

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra informačních technologií**



**Diplomová práce**

**Bezdrátová konektivita mobilních zařízení**

**Bc. Michal Fulín**

© 2013 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra informačních technologií

Provozně ekonomická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Fulín Michal

Informatika

Název práce

**Bezdrátová konektivita mobilních zařízení**

Anglický název

**Wireless connectivity of mobile devices**

### Cíle práce

Cílem diplomové práce je prozkoumání možností bezdrátového připojení mobilních zařízení (například notebooků, tabletů, tzv. chytrých telefonů) k datovým sítím, zejména internetu, ve světle rozšiřování těchto zařízení mezi běžnou populaci a zvyšování poptávky po možnostech takového připojení. Součástí práce je prozkoumání bezpečnosti technologií bezdrátové konektivity a analýza poskytování a pokrytí službami bezdrátové datové konektivity v České republice.

### Metodika

Teoretická část práce bude tvořena literární rešerší o existujících technologiích bezdrátového připojení a o bezpečnosti datového přenosu pomocí těchto technologií. V praktické části bude provedena analýza poskytování služeb bezdrátového přenosu dat v České republice, srovnání s dalšími zeměmi a návrh rozvoje těchto služeb.

### Harmonogram zpracování

Zpracování základních částí (úvod, cíl, metodika): březen/duběn 2012

Zpracování teoretické části: červen/srpen 2012

Zpracování praktické části: září/leden 2012

Závěrečné úpravy: únor 2013

Odevzdání: březen 2013

**Rozsah textové části**

50 - 60 stran

**Klíčová slova**

bezdrátové sítě, konektivita, bezpečnost přenosu dat, Wifi, WiMAX, W-CDMA, UMTS, 3G, LTE

---

**Doporučené zdroje informací**

Carroll, Brandon James. Bezdrátové sítě Cisco. : Computer Press, 2011. 978-80-251-2884-8

Gast, Matthew. 802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide. : O'Reilly Media, 2005. 05-961-0052-3

Horský, Radek. Bezdrátové sítě Wi-Fi. : Grada Publishing, 2006. 80-247-1790-5

Jeffrey G. Andrews, Arunabha Ghosh, Rias Muhamed. Fundamentals of WiMAX: Understanding Broadband Wireless Networking. : Prentice Hall, 2011. 01-329-0780-1

Molisch, Andreas F. Wireless Communications. : Wiley-Blackwell, 2010. 04-707-4186-4.

Pužmanová, Rita. Moderní komunikační sítě od A do Z. : Computer Press, 2006. 80-251-1278-0

---

**Vedoucí práce**

Vaněk Jiří, Ing., Ph.D.

**Termín odevzdání**

březen 2013

---



**doc. Ing. Zdeněk Havlíček, CSc.**

Vedoucí katedry



**prof. Ing. Jan Hron, DrSc., dr.h.c.**

Děkan fakulty

V Praze dne 15.1.2013

---

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Bezdrátová konektivita mobilních zařízení" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 28.3.2013

---

## Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jiřímu Vaňkovi Ph.D. za cenné rady, připomínky, trpělivost a odborné vedení této diplomové práce. Také bych rád poděkoval Mgr. Petře Ovesné z Masarykovy univerzity za poskytnutí softwaru Blot a společnosti Telefónica Czech Republic, a.s. za poskytnutí podkladů pro diplomovou práci. Dále bych rád poděkoval dalším pracovníkům České zemědělské univerzity v Praze za poskytnutí odborných konzultací k diplomové práci.

# Bezdrátová konektivita mobilních zařízení

---

## Wireless connectivity of mobile devices

### Souhrn

Diplomová práce je zaměřena na problematiku mobilních datových sítí. V první části práce jsou charakterizovány minulé a současné technologie mobilních sítí. Druhá část je zaměřena na analýzu poskytovaných služeb z pohledu uživatelské zkušenosti. Součástí analýz je měření přenosových rychlostí a analýza pokrytí území službami přenosu dat. Na základě výsledků praktické části práce jsou pak formulována doporučení zkvalitnění služeb a závěry diplomové práce.

### Summary

This diploma thesis is focused on the issue of mobile data networks. The first part describes past and current technologies used at mobile networks. The second part is focused to the analysis of service in terms of user experience. There are analysis of the quality of services with measurement of transmission rate and coverage analysis. Based on the results of the practical part of the thesis there are recommendations formulated for improving of services and conclusions of the thesis.

**Klíčová slova:** bezdrátové sítě, konektivita, bezpečnost přenosu dat, CDMA, GSM, EDGE, 3G, UMTS, HSPA, LTE, 4G, LTE - Advanced, WiMAX, aukce kmitočtů

**Keywords:** wireless network, connectivity, security of data transmission, CDMA, GSM, EDGE, 3G, UMTS, HSPA, LTE, 4G, LTE - Advanced, WiMAX, frequency auction

## Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíl práce a metodika .....	10
3. Technologie bezdrátového připojení .....	11
3.1. Druhá generace .....	11
3.1.1. GSM.....	11
3.1.2. D-AMPS .....	12
3.1.3. cdmaOne .....	13
3.1.4. PDC.....	13
3.2. Přejchod mezi druhou a třetí generací .....	14
3.2.1. HSCSD.....	14
3.2.2. GPRS .....	15
3.2.3. EDGE.....	18
3.2.4. CDMA2000 1X.....	19
3.3. Třetí generace .....	20
3.3.1. UMTS .....	20
3.3.2. CDMA2000 1xEV Release 0.....	23
3.4. Přejchod mezi třetí a čtvrtou generací .....	25
3.4.1. HSDPA, HSUPA, HSPA+.....	25
3.4.2. CDMA2000 1x EV-DO Revision A, B .....	29
3.4.3. LTE .....	29
3.4.4. Mobile WiMAX.....	36
3.5. Čtvrtá generace .....	39
3.5.1. LTE Advanced.....	39
3.5.2. WiMAX - Advanced.....	42
4. Bezpečnost.....	44
4.1. GSM, UMTS.....	44
4.2. WiMAX .....	45
5. Praktická část .....	46
5.1. Analýza kvality připojení.....	46
5.1.1. Měření rychlosti.....	46
5.1.2. Analýza naměřených hodnot .....	47

5.1.3.	Shrnutí.....	59
5.2.	Analýza pokrytí.....	61
5.3.	Poskytování služeb mobilního přenosu dat .....	66
5.3.1.	Aukce kmitočtů.....	66
5.4.	Návrh zkvalitnění služeb .....	69
6.	Závěr .....	71
7.	Bibliografie .....	74
	Seznam použitých zkratk .....	80
	Seznam tabulek .....	85
	Seznam obrázků.....	88
	Seznam procedur.....	89
	Přílohy.....	90
	Měření přenosových rychlostí .....	90
	Vybrané výstupy softwaru SAS.....	107
	Mapové podklady .....	113



# 1. Úvod

S rostoucím výkonem mobilních zařízení typu smartphone nebo tablet a rozšiřováním přístupu k internetu do domovů a zaměstnání roste poptávka po připojení k internetu v podstatě odkudkoliv. Výdrž baterií notebooků se prodlužuje a díky chápání přístupu k internetu jako standardní služby je tato služba vyžadována. Také je poptávka po připojení k internetu v místech, kam poskytovatelé pevného internetu nezavádějí své linky. V České republice se díky této poptávce daří lokálním poskytovatelům bezdrátového připojení, nejčastěji Wi-Fi. Lidem, kteří při práci nebo za prací cestují, tj. vyžadujícím internetové připojení na více místech, toto řešení nepřináší kýžený užitek.

Řešením jsou mobilní datové sítě pokrývající velké území, klasicky státu. Jsou to sítě druhé generace a výš, schopné přenosu uživatelských dat jiných než hlasu a textových zpráv. Zvyšováním poptávky po těchto službách roste tlak na vývoj technologií zajišťujících přenos dat na a z mobilních zařízení.

Situace v České republice ohledně zavádění nových telekomunikačních technologií se obecně považuje za horší než v ostatních vyspělých zemích. Zdá se, jako by se opakovala situace z dob (z pohledu IT, dávných), kdy se v České republice zavádělo ISDN, pevné připojení pomocí telefonního vedení, pro obyčejného zákazníka finančně nedostupné, které bylo již ve světě překonáno, poté připojení pomocí ADSL, hanlivě označované jako AžDSL, když ve světě se připojovalo pomocí optiky s garantovanými rychlostmi. Vývoj mobilních dat by se dal označit jako velmi podobný. Při rozmachu WAPových služeb u nás, byly dostupné modernější technologie přenosu dat, v době zavádění technologie EDGE v České republice, byla ve světě spuštěna první komerční LTE síť. V souvislosti s právě probíhající aukcí kmitočtů, uvolněných pro mobilní sítě, je v současnosti, napříč odbornou i laickou veřejností, vedena diskuze o cenové politice a kvalitách mobilních služeb.

Proto tato diplomová práce analyzuje situaci na trhu mobilních služeb v České republice, a to z technického hlediska. Z důvodů značné proměnlivosti cenových politik mobilních operátorů se tato práce nezabývá jejich průzkumem.

## 2. Cíl práce a metodika

Cílem diplomové práce je prozkoumání možností mobilního připojení přenosných zařízení (například notebooků, tabletů, tzv. chytrých telefonů) k datovým sítím, zejména internetu, ve světle rozšiřování těchto zařízení mezi běžnou populaci a zvyšování poptávky po možnostech takového připojení.

Díličními cíli práce jsou:

- vytvoření přehledu technologií pro mobilní sítě, používaných v minulosti, současnosti a použitelných v budoucnu
- analýza kvality připojení
- analýza pokrytí území
- návrh zkvalitnění služeb

Metodika řešené problematiky diplomové práce je založena na studiu odborných informačních zdrojů.

V praktické části je vypracována analýza kvality připojení a analýza pokrytí území službami mobilního přenosu dat v České republice. Pro analýzu kvality připojení je provedeno měření rychlosti přenosu dat. Soubor naměřených dat je testován statistickými metodami na shodu s deklarovanými vlastnostmi mobilní sítě a na případnou rozdílnost mezi výběrovými soubory měření. Analýza pokrytí se skládá z hodnocení vývoje nasazování technologií pro mobilní komunikaci vybraného operátora, srovnání stavu pokrytí území České republiky hlavními mobilními operátory, srovnání se stavem v zahraničí a rozbor situace poskytování mobilního připojení v návaznosti na probíhající aukci kmitočtů.

Na základě syntézy teoretických poznatků a výsledků praktické části práce jsou pak formulována doporučení zkvalitnění služeb a závěry diplomové práce.

### **3. Technologie bezdrátového připojení**

Pro členění technologií používaných pro bezdrátové spojení zařízení v sítích WAN, tedy pokrývajících rozlehlé geografické území, se vžilo označování generací technologií (1).

Zařízení pro takzvanou nultou generaci byly radiotelefony převážně montované do automobilů. Zástupcem jsou finský ARP (AutoRadioPuhelin) z roku 1971 nebo československý AMR (Automatický městský radiotelefon TESLA) z roku 1987 (2). Technologie první generace byly stále analogové a pouze pro hlasové služby. Příkladem je AMPS (Advanced Mobile Phone System) používaná v Severní Americe (3) a NMT (Nordic Mobile Telephony) provozovaná u nás společností Eurotel v letech 1991-2006 (2).

#### **3.1. Druhá generace**

Druhá generace technologií bezdrátové telefonie odstartovala uvedením do provozu digitální sítě standardu GSM ve Finsku v roce 1991 (2), která umožňovala přenos uživatelských dat. Digitální technologie se dají dělit podle způsobu multiplexování s časovým dělením (TDMA - Time Division Multiple Access) nebo s kódovým dělením (CDMA - Code division Multiple Access) (4).

##### **3.1.1. GSM**

Global System for Mobile Communications jako nejúspěšnější mobilní technologie používá časový (TDMA) i kmitočtový multiplex (FDMA). To znamená, že pásmo je rozděleno na kanály (FDMA) a každý účastník využívá určitý časový slot (TDMA) na daném kanálu (5). GSM operuje na nosných frekvencích 900MHz nebo 1800MHz v Evropě, Austrálii a v dalších zemích. V Severní Americe se používají frekvence 850MHz a 1900MHz a některými dalšími poskytovateli po celém světě jsou provozovány na různých frekvenčních pásech od 400MHz do 1900MHz, zejména z důvodů kompatibility nebo obsazenosti některých frekvencí (6).

Síť jako taková se dělí do malých buněk, v nichž pracují základnové stanice (BTS), podporující všechny účastníky přítomné v daném obslužném okruhu (2). Základnové stanice jsou připojeny k základnovým řídicím jednotkám (BSC) a tvoří subsystém

základnových stanic. Ten je napojen na síťový spojovací subsystém a operační a podpůrný subsystém (7).

„Mobilní digitální sítě sice byly vyvinuty pro potřebu přenosu hlasu, nicméně tento přenos je realizován v digitálním tvaru. Díky tomu je pro ně relativně snadné přenášet místo hlasu i obecná data. Přesto však existují určitá omezení, týkající se hlavně dosažitelné přenosové rychlosti. Pro každý časový interval (hovorový kanál) je k dispozici právě 22,8 kbit/s, přestože samotný rádiový kanál nabízí 33,8 kbit/s. Zbylých 11 kbit/s je však použito jako režijní přenosová kapacita, zajišťující funkci sítě GSM. Těchto 22,8 kbit/s však nelze využít výhradně k přenosu samotných uživatelských dat (stejně jako u přenosu hovoru je původní bitová rychlost 13 kbit/s doplněna o další potřebné údaje a vzroste na 22,8 kbit/s), protože i zde je potřeba přidat určitý počet režijních bitů. Datové přenosy tak bylo možno realizovat rychlostí 9,6 kbit/s a zbývajících 13,2 kbit/s bylo využito na zajištění spolehlivosti přenosu, ošetření chyb a výpadků. Tento princip přenosu dat je označován jako CSD (Circuit Switched Data), tedy přenos dat na principu přepojování okruhů" (8). To je dostatečná rychlost pro krátké textové zprávy, služby jako identifikace volajícího a umožňuje prohlížení internetu pomocí protokolu WAP (4).

Později byly vyvinuty technologie zvyšující přenosovou rychlost na sítích GSM, které jsou řazeny do přechodné a vyšší generace (2).

### **3.1.2. D-AMPS**

Standardy IS-54 a IS-136, označované jako D-AMPS jsou v Americe známy jako TDMA, podle metody vícenásobného přístupu časovým dělením (4).

V devadesátých letech byl tento systém ve Spojených Státech a v Kanadě velmi rozšířený a pokrýval téměř 100% rozlohy. Nyní je však na ústupu před novými technologiemi (4).

D-AMPS používá existující AMPS kanály v pásmech 824-849MHz a 894MHz a dovoluje hladký přechod mezi těmito systémy u duálních koncových stanic. Díky zpětné kompatibilitě bylo možné používat síť i na analogových telefonech. Pouze nebylo možno používat některé služby standardu IS-54 (2).

Standard IS-136 přidal několik funkcí včetně textových zpráv, CSD a vylepšil kompresní protokol. Implementace textových zpráv a CSD je velmi podobná implementaci

v systému GSM. Přenosová rychlost uživatelských dat, po odečtení řídicích signálů, se pohybuje okolo 13kbit/s (2).

### **3.1.3. cdmaOne**

První technologii na bázi kódového multiplexu představila společnost Qualcomm v roce 1995 (4). Za produktovým jménem cdmaOne je standard označen IS-95, známý také jako TIA-EIA-95 (4).

Pro přenos signálu používá celé spektrum frekvenčního pásma, kde data jsou kódována pro každého účastníka jedinečným předpisem. To zvyšuje kvalitu hlasu a uživatelskou kapacitu osmi až desetinásobně proti síti s technologií AMPS (4).

Síť s touto technologií je provozována na dvou hlavních frekvencích, 800MHz a 1900MHz při šířce pásma 1,25MHz. 800MHz implementace konkuruje D-AMPS v Severní Americe a 1900MHz technologii GSM (4).

Standard IS-95 umožňuje přenosovou rychlost 14,4kbit/s, což je jako u GSM dostatečné pro textové služby a jednoduché internetové aplikace, ale nedostatečné pro multimediální obsah. Novější standardy CDMA tuto rychlost navyšují a jsou popsány v následujících kapitolách v přechodné generaci (4).

### **3.1.4. PDC**

Personal Digital Cellular je systém vyvinutý a provozovaný výlučně v Japonsku. Je zpětně kompatibilní s místní analogovou sítí, což usnadnilo jeho implementaci. Byl uveden do provozu v roce 1993 firmou NTT DoCoMo a byl nasazen na pásma 800MHz a 1,5GHz. Funguje na bázi TDMA a dosahoval přenosové rychlosti 9,6kbit/s v síti s přepojováním okruhů. Později byla vyvinuta verze s paketovým přepojováním okruhů, zvaná P-PDC, která umožňovala až 28,8kbit/s (4).

V porovnání s technologií GSM, slabý přenosový signál systému PDC umožňoval provoz menších mobilních telefonů s lehčí baterií na úkor horší kvality zvuku a problémům s udržení spojení, zejména v zavřených prostorách, jako jsou výtahy. Vývoj PDC pokračuje přímo do sítí třetí generace typu WCDMA bez mezistupně (4).

### 3.2. Přechod mezi druhou a třetí generací

Mezinárodní telekomunikační unie definuje minimální vlastnosti 3G sítí, proto jsou některá vylepšení stávajících sítí, která nesplňují tyto požadavky, označována jako 2,5G.

#### 3.2.1. HSCSD

Pro zvýšení přenosové rychlosti GSM bylo vyvinuto High-speed circuit switched data, což představuje vylepšení stávající CSD. HSCSD umožňuje použití více časových slotů pro jeden samostatný přenos dat k uživateli, čímž dojde ke zvýšení rychlosti až na 57,6kbit/s (4).

V původním systému GSM byl použit algoritmus opravy chyb, který udržoval kvalitní spojení i na okraji území pokrytém signálem. Ale v případě dobrého signálu tento algoritmus spotřebovává část přenosového kanálu, který může být využit pro přenos uživatelských dat. To znamená, že z původní rychlosti 9,6kbit/s na jeden časový slot, využívaný GSM pro přenos dat, je rychlost zvýšena na 14,4kbit/s (9).

Jak bylo řečeno dříve, hlavní inovací HSCSD je použití více časových slotů pro přenos uživatelských dat jednou koncovou stanicí. Standard HSCSD definuje 18 tříd, které rozděluje na možné režimy, podle toho kolik slotů se používá ve směru od a k uživateli. Je totiž vhodné použít asymetrický přenos, zejména pro připojení k internetu, kdy data směřují více k uživateli (8). V případě nejvyšší 18. třídy přenosová rychlost odpovídá 8x 14,4kbit/s tedy, 115,2kbit/s v každém směru. Nicméně k využití všech slotů ve třídě 13 a více je potřeba zařízení, která mají tento standard implementovaný. Dalším omezením je celkový počet frekvenčních kanálů každé buňky v síti, tedy i počet slotů. Pokud jsou využity pro datový přenos, nejsou volné ani pro hlasové služby. „Velmi tedy záleží na dimenzování buněk operátorem a jaký je na nich provoz. Hlasové (telefonní) hovory přitom mají typicky přednost před datovými přenosy" (9).

Třídy HSCSD	Maximální počet slotů		
	Příjem	Vysílání	Celkem
1	1	1	2
2	2	1	3
3	2	2	3
4	3	1	4
5	2	2	4
6	3	2	4
9	3	2	5
10	4	2	5
12	4	4	5
13	3	3	6
18	8	8	16

tab. č. 1: Třídy HSCSD (9)

Sloupec Celkem v tab. č. 1: Třídy HSCSD udává celkový počet slotů, kolik jeden uživatel může použít pro přenos dat. Tedy v případě časté implementace třídy 6 je možný symetrický přenos dvou slotů pro download a dvou slotů pro upload (o rychlosti 28,8kbit/s v každém směru) nebo asymetrický přenos tří slotů k uživateli (43,2kbit/s) a jeden od uživatele. Způsob využití slotů se provádí nastavením koncového zařízení (8)(9).

### 3.2.2. GPRS

General Packet Radio System je technologie přenosu dat prostřednictvím sítě GSM na principu přepojování paketů. Přenosové kapacity nejsou trvale vyhrazeny po celou dobu trvání připojení jednoho uživatele, ale jsou k dispozici všem uživatelům zároveň. To vede k efektivnímu využívání přenosové kapacity uživateli, kteří skutečně potřebují přenášet data v daném okamžiku. Další výhodou pro zákazníka je možnost platby za objem přenesených dat, nikoliv za čas respektive dobu spojení (4)(8).

Zavedení technologie GPRS do systému GSM vyžaduje poměrně velký zásah do existující mobilní sítě. Kromě změny softwarového vybavení je potřeba na stávající

prvky sítě napojit nové prvky, a to SGSN (Serving GPRS Support Node) a GGSN (Gateway GPRS Support Node). SGSN je napojen na základnové řídicí jednotky, směřuje datové pakety, obsluhuje uživatele přihlášené do GPRS a plní další řídicí funkce sítě včetně autentizace, lokalizace a účtování poplatků. GGSN poskytuje rozhraní sítí GPRS s externími sítěmi na základě protokolů IP, Point-to-point protokol nebo X.25 (10).

Standard GPRS rozeznává tři třídy zařízení

- třída A - zařízení je schopno současně a nezávisle na sobě ovládat služby na základě propojování okruhů i paketů
- třída B - zařízení ovládá v jeden okamžik pouze jeden druh služeb, ale je možné mezi nimi automaticky přecházet. Například přerušit datové spojení a přijmout hovor
- třída C - na rozdíl od třídy B je potřeba ručně přepínat mezi propojováním okruhů nebo paketů

Přenosovou rychlost v síti ovlivňují dva základní faktory nastavení sítě. Kódové schéma a počet použitých slotů. Kódové schéma udává, jak silná je rezie zajištění přenosu signálu vzhledem k podmínkám šíření signálu. Při optimálních podmínkách je využito slabší kódování CS-4, tudíž zůstává větší prostor (21,4kbit/s) pro uživatelská data v časovém slotu. V případě „nejsilnějšího“ kódování CS-1 je pro uživatelská data prostor pouze 9,05kbit/s, tedy jako u základního GSM. Všechna koncová zařízení musí umět všechny typy kódování, takže záleží na nastavení sítě operátorem nebo vzdálenosti od základnové stanice BTS.

Kódové schéma	Rychlost [kbit/s]
CS-1	9,05
CS-2	13,4
CS-3	15,6
CS-4	21,4

tab. č. 2 Kódové schéma GPRS (8)



Dalším faktorem je počet slotů použitý jedním uživatelem obdobně jako u HSCSD.

<b>Třída</b>	<b>Sloty pro příjem</b>	<b>Sloty pro vysílání</b>	<b>Celkový počet slotu</b>
1	1	1	2
2	2	1	3
3	2	2	3
4	3	1	4
5	2	2	4
6	3	2	4
7	3	3	4
8	4	1	5
9	3	2	5
10	4	2	5
11	4	3	5
12	4	4	5
30	5	1	6
31	5	2	6
32	5	3	6
33	5	4	6
34	5	5	6

tab. č. 3: Třídy GPRS (4)

Zde opět rozhoduje nastavení sítě operátorem, přičemž pouze novější zařízení jsou schopna pracovat ve třídě 30 a více. Nejčastěji je implementována třída 10. Rozložení slotů pro příjem a vysílání v dané třídě si většinou řídí koncové zařízení samo (4).

V případě třídy 34 a kódování CS-4 je GPRS schopno dosáhnout přenosové rychlosti  $5 \cdot 21,4$  tedy 107kbit/s, kdežto při teoretickém využití všech 8 slotů pásma by bylo možné dosáhnout přenosové rychlosti až 171,2kbit/s.

Další faktor ovlivňující rychlost připojení je nastavení různé úrovně služeb (QoS - Quality of Service), neboli parametry priority, spolehlivosti, zpoždění a propustnost. O frekvenční kanály a v nich vytvořené sloty se v rámci každé buňky dělí

GPRS s dalšími službami v pořadí hlasové služby, datové přenosy na principu přepojování okruhů (CSD nebo HSCDS) a GPRS (10).

Technologie GPRS byla zahrnuta do GSM standardu Release 97 skupiny 3GPP, vyvíjející technologie mobilních sítí třetí generace podle projektu IMT-2000 Mezinárodní telekomunikační unie v roce 1998 (4).

### 3.2.3. EDGE

Vzhledem k vyčerpání možností vylepšení technologie GSM, při zachování rozdělení frekvenčních kanálů a jejich členění pomocí časového multiplexu, sdružováním kanálů (HSCSD) a přepojováním paketů místo okruhů (GPRS), byla vyvinuta technologie EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), známá také jako EGPRS (Enhanced GPRS). Tato technologie využívá místo původní modulace GMSK (Gaussian minimum Shift Keying) dokonalejší techniku modulace 8PSK (eight Phase Shift Keying). Zatímco modulace GMSK je dvoustavová, 8PSK využívá osmistavovou modulaci, čímž zvýší rychlosti na jednom časovém slotu trojnásobně až na 48kbit/s. Při využití všech osmi slotů lze při ideálních podmínkách dosáhnout rychlosti 384kbit/s pro přenos uživatelských dat (4)(8)(11).

Implementace technologie EDGE do GSM sítí se systémem GPRS je relativně snadná, neboť tato technologie zachovává jak šířku jednotlivých kanálů, tak i jejich dělení časovým multiplexem. Kromě softwarových upgradů je nutné u každé základnové stanice instalovat nový transceiver s příslušnou modulací (12).

EDGE také využívá několika kódovacích schémat obohacených o oba typy modulace pro zajištění zpětné kompatibility se staršími koncovými zařízeními (4).

<b>Modulační a kódovací schéma</b>	<b>Přenosová rychlost pro jeden slot (kbit/s/slot)</b>	<b>Modulace</b>
MCS-1	8.80	GMSK
MCS-2	11.2	GMSK
MCS-3	14.8	GMSK
MCS-4	17.6	GMSK

MCS-5	22.4	8-PSK
MCS-6	29.6	8-PSK
MCS-7	43.8	8-PSK
MCS-8	54.4	8-PSK
MCS-9	59.2	8-PSK

tab. č. 4: Modulační a kódovací schéma EDGE (4)

EDGE je standardizovaná technologie společností 3GPP a splňuje některé požadavky z IMT-2000 Mezinárodní telekomunikační unie, které jsou kladeny na síť třetí generace, přesto je v některé literatuře označována jako přechodná generace 2,75G, případně 2,9G (4).

### 3.2.4. CDMA2000 1X

CDMA2000 1X, též 1xRTT (one times Radio Transmission Technology) odkazuje na použití stejné technologie jako IS-95 (cdmaOne). Tedy použití stejného radiového pásma, stejného kanálu o šířce 1,25MHz. Pomocí vylepšené modulace a přidáním ortogonálních kanálů dosahuje přenosové rychlosti až 153kbit/s, v praxi se přenosová rychlost pohybuje okolo 60kbit/s. Další vylepšení spočívá v podpoře paketových dat a nastavení úrovně kvality služeb (QoS)(4).

Tato technologie je nástupcem cdmaOne a je s ní zpětně kompatibilní, neboť operuje ve stejných frekvenčních pásmech 800MHz nebo 1900MHz. CDMA2000 je označení pro rodinu standardů organizace 3GPP2, které reprezentují několik vývojových stupňů této rodiny k plnohodnotným technologiím třetí generace (4)(13).

CDMA2000 1X je obtížné zařadit do některé z generací mobilních technologií, neboť podle ITU se řadí do třetí generace, ale protože nesplňuje minimální rychlostní požadavky a je velmi podobný GPRS, je často řazena mezi přechodné technologie 2,5G (4).

### 3.3. Třetí generace

Třetí generace (3G) mobilních sítí je definovaná projektem IMT-2000 Mezinárodní telekomunikační unie. Číslovka 2000 v označení projektu IMT-2000 původně označila tři charakteristiky: rychlost uživatele do 2000 kbit/s, frekvenční pásmo kolem 2000 MHz a nasazení kolem roku 2000. Mezi základní požadavky na systémy IMT-2000 patří celosvětová kompatibilita na uživatelské úrovni (roaming) a na úrovni operátorů (spolupráce zařízení různých výrobců), lepší využití rádiových frekvencí, malé a levné terminály pro různé typy aplikací, identifikace zákazníka nezávisle na terminálu pomocí UIM (obdoba SIM pro GSM), spektrum služeb s různou úrovní kvality a minimální přenosové rychlosti:

- 2Mbit/s pro zařízení pohybující se maximální rychlostí 10km/h
- 384kbit/s pro zařízení pohybující se maximální rychlostí 120km/h v zastavěných oblastech
- 144kbit/s pro zařízení pohybující se rychlostí vyšší než 120km/h ve venkovských oblastech

Dále byla doporučena frekvenční pásma pro provoz sítí třetí generace: 806-960MHz, 1710-1885MHz, 1885-2025MHz, 2110-2200MHz a 2520-2670MHz (4)(2)(14).

Pro naplnění vytyčených cílů vznikla dvě sdružení organizací vyvíjející telekomunikační technologie. První projekt označený 3GPP sdružoval společnosti kolem standardu UMTS a druhý označený 3GPP2 se zaměřuje na specifikaci pro technologii CDMA2000 (4).

#### 3.3.1. UMTS

Universal Mobile Telecommunication System je další stupeň vývoje GSM sítí v rámci 3GPP.

Síť UMTS se dělí na tři základní části: uživatelské stanice (UE), obecnou radiovou přístupovou síť (UTRAN nebo GERAN) a jádro sítě (CN). Uživatelské stanice komunikují s radiovou přístupovou sítí. Může se jednat o nově vybudovanou síť na nových standardech (UTRAN) nebo původní GSM síť (GERAN). Radiová přístupová síť (RAN)

je napojena na jádro sítě, které se stará o spojování hovorů a směrování paketů. Dalšími funkcemi jsou databázové funkce a funkce síťového managementu (14)(15).

UMTS radiová přístupová síť (UTRAN) používá nová zařízení nekompatibilní s původní GSM sítí, avšak tyto sítě mohou být souběžně provozovány pro zachování pokrytí a funkčnosti starších koncových zařízení. Zatímco standard GSM RAN neboli GERAN se skládá ze základnových stanic BTS a základnových řídicích jednotek BSC, standard UTRAN je analogicky složen ze základny uzlu (node B) a ovladače rádiové sítě (RNC). Dále existuje koncept satelitní verze přístupové sítě označený jako USRAN, ale ten zůstává nerealizovaný (15).

IMT-2000 standardizuje tři typy rádiového rozhraní použitelného pro UTRAN, označované UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access).

- **WCDMA (ULTRA-FDD, UMTS-FDD)**

Tento standard, založený na FOMA (Freedom of Mobile Multimedia Access) japonské telekomunikační společnosti NTT DoCoMo, je nejvíce rozšířený a často bývá jako synonymum pro UMTS (16). Používá modulační techniku přímého rozprostřeného spektra s kódovým multiplexováním (DS - CDMA) a frekvenčním duplexováním (FDD). Jsou tedy frekvenčně odděleny kanály pro směry datových proudů, každý kanál je rozšířen na 5MHz, proti 200kHz u GSM a signály jednotlivým uživatelům jsou rozdílně kódovány. To umožňuje vyšší rychlosti a podporu více uživatelů ve srovnání s časovým dělením kanálu (TDMA) a časovým duplexováním (TDD). Nicméně je vyžadováno širší frekvenční pásmo pro přenos oběma směry. Toto řešení je vhodnější pro symetrické datové služby a velkoplošné pokrytí, ale je náročnější na regulaci výkonu na straně koncového zařízení i základnové stanice Node B (4)(14).

- **UTRA-TDD HCR**

Tento standard je proti WCDMA odlišný ve způsobu oddělení směru proudu dat. Kanál o šířce 5MHz je rozdělen do 10ms rámců, které jsou dále rozděleny do patnácti časových slotů. Tyto časové sloty jsou procentuálně přiděleny na download a upload. Toto řešení umožňuje nasazení na užších

frekvenčních pásmech než WCDMA. Je také vhodnější pro asymetrické datové přenosy a pro pokrytí vnitřků budov (14).

- **TD-SCDMA (ULTRA-TDD 1,28Mcps Low Chip Rate)**

Stejně jako UTRA-TDD HCR používá časové dělení duplexu, ale za použití dynamického přidělování časových slotů podle požadavků koncových zařízení. Tím je zajištěna flexibilita využití frekvenčního pásma, na rozdíl od UTRA-TDD HCR, bez potřeby dvojitého frekvenčního pásma jako u FDD. TD-SCDMA také kombinuje časové a kódové multiplexování, což redukuje počet uživatelů v časovém slotu, a tím zjednodušuje víceuživatelský management a neztrácí výhodu přidělením celého časového slotu jednomu uživateli. Dalším rozdílem proti předchozím řešením je použití užšího 1,6MHz kanálu, a tím snižuje požadavky na šířku frekvenčního pásma (14)(17).

Jádro sítě (CN - Core Network), též páteřní síť, provádí spojovací funkce, udržuje a aktualizuje důležité uživatelské informace, například polohu, účtování, a zajišťuje spojení do dalších sítí. Jádro je rozděleno na doménu s přepojováním okruhů (CS) a doménu s přepojováním paketů (PS). Doména CS obsahuje telefonní ústředny, návštěvnický lokační registr VLR a GMSC (Gateway Mobile Switching Centre), které mohou být částečně převzaty z předchozích GSM sítí. Tato doména slouží k přenosu telefonních hovorů, textových zpráv SMS a přenosu dat s využitím CSD nebo HSCSD. Doména PS je složena z uzlů pro podporu GPRS, tedy SGSN a GGSN, a je určena pro multimediální zprávy, datové přenosy pomocí GPRS nebo EDGE. Všechny tyto bloky plní funkce podobné jako u staršího systému GSM, respektive GPRS. Mezi těmito bloky je několik rozhraní, přičemž některá mohou být použita z původních systémů a některá implementována nově. Zejména rozhraní od rádiové přístupové sítě UTRAN k CS a PS doménám (2) (14)(15).

Díky prvotní rozličnosti přidělování frekvenčních pásem jednotlivým službám v zemích světa standard IMT-2000 definuje pět kmitočtových pásem označovaných, jako UMTS 850/900/1700/1900/2100 MHz. Přestože většina výrobců koncových zařízení nabízí produkty se schopností operovat v sítích třetí generace, je relativně nákladné umožnit spolupráci ve všech frekvenčních pásmech. Proto může docházet k problémům

s roamingem některých koncových zařízení v sítích s méně tradičním frekvenčním pásmem (17).

### **3.3.2. CDMA2000 1xEV Release 0**

Rodina technologií CDMA2000 1x EV je vyvíjena sdružením 3GPP2. Do této rodiny patří dvě technologie třetí generace. EV-DO (Evolution-Data Only později Evolution-Data Optimized) a EV-DV (Evolution-Data and Voice) (4).

EV-DO byla navržena jako evoluce cdmaOne a CDMA2000 1xRTT, podporující vysokorychlostní přenos dat a splňující požadavky ITU na třetí generaci telekomunikačních sítí. Je navržena pro zavedení spolu se sítí pro bezdrátový přenos hlasu, neboť využívá celé frekvenční pásmo pro přenos dat. Rychlost přenosu směrem k uživateli dosahuje 2,4Mbit/s a opačným směrem 153 kbit/s (4)(17).

Šířka kanálu je totožná s šířkou kanálu předchozích standardů, tedy 1,25MHz. Síť je založena na přepojování paketů a na protokolu TCP/IP. Kromě kódového dělení multiplexu (CDMA) je použito i časové dělení multiplexu (TDMA). To umožňuje jednomu koncovému zařízení plně využít kanál ve směru k uživateli v přiděleném časovém slotu. Tato technika umožňuje modulovat časové sloty jednotlivým uživatelům podle síly signálu. Modulaci vybírá samotná koncová stanice na základě odhadu kvality signálu při dané chybovosti a poté odešle buňce informaci s indexem DRC (17)(18).

<b>DRC Index</b>	<b>Přenosová rychlost [kbit/s]</b>	<b>Code Rate</b>	<b>Modulace</b>	<b>SNR</b>
1	38,4	1/5	QPSK	-12
2	76,8	1/5	QPSK	-9,6
3	153,6	1/5	QPSK	-6,8
4	307,2	1/5	QPSK	-3,9
5	307,2	1/5	QPSK	-3,8
6	614,4	1/3	QPSK	-0,6
7	614,4	1/3	QPSK	-0,8
8	921,6	1/3	8-PSK	1,8
9	1228,8	2/3	QPSK	3,7
10	1228,8	1/3	16QAM	3,8
11	1843,2	2/3	8-PSK	7,5
12	2457,6	2/3	16QAM	9,7

tab. č. 5: DRC indexy technologie EV-DO (17)

Code rate je poměr užitečných dat k opravnému kódu, sloupec modulace znázorňuje použitý typ modulace a SNR je poměr úrovně signálu a šumu.

Technologie EV-DV byla vyvíjena skupinou výrobců v čele s firmou Qualcomm a na rozdíl od EV-DO byla zpětně kompatibilní s cdmaOne a CDMA2000 1xRTT, neboť zahrnovala hlasové služby. Pro poskytovatele telefonie s infrastrukturou předchozí generace představovala tato technologie levnější variantu vylepšení sítě, nicméně pro poskytovatele bez 1xRTT byla implementace této technologie nákladnější. V roce 2005 firma Qualcomm zastavila vývoj této technologie a ta zůstala komerčně nevyužita (4) (17) (18).



### 3.4. Přechod mezi třetí a čtvrtou generací

Sítě nesplňující požadavky na síť čtvrté generace (4G) stanovené projektem IMT - Advanced Mezinárodní telekomunikační unií, ale převyšující požadavky na síť třetí generace (3G), jsou označovány jako přechodné - 3,5G.

#### 3.4.1. HSDPA, HSUPA, HSPA+

Vzhledem k tomu, že standard UMTS Release 1999 dosahoval podobných rychlostí jako GSM síť s EDGE nadstavbou, konkrétně 384kbit/s download, byl v roce 2002 vydán Release 5, který přicházel s nadstavbou HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) a který nejen splňuje požadavky 3G sítě, ale dalece je předčí. Release 6, vydaný roku 2005, standardizoval HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), Release 7 z roku 2007 definuje HSPA+ (High Speed Packet Access Evolution) a Release 8, 9 a 10 přináší vícebuňkové verze HSPA a multiantennní systémy MIMO (19).

- **HSDPA**

Toto vylepšení původního standardu UMTS přináší nejvyšší teoretickou rychlost downloadu 14,4Mbit/s a uploadu 384kbit/s a nižší odezvu. Výrazné zlepšení přenosových rychlostí a latence je dosaženo pomocí zkrácení intervalu mezi jednotlivými pakety a implementování HS-DSCH, rychlého plánování paketů (fast packet scheduling), modulace QPSK a 16QAM, protokolu HARQ pro řešení chyb a MAC-HS. Zkrácením doby mezi zasláním paketů z 10ms na 2ms se kromě zvýšení rychlosti přenosu zrychluje reakce sítě na přenosové podmínky a úpravu modulace a kódování (2)(20) (21).

HS-DSCH (High-Speed Downlink Shared Channel) je nový přenosový kanál pro uživatelská data a jeho součástí jsou tři kanály fyzické vrstvy. HS-SCCH (High Speed-Shared Control Channel) informuje dostatečně dopředu koncovou stanicí, že se data budou vysílat, HS-DPCCH (High Speed-Dedicated Physical Control Channel) přenáší potvrzení a určení kvality přenosu od uživatele a na kanálu HS-PDSCH (High Speed-Physical Downlink Shared Channel) je realizován vlastní přenos dat (2)(20) (21).

Pro rychlé plánování paketů (fast packet scheduling) používá HSDPA zpětné informace z koncových stanic o kvalitě signálů a na základě těchto dat základní stanice určuje, kterému uživateli budou data zaslána (2)(20) (21).

HARQ (Hybrid Automatic repeat-reQuest) je protokol pro řešení chyb při přenosu dat. Po zjištění chyby v přijatém paketu základnová stanice automaticky vyšle paket znovu, případně s jiným kódem pro inkrementální nadbytečnost. Koncová stanice ukládá všechny verze kódování paketu, které kombinuje pro zefektivnění opravy chyby. Signalizace chyb a informace o novém nebo opětovném zaslání paketu se provádí na nových kanálech HS-SCCH a HS-DPCCH. Chybný paket je zaslán tak dlouho, dokud není správně přijat, a tento přenos je realizován fyzickou vrstvou sítě, což je rychlejší než realizace na vyšších vrstvách (2)(20) (21).

MAC-HS (Medium Access Control) představuje přesun některých funkcí z ovladače rádiové sítě (RNC) na Node B, čímž dochází ke zkrácení cesty dat, a tím zrychlení těchto procesů. Jedná se například o výše zmíněné HARQ a plánování paketů. Tyto změny v síti UMTS vyžadují úpravy hardwaru a softwaru, zejména základnových stanic, nicméně zhruba 90% provozovatelů UMTS sítí vystačilo pouze se softwarovým upgradem z důvodů připravenosti (2)(20) (21).

- **HSUPA**

Označení HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access) pochází od společnosti Nokia a oficiální označení tohoto standardu podle 3GPP Release 6 z roku 2004 je EUL (Enhanced UpLink) - vylepšený zpětný kanál. Tento standard využívá podobných technik jako HSDPA pro vylepšení vlastností přenosu dat ve směru od koncového zařízení. Jde o zkrácení intervalu mezi pakety, plánovač paketů, HARQ a nové kanály na fyzické vrstvě (17).

Zavedením této technologie lze zvýšit teoretickou rychlost uploadu z 384kbit/s až na 5,76 Mbit/s a kombinace této technologie s HSDPA je označována jako HSPA (17).

- **HSPA +**

Technologie Evolved High-Speed Packet Access byla popsána v Release 7 v roce 2007. Tento standard zdvojnásobuje přenosové rychlosti downloadu na 21,1Mbit/s a uploadu na 11,1Mbit/s proti předchozí verzi HSPA. Další výhodou je snížení nároků na koncové zařízení, a tím zvýšení výdrže baterie a kratší prodlevu mezi pohotovostním režimem a datovou komunikací (17).

Vyšší rychlosti přenosu jsou dosaženy zavedením modulace 64QAM na downlinku a modulace 16QAM na uplinku. Tyto typy modulace jsou používány většinou v krátké vzdálenosti od NodeB díky své náchylnosti na rušení. Dále zavádí nový kanál pro okamžitý datový přenos ještě před sestavením řádného spojení, a tím snížení prodlevy po prvním požadavku na přenos dat. Tím je docíleno nespojitého vysílání a koncový terminál tak v době, kdy nevysílá data, může odpojit své vysílací obvody a tak šetřit baterii. Dále nespojitý přenos dat snižuje vzájemné rušení v buňce vlivem nižšího počtu aktivních uživatelských stanic (17).

HSPA+ navíc přináší možnost realizovat části jádra sítě v takzvané architektuře ploché IP (flat IP). Kromě zrychlení toku dat mezi základnovou stanicí NodeB a vnější internetovou sítí lze tímto oddělit vývoj rádiové přístupové sítě od jádra sítě. Tato technologie je zaváděna zejména kvůli jednoduššímu, respektive levnějšímu napojení nebo přechodu sítě na novější technologie přenosu dat (17).

- **Multi-Cell, MIMO**

Release 8 a 9 standardizuje technologii Dual Carrier HSPA, označovanou také jako Dual Cell. Většina UMTS sítí je provozována v 10MHz párovém pásmu s kanály o šířce 5MHz. Podstata této technologie spočívá ve spojení dvou sousedních kanálů pro zvýšení propustnosti dat a tím dosažení rychlosti až 42,2Mbit/s pro download. Release 11 standardizuje Multi-Cell, spojení více kanálů v závislosti na jejich šířce (17).

Další technologií standardizovanou pro použití v sítích UMTS od Release 8 jsou multianténní systémy MIMO (multiple-input and multiple-output). Základ této technologie je ve vysílání stejného datového toku z více antén a příjmu více anténami. To vede ke zvýšení propustnosti, dosahu a snížení chybovosti přenosu (17).

Následující tabulka tab. č. 6 zobrazuje přenosové rychlosti downlinku v závislosti na konfiguraci sítě.

<b>Release</b>	<b>Kategorie</b>	<b>Modulace</b>	<b>Mimo, Multi-Cell</b>	<b>Maximální přenosová rychlost [Mbit/s]</b>	
Release 5	1	16QAM	-	1,2	
	2			1,2	
	3			1,8	
	4			1,8	
	5			3,6	
	6			3,6	
	7			7,2	
	8			7,2	
	9			10,1	
	10			14,0	
	11	QPSK		0,9	
	12			1,8	
Release 7	13	64QAM	MIMO	17,6	
	14			21,1	
	15	16QAM		23,4	
	16			28,0	
Release 8	17	64QAM	-	17,6	
		16QAM	MIMO	23,4	
	18	64QAM	-	21,1	
		16QAM	MIMO	28,0	
	19	64QAM	MIMO	35,3	
	20			42,2	
	21	16QAM	Dual-Cell	23,4	
	22			28,0	
	23	64QAM		35,3	
	24			42,2	
Release 9	25	16QAM		Dual-Cell + MIMO	46,7
	26				55,9

	27	64QAM		70,6
	28			84,4
Release 10	29		Triple-Cell	63,3
	30		Triple-Cell + MIMO	126,6
	31		Quad-Cell	84,4
	32		Quad-Cell + MIMO	168,8
Release 11	33		Hexa-Cell	126,6
	34		Hexa-Cell + MIMO	253,3
	35		Octa-Cell	168,8
	36		Octa-Cell + MIMO	337,5

tab. č. 6 Kategorie koncových zařízení podle nastavení sítě UMTS (22)

### 3.4.2. CDMA2000 1x EV-DO Revision A, B

Revize A přidává původní technologii EV-DO Release 0 nová kódová schémata DRC, poskytující maximální rychlost až 3,1Mbit/s ve směru k uživateli a 1,8Mbit/s v opačném směru. Další vylepšení proti předchozí verzi spočívá v implementaci různé úrovně služeb (QoS) při zachování zpětné kompatibility s Release 0(2)(18) (23).

Revize B umožňuje využít více kanálů najednou a při použití modulace 64QAM při optimální síle signálu nabízí rychlost až 4,9Mbit/s pro jeden kanál. Při použití tří kanálů dosahuje rychlost přenosu dat směrem k uživateli až 14,7Mbit/s. V maximální konfiguraci může být použito až 15 kanálů, což poskytuje až 73,5Mbit/s. Použité kanály spolu ani nemusí sousedit, což je vhodné pro některé poskytovatele. Vylepšení z revize A na revizi B je možné i pouhým softwarovým zásahem, za cenu ztráty některých vlastností (2) (18) (23).

### 3.4.3. LTE

Technologie označovaná zkratkou LTE neboli Long Term Evolution představuje nový standard mobilní sítě schopný dosahovat rychlostí až 300Mbit/s pro download a 75Mbit/s pro upload. Jelikož stále nespĺňuje všechny požadavky Mezinárodní telekomunikační unie ITU pro sítě čtvrté generace z doporučení IMT-Advanced, je řazena jako síť generace 3,9, ačkoliv je laickou veřejností a marketingovými odděleními provozovatelů označována jako čtvrtá generace mobilních sítí. LTE byla standardizována

v Release 8 z roku 2008 a spolu s ní i nová architektura sítě EPC (Evolved Packet Core). Starší literatura může uvádět označení SAE (System Architecture Evolution), což je označení požadavků na novou architekturu a EPC je odpověď na tyto požadavky, v Release 8 standardizována (24)(25).

Ačkoliv je LTE popisovaná jako rozvoj UMTS, mají společné pouze organizační strukturu uzlů. Rádiová přístupová síť (RAN) UMTS je složena z rádiového rozhraní (UTRA), zahrnujícího i koncové zařízení (UE), a z rádiové přístupové sítě (UTRAN), zahrnující základnové stanice (node B), a ovladače rádiové sítě (RNC). Části přístupové sítě LTE jsou obdobně pojmenovány Evolved UTRA (E-UTRA) a Evolved UTRAN (E-UTRAN). Základnová stanice je označována jako eNodeB nebo eNB a zastává i funkce RNC známé ze sítě UMTS. Kombinací této přístupové sítě s novým jádrem sítě EPC vzniká Evolved Packet System. Smyslem EPC je přechod z kombinace kruhově a paketově přepínaného jádra na pouze paketové jádro na bázi all-IP a oddělení užitečných a řídicích dat pro zrychlení odezvy sítě (24) (25).

## **EPC**

EPC bylo vyvinuto s cílem zjednodušit architekturu jádra sítě a zajistit kompatibilitu se stávajícími i budoucími rádiovými přístupovými sítěmi (RAN) od GSM, UMTS přes cdma2000 po WiMAX. Mezi další vlastnosti patří plochá architektura pouze na bázi IP a použití pouze paketově spínaných okruhů. Nová architektura jádra sítě EPC se skládá ze základních komponent entity správy mobility MME (Mobility Management Entity), obslužné brány SGW (Serving Gateway), brány sítě paketových dat PGW (Packet Data Network Gateway) a dalších komponent jako funkce pravidel přístupu a účtování PCRF (Policy and Charging Rules Function), domácí účastnický server HSS (Home Subscriber Server) (24)(25).

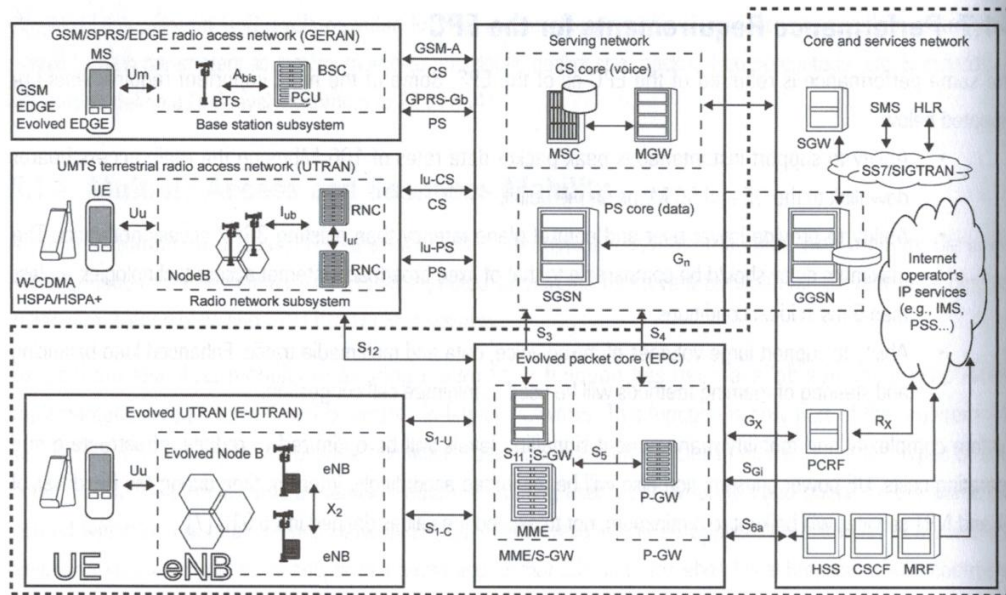


Figure 5.2-1. Overview of the EPS and legacy 3GPP RANs

obr. č. 1 Architektura EPC (25)

Entita správy mobility MME je kontrolní entita řídící komunikaci mezi základnovou stanicí eNB, resp. koncovým zařízením UE a EPC. Pomocí protokolů NAS (Non Access Stratum) zajišťuje navázání, držení, ukončení spojení a zjišťuje přenosovou rychlost a polohu koncových zařízení, ale sama není do přenosu uživatelských dat přímo zapojena. MME se stará o všechny funkce řídicí úrovně vztažené ke správě uživatelů a připojení (sessions) a sleduje pohyb koncových zařízení, které jsou ve stavu idle. Také se stará o handover, změnu buňky, resp. eNodeB, se kterou uživatelské zařízení komunikuje, a v případě slabého pokrytí LTE přeměrování do sítě GSM nebo UMTS. Dále koordinuje a plánuje použití zdrojů pro přenos dat (24)(25).

Obslužná brána SGW se stará o uživatelské datové přenosy a směřuje příchozí a odchozí pakety mezi branou sítě paketových dat PGW a rádiovou sítí RAN. Každé koncové zařízení komunikuje pouze s jednou SGW, která se tak chová jako kotva pro mobilitu mezi základnovými stanicemi a mezi druhy sítí. Monitoruje kontext informací spojených s koncovým zařízením UE během klidového režimu a vyvolává tato zařízení, pokud jsou pro ně příchozí data nebo hovory. Brána komunikuje s různými PGW podle uživatelských požadavků a také nepřímo s funkcemi pravidel přístupu a účtování PCRF (24)(25).

Brána PDN (Packet Data Network - síť paketových dat), také označovaná PGW, poskytuje spojení koncovým zařízením UE s IP službami provozovanými nebo zpřístupněnými operátory. Spolu s PCRF a funkcí kvality služeb QoS reguluje datový tok k a od uživatele. Odpovídá tak prvku GGSN v architektuře jádra sítě GSM (24)(25).

Funkce pravidel přístupu a účtování PCRF je sloučená funkce PDF (Policy Decision Function) a Charging Rules Function (CRF) z předchozích release pro účtování a poskytování oprávnění využívání služeb. Sloučení funkcí do jednoho funkčního celku proběhlo z důvodů potřeby vyřešení přístupu a účtování k sítím mimo 3GPP standard (24)(25).

Domácí účastnický server HSS je hlavní databáze obsahující data o uživateli, lokalizační a IP informace a zpracovává autentizaci a autorizaci. Komunikuje s entitou správy mobility, které dodává uživatelské informace, a získává data o poloze a IP adrese (25).

## E-UTRAN

Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network je síť základnových stanic spojující uživatelské terminály s jádrem sítě. Komunikace mezi základnovou stanicí v LTE označovanou jako eNodeB probíhá radiovým signálem ve frekvenčních pásmech definovaných 3GPP. Díky rozdílnému využívání kmitočtů v různých regionech bylo definováno 29 frekvenčních pásem pro frekvenčně dělený duplex (FDD) a 12 pro časově dělený duplex (TDD) v Release 11.

<b>Pásma E-UTRA</b>	<b>Operační pásma uplinku [MHz]</b>	<b>Operační pásma downlinku [MHz]</b>	<b>Typ duplexu</b>	<b>Podporované šířky kanálů [MHz]</b>
1	1920-1980	2110-2170	FDD	5;10;15;20
2	1850-1910	1930-1990	FDD	1,4;3;5;10;15;20
3	1710-1785	1805-1880	FDD	1,4;3;5;10;15;20
4	1710-1755	2110-2155	FDD	1,4;3;5;10;15;20
5	824-849	869-894	FDD	1,4;3;5;10
6	830-840	875-885	FDD	5;10



7	2500-2570	2620-2690	FDD	5;10;15;20
8	880-915	925-960	FDD	1,4;3;5;10
9	1749,9-1784,9	1844,9-1879,9	FDD	5;10;15;20
10	1710-1770	2100-2170	FDD	5;10;15;20
11	1427,9-1447,9	1475,9-1495,9	FDD	5;10
12	699-716	729-746	FDD	1,4;3;5;10
13	777-787	746-756	FDD	5;10
14	788-798	758-768	FDD	5;10
15	Rezervováno	Rezervováno	FDD	-
16	Rezervováno	Rezervováno	FDD	-
17	704-716	734-746	FDD	5;10
18	815-830	860-875	FDD	5;10;15
19	830-845	875-890	FDD	5;10;15
20	832-862	791-821	FDD	5;10;15;20
21	1447,9-1462,9	1495,9-1510,9	FDD	5;10;15
22	3410-3490	3510-3590	FDD	5;10;15;20
23	2000-2020	2180-2200	FDD	1,4;3;5;10;15;20
24	1626,5-1660,5	1525-1559	FDD	5;10
25	1850-1915	1930-1995	FDD	1,4;3;5;10;15;20
26	814-849	859-894	FDD	1,4;3;5;10;15
27	807-824	852-869	FDD	1,4;3;5;10;15
28	703-748	758-803	FDD	3;5;10;15;20
29	N/A	717-728	FDD	-
-	-	-	-	-
33	1900-1920		TDD	5;10;15;20
34	2010-2025		TDD	5;10;15
35	1850-1910		TDD	1,4;3;5;10;15;20
36	1930-1990		TDD	1,4;3;5;10;15;20
37	1910-1930		TDD	5;10;15;20
38	2570-2620		TDD	5;10;15;20
39	1880-1920		TDD	5;10;15;20

40	2300-2400	TDD	5;10;15;20
41	2496-2690	TDD	5;10;15;20
42	3400-3600	TDD	5;10;15;20
43	3600-3800	TDD	5;10;15;20
44	703-803	TDD	3;5;10;15;20

tab. č. 7 Standardizovaná pásma IMT pro technologii LTE (26)

- **OFDM**

Z důvodů množství požadavků na přístupovou síť LTE, zejména frekvenční pásma, šířky kanálů, mobilitu koncových zařízení, velikost buněk, byla zvolena OFDM modulace signálu pro přenos dat mezi eNodeB a koncové zařízení. OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiple Access - ortogonální frekvenčně dělený vícenásobný přístup) rozděluje nosnou frekvenci, v šířce 1,4-20MHz dle sítě, na několik stovek subnosných, což představuje souběžné přenosy dat s nižší propustností. Subnosné kmitočty jsou od sebe odděleny ortogonálně a jsou dále modulovány podle vzdálenosti, respektive podle kvality signálu, modulacemi QPSK, 16QAM nebo 64QAM. Díky tomuto principu je OFDM spektrálně účinná. Před vysláním je použita Fourierova transformace a přidán cyklický prefix CP pro zamezení vzájemného rušení jednotlivých subnosných kmitočtů při příjmu vlivem odrazů (25)(27).

Pro downlink v sítích LTE je realizována modulace OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Acces) pro několikanásobný přístup v lokalizovaném módu. Díky tomu může více uživatelských terminálů používat subnosné kmitočty podle potřeby a dojde k zefektivnění přenosu celkového datového přenosu (25)(27).

Jelikož OFDMA vykazuje vysokou hodnotu PAPR (Peak to Average Power Ratio), což zvyšuje výkonové požadavky na vysílač, byla zvolena SC-FDMA (Single Carrier-Frequency Division Multiple Access) modulace pro uplink. Ta kombinuje nízké PAPR přenosových technologií s jediným nosným kmitočtem, jako je například GSM nebo CDMA, s flexibilní frekvenční alokací systému OFDMA. Název modulace mylně napovídá, že využívá pouze jednu nosnou frekvenci, ale stejně jako OFDMA realizuje přenos dat na několika subnosných kmitočtech. Rozdíl je v použití diskrétní Fourierovy transformace, generování báze dat a následně použití OFDMA technik na přenos dat. Někdy tato technika bývá označována jako DFT-S-OFDM (Discrete Fourier Transform

Spread OFDM). Výsledná realizace není technicky příliš odlišná od OFDMA a snižují se nároky na spotřebu energie a tedy na výdrž baterie uživatelského zařízení (25)(27).

- **Protokoly**

Komunikace mezi základnovou stanicí eNodeB a koncovým terminálem probíhá ve třech vrstvách. Fyzická vrstva zajišťuje kanály, kterými je zajištěn přenos dat, a ve druhé a třetí vrstvě jsou realizovány řídicí funkce a přenos uživatelských dat(25).

Fyzická vrstva definuje strukturu rámce pro FDD a TDD duplexy, OFDM modulaci, kódování a v neposlední řadě kanály pro přenos dat. Je definováno šest kanálů pro downlink a tři pro uplink. Kanály ve směru k uživateli jsou PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) pro uživatelská data, PBCH (Physical Broadcast Channel) pro zajištění vysílacího kanálu, PDCCH (Physical Downlink Control Channel) pro přenos kontrolních a alokačních informací, PMCH (Physical Multicast Channel) pro zajištění MCH více uživatelským zařízením najednou, PCFICH (Physical Control Format Indicator Channel) pro přenos informací nutných pro OFDM modulaci, PHICH (Physical Hybrid-ARQ Indicator Channel) pro přenos indikátoru opravného kódování H-ARQ. Kanály ve směru od uživatele k eNodeB jsou PUSCH (Physical Uplink Shared Channel) pro přenos uživatelských dat, PUCCH (Physical Uplink Control Channel) pro přenos řídicích informací jako žádosti pro plánovač, H-ARQ potvrzení/odmítnutí, indikátor kvality, PRACH (Physical Random Access Channel) pro vytvoření spojení s eNodeB (25).

Součástí vyšší vrstvy je PDCP (Packet Data Convergence Protocol), RLC (Radio Link Control), MAC (Medium Access Control). Funkce MAC jsou poskytování přenosových služeb RLC přes logické kanály, multiplexování dat z logických kanálů pro kanály fyzické vrstvy, opravy chyb pomocí algoritmu HARQ, plánování příjmu a vysílání uživatelských stanic UE, výběr modulace a kódování vysílání koncovým terminálům UE. RLC je rozhraní a buffer mezi PDCP a MAC, který má minimální schopnost zásobníku a chová se spíše jak router. PDCP vystupuje jako portál mezi RLC a možnými vyššími vrstvami protokolu. Mezi další funkce PDCP patří hlavičková komprese a šifrování dat (25).

- **UE**

Přenosové rychlosti využitelné uživatelskými terminály jsou dány konstrukcí a jsou řazeny do kategorií. Kategorie určuje typy modulace, počet antén vysílače a UE - MIMO a maximální rychlosti realizovatelné směrem od a k uživateli.

Kategorie UE	Max. download [Mbit/s]	Modulace k UE	MIMO	Max. upload [Mbit/s]	Modulace od UE
1	10,05	QPSK, 16QAM, 64QAM	1	5,04	QPSK, 16QAM
2	49,83		2	24,86	
3	99,66		2	49,83	
4	147,22		2	49,83	
5	292,53		4	73,61	navíc 64QAM

tab. č. 8 Kategorie koncových zařízení pro LTE (28)

#### 3.4.4. Mobile WiMAX

Mobilní verze WiMAXu patří do rodiny standardů IEEE 802.16 navrhovaných pro rozlehlé sítě WAN Institutem pro elektrotechnické a elektronické inženýrství IEEE. Mobilní verze WiMAX představuje standardy 802.16e-2005, jeho upgrade 802.16-2009 a 802.16m-2011, někdy označované jako release 1, 1.5 a 2. Jelikož IEEE definuje pouze standardy, pro zajištění kompatibility zařízení vznikla organizace WiMAX Forum s cílem sdružit výrobce wimaxových zařízení. Klasický WiMAX je bezdrátová síť v podstatě stacionárního charakteru. Samozřejmostí je architektura na bázi IP protokolu. Jedna základnová stanice komunikuje s několika koncovými terminály, které se mohou pohybovat omezenou rychlostí v prostoru dosahu signálu téže základnové stanice. Proto musely být vyřešeny problémy se změnou modulace při rychlém pohybu, handover koncových stanic mezi buňkami a roaming mezi jednotlivými poskytovateli. Klasický WiMAX má definované profily pro přenosová pásma od 2GHz do 66GHz. Pro 802.16e-2005 jsou definována pásma 2,3GHz, 2,5GHz, 3,3GHz, 3,4-3,8GHz (29).

Vzhledem k tradiční potřebě širšího pásma pro přenos dat směrem k uživateli a užšího v opačném směru je preferována technika časového dělení TDD. Ta využije celé

pásmo, které rozdělí na časové sloty podle potřeby určené pro downlink a uplink. Takzvaný release 1.5 standardizuje i techniku FDD pro použití dvou oddělených pásem pro downlink a uplink (30).

Klíčovou vlastností mobilního WiMAXu je technologie S-OFDMA (Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access), což proti klasickému WiMAXu zvyšuje výkonnost a odolnost proti rušení díky rozdělení signálu do více na sebe kolmých podkanálů (30)(31).

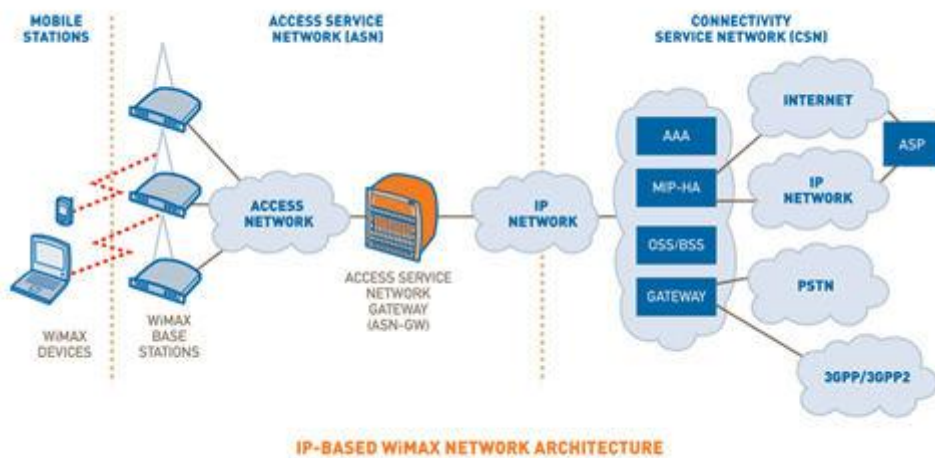
Pro další snížení vlivu rušení jsou použity modulace BPSK, QPSK, 16QAM a 64QAM. Pro detekci chybně přijatých dat je zavedeno kódování dopředné opravy chyb FEC (forward error-correction coding). K posílení robustnosti komunikace je pro kombinaci kódování a modulace použita technika adaptivní modulace a kódování AMC (adaptive modulation and coding). To znamená, že jako u GSM a UMTS sítí se typ modulace a síla kódování volí podle kvality signálu. Takže pro nejlepší signál je použita modulace 64QAM a slabé kódování, pro slabý signál se použije BPSK nebo QPSK a větší počet ochranných bitů kódování (30).

Další vlastností je použití technik AAS a MIMO pro využití více antén. AAS (adaptive antenna system) poskytuje prostorově dělený přístup využitím více antén na jedné vysílací stanici. Kromě optimalizace vysílacího výkonu je tímto navýšena kvalita signálu pro koncová zařízení, která jsou v přímé viditelnosti s vysílačem, díky schopnosti vhodně zpracovat signál odražený od objektů. MIMO využívá jak více vysílačích, tak více přijímacích antén. Tím lze zvýšit spolehlivost nebo kapacitu přenosu (30)(31).

K zefektivnění používání přenosového pásma jsou použity propracované techniky požadavků, udělování a sdružovací mechaniky. Na úrovni vrstvy MAC (Media Access Control) je realizována služba QoS (Quality of Service), která definuje pět úrovní. Nejvyšší úroveň UGS (Unsolicited Grant Service) je pro real-time služby, které generují periodicky se opakující data o konstantní velikosti, například hlasové služby VoIP bez potlačení ticha. Úroveň ertPS (extended real-time polling service) je pro real-time služby, které generují periodicky se opakující data s různou velikostí, například hlasové služby VoIP s potlačením ticha. Úroveň rtPS (real-time polling service) je podobná ertPS, ale je pro služby s komprimovanými daty, například video ve formátu MPEG. Úroveň nrtPS (non-real-time polling service) je pro služby, které přenášejí souvislý proud dat s variabilní velikostí a nevyžadují odezvu v reálném čase tedy například FTP. Poslední

úrovni je BE (best effort), tedy služby, které mohou fungovat na zbývajících kapacitách sítě (30).

Pro opravu chybně přijatých datových paketů se používá technika HARQ (hybrid automatic repeat request). Chybně přenesené pakety příjemce nezahazuje a automaticky zažádá o zaslání tohoto chybného paketu. Pokud je i tento opakovaně zasláný paket poškozen, je kombinován s dříve zasláným paketem, a tím se zvyšuje šance pro jeho obnovu se snížením nároků na síť. Celý proces se opakuje tak dlouho, dokud paket není správně přijat nebo zkombinován (30).



obr. č. 2 Zjednodušená architektura sítě s technologií WiMAX (32)

### **3.5. Čtvrtá generace**

V roce 2008 vydává Mezinárodní telekomunikační unie (ITU) dokument IMT-Advanced obsahující požadavky na telekomunikační sítě čtvrté generace. Mezi požadavky patří:

- vysoký stupeň kompatibility běžných funkcionalit po celém světě při zachování flexibility, podporující širokou škálu místních služeb a aplikací za přiměřené náklady
- kompatibilita se službami v rámci standardů IMT a pevných sítí
- schopnost spolupráce s ostatními rádiovými sítěmi
- vysoká kvalita mobilních služeb
- koncové zařízení použitelné po celém světě
- uživatelsky přívětivé aplikace, služby a zařízení
- schopnost celosvětového roamingu
- zvýšení maximálních přenosových rychlostí a spektrální účinnosti pro podporu pokročilých služeb na 1Gbit/s pro statické koncové zařízení a 100Mbit/s pro rychle se pohybující zařízení

Většina z prvních sedmi požadavků byla již splněna, ale požadavky na přenosové rychlosti vyžadovaly technologický vývoj. Ačkoliv existuje několik kandidátů na technologie sítě čtvrté generace, schváleny byly zatím pouze LTE Advanced a WiMAX Advanced (25).

#### **3.5.1. LTE Advanced**

Release 10 standardu 3GPP definuje vylepšení technologie LTE z předchozích Release 8 a 9. Hlavním cílem tohoto nového standardu bylo splnit požadavky Mezinárodní telekomunikační unie ITU kladené na sítě čtvrté generace. Spolu s požadavky unie byly zahrnuty požadavky vycházející z organizace 3GPP, zejména na zpětnou kompatibilitu se systémy standardizované 3GPP. Samotný název LTE Advanced napovídá vztah k požadavkům IMT - Advanced. Kromě stávajících vlastností technologie LTE z Release 8 a 9 jsou přidány nové prvky, z nichž nejdůležitější jsou sdružování rádiových kanálů,

rozšíření MIMO, koordinace vysílání a příjmu několika buněk, retranslace a femtobuňky (25) (33) (34).

### **Sdružování rádiových kanálů**

LTE Advanced dosahuje maximální rychlosti v pásmu o šířce 100MHz, nicméně takto široká pásma nejsou většinou k dispozici. Proto je aplikována metoda sdružování kanálů na dva až pět kanálů o šířce 1,4MHz až 20MHz, jak je definováno v předchozích release. Tato myšlenka není úplně nová, neboť byla aplikována například v nastavbě EDGE pro GSM nebo Dual Carrier HSDPA. Těto metody lze využít i pro zvýšení flexibility sítě při sdružení nespojitých pásem, kdy lze lépe obsloužit koncové zařízení UE více vzdálené od eNodeB přenosem na nižších frekvencích a bližší zařízení na vyšších pásmech. Lze klasifikovat tři typy agregace pásem

- sloučení vedlejších bloků v rámci jednoho pásma
- sloučení bloků v rámci jednoho pásma, které spolu nesousedí
- sloučení bloků z různých pásem

Realizace seskupení bloků zejména posledního typu zvyšuje nároky na uživatelské zařízení UE proti seskupení ostatních typů (25) (33).

Navíc bylo IMT spektrum rozšířeno o frekvenční pásma 450-470MHz, 698-862MHz, 790-862MHz, 2300-2400MHz, 3400-4200MHz, 4400-4990MHz (33).

### **MIMO**

Využití více antén pro vysílání a příjem bylo standardizováno již v Release 7 pro nastavby systému UMTS. Release 10 tuto techniku rozšiřuje počtem antén až na 8 antén na eNodeB a 4 antény na uživatelském terminálu. LTE - Advanced také umožňuje použití prostorového multiplexování, kdy je přenášen jeden datový tok z více základnových stanic eNodeB jednomu koncovému zařízení. Jde zejména o případy na rozhraní buněk, čímž je zvýšena celková propustnost sítě na okrajích těchto buněk. Použitím techniky MU-MIMO, tedy přenos s prostorovým dělením paralelních toků více uživatelským zařízením, lze dosáhnout přenosové rychlosti 3Gbit/s a spektrální účinnosti 30bit/s/Hz na downlinku a 1,5Gbit/s se spektrální účinností 15bit/s/Hz na uplinku (25) (33) (34).

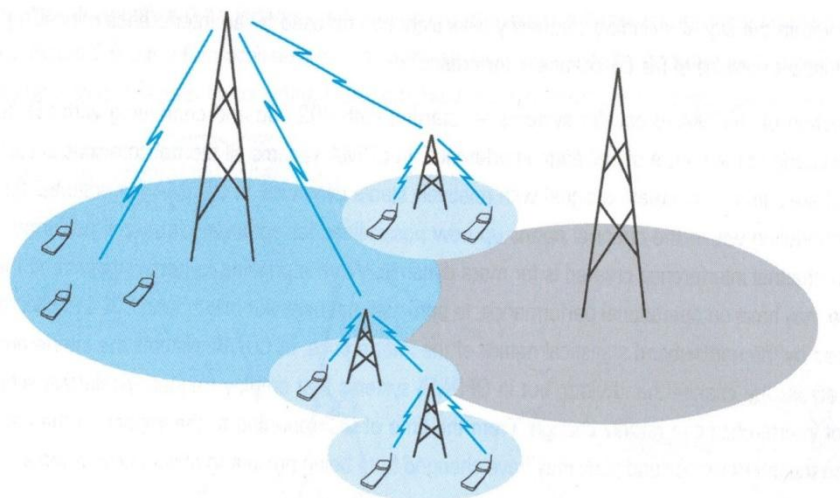


### **Koordinace vysílání a příjmů několika buněk**

CoMP (Coordinated Multi-Point transmission and reception) je sada metod, jejichž cílem je dynamická koordinace vysílání a příjmu z několika eNodeB. Cílem CoMP je zvýšení kvality přenosu a pokrytí okrajů buněk. Lze využít koordinace a/nebo současného přenosu dat z několika eNodeB. Navíc jde tímto způsobem redukovat rušení na rozhraní buněk (25) (33) (34).

### **Retranslace**

Další technika optimalizovaná pro LTE - Advanced jsou retranslační stanice (Relay Node). Dají se použít v místech se špatným signálem, typicky na okrajích buňky, uvnitř budov nebo jiných stíněných místech. Přenos je realizován radiovým spojem ze standardní základnové stanice eNodeB, data jsou, na rozdíl od opakovače, přijata, demodulována a dekódována a po zesílení opět vysílána. Pro koncové zařízení se Relay Node chovají jako klasické základnové stanice a přenos je pro ně zcela transparentní (25) (33) (34).



obr. č. 3 Retranslace v LTE Advaced (25)

### **Femtobuňky**

Femtobuňky neboli HNB (Home eNode B) slouží k posílení sítě v malé oblasti většinou v dosahu makrobuňky - eNodeB. Hlavní rozdíl mezi femtobuňkou a retranslační buňkou je v připojení k jádru sítě. Zatímco retranslační buňka se spojuje radiovým přenosem s eNodeB, femtobuňka je připojena přes lokálního poskytovatele pevného internetového připojení k síti provozovatele mobilní sítě. Kromě kvality signálu lze tímto

způsobem řešit zvýšený provoz v dané lokalitě. Existence femtobuněk v dosahu makrobuňky tak vytváří heterogenní pokrytí. Díky pokročilým technikám zvládnutí vzájemného rušení nedochází k výpadku signálu a koncová zařízení mohou volně přecházet mezi buňkami na základě informací o kvalitě přenosu. Nabízí se i možnost provozu femtobuňky mimo dosah hlavní sítě, například na venkovských oblastech s přípojkou pevného internetu například technologií DSL (25) (33) (34).

## UE

Pro provoz v sítích LTE-Advanced byly dodefinovány tři kategorie uživatelských terminálů. Rozdíl mezi kategoriemi je zejména v počtu vysílacích a přijímacích antén. V době vytváření této diplomové práce nebylo na trhu komerčně prodávané zařízení z žádné z těchto kategorií. První uvedení na trh se očekává v druhé polovině roku 2013 ve formě USB terminálů pro notebooky.

Kategorie UE	Max. download [Mbit/s]	Modulace k UE	MIMO k UE	Max. upload [Mbit/s]	Modulace od UE
6	294,44	QPSK,	2 nebo 4	49,83	QPSK,
7	294,44	16QAM,	2 nebo 4	99,66	16QAM,
8	2928,28	64QAM	8	1462,66	64QAM

tab. č. 9 Kategorie koncových zařízení pro LTE Advanced (28)

### 3.5.2. WiMAX - Advanced

V roce 2011 organizace IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) vydala standard 802.16m, označovaný sdružením WiMAX Forum jako WiMAX - 2 nebo WiMAX Advanced. Ten nabízí při vysoké mobilitě rychlost 100Mbit/s a pro stacionární uživatele až 1Gbit/s. Díky tomu byla technologie již zařazena Mezinárodní telekomunikační unií ITU mezi technologie mobilní komunikace čtvrté generace. Technologie 802.16m je zpětně kompatibilní s předcházející verzí mobilního WiMAXu 802.16e, a tím poskytuje stávajícím operátorům s technologií WiMAX snadný přechod na vyšší verzi. 802.16m je definována pro pásma licenční IMT 450-470, 698-960, 1710-2025, 2110-2200, 2300-2400, 2500-2690, 3400-3600 a zahrnuje jak časově,

tak frekvenčně dělený duplex. Díky optimalizaci výkonu základních stanic je možné zvýšit dosah buňky až o 30% nebo na okrajích buněk dvojnásobně zvýšit propustnost dat proti systémům Mobile WiMAX Release 1. Spektrální efektivita je navíc zlepšena díky podpoře až osmi antén MIMO ve směru k uživateli a čtyř ve směru od uživatele. Další navýšení rychlosti přenosu je realizováno rozšířením kanálu na 20MHz a možností spojení více kanálů až na šířku 100MHz. Tyto kanály nemusí být ve stejném frekvenčním pásmu. Tím lze dosáhnout rychlosti až 1Gbit/s. Zmenšený rámec na 5ms umožní snížení latence sítě na 10ms pro navázané spojení a u přechodu uživatelského zařízení z nečinného do aktivního režimu na přibližných 100ms. Technologie 802.16e navíc podporuje femtobuňky, bezdrátové přepojovače a techniku SON (Self-Organizing Network) pro samostatnou optimalizaci a konfiguraci sítě (35) (36) (37) (38).

## 4. Bezpečnost

Prolomení bezpečnosti mobilní sítě může útočníkům zajistit bezplatné využívání služeb, ohrozit důvěru zákazníků a narušit dodržení zákonů o ochraně zákazníků. Z pohledu zákazníka je při narušení bezpečnosti systému riziko účtování služeb využitých útočníkem a ztráty citlivých údajů ve formě odposlechu přenášených dat a sledování pohybu uživatele.

### 4.1. GSM, UMTS

Mobilní sítě na základě technologie GSM jsou nejrozšířenější systémy mobilních sítí a tomu odpovídá význam zabezpečení. Proto je systém mobilní komunikace tvořen několika prvky ochrany. Základní prvek je karta SIM, která identifikuje a autentifikuje účastníka. Navzdory svým rozměrům obsahuje karta SIM procesor, který je schopný provádět kryptografické operace a uchovávat k tomu potřebné klíče(39).

K procesu autentizace se používá protokol request-reply se sdílením tajného klíče mezi účastníkem, resp. SIM a sítí. Síť pošle náhodné číslo, které je zašifrováno jedinečným tajným klíčem SIM a zasláno zpět. Operátor porovná obdrženou odpověď s vyslaným číslem a klíčem z databáze. Pro zvýšení anonymity a znesnadnění sledování polohy je po prvotním použití IMSI (International Mobile Subscriber Identity), kterým se SIM identifikuje, používáno dočasné TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity), dodané sítí. Ačkoliv výpočty jsou realizovány na SIM, nikoliv na telefonu, nebezpečí takové techniky je v tom, že se síť nijak neautentizuje a může tedy být podvržena (39).

Šifrování rádiové komunikace je realizováno pomocí klíče vypočítaného v průběhu autentizace. Šifrování se provádí již na telefonu z důvodu zrychlení komunikace. Algoritmus výpočtu je nazýván A5 a má několik variant, které jsou stejně jako algoritmy autentizace neveřejné. Nyní nejpoužívanější bloková šifra je KASUMI s označením A5/3 pro GSM, UEA1 a UIA1 pro UMTS a GEA3 pro GPRS. Pro UMTS byla později vybrána šifra SNOW 3G pro algoritmy UIEA2 a UIA2 (39)(40).

## 4.2. WiMAX

Bezpečnostní funkce technologie 802.16e má dvě komponenty, protokol zapouzdření a KMP (key management protocol). Protokol zapouzdření zajišťuje ochranu dat napříč fixním nebo mobilním systémem WiMAX. Definuje sadu šifrovacích a autentizačních algoritmů a pravidla pro jejich použití v systému. KMP je navrženo pro zajištění bezpečné distribuce klíčů ze základnové stanice na uživatelský terminál. K zajištění bezpečnosti přenosu dat je použit TEK (traffic encryption key). Nejprve uživatelské zařízení zašle autentizační informace základnové stanici, která provede autentizaci. Poté je základnová stanice požádána o zaslání autorizačního klíče AK, který vygeneruje a zašle uživatelskému zařízení. Z autorizačního klíče AK jsou vypočítány klíče KEK (key encryption key) a HMAC (keyed-Hash Message Authentication Code) jak uživatelským zařízením, tak základnovou stanicí nezávisle na sobě. KEK je použit pro zakódování TEK a HMAC je na ochranu TEK žádostí a odpovědí. Uživatelský terminál pak zašle TEK žádost základnové stanici spolu s přiloženou hodnotou HMAC vypočítanou na základě vlastního HMAC klíče. Základnová stanice po rozšifrování zprávy porovná hodnotu HMAC s vlastní. Pak vygeneruje TEK, zašifruje a odešle uživatelské stanici. Pro následnou komunikaci je použita tato symetrická šifra TEK (30).

## 5. Praktická část

Zákazník má od poskytovaných telekomunikačních služeb jistá očekávání kvality. Laický zákazník většinou používané technologii nerozumí, a proto nezná omezení, která daná technologie přináší. Proto by měl poskytovatel co nejvíce vysvětlovat svým zákazníkům, jaká jsou tato omezení. Tradiční uvádění maximálních teoretických rychlostí pevného internetu se přenáší i do oblasti trhu mobilního připojení. Garance minimálních hodnot u mobilního připojení je velmi složitá, nicméně prezentace rychlostí realizovatelných na jednu buňku a v ideálních podmínkách je značně zavádějící. Proto se následující části práce zabývají dvěma složkami takzvané uživatelské zkušenosti, konkrétně rychlostí datového připojení a pokrytí území službami.

### 5.1. Analýza kvality připojení

Pro účely této práce byla uskutečněna série měření rychlosti přenosu dat pomocí uživatelské stanice a serveru s funkcemi pro to určenými. Dále byly tyto hodnoty analyzovány a statistickými metodami posouzeny.

#### 5.1.1. Měření rychlosti

Měření probíhalo v únoru a březnu roku 2013 v síti mobilního operátora Telefónica Czech Republic, a.s. V síti provozuje technologie CDMA ve verzích EV-DO Release 0 a EV-DO Revize A. Paralelně k této technologii provozuje technologie z rodiny GSM, konkrétně nadstavby GPRS, EDGE a UMTS s nadstavbou HSPA o teoretické rychlosti přenosu dat směrem k uživateli 14,4Mbit/s a 19. června 2012 byl spuštěn komerční provoz sítě LTE na malém území České republiky.

Měření bylo realizováno na přístroji Nokia 5230 vysláním požadavku na webové stránky [www.rychlost.cz](http://www.rychlost.cz). Před samotným měřením bylo provedeno několik srovnávacích měření na různých webových stránkách poskytujících podobné služby a na několika přístrojích v síti stejného operátora. Přístroj Nokia 5230 je podle technických specifikací výrobce schopný přenášet rychlostí 10,2Mb/s pomocí technologie HSDPA (41).

Kompletní test ze stránek [www.rychlost.cz](http://www.rychlost.cz) generuje hodnoty IP adresa, datum a čas, rychlost downloadu a uploadu v kb/s a kB/s, minimální, průměrnou a maximální hodnotu odezvy v milisekundách, procento stability a uvádí informaci o velikosti balíku

dat použitých pro měření rychlosti downloadu a uploadu a délku trvání přenosu dat. "Po spuštění testu začne prohlížeč stahovat testovací soubor o velikosti přibližně 100kB pro účely otestování rychlosti downloadu. V případě, že je tento soubor stažen za více jak 5 sekund, je test úspěšně dokončen a uveden ve statistice. V opačném případě je vypočítána nová velikost testovacího souboru, který bude, dle prvního nepřesného testu, stažen za déle jak 5 sekund. Maximální velikost testovacího souboru je cca 5000 kB, v tomto případě je test platný i v případě kratšího testu než 5 sekund. Test uploadu je prováděn obdobně. K testu jsou použita data získaná při testu downloadu s horním limitem cca 1500 kB a polovinou dat z testu downloadu. Test odezvy slouží k přibližnému určení odezvy (tzv. ping) klienta ku serveru. Tento test je však vzhledem k použité technologii velmi orientační. Test stability vychází z porovnání stahování několika stejných souborů dat. Porovná se nejhorší s nejlepším. Pokud se tedy testovací soubor stáhne nejrychleji za 2 sekundy a nejpomaleji za 3 sekundy, je výsledná stabilita rovna 66.7 procentům"(42).

Před spuštěním testu bylo kontrolováno, zda mobilní přístroj není zatěžován dalšími procesy, jakým způsobem je připojen do sítě, tedy zda technologií HSDPA, a v průběhu testu nebyl jiným způsobem používán. Měření probíhalo na různých místech v odlišnou denní dobu a v různých dnech týdne. Tím byla zajištěna objektivita zejména v rámci denní doby a částečně umístění. Pro účely srovnání bylo také prováděno měření za pohybu ve vlakové soupravě na území hlavního města Prahy pokryté signálem technologií UMTS s nadstavbou HSPA. Měření probíhalo ve vlacích řady EM 475.1 (451) a EM 475.2 (452) na sedadlech u oken bez dalších technických pomůcek. Odhadovaná rychlost jízdy se pohybovala mezi 30km/h a 70km/h. Kromě hodnot měření dodávaných webovou službou byla zaznamenávána místa měření, označení statického měření nebo měření za pohybu a odkaz na příslušný výsledek měření.

### **5.1.2. Analýza naměřených hodnot**

Hlavním cílem analýzy bylo porovnat průměrné naměřené hodnoty downloadu s průměrnou hodnotou deklarovanou poskytovatelem datových služeb. Tato hodnota se rovná 2Mbit/s. Dalšími cíli analýzy bylo porovnat průměrné hodnoty statického měření s měřením provedeným za pohybu, porovnat průměrné hodnoty mezi měřením

provedeném v hlavním městě Praha a měřením mimo Prahu a dále porovnat měření v různých místech Prahy.

Naměřená data byla ukládána do tabulky s hlavičkou: číslo měření, datum [rrmmdd], čas, download [kbit/s], upload [kbit/s], odezva [ms], stabilita [%], link, místo, místo 2, pozn, rychlost [km/h]. Pro účely testování byly vypuštěny proměnné link, místo, místo 2, pozn, rychlost a proměnné odezva a stabilita z důvodu nepřesnosti testování a nižší významnosti proměnných. V průběhu testování byly přidány proměnné značka, značka 2 a značka 3 pro odlišení porovnávaných skupin měření. Při prvotní kontrole dat bylo zjištěno jedno měření s hodnotami převyšujícími technické možnosti sítě a mobilního přístroje. Z příloženého odkazu na výsledek měření není možno obnovit správné hodnoty měření, neboť chyba pravděpodobně vznikla chybným přepisem odkazu do tabulky. Toto měření, číslo 55, proto bylo vyjmuta z analyzovaných dat. Počet měření po úpravě je 484. Analýza byla provedena ve statistickém softwaru SAS verze 9.2. Vybrané výsledky ve formě výstupů generovaných softwarem jsou v přílohách této diplomové práce.

Jelikož technické vlastnosti UMTS systému prudce snižují přenosové rychlosti se vzrůstající rychlostí pohybu koncového zařízení vůči základnovým stanicím, byl soubor měření hned z počátku rozdělen na měření za pohybu a statická měření.

### Měření za pohybu a v klidu

Na popisnou analýzu souboru byla použita procedura *univariate*.

```
proc univariate data=sasuser.dp3 normal mu0=2000;
    class značka;
    var download_;
run;
```

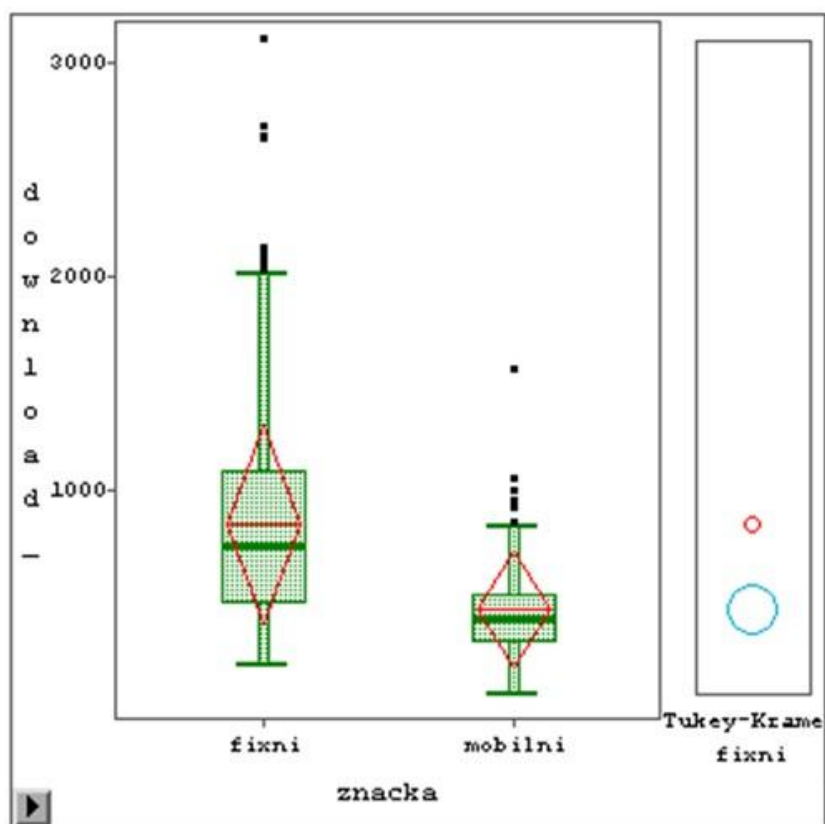
procedura č. 1 - Procedura univariate pro proměnnou download podle pohybu (vlastní zpracování)

Rozšířením procedury o parametr *normal* byl proveden test normality a nastavením hodnoty parametru *mu0* na 2000 byly vykonány testy pro porovnání průměru souboru s nastavenou hodnotou. Parametry *class* a *var* nastavují proměnné vstupující do testů a jejich členění v případě parametru *class*.

Základní charakteristiky souboru statického měření popisuje boxplot, graficky znázorňující první kvartil, medián, třetí kvartil, průměr a odlehlá pozorování, a tabulka



popisných charakteristik. Obrázek zachycuje boxploty souboru fixního i mobilního testování.



obr. č. 4 - Boxploty měření downloadu v klidu a v pohybu (vlastní zpracování)

Z grafického znázornění Tukey-Kramerova testu lze předpokládat rozdílnost průměrů downloadu mezi výběrovými soubory.

Charakteristika	Hodnota	Charakteristika	Hodnota
Počet pozorování	427	Minimální hodnota	186,27
Průměr	847,28	Maximální hodnota	3116,26
Medián	736,65	Rozpětí	2930
Směrodatná odchylka	466,51	Dolní kvartil	481,58
Rozptyl	217632,36	Horní kvartil	1099,46

tab. č. 10 - Popisné charakteristiky proměnné download v klidu (vlastní zpracování)

Soubor se vyznačuje velkým rozpětím mezi minimální a maximální hodnotou. Hodnoty aritmetického průměru a mediánu nejsou blízké.

Pro otestování shody průměru souboru s hodnotou 2000 udávanou provozovatelem sítě je stanovena nulová hypotéza, že průměr se rovná deklarované hodnotě. Alternativní hypotéza zní, že existuje statistický rozdíl mezi průměrem a deklarovanou hodnotou. Hladina významnosti  $\alpha$  je rovna 0,05. P hodnota Studentova t-testu rovna 0,0001 je menší než hladina významnosti. Nulová hypotéza o rovnosti průměrů se proto zamítá, s pravděpodobností 95% platí alternativní hypotéza. Existuje statisticky významný rozdíl mezi průměrem a deklarovanou hodnotou.

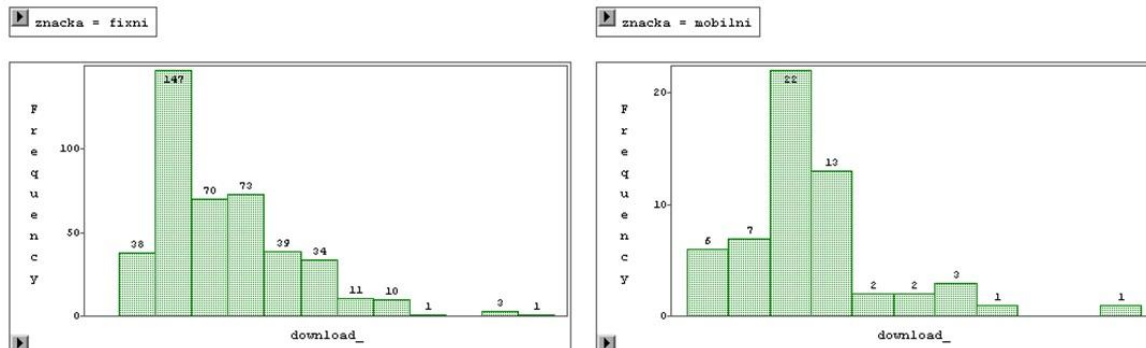
<b>Charakteristika</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Charakteristika</b>	<b>Hodnota</b>
Počet pozorování	57	Minimální hodnota	49,09
Průměr	446,69	Maximální hodnota	1575,12
Medián	400,46	Rozpětí	2930
Směrodatná odchylka	274,63	Dolní kvartil	122,76
Rozptyl	75423,1	Horní kvartil	517,06

tab. č. 11 - Popisné charakteristiky proměnné download v pohybu (vlastní zpracování)

Soubor měření v pohybu se také vyznačuje velkým rozpětím mezi minimální a maximální hodnotou a rozdílností hodnot aritmetického průměru a mediánu.

Z principu funkčnosti měřené technologie a protože průměr hodnot měření za pohybu je nižší než průměr hodnot v klidu, lze předpokládat, že existuje statisticky významný rozdíl mezi zjištěným průměrem a deklarovaným průměrem 2000kbit/s. Protože porovnání průměru mezi soubory fixního a mobilního měření bylo provedeno až v následujícím kroku, byla testována hypotéza o shodě průměru měření za pohybu a hodnotě 2000. Alternativní hypotéza zní, že existuje statisticky významný rozdíl mezi průměrem a deklarovanou hodnotou. Hladina významnosti  $\alpha$  se rovná 0,05. P hodnota Studentova t-testu rovna 0,0001 je menší než hladina významnosti. Nulová hypotéza o rovnosti průměrů se proto zamítá, s pravděpodobností 95% platí alternativní hypotéza. Dle předpokladu existuje statisticky významný rozdíl mezi průměrem a deklarovanou hodnotou.

Před testováním, zda existuje shoda mezi průměrem měření za pohybu a statického měření, musí být zjištěno, zda soubory mají normální rozdělení. Histogramy těchto souborů nedávávají zcela jasnou představu.



obr. č. 5 - Histogramy měření downloadu v klidu a v pohybu (vlastní zpracování)

Pro testování normality souborů je stanovena nulová hypotéza, že rozdělení souboru se statisticky významně neliší od normálního rozdělení. Alternativní hypotéza tvrdí, že existuje statisticky významný rozdíl mezi rozdělením souboru a normálním rozdělením. Hladina významnosti  $\alpha$  je zvolena 0,05. P hodnoty Shapiro-Wilkova testu pro oba soubory jsou menší než 0,0001, proto se zamítá nulová hypotéza. Existuje statisticky významný rozdíl mezi rozděleními výběrových souborů a normálním rozdělením s pravděpodobností 95%.

Jelikož soubory nemají normální rozdělení, musí být použit Wilcoxonův neparametrický test pro testování shody průměrů.

```
proc nparlway data=sasuser.dp3 wilcoxon;
class znacka;
var download_;
run;
```

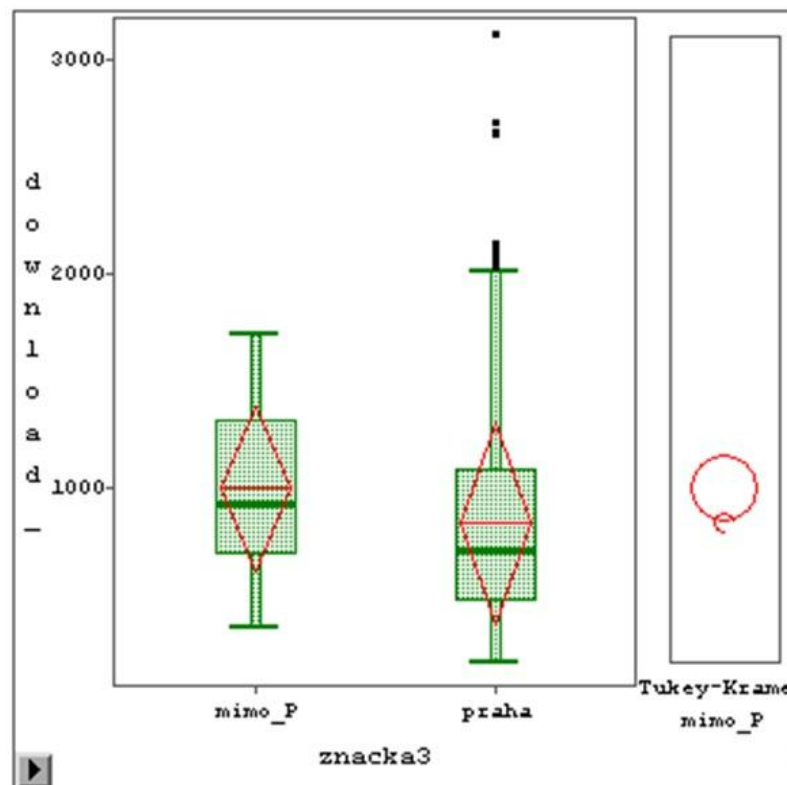
procedura č. 2 - Neparametrický test shody průměrů downloadu za pohybu a v klidu (vlastní zpracování)

Nulová hypotéza zní, že neexistuje statisticky významný rozdíl mezi průměry souborů. Alternativní hypotéza, že existuje statisticky významný rozdíl. Hladina významnosti  $\alpha$  se rovná 0,05. Z porovnání hladiny významnosti  $\alpha$  s p hodnotou dvoustranného Wilcoxonova testu, menší než 0,0001, plyne zamítnutí nulové hypotézy.

Existuje statisticky významný rozdíl mezi průměry statického měření a měření za pohybu s pravděpodobností 95%.

### Měření v Praze a mimo Prahu

V dalším testování jsou srovnávány průměry měření downloadu provedených na území hlavního města Praha a měření mimo Prahu, konkrétně ve středočeském Kostelci nad Černými lesy a v jihočeských Prachaticích. Z důvodu nižšího počtu pozorování v jednotlivých městech mimo Prahu byly tyto soubory sloučeny a dále analyzovány jako jeden. Prvotní předpoklad zní, že průměry budou shodné vzhledem k použití stejné technologie a předpokladu, že poskytovatel mobilních služeb posílí infrastrukturu pro větší počet pražských uživatelů. Jelikož se v předchozím zkoumání potvrdilo, že rychlost přenosu dat k pohybujiícímu se koncovému zařízení je významně odlišná, byl tento soubor, zachycující měření za pohybu, vyloučen z analýzy. Pro získání grafického znázornění souboru byl generován boxplot a pro popisné statistiky použita procedura *univariate*.



obr. č. 6 - Boxploty měření downloadu v Praze a mimo Prahu (vlastní zpracování)

Z boxplotů měření downloadu v Praze a mimo Prahu je patrná blízkost průměrů a je očekávaná shoda těchto průměrů.

```
proc univariate data=sasuser.dp4 normal mu0=2000;
    class značka3;
    var download_;
run;
```

procedura č. 3 - Procedura univariate pro download v Praze a mimo Prahu (vlastní zpracování)

Z výstupu této procedury byly získány popisné charakteristiky souborů. Pro budoucí hodnocení normality rozdělení byl přidán test parametrem *normal*. Parametru *mu0* byla nastavena hodnota 2000, deklarována provozovatelem sítě jako průměrná přenosová rychlost v kbit/s.

Charakteristika	Hodnota	Charakteristika	Hodnota
Počet pozorování	395	Minimální hodnota	186,27
Průměr	835,3	Maximální hodnota	3116,26
Medián	711,54	Rozpětí	2930
Směrodatná odchylna	471,11	Dolní kvartil	477,16
Rozptyl	221949	Horní kvartil	1091,58

tab. č. 12 - Popisné charakteristiky proměnné download v Praze (vlastní zpracování)

Výběrový soubor se vyznačuje velkým rozpětím mezi minimální a maximální hodnotou. Hodnoty aritmetického průměru a mediánu nejsou blízké.

Pro otestování shody průměru souboru s hodnotou 2000, udávanou provozovatelem sítě, je stanovena nulová hypotéza, že průměr a deklarovaná hodnota se rovná. Alternativní hypotéza zní, že existuje statistický rozdíl mezi průměrem a deklarovanou hodnotou. Hladina významnosti  $\alpha$  je stanovena 0,05. P hodnota Studentova t-testu rovna 0,0001 je menší než hladina významnosti. Nulová hypotéza o rovnosti průměrů se proto zamítá, s pravděpodobností 95% platí alternativní hypotéza. Existuje statisticky významný rozdíl mezi průměrem a deklarovanou hodnotou.

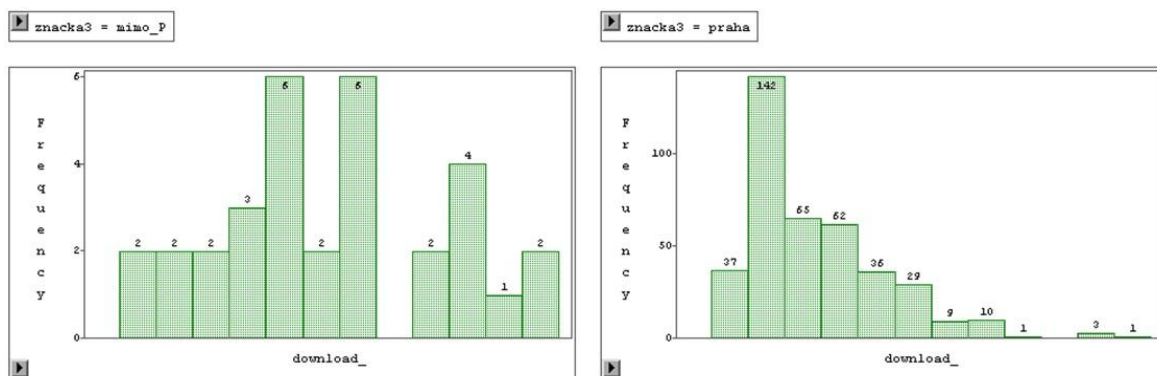
<b>Charakteristika</b>	<b>Hodnota</b>	<b>Charakteristika</b>	<b>Hodnota</b>
Počet pozorování	32	Minimální hodnota	349,95
Průměr	995,16	Maximální hodnota	1718
Medián	929,03	Rozpětí	1368
Směrodatná odchylka	381,3	Dolní kvartil	701,565
Rozptyl	145387	Horní kvartil	1318,86

tab. č. 13-Popisné charakteristiky proměnné download mimo Prahu (vlastní zpracování)

Soubor měření mimo území hlavního města Prahy vykazuje stabilnější hodnoty a menší rozdíly mezi minimální a maximální hodnotou ve srovnání s ostatními výběrovými soubory. Hodnoty průměru a mediánu jsou relativně blízké.

Pro otestování shody průměru souboru s hodnotou 2000 je formulována nulová hypotéza takto: neexistuje statisticky významný rozdíl mezi průměrem a deklarovanou hodnotou. Alternativní hypotéza zní, že existuje statistický rozdíl mezi průměrem a deklarovanou hodnotou. Hladina významnosti  $\alpha$  je stanovena 0,05. P hodnota Studentova t-testu rovna 0,0001 je menší než hladina významnosti. Nulová hypotéza o rovnosti průměrů je proto zamítnuta, s pravděpodobností 95% platí alternativní hypotéza. Existuje statisticky významný rozdíl mezi průměrem výběrového souboru a stanovenou hodnotou.

Pro testování vzájemné shody průměru u výběrových souborů měření z Prahy a mimo Prahu musí být určeno, zda mají oba soubory normální rozdělení. Navržená nulová hypotéza o rozložení souboru shodném s normálním rozdělením je stejná pro oba výběrové soubory. Alternativní hypotéza říká, že existuje statisticky významný rozdíl mezi rozdělením souboru a normálním rozdělením. Hladina významnosti  $\alpha$  se rovná 0,05. Shapiro-Wilkův test pro měření v Praze udává p hodnotu menší než 0,0001. Zamítá se nulová hypotéza. Existuje statisticky významný rozdíl mezi rozděleními výběrových souborů a normálním rozdělením s pravděpodobností 95%. Pro měření mimo Prahu je p hodnota Shapiro-Wilkova testu rovna 0,3848 a je větší než hladina významnosti. Nulová hypotéza není zamítnuta a alternativní hypotéza se považuje za neprokázanou.



obr. č. 7 - Histogramy měření downloadu v Praze a mimo Prahu (vlastní zpracování)

Jelikož jeden soubor nemá normální rozdělení, byl použit neparametrický Wilcoxonův test pro testování shody průměrů mezi soubory.

```
proc nparlway data=sasuser.dp4 wilcoxon;
  class znacka3;
  var download_;
run;
```

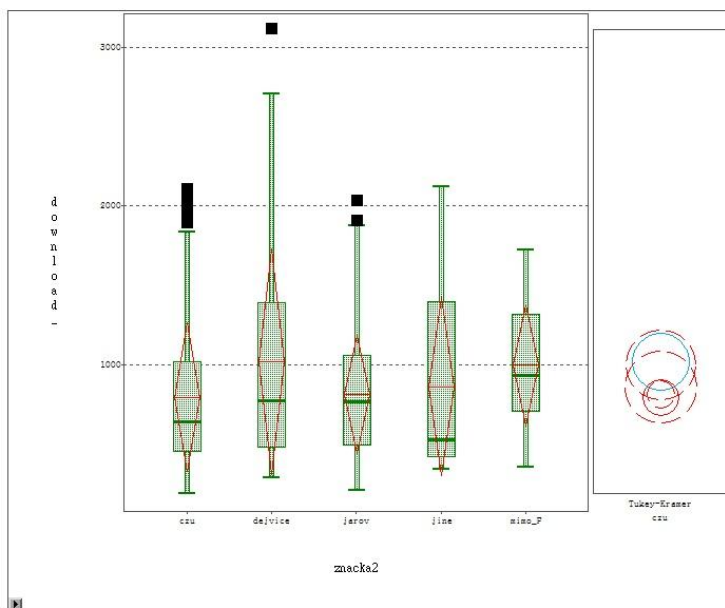
procedura č. 4 - Neparametrický test shody průměrů downloadu v Praze a mimo Prahu (vlastní zpracování)

Nulová hypotéza zní, že neexistuje statisticky významný rozdíl mezi průměry výběrových souborů. Alternativní hypotéza je, že existuje statisticky významný rozdíl. Hladina významnosti  $\alpha$  se rovná 0,05. P hodnota dvoustranného Wilcoxonova testu se rovná 0,0094. Hodnota je menší než zvolená hladina významnosti, a proto je zamítnuta nulová hypotéza a existuje statisticky významný rozdíl mezi průměry měření v Praze a mimo Prahu s pravděpodobností 95%. Při zvolení nižší hladiny významnosti  $\alpha$  rovno 0,01 by nebylo možno rozhodnout o zamítnutí nulové hypotézy. Z hodnot průměrů je možné konstatovat, že hodnoty naměřené mimo území Prahy jsou statisticky významně vyšší.

### Měření v různých částech Prahy

V této části bylo analyzováno, zda se projevil rozdíl mezi soubory měření odlišených místem měření na území Prahy. Z praktických důvodů byl soubor měření z Prahy rozdělen na čtyři části: měření v areálu České zemědělské univerzity v Praze

(v tabulkách a grafech označované jako *czu*), v blízkosti vlakového nádraží Praha-Dejvice (označované jako *dejvice*), v blízkosti křižovatky ulic Koněvova a Spojovací (označované jako *jarov*) a sadu měření realizovaných v několika dalších místech, ale s malým počtem pozorování pro vytvoření vlastní skupiny (označované jako *jine*). Pro zajímavost bylo také analyzováno, zda některý soubor z Prahy má shodný průměr s měřením realizovaným mimo Prahu. Tato skupina je označena jako *mimo\_P*.



obr. č. 8-Boxplot měření downloadu v částech Prahy a mimo Prahu (vlastní zpracování)

Ze srovnání boxplotů je patrné, že výběrové soubory mají navzájem podobnou výši průměrů. Základní popisné charakteristiky jsou generovány procedurou *univariate*.

```
proc univariate data=sasuser.dp5 normal mu0=2000;
    class znacka2;
    var download_;
run;
```

procedura č. 5 - Procedura pro download v částech Prahy a mimo Prahu (vlastní zpracování)

I v tomto případě byl proveden test na shodu průměrů jednotlivých výběrových souborů s hodnotou 2000, udávanou provozovatelem sítě. Pro otestování shody průměru souboru s hodnotou 2000 je stanovena nulová hypotéza, že průměr se rovná deklarované



hodnotě. Alternativní hypotéza zní, že existuje statistický významný rozdíl mezi průměrem a deklarovanou hodnotou. Hladina významnosti  $\alpha$  je rovna 0,05.

Soubor	Počet pozorování	Průměr	Medián	Minimum	Maximum	Dolní kvartil	Horní kvartil
czu	113	793,86	638,61	186,27	2104,69	356,32	1015,55
dejvice	49	1016,84	768,45	289,18	3116,26	481,18	1392,10
jarov	202	810,66	765,89	206,1	2034,95	493,1	1056,25
jine	31	859,89	524,41	339,86	2119,56	417,97	1398,16
mimo_P	32	995,16	929,03	349,95	1718,06	701,57	1318,86

tab. č. 14 - Základní statistiky proměnné download výběrových souborů z částí Prahy a mimo Prahu (vlastní zpracování)

Soubor	Studentův t-test	Shapiro-Wilkův test
czu	<0,0001	<0,0001
dejvice	<0,0001	<0,0001
jarov	<0,0001	<0,0001
jine	<0,0001	0,0002
mimo_P	<0,0001	0,3848

tab. č. 15 - Testy normality a polohy proměnné download výběrových souborů z částí Prahy a mimo Prahu (vlastní zpracování)

Všechny soubory mají velké rozpětí minimální a maximální hodnoty měření. Soubor mimo\_P má malý rozdíl mezi průměrnou hodnotou a mediánem. Ostatní soubory mají tento rozdíl znatelnější.

P hodnoty Studentova t-testu všech výběrových souborů jsou menší než 0,0001, což je menší než hladina významnosti. Nulová hypotéza o rovnosti průměru a zvolené hodnoty je proto zamítnuta u všech souborů. S pravděpodobností 95% platí alternativní hypotéza. Existuje statisticky významný rozdíl mezi průměrem a deklarovanou hodnotou.

Před testováním shody průměrů jednotlivých výběrových souborů mezi sebou musí být testována shoda rozdělení každého souboru s normálním rozdělením. Pro testování normality všech těchto souborů formulujeme stejnou nulovou hypotézu, že rozdělení souboru se statisticky významně neliší od normálního rozdělení. Alternativní hypotéza

tvrdí, že existuje statisticky významný rozdíl mezi rozdělením souboru a normálním rozdělením. Hladinu významnosti  $\alpha$  je zvolena 0,05. P hodnoty Shapiro-Wilkova testu pro soubory *czu*, *dejvice*, *jarov* a *jine* jsou menší než hladina významnosti, proto jsou zamítnuty nulové hypotézy. Existuje statisticky významný rozdíl mezi rozděleními výběrových souborů a normálním rozdělením s pravděpodobností 95%. Pro měření mimo Prahu *mimo\_P* je p hodnota Shapiro-Wilkova testu rovna 0,3848 a je větší než hladina významnosti. Nulová hypotéza není zamítnuta a alternativní hypotéza je považována za neprokázanou.

Pro testování shody mediánů napříč výběrovými soubory mezi sebou je použit Kruskal-Wallisův test, neboť se testuje shoda více souborů a alespoň jeden soubor má rozdělení četností jiné než normální. Nulová hypotéza pro testování zní, že mediány všech souborů jsou stejné. Alternativní hypotéza, že alespoň jeden medián se statisticky významně liší od ostatních. Hladina významnosti  $\alpha$  se rovná 0,05.

```
proc nparlway data=sasuser.dp5 wilcoxon;  
  class značka2;  
  var download_;  
run;
```

procedura č. 6 - Neparametrický test shody průměrů (vlastní zpracování)

Kruskal-Wallisův test je součástí Wilcoxonovy statistiky. P hodnota testu se rovná 0,034, což je menší než hladina významnosti. Nulová hypotéza je zamítnuta a platí alternativní hypotéza s pravděpodobností 95%. Alespoň jeden medián se statisticky významně liší od ostatních.

Jelikož Kruskal-Wallisův test neudává, jaké soubory se liší, je provedena série testování shody průměrů mezi jednotlivými výběrovými soubory. Pro toto testování je upraven datový soubor tak, aby mohly být vzájemně testovány pouze dva výběry. Jelikož se v předchozím kroku prokázalo, že pouze jeden soubor má normální rozdělení, je použit pro testování shody průměrů oboustranný Wilcoxonův test. Nulová a alternativní hypotéza a hladina významnosti je pro všechny testy stejná. Nulová hypotéza zní, že neexistuje statisticky významný rozdíl mezi průměry výběrových souborů. Alternativní hypotéza, že existuje statisticky významný rozdíl. Hladina významnosti  $\alpha$  se rovná 0,05. P hodnoty testů jednotlivých dvojic jsou v následující tabulce.

	<b>czu</b>	<b>dejvice</b>	<b>jarov</b>	<b>jine</b>	<b>mimo_P</b>
<b>czu</b>	X				
<b>dejvice</b>	0,1090	X			
<b>jarov</b>	0,1436	0,3996	X		
<b>jine</b>	0,9981	0,2399	0,5374	X	
<b>mimo_P</b>	<u>0,0034</u>	0,3081	<u>0,0115</u>	0,0895	X

tab. č. 16 - P hodnoty Wilcoxonových oboustranných testů shody průměrů souborů měření z částí Prahy a mimo Prahu (vlastní zpracování)

P hodnoty testů srovnání souborů *czu* a *mimo\_p* a souborů *jarov* a *mimo\_P* jsou nižší než hladina významnosti. Proto je nulová hypotéza zamítnuta a platí alternativní hypotéza s pravděpodobností 95%. Existuje statisticky významný rozdíl mezi těmito průměry. Ostatní p hodnoty jsou vyšší než hladina významnosti, proto není zamítnuta nulová hypotéza a alternativní hypotéza je považována za neprokázanou. Mezi shodnými průměry jsou všechny průměry souborů z měření na území hlavního města Prahy. Proto je možné konstatovat, že neexistuje statisticky významný rozdíl mezi měřeními v různých částech Prahy.

### 5.1.3. Shrnutí

Přenosové rychlosti běžně udávané provozovateli mobilních sítí jsou teoretické rychlosti dosahované pouze za ideálních podmínek a souhrnně na jednu buňku sítě, ačkoliv je možné na webových stránkách nebo v podmínkách poskytování služeb najít informaci o vlastnostech sítě a o nižších reálných přenosových rychlostech. Z praktických důvodů bylo provedeno měření v síti Telefónica Czech Republic, a.s. Tento mobilní operátor na svých webových stránkách avizuje průměrnou přenosovou rychlost 2Mbit/s směrem k uživateli. Ze statistické analýzy provedené na naměřených datech vyplývá, že existuje statistický rozdíl mezi naměřenou průměrnou hodnotou a hodnotou deklarovanou. Naměřené průměrné hodnoty byly ve všech výběrových souborech nižší. Další statistické ověření potvrdilo předpoklad, že přenosová rychlost k mobilnímu zařízení, pohybujícímu se rychlostí vyšší než 30km/h, je statisticky významně nižší než statické měření. Statistické testy také ukázaly, že neexistuje statisticky významný rozdíl mezi průměry měření downloadu provedených na území hlavního města Praha. Průměr hodnot

naměřených v jiných obcích byl statisticky významně odlišný od souboru hodnot z Prahy. Tento průměr z obcí mimo Prahu byl vyšší. Nicméně průměry některých výběrových souborů byly shodné s průměrem mimopražského souboru. Tyto soubory měly výrazně nižší počet pozorování než soubory s odlišným průměrem. Všechny soubory měření z Prahy mají rozdělení jiné než normální s vyšším počtem výskytů u nižších hodnot. Proto lze předpokládat, že shodnost některých průměrů z Prahy s průměrem mimopražským byla zapříčiněna nízkým počtem pozorování a při zvýšení počtu pozorování by měla být tato hypotéza opět přezkoumána.

## 5.2. Analýza pokrytí

Další složkou služby přenosu dat na mobilní zařízení, která zákazníka zajímá, je kde službu může využít. Tím je míněno pokrytí signálem mobilních sítí schopných přenosu dat. Provozovatelé těchto sítí argumentují většinou pouze pokrytím populace, což částečně zkresluje pohled na věc. Zákazník mající zájem o mobilní připojení jej pravděpodobně bude potřebovat při cestování, a to nejenom v rámci větších měst, ale i mezi nimi, nebo se bude jednat o zákazníka, který nemá ve svém domově nebo pracovišti přístup k internetu. Taková situace většinou nastává v menších městech nebo vesnicích. Proto je pokrytí plochy neméně důležitou součástí služby, a proto se této problematice věnuje následující kapitola.

Pro potřeby analýzy byli požádáni o podrobnější mapové podklady a další údaje všichni tři operátoři provozující mobilní sítě v České republice. Shodou okolností pouze společnost Telefónica Czech Republic, a.s. dodala mapové podklady s vývojem zavádění těchto technologií. T-Mobile Czech Republic a.s. a Vodafone Czech Republic a.s. mapové podklady neposkytly a žádný z operátorů neposkytl seznam základnových stanic.

Pro výpočet plochy pokrytí signálem z mapových podkladů byla získána aplikace Blot z Ústavu experimentální biologie Masarykovy univerzity. Zde je software používán k odlišení shluků červených krvinek od volných krvinek při hodnocení výsledků imunochemické reakce. Aplikace detekuje v importovaných digitálních snímcích pixely zvolené barvy, tyto pixely označí a spočítá jejich plochu. Výběr barvy se provádí pomocí modelu HSL nebo modelu RGB. „Výhodou tohoto softwaru je kvantifikace počtu pixelů a snížení chybovosti při subjektivním hodnocení obrazu" (43).

Telefónica Czech Republic, a.s. provozuje ve své mobilní síti technologie CDMA, GSM s nadstavbami GPRS a EDGE, dále UMTS a nedávno spuštěné LTE. Vývoj pokrývání jednotlivými technologiemi znázorňuje následující tabulka.

	<b>cdma</b>	<b>gprs</b>	<b>edge</b>	<b>umts</b>
10/2000		89,13%		
01/2003		93,18%		
01/2004		93,65%		
01/2005		93,71%		
02/2005	38,01%			
12/2005				0,97%
01/2006		93,80%		
01/2007	56,93%			
01/2008	63,07%		1,99%	
08/2008				2,18%
01/2009	66,74%			
06/2009				2,56%
12/2009			2,78%	
01/2010	68,56%	94,34%	2,80%	3,52%
04/2010			20,69%	
06/2010				3,98%
07/2010			54,45%	
10/2010			89,90%	
01/2011	72,55%	94,41%	93,63%	5,40%
06/2011				5,72%
01/2012	74,64%	94,68%	94,18%	11,91%
06/2012				13,46%
01/2013	77,74%	94,68%	94,40%	15,29%

tab. č. 17 - Vývoj pokrytí technologiemi v síti Telefónica Czech Republic, a.s. (vlastní zpracování)

Hodnoty v tabulce mohou být zkresleny již nedokonalými mapovými podklady a nepřesným nastavením barevného rozsahu v aplikaci Blot.

Z tabulky je patrné pozvolné nasazování technologie EDGE od roku 2008 do začátku roku 2010 na základnové stanice. V průběhu roku 2010 došlo k rychlému nástupu pokrytí k přibližné hodnotě 90%. V roce 2005 došlo k prvnímu provozu technologie UMTS v síti Telefónica a pozvolný nárůst pokrytí území dosahuje 15% k začátku roku 2013. Pro získání kompletního pohledu na rozvoj pokrytí jsou mapové podklady v přílohách této práce. Na konci roku 2009, kdy byla ve Švédsku spuštěna první komerční síť s technologií LTE, Telefónica pomalu zaváděla technologii UMTS a EDGE – pokrytí území se pohybovalo okolo tří procent pro každou technologii.

K porovnání operátorů mezi sebou byly použity mapy pokrytí s aktuálním stavem z webových stránek operátorů. Jedná se o stav ke dni 27.2.2013. T-Mobile Czech

Republic a.s. tohoto dne uváděl poslední aktualizaci map ze dne 5.2.2013. T-Mobile provozuje na své síti technologie GSM s nadstavbami GPRS a EDGE, technologii UMTS s nadstavbami HSPA (až 14,4Mbit/s), HSPA+ (až 21,6Mbit/s ) a lokálně HSPA+ DC (až 42Mbit/s). Vodafone Czech Republic a.s. provozuje nadstavby GPRS a EDGE na GSM síti, UMTS s HSPA, HSPA+ a HSPA+ DC.

	<b>Telefónica</b>	<b>T-Mobile</b>	<b>Vodafone</b>
<b>EDGE</b>	92,26%	98,72%	97,50%
<b>UMTS</b>	16,03%	27,79%	15,37%
<b>HSPA+42</b>		1,12%	0,73%
<b>LTE</b>	0,07%		
<b>CDMA EV-DO</b>	41,31%		
<b>CDMA EV-DO Revize A</b>	20,59%		

tab. č. 18 - Pokrytí technologiemi ke dni 27.2.2013 (vlastní zpracování)

Měření těchto hodnot je zatíženo větší chybovostí vlivem menší velikosti map, nižšího rozlišení a kombinací mapy pokrytí s terénní mapou, což vyžadovalo jemnější nastavení softwaru. Na svých webových stránkách T-Mobile Czech Republic a.s. uvádí, že technologií GSM pokrývá 99,98% populace České republiky a technologií UMTS s nadstavbou HSPA+ pokrývá 83% populace. Vodafone Czech Republic a.s. na svých stránkách uvádí, že pomocí GSM pokrývá 98% území České republiky, síť s technologií HSPA a HSPA+ pokrývá 73% populace a HSPA+ DC je provozována ve 44 městech.

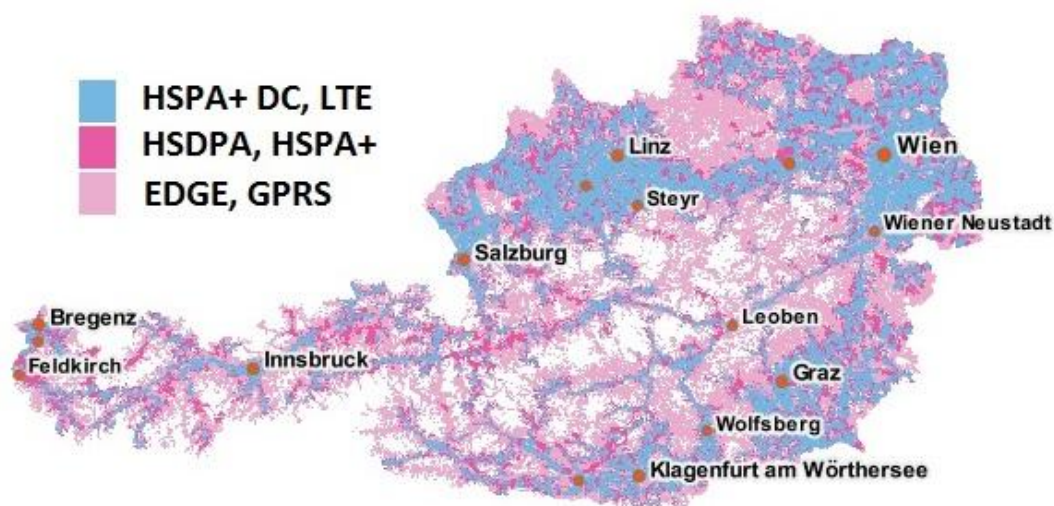
Existuje neoficiální seznam základnových stanic BTS všech operátorů uvedených na stránkách [www.gsmweb.cz](http://www.gsmweb.cz). Údaje jsou shromážděny nadšenci přímo z terénu, proto není znám stav konkrétních základnových stanic. V následující tabulce jsou počty základnových stanic řazeny podle operátora a použité technologie. Technologie je zjištěna podle typu vysílání při příjmu na mobilním zařízení a/nebo vizuální kontrolou typu vysílací antény.

	<b>Telefónica</b>	<b>T-Mobile</b>	<b>Vodafone</b>
<b>GSM</b>	14118	12953	12387
<b>UMTS</b>	9430	10182	7295
<b>CDMA</b>	1284		
<b>LTE</b>	13		

tab. č. 19 - Počet BTS operátorů ke dni 22.3.2013 (vlastní zpracování)

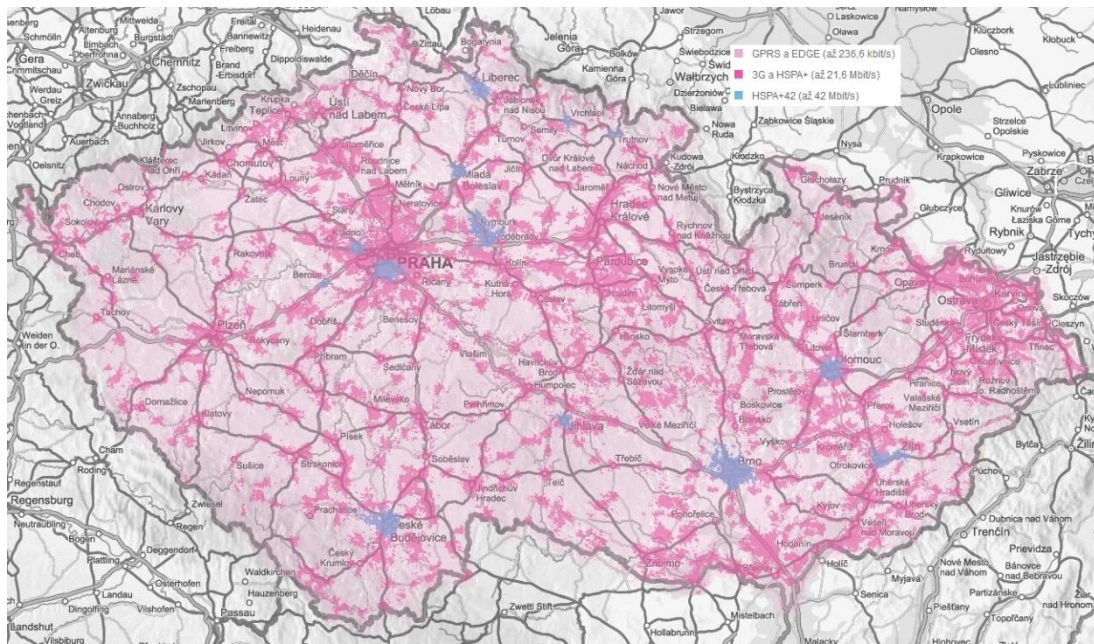
Pro srovnání byla provedena analýza pokrytí sousední Republiky Rakousko, která rozlohou 83,9 tisíc kilometrů čtverečních a 8,5 milionem obyvatel je srovnatelná s Českou republikou. Na daném trhu působí operátor T-Mobile Austria, člen stejné telekomunikační skupiny jako T-Mobile Czech Republic a.s. Síť tohoto operátora byla předmětem analýzy. Ve své síti provozuje technologii GSM s nadstavbou EDGE s pokrytím 73,8% rozlohy, dále UMTS s nadstavbou HSDPA a HSPA+ o pokrytí 37,9% a nadstavbu HSPA+ DC a technologii LTE o souhrnné rozloze posledních dvou vysokorychlostních technologií 25,4%.

Rozsah pokrytí území, zejména vysokorychlostními technologiemi, je proti pokrytí České republiky závratně vyšší. Přitom část rozlohy Rakouska tvoří pohoří Alp, které lze obtížně pokrýt těmito technologiemi. Příčinou naskoku je dřívější budování sítí nových technologií a vyšší investice s tím spojené.



obr. č. 9 - Mapa pokrytí Rakouska ke dni 27.2.2013 (zdroj: T- Mobile Austria)





obr. č. 10 - Mapa pokrytí České republiky ke dni 27.2.2013 (zdroj: T-Mobile Czech Republic)

### **5.3. Poskytování služeb mobilního přenosu dat**

Navzdory tomu, že kvalita služeb mobilního přenosu dat není vysoká ve srovnání se zbytkem západní Evropy, čeští operátoři v posledním roce spíše zpomalují investice do rozvoje svých sítí. Pokud investují do sítí, tak zejména do nasazování technologií HSPA+ DC v případě T-Mobile nebo Vodafone nebo do posílení napojení základnových stanic na pátevní síť, takzvaného backhau. Dle vyjádření společnosti T-Mobile nemá další rozšiřování sítě obchodní smysl. Zákazník se tedy v blízké době nedočká pokrytí technologiemi třetí generace na dálničních a železničních tazích a ani přílišného rozšíření těchto technologií do dalších lokací. Nasazení technologie HSPA+ na stávající UMTS síť společnosti T-Mobile není proti rozšíření této sítě tak nákladné, proto bude docházet k rozšiřování HSPA+ na základnové stanice s UMTS (44)(45)(46).

Významný faktor zpomalení, respektive zastavení rozšiřování pokrytí jsou přípravy na zavedení nové technologie LTE, což jsou tvrzení oprávněná. Tuto technologii poskytovatelé mobilních služeb Telefónica Czech Republic, a.s. a T-Mobile Czech Republic a.s. skutečně testují na malém území. Telefónica od 19. června 2012 provozuje síť LTE komerčně v okolí obce Jesenice ve Středočeském kraji a společnost T-Mobile od listopadu 2012 nabízí veřejnosti svojí síť LTE volně k použití. Telefónica provozuje LTE ve vlastním kmitočtovém pásmu 1800MHz, kdežto T-Mobile používá krátkodobě pronajaté pásmo 2,6GHz.

Pro realizaci sítí LTE a rozvoj mobilních datových služeb se čeká na konec aukce uvolněných kmitočtových pásem pořádané Českým telekomunikačním úřadem. V původním plánu se předpokládalo ukončení aukce na konci listopadu 2012, ale po jejím prodloužení a ukončení aukce bez vítěze dne 8.3.2013 je rozdělení kmitočtů a počátek prací na rozvoji sítí v nedohlednu. To nahrává spíše stávající trojici operátorů, kteří tak minimálně investují do svých sítí a vydělávají na službách obecně považovaných za předražené.

#### **5.3.1. Aukce kmitočtů**

Velké problémy světa mobilních komunikací jsou způsobeny tím, že frekvenční pásma a zejména volná pásma jsou omezené zdroje a je nutné regulovat jejich používání. Proto jsou státem prodávány licence na používání určitých pásem na určitou dobu. Po zrušení pozemního analogového televizního vysílání a přechodu na digitální se určitá

pásma uvolnila, vznikla takzvaná digitální dividenda, která má být rozdělena na nové služby nebo posílení stávajících. Část z těchto pásem je přidělena pro mobilní služby.

K těmto účelům jsou k dispozici tři frekvenční pásma. 800 MHz, 1 800 MHz a 2600 MHz. V prvním případě jsou k dispozici dva bloky po 30 MHz, v druhém dva bloky po 24,9 MHz a ve třetím párové pásmo 70 MHz a jeden nepárový blok 50 MHz. Celkově tedy přibližně 300 MHz.

Kategorie	Frekvenční pásmo	Frekvence	Nabídkové bloky	Spectrální limit	Minimální rozsah nabídky	Vyvolávací cena (mil. Kč/1 blok)	Aktivitní body (body/1 blok)
A	800 MHz párové spektrum	791 - 821 MHz 832 - 862 MHz	6 bloků 2 x 5 MHz	2 x 15 MHz	není stanoven	1 100	4
B1	1800 MHz párové spektrum	1806 - 1880 MHz 1710 - 1785 MHz (neabkované část spektra)	1 blok 2 x 15 MHz	2 x 23 MHz včetně stávajících přídělů v pásmu 1800 MHz	není stanoven	450	4
B2			1 blok 2 x 0,8 MHz			24	1
B3			9 bloků 2 x 1 MHz			30	1
C	2600 MHz párová část spektra	2500 - 2570 MHz 2620 - 2690 MHz	14 bloků 2 x 5 MHz	2 x 20 MHz	2 x 10 MHz	100	1
D	2600 MHz nepárová část spektra	2570 - 2585 MHz	9 bloků 1 x 5 MHz	není stanoven	1 x 15 MHz	50	0,5

tab. č. 20 - Návrh aukce kmitočtů (47)

Před započítáním aukce byly ceny jednotlivých bloků sníženy, takže suma vyvolávacích cen byla přibližně 7,4 mld. korun českých.

Prodej licencí na kmitočtová pásma je podmíněn takzvanými rozvojovými kritérii. Pro pásmo 800MHz došlo na rozdělení okresů na skupiny A (řídce osídlené oblasti - venkov) a B (hustší osídlení - města).

- Po pokrytí okresu skupiny A může držitel licence pokrýt okres skupiny B
- Držitel je povinen pokrýt 95% okresů skupiny A do 30 měsíců
- Držitel je povinen do 5 let v případě stávajícího operátora, nebo do 6 let v případě nového operátora, pokrýt všechny okresy.
- Pokrytí dálničních a železničních tahů do 5, respektive 6 let.

"V pásmu 1800 MHz se rozvojová kritéria týkají pouze držitele souvislého bloku 15 MHz (kterým může být jen eventuální nově příchozí) a říkají, že musí pokrýt alespoň 50 procent populace do 6 let. V pásmu 2600 MHz pak jde o požadavek na pokrytí alespoň 30% populace do 5 let (pro stávajícího operátora)" (47).

Další podmínkou je právo národního roamingu pro nového poskytovatele mobilních služeb. Toto právo získá, pokud se mu nepodaří získat určitá pásma a ostatní operátoři ho budou muset pustit do svých sítí.

Otevření sítí se týká i další podmínka aukce, kdy zisk nových frekvencí Český telekomunikační úřad podmiňuje vpuštěním virtuálních operátorů do sítí na nových frekvencích.

Do aukce se přihlásili stávající operátoři Telefónica Czech Republic, a.s., Vodafone Czech Republic a.s, T-Mobile Czech Republic a.s. a nová společnost PPF Mobile Services, a.s. patřící do skupiny PPF Petra Kellnera. Ta avizovala, že chce kromě datových služeb nabízet i hlasové a SMS, soustředit se hlavně na nefiremní klientelu, poskytovat výrazně levnější služby než stávající operátoři za stavu před aukcí. Dále chce nasadit ve vlastní síti pouze technologie GSM a LTE a pokrýt alespoň 50% populace a spustit komerční provoz vlastní sítě na konci roku 2013.

Vzhledem k tomu, že aukce byla ukončena, nepředpokládá se, že poslední záměr bude moci být splněn nezávisle na výsledku aukce. Ostatní přání společnosti PPF jsou závislá na vývoji aukce. V případě úspěchu společnosti by to přineslo dlouho očekávané zvýšení konkurence na trhu mobilních telekomunikačních služeb, a tím zvýšení kvality služeb pro zákazníka.

Aukce kmitočtů byla dne 8.3.2013 zrušena s odůvodněním Českého telekomunikačního úřadu, že celková nabízená částka přesáhla 20mld. Kč, tedy téměř trojnásobku vyvolávací ceny, a stále stoupá. Regulátor se obává, že by vysoká nákupní cena kmitočtů zpomalila rozvoj nových sítí, jako se tomu stalo například v Nizozemí, kde se prodejní cena vyšplhala na osminásobek očekávané ceny. Nicméně podle Jiřího Peterky v přepočtu výnosu na obyvatele a MHz, tedy ukazatele MHz-PoP, vychází hodnota v přepočtu 0,267€. Při srovnání s nedávnými aukcemi kmitočtů je nižší než v Irsku (0,48€) a Holandsku (0,63€)(48), ale vyšší než ve Spojeném království (0,18€) nebo v Německu (0,22€)(49). Navíc účastníci aukce museli vědět, kolik jsou ochotni investovat a mít připravené strategie pro nákup kmitočtů. Tržby operátorů byly v posledních letech natolik vysoké, že by operátoři měli mít dostatek finančních zdrojů na nákup licencí a výstavbu sítě v termínech, které stanoví aukce (50). Pokud ne, jistě by z aukce odstoupili. Nezávisle na ceně nakoupených kmitočtů by se chovali racionálně, tedy snižovali náklady a zvyšovali zisky. Ať už byly důvody pro zrušení aukce jakékoliv, zapříčiní to odklad

výstavby mobilních sítí, z toho vyplývající zkvalitnění služeb, na což doplatí zákazník. ČTÚ doufá, že se podaří zahájit nové kolo aukce do konce roku 2013 (51).

#### **5.4. Návrh zkvalitnění služeb**

Pro zkvalitnění již poskytovaných služeb se v první řadě doporučuje posílit spoje mezi základnovými stanicemi BTS a pátevní sítí. Vývoj svědčí o nárůstu množství přenášených dat, proto je nutné zajistit kvalitní infrastrukturu. Spolu s tím investovat do implementace nadstavby HSPA+ na stávající síť UMTS.

Aukce kmitočtů dává jedinečnou příležitost regulátorovi, tj. Českému telekomunikačnímu úřadu, ke změně poměrů na trhu mobilních telekomunikací ve prospěch zákazníka. Vhodným nastavením podmínek nákupu kmitočtů lze zvýšit konkurenci na trhu. Vstup nového operátora a/nebo virtuálních operátorů by měl kýžený efekt. Nastavením rozvojových kritérií mohou být držitelé nově přidělovaných kmitočtových pásem donuceni k rychlému budování sítí na přidělených kmitočtech a k vzájemnému vpouštění nebo vpuštění virtuálního operátora do svých sítí.

Pásmo 800MHz, které je nabízeno v aukci, je vhodné pro buňky s velkým dosahem, proto by mělo být využito k pokrytí venkova. V prvním kole bylo nabízeno 30MHz párové pásmo s omezením nákupu maximálně 10MHz pro stávajícího operátora a 20MHz pro nového. Zisk dostatečně širokého pásma v tomto bloku frekvencí by zajistilo vysokorychlostní připojení i do míst, kde je problematické zavést pevné připojení k internetu, a tím suplovat toto připojení. Pro zvýšení konkurence v daném pásmu by bylo dobré rozdělení frekvencí mezi operátory po 10MHz a zbylým dvěma po 5MHz. V ideálním stavu by operátoři mohli projevit vyšší míru spolupráce než dosud a sdružit získaná pásma v jedno k získání širšího přenosového pásma, a tím získat konkurenční výhody. Pro nového zájemce o držení frekvencí je jistě zajímavá možnost vyhrazení párového pásma 15,6MHz v pásmu 1800MHz právě pro nové operátory. Toto pásmo je celosvětově obsazované technologií LTE a existuje řada koncových zařízení schopných provozu v tomto pásmu. Tím zanikají obavy o využitelnost pásma a snižují se rizika pro operátory. V kombinaci s kmitočty v pásmu 800MHz může nový operátor vytvořit síť poskytující kvalitní datové služby jak v městských, tak venkovských oblastech. Posledním pásmu, uvolněném pro aukci, je pásmo 2600MHz, které je vhodné pro malé buňky, tedy

městské oblasti. Počet, šířka a omezení počtu frekvenčních bloků je příznivá pro nasazení vysokorychlostního mobilního internetu ve městech nebo oblastech s vyššími požadavky na přenos.

Vzhledem ke stavu pokrytí území vysokorychlostním mobilním signálem a nedostupností pevného internetového připojení v některých oblastech by měli operátoři využít nabídky volných kmitočtů k zavedení technologie LTE na tyto, zejména venkovské, oblasti. Pro optimalizaci zavádění a provozu této technologie bude výhodné spolupracovat při pokrývání oblastí. Vzhledem k mobilitě zákazníků a očekávanému růstu objemu přenosu dat lze doporučit nasazení technologie LTE podél železničních a dálničních koridorů. Pro zvýšení účinnosti lze kooperovat s provozovateli železničních tratí nebo vlakových spojů k vytvoření přidané hodnoty cestujícím, respektive zákazníkům mobilních operátorů.

## 6. Závěr

Ačkoliv mobilní datové přenosy mají jisté vlastnosti ovlivňující přenosové rychlosti, které nelze snadno eliminovat, je na provozovatelích mobilních sítí zajistit co nejlepší dostupnost poskytovaných služeb, které si zákazník platí. Přenosová rychlost je ovlivněna zejména počtem uživatelů připojených k dané buňce a vzdáleností uživatele od základnové stanice, se kterou je ve spojení. Cílem této práce bylo analyzovat kvality služeb mobilního přenosu dat, což bylo splněno analýzami dvou složek důležitých pro uživatele. Těmito složkami jsou průměrná rychlost přenosu dat a pokrytí území těmito službami. Analyzovaný byl přenos dat směrem k uživateli, neboť objem dat posílaných ze sítě k uživateli je podstatně větší než od uživatele. Nelze však vyloučit, že zkvalitněním přenosových rychlostí by uživatelé začali používat i služby využívající tento přenos dat, například okamžité zaslání kvalitních fotografií, zaslání emailů s objemnými přílohami, hlasové služby přenášené datovým spojením, videofonii atd.

Pro analýzu rychlosti datového přenosu byla realizována série měření v síti společnosti Telefónica v místech s pokrytím technologií UMTS s nadstavbou HSPA. Tato měření byla prováděna v různou denní dobu a v různé dny v týdnu. Měření se charakterizovala zejména oblastí měření a rychlostí vůči základnové stanici. Zmíněný operátor upustil od tradiční deklarace rychlosti přenosu udáním teoretického maxima dané technologie, ale prezentuje průměrnou hodnotu spojení. Výběrové soubory měření byly porovnávány mezi sebou a vůči deklarované průměrné hodnotě.

Statistickým testováním bylo ověřeno, že žádný z průměrů výběrových souborů nedosahuje deklarované průměrné hodnoty 2Mbit/s. Dále bylo ověřeno, dle předpokladu, že existuje statisticky významný rozdíl mezi průměrem měření prováděných za pohybu a průměry statického měření. Navzdory předpokladu bylo zjištěno, že existuje statisticky významný rozdíl mezi průměrem měření prováděných na území hlavního města Praha (835kbit/s) a průměrem měření mimo Prahu (995kbit/s). Dále bylo zjištěno, že neexistuje statisticky významný rozdíl mezi průměry souborů měření prováděných v různých částech Prahy.

V další části práce bylo analyzováno pokrytí území České republiky různými technologiemi provozovanými různými operátory. Operátoři uvádějí hodnoty pokrytí populace, což je zavádějící díky hustotě obyvatelstva v městských oblastech. Analýza byla prováděna z mapových podkladů poskytnutých operátory. Z těchto podkladů plyne, že

ačkoliv je dosahováno relativně vysokého pokrytí populace, pokrytí území je často znatelně horší a podpora vysokorychlostní technologie končí nedaleko konce území města. Společnost Telefónica Czech Republic, a.s. navíc poskytla historické mapy pokrytí, ze kterých byl analyzován vývoj pokrývání území. Z tohoto vývoje vyplývá, že relativně snazší nasazení technologie je realizováno výrazně rychleji než nasazování nové technologie. Dokladem je zvýšení pokrytí technologií EDGE z přibližných 3% území na přibližných 85% území v průběhu jednoho roku, kdežto rozvoj pokrytí technologií UMTS z 1% území na 15% území za šest let. Nelze popřít rozdíl v nákladnosti nasazení a velikosti jedné buňky těchto technologií, ale nezanedbatelný vliv má jistě i malá vůle poskytovat kvalitnější služby, přestože každoroční zisky společnosti naznačují, že existují finanční zdroje pro rychlejší rozvoj technologií.

Ze srovnání stavu provozovaných technologií pro mobilní datové přenosy a jejich pokrytí v České republice lze konstatovat, že trojice operátorů disponuje srovnatelným pokrytím technologií GPRS, případně EDGE, s hodnotami okolo 96% území republiky. Dále všichni tři operátoři provozují síť třetí generace UMTS s nadstavbou HSPA v případě Telefónica Czech Republic, a.s. a HSPA+ v případě T-Mobile Czech Republic a.s. a Vodafone Czech Republic a.s. S touto technologií má jednoznačně nejvyšší pokrytí operátor T-Mobile. Společnosti T-Mobile a Vodafone navíc lokálně provozují nadstavby HSPA+ DC. V tomto srovnání má T-Mobile také nepatrně navrch nad svým konkurentem. Telefónica a T-Mobile již testují síť s technologií LTE, přičemž Telefónica uvedla tuto síť v létě roku 2012 do komerčního provozu na území středočeské obce Jesenice. T-Mobile umožňuje veřejnosti bezplatně používat svoji testovací síť LTE na území Mladé Boleslavi. Nicméně ve srovnání se společností T-Mobile Austria, provozující mobilní síť na území Rakouska, jsou čeští operátoři pozadu. Procentuální pokrytí území Rakouska vysokorychlostním připojením technologiemi HSPA+ DC a LTE překračuje hodnoty pokrytí území České republiky starší technologií HSPA, respektive HSPA+.

Čeští stávající operátoři se odvolávají na očekávání druhého kola nedávno zrušené aukce volných kmitočtů, nicméně z jejich vyjádření plyne, že další rozvoj zatím neplánují a realizují spíše intenzifikaci na současných stanovištích. Z analýzy vývoje pokrytí firmou Telefónica je patrné, že pouze v roce 2011 došlo ke zřetelnějšímu rozšíření pokrytí technologií HSPA. Pravdou je, že stabilní zisky těchto tří operátorů naznačují, že jim současná situace spíše vyhovuje a každé oddálení aukce, a tedy termínů pro plnění



rozvojových podmínek a případného vstupu dalších klasických nebo virtuální operátorů, je pro ně výhodné. Tento stav malého konkurenčního boje ale není přínosem pro zákazníka, který by si přál kvalitnější služby na větším území republiky.

Zlepšení situace se dá předpokládat po ukončení aukce kmitočtů a jejich přidělení operátorům za podmínek zajišťujících rychlý rozvoj vysokorychlostních technologií mobilního připojení. Vstup nového operátora by zajistil konkurenci na trhu, čímž by, v kombinaci s rozvojovými podmínkami aukce, vznikl tlak na rozvoj služeb. Nový operátor, na rozdíl od stávajících, měl v prvním kole aukce možnost nákupu některých frekvencí v pásmu 1800MHz. V kombinaci s dostatečným množstvím kmitočtů lukrativního pásma 800MHz by měl příležitost budovat síť schopnou obsloužit jak městské (pásmo 1800MHz), tak venkovské oblasti (pásmem 800MHz) kvalitními službami mobilních datových přenosů.

## 7. Bibliografie

1. Beginner's Guide to Cellular Technology. *Moxa*. [Online] srpen 2007. [Citace: 26. 11. 2012.]  
[http://www.moxa.com/newsletter/connection/2007/08/Beginner%27s\\_Guide\\_to\\_Cellular\\_Technology.htm](http://www.moxa.com/newsletter/connection/2007/08/Beginner%27s_Guide_to_Cellular_Technology.htm).
2. **Pužmanová, Rita**. *Moderní komunikační sítě od A do Z*. Brno : Computer Press, a.s., 2006. ISBN 80-251-1278-0.
3. 1G: First Generation wireless technology. *Javvin*. [Online] Javvin Company. [Citace: 15. 11 2012.] <http://www.javvin.com/wireless/1G.html>.
4. **Mallick, Martyn**. *Mobile and Wireless Design Essentials*. Indianapolis : Wiley Publishing, Inc., 2003. ISBN 0-471-21419-1.
5. **Richtr, Tomáš**. Metody vícenásobného přístupu. *Technologie pro mobilní komunikaci*. [Online] 19. 1. 2002. [Citace: 15. 12 2012.] <http://tomas.richtr.cz/mobil/obecne.htm>.
6. 3GPP TS 05.05 version 8.20.0 Release 1999. *3GPP*. [Online] 11. 2005. [Citace: 21. 12. 2012.]  
[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/100900\\_100999/100910/08.20.00\\_60/ts\\_100910v082000p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/100900_100999/100910/08.20.00_60/ts_100910v082000p.pdf).
7. **Richtr, Tomáš**. Základní struktura sítě GSM. *Technologie pro mobilní komunikaci*. [Online] 19. 1. 2002. [Citace: 15. 12. 2012.] <http://tomas.richtr.cz/mobil/gsm-strukt.htm>.
8. **Richtr, Tomáš**. Přenos dat v systému GSM. *Technologie pro mobilní komunikaci*. [Online] 19. 1. 2002. [Citace: 15. 12. 2012.] <http://tomas.richtr.cz/mobil/gsm-data.htm>.
9. **Peterka, Jiří**. Jak funguje HSCSD? *eArchiv*. [Online] 8 2000. [Citace: 15. 12. 2012.] <http://www.earchiv.cz/a008s200/a008s208.php3>.

10. **Peterka, Jiří.** GPRS otevírá nové možnosti. *eArchiv.cz*. [Online] 8. 2000. [Citace: 15. 12. 2012.] <http://www.earchiv.cz/a008s200/a008s209.php3>.
11. **Peterka, Jiří.** Rychlá, ale přesto mobilní data - část II. *eArchiv*. [Online] 12. 2007. [Citace: 15. 12. 2013.] <http://www.earchiv.cz/b07/b1200002.php3>.
12. **Peterka, Jiří.** EDGE. *eArchiv.cz*. [Online] 11. 2001. [Citace: 15. 12. 2012.] <http://www.earchiv.cz/b01/b1100015.php3>.
13. 3GPP2 Specifications. *3GPP*. [Online] 7. 2010. [Citace: 27. 12 2012.] [http://www.3gpp2.org/Public\\_html/specs/tsgc.cfm](http://www.3gpp2.org/Public_html/specs/tsgc.cfm).
14. **Richtr, Tomáš.** IMT-2000. *Technologie pro mobilní komunikaci*. [Online] 19. 1. 2002. [Citace: 15. 12. 2012.] <http://tomas.richtr.cz/mobil/umts.htm>.
15. **Vodrážka, Jiří a Pravda, Ivan.** *Principy telekomunikačních systémů*. Praha : Česká technika, 2006. ISBN 80-01-03366-X.
16. Draft summary minutes, decisions and actions from 3GPP. [Online] 9. 10. 2001. [Citace: 7. 12 2012.] [http://www.3gpp.org/ftp/op/OP\\_07/DOCS/pdf/OP6\\_13r1.pdf](http://www.3gpp.org/ftp/op/OP_07/DOCS/pdf/OP6_13r1.pdf).
17. **Kappler, Cornelia.** *UMTS networks and beyond*. Chichester : John Wiley & Sons, Ltd, 2009. ISBN 978-0-470-03190-2.
18. **Rysavy, Petr.** EDGE, HSPA, LTE: The Mobile Broadband Advantage. *Rysavy research*. [Online] 9 2007. [Citace: 16. 12. 2012.] [http://www.rysavy.com/Articles/2007\\_09\\_Rysavy\\_3GAmericas.pdf](http://www.rysavy.com/Articles/2007_09_Rysavy_3GAmericas.pdf).
19. 3GPP Scope and Objectives . *3GPP*. [Online] 31. 7. 2007. [Citace: 15. 12. 2012.] [http://www.3gpp.org/ftp/Inbox/2008\\_web\\_files/3GPP\\_Scopeando310807.pdf](http://www.3gpp.org/ftp/Inbox/2008_web_files/3GPP_Scopeando310807.pdf).

20. **Maidment, David.** Understanding HSDPA's Implementation Challenges. *EE Times*. [Online] 28. 1. 2005. [Citace: 19. 12. 2012.] <http://eetimes.com/design/embedded-internet-design/4009356/Understanding-HSDPA-s-Implementation-Challenges>.
21. **Neruda, Marek.** HSDPA. [Online] 2006. [Citace: 19. 12. 2012.] [http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK06\\_semestralky/HSDPA\\_NerudaM.pdf](http://radio.feld.cvut.cz/personal/mikulak/MK/MK06_semestralky/HSDPA_NerudaM.pdf).
22. 3GPP TS 25.306 version 11.3.0 Release 11. *3GPP*. [Online] 10 2012. [Citace: 18. 12. 2012.] [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/125300\\_125399/125306/11.03.00\\_60/ts\\_125306v110300p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/125300_125399/125306/11.03.00_60/ts_125306v110300p.pdf).
23. **Neumann, Martin.** CDMA2000. *Neu-Mann.cz*. [Online] 28. 12. 2008. [Citace: 15. 12. 2012.] <http://www.neu-mann.cz/mobilni-komunikace/mobilni-technologie/cdma2000/>.
24. **Zandl, Patrick.** 3GPP Release 8: System Architecture Evolution (SAE) a Evolved Packet Core (EPC) v rámci LTE sítí. *marigold.cz*. [Online] 13. 9. 2012. [Citace: 7. 2. 2013.] <http://www.marigold.cz/item/3gpp-release-8-system-architecture-evolution-sae-a-evolved-packet-core-epc-v-ramci-lte-siti>.
25. **Rumney, Moray.** *LTE and the Evolution to 4G Wireless*. Padstow : Agilent Technologies, 2009. ISBN 978-0-470-68261-6.
26. 3GPP TS 36.101 version 11.3.0 Release 11. *3GPP*. [Online] 2. 2013. [Citace: 2. 3. 2013.] [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/136100\\_136199/136101/11.03.00\\_60/ts\\_136101v110300p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136100_136199/136101/11.03.00_60/ts_136101v110300p.pdf).
27. **Zandl, Patrick.** Modulační technologie pro uplink sítí 4G: LTE a WiMax. *marigold.cz*. [Online] 2. 9. 2008. [Citace: 7. 2. 2013.] <http://www.marigold.cz/item/modulacni-technologie-pro-uplink-siti-4g-lte-a-wimax>.

28. 3GPP TS 36.306 version 11.2.0 Release 11. *3GPP*. [Online] 2 2013. [Citace: 10. 3 2013.]  
[http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/136300\\_136399/136306/11.02.00\\_60/ts\\_136306v110200p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136306/11.02.00_60/ts_136306v110200p.pdf).
29. **Peterka, Jiří.** Není WiMax jako Wi-Fi. *eArchiv.cz*. [Online] 11 2007. [Citace: 21. 12 2012.] <http://www.earchiv.cz/b07/b1100001.php3>.
30. **Lee, Byeong Gi a Choi, Sunghyun.** *Broadband wireless access and local networks: Mobile WiMAX and WiFi*. Norwood : Artech house, Inc., 2008. ISBN 978-1-59693-293-7.
31. **Pužmanová, Rita.** Technologie mobilního WiMAX. *WiMAX networking*. [Online] 24. 4. 2006. [Citace: 15. 12. 2012.]  
[http://www.wimax.cz/index.php?option=com\\_content&task=view&id=122&Itemid=1](http://www.wimax.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=122&Itemid=1).
32. 4G Wireless Network Standards. *Greenpacket*. [Online] [Citace: 18. 12. 2012.]  
[http://www.greenpacket.com/technology\\_Devices\\_Wireless\\_Network\\_Standards.html](http://www.greenpacket.com/technology_Devices_Wireless_Network_Standards.html).
33. **Hrstka, Jaroslav.** LTE-Advanced nové možnosti mobilní komunikace 4G. *Sdělovací technika*. 2012, 12. ISSN 0036-9942
34. **Macháček, Jan.** Možnosti rozvoje služeb mobilních sítí 4. generace. *Telekomunikace & ICT*. 2012, 5. ISSN 0040-2591
35. WiMAX and the IEEE 802.16m Air Interface Standard - April 2010. *WiMAX FORUM*. [Online] 4. 2010. [Citace: 28. 1. 2013.]  
[http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/document\\_library/wimax\\_802.16m.pdf](http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/document_library/wimax_802.16m.pdf).
36. **Yaghoobi, Hassan.** Mobile WiMAX Update and IEEE 802.16m. *IEEE*. [Online] 25. 4. 2009. [Citace: 14. 2. 2013.]  
[http://ewh.ieee.org/r6/scv/comsoc/Talk\\_032509\\_WiMAXUpdate.pdf](http://ewh.ieee.org/r6/scv/comsoc/Talk_032509_WiMAXUpdate.pdf).

37. **Yu, Shuang.** IEEE APPROVES IEEE 802.16m™ - ADVANCED MOBILE BROADBAND WIRELESS STANDARD. *IEEE-STANDARDS ASSOCIATION*. [Online] 31. 5. 2011. [Citace: 7. 2. 2013.] <http://standards.ieee.org/news/2011/80216m.html>.
38. **Pužmanová, Rita.** Normalizační okénko - WiMAX 802.16m schváleno. *Svět sítí*. [Online] Svět sítí & Infinity a. s., 6. 4. 2011. [Citace: 15. 12. 2012.] <http://www.svetsiti.cz/clanek.asp?cid=Normalizacni-okenko-WiMAX-80216m-schvaleno-642011>.
39. **Lín, Václav.** SIM karty a bezpečnost v mobilních sítích. *SystemOnLine*. [Online] 7. 2009. [Citace: 6. 3. 2013.] <http://www.systemonline.cz/it-security/sim-karty-a-bezpecnost-v-mobilnich-sitich.htm>. ISSN 1802-615X.
40. Specification of the 3GPP Confidentiality . *quintillion*. [Online] 6. 9. 2006. [Citace: 6. 3. 2013.] [http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/etsi\\_sage\\_doc1\\_v1\\_1.pdf](http://www.quintillion.co.jp/3GPP/Specs/etsi_sage_doc1_v1_1.pdf).
41. Detailed specifications for the Nokia 5230. *Nokia*. [Online] [Citace: 6. 2. 2013.] <http://www.nokia.com/gb-en/products/phone/5230/specifications/>.
42. Metodika měření rychlosti internetu. *Rychlost.cz*. [Online] Adam Haken. [Citace: 6. 2. 2013.] <http://rychlost.cz/informace/princip/>.
43. **Ovesná, Petra.** Univerzální aplikace pro výpočet plochy pixelů zvolené barvy v obraze. *ChemPoint*. [Online] 12. 3. 2012. [Citace: 7. 1. 2013.] <http://www.chempoint.cz/univerzalni-aplikace-pro-vypocet-plochy-pixelu-zvolene-barvy-v-obraze-1331540522>.
44. **Doseděl, Tomáš.** T-Mobile zrychlí HSPA+ a testuje LTE. *mobinfo.cz*. [Online] 8. 1. 2012. [Citace: 17. 3. 2013.] <http://www.mobinfo.cz/t-mobile-zrychli-hspa-a-testuje-lte/>.

45. T-Mobile končí s rozšiřováním 3G sítí, současné pokrytí stačí. *dsl.cz*. [Online] 7. 3. 2013. [Citace: 18. 2. 2013.] <http://www.dsl.cz/clanek/2822-t-mobile-konci-s-rozsirovanim-3g-siti-soucasne-pokryti-staci>.
46. **Peterka, Jiří.** Budování 3G sítí v ČR neskončilo až teď, ale fakticky již v polovině loňského roku. *eArchiv.cz*. [Online] 25. 2. 2013. [Citace: 4. 3. 2013.] <http://www.earchiv.cz/b13/b0225001.php3>.
47. **Peterka, Jiří.** Aukce mobilních kmitočtů začíná. *eArchiv.cz*. [Online] 20. 3. 2012. [Citace: 10. 3. 2013.] <http://www.earchiv.cz/b12/b0320001.php3>.
48. **Royal, Frank.** Review of the Multi-Frequency Irish and Dutch Spectrum Auctions. *Frank Royal, Strategic insights & opinions on the wireless industry and technologies*. [Online] 23. 12. 2012. [Citace: 9. 3. 2013.] <http://frankroyal.com/2012/12/23/review-of-the-multi-frequency-irish-and-dutch-spectrum-auctions/>.
49. **Peterka, Jiří.** Je 20 miliard skutečně tak moc, aby mohlo být důvodem ke zrušení aukce? Ano i ne. *eArchiv.cz*. [Online] 11. 3. 2013. [Citace: 11. 3. 2013.] <http://www.earchiv.cz/b13/b0311001.php3>.
50. **Cibulka, Petr.** Studie o selhání ČTÚ: Oligopol mobilních operátorů. *Informační institut*. [Online] 1. 3. 2012. [Citace: 16. 3. 2013.] [http://www.informacniinstitut.cz/informacniinstitut/Informacni\\_Institut/Studie/Entries/2012/3/1\\_Studie\\_o\\_selhani\\_CTU\\_\\_Oligopol\\_mobilnich\\_mobilnich\\_operatoru\\_files/Oligopoly\\_FINAL.pdf](http://www.informacniinstitut.cz/informacniinstitut/Informacni_Institut/Studie/Entries/2012/3/1_Studie_o_selhani_CTU__Oligopol_mobilnich_mobilnich_operatoru_files/Oligopoly_FINAL.pdf).
51. **Láska, Jan.** ČTÚ zastavil aukci frekvencí, ČR zatím bez 4. operátora. *mobilmania.cz*. [Online] 8. 3. 2013. [Citace: 9. 3. 2013.] <http://www.mobilmania.cz/clanky/ctu-zastavil-aukci-frekvenci-cr-zatim-bez-4-operatora/sc-3-a-1323126/default.aspx>.

## Seznam použitých zkratek

<b>16QAM</b>	<i>quadrature amplitude modulation</i> - typ modulace
<b>3G</b>	síť třetí generace
<b>3GPP</b>	<i>3rd Generation Partnership Project</i> – sdružení telekomunikačních společností okolo technologie UMTS
<b>3GPP2</b>	<i>3rd Generation Partnership Project 2</i> – sdružení telekomunikačních společností okolo technologie CDMA
<b>64QAM</b>	<i>Quadrature amplitude modulation</i> – typ modulace
<b>8PSK</b>	<i>phase shift keying</i> – typ modulace
<b>AAS</b>	<i>adaptive antenna system</i> – systém adaptivních antén
<b>AK</b>	<i>authorization key</i> - autorizační klíč
<b>AMC</b>	<i>adaptive modulation and coding</i> – modulační a kódovací schéma
<b>BE</b>	<i>best effort</i> – přístup k poskytování zdrojů služeb
<b>BSC</b>	<i>base station controller</i> - základnová řídicí jednotka
<b>BTS</b>	<i>base transceiver station</i> - základnová stanice
<b>CDMA</b>	<i>code division multiple access</i> - kódový multiplex
<b>CN</b>	core network - jádro sítě
<b>CoMP</b>	<i>coordinated multi-point transmission and reception</i> - metody koordinace příjmu a vysílání
<b>CP</b>	<i>cyclic prefix</i> - cyklický prefix
<b>CRF</b>	<i>charging rules function</i> - vyúčtovací funkce
<b>CS</b>	<i>circuit switch</i> - metoda přepínání okruhů
<b>CSD</b>	<i>circuit switched data</i> - přenos dat pomocí přepínání okruhů
<b>ČTÚ</b>	Český telekomunikační úřad
<b>DFT-S-OFDM</b>	<i>discrete fourier transform spread OFDM</i> - diskrétní Fourierova transformace šíření OFDM
<b>DRC</b>	<i>digital rate control</i> - kanál kontroly rychlosti přenosu
<b>DS-CMDA</b>	<i>direct-sequence code division multiple access</i> - modulační technika přímého rozprostřeného spektra s kódovým multiplexováním
<b>EDGE</b>	<i>Enhanced Data rates for GSM Evolution</i> - vylepšení technologie GSM



<b>EGPRS</b>	<i>Enhanced GPRS</i> - vylepšení technologie GPRS
<b>eNodeB</b>	<i>evolved node B</i> - základnová stanice pro LTE
<b>EPC</b>	<i>Evolved Packet Core</i> - jádro sítě pro LTE
<b>ertPS</b>	<i>extended real-time polling service</i> - úroveň QoS
<b>EUL</b>	<i>Enhanced UpLink</i> - vylepšení technologie UMTS obecně označovaná jako HSUPA
<b>EV-DO</b>	<i>Evolution-Data Only/Data Optimized</i> - vylepšení technologie CDMA2000
<b>EV-DV</b>	<i>Evolution-Data and Voice</i> - vylepšení technologie CDMA2000
<b>E-UTRA</b>	<i>Evolved UTRA</i> - obecný radiový přístup LTE
<b>E-UTRAN</b>	<i>Evolved UTRA</i> - obecná radiová přístupová síť LTE
<b>FDD</b>	<i>frequency-division duplexing</i> - frekvenčně dělený duplex
<b>FDMA</b>	<i>frequency division multiple access</i> - frekvenčně dělený multiplexový přístup
<b>FEC</b>	<i>forward error-correction coding</i> - opravný kód
<b>IP</b>	<i>internet protocol</i>
<b>FTP</b>	<i>file transfer protocol</i> - protokol přenosu souborů
<b>GERAN</b>	<i>GSM EDGE radio access network</i> - obecná radiová přístupová síť GSM
<b>GGSN</b>	<i>Gateway GPRS Support Node</i> - brána GPRS služeb v jádru sítě
<b>GMSC</b>	<i>Gateway Mobile Switching Centre</i> - uzel páteřní sítě GSM
<b>GMSK</b>	<i>Gaussian minimum Shift Keying</i> - typ modulace
<b>GPRS</b>	<i>general packet radio service</i> - vylepšení sítě GSM
<b>GSM</b>	<i>Global System for Mobile Communications</i> - technologie mobilních sítí
<b>HARQ</b>	<i>Hybrid Automatic repeat-reQuest</i> - protokol pro řešení chyb při přenosu dat
<b>HMAC</b>	<i>keyed-Hash Message Authentication Code</i> - typ autentizačního kódu zprávy s hashovací funkcí
<b>HNB</b>	<i>Home eNode B</i> - domácí základnová stanice LTE
<b>HSCSD</b>	<i>High-speed circuit-switched data</i> - vylepšení metody spínání okruhů

<b>HSDPA</b>	<i>High Speed Downlink Packet Access</i> - vylepšená technologie UMTS
<b>HSPA</b>	<i>High Speed Packet Access</i> - vylepšená technologie UMTS
<b>HSPA+</b>	<i>High Speed Packet Access Evolution</i> - vylepšená technologie UMTS
<b>HSUPA</b>	<i>High Speed Uplink Packet Access</i> - vylepšená technologie UMTS
<b>HSS</b>	<i>Home Subscriber Server</i> - domácí účastnický server
<b>HS-DPCCH</b>	<i>High Speed-Dedicated Physical Control Channel</i> - kanál fyzické vrstvy HSDPA
<b>HS-DSCH</b>	<i>High-Speed Downlink Shared Channel</i> - kanál HSDPA pro uživatelská data
<b>HS-PDSCH</b>	<i>High Speed-Physical Downlink Shared Channel</i> - kanál fyzické vrstvy HSDPA
<b>HS-SCCH</b>	<i>High Speed-Shared Control Channel</i> - kanál fyzické vrstvy HSDPA
<b>IEEE</b>	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> - mezinárodní nezisková profesní organizace
<b>IMSI</b>	<i>International Mobile Subscriber Identity</i> - unikátní číslo SIM přidělené operátorem
<b>ITU</b>	<i>International Telecommunication Union</i> - Mezinárodní telekomunikační unie
<b>KEK</b>	<i>key encryption key</i> - šifrovací klíč technologie WiMAX
<b>KMP</b>	<i>key management protokol</i> - protokol distribuce klíčů technologie WiMAX
<b>LTE</b>	<i>Long Term Evolution</i> - technologie mobilních sítí
<b>MAC</b>	<i>Medium Access Control</i> - kontrolní vrstva přenosového média
<b>MCH</b>	<i>Multicast Channel</i> - kanál vysílání více uživatelům
<b>MIMO</b>	<i>multiple-input and multiple-output</i> - systém antén pro vysílání a příjem
<b>MME</b>	<i>Mobility Management Entity</i> - entita správy mobility EPC
<b>MPEG</b>	<i>Moving Picture Experts Group</i> - kontejner standardů pro audiovizuální kódování
<b>NAS</b>	<i>Non Access Stratum</i> - protokol spojení EPC
<b>NMT</b>	<i>Nordic Mobile Telephony</i> - technologie mobilních sítí

<b>Node B</b>	základnová stanice (BTS) pro UMTS
<b>nrtPS</b>	<i>non-real-time polling service</i> - úroveň služby QoS
<b>OFDM</b>	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i> - ortogonální frekvenčně dělený vícenásobný přístup
<b>PAPR</b>	<i>Peak to Average Power Ratio</i> - ukazatel kvality signálu
<b>PBCH</b>	<i>Physical Broadcast Channel</i> - kanál LTE
<b>PCFICH</b>	<i>Physical Control Format Indicator Channel</i> - kanál LTE
<b>PCRF</b>	<i>Policy and Charging Rules Function</i> - vyúčtovací funkce EPC
<b>PDC</b>	<i>Personal Digital Cellular</i> - technologie mobilních sítí
<b>PDCCH</b>	Physical Downlink Control Channel - kanál LTE
<b>PDCP</b>	<i>Packet Data Convergence Protocol</i> - rozhraní páteřní sítě LTE
<b>PDF</b>	<i>Policy Decision Function</i> - funkce přidělování zdrojů podle tarifkace účastníka
<b>PDN</b>	<i>Packet Data Network</i> - síť paketových dat
<b>PDSCH</b>	<i>Physical Downlink Shared Channel</i> - kanál LTE
<b>PGW</b>	<i>Packet Data Network Gateway</i> - brána síť paketových dat EPC
<b>PHICH</b>	<i>Physical Hybrid-ARQ Indicator Channel</i> - kanál LTE
<b>PMCH</b>	<i>Physical Multicast Channel</i> - kanál LTE
<b>PRACH</b>	<i>Physical Random Access Channel</i> - kanál LTE
<b>PS</b>	<i>packet switch</i> - metoda přepínání paketů
<b>PUCCH</b>	<i>Physical Uplink Control Channel</i> - kanál LTE
<b>PUSCH</b>	<i>Physical Uplink Shared Channel</i> - kanál LTE
<b>QoS</b>	<i>Quality of Service</i> - metoda přidělování zdrojů podle typu služby
<b>QPSK</b>	<i>Quadrature phase-shift keying</i> - typ modulace
<b>RAN</b>	<i>Radio Access Network</i> - rádiová přístupová síť
<b>RLC</b>	<i>Radio Link Control</i> - rozhraní páteřní sítě LTE
<b>RNC</b>	<i>Radio Network Controller</i> - ovladač rádiové sítě UMTS
<b>rtPS</b>	<i>real-time polling service</i> - úroveň služby QoS
<b>SAE</b>	<i>System Architecture Evolution</i> - požadavky na architekturu jádra sítě
<b>SC-FDMA</b>	<i>Single Carrier-Frequency Division Multiple Access</i> - typ modulace pro LTE
<b>SGSN</b>	<i>Serving GPRS Support Node</i> - prvek jádra sítě GSM s GPRS

<b>SGW</b>	<i>Serving Gateway</i> - prvek EPC
<b>SIM</b>	<i>subscriber identity module</i> - účastnická identifikační karta
<b>SMS</b>	<i>Short message service</i> - služba krátkých textových zpráv
<b>SNR</b>	<i>signal-to-noise ratio</i> - poměr úrovně signálu a šumu
<b>SON</b>	<i>Self-Organizing Network</i> - technika optimalizace a konfigurace sítě
<b>S-OFDMA</b>	Scalable Orthogonal Frequency Division Multiple Access - typ modulace pro WiMAX Mobile
<b>TCP/IP</b>	sada protokolů pro komunikaci v počítačové síti
<b>TDD</b>	<i>Time-division duplexing</i> - časově dělený duplex
<b>TDMA</b>	<i>time division multiplex access</i> - metoda přístupu časově děleným multiplexem
<b>TEK</b>	<i>traffic encryption key</i> - kódovací klíč
<b>TMSI</b>	<i>Temporary Mobile Subscriber Identity</i> - unikátní číslo SIM dočasně přidělené operátorem
<b>UE</b>	<i>User Equipment</i> - uživatelské stanice/koncové zařízení
<b>UGS</b>	<i>Unsolicited Grant Service</i> - úroveň služby QoS
<b>UIM</b>	<i>User Identity Module</i> - obdoba SIM pro GSM
<b>UMTS</b>	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i> - technologie mobilních sítí
<b>USRAN</b>	<i>UMTS Satellite Radio Access Network</i> - koncept satelitní verze přístupové sítě UMTS
<b>UTRA</b>	<i>UMTS (Universal) Terrestrial Radio Access</i> - rádiový přístup
<b>UTRAN</b>	<i>UMTS (Universal) Terrestrial Radio Access Network</i> - pozemní rádiová přístupová síť UMTS
<b>VLR</b>	<i>Visitor location register</i> - komponenta jádra sítě UMTS
<b>VoIP</b>	<i>voice over IP</i> - hlasové služby prostřednictvím IP
<b>WAN</b>	<i>wide area network</i> - geograficky rozlehlá počítačová síť
<b>WAP</b>	<i>Wireless Application Protocol</i> - sada protokolů pro přístup k internetu

## Seznam tabulek

tab. č. 1: Třídy HSCSD (9) .....	15
tab. č. 2 Kódové schéma GPRS (8) .....	16
tab. č. 3: Třídy GPRS (4) .....	17
tab. č. 4: Modulační a kódovací schéma EDGE (4).....	19
tab. č. 5: DRC indexy technologie EV-DO (17).....	24
tab. č. 6 Kategorie koncových zařízení podle nastavení sítě UMTS (22) .....	29
tab. č. 7 Standardizovaná pásma IMT pro technologii LTE (26) .....	34
tab. č. 8 Kategorie koncových zařízení pro LTE (28) .....	36
tab. č. 9 Kategorie koncových zařízení pro LTE Advanced (28) .....	42
tab. č. 10 - Popisné charakteristiky proměnné download v klidu (vlastní zpracování) .....	49
tab. č. 11 - Popisné charakteristiky proměnné download v pohybu (vlastní zpracování) ...	50
tab. č. 12 - Popisné charakteristiky proměnné download v Praze (vlastní zpracování) .....	53
tab. č. 13-Popisné charakteristiky proměnné download mimo Prahu (vlastní zpracování).54	
tab. č. 14 - Základní statistiky proměnné download výběrových souborů z částí Prahy a mimo Prahu (vlastní zpracování).....	57
tab. č. 15 - Testy normality a polohy proměnné download výběrových souborů z částí Prahy a mimo Prahu (vlastní zpracování).....	57
tab. č. 16 - P hodnoty Wilcoxonových oboustranných testů shody průměrů souborů měření z částí Prahy a mimo Prahu (vlastní zpracování).....	59
tab. č. 17 - Vývoj pokrytí technologiemi v síti Telefónica Czech Republic, a.s. (vlastní zpracování).....	62
tab. č. 18 - Pokrytí technologiemi ke dni 27.2.2013 (vlastní zpracování) .....	63
tab. č. 19 - Počet BTS operátorů ke dni 22.3.2013 (vlastní zpracování) .....	63
tab. č. 20 - Návrh aukce kmitočtů (47) .....	67
tab. č. 21 - Tabulka měření přenosových rychlostí (vlastní zpracování) .....	106
tab. č. 22 - Část výpisu procedury ze strany 48 pro soubor se značkou <i>fixni</i> (vlastní zpracování).....	107
tab. č. 23 - Část výpisu procedury ze strany 48 pro soubor se značkou <i>mobilni</i> (vlastní zpracování).....	107
tab. č. 24 - Část výpisu procedury ze strany 51 (vlastní zpracování) .....	107

tab. č. 25 - Část výpisu procedury ze strany 53 pro soubor se značkou <i>mimo_P</i> (vlastní zpracování).....	108
tab. č. 26 - Část výpisu procedury ze strany 53 pro soubor se značkou <i>praha</i> (vlastní zpracování).....	108
tab. č. 27 - Část výpisu procedury ze strany 55 (vlastní zpracování) .....	108
tab. č. 28 - Část výpisu procedury ze strany 56 pro soubor se značkou <i>czu</i> (vlastní zpracování).....	109
tab. č. 29 - Část výpisu procedury ze strany 56 pro soubor se značkou <i>dejvice</i> (vlastní zpracování).....	109
tab. č. 30 - Část výpisu procedury ze strany 56 pro soubor se značkou <i>jarov</i> (vlastní zpracování).....	109
tab. č. 31 - Část výpisu procedury ze strany 56 pro soubor se značkou <i>jine</i> (vlastní zpracování).....	110
tab. č. 32 - Část výpisu procedury ze strany 56 pro soubor se značkou <i>mimo_P</i> (vlastní zpracování).....	110
tab. č. 33 - Část výpisu procedury ze strany 58 (vlastní zpracování) .....	110
tab. č. 34 - Test shody průměrů souborů <i>czu</i> a <i>dejvice</i> pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování).....	110
tab. č. 35 - Test shody průměrů souborů <i>czu</i> a <i>jarov</i> pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování).....	111
tab. č. 36 - Test shody průměrů souborů <i>czu</i> a <i>jine</i> pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování).....	111
tab. č. 37 - Test shody průměrů souborů <i>czu</i> a <i>mimo_P</i> pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování).....	111
tab. č. 38 - Test shody průměrů souborů <i>dejvice</i> a <i>jarov</i> pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování).....	111
tab. č. 39 - Test shody průměrů souborů <i>dejvice</i> a <i>jine</i> pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování).....	111
tab. č. 40 - Test shody průměrů souborů <i>dejvice</i> a <i>mimo_P</i> pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování).....	112
tab. č. 41 - Test shody průměrů souborů <i>jarov</i> a <i>jine</i> pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování).....	112

tab. č. 42 - Test shody průměrů souborů <i>jarov</i> a <i>mimo_P</i> pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování).....	112
tab. č. 43 - Test shody průměrů souborů <i>jine</i> a <i>mimo_P</i> pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování).....	112

## Seznam obrázků

obr. č. 1 Architektura EPC (25) .....	31
obr. č. 2 Zjednodušená architektura sítě s technologií WiMAX (32).....	38
obr. č. 3 Retranslace v LTE Advaced (25) .....	41
obr. č. 4 - Boxploty měření downloadu v klidu a v pohybu (vlastní zpracování) .....	49
obr. č. 5 - Histogramy měření downloadu v klidu a v pohybu (vlastní zpracování) .....	51
obr. č. 6 - Boxploty měření downloadu v Praze a mimo Prahu (vlastní zpracování).....	52
obr. č. 7 - Histogramy měření downloadu v Praze a mimo Prahu (vlastní zpracování) .....	55
obr. č. 8-Boxplot měření downloadu v částech Prahy a mimo Prahu (vlastní zpracování) .	56
obr. č. 9 - Mapa pokrytí Rakouska ke dni 27.2.2013 (zdroj: T- Mobile Austria).....	64
obr. č. 10 - Mapa pokrytí České republiky ke dni 27.2.2013 (zdroj: T-Mobile Czech Republic).....	65



## Seznam procedur

procedura č. 1 - Procedura univariate pro proměnnou download podle pohybu (vlastní zpracování).....	48
procedura č. 2 - Neparametrický test shody průměrů downloadu za pohybu a v klidu (vlastní zpracování).....	51
procedura č. 3 - Procedura univariate pro download v Praze a mimo Prahu (vlastní zpracování).....	53
procedura č. 4 - Neparametrický test shody průměrů downloadu v Praze a mimo Prahu (vlastní zpracování).....	55
procedura č. 5 - Procedura pro download v částech Prahy a mimo Prahu (vlastní zpracování).....	56
procedura č. 6 - Neparametrický test shody průměrů (vlastní zpracování) .....	58

## Přílohy

### Měření přenosových rychlostí

id	datum [rrmmdd]	čas	download [kbit/s]	upload [kbit/s]	odezva [ms]	stabilita [%]	místo	místo 2	pozn
1	130222	17:13	710,18	46,29	336,6	54,7	jarov / spojovací		
2	130222	17:22	1697,86	58,74	140,9	78,6	jarov / spojovací		
3	130222	17:55	866,78	32,84	374,9	40,2	jarov / spojovací		
4	130222	18:19	1099,46	59,44	265,6	34,2	jarov / spojovací		
5	130222	18:25	497,5	57,91	157,4	80,6	jarov / spojovací		
6	130222	18:56	870,63	55,71	159,5	54,5	jarov / spojovací		
7	130222	22:02	344,73	59,09	141,9	55,8	jarov / spojovací		
8	130222	22:05	722,29	53,15	178,2	40,7	jarov / spojovací		
9	130223	8:52	524,41	67,76	215,2	44,2	poděbradská	tesla	
10	130223	8:54	1583,97	59,53	215,8	29,2	poděbradská	tesla	
11	130223	8:56	1721,09	62,37	317,7	33,6	poděbradská	tesla	
12	130223	8:58	1544,25	60,52	215,3	39	poděbradská	tesla	
13	130223	12:27	1398,16	66,82	186,4	46,8	poděbradská	tesla	
14	130223	12:49	938,81	75,49	140,9	46,6	poděbradská	tesla	
15	130223	18:19	336,42	97,98	180,4	42,8	poděbradská	nádraží libeň	tram
16	130225	7:13	1170,18	72,75	138,6	42,1	čzu		
17	130225	13:40	401,47	56,82	786	40,1	čzu		
18	130225	14:19	402,54	88,08	572,1	45	čzu		
19	130225	14:22	915,81	58,77	181,3	33,8	čzu		
20	130226	7:57	339,86	122,06	142,9	36,7	libeň	nádraží	
21	130226	7:59	703,02	59,39	138	69,3	libeň-holešovice	libeň	vlak
22	130226	8:01	452,53	65,02	138,1	14,9	libeň - holešovice	holešovice	vlak
23	130226	8:05	390,2	52,95	180,6		holešovice-bubeneč	holešovice	vlak
24	130226	8:08	110,88	53,16	618,1		holešovice-bubeneč	bubeneč	vlak
25	130226	8:10	452,66	45,21	160,3	52,6	bubeneč sedlec	mezi	vlak
26	130226	10:55	293,94	33,34	235,7	40	čzu		
27	130226	10:57	469,9	30,74	265,1	79	čzu		

28	130226	11:00	186,27	35,72	298,7	39,2	čzu		
29	130226	16:45	895,45	64,06	251,6	51,2	čzu		
30	130228	9:24	383,89	67,64	186,9	18,4	libeň- holešovice	libeň	vlak
31	130228	9:26	1432,24	44,67	352	67,7	libeň- holešovice	libeň	vlak
32	130228	9:28	394,62	67,63	251,1	33,7	libeň- holešovice	mezi	vlak
33	130228	9:31	460,18	58,34	201,7	47,3	libeň- holešovice	holešovice	vlak
34	130228	9:33	411,36	59,38	418,2		holešovice- bubeneč	mezi	vlak
35	130228	9:35	970,95	52,28	163,7	35	bubeneč	nádraží	vlak
36	130228	9:37	49,09		342		bubeneč- sedlec	mezi	vlak
37	130228	12:24	344,68	50,09	1215,7	29,2	sedlec	nádraží	vlak
38	130228	12:30	374,71	72,07	252,8	38,5	sedlec- bubeneč	bubeneč	vlak
39	130228	12:34	290,06	60,38	361	34,9	bubeneč- holešovice	holešovice	vlak
40	130228	12:36	300,5	61,01	413	57,8	holešovice- libeň	holešovice	vlak
41	130228	12:38	427,5	66,49	378,4	17,1	holešovice- libeň	libeň	vlak
42	130228	12:40	535,2	51,11	276,9	49,8	holešovice- libeň	libeň	vlak
43	130228	14:55	893	146,78	163,3	51,6	kostelec n. černými lesy		
44	130228	14:57	662,47	97,07	111,3	51,1	kostelec n. černými lesy		
45	130228	15:49	349,95	138,26	172,3	46,7	kostelec n. černými lesy		
46	130228	15:51	400,34	82,1	152,9	42,4	kostelec n. černými lesy		
47	130228	16:21	1581,82	148,81	207,2	49,1	kostelec n. černými lesy		
48	130228	16:22	564,1	140,25	366,6	48,5	kostelec n. černými lesy		
49	130228	16:24	889,27	147,65	180,1	68,9	kostelec n. černými lesy		
50	130302	6:54	878,63	216,33	182,3	69	prachatice	pod lázněmi	
51	130302	22:31	425,83	169,99	144,9	71,3	prachatice	pod lázněmi	
52	130302	22:46	1469,62	106,46	157,2	54,1	prachatice	pod lázněmi	
53	130302	22:51	1052,46	203,98	139,2	32,9	prachatice	pod lázněmi	
54	130303	9:02	622,18	158,86	249,8	45,6	prachatice	pod lázněmi	
55	130303	9:01	20887,1	1964	39	89,3	prachatice	pod lázněmi	
56	130303	14:18	815,38	296,3	149,9	50,2	prachatice	pod lázněmi	
57	130303	14:20	1111,85	296,07	142,9	72,3	prachatice	pod lázněmi	
58	130303	14:21	1453,86	102,48	234,4	46,5	prachatice	pod lázněmi	
59	130303	14:23	920,53	297,06	154,4	16,6	prachatice	pod lázněmi	
60	130303	14:24	1483,94	102,99	236,2	57,8	prachatice	pod lázněmi	
61	130303	14:26	1071,11	153,52	140,7	46,5	prachatice	pod lázněmi	

62	130303	14:27	1426,78	92,47	167,9	44	prachatice	pod lázněmi	
63	130303	14:28	443,66	179,77	141,3	54,3	prachatice	pod lázněmi	
64	130303	14:30	696,24	95,58	316,6	35,6	prachatice	pod lázněmi	
65	130303	14:31	1270,7	289,85	154,5	50,9	prachatice	pod lázněmi	
66	130303	14:32	1367,02	106,3	209,7	28	prachatice	pod lázněmi	
67	130303	14:34	852,4	179,69	330,2	46,7	prachatice	pod lázněmi	
68	130303	14:35	706,89	120,99	249,3	56,5	prachatice	pod lázněmi	
69	130303	14:37	1047,1	91,14	259,4	47,2	prachatice	pod lázněmi	
70	130303	14:38	893,14	134,93	224,2	45,8	prachatice	pod lázněmi	
71	130303	14:39	1718,06	90,78	242,4	50,1	prachatice	pod lázněmi	
72	130303	14:41	1074,18	119,34	177,2	71,2	prachatice	pod lázněmi	
73	130303	14:42	1627,37	166,9	141,1	75,7	prachatice	pod lázněmi	
74	130303	14:43	937,53	117,01	167,1	51,2	prachatice	pod lázněmi	
75	130303	14:44	1137,79	112,7	648,4		prachatice	pod lázněmi	
76	130305	7:53	503,3	62,17	128,1	53,6	libeň	nádraží	
77	130305	7:56	443,58	284,29	139,5	139,5	libeň holešovice	libeň	vlak
78	130305	7:59	953,39	60,59	178,9	53,7	libeň holešovice	holešovice	vlak
79	130305	8:01	658,44	63,24	130,3	17,2	holešovice	nádraží	vlak
80	130305	8:03	1057,34	33,86	277,5		holešovice bubeneč	holešovice	vlak
81	130305	8:05	481,07	67,15	145,6	35,7	bubeneč	nádraží	vlak
82	130305	8:07	462,59	39,11	386,4		bubeneč sedlec	mezi	vlak
83	130307	7:53	1157,66	76,36	159,1	82,5	libeň	nádraží	vlak
84	130307	7:55	243,3	73,61	450,8	30,4	libeň- holešovice	mezi	vlak
85	130307	7:57	1575,12	49,87	255,9	41,1	libeň- holešovice	holešovice	vlak
86	130307	7:59	359,74	47,62	154,2	36,3	libeň- holešovice	holešovice	vlak
87	130307	8:01	544,5	46,98	153,7	39,3	libeň- holešovice	holešovice	vlak
88	130307	8:03	334,06		298,3		holešovice- bubeneč	mezi	vlak
89	130309	10:22	430,64	50,3	151,3	38,5	poděbradská	tesla	
90	130309	10:25	2119,56				poděbradská	tesla	
91	130309	10:26	2009,78	76,08	207,8	28,5	poděbradská	tesla	
92	130309	10:30	1572,9	62,63	182,7	71,3	poděbradská	tesla	
93	130309	10:32	417,97	51,54	241,4	17,4	poděbradská	tesla	
94	130309	10:39	403,29	63,43	159,3	52,1	poděbradská	tesla	
95	130311	10:02	347,77	64,41	151	43,6	čzu		
96	130311	10:04	1015,55	56,82	189,8	55	čzu		
97	130311	10:06	1252,51	58,01	199,4	29,6	čzu		

98	130311	10:08	2041,88	55,62	308,8	54,7	čzu		
99	130311	10:12	650,22	38,19	244	39,7	čzu		
100	130311	10:14	356,32	36,5	212,7	41,1	čzu		
101	130311	13:10	683,39	38,53	262	43,8	čzu		
102	130311	13:13	1192,57	46,21	255,9	41,4	čzu		
103	130311	13:16	842,27	41,71	392,2	21,5	čzu		
104	130311	13:18	462,9		615,7	26,7	čzu		
105	130311	13:21	361,97	107,45	271,7	36,2	čzu		
106	130311	13:24	348,03	91,38	1328,9	68,3	čzu		
107	130311	18:10	578,74	56,57	363,1	70,6	čzu		
108	130311	18:12	1427,78	46,15	191,8	62,7	čzu		
109	130311	18:13	1587,94	47,94	206,1	51	čzu		
110	130311	18:15	523,93	59,49	205,2	22,1	čzu		
111	130311	18:17	832,55	55,71	317,4	41	čzu		
112	130312	7:52	346,56	66,11	142,9	54,3	libeň	nádraží	
113	130312	7:53	1386,84	74,64	169,1	25	libeň	nádraží	vlak
114	130312	7:55	928,63	60,64	563,8	36,1	libeň- holešovice	libeň	vlak
115	130312	7:57	345,66	29,62	174,2	39,9	libeň- holešovice	mezi	vlak
116	130312	8:00	176,1	61,41	318,6	19,1	holešovice	nádraží	vlak
117	130312	8:01	354,78	57,25	148,9	18,9	holešovice- bubeneč	holešovice	vlak
118	130312	8:03	57,3	45,62	153,2	44,1	holešovice- bubeneč	mezi	vlak
119	130312	8:05	299,78	39,09	159,3	31,3	bubeneč- sedlec	bubeneč	vlak
120	130312	8:07	409,08	43,43	177,6		bubeneč- sedlec	sedlec	vlak
121	130312	10:51	498,48	59,58	835,6	51,6	čzu		
122	130312	10:56	318,04	53,38	388,5	55,5	čzu		
123	130312	10:58	490,46	42,38	366,5	48,1	čzu		
124	130312	10:59	401,4	29,22	248,2	53,1	čzu		
125	130312	11:26	455,23	22,98	352,9	47,6	dejvice	bachmačské n.	
126	130312	11:34	580,13	41,92	749,6	50,2	dejvice	bachmačské n.	
127	130312	11:40	411,29	37,7	440,5	58	dejvice	bachmačské n.	
128	130312	12:01	414,11	30,09	282,1	70,2	čzu		
129	130312	12:03	831,88	46,1	174,7	62,7	čzu		
130	130312	12:05	333,52		238,1	15,6	čzu		
131	130312	13:06	337,66	33,27	323,7	62,5	čzu		
132	130312	13:08	711,54	39,33	316,1	43,7	čzu		
133	130312	13:11	752,7	33,24	893,5	45,2	čzu		

134	130312	13:13	420,27	34,11	357,5	25,4	čzu		
135	130312	13:21	289,18	34,26	495,8	62,8	dejvice	bachmačské n.	
136	130312	13:24	503,18	34,32	816,6	30,5	dejvice	bachmačské n.	
137	130312	13:27	520,23	22,91	635,3	48,4	dejvice	bachmačské n.	
138	130312	14:13	388,52	104,39	241,2	47,6	čzu		
139	130312	14:14	629,42	45,37	221,8	32,9	čzu		
140	130312	14:16	1586,01	54,82	454	50,9	čzu		
141	130312	15:00	375,33	46,07	168,8	60,1	čzu		
142	130312	15:04	560,37	41,13	177,9	57,7	čzu		
143	130312	15:11	528,16	46,57	195,9	66,4	čzu		
144	130312	15:18	490,78	40,53	509,3	79,3	dejvice	bachmačské n.	
145	130312	15:21	378,3	42,58	480,5	38,5	dejvice	bachmačské n.	
146	130312	15:23	1324,5	39,85	443,5	50,9	dejvice	bachmačské n.	
147	130312	16:02	346,61	57,97	194,1	53	čzu		
148	130312	16:05	1274,64	51,1	175,5	42,2	čzu		
149	130312	16:07	1391,06	72,82	205,1	45,6	čzu		
150	130312	16:52	1364,11	58,68	135,4	58,6	čzu		
151	130312	16:53	1231,5	59,3	268,1	40,9	čzu		
152	130312	16:57	1555,22	57,34	199,9	38,7	čzu		
153	130312	16:58	1327,2	66,43	197,6	33,2	čzu		
154	130312	17:00	1286,91	48,96	200,8	74	čzu		
155	130312	17:02	456,32	59,21	167,5	46,6	čzu		
156	130312	17:04	736,65	66,23	473,8	51,9	čzu		
157	130312	17:42	768,45	41,18	627	78,2	dejvice	bachmačské n.	
158	130312	17:47	718,5	42,64	424,3	75,9	dejvice	bachmačské n.	
159	130312	17:49	558,32	27,72	943,5	61,6	dejvice	bachmačské n.	
160	130312	18:22	1201,98	23,35	483	71	dejvice	bachmačské n.	
161	130312	19:06	558,73	27,97	965,9	82,1	dejvice	bachmačské n.	
162	130312	19:10	481,18	40,21	995,5	49,6	dejvice	bachmačské n.	
163	130312	19:13	607,92	52,98	453,6	55,5	dejvice	bachmačské n.	
164	130312	20:59	1580,93	37,82	812,2	27,4	dejvice	bachmačské n.	
165	130312	21:02	437,55	36,1	488,8	25,3	dejvice	bachmačské	

								n.	
166	130312	21:07	782,78	35,72	481	16,8	dejvice	bachmačské n.	
167	130312	21:35	374,58	57,26	188,4	41,4	jarov / spojovací		
168	130312	21:37	1038,9	54,7	224,6	32	jarov / spojovací		
169	130312	21:38	876,38	57,47	204,7	53,9	jarov / spojovací		
170	130313	0:09	3116,26	61,62	211	18,9	dejvice	bachmačské n.	
171	130313	0:11	2707,39	61,18	299,3	50,7	dejvice	bachmačské n.	
172	130313	0:13	2659,39	35,06	306,4	44,8	dejvice	bachmačské n.	
173	130313	8:20	481,58	79,34	129,6	29,1	jarov / spojovací		
174	130313	8:24	1368,66	46,3	161,1	40	jarov / spojovací		
175	130313	8:28	493,1	48,91	188,9	31,8	jarov / spojovací		
176	130313	9:23	493,04	46,23	372,5	32	jarov / spojovací		
177	130313	9:36	567,74	30,5	184,2	46,2	jarov / spojovací		
178	130313	9:39	801,24	48,39	256,5	61,2	jarov / spojovací		
179	130313	10:00	414,71	104,19	358,5	51,4	dejvice	bachmačské n.	
180	130313	10:02	983,96	41,33	782,6	68,8	dejvice	bachmačské n.	
181	130313	10:04	771,05	23,93	385,2	58,7	dejvice	bachmačské n.	
182	130313	11:55	446,96	128,66	259,7	53	dejvice	bachmačské n.	
183	130313	11:57	1392,1	73,3	306,3	56,7	dejvice	bachmačské n.	
184	130313	11:59	1190,11	74,02	273,6	44,8	dejvice	bachmačské n.	
185	130313	12:37	405,96	72,38	243,1	42	jarov / spojovací		
186	130313	12:40	510,14	50,07	232,5	36,9	jarov / spojovací		
187	130313	12:43	1026,97	60,07	155,8	54,1	jarov / spojovací		
188	130313	15:01	1620,81	38,78	954	57,4	dejvice	bachmačské n.	
189	130313	15:03	427,82	140,22	282,7	37,8	dejvice	bachmačské	

								n.	
190	130313	15:05	1515,14	41,58	542,3	43,9	dejvice	bachmačské	
191	130313	15:12	373	59,09	236,7	51	jarov / spojovací	n.	
192	130313	15:13	963,67	58,79	249,5	55,4	jarov / spojovací		
193	130313	15:15	515,78	37,8	198,9	49,8	jarov / spojovací		
194	130313	15:19	554,26	71,98	196,8	44	jarov / spojovací		
195	130313	16:40	327,22	55,42	226,8	58,8	jarov / spojovací		
196	130313	16:42	438,94	47,04	314,2	48,1	jarov / spojovací		
197	130313	16:44	1660,98	58,04	432,9	28,7	jarov / spojovací		
198	130313	16:45	903,34	34,02	480,1	43,9	jarov / spojovací		
199	130313	16:47	846,78	64,04	241,2	39,7	jarov / spojovací		
200	130313	17:36	482,8	58,15	244,1	40,1	jarov / spojovací		
201	130313	17:37	751,74	62,62	431,3	64,9	jarov / spojovací		
202	130313	17:39	1097,99	48,74	206,3	58,4	jarov / spojovací		
203	130313	19:32	485,36	56,73	228,4	43,1	jarov / spojovací		
204	130313	19:34	415,46	53,64	233,5	45,8	jarov / spojovací		
205	130313	19:35	1091,29	41,53	243,6	33,6	jarov / spojovací		
206	130313	19:37	648,98	50,33	262,2	44,3	jarov / spojovací		
207	130313	20:39	427,02	125,9	125,9	44,7	jarov / spojovací		
208	130313	20:40	621,7	42,26	291,8	60,6	jarov / spojovací		
209	130313	20:42	1111,34	47,49	375,8	58,8	jarov / spojovací		
210	130313	20:44	1502,6	57,02	419,1	56,1	jarov / spojovací		
211	130313	20:46	768,74	45,33	900,6	51,6	jarov / spojovací		
212	130313	22:40	373,37	84,22	464,8	47,9	jarov / spojovací		
213	130313	22:41	1874,54	48,46	206,9	44,6	jarov /		



							spojovací		
214	130313	22:43	1467,52	58,88	119	88,4	jarov / spojovací		
215	130313	22:52	337,82	55,62	135,1	29,6	jarov / spojovací		
216	130313	23:56	582,6	46,87	167,6	34,5	jarov / spojovací		
217	130313	23:58	1335,06	60,64	152,8	33,1	jarov / spojovací		
218	130313	23:59	900,76	50,32	135,8	35,3	jarov / spojovací		
219	130314	0:01	463,74	66,4	146,5	28,3	jarov / spojovací		
220	130314	0:03	2034,95	53,46	139,6	63,7	jarov / spojovací		
221	130314	0:04	1658,86	52,26	292,2	32,9	jarov / spojovací		
222	130314	0:06	1116,18	60,04	169,6	40,2	jarov / spojovací		
223	130314	7:19	863,32	64,29	350,9	80	jarov / spojovací		
224	130314	7:23	1520,17	45,13	290	38,2	jarov / spojovací		
225	130314	7:25	985,14	60,87	416,5	67,9	jarov / spojovací		
226	130314	7:26	1287,41	48,66	248,4	42,1	jarov / spojovací		
227	130314	7:52	443,06	294,66	142,8	26,9	libeň	nádraží	
228	130314	7:54	308,06	40,62	143,6	44,8	libeň- holešovice	libeň	vlak
229	130314	7:56	1000,24	49,08	140,8	48,4	libeň- holešovice	mezi	vlak
230	130314	7:58	400,46	48,06	170	46,6	libeň- holešovice	holešovice	vlak
231	130314	8:00	837,81	62,15	375,8	30,9	holešovice- bubeneč	holešovice	vlak
232	130314	8:01	52,82		1718,7	43,9	holešovice- bubeneč	bubeneč	vlak
233	130314	8:04	303,69	65,66	144,4	32,8	bubeneč- sedlec	bubeneč	vlak
234	130314	8:06	529,26	64,33	292,4	21	bubeneč- sedlec	sedlec	vlak
235	130314	8:39	526,57	60,18	133,5	46,8	čzu		
236	130314	8:52	1434,34	57,66	138,6	80,4	čzu		
237	130314	8:56	890,04	31,69	172,6	47	čzu		
238	130314	9:00	571,57	60,02	129,2	39,9	čzu		
239	130314	9:56	826,2	60,94	216,3	51,9	čzu		
240	130314	9:57	648,37	52,91	442,9	45	čzu		

241	130314	9:59	1954,88	49,93	313,3	34,5	čzu		
242	130314	10:01	410,74	42,45	314,1	64,2	čzu		
243	130314	11:04	417,44	29,66	949,1	47,6	dejvice	bachmačské n.	
244	130314	11:07	427,42	34,14	918,9	36,8	dejvice	bachmačské n.	
245	130314	11:09	526,34	36,83	197,3	54,7	čzu		
246	130314	11:10	520,3	35,5	482,4	82,6	dejvice	bachmačské n.	
247	130314	11:11	923,62	37,32	371,9	85,2	čzu		
248	130314	11:13	450,67	35,23	1176,1	68,2	dejvice	bachmačské n.	
249	130314	11:15	1087,25	50,61	353	43,3	čzu		
250	130314	11:17	368,26	122,1	156,2	41,6	čzu		
251	130314	11:24	478,06	45,86	490,2	43,8	čzu		
252	130314	11:59	334,7	65,22	167,1	39	čzu		
253	130314	13:21	1239,67	38,27	446,2	52,8	dejvice	bachmačské n.	
254	130314	13:25	347,24	39,16	469,9	32,8	dejvice	bachmačské n.	
255	130314	13:27	836,62	34,18	322,7	43,7	dejvice	bachmačské n.	
256	130314	13:30	1337,22	45,73	936,5	73	dejvice	bachmačské n.	
257	130314	14:29	275,86		1496,3		sedlec- bubeneč	chyba	vlak
258	130314	14:36	302,44	56,66	194,4	33,6	bubeneč- holešovice	holešovice	vlak
259	130314	14:37	548,12	40,14	225,7	38,3	holešovice	nádraží	vlak
260	130314	14:39	517,06	30,98	385,6	26,5	holešovice- libeň	holešovice	vlak
261	130314	14:41	336,57	67,44	395,3	68,9	holešovice- libeň	mezi	vlak
262	130314	14:42	491,19	66,15	168,3	27,2	holešovice- libeň	libeň	vlak
263	130314	14:44	687,74	67,35	345,9	41,5	holešovice- libeň	libeň	vlak
264	130314	14:47	510,26	62,9	205,9	41,4	libeň	nádraží	
265	130314	15:16	574,94	50,65	173,7	56,7	jarov / spojovací		
266	130314	15:17	532,78	48,86	233,4	59,3	jarov / spojovací		
267	130314	15:19	1198,83	58,14	233,4	43,9	jarov / spojovací		
268	130314	15:20	833,57	64,9	203,1	56,5	jarov / spojovací		
269	130314	15:22	513,58	59,74	195	47,6	jarov /		

							spojovací		
270	130314	17:44	1775,95	39,57	452,7	82,7	dejvice	bachmačské n.	
271	130314	17:46	2139,33	87,36	483,2	57,4	dejvice	bachmačské n.	
272	130314	17:48	856,84	29,08	275,8	49,8	dejvice	bachmačské n.	
273	130314	17:50	1544,55	73,78	322,2	59	dejvice	bachmačské n.	
274	130314	17:52	2653,06	109,78	378	48,5	dejvice	bachmačské n.	
275	130314	18:46	485,66	59,74	341,1	64,5	jarov / spojovací		
276	130314	18:49	946,15	60,37	207	55,6	jarov / spojovací		
277	130314	18:52	529,5	67,64	364,5	58,8	jarov / spojovací		
278	130314	18:55	389,44	51,23	197,6	35,2	jarov / spojovací		
279	130314	18:57	600,99	65,88	197,3	46,4	jarov / spojovací		
280	130314	20:01	485,05	36,1	317,8	83	dejvice	bachmačské n.	
281	130314	20:05	930,1	74,07	264,1	54,1	dejvice	bachmačské n.	
282	130314	20:07	652,8	68,69	325,5	48,7	dejvice	bachmačské n.	
283	130314	20:09	1610,65	65,86	824,2	51,7	dejvice	bachmačské n.	
284	130314	20:12	1705,29	73,09	361	62,5	dejvice	bachmačské n.	
285	130314	20:28	430,56	57,02	206,1	51	jarov / spojovací		
286	130314	20:30	965,02	63,15	213,7	43	jarov / spojovací		
287	130314	20:31	1108,1	72,83	200,4	70,2	jarov / spojovací		
288	130314	20:33	490,46	69,27	175,2	32,3	jarov / spojovací		
289	130314	20:34	466,18	62,1	191,1	45,7	jarov / spojovací		
290	130314	22:05	422,22	168,66	157,9	55,8	jarov / spojovací		
291	130314	22:07	564,52	72,1	127,8	28,8	jarov / spojovací		
292	130314	22:10	1105,38	59,05	187	60,6	jarov / spojovací		
293	130314	22:11	578,1	50,2	200,2	51,9	jarov /		

294	130314	22:13	1172,51	57,4	177,3	80,4	jarov / spojovací		
295	130314	23:45	471,85	46,41	123,3	41,7	jarov / spojovací		
296	130315	0:09	559,91	64,94	125,4	86,9	jarov / spojovací		
297	130315	0:15	1244,02	48,71	149,4	64,5	jarov / spojovací		
298	130315	0:22	828,19	64,72	356,4	65	jarov / spojovací		
299	130315	0:24	455,41	63,95	135	55,4	jarov / spojovací		
300	130315	0:25	1244,55	46,43	160,7	58,9	jarov / spojovací		
301	130315	0:27	969,81	61,74	177,8	63	jarov / spojovací		
302	130315	6:58	791,53	62,34	136,8	58	jarov / spojovací		
303	130315	7:01	713,26	66,14	136,9	67,1	jarov / spojovací		
304	130315	7:04	1428,3	51,32	136,6	66,8	jarov / spojovací		
305	130315	7:06	1224,17	59,65	142,8	35,6	jarov / spojovací		
306	130315	7:07	1030,83	57,63	148	45,8	jarov / spojovací		
307	130315	8:04	1835,29	58,79	133,9	73,2	čzu		
308	130315	8:06	1892,28	47,99	147,6	38,8	čzu		
309	130315	8:08	782,78	62,66	139	40,6	čzu		
310	130315	8:09	1735,64	48,77	150,2	39,4	čzu		
311	130315	8:11	1038,9	61,68	136,4	45	čzu		
312	130315	8:13	1165,2	50,46	259,2	46,4	čzu		
313	130315	9:51	356,88	61,79	184,5	56,7	čzu		
314	130315	9:53	648,06	47,93	184	68,4	čzu		
315	130315	9:55	1441,79	57,16	396	30,5	čzu		
316	130315	9:56	2074,46	39,6	558,2	65,3	čzu		
317	130315	12:09	395,3	49,81	116,2	36,3	jarov / spojovací		
318	130315	12:11	1416,89	41,53	335,3	31,7	jarov / spojovací		
319	130315	12:13	477,16	65,52	149,1	62,5	jarov / spojovací		
320	130315	12:15	1133,4	43,48	575,2	42,2	jarov / spojovací		
321	130315	12:17	1056,52	59,4	190,7	20,1	jarov / spojovací		
322	130315	12:18	1444,44	44,16	685,7	41,3	jarov /		

							spojovací		
323	130315	12:20	522,35	46,47	179,2	79,6	jarov / spojovací		
324	130315	13:36	456,13	62,16	202,5	49,6	jarov / spojovací		
325	130315	13:39	384,14	50,7	196,1	71,8	jarov / spojovací		
326	130315	13:40	937,95	48,38	168,1	42,9	jarov / spojovací		
327	130315	13:43	1134,34	59,65	163,9	33	jarov / spojovací		
328	130315	13:44	793,51	55,09	215,6	43,8	jarov / spojovací		
329	130315	13:46	979,28	60,74	188,9	61,1	jarov / spojovací		
330	130315	14:37	335,78	56,39	209,7	60,8	jarov / spojovací		
331	130315	14:42	989,17	61,26	219	52	jarov / spojovací		
332	130315	14:44	1163,55	50,27	199,5	47,1	jarov / spojovací		
333	130315	14:46	964,8	62,12	197	44,5	jarov / spojovací		
334	130315	14:47	332,71	60,01	226,4	58,8	jarov / spojovací		
335	130315	16:03	376,38	44,9	380,9	39,2	jarov / spojovací		
336	130315	16:05	406,82	60,99	136,9	53,2	jarov / spojovací		
337	130315	16:06	1025,94	48,17	360,8	50,5	jarov / spojovací		
338	130315	16:08	947,68	62,4	134,3	42,9	jarov / spojovací		
339	130315	16:09	1608,58	52,12	415,2	59	jarov / spojovací		
340	130315	16:11	969,12	60,59	440,3	48,9	jarov / spojovací		
341	130315	17:46	441,02	41,72	257,5	57	jarov / spojovací		
342	130315	17:48	969,58	38,8	937,5	49,9	jarov / spojovací		
343	130315	17:49	394,89	49,39	213,9	79	jarov / spojovací		
344	130315	17:51	1091,58	46,46	482,3	20,8	jarov / spojovací		
345	130315	17:53	653,94	66,38	167,3	48,2	jarov / spojovací		
346	130315	19:37	700,15	61,62	127,4	49,2	jarov /		

							spojovací		
347	130315	19:39	759,65	61,05	367,5	43,1	jarov / spojovací		
348	130315	19:40	961,19	51,54	280,6	68,5	jarov / spojovací		
349	130315	19:41	469,73	61,22	157,1	48,6	jarov / spojovací		
350	130315	19:43	534,86	50,36	434,7	46,4	jarov / spojovací		
351	130315	21:14	565,22	63,14	149,4	27,9	jarov / spojovací		
352	130315	21:16	1341,35	29,22	299,2	45,4	jarov / spojovací		
353	130315	21:18	964,35	59,83	197,1	71,3	jarov / spojovací		
354	130315	21:19	1336,3	55,8	262,7	31	jarov / spojovací		
355	130315	21:21	750,77	62,07	147,7	72,9	jarov / spojovací		
356	130315	22:58	862,42	61,1	354,8	55,5	jarov / spojovací		
357	130315	22:59	853,11	60,15	149,5	43,5	jarov / spojovací		
358	130315	23:01	1148,92	59,74	496,4	58,7	jarov / spojovací		
359	130315	23:03	1362,49	50,63	129,7	51,9	jarov / spojovací		
360	130316	8:37	489,41	105,93	157,1	44,7	jarov / spojovací		
361	130316	8:39	1174,86	39	349,6	60,3	jarov / spojovací		
362	130316	8:42	1195,7	57,56	149,1	41,7	jarov / spojovací		
363	130316	8:43	1108,65	40,49	356,4	63,9	jarov / spojovací		
364	130316	8:45	587,93	55,3	132,9	29,4	jarov / spojovací		
365	130316	10:48	334,7	105,9	139	39	jarov / spojovací		
366	130316	10:50	837,13	56,77	153,1	47,7	jarov / spojovací		
367	130316	10:52	529,75	71,97	123,1	47,4	jarov / spojovací		
368	130316	10:53	569,6	59,74	141,1	71,5	jarov / spojovací		
369	130316	14:03	489,72	57,36	157,5	34,4	jarov / spojovací		
370	130316	14:08	947,68	52,28	175,8	59,3	jarov /		

							spojovací		
371	130316	14:11	763,03	64,61	141,4	36,4	jarov / spojovací		
372	130316	14:12	930,1	44,94	278,2	23,4	jarov / spojovací		
373	130316	14:27	569,29	53,85	139,9	69,9	jarov / spojovací		
374	130316	16:13	952,95	63,73	210	58,3	jarov / spojovací		
375	130316	16:14	1071,38	43,4	168,3	41,2	jarov / spojovací		
376	130316	16:16	601,96	46,62	155,5	79,5	jarov / spojovací		
377	130316	16:17	1905,22	65,13	141,4	34,4	jarov / spojovací		
378	130316	16:18	493,1	99,24	131,8	60,5	jarov / spojovací		
379	130316	16:20	1056,25	61,73	140,3	35,6	jarov / spojovací		
380	130316	18:32	979,28	61,34	349,1	57,9	jarov / spojovací		
381	130316	18:34	1168,51	53,9	147,1	71,7	jarov / spojovací		
382	130316	18:35	1427,26	55,82	133	77	jarov / spojovací		
383	130316	18:36	1612,57	42,32	260,5	56,5	jarov / spojovací		
384	130316	18:38	640,59	59,46	143,1	29,8	jarov / spojovací		
385	130316	21:23	363,06	79,42	135,6	28,7	jarov / spojovací		
386	130316	21:28	913,57	54,89	144,8	81,7	jarov / spojovací		
387	130316	21:33	1048,18	58,87	414,4	66	jarov / spojovací		
388	130316	21:42	415,6	60,35	186,7	49,9	jarov / spojovací		
389	130317	10:02	464,78	64,3	120,7	44,5	jarov / spojovací		
390	130317	10:22	854,35	61,4	137,1	46,1	jarov / spojovací		
391	130317	10:35	557,37	67,98	149,4	47,6	jarov / spojovací		
392	130317	10:40	548,02	72,05	133,2	41,1	jarov / spojovací		
393	130317	10:50	773,8	60,17	281,6	61,5	jarov / spojovací		
394	130317	11:03	1228,62	59,19	138,3	31,7	jarov /		

							spojovací		
395	130317	11:07	869,53	55,29	147	36,4	jarov / spojovací		
396	130317	13:10	371,85	56,7	212,7	61,2	jarov / spojovací		
397	130317	13:41	548,68	62,22	273	31,7	jarov / spojovací		
398	130317	13:44	746,68	62,7	410,1	57,7	jarov / spojovací		
399	130317	13:48	991,79	61,18	409,7	38,8	jarov / spojovací		
400	130317	13:51	206,09	63,88	136,1	58,9	jarov / spojovací		
401	130318	12:45	471,75	27,1	310,6	47,6	čzu		
402	130318	12:47	513,23	28,47	302,8	9	čzu		
403	130318	12:50	350,54	47,89	244	50,4	čzu		
404	130318	12:52	483,41	31,06	-	-	čzu		
405	130318	12:56	728,56	59,97	239,9	37,8	čzu		
406	130318	17:37	407,77	117,52	205,3	54,3	jarov / spojovací		
407	130318	17:39	641,39	48,09	521,8	46,6	jarov / spojovací		
408	130318	17:41	516,24	47,91	220,9	77,2	jarov / spojovací		
409	130318	17:44	884,49	60,02	200,5	48,4	jarov / spojovací		
410	130318	18:23	494,73	100,79	244,5	78,1	jarov / spojovací		
411	130318	18:26	787,64	51,69	248,5	34	jarov / spojovací		
412	130318	18:29	1342,05	57,25	206,9	85,2	jarov / spojovací		
413	130318	19:04	528,87	64,1	163,3	84,3	jarov / spojovací		
414	130318	19:14	1093,32	47,9	529,6	62,6	jarov / spojovací		
415	130318	20:29	361,45	125,72	248,1	60,7	jarov / spojovací		
416	130318	20:59	522,02	57,7	341,5	56,3	jarov / spojovací		
417	130318	22:54	447,74	48,59	132,7	35,7	jarov / spojovací		
418	130318	22:56	811,68	46,3	135,1	43	jarov / spojovací		
419	130319	7:53	516,38	49,5	469,8	59,5	libeň	nádraží	
420	130319	7:55	850,99	65,93	156,4	41,7	libeň- holešovice	libeň	vlak
421	130319	7:57	266,45	61,21	136,9	23,9	libeň-	mezi	vlak



							holešovice		
422	130319	7:59	122,76	65,34	1374	58,3	libeň- holešovice	mezi	vlak
423	130319	8:01	364,67	62,53	403,3	46,7	holešovice	nádraží	vlak
424	130319	8:02	805,17	50,74	154,2	43,3	holešovice	nádraží	vlak
425	130319	8:04	207,9	50,49		15,9	holešovice- bubeneč	holešovice	vlak
426	130319	8:06	431,04	40,5	127,5	16,3	holešovice- bubeneč	mezi	vlak
427	130319	8:08	51,18	62,74	172,8	40,6	bubeneč	nádraží	vlak
428	130319	8:10	480,37	40,55	336	25,5	bubeneč- sedlec	bubeneč	vlak
429	130319	9:21	1021,1	46,6	888,8	57,9	čzu		
430	130319	9:25	551,58	32,73	258,5	48,5	čzu		
431	130319	9:28	930,52	46,63	262,8	62	čzu		
432	130319	11:17	552,09	31,18	289,9	42,8	čzu		
433	130319	11:22	719,38	26,22	317,1	39,4	čzu		
434	130319	11:25	375,57	58,85	167,9	48	čzu		
435	130319	11:27	605,86	52,81	206,2	83,2	čzu		
436	130319	14:49	396,46	59,27	434,4	36	čzu		
437	130319	15:01	708,1	37,45	1321,3	63,4	čzu		
438	130319	15:04	374,1	27,44	245,4	47,8	čzu		
439	130319	15:06	486,81	58,44	569,5	41,8	čzu		
440	130319	18:44	556,58	45,4	181,8	52,8	čzu		
441	130319	18:46	450,12	47,57	425,6	53,9	čzu		
442	130319	18:49	500,97	103,98	259,7	19,4	čzu		
443	130319	18:51	453,31	65,14	220,6	11,5	čzu		
444	130319	20:03	446,18	112,32	269,8	86,5	jarov / spojovací		
445	130319	20:09	1512,21	44,39	497,9	46,5	jarov / spojovací		
446	130319	20:14	406,2	65,85	432,9	42,9	jarov / spojovací		
447	130319	20:16	516,24	58,01	187,4	34,6	jarov / spojovací		
448	130319	20:18	546,45	57,13	673,3	68,8	jarov / spojovací		
449	130319	22:31	413,44	89,59	120	54,4	jarov / spojovací		
450	130319	22:32	709,82	45,18	139,8	59,3	jarov / spojovací		
451	130319	22:35	1121,35	59,7	133,8	42,7	jarov / spojovací		
452	130319	22:36	730,37	46,7	140,4	64	jarov / spojovací		
453	130320	10:56	306,54	54,53	273,3	52,5	jarov /		

							spojovací		
454	130320	10:59	707,38	35,98	418,4	66,9	jarov / spojovací		
455	130320	11:01	426,24	62,38	120,8	48	jarov / spojovací		
456	130320	11:03	786,38	55,6	146,4	29,3	jarov / spojovací		
457	130320	14:00	565,91	104,27	307,9	65,6	jarov / spojovací		
458	130320	14:02	889,08	48,32	212,3	73,4	jarov / spojovací		
459	130320	14:03	801,24	47,6	150,5	43,1	jarov / spojovací		
460	130320	14:05	1369,38	50,1	148,2	59,2	jarov / spojovací		
461	130321	12:55	392,99	46,46	259,4	36,8	libeň	nádraží	vlak
462	130321	12:57	347,56	49,07	158,5	71	libeň	nádraží	vlak
463	130321	12:59	483,42	35,6	192	18,9	libeň- holešovice	libeň	vlak
464	130321	13:01	546,84	33,71	315,8	43,7	libeň- holešovice	mezi	vlak
465	130321	13:03	446,95	45,79	225,1	61,2	holešovice	nádraží	vlak
466	130321	13:07	405,76	64,14	218,2	59	holešovice- bubeneč	bubeneč	vlak
467	130321	13:09	549,73	67,03	349,3	54,3	bubeneč- sedlec	mezi	vlak
468	130321	13:11	398,74	72,86	462,4	19,7	bubeneč sedlec	mezi	vlak
469	130321	14:08	330,1	47,33	259,6	56,3	čzu		
470	130321	14:11	767,88	39,5	578,3	66	čzu		
471	130321	14:13	648,58	46,22	707,4	51,6	čzu		
472	130321	16:20	443,06	46,32	258,4	43,7	čzu		
473	130321	16:23	992,51	56,87	193,3	49,5	čzu		
474	130321	16:24	638,61	46,2	242,8	37,1	čzu		
475	130321	16:26	763,88	35,92	390,6	39,2	čzu		
476	130322	7:54	914,79	65,58	142,4	33,8	čzu		
477	130322	8:00	886,41	54,38	132,4	52,6	čzu		
478	130322	8:02	2104,69	71,6	124,7	37,5	čzu		
479	130322	8:03	2002,05	45,78	413,6	43,4	čzu		
480	130322	8:05	1089,56	70,34	131,8	61,7	čzu		
481	130322	10:01	458,61	43,06	470,7	47,2	čzu		
482	130322	10:03	525,82	55,21	148,2	53,6	čzu		
483	130322	10:04	1007,84	58,18	194,9	41	čzu		
484	130322	10:05	564,66	43,1	331,8	53,4	čzu		
485	130322	10:07	594,82	40,54	298,2	51,6	čzu		

tab. č. 21 - Tabulka měření přenosových rychlostí (vlastní zpracování)

## Vybrané výstupy softwaru SAS

```

Tests for Location: Mu0=2000

Test          -Statistic-    -----p Value-----
Student's t   t   -51.0596    Pr > |t|    <.0001
Sign          M    -201.5       Pr >= |M|   <.0001
Signed Rank   S    -45275      Pr >= |S|   <.0001

Tests for Normality

Test          --Statistic---    -----p Value-----
Shapiro-Wilk  W     0.888263    Pr < W     <0.0001
Kolmogorov-Smirnov D    0.129283    Pr > D     <0.0100
Cramer-von Mises W-Sq  2.016023    Pr > W-Sq  <0.0050
Anderson-Darling A-Sq  12.47591    Pr > A-Sq  <0.0050

```

tab. č. 22 - Část výpisu procedury ze strany 48 pro soubor se značkou *fixni* (vlastní zpracování)

```

Tests for Location: Mu0=2000

Test          -Statistic-    -----p Value-----
Student's t   t   -42.7016    Pr > |t|    <.0001
Sign          M    -28.5        Pr >= |M|   <.0001
Signed Rank   S    -826.5       Pr >= |S|   <.0001

Tests for Normality

Test          --Statistic---    -----p Value-----
Shapiro-Wilk  W     0.863459    Pr < W     <0.0001
Kolmogorov-Smirnov D    0.195858    Pr > D     <0.0100
Cramer-von Mises W-Sq  0.438217    Pr > W-Sq  <0.0050
Anderson-Darling A-Sq  2.312825    Pr > A-Sq  <0.0050

```

tab. č. 23 - Část výpisu procedury ze strany 48 pro soubor se značkou *mobilni* (vlastní zpracování)

```

Wilcoxon Two-Sample Test

Statistic          6495.0000

Normal Approximation
Z                  -7.3875
One-Sided Pr < Z  <.0001
Two-Sided Pr > |Z| <.0001

```

tab. č. 24 - Část výpisu procedury ze strany 51 (vlastní zpracování)

Tests for Location: Mu0=2000			
Test	-Statistic-	-----p Value-----	
Student's t	t -14.9076	Pr >  t	<.0001
Sign	M -16	Pr >=  M	<.0001
Signed Rank	S -264	Pr >=  S	<.0001
Tests for Normality			
Test	--Statistic---	-----p Value-----	
Shapiro-Wilk	W 0.965481	Pr < W	0.3848
Kolmogorov-Smirnov	D 0.091321	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq 0.049632	Pr > W-Sq	>0.2500
Anderson-Darling	A-Sq 0.332776	Pr > A-Sq	>0.2500

tab. č. 25 - Část výpisu procedury ze strany 53 pro soubor se značkou *mimo\_P* (vlastní zpracování)

Tests for Location: Mu0=2000			
Test	-Statistic-	-----p Value-----	
Student's t	t -49.1346	Pr >  t	<.0001
Sign	M -185.5	Pr >=  M	<.0001
Signed Rank	S -38735	Pr >=  S	<.0001
Tests for Normality			
Test	--Statistic---	-----p Value-----	
Shapiro-Wilk	W 0.876185	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D 0.139595	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq 2.17951	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq 13.22111	Pr > A-Sq	<0.0050

tab. č. 26 - Část výpisu procedury ze strany 53 pro soubor se značkou *praha* (vlastní zpracování)

Wilcoxon Two-Sample Test	
Statistic	8592.0000
Normal Approximation	
Z	2.5967
One-Sided Pr > Z	0.0047
Two-Sided Pr >  Z	0.0094

tab. č. 27 - Část výpisu procedury ze strany 55 (vlastní zpracování)

Tests for Location: Mu0=2000				
Test	-Statistic-		-----p Value-----	
Student's t	t	-27.5426	Pr >  t	<.0001
Sign	M	-52.5	Pr >=  M	<.0001
Signed Rank	S	-3208.5	Pr >=  S	<.0001

Tests for Normality				
Test	--Statistic---		-----p Value-----	
Shapiro-Wilk	W	0.862206	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D	0.160995	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq	0.863564	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq	5.126435	Pr > A-Sq	<0.0050

tab. č. 28 - Část výpisu procedury ze strany 56 pro soubor se značkou *czu* (vlastní zpracování)

Tests for Location: Mu0=2000				
Test	-Statistic-		-----p Value-----	
Student's t	t	-9.67717	Pr >  t	<.0001
Sign	M	-19.5	Pr >=  M	<.0001
Signed Rank	S	-556.5	Pr >=  S	<.0001

Tests for Normality				
Test	--Statistic---		-----p Value-----	
Shapiro-Wilk	W	0.830287	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D	0.180838	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq	0.461897	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq	2.817622	Pr > A-Sq	<0.0050

tab. č. 29 - Část výpisu procedury ze strany 56 pro soubor se značkou *dejvice* (vlastní zpracování)

Tests for Location: Mu0=2000				
Test	-Statistic-		-----p Value-----	
Student's t	t	-45.6417	Pr >  t	<.0001
Sign	M	-100	Pr >=  M	<.0001
Signed Rank	S	-10250.5	Pr >=  S	<.0001

Tests for Normality				
Test	--Statistic---		-----p Value-----	
Shapiro-Wilk	W	0.935584	Pr < W	<0.0001
Kolmogorov-Smirnov	D	0.132157	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq	0.563217	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq	3.720261	Pr > A-Sq	<0.0050

tab. č. 30 - Část výpisu procedury ze strany 56 pro soubor se značkou *jarov* (vlastní zpracování)

Tests for Location: Mu0=2000				
Test		-Statistic-		-----p Value-----
Student's t	t	-11.3521	Pr >  t	<.0001
Sign	M	-13.5	Pr >=  M	<.0001
Signed Rank	S	-245	Pr >=  S	<.0001

Tests for Normality				
Test		--Statistic---		-----p Value-----
Shapiro-Wilk	W	0.827228	Pr < W	0.0002
Kolmogorov-Smirnov	D	0.259812	Pr > D	<0.0100
Cramer-von Mises	W-Sq	0.39591	Pr > W-Sq	<0.0050
Anderson-Darling	A-Sq	2.182632	Pr > A-Sq	<0.0050

tab. č. 31 - Část výpisu procedury ze strany 56 pro soubor se značkou *jine* (vlastní zpracování)

Tests for Location: Mu0=2000				
Test		-Statistic-		-----p Value-----
Student's t	t	-14.9076	Pr >  t	<.0001
Sign	M	-16	Pr >=  M	<.0001
Signed Rank	S	-264	Pr >=  S	<.0001

Tests for Normality				
Test		--Statistic---		-----p Value-----
Shapiro-Wilk	W	0.965481	Pr < W	0.3848
Kolmogorov-Smirnov	D	0.091321	Pr > D	>0.1500
Cramer-von Mises	W-Sq	0.049632	Pr > W-Sq	>0.2500
Anderson-Darling	A-Sq	0.332776	Pr > A-Sq	>0.2500

tab. č. 32 - Část výpisu procedury ze strany 56 pro soubor se značkou *mimo\_P* (vlastní zpracování)

Kruskal-Wallis Test		
Chi-Square		10.4131
DF		4
Pr > Chi-Square		0.0340

tab. č. 33 - Část výpisu procedury ze strany 58 (vlastní zpracování)

Wilcoxon Two-Sample Test		
Statistic		4433.5000
Normal Approximation		
Z		1.6026
One-Sided Pr > Z		0.0545
Two-Sided Pr >  Z		0.1090

tab. č. 34 - Test shody průměrů souborů *czu* a *dejvice* pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování)

Wilcoxon Two-Sample Test	
Statistic	16719.5000
Normal Approximation	
Z	-1.4627
One-Sided Pr < Z	0.0718
Two-Sided Pr >  Z	0.1436

tab. č. 35 - Test shody průměrů souborů *czu* a *jarov* pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování)

Wilcoxon Two-Sample Test	
Statistic	2246.5000
Normal Approximation	
Z	-0.0024
One-Sided Pr < Z	0.4990
Two-Sided Pr >  Z	0.9981

tab. č. 36 - Test shody průměrů souborů *czu* a *jine* pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování)

Wilcoxon Two-Sample Test	
Statistic	2950.0000
Normal Approximation	
Z	2.9249
One-Sided Pr > Z	0.0017
Two-Sided Pr >  Z	0.0034

tab. č. 37 - Test shody průměrů souborů *czu* a *mimo\_P* pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování)

Wilcoxon Two-Sample Test	
Statistic	6558.5000
Normal Approximation	
Z	0.8423
One-Sided Pr > Z	0.1998
Two-Sided Pr >  Z	0.3996

tab. č. 38 - Test shody průměrů souborů *dejvice* a *jarov* pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování)

Wilcoxon Two-Sample Test	
Statistic	1136.0000
Normal Approximation	
Z	-1.1752
One-Sided Pr < Z	0.1200
Two-Sided Pr >  Z	0.2399

tab. č. 39 - Test shody průměrů souborů *dejvice* a *jine* pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování)

Wilcoxon Two-Sample Test	
Statistic	1418.0000
Normal Approximation	
Z	1.0192
One-Sided Pr > Z	0.1541
Two-Sided Pr >  Z	0.3081

tab. č. 40 - Test shody průměrů souborů *dejvice* a *mimo\_P* pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování)

Wilcoxon Two-Sample Test	
Statistic	3411.0000
Normal Approximation	
Z	-0.6167
One-Sided Pr < Z	0.2687
Two-Sided Pr >  Z	0.5374

tab. č. 41 - Test shody průměrů souborů *jarov* a *jine* pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování)

Wilcoxon Two-Sample Test	
Statistic	4660.0000
Normal Approximation	
Z	2.5282
One-Sided Pr > Z	0.0057
Two-Sided Pr >  Z	0.0115

tab. č. 42 - Test shody průměrů souborů *jarov* a *mimo\_P* pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování)

Wilcoxon Two-Sample Test	
Statistic	868.0000
Normal Approximation	
Z	-1.6979
One-Sided Pr < Z	0.0448
Two-Sided Pr >  Z	0.0895

tab. č. 43 - Test shody průměrů souborů *jine* a *mimo\_P* pro tabulku na straně 59 (vlastní zpracování)



## Mapové podklady

Mapové podklady poskytla firma Telefónica Czech Republic, a.s. Na mapách označených EDGE modrá barva ukazuje pokrytí GPRS a červená barva pokrytí EDGE. Originály map jsou k diplomové práci elektronicky přiloženy v externím souboru mapy.zip.



mapa č. 1- CDMA 02/2005 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 2- CDMA 01/2007 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 3- CDMA 01/2008 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 4- CDMA 01/2009 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 5- CDMA 01/2010 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 6- CDMA 01/2011 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 7 - CDMA 01/2012 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 8 - CDMA 01/2013 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 9 - GRPS 10/2000 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 10 - GRPS 01/2003 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 11- GRPS 01/2004 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 12 - GRPS 01/2005 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 13- GRPS 01/2006 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 14- GRPS 01/2010 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 15 - GRPS 01/2011 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 16 - GRPS 01/2012 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 17 - GRPS 01/2013 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 18 - EDGE - 01/2008 (zdroj: Telefónica)



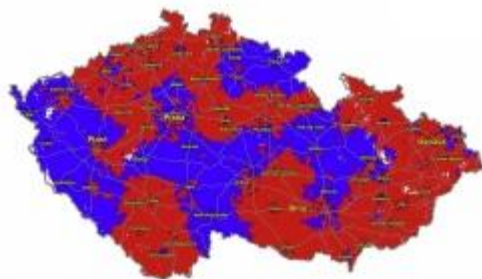
mapa č. 19 - EDGE - 12/2009 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 20 - EDGE - 01/2010 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 21 - EDGE - 04/2010 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 22 - EDGE - 07/2010 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 23 - EDGE 10/2010 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 24 - EDGE 01/2011 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 25 - EDGE 01/2012 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 26 - EDGE 01/2013 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 27 - UMTS 12/2005 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 28 - UMTS 08/2008 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 29 - UMTS 06/2009 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 30 - UMTS 01/2010 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 31 - UMTS 06/2010 (zdroj: Telefónica)



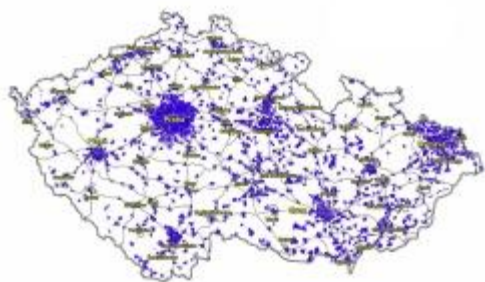
mapa č. 32 - UMTS 01/2011 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 33 - UMTS 01/2012 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 34 - UMTS 06/2012 (zdroj: Telefónica)



mapa č. 35 - UMTS 01/2013 (zdroj: Telefónica)