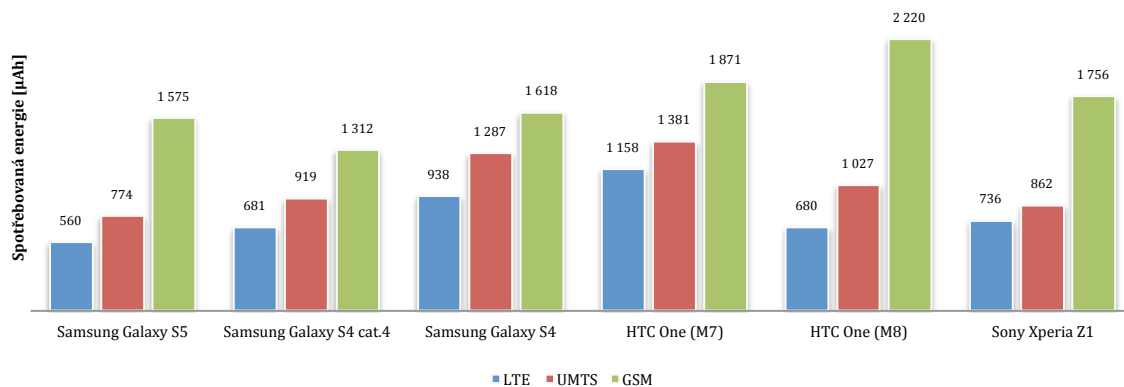
Tab. 9 Tabulka průměrných rychlostí stahování/odesílání dat z/na server vč. rozptylu

Zajímavostí je určitě i to, jakým způsobem se mobilní telefon chová v čase na jednotlivých technologiích a u daných typů telefonů. Zde stojí za zmínku stálost technologie LTE, v průběhu celého měření se získané hodnoty sobě velmi blížily, což u 3. a zvláště pak 2. generace mobilních sítí není.

Stahování dat z FTP serveru

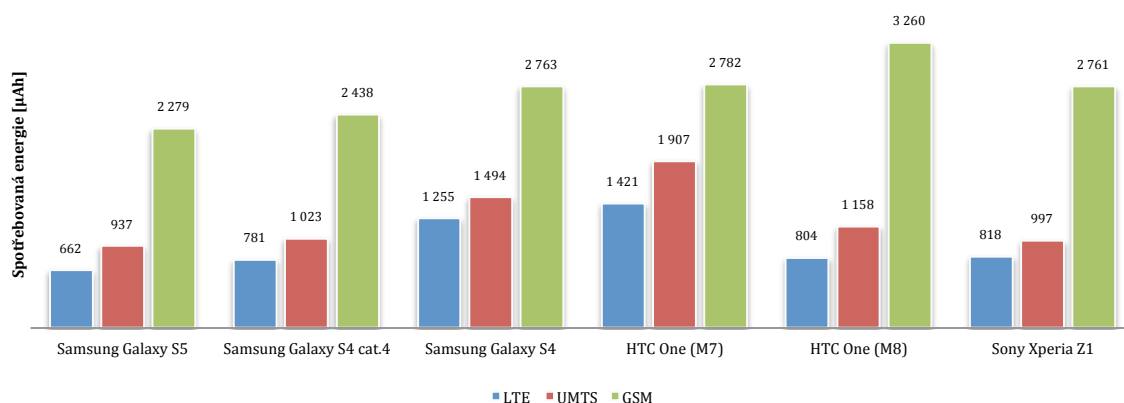
Pokud porovnáme samotné měření, hned v prvním případě je možné si všimnout

šetřnosti novějších technologií vůči baterii. Průměrný výkon je sice u velikosti souborů 8kB v některých případech pro EDGE technologii nižší, viz Příloha B. Výsledná celková spotřeba energie viz obrázek č. 23 je ale v případě UMTS a zvláště LTE výrazně nižší.



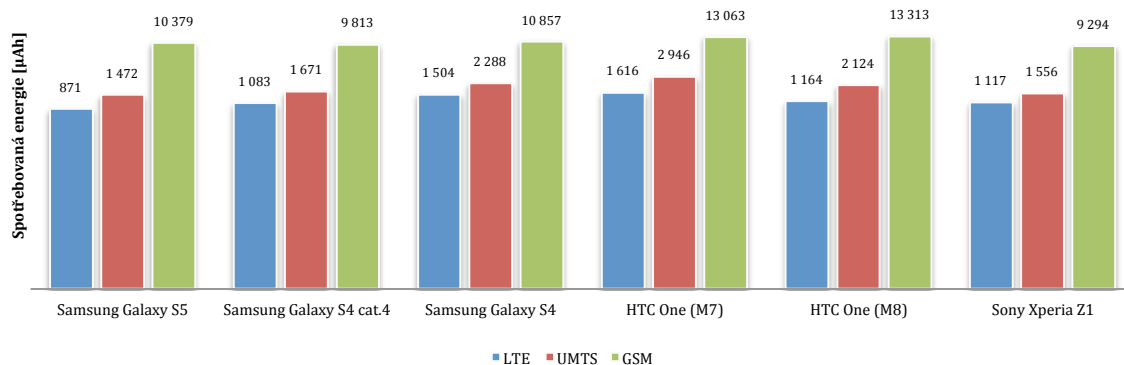
Obr. 23 9x8kB - Celková spotřebovaná energie ve směru k uživateli

U celkové spotřeby již dochází k větším rozestupům napříč samotnými technologiemi. Paketový přenos v GSM síti začíná neúměrně na spotřebovanou energii narůstat. UMTS ušetří v porovnání s GSM polovinu celkové energie. Technologie LTE je na tom ještě lépe. Jen jedna třetina celkové spotřebované energie v porovnání s GSM je potřebná na stažení stejně velkého souboru viz obrázek č. 24.



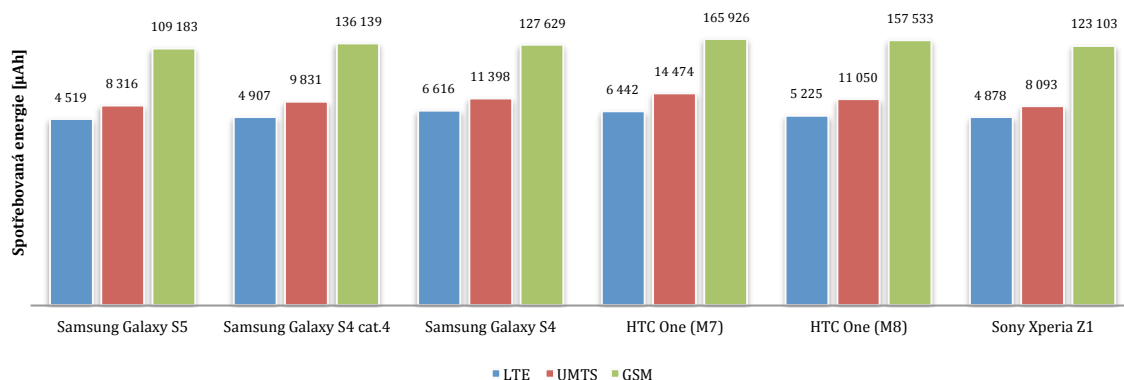
Obr. 24 9x64kB - Celková spotřebovaná energie ve směru k uživateli

Pro přehlednost byl obrázek č. 25 s velikostí souborů 512kB zobrazen v exponenciálních hodnotách. Nárůst celkové energie byl v případě GSM příliš vysoký a výsledek by byl velmi nepřehledný.



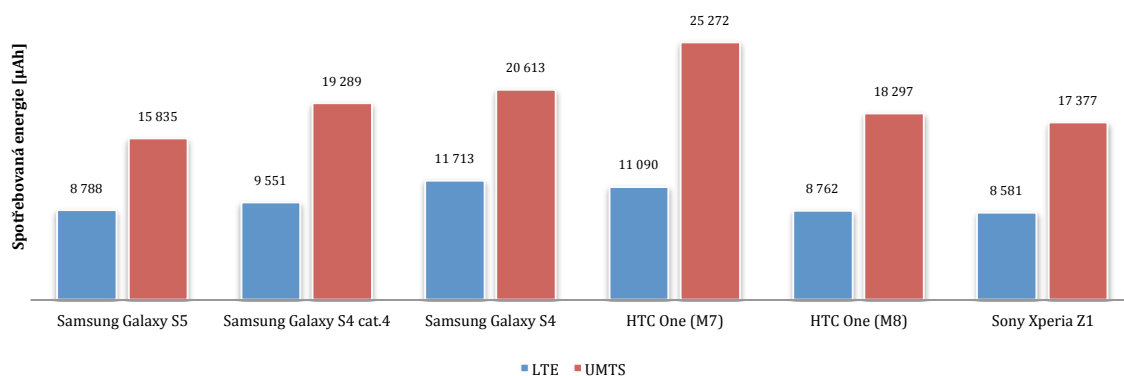
Obr. 25 9x512kB - Celková spotřebovaná energie ve směru k uživateli

Stejný postup exponenciální osy byl zvolen u obrázku č. 26, kde je zobrazena celková spotřebovaná energie pro 8MB soubory ve směru k uživateli.



Obr. 26 8x8MB - Celková spotřebovaná energie ve směru k uživateli

U posledních 64MB souborů obrázek č. 27 bylo stahování dat v síti GSM zcela vynecháno. Doba stažení by byla značná, proto bylo testování omezeno na dvě nejrychlejší datové technologie. Celková spotřebovaná energie je v případě LTE na 50% celkové energie sítí UMTS. V případě průměrného výkonu spolu UMTS i LTE velmi korespondovaly, viz Příloha B.

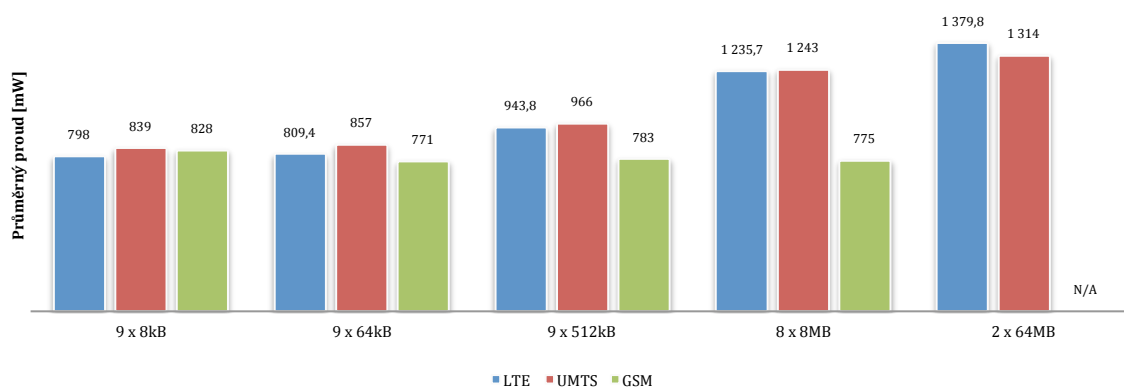


Obr. 27 2x64MB - Celková spotřebovaná energie ve směru k uživateli

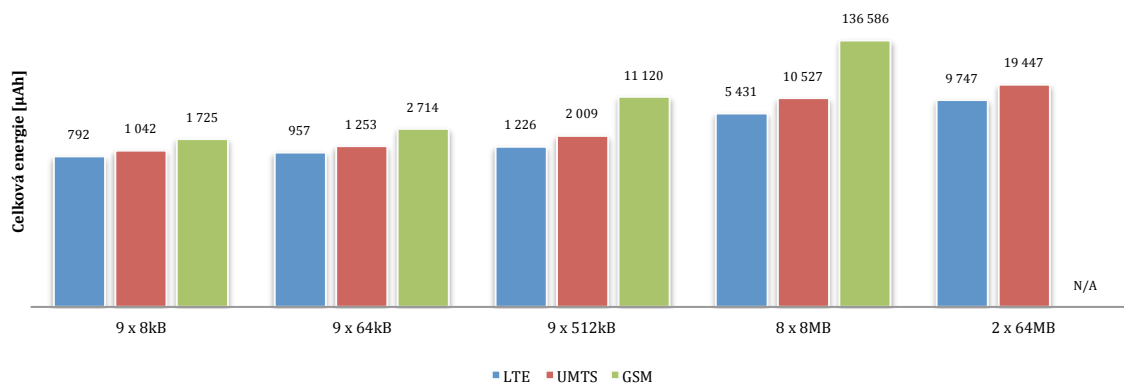
Závěr

Z tabulky č. 9 je vidět, že nejnovější technologie LTE dosahuje pro přenos dat k uživateli nižší rychlosti oproti nahrávání dat na server. Je tomu tak u souborů v jednotkách až stovek kB, obrat nastává od souborů větších přesahující velikost jednotek MB. Podobné chování má síť i v případě UMTS technologie, zde nastává stejná situace pouze ve velikostech souborů do desítek kB. U nejstarší technologie je tomu dle předpokladů, rychlost ve směru k uživateli je vyšší v porovnání s odesíláním dat ve všech případech.

Z obrázku č. 28 s růstem velikostí souborů dochází i k lineárnímu nárůstu průměrného výkonu u technologie LTE i UMTS. Pro GSM je tato velikost konstantní.

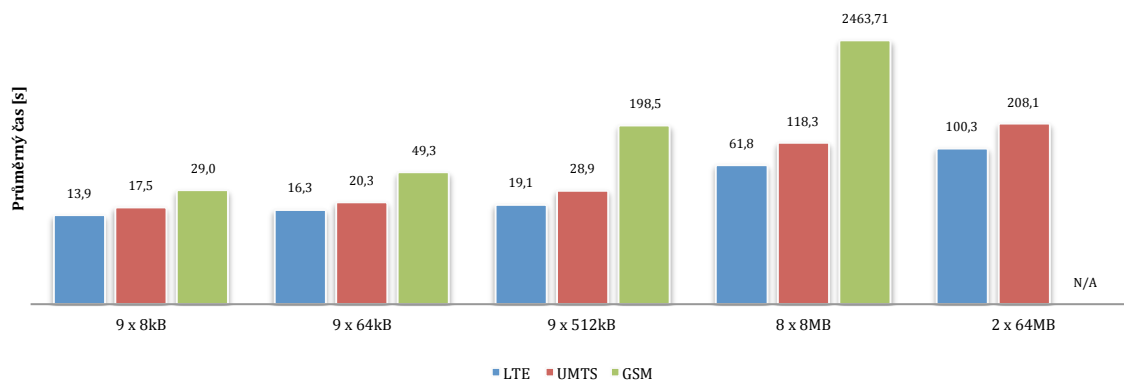


Obr. 28 Průměrný výkon všech změřených přístrojů ve směru k uživateli



Obr. 29 Průměrná velikost energie všech změřených přístrojů ve směru k uživateli

Rozptyl velikostí výkonu je u dvou rychlejších technologií v řádu jednotek procent. LTE technologie potřebuje u největších souborů méně jak 50% času oproti UMTS, což dokazuje obrázek č. 30.

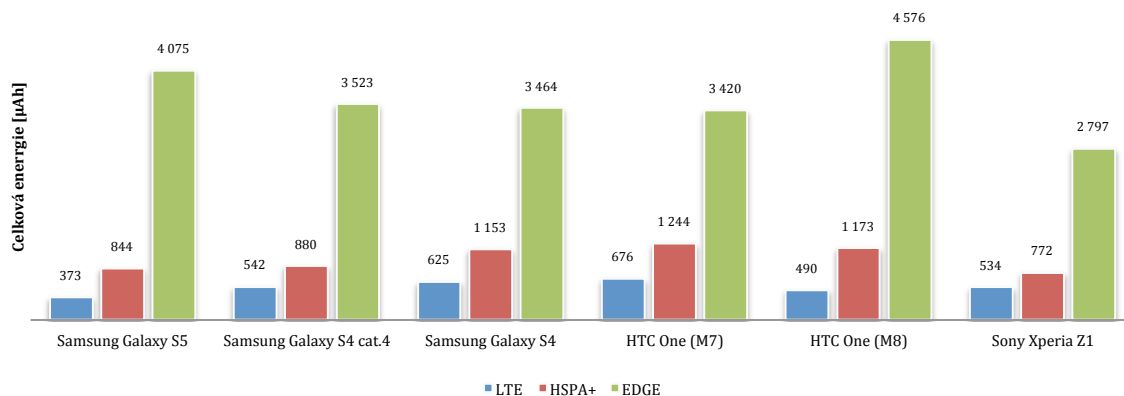


Obr. 30 Průměrný čas stažení souborů přes všechny změřené přístroje

S ohledem na čas potřebný pro stažení souboru je GSM oproti zbylým dvěma technologiím náročnější na spotřebu telefonu. S růstem celkových velikostí stahovaných souborů rapidně narůstá čas i celková spotřebovaná energie v síti GSM. I zde je patrná úspora technologie LTE v porovnání s UMTS i GSM.

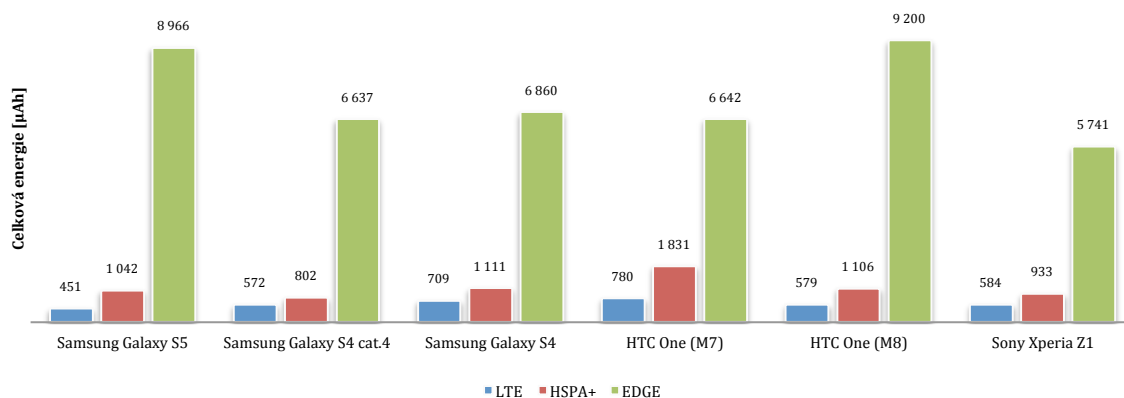
Odesílání dat na FTP server

Po doměření všech dat v případě downlinku, došlo ještě ke změření v opačném směru od uživatele (*uplink*). Do každého telefonu tedy byly nejprve soubory staženy, aby následně mohly být využity pro odesílání.



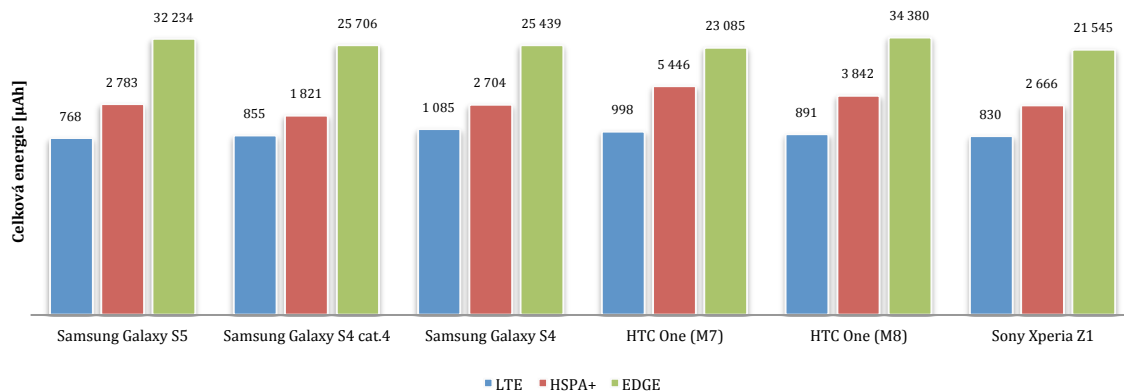
Obr. 31 9x8kB - Celková spotřebovaná energie ve směru od uživatele

Hned v prvních dvou případech je z obrázků č. 31 a č. 32 patrná více jak desetinásobně větší celková spotřeba u GSM v porovnání s LTE. U UMTS je nárůst na dvojnásobku LTE technologie.



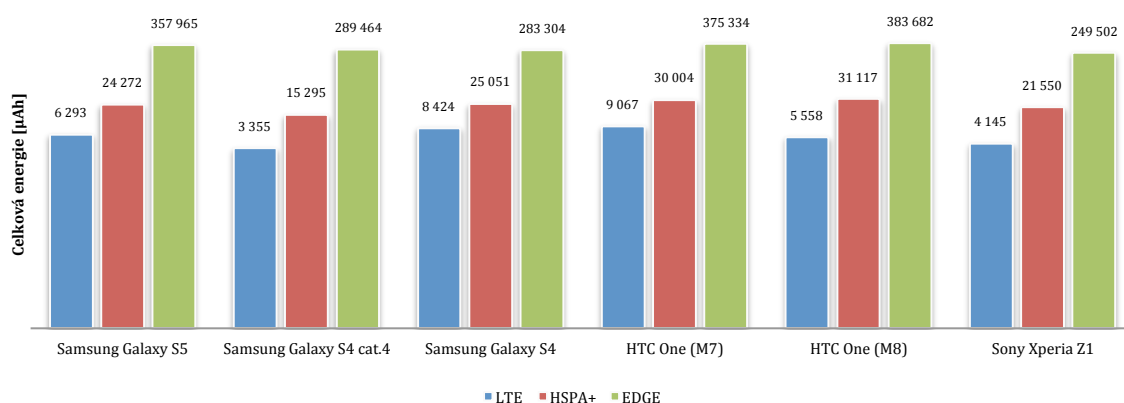
Obr. 32 9x64kB - Celková spotřebovaná energie ve směru od uživatele

Pro přehlednost a velký rozdíl v celkové spotřebované energii byly následující hodnoty na ose y zobrazeny exponenciálně.



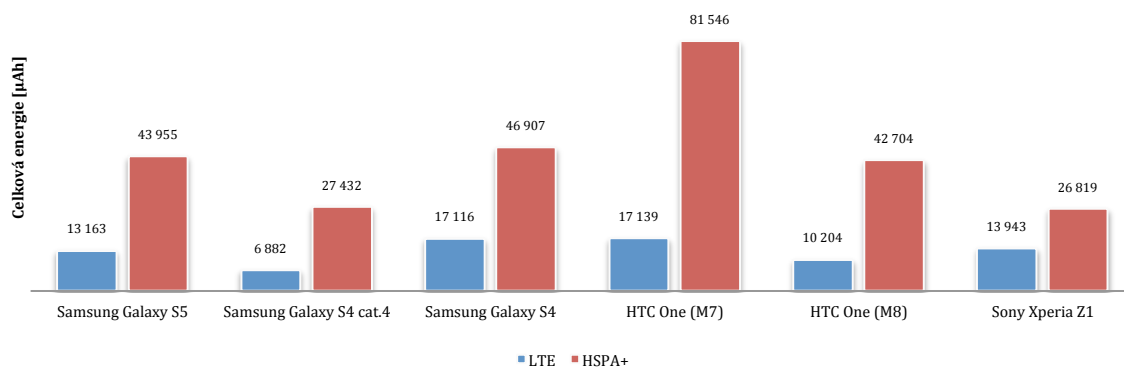
Obr. 33 9x512kB - Celková spotřebovaná energie ve směru od uživatele

Pro soubory v řádu desítek MB je GSM technologie prakticky nevyužitelná. Pokud porovnáme GSM technologii s LTE, je množství spotřebované energie u těchto souborů více jak padesátinásobně větší.



Obr. 34 8x8MB - Celková spotřebovaná energie ve směru od uživatele

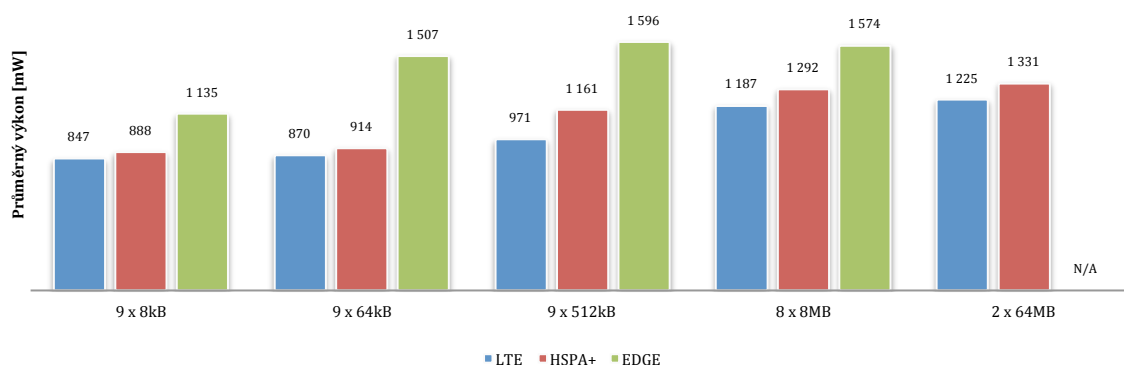
Z důvodu časové náročnosti byla z posledního měření odstraněna technologie GSM. LTE technologie zde vycházela až čtyřnásobně úsporněji oproti UMTS. Ve směru od uživatele je nastupující technologie i značně stabilnější mezi jednotlivými přístroji. Velmi rozdílných hodnot dosahuje technologie UMTS v případě odesílání dat. Vše je názorně vidět na obrázku č. 35.



Obr. 35 2x64MB - Celková spotřebovaná energie ve směru od uživatele

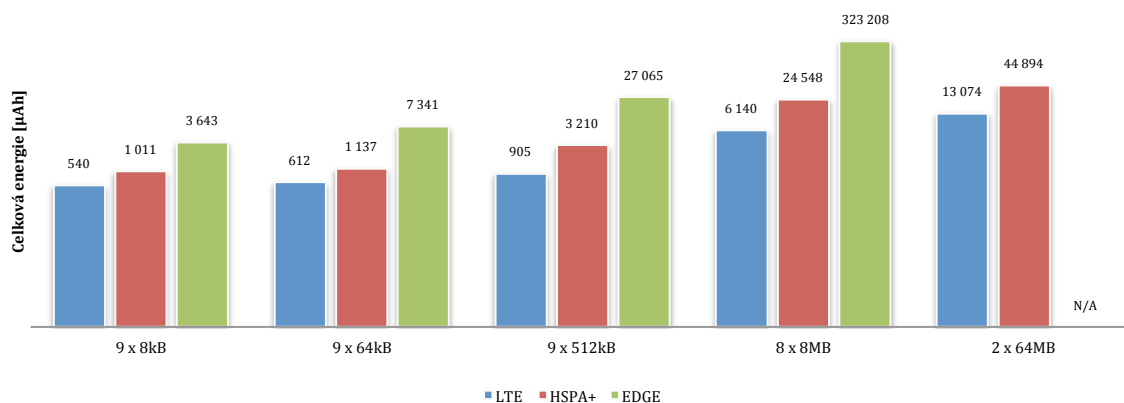
Závěr

Pokud u předchozího měření (*downlink*) byl nárůst výkonu LTE a UMTS oproti GSM třetinový, zde je viditelný třetinový pokles průměrného výkonu, viz obrázek č. 36. I zde je patrný s růstem velikosti souborů postupný nárůst průměrného výkonu.



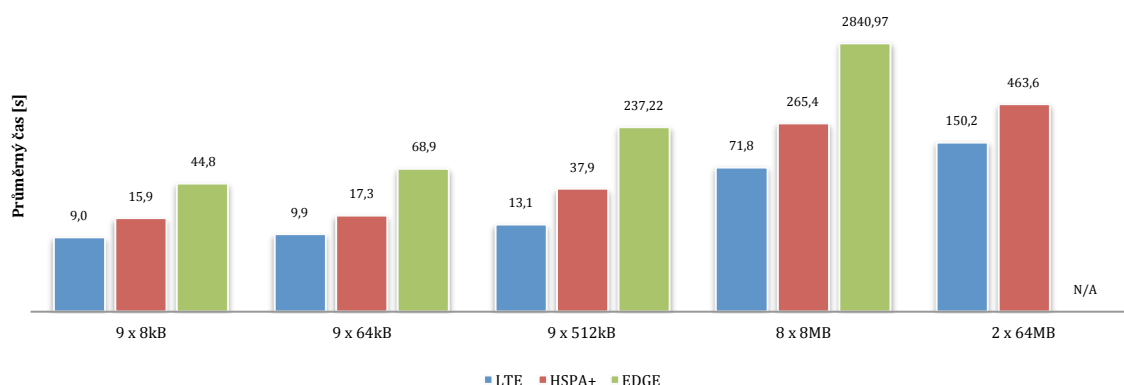
Obr. 36 Průměrný výkon všech změřených přístrojů ve směru od uživatele

U souborů do velikosti 64kB byla celková spotřeba LTE technologie na 50% celkové spotřeby UMTS sítě. U dat o velikosti 512kB byl pokles spotřeby na 30% a s velikostí souborů v řádů MB klesla celková spotřeba LTE sítě na 25% spotřeby UMTS.



Obr. 37 Průměrná velikost energie všech změřených přístrojů ve směru od uživatele

Časově i výkonově nejstabilnější je opět nejnovější technologie. Pokud budeme uvažovat čas potřebný pro nahrání souboru na server, i zde vychází nejlépe technologie LTE, viz obrázek č. 38.



Obr. 38 Průměrný čas pro odeslání souboru ve směru od uživatele

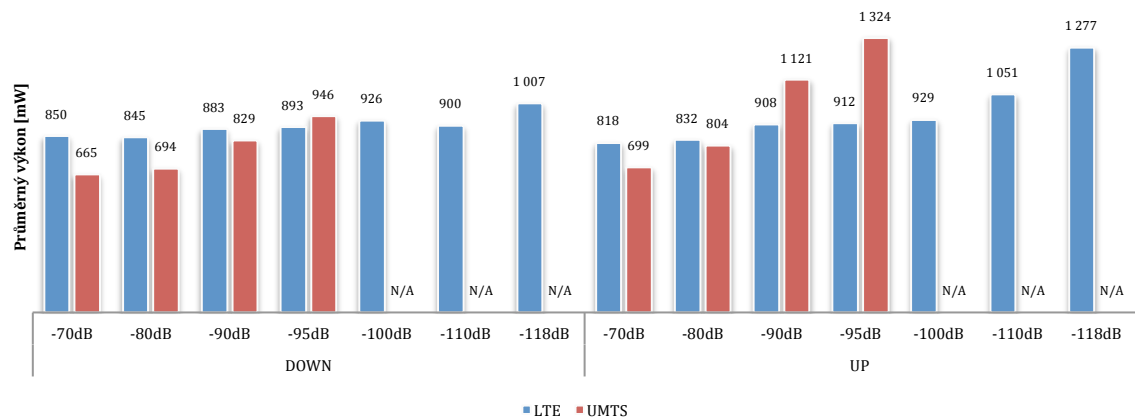
Z obrázků v Příloze: C je vidět výrazně větší nestálost a rozdíly mezi jednotlivými telefony. U downlinku byla stabilita výrazně vyšší a výsledky napříč telefony se sobě vzájemně více blížily.

3.8 Měření - Útlum

Na posledním měření bylo možné simulovat samotnou síť a pozorovat změny, které nastanou při ovlivňování kvality rádiového kanálu. V tomto případě se jednalo o změnu velikosti útlumu (dBm). Z teoretických znalostí je tato hodnota v rozmezí přibližně mezi -70dBm až -105dBm. Hlavním důvodem bylo při simulaci útlumu, zkoumat, jakým způsobem se mění výkon mobilního telefonu a tím dopad na spotřebu

baterie.

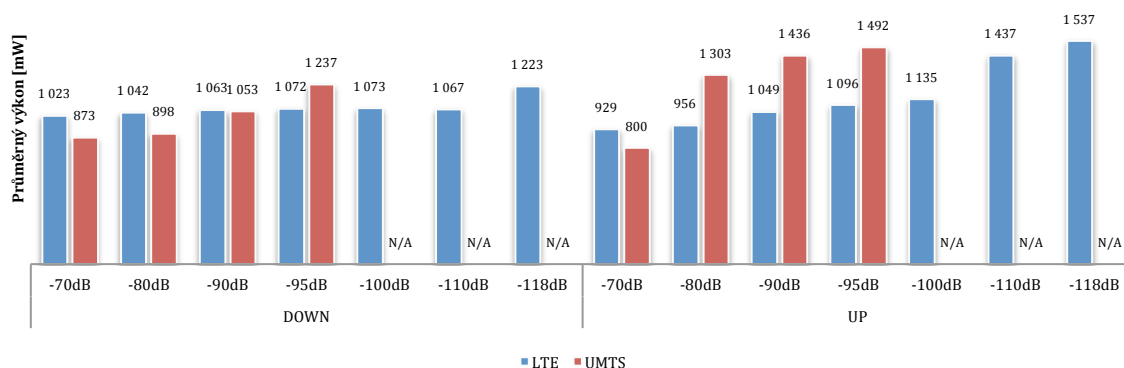
Čím vyšší je hodnota útlumu na daném telefonu, tím náročnější je přenesení informace mezi sítí a samotným zařízením. Pokud je tedy hodnota útlumu na -70dBm, je přenos dat nejkvalitnější. Na obrázku č. 39 je vidět lineární nárůst průměrného výkonu v závislosti na růstu útlumu. K situaci dochází v případě UMTS i LTE technologie. Pro síť UMTS byl nejvyšší možný útlum, se kterým přístroj přenášel data -95dBm. U LTE byl rozsah útlumu výrazně větší a končil až na velikosti okolo -118dBm. Zásadní nárůst průměrného výkonu nastává až pro útlum pohybující se na zmiňovaných hranicích.



Obr. 39 Závislost průměrného výkonu přístroje na útlumu ve směru DOWN/UP (9x512kB)

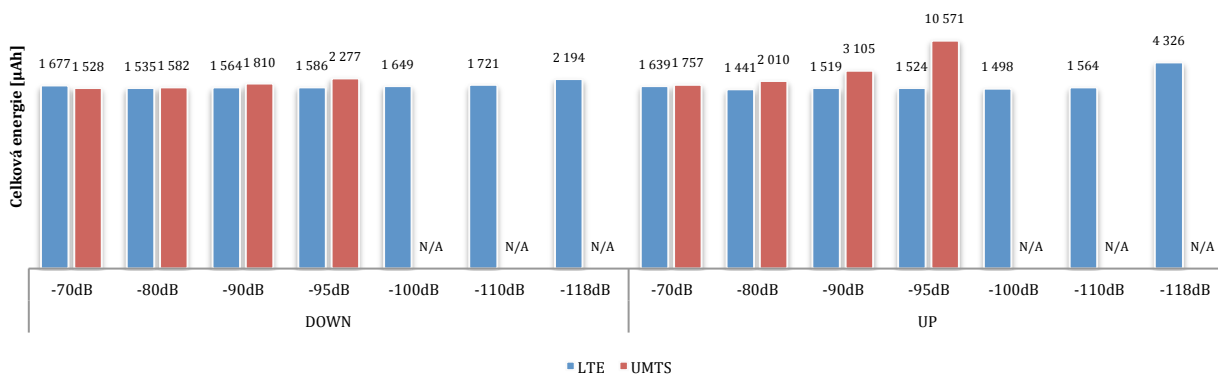
Z obrázku č. 39 je patrná vyšší průměrná velikost výkonu u LTE v porovnání s UMTS pro nejnižší hodnoty útlumu. Výkon je vyšší přibližně o 15% v obou směrech i pro obě velikosti souborů. Okolo -90dBm dochází k překlopení. Průměrný výkon v případě technologie LTE začíná dosahovat nižších hodnot oproti UMTS. Výjimkou jsou pouze 8MB soubory ve směru od uživatele. Zde je průměrný výkon pro LTE technologii nižší již v případě útlumu okolo -80dBm.

U LTE technologie je dále vidět pro stejné velikosti útlumu podobné hodnoty výkonu ve směru k uživateli i od něj. K většímu rozptylu docházelo až od velikosti -110dBm a více. V případě UMTS je nahrávání dat na server pro jednotlivé útlumy výkonově náročnější. Výjimku tvoří pouze nejnižší útlum -70dBm.



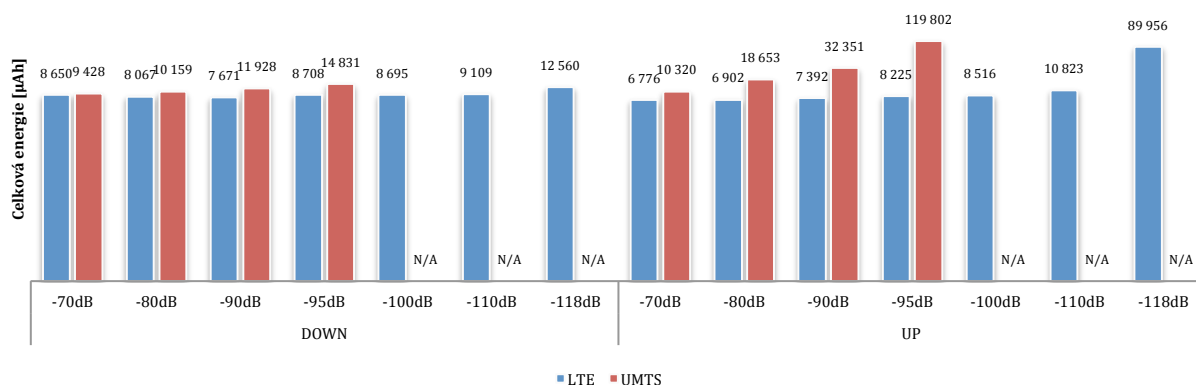
Obr. 40 Závislost průměrného výkonu přístroje na útlumu ve směru DOWN/UP (8x8MB)

Závislost celkové spotřebované energie na útlumu má velmi podobné průběhy jako v předchozích dvou případech. Postupný nárůst nastává od nejnižších hodnot až k hranici dané technologie. Jedinou výjimkou je u LTE technologie nejnižší hodnota útlumu ve směru k uživateli. Způsobené to bude pravděpodobně možnou chybou, která se v průběhu měření u malých souborů může vyskytnout.



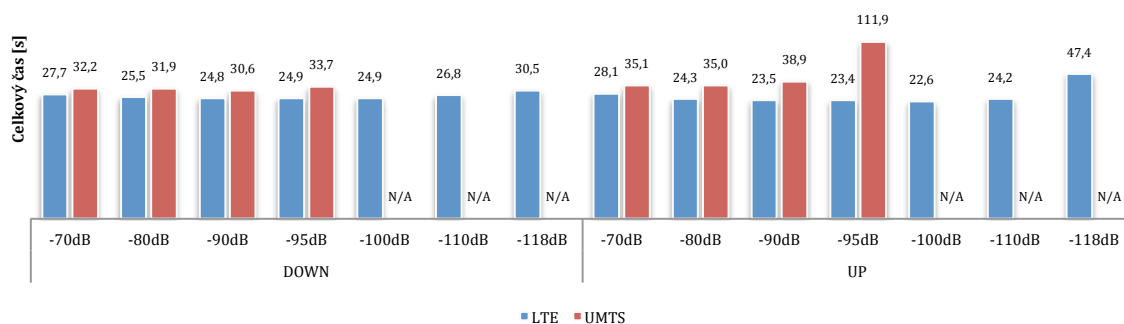
Obr. 41 Závislost celkové spotřebované energie přístroje na útlumu ve směru DOWN/UP (9x512kB)

Z důvodu možné chyby pro byla celková spotřeba energie vynesena i pro 8MB soubory na obrázku č. 42.



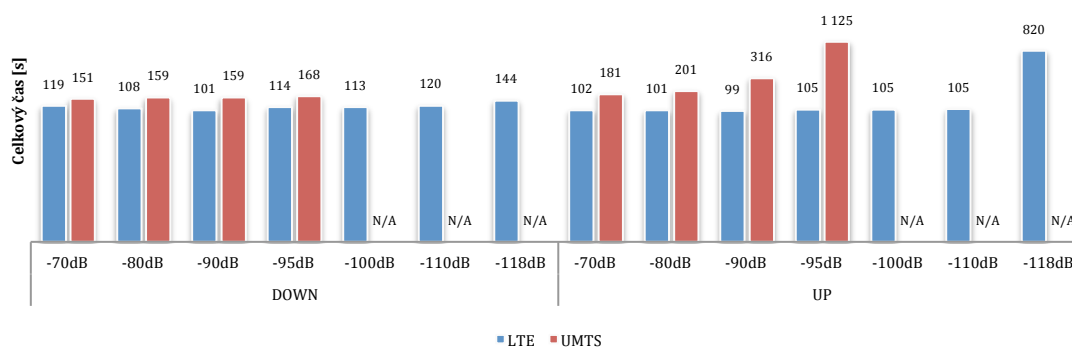
Obr. 42 Závislost celkové spotřebované energie přístroje na útlumu ve směru DOWN/UP (8x8MB)

U celkové spotřebované energie na obrázku č. 43 je LTE technologie pro rozdílné útlumy výrazně stářejší. Hodnoty jsou ve směru k uživateli i od něj velmi podobné. Nárůst celkové spotřeby oproti UMTS není se zvyšující velikostí útlumu tak výrazný. V případě UMTS jsou rozdíly větší. Se změnou velikosti útlumu ve směru k uživateli roste postupně o 10% i celková spotřebovaná energie. V opačném směru se celková spotřebovaná s každým nárůstem útlumu o 10dBm přibližně zdvojnásobí.



Obr. 42 Závislost celkového času na útlumu ve směru DOWN/UP (9x512kB)

V případě času potřebného pro stažení souboru je opět lepší vycházet z MB souborů. I zde měla LTE pro nejnižší velikost útlumu v porovnání s narůstajícím útlumem hodnotu vyšší. U hraničních hodnot je zřejmý nárůst času i spotřebované energie.



Obr. 43 Závislost celkového času na útlumu ve směru DOWN/UP (8x8MB)

Ze získaných dat je patrný postupný nárůst výkonu se zvyšující velikostí útlumu daného přístroje. Získané výsledky ukazují velkou závislost s kvalitou radiového kanálu.

Z důvodu velké využitelnosti daného pracoviště je zapotřebí vycházet ze získaných hodnot. Závislosti útlumu na jednotlivých veličinách by bylo potřebné realizovat detailněji s menším krokem u hranic jednotlivých technologií a větším počtem testovaných zařízení. Samotné měření bylo na okolnostech vznikajících během testování velmi závislé. Z tohoto důvodu nebylo pravděpodobné možné změřit hodnoty pro větší velikost útlumu než -95dBm u UMTS technologie. I s milimetrovým nedovřením boxu docházelo k výraznému ovlivňování získaných hodnot.

4 Závěr

Testování mobilních telefonů probíhalo po dobu několika měsíců. Každý nový přístroj byl do diplomové práce doplněn. Z tohoto důvodu mohla být testování realizována na nejnovějších telefonech. Celkem bylo zpracováno a vyhodnoceno několik tisíc změřených hodnot.

Závěrem práce je výrazná úspora energie v případě využívání nastupující technologie LTE. V průběhu celého měření nedošlo k situaci, ve které by LTE dosahovala horších vlastností než předchozí dvě generace mobilních sítí.

LTE technologie má lepší vlastnosti v případě celkové spotřeby testovaných přístrojů, rychlosti stažených i odeslaných dat i odezvy sítě.

Diplomová práce nedokázala porovnat všechny uživatelské možnosti, kterými dnešní telefony disponují. Zaměřena byla pouze na nejčastěji používané služby. Výsledky práce by bylo zajímavé rozšířit o další testování. Zajímavými výsledky by byly např. uskutečněné hovory, které zatím v síti českého zastoupení T-Mobile nejsou podporovány.

Použitá literatura

- [01]N. Thiagarajan, G. Aggarwal, A. Nicoara, D. Boneh, and J. P. Singh, “Who killed my battery?: analyzing mobile browser energy consumption,” in World Wide Web, 21st international conference on, 2012.
- [02] A. Rahmati, L. Zhong. Context-for-Wireless: Context-Sensitive Energy-Efficient Wireless Data Transfer. In Proc. of ACM 5th, International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services (MobiSys’07), Puerto Rico, 2007.
- [03] G. Perrucci, F. Fitzek, G. Sasso, W. Kellerer, and J. Widmer, “On the impact of 2G and 3G network usage for mobile phones’ battery life,”in European Wireless (EW), 15th international conference on, 2009.
- [04] DOBEŠ, Josef; ŽALUD, Václav. Moderní radiotechnika. 1. vyd., BEN – technická literatura. Praha 2006. 768 stran. ISBN 80-7300-132-2.
- [05]A Close Examination of Performance and Power Characteristics of 4G LTE Networks, Junxian Huang Feng Qian Alexandre Gerber, Z. Morley Mao Subhabrata Sen2 Oliver Spatscheck, University of Michigan, AT&T Labs - Research
- [06]Decomposing power measurements for mobile devices, Andrew Rice Computer Laboratory,University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom
- [07] Third generation Partnership project (3GPP) : <http://www.3gpp.org>
- [08] F. Fitzek, M. Pedersen, G. P. Perrucci, and T. Larsen, “Energy and link measurements for mobile phones using IEEE802.11b/g,” in Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc, and Wireless Networks and Workshops (WiOPT). 6th International Symposium on, 2008.
- [09] Agilent Technologies. Agilent 3GPP Long Term Evolution: System Overview, Product Development, and Test Challenges. [online]. [cit. 2008-10-27]. Dostupný z WWW: <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-8139EN.pdf> .
- [10] Third generation Partnership project 2 (3GPP2) : <http://www.3gpp2.org>
- [11]LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures (3GPP TS 36.213 version 10.1.0 Release 10)
- [12] 3rd Generation Partnership Project, 3GPP TS 36.212 V8.3.0: Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and channel coding. [online]. [cit. 2008-06-18]. Dostupný z WWW: <http://www.3gpp1.com/ftp/Specs/html-info/36212.htm> .
- [13] 3rd Generation Partnership Project, 3GPP TS 36.213 V8.3.0: Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures. [online]. [cit. 2008-06-18]. Dostupný z WWW: <http://www.3gpp1.com/ftp/Specs/html-info/36213.htm> .
- [14]Qualcomm Incorporated. 3GPP Long-Term Evolution (LTE). [online]. [cit. 2008-10-27]. Dostupný z WWW: http://www.qualcomm.com/common/documents/white_papers/3GPP_LTE.pdf . []
- [15]J. Huang, F. Qian, A. Gerber, Z. M. Mao, S. Sen, and O. Spatscheck,“A Close Examination of Performance and Power Characteristics of 4G LTE Networks,” in Mobile systems, applications and services (MobiSys), 10th

international conference on, 2012.

[16]Jakub Dolezal, “Interactive Tool for energy Measurement (I.T.E.M.),”

<http://play.google.com/store/apps/details?id=cz.cvut.ktt.item>.

[17]D. Mian and Z. Lin, “Self-Constructive High-Rate System Energy Modeling for Battery-Powered Mobile Systems,” in Mobile Systems, Applications and Services (MobiSys), International Conference on, 2011.

[18] <http://ziyang.eecs.umich.edu/projects/power tutor/>

[19] <http://www.mts-systemtechnik.de/index.php/mts/Produkte/Geraete-und-Systeme>

[20]Dragoun, Tomáš: Mobilní Internet, Bakalářská práce, 2009

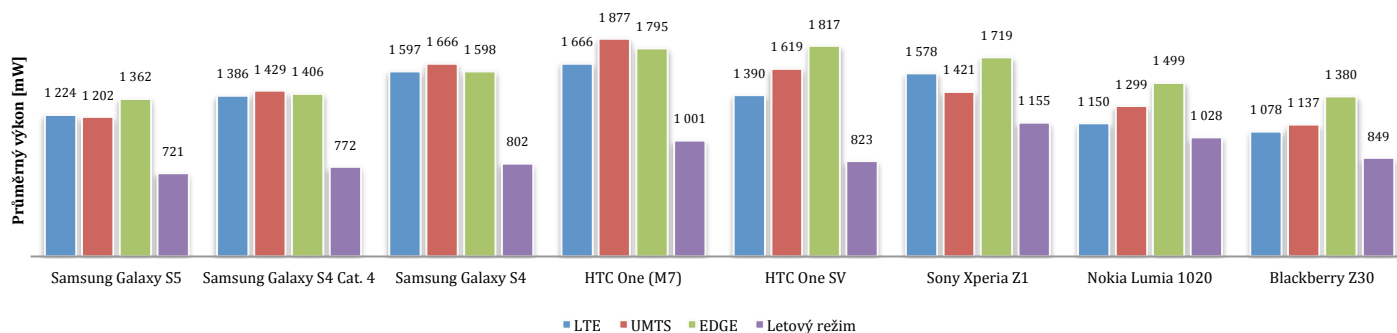
[21] HANUS, Stanislav. Rádiové a mobilní komunikace. [online]. Elektronická skripta FEK TVUT v Brně [cit. 2009-05-23] Dostupný z WWW:

https://www.feec.vutbr.cz/et/skripta/urel/Radiove_a_mobilni_komunikace_S.pdf

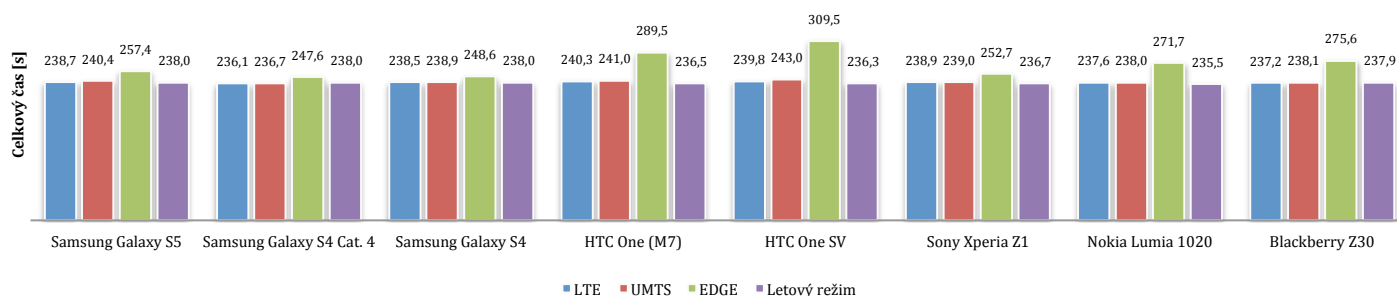
Přílohy

Příloha A: Grafy – Přenos videa

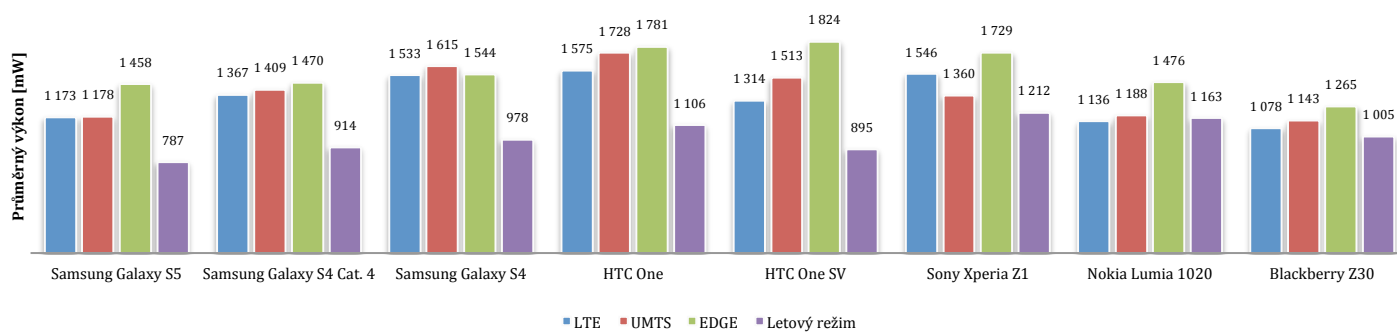
Průměrný výkon všech testovaných přístrojů - video 4 min.



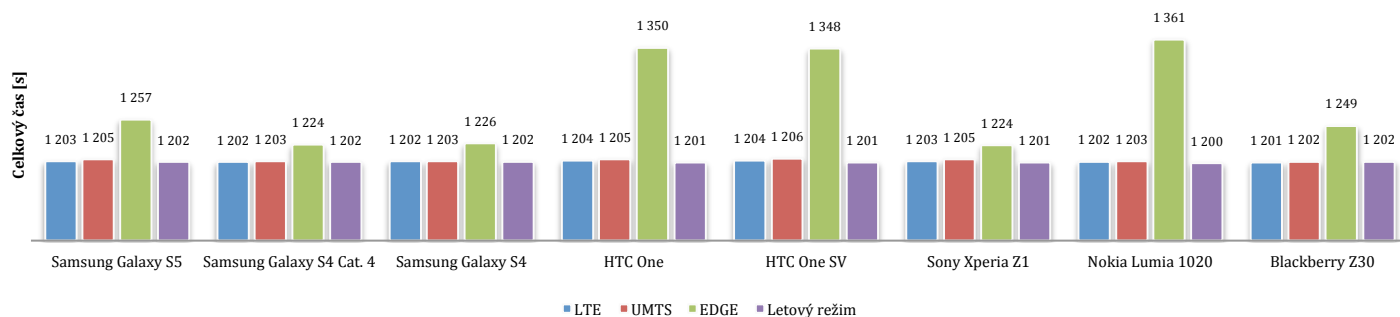
Celkový čas potřebný pro přehrání videa všech testovaných přístrojů - video 4 min.



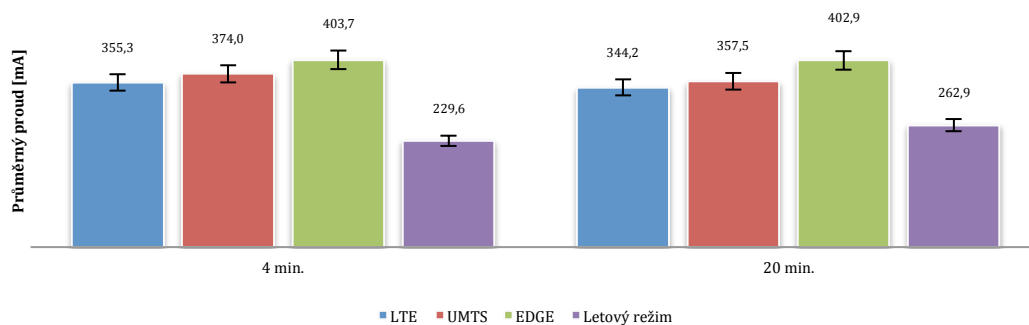
Průměrný výkon všech testovaných přístrojů - video 20 min.



Celkový čas potřebný pro přehrání videa všech testovaných přístrojů - video 20 min.

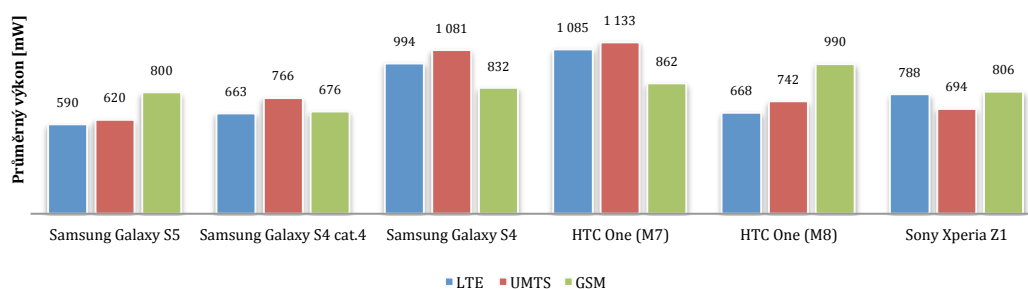


Průměrná hodnota proudu přes všechny změřené přístroje

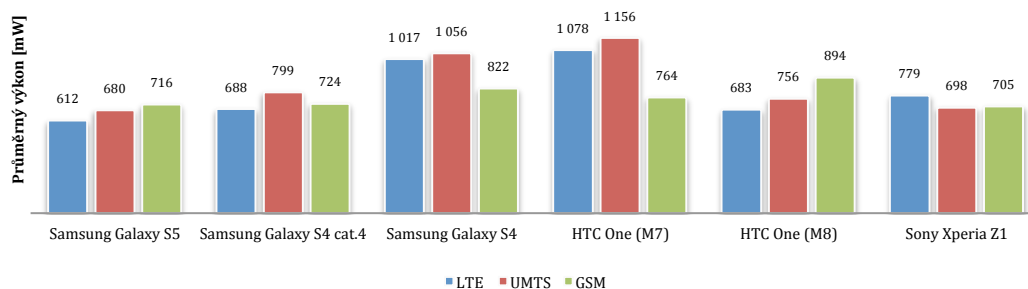


Příloha B: Grafy – Stahování souborů z FTP serveru

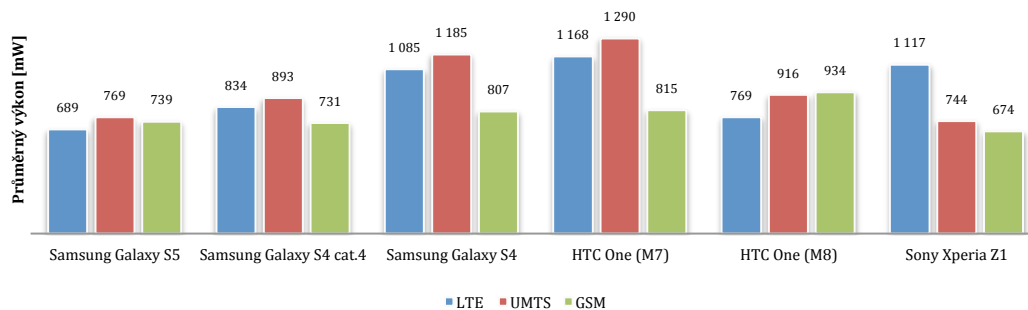
9 x 8kB - Průměrný výkon přístroje ve směru k uživateli



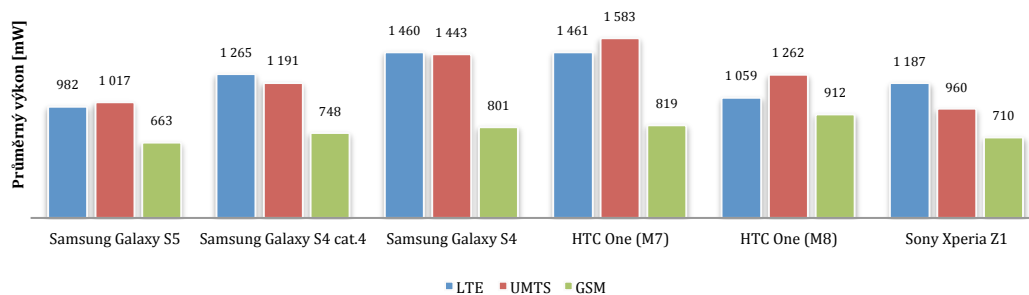
9 x 64kB - Průměrný výkon přístroje ve směru k uživateli



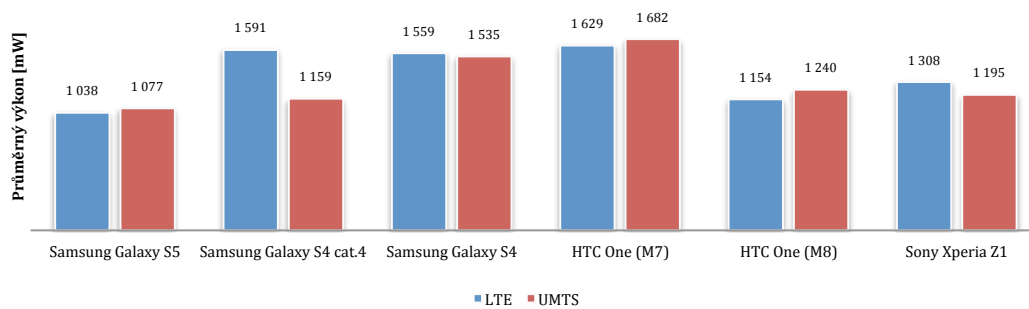
9 x 512kB - Průměrný výkon přístroje ve směru k uživateli



8 x 8MB - Průměrný výkon přístroje ve směru k uživateli

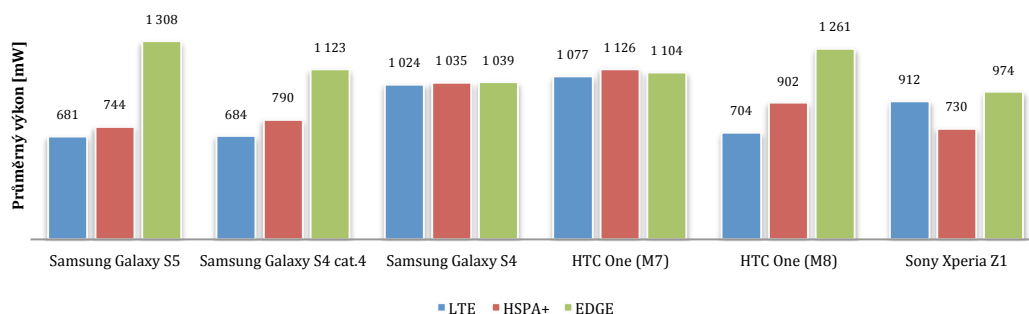


2 x 64MB - Průměrný výkon přístroje ve směru k uživateli

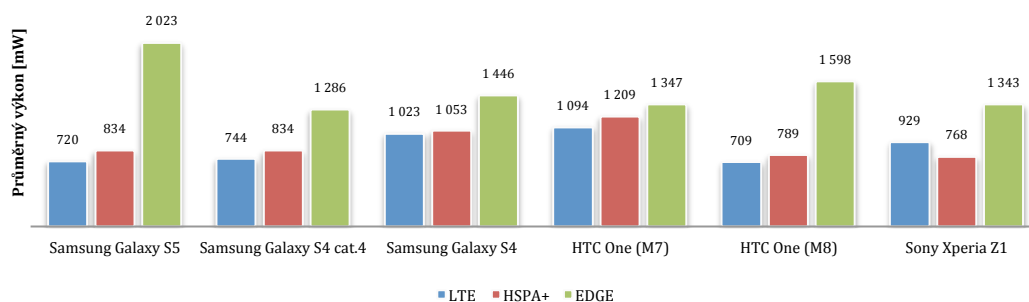


Příloha C: Grafy – Nahrávání souborů na FTP server

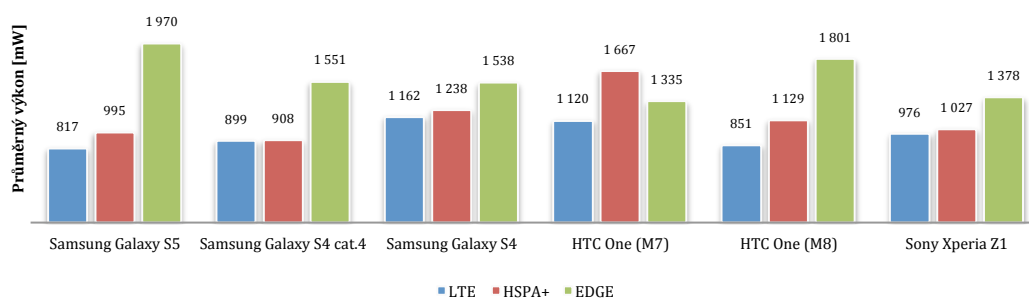
9 x 8kB - Průměrný výkon přístroje ve směru od uživatele



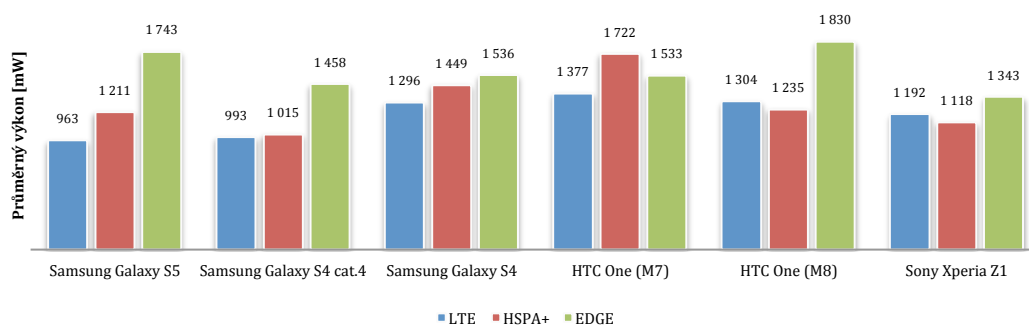
9 x 64kB - Průměrný výkon přístroje ve směru od uživatele



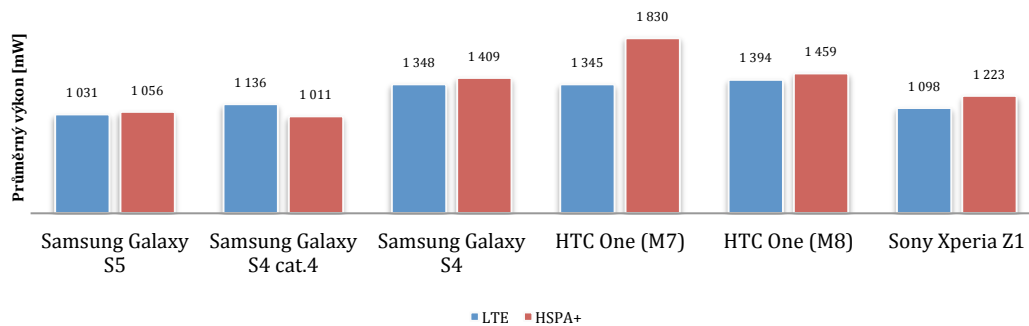
9 x 512kB - Průměrný výkon přístroje ve směru od uživatele



8 x 8MB - Průměrný výkon přístroje ve směru od uživatele

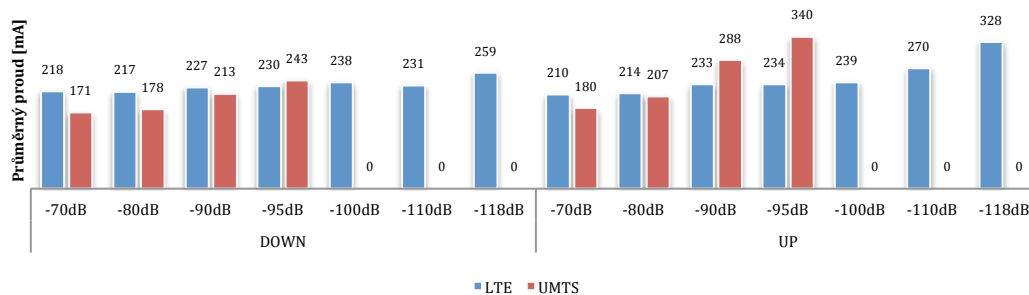


2 x 64MB - Průměrný výkon přístroje ve směru od uživatele

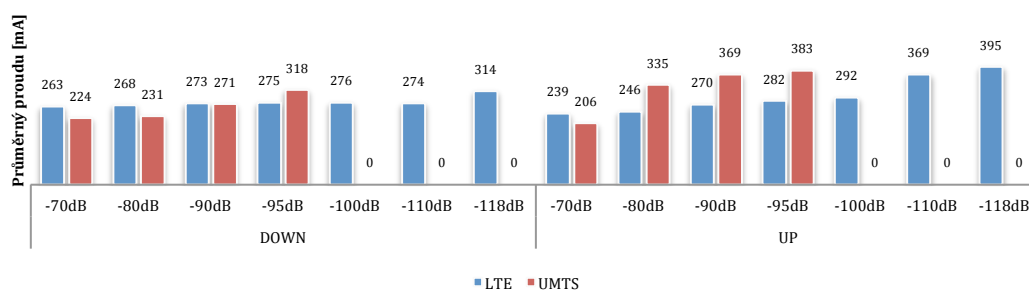


Příloha D: Grafy – Útlum

Závislost průměrného proudu přístroje na útlumu ve směru DOWN/UP
(9x512kB)



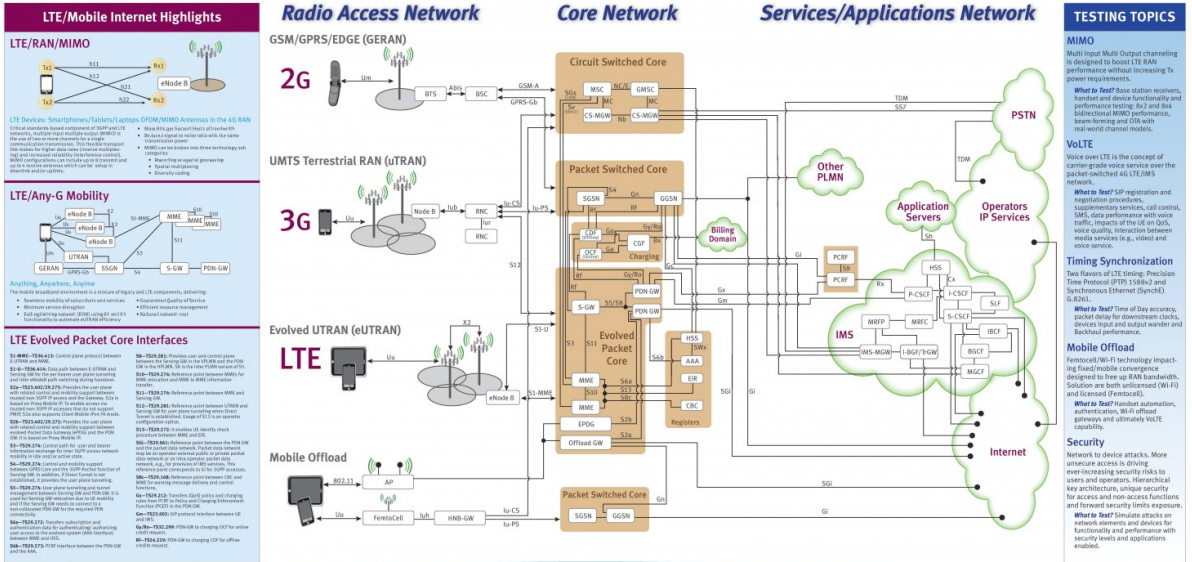
Závislost průměrného proudu přístroje na útlumu ve směru DOWN/UP
(8x8MB)



Příloha E: Schéma zapojení celé sítě



LTE and the Mobile Internet



DEVICES/RAN TESTING

SPIRENT VR5

Spirent's VR5 is a Spatial Channel Emulator designed to simulate the radio channel between a mobile device and the base station. Via MIMO, TDD, CS, and OFDM, the channel emulator simulates the radio channel and provides a realistic test environment for testing RAN systems with up to 16x4 CS and OFDM channels.

SPIRENT CS8

Spirent's CS8 provides a highly accurate solution for testing LTE systems. It supports up to 8x8 MIMO, TDD, CS, and OFDM channels. The CS8 is a single platform that allows for more advanced testing and a comprehensive testing environment for testing RAN systems with up to 16x4 CS and OFDM channels.

SPIRENT 8100

Spirent's 8100 is the leading solution for LTE device-to-device testing. The 8100 provides complete coverage for testing LTE systems and is designed for testing RAN systems with up to 16x4 CS and OFDM channels. It supports up to 16x4 CS and OFDM channels.

NETWORK/APPS LAB TESTING

SPIRENT LandSide

LandSide provides a comprehensive end-to-end platform that simulates the radio channel between a mobile device and the base station. It is designed for testing RAN systems with up to 16x4 CS and OFDM channels. LandSide provides a comprehensive end-to-end platform that simulates the radio channel between a mobile device and the base station. It is designed for testing RAN systems with up to 16x4 CS and OFDM channels.

SPIRENT TestCenter

Spirent TestCenter provides unmatched performance with scale and real-time analytics. It is designed for testing RAN systems with up to 16x4 CS and OFDM channels. Spirent TestCenter provides unmatched performance with scale and real-time analytics. It is designed for testing RAN systems with up to 16x4 CS and OFDM channels.

SERVICE ASSURANCE TESTING

SPIRENT TestCenter Live

Spirent TestCenter Live is used by Telcos, ISPs, and others around the world to support channel performance. It is designed for testing RAN systems with up to 16x4 CS and OFDM channels. Spirent TestCenter Live is used by Telcos, ISPs, and others around the world to support channel performance. It is designed for testing RAN systems with up to 16x4 CS and OFDM channels.

www.spirent.com

Příloha F: Seznam použitých zkratk

3G	Third Generation
3GPP	The 3rd Generation Partnership Project
8-PSK	Eight Phase Shift Keying
AC	Administrative Center
AuC	Authentication Centre
BSC	Base Station Controller
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CGSN	Combined GPRS Support Node
CN	Core Network
CQI	Channel Quality Information
CS	Coding Scheme
CSD	Circuit Switched Data
DS-CDMA	Direct-Sequence Code Division Multiple Access
DC-HSPA+	Dual Carrier High-Speed Packet Access Evolved
EDGE	Enhanced Data Rates for Global Evolution
EIR	Equipment Identity Register
EPC	Evolved Packet Core
FDD	Frequency Division Duplex
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FH-CDMA	Frequency Hopping-Code Division Multiple Access
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GMSC	Gateway MSC
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HLR	Home Location Register
LTE	Long Term Evolution
MC	Multi Carrier

MCS	Modulation Coding Scheme
MME	Mobility Management Entity
MMS	Multimedia Messaging Service
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MIMO	Multiple Input Multiple Output
NSS	Network and Switching Subsystem
NFC	Near field communication
NMC	Network Monitoring and Control Center
OMC	Operation and Maintenance Centre
OSS	Operation Support Subsystem
PCRF	Policy and Charging Rules Function
PDN	Packet Data Network
PGW	Packet Data Network (PDN) Gateway
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RNC	Radio Network Controller
SC	Single Carrier
RNS	Radio Network Subsystem
SGSN	Serving GPRS Support Node
SGW	Serving Gateway
SMS	Short Message Service
TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
TH-CDMA	Time Hopping-Code Division Multiple Access
TRAU	Transcoder and Rate Adaptation Unit
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USB	Universal Serial Bus
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VLR	Visitor Location Register
Wi-Fi	Wireless Fidelity

Příloha G: Frekvence na testovací síti