

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

OBJEKTIVNÍ ANALÝZA DAT ZÍSKANÝCH BĚHEM MĚŘENÍ KVALITY SIGNÁLU

OBJECTIVE ANALYSIS OF DATA OBTAINED DURING QUALITY OF SERVICE MEASUREMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Dopita

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.

BRNO 2017

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Telekomunikační a informační technika**

Ústav telekomunikací

Student: Bc. Michal Dopita

ID: 125403

Ročník: 2

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Objektivní analýza dat získaných během měření kvality signálu

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Zmapujte a porovnejte různé metody měření E2E kvality mobilních sítí (testování kvality pokrytí prováděné měřicími vozidly, aplikace na SIM, speciální aplikace na smartphonech, veřejné aplikace na smartphonech, testy rychlosti připojení). Analyzujte stávající metodiky měření prováděné měřicími vozidly ve společnosti O2 Czech Republic a.s. z pohledu efektivity, nákladů, vypovídací hodnoty, možnosti analyzovat problémy, statistické přesnosti. Porovnejte metody užití měřících vozidel, zaměstnanec vybaveného pro měření prováděného během chůze, stacionární měření, nomadic měření, navrhněte rozumný poměr mezi těmito metodami. Navrhněte novou metodiku měření z pohledu zájmových oblastí zákazníků (města, venkova, silnice, železnice, lokality uvnitř budov či velkých hal apod.) a vypracujte její konkrétní návrh.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] WILLIAM, A., TULLIS, T. Measuring the user experience collecting, analyzing, and presenting usability metrics. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2013. ISBN 9780124157927.

[2] Q4HEALTH: Quality of Service and prioritisation for emergency services in the LTE RAN stack [online]. Networks and Communications (EuCNC), 2016 European Conference, 2016 [cit. 2016-09-27]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7561006/>

Termín zadání: 1.2.2017

Termín odevzdání: 24.5.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc.

Konzultant: Ing. Libor Pezinek, O2 Czech Republic, a.s.

doc. Ing. Jiří Mišurec, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

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

ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena na objektivní analýzu dat získaných během měření kvality signálu a mapování kvality služeb poskytovaných firmou O2 Czech Republic a.s. Účelem studie je zmapovat dosavadní metody, prostředky a způsoby měření. Výsledkem praktické části je návrh nové metodiky měření pro oddělení RAN Management zodpovědné za měření kvality služeb.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kvalita služeb, PESQ, POLQA, LTE, UMTS, GSM

ABSTRACT

This thesis is focused on objective analysis of data obtained during quality of service measurements provided by the company O2 Czech Republic Inc. Purpose of this study is mapping of existing methods, resources and ways of measurement. The result of practical part is design of new methodology of measurement for the department RAN Management, which is responsible for measurement of quality of services.

KEY WORDS

Quality of service, PESQ, POLQA, LTE, UMTS, GSM

DOPITA, M. *Objektivní analýza dat získaných během měření kvality signálu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 113 stran, 3 přílohy. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc..

Poděkování

Zde bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Vladislavu Škorpilovi, CSc. a konzultantovi Ing. Liborovi Pezinkovi za odbornou pomoc, která mi byla poskytnuta při řešení problémů souvisejících s vypracováním této práce, a za trpělivost, kterou se mnou oba měli. Dále bych rád poděkoval své rodině, přítelkyni, kamarádům a kolegům, kteří mě podporovali po celou dobu studia.

V Brně dne

.....
podpis autora

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Objektivní analýza dat získaných během měření kvality signálu“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních nebo majetkových a jsem si plně vědom následku porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....
podpis autora

OBSAH

Úvod	8
1. Historie telekomunikačních sítí	9
1.1 Sítě typu 2G	9
1.2 Sítě typu 3G	10
1.3 Sítě typu 4G	10
1.4 Sítě typu 5G – blízká budoucnost	11
2. Moderní telekomunikační sítě a užívané technologie	12
2.1 Typy telekomunikačních sítí	13
2.1.1 Circuit switching	13
2.1.2 Packet switching.....	13
2.1.3 Public Switched Telephone Network (PSTN).....	13
2.1.4 Integrated Service Digital Network (ISDN)	13
2.2 Technologie mobilních telekomunikačních sítí	14
2.2.1 Global System for Mobile Communication (GSM)	14
2.2.2 General Packet Radio Service (GPRS).....	15
2.2.3 Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)	16
2.2.4 Universal Mobile Telecommunication System (UMTS).....	16
2.2.5 High Speed Packet Access (HSPA)	17
2.2.6 Long Term Evolution (LTE).....	17
2.2.7 WiMAX.....	19
2.2.8 Internet Protocol (IP).....	19
2.2.9 Transmission Control Protocol (TCP).....	19
2.2.10 User Datagram Protocol (UDP).....	19
2.2.11 File Transfer Protocol (FTP)	20
2.2.12 HyperText Transfer Protocol (HTTP)	20
2.2.13 Internet Control Message Protocol (ICMP)	20
2.2.14 Zapojení point to point, point to multipoint, end to end.....	20
2.2.15 Simplexní, poloduplexní a duplexní přenos	21
2.2.16 Mobile Originating Call (MOC) a Mobile Terminating Call (MTC)	21
2.3 Mnohonásobný přístup a multiplexování	22
2.3.1 Frequency Division Multiple Access (FDMA).....	22
2.3.2 Time Division Multiple Access (TDMA).....	22
2.3.3 Code Division Multiple Access (CDMA)	23

2.3.4 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA).....	23
2.3.4 Single-carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)	24
3. Měření kvality služeb.....	25
3.1 Motivace měření kvality služeb.....	25
3.1.1 Metoda Best Effort	26
3.1.2 Metoda integrovaných služeb (IntServ)	26
3.2.2 Metoda diferencovaných služeb (DiffServ)	26
3.2 Metody a parametry hodnocení kvality služeb	27
3.2.1 Parametry pro určení kvality hlasových služeb.....	27
3.2.2 Parametry pro určení kvality datových služeb	29
3.3 Způsoby měření kvality služeb a monitoringu sítě	30
3.3.1 Aplikace na SIM kartě.....	31
3.3.2 Běžně dostupné aplikace pro monitoring sítě.....	31
3.3.3 Profesionální aplikace pro monitoring sítě	36
3.3.4 Drive test	37
3.3.5 Nomadic test	38
3.3.6 Stacionární měření	38
3.3.7 Pěší test	38
4. Monitoring sítě v O2 Czech republic a.s.	40
4.1 O2 Czech republic a.s.	40
4.2 Pokrytí v České republice	40
4.3 Oddělení RAN Management.....	46
5. Výběrové řízení na dodavatele měřicího zařízení	47
6. Metodika zpracování výsledků měření.....	50
6.1 Výsledky měření QoS parametrů hlasových služeb.....	50
6.2 Výsledky měření QoS parametrů datových služeb.....	53
7. Úvod do návrhu nové metodiky	56
7.1 Potřeby zákazníka.....	56
7.2 Nedostatky stávající metody	62
8 Metodika měření kvality služeb	64
8.1 Oblasti měření	64
8.1.1 Pořadí měření okresů	65
8.1.2 Měření ve městech.....	68
8.1.3 Měření na dopravních komunikacích.....	69
8.1.4 Měření v prostředcích hromadné dopravy, vlacích, autobusech a metru	69
8.1.5 Měření v oblastech s významným cestovním ruchem	72

8.2 Plánování měření z hlediska času	72
8.2.1 Roční rozvrh oddělení RAN Management	72
8.2.2 Rozdělení měřených objektů dle denní doby.....	75
8.3 Měřené služby a metody měření	77
8.3.1 Měření hlasových služeb	77
8.3.2 Měření datových služeb	78
8.3.3 Měření služeb SMS, MMS a Video-streaming	78
8.3.4 Výsledná kombinace měřených služeb	79
8.3.5 Vhodný poměr mezi užitými metodami	79
8.4 Praktický příklad užití nové metodiky	80
8.5 Zkušební měření dle nové metodiky	87
9. Závěr	96
LITERATURA	97
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	100
SEZNAM PŘÍLOH	104
A. Příložený disk.....	105
B. Tabulka měst dle počtu obyvatel s minimálně 10 000 obyvatel.....	106
C. Tabulka měst dle okresů s minimálně 10 000 obyvatel	110

Úvod

Kvalita služeb neboli anglicky Quality of Service (QoS) se čím dál více stává faktorem klíčové rozdílnosti v otázce získání, uspokojení a udržení stabilního či v lepším případě narůstajícího počtu zákazníků mobilních sítí. Užitím vhodných metod měření, nástrojů a efektivním využitím lidských zdrojů, mohou výsledky měření být vypovídající hodnotou o pozici na trhu z pohledu koncového zákazníka.

Úkolem této práce je zaměřit se na metody a způsoby měření kvality signálu a jejich porovnání. Konkrétním cílem je nejprve analýza metod a způsobů měření kvality signálu a poskytovaných služeb a vysvětlení pojmů s tím souvisejících. Poté následuje zmapování možností pro zlepšení do budoucna a návrh vhodné metodiky měření. Celkově je účelem náhled nezaujatého pozorovatele na metody užívané v O2 Czech Republic a.s., objevit slabá místa a nalézt vhodné řešení. Součástí je i shrnutí výběrového řízení na dodavatele měřícího zařízení pro společnost O2 Czech Republic a.s. (O2). Práce byla zpracována ve spolupráci s oddělením RAN Management zaměřeným na měření kvality signálu a monitorování sítě.

Součástí studie je tvorba návrhu vhodného řešení pro firmu do budoucna, které bude přijatelné zejména z hlediska realizovatelnosti, praktické zvládnutelnosti vzhledem k počtu zaměstnanců oddělení a efektivitě měření. V rámci diplomové práce je vysvětlen konkrétní návrh a poté jsou zahrnuty výsledky měření za použití této metody.

První kapitola je zaměřena na historii digitálních telekomunikačních sítí od sítí 1. generace až po v budoucnu nastupující síť 5. generace. V rámci druhé kapitoly jsou rozvedeny a vysvětleny různé systémy, technologie a principy užití v rámci digitálních telekomunikačních sítí. Jedná se o názvosloví, jehož znalost je nutná pro následující kapitoly. Třetí kapitola je věnována měření kvality služeb QoS (Quality of Service). Vysvětlena je nejen obecná specifikace a měřené parametry, ale jsou definovány i metody a analyzovány aplikace, pomocí kterých jsou jednotlivé parametry monitorovány. Čtvrtá část se zabývá samotnou společností O2 a jejím představením. Je zde zmapováno pokrytí v České republice touto společností a její konkurencí. Dále je vysvětleno, na kterých frekvenčních pásmech společnost O2 operuje a jedna podkapitola je věnována přímo oddělení RAN Management. Pátá kapitola diskutuje výběrové řízení, které proběhlo v roce 2013. V rámci tohoto výběrového řízení byl vybrán dodavatel, který opatří O2 vybavením pro měření QoS. V rámci této kapitoly jsou zhodnoceny výsledky tohoto výběrového řízení spolu se stručným popisem vybraných produktů. Šestá kapitola se zabývá metodikou zpracování výsledků firmou O2, které byly získány z dat naměřených během monitorování sítě. Také jsou prezentovány výsledky z dubna 2016, které dávají nahlédnout na momentální stav sítě z pohledu měření kvality datových a hlasových služeb a demonstrují stávající metodiku. Sedmá kapitola obsahuje analýzu potřeb zákazníka nedostatků vyzorovaných během procesu měření. Kapitola je podložena dotazníkem vypracovaným k účelům této práce a obsahuje i návrhy na zlepšení. Osmá kapitola obsahuje vlastní návrh nové metodiky pro měření spolu s konkrétním příkladem užití. Poté jsou zařazeny, diskutovány a vyhodnoceny vlastní výsledky měření za použití nové metodiky. V závěru práce jsou hodnoceny důsledky plynoucí z této práce.

V rámci této práce jsem čerpal nejen z použitých zdrojů, ale i ze zkušeností a poznatků z praxe, která proběhla právě v oddělení RAN Management ve firmě O2 Czech Republic a.s. Práce byla zpracována pro účely oddělení RAN Management jako pohled nezaujatého pozorovatele.

1. Historie telekomunikačních sítí

Odedávna se v lidském pokolení objevovala touha dorozumívat se na dlouhé vzdálenosti. Pokud vezmeme historii telekomunikací naprosto od základu, dostali bychom se hluboko do historie, kdy byly používány kouřové signály, popř. další alternativy. Nicméně to je pro tuto práci irelevantní, proto je této části věnována jenom krátká stať. Skutečná telefonie začíná v roce 1838, kdy Samuel Morse vynalezl systém, jak přenášet na dálku písmena abecedy. První telegraf tvořený měděnými dráty vedl mezi městy Washington a Baltimore. Poté následovaly neúspěšné pokusy utvořit spojení mezi Evropou a Amerikou, které vyvrcholily úspěšným pokusem mezi léty 1851 – 1865. Tyto události byly následovány dalším mezníkem, kterým bylo sestrojení první funkčního telefonu v roce 1876, o které se postaral Alexander Graham Bell. Po 2. světové válce přišly na řadu první bezdrátové telefony v podobě, jak je chápeme dnes. Jednalo se spíše o vysílačky, které byly doplněny baterií vážící tehdy 35 kg. Tento vynález měla na svědomí americká firma AT&T. V roce 1970 následoval vynález optického kabelu britskou firmou Corning Glass Works.

Poté přišel na řadu další vývoj telekomunikačních sítí a vznik mobilní sítě 1. generace, která je dále označována jako síť typu 1G. Jednalo se o analogový přenos hlasu (přenos spojitého signálu, čili přenos hlasu „tak, jak je“). Tento vývoj započal v roce 1979 v Japonsku (pokrytí Tokya firmou NTT za pomoci 23 základnových stanic, v roce 1984 už celé Japonsko), v roce 1981 následovalo pokrytí Dánska, Finska, Norska a Švédska systémem Nordic Mobile Telephone [1], [2],[3].

1.1 Síť typu 2G

Sítě 2. generace se spustily do provozu na počátku 90. let (první síť zprovozněna pro komerční účely v roce 1992) a jejich příchod znamenal velký krok dopředu v oblasti sítí pro mobilní telefony. Jedná se už o digitalizované sítě. Fungují především na principu **GSM** (Global System for Mobile Communication) a **CDMA** (Code Division Multiple Access). Taktéž došlo k představení služby **SMS** (Short Message Service) v roce 1993, která umožňovala výměnu textových zpráv mezi uživateli. V roce 1999 japonská firma NTT uvedla do provozu první službu umožňující připojení k internetu. Do sítí této generace lze zahrnout i technologie **GPRS** (General Packet Radio Service) a **EDGE** (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), které jsou také často označovány jako technologie sítě 2,5 G. Další novinkou těchto sítí jsou např. i multimediální zprávy **MMS** (Multimedia Messaging Service) umožňující výměnu např. obrázku, fotek nebo vyzváněcích tónů či dalších multimediálních souborů mezi uživateli. Mezi novinky taktéž patří užití kodeků (v angličtině codec – zařízení nebo program umožňující kódování a následné dekódování u požadovaných dat) pro kompresi a multiplex přenášených dat. V rámci sítí typu 2G taktéž došlo k začátku užívání **SIM** (Subscriber Identity Module) čipových karet, které po zavedení do telefonu dokázaly mezi sebou jednoznačně rozlišit uživatele v síti a staly se jejich unikátním identifikátorem, který se používá ve zmenšených podobách dodnes [3].

1.2 Síť typu 3G

Rozvoj a uvedení do provozu sítí 3. generace ve skutečnosti začal až po roce 2000, přestože samotný standard 3G pochází už z roku 1998, ke zprovoznění první komerčně využívané sítě došlo v roce 2001. Jako nejpoužívanější přístupovou metodu této generace sítí je třeba zmínit **WCDMA** (Wideband Code Division Multiple Access). Jako významné technologie lze uvést **UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System) a **HSPA** (High Speed Packet Access).

Obecně se jedná o sítě, které umožnily nasazení chytrých telefonů. Jako novinku představil tento typ sítí především možnost videohovorů. Soustředí se však celkově na hlasové hovory, přístup k internetu, videohovory a mobilní televizi. Minimální požadovaná přenosová rychlost je 200 *kbit/s*, avšak pyšní se teoretickými rychlostmi až 42 *Mbit/s*. Novinkou těchto typů sítí je technologie **WiMAX** (Worldwide Interoperability for Microwave Access). Obecně se systémy užívané v rámci sítí 3. generace nazývají **IMT-2000** (International Mobile Telecommunication in the year 2000).

Další novinkou těchto sítí je technologie **MIMO** (Multiple Input Multiple Output). Tato technologie přináší usnadnění z pohledu vysokých požadavků na přenosové rychlosti. Jak vyplývá z názvu, je zde využito několik antén na straně vysílače a několik antén na straně přijímače. To znamená, že jedna anténa může přijímat signál z více antén. Je zde tedy pracováno s několika datovými signály vyslanými najednou různými cestami v síti v rámci jednoho přenosového kanálu. Propustnost sítě lze tedy navýšit tím, že se připojí více antén. V praxi je možné využít až 16 antén v otevřeném prostoru [3].

1.3 Síť typu 4G

Sítě tohoto typu jsou označovány jako bezdrátové sítě 4. generace. Jedná se o nástupce sítí 3G, který byl definován v březnu 2008. Jedná se o velmi výkonné sítě. Dle **ITU** (International Telecommunication Unit) by měla zařízení podporující sítě 4G být schopna výměny dat až ve výši 100 *Mbit/s*. Těchto rychlostí je v současné době již dosahováno. Pro chod sítě je ve velké míře užito modulace **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplex) a **SC-FDMA** (Single Carrier Frequency Division Multiple Access). Největší novinkou sítí 4. generace je technologie **LTE** (Long Term Evolution). Technologie, které splňují požadavky **ITU**, jsou i pokročilé verze technologií **LTE** a **WiMAX** nazvané **LTE Advanced**, **LTE Advanced Pro** (označováno někdy jako technologie sítí 4,5 G) a **WiMAX Release 2**. V praxi označení LTE odkazuje právě na technologii sítě typu 4G a vždy tedy mluvíme v souvislosti s touto prací o LTE jako o technologii sítí 4. generace, kde zaznamenala největší rozmach, přestože její základy byly položeny již v rámci sítí typu 3G. Síť 4. generace měly obecně přinést možnost vyšších přenosových rychlostí, což je vzhledem ke stoupající vytíženosti telekomunikačních sítí klíčovým faktorem. Dalšími změnami by měla být nová frekvenční pásma a celkově širší pásma umožňující větší kapacitu pro simultánní provoz různých technologií. Jedná se o sítě, kde je využívána prakticky jen technologie přepojování paketů a je užito pouze IP protokolu naskrz celou sítí [3].

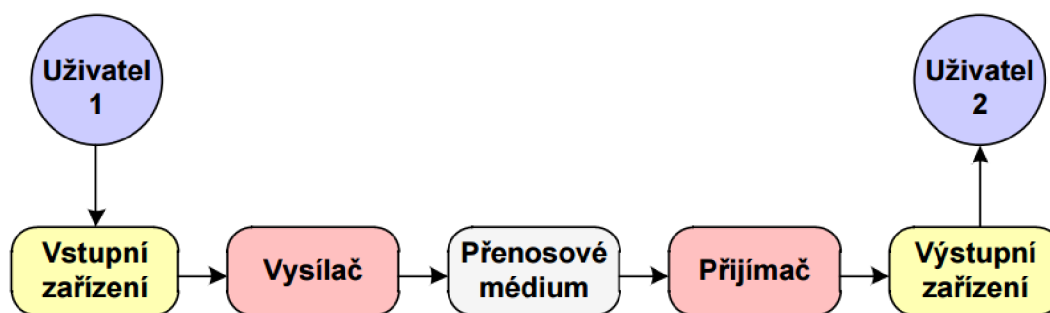
1.4 Síť typu 5G – blízká budoucnost

Vzhledem k velkému rozvoji telekomunikačních sítí, které ulehčují lidský život z mnoha hledisek, se dá očekávat požadavek na nové síťové technologie a výkonnější síť ve velmi blízké budoucnosti. Oproti minulosti nyní můžeme používat chytré telefony v kombinaci s datovým připojením k mnoha činnostem – platby, vyhledávání informací, komunikace, sledování filmů, poslech hudby, vytváření dokumentů a práce s nimi, navigace **GPS** (Global Positioning Systém), fotografování, plánování, využívání sociálních sítí, sdílení souborů apod. To, jak rychle dokážeme provádět veškeré úkony, do značné míry ovlivňují přenosové rychlosti. Nová generace sítí, síť 5. generace, by měla přinést přenosové rychlosti v řádech gigabitů. Maximální rychlostí by pak údajně byla rychlost až 50 *Gbit/s*, což by znamenalo např. stažení filmu v HD kvalitě v řádu desetin sekundy. Pro komerční účely by tento typ sítí měl být uveden do provozu již v roce 2020. Na vývoji těchto sítí se však pracuje již od roku 2008.

2. Moderní telekomunikační sítě a užití technologie

Telekomunikační síť lze nazvat soustavu vzájemně propojených telekomunikačních zařízení, která umožňuje komunikaci různých účastníků provozu mezi sebou navzájem. Samotnou síť lze rozdělit na přenosové cesty a síťové prvky. Síť lze rozdělit i na základě principu, na kterém jsou založeny a schématu, jakým způsobem jsou data doručena od vysílače k přijímači, popř. od jednoho uživatele ke druhému. Jedním z takovýchto principů je například rozdělení na **sítě s přepojováním okruhů** a na **sítě s přepojováním paketů**. Síť se taktéž dělí z hlediska užitých technologií, způsobů práce se signálem atd. Tato podkapitola se věnuje definování a vysvětlování typů sítí a síťových technologií, jejichž znalost je klíčová pro následující analýzu metod měření kvality signálu a monitoring sítě. Zároveň shrnuje princip telekomunikačního přenosu.

Pro začátek si je však potřeba vysvětlit, jakým způsobem funguje provoz v telekomunikačních sítích. V sítích je obrovské množství uživatelů, jelikož v dnešní době disponuje prakticky každá osoba v České republice mobilním telefonem. Pro názornost se zaměříme na obecný provoz, který probíhá při výměně informací mezi dvěma uživateli. Schéma komunikace je zobrazeno na obrázku 2.1 níže.



Obr. 2.1: Zjednodušené blokové schéma datové komunikace, převzato z [4].

Jak je vidět, Uživatel 1 vyšle vstupní informaci, pro názornost to může být např. zpráva **SMS** (Short Message Service), pomocí vstupního zařízení, kterým je chytrý telefon. Zpráva je poté vyslána směrem k Uživateli 2. V rámci odeslání probíhá ještě větší množství procedur jako je např. modulace. Tyto kroky budou blíže zmíněny v rámci této kapitoly. Data jsou šířena přenosovým médiem, kterým je telekomunikační síť. Poté je zpráva přijata na straně přijímače, kterým může být opět chytrý telefon, následně je zobrazena a Uživatel 2 si zprávu přečte, tím pádem je dokončen přenos informace od Uživatele 1 k Uživateli 2. Pojmy vysvětlené v této kapitole se stávají ať už více či méně předmětem měření kvality signálu a operuje s nimi měřící zařízení užitá k monitoringu sítě [4], [5].

2.1 Typy telekomunikačních sítí

2.1.1 Circuit switching

Technologie přepojování okruhů (circuit switching, **CS**) je typická pro telekomunikační sítě, zejména pro přenos hlasu (hlasové hovory). Podstatou je, že před samotným zahájením komunikace mezi dvěma body, dojde k sestavení komunikačního kanálu, který je pro komunikaci vyhrazen po celou dobu hovoru. Jedná se o technologii, která zaručuje minimální zpoždění, což je pro hlasové hovory velmi žádoucí, nicméně např. pro datové služby se jedná o zbytečné plýtvání prostředky sítě. Všechna data jsou šířena stejnou cestou a jsou doručena ve stejném pořadí, jako byla odeslána. Jedná se o spolehlivý způsob přenosu [6].

2.1.2 Packet switching

Tato technologie, která je nazvána přepojování paketů (packet switching, **PS**) je založena na odlišném principu než přepojování okruhů. U této technologie neexistuje žádný předem sestavený kanál. Data nesou informaci o cílové destinaci a pořadí, ve kterém byla odeslána. Data jsou zpracována v přepojovacích uzlech, které rozhodují o zvolení následující cesty datového toku ke koncovému zařízení. Vlastní sestavování původní zprávy probíhá na koncovém zařízení. Jedná se o metodu, která není tak náročná na prostředky sítě, nicméně jedná se o službu nespolehlivou, čili může docházet k duplicitám, popř. opětovnému odesílání na základě nekompletní zprávy. Tato technologie je vhodná v telekomunikačních sítích pro datové služby, nicméně s rozvojem telekomunikačních sítí se již v sítích 4. generace používají i k přenášení hlasových hovorů. Lze tedy očekávat, že v budoucnosti bude celý telekomunikační systém založen na síti s užitím technologie přepojování paketů [6].

2.1.3 Public Switched Telephone Network (PSTN)

V češtině je tato síť označována jako **Veřejná telefonní síť** a často se označuje jen zkratkou **PSTN**, která odkazuje na anglický název Public Switched Telephone Network. Jak vyplývá z názvu, jedná se o celosvětovou veřejnou telefonní síť. Síť je založena na principu přepojování okruhů a byla vytvořena k účelu zprostředkování hlasových hovorů. Dnes je už téměř kompletně digitalizována. Lze do ní zahrnout nejen koncová zařízení, ale i kabeláž a ústředny.

2.1.4 Integrated Service Digital Network (ISDN)

Integrated Service Digital Network označovaná taktéž zkratkou **ISDN** je digitální telekomunikační síť. Českým ekvivalentem je název **Digitální síť integrovaných služeb**. Je určena nejen k přenosu hlasu nicméně i k přenosu videa, fotek, popř. dalších dat simultánně – proto je v názvu přídatné jméno integrovaný. Všechny služby jsou převedeny do jednoho datového toku. Jedná se o síť duplexní (umožněn provoz v obou směrech), která funguje na principu přepojování okruhů (úzkopásmová ISDN) i na principu přepojování paketů (širokopásmová ISDN, označována spíše jako **ATM** – Asynchronous Transport Mode). ISDN disponuje přenosovou rychlostí 64 *kbit/s* na přenosový kanál.

Tato technologie byla definována v roce 1984. Jednalo se o revoluční přechod od analogových sítí k sítím digitálním. Technologie využívá dva typy kanálů: kanál typu *B* (určen k přenosu samotných dat) a kanál typu *D* (určený k signalizaci rozhodující o sestavení okruhu apod.). V dnešní době již neslouží k datovým přenosům ale především k přenosům hovorů, popř. videohovorů [7], [8].

2.2 Technologie mobilních telekomunikačních sítí

2.2.1 Global System for Mobile Communication (GSM)

GSM je zkratkou pro Global System for Mobile Communication, což je systém určený k využití v oblasti telekomunikací. V první fázi vývoje byl využit pouze k přenosu hovorových signálů, později byl využit i k přenosu dat typu text, popř. obraz (**SMS**, **MMS**). Efektivně využívá přidělená kmitočtová pásma. Velkou výhodou je kompatibilita s různými sítěmi po celém světě pomocí tzv. **roamingu**. Velmi revolučním krokem bylo také zavedení možnosti předplacených karet, což umožnilo běžným uživatelům využívat služeb bez faktické smlouvy a nutných měsíčních výdajů. Tento krok přispěl k velkému rozšíření. Jako přístupový bod pro uživatele vlastního např. telefon do systému GSM je základnová stanice **BTS** (Base Transceiver Station), ke které se uživatel připojuje přes mobilní telefon. Mezi technologie, které byly uvedeny v souvislosti se systémem GSM, patří např. **GPRS**, **EDGE**. Konkurenčním systémem systému GSM je **CDMA**, kterým se vzhledem k zaměření této práce (telekomunikační trh v České republice) nebude studie příliš zabývat.

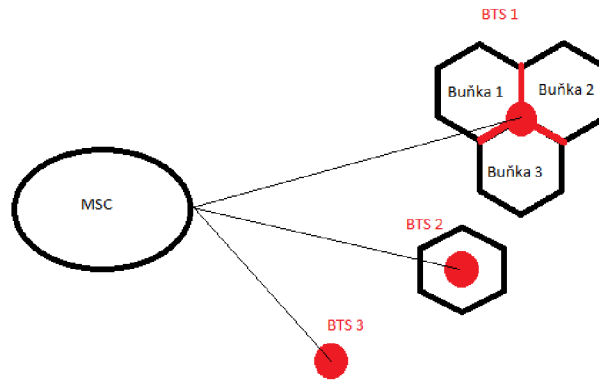
Celkově systém pracuje na třech frekvenčních pásmech. Jako první je to 890-960 MHz, kdy část pásma (subpásma) 890-915 MHz je použita pro Downlink (přenos od základnové stanice k uživateli) a subpásma 935-960 MHz pro Uplink (přenos od uživatele k základnové stanici). Druhým pásmem je kmitočtový rozsah 1710-1880 MHz (1710-1785 MHz pro Uplink a 1805-1880 MHz pro Downlink). Třetím pásmem je pak rozsah 1850-1990 MHz (1850-1910 MHz pro Uplink a 1930-1990 MHz pro Downlink). Třetí pásmo se však v Evropě nevyužívá.

Každé pásmo je rozděleno na určitý počet kanálů. Např. první pásmo, nazývané **PGSM** (Primary GSM), je rozděleno na 124 duplexních kanálů, z nichž každý je označen identifikátorem nabývajícím hodnot 1-124. Tento identifikátor je označen **ARFCN** (Absolute Radio Frequency Channel Number). Obě subpásma pro PGSM, jak pro Downlink tak pro Uplink, obsahují tedy 124 kanálů. Dva kanály se stejným **ARFCN** tvoří duplexní kanál.

Každý kanál je dále rozdělen na 8 časových intervalů neboli **Time Slotů** (TS). Těchto 8 Time Slotů tvoří dohromady rámec **TDMA** (Time Division Multiple Access). Každý Time Slot obsahuje jeden účastnický kanál při užití kodéru s plnou rychlostí **FR** (Full Rate) a dva účastnické kanály při užití kodéru s poloviční rychlostí **HR** (Half Rate). Maximální počet účastnických kanálů je tedy 992 (124 kanálů * 8 účastnických kanálů) pro FR, resp. 1984 (124 kanálů * 16 účastnických kanálů) pro HR.

Celkově lze rozdělit tento systém i na základě plochy či oblasti. Celý systém GSM lze rozdělit na oblasti podle mobilních radiotelefonních ústředen **MSC** (Mobile Switching Center). Celkově je možné dělení i na základě oblasti, kterou spravuje určitý operátor, nicméně to je pro účel této práce irelevantní. Pod každou ústřednu spadá určité množství základnových stanic **BTS** (větší množství BTS spravuje základnová řídicí jednotka **BSC** – Base Station Controller). Tyto stanice lze bezpečně rozpoznat podle identifikátoru **BSIC** (Base Station Identity Code). Dále, pokud půjdeme hlouběji do struktury systému, lze celkově plochu rozdělit na jednotlivé buňky, což jsou nejmenší

segmenty. Tyto buňky jsou identifikovány pomocí **Cell ID** identifikátoru. Jedna stanice BTS může zodpovídat za správný chod sítě v jedné či více buňkách. Zjednodušené schéma této architektury relevantní pro tuto práci je na obrázku 2.2 níže. Jednotlivá zařízení v síti dostávají od BTS zprávy o kvalitě a výkonu sítě, kterou poskytují. S tím souvisí např. parametr **Rxlev** (0-63, rozřazuje BTS podle výkonu v *dBm*, 63 nejlepší) a **RxQual** (0-7, hodnocení z hlediska chybovosti, 0 nejlepší) [9].



Obr. 2.2: Rozdělení oblastí v systému GSM.

2.2.2 General Packet Radio Service (GPRS)

Technologie známá jako **GPRS** je zkratkou pro General Packet Radio Service. Ve skutečnosti se jedná o datovou službu systému GSM. Ta přinesla možnost připojení k internetu. Poprvé bylo využito principu přepojování paketů. Předchozí služba užitá pro datové služby s názvem **CSD** (Circuit Switched Data), fungovala na principu přepojování okruhů. Tím pádem pokaždé, když chtěl uživatel např. stáhnout do telefonu nějakou aplikaci, musel se sestavit datový kanál. Uživatel tedy platil nikoli za objem dat, jak je to normální v dnešní době, ale za dobu připojení. GPRS v tomto přineslo zásadní změnu a uživatel platil buď za objem dat, popř. za datové služby obecně v rámci jeho vyúčtování.

GPRS přineslo teoretickou rychlost až 171,2 *kbit/s*. Nicméně reálná nejvyšší přenosová rychlost pro Downlink je 80 *kbit/s* při použití 4 TS, praktická rychlost se však pohybuje okolo 50 *kbit/s*. Jak bylo zmíněno výše, přenos dat byl založen na principu přepojování paketů s využitím protokolu **IP** (Internet Protocol). Při přenosu dat nebylo spojení směřováno do klasické telefonní sítě, ale do jednotek obsahující modemy.

Zařízení neboli mobilní stanice (**MS**, taktéž lze použít zkratku **UE** – User Equipment), na kterých technologie GPRS funguje, lze rozdělit do tří skupin:

- Třída A – umožňuje simultánní provoz hlasových služeb i datových služeb GPRS,
- Třída B – umožňuje buď provoz hlasových služeb nebo datových služeb, nicméně je umožněno kontrolování obou služeb najednou (např. uživatel pracuje s daty GPRS, ale stále je umožněno, aby odpověděl na příchozí hovor za podmínky, že po čas hovoru dojde k pozastavení přenosu dat),
- Třída C – umožňuje buď provoz hlasových nebo datových služeb.

Celkově GPRS přineslo možnost efektivnějšího využití dat a celkové snížení ceny za datové služby, což bylo nezbytným krokem v době, kdy se začala rozvíjet multimédia ve spojitosti s užitím mobilních telefonů. Pro zavedení tohoto standardu muselo dojít k úpravám v rámci MS i BTS. Stejně tomu tak bylo i při nástupu další technologie – **EDGE** [9],[10].

2.2.3 Enhanced Data Rates for GSM Evolution (EDGE)

Enhanced Data Rates for GSM Evolution spíše používaný pod zkratkou EDGE je standard, který po nástupu GPRS umožnil zvýšit celkovou přenosovou rychlost v systémech GSM (až 3-krát oproti GPRS). Tento rozdíl je udán především faktem, že u technologie EDGE byl použit jiný typ modulace, konkrétně **8-PSK** (Phase Shift Keying). Oproti tomu u technologie GPRS bylo použito modulace **GMSK** (Gaussian Minimum Shift Keying). Opět se jedná o princip přepojování paketů. Maximální přenosová rychlost pro Downlink je udávána až 238,6 *kbit/s*, nicméně reálně se pohybuje zhruba kolem 150 *kbit/s*. EDGE obsahuje i rozšíření standardu GPRS s názvem Enhanced GPRS a zkratku **EGPRS** [9].

2.2.4 Universal Mobile Telecommunication System (UMTS)

Pod zkratkou UMTS se skrývá **Univerzální mobilní telekomunikační systém** (v angličtině Universal Mobile Telecommunication System). Jedná se o mobilní radiokomunikační systém 3. generace. Přenosová rychlost se pohybuje v rozmezí od 144 *kbit/s* až do 2 *Mbit/s* v závislosti na rychlosti pohybu MS. Systém funguje na principu přepojování paketů, ale i na principu přepojování okruhů. Část fungující na principu přepojování okruhů je určena především k hlasovým hovorům. Druhá část, fungující na principu přepojování paketů, je určena k přenosu dat. Rozsah nově užitých frekvencí tohoto systému je 1885-2200 *MHz* (v ČR 1920-2170 *MHz*). Na první pohled viditelnou nevýhodou oproti systému GSM může být zvolený rozsah užitých frekvencí. Při stejném výkonu antény je totiž vzhledem k vysoké frekvenci efektivní dosah účinnosti signálu znatelně kratší. Přístupovou metodou do sítě je širokopásmový kódový multiplex **WCDMA** a hojně užívanou modulací je **QPSK** (Quadrature Phase Shift Keying).

V podstatě lze samotnou síť systému UMTS rozdělit na dvě části. Jelikož je u nových systémů vždy nutné zajištění kompatibility se systémy předchozími (v tomto případě GSM), je tomu tak i u UMTS. Jedná se tedy, jednoduše řečeno, o síť novou a síť starou. Celkově lze strukturu UMTS rozdělit na uživatelské vybavení **UE**, rádiovou přístupovou síť **RAN** (Radio Access Network) zajišťující přenosové a přepojovací funkce a jádro sítě **CN** (Core Network), které řídí provoz systému.

Síť RAN se tedy skládá, jak je zmíněno výše, ze dvou částí – **UTRAN** (UMTS Terrestrial Radio Access Network) a **GERAN** (GSM EDGE Radio Access Network). UTRAN tedy operuje ve frekvenčním pásmu 1885-2200 *MHz* a GERAN odpovídá frekvenčnímu rozsahu systému GSM. Struktura sítě UTRAN je obdobná jako u GERAN, nicméně objevuje se pár rozdílů. Především základnové stanice jsou v UTRAN označeny jako základny uzlu **Node B** (Node Base) a základnová řídicí jednotka je zde označena jako **RNC** (Radio Network Controller).

Základna uzlu Node B se stará o řízení výkonu UE, kmitočtovou a časovou synchronizaci, měření radiových signálů pro **handover** (přeladování komunikace mezi UE a BTS/Node B na jinou BTS/Node B v závislosti na kvalitě poskytnutého spojení) a monitoring zatížení buňky. Základnová řídicí jednotka RNC řídí kontrolu části sítě UTRAN v jeho kompetenci a dále přerozděluje poskytované

frekvenční pásmo. Jednotlivé kanály jsou zde označeny pomocí identifikátorů **UARFCN** (UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number).

Oproti GSM přináší UMTS několik novinek, jako je např. **makrodiverzita**, což znamená, že buď pro směr Downlink nebo Uplink je signál přijímán/odesílán z/na více základen uzlu Node B. Tato makrodiverzita je žádoucí pouze pro směr Uplink, jelikož na základnách uzlu nedochází k interferencím, což u Downlinku, kdy UE přijímá signál z více základen Node B, zaručit nelze. Pro využití makrodiverzity i pro směr Downlink je navržen tzv. přijímač **RAKE**, který problém interference řeší pomocí korelace a následného váhování přijatých signálů. Makrodiverzita je u systému UMTS nově využita během handoveru, kdy přepojení na jiný Node B probíhá plynuleji. Tento typ handoveru se nazývá **měkký handover**. Novinkou je taktéž kódování řečového signálu pomocí **AMR** (Adaptive Multi-rate Speech Coding), které využívá kódování s proměnlivou přenosovou rychlostí. To znamená, že v okamžiku, kdy uživatel nevysílá řečový signál, je zasílán komfortní šum a tím dochází k šetření prostředků sítě [9],[10].

2.2.5 High Speed Packet Access (HSPA)

Technologie systému UMTS se zkratkou **HSPA** neboli High Speed Packet Access je technologie sítě 3. generace, která se opět zasloužila o zvýšení přenosových rychlostí v telekomunikačních sítích a snížení zpoždění jednotlivých služeb a úkonů. Opět se jedná o technologii užívající přístupovou metodu širokopásmového kódového multiplexu **WCDMA**. Přinesla zvýšení přenosové rychlosti až na 14 *Mbit/s* ve směru Downlink. V podstatě sestává ze dvou protokolů, z nichž jeden je **HSDPA** (High Speed Downlink Packet Access) a druhý **HSUPA** (High Speed Uplink Packet Access). Dalším stupněm vývoje technologie HSPA je **Evolved High Speed Packet Access** se zkratkou **HSPA+**, který opět zvyšuje přenosovou rychlost.

Protokol HSDPA byl prvním rozšířením této technologie. Užívá modulaci **QPSK** a kvadraturní amplitudovou modulaci **16QAM** (Quadrature Amplitude Modulation). Následně došlo k uvedení do provozu protokolu HSUPA, který přinesl svým zlepšením přenosových rychlostí možnosti pro služby **VoIP** (Voice over Internet Protocol, přenos hovoru pomocí technologie přepojování paketů nikoli okruhů) a posílání rozsáhlých emailů, které mohou obsahovat velké přílohy.

Následně protokol HSPA+ dosahuje nejvyšších přenosových rychlostí z této skupiny. Využívá modulaci **64QAM**. Díky tomu je schopna technologie HSPA+ přenosové rychlosti teoreticky až 42 *Mbit/s*. Je kombinací protokolů HSDPA a HSUPA. Taktéž umožňuje sloučení Node B a RNC do jedné položky – **Node B**. Jako novinku přináší i tzv. **plochou architekturu**, kdy data prochází jinými bloky než řídicí informace [9],[10].

2.2.6 Long Term Evolution (LTE)

LTE je zkratkou pro **Long Term Evolution**, což je momentálně nejmodernější technologií užívanou v České republice pro přenos dat. Samotný systém se označuje v praxi jako síť 4. generace. Ve směru Downlink přináší rychlosti větší než 100 *Mbit/s*. Konkrétně O2 Czech republic a.s. (O2) uvádí až 110 *Mbit/s*. O2 bylo taktéž prvním mobilním operátorem, který uvedl síť na principu LTE v České republice do provozu již v červnu 2012 v Jesenici. Opět se jedná o kompatibilní systém se systémy předchozími (GSM, UMTS). Systém umožňuje užití frekvenčního duplexu **FDD** (Frequency Division Duplex) i časového **TDD** (Time Division Duplex).

LTE pracuje na různých frekvenčních pásmech, která jsou v některých případech vyhrazena i předchozím systémům (GSM, UMTS). Momentálně se v České republice jedná o pásma 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz a 2600 MHz. Momentální mapu pokrytí u jednotlivých operátorů a používané frekvence lze nalézt na stránkách **ČTÚ** (Český telekomunikační úřad). S rozvojem různých technologií jako je GSM, UMTS a LTE (lze obecně označit jako radiové přístupové technologie **RAT** – Radio Access Technology) roste nárok na mobilní stanice, kdy je vyžadována podpora různých technologií jedním zařízením. Pokud zařízení podporuje např. dvě technologie (např. GSM a UMTS, resp. 2G a 3G), hovoříme o zařízení s technologií **dual-RAT**. Pokud je telefon kompatibilní pro 3 různé technologie (GSM, UMTS, LTE, resp. 2G, 3G a 4G – pokud jde o LTE Advanced), hovoříme o technologii **triple-RAT**.

Sítě LTE již teoreticky pracují na principu přepojování paketů celkově a ani pro hlasové hovory nepoužívají přepojování okruhů. Tato technologie se nazývá VoLTE (Voice over LTE). V reálu je však v těchto sítích ve většině případů užito přepojování okruhů pro hlasové hovory tak, že pro hlasový hovor se MS automaticky přepne do klasické sítě 3. generace. To lze pozorovat i na samotném mobilním telefonu a způsobuje to drobnější zpoždění před samotným započítím hovoru. Tato technologie je nazývána **CS Fallback**. Jako přístupovou metodu užívá LTE přístup **OFDMA** (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) pro Downlink a **SC-FDMA** (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) pro Uplink. V některých případech je možné již nyní využívat technologii VoLTE. To je však podmíněno dvěma základními podmínkami. Tou první je, že zákazník je vlastníkem telefonu, který technologii podporuje, a zároveň je vlastníkem nové USIM (Universal SIM), bez které není možné VoLTE využívat, i kdyby zákazník vlastnil mobilní telefon podporující službu. Operátoři vyměňují, zdarma či za menší poplatek, SIM karty za USIM již delší dobu, nicméně většina vlastníků těchto USIM karet stále nedisponuje mobilním telefonem, který tuto službu podporuje. U O2 vlastní telefon podporující VoLTE cca 10 000 klientů. To odpovídá cca 0,2% všech mobilních zákazníků této firmy.

Koncové stanice, tedy BTS, resp. Node B u předchůdců, jsou zde inteligentnější a jsou označovány jako **eNB** (evolved Node B). Pro rozpoznání jednotlivých eNB uživatelským zařízením je užito speciálního fyzického identifikátoru buňky, tzv. **Physical Cell ID**. Samotná síť se skládá ze dvou hlavních částí. Těmi jsou páteřní síť **EPC** (Evolved Packet Core), která je jednodušší než u systému UMTS, a **E-UTRAN** (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network). Další nedílnou součástí je samozřejmě uživatelské vybavení UE, které může být v podobě SIM karty, mobilního telefonu nebo např. počítače či tabletu.

Pokud vezmeme v úvahu pohyb UE mezi oblastmi pod správou různých eNB, je logické, že dochází k handoverům. Aby UE vyhodnotilo, ke kterému eNB se připojit, měří několik parametrů. Jedním z těchto parametrů je **RSSI** (Received Signal Strength Indicator), což je indikátor udávající celkovou sílu signálu v *dBm*. V této hodnotě je zahrnut i šum a další nechtěné vlivy způsobené šířením po telekomunikačním kanálu. Dalším parametrem je **RSCP** (Received Signal Code Power), který již představuje čistý výkon tzv. užitečného signálu, což znamená, že je signál zbaven šumu a dalších nežádoucích vlivů. Což nás přivádí k taktéž používanému poměru **Ec/Io** nebo **Ec/No** nebo **SINR** (signal-to-interference-plus-noise ratio), což je prakticky poměr výkonu přijatého signálu a šumu, což prakticky odpovídá poměru RSCP/RSSI. Dalšími užívanými parametry, na základě kterých se UE rozhoduje pro vhodnou buňku, jsou **RSRP** (Reference Signal Received Power) a **RSRQ** (Reference Signal Received Quality). RSRP je udáváno v *dBm* a RSRQ v *dB* [9].

2.2.7 WiMAX

WiMAX neboli **Worldwide Interoperability for Microwave Access** je bezdrátová technologie pro datové, ale i hlasové služby (např. VoIP). Původně byla navržena na frekvenční rozsah 10-66 GHz, avšak nyní operuje především na kmitočtovém pásmu mezi 2 a 11 GHz. Technologie umožňuje monitorování kvality služeb **QoS** (Quality of Service). Od normy vydané v roce 2003 není požadována přímá viditelnost mezi stanicemi. Technologie je vhodná pro využití v bezdrátových sítích v hustě obydlených oblastech, nicméně lze použít i ve venkovských oblastech, kde vzhledem k menšímu počtu účastníků je schopna většího dosahu (dosah až 70 km). Je zde použit jak časový duplex **TDD** tak i frekvenční **FDD**. Je zde použita modulace typu **OFDM** (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). Dosahovaná přenosová rychlost je dle standardu IEEE 802.16 až 134 *Mbit/s*, avšak u IEEE 802.16a klesá na 70 *Mbit/s* [11], [12].

2.2.8 Internet Protocol (IP)

Zkratka IP odkazující na anglický název **Internet Protocol** je název pro protokol síťové vrstvy, který je použit a dalo by se říci, že je i základem, v moderních telekomunikačních sítích. Protokol je zodpovědný za směrování v IP sítích od zdroje k cíli. Jedná se o nespolehlivou službu. IP protokol opatřuje datagramy řídicími daty, na jejichž základě probíhá směrování v jednotlivých uzlech sítě. Jako prostředek pro směrování a identifikátor jednotlivých bodů v síti slouží **IP adresa**, která odkazuje na konkrétní rozhraní. Protokol existuje ve dvou verzích – starší **IPv4** a novější **IPv6**. V případě chybného doručení nebo nedoručení dat se využívá opakovaného odeslání. Protokol se vždy snaží najít nejjednodušší, resp. nejvhodnější cestu k cíli. Tato služba se nazývá anglickým označením vyjadřujícím úsilí vyvinuté pro nalezení nejvhodnější cesty - **best effort** [4],[6].

2.2.9 Transmission Control Protocol (TCP)

Transmission Control Protocol označovaný zkratkou **TCP** je protokol transportní vrstvy, který je zodpovědný za spolehlivou službu doručování dat od zdroje k cíli. Protokol TCP navazuje stabilní spojení k doručování dat spolehlivou cestou. Samotné doručování pak zajišťuje protokol IP, nicméně protokol TCP neustále zajišťuje komunikaci mezi zdrojem a cílem jak při navázání spojení, potvrzování přijetí dat a i následném ukončení spojení, což se projevuje zatížením sítě [4], [6].

2.2.10 User Datagram Protocol (UDP)

User Datagram Protocol je stejně jako TCP protokolem transportní vrstvy a je pověřený odesíláním dat od zdroje k cíli. Na rozdíl od protokolu TCP se jedná o službu nespolehlivou, není tedy sestaveno žádné konkrétní spojení mezi zdrojem a cílem, může dojít ke ztrátám datagramů, popř. ke změně pořadí doručení. Naproti tomu se však jedná o protokol, který tolik nezatěžuje síť [4], [6].

2.2.11 File Transfer Protocol (FTP)

File Transfer Protocol je, jak vyplývá z názvu, protokol určený k přenosu dat. K tomuto přenosu využívá protokolu TCP. Přenášená data mohou být v podobě textu, popř. binárního kódu. Slouží především k přenášení dat v rámci sdílení – velmi často multimédií (fotky, hudba apod.). Umožňuje zabezpečený přístup, který požaduje přihlašovací jméno a heslo. Zdroj, který poskytuje data je označen jako **FTP server** a cíl, který data získává od zdroje je označen jako **FTP klient** [4], [6].

2.2.12 HyperText Transfer Protocol (HTTP)

HyperText Transfer Protocol je protokolem, který je pověřen komunikací mezi klienty a servery v systému **WWW** (World Wide Web). Tyto zprávy jsou vyměňovány v jazyce **HTML** (HyperText Markup Language). Kromě samotných zpráv je schopen přenášet i soubory. Tento protokol je spojen především s rozmachem internetu, jelikož na principu jeho užití jsou založeny internetové stránky. Jednotlivé internetové stránky jsou od sebe rozlišeny pomocí unikátního identifikátoru **URL** (Uniform Resource Locator). Protokol HTTP obsahuje i zabezpečenou verzi **HTTPS** (HyperText Transfer Protocol Secure), nicméně vzhledem k rozmachu využití tohoto zabezpečeného protokolu i „profesnímu vývoji“ hackerů a velmi často se objevujícím bezpečnostním problémům lze o jeho bezpečnosti v dnešní době spekulovat. [13]

2.2.13 Internet Control Message Protocol (ICMP)

Protokol **ICMP** je součástí protokolového vybavení **TCP/IP** a je využíván především ke kontrole při směrování pomocí protokolu IP. Pokud dojde např. ke ztrátě dat, je to právě protokol ICMP, který o tom informuje – je používán jako nositel řídicích zpráv. Úkolem ICMP je tedy informovat zdroj o tom, že nastala chyba. Mimo jiné je např. využit k aktualizaci stavu – úpravě směrovacích tabulek apod.

Jeho hlavní činností, resp. činností relevantní pro tuto práci je zjišťování, zda jsou dostupné uzly pro konkrétní zdroj vysílání. Pro tuto funkci využívá aplikaci **Ping** (Packet InterNet Grouper). Ping využívá rámce typu 0 (Echo request - žádost) a typu 8 (Echo reply - odpověď). Po zadání příkazu Ping na zdrojové stanici je vyslán rámec typu 0 k cílové stanici. Na cílové stanici je rámec zpracován, opatřen údajem o čase a odeslán zpět v podobě rámce typu 8. Po obdržení, popř. neobdržení a vypršení časového limitu na odpověď, rámce typu 8 na zdrojové stanici je vyhodnoceno, zda je cílový uzel dostupný a pakliže ano, je vyhodnoceno i zpoždění, resp. časový údaj připadající na cestu paketu k cílové stanici, jeho zpracování, odeslání zpět ke zdroji a samotnou cestu zpět. Samotný údaj o zpoždění je však nepřesný a tak aplikace Ping slouží především ke zjištění dostupnosti cílového rozhraní pro daný zdroj nikoli pro zjištění zpoždění. [14]

2.2.14 Zapojení point to point, point to multipoint, end to end

Rozdíl mezi těmito typy zapojení je vcelku jednoduchý. Prakticky se jedná o to, že v případě, že je využito schémata **point to point** (P2P), komunikují spolu dva konkrétní uzly sítě. V případě **point to**

multipoint (P2MP) se jedná o komunikaci typu, že jeden zdroj komunikuje s mnoha stanicemi v různých lokacích. Typickým příkladem komunikace point to point je telefonický hovor, kdy spolu komunikují dva telefony. Typickým příkladem point to multipoint je zapojení stylu, kdy např. anténa pokrývá svým signálem určitou plochu a komunikuje tedy s několika různými stanicemi v dané oblasti.

Dalším schématem, které se hojně projevuje v telekomunikačních sítích, je model **end to end** (E2E). Zjednodušeně lze říci, že dle tohoto modelu by co největší množství práce vykonávané protokoly měly probíhat co nejbližší ke koncovým uzlům, které mezi sebou komunikují. V praxi to tedy znamená, že nejsou kladeny tak vysoké nároky na síť. Lze využít chytrých terminálů. Jsou zároveň kladeny vyšší nároky na koncové uzly [4], [6], [9].

2.2.15 Simplexní, poloduplexní a duplexní přenos

Pokud budeme uvažovat dva libovolné uzly telekomunikační sítě, které jsou schopny spolu navzájem komunikovat, můžeme podle provozu rozlišovat tři typy přenosů. Simplexní přenos, kde **simplex** znamená, že signál je přenášen pouze v jednom směru. Čili bod A vysílá informace k bodu B, ale bod B není schopen odpovědět. Jako příklad lze uvést místní rozhlas ve městech a obcích.

Druhým způsobem přenosu je poloduplexní přenos neboli **poloduplex**. V tomto případě jsou oba body, A i B, schopny signál jak přijímat, tak vysílat. Je zde však nutnost přepínat mezi stavy, jelikož vysílat může vždy jen jeden z bodů, protože využívají stejný přenosový kanál. Příkladem může být klasická vysílačka užívaná např. záchrannými sbory ČR.

Posledním typem přenosu, který je pro tuto práci zároveň nejdůležitější, je plně duplexní přenos neboli **duplex**. Tento systém je využíván v moderní telefonii. V tomto případě každý z bodů, A i B, používají jiný kanál k vysílání. Je tedy možný simultánní provoz obou bodů. Duplexní provoz lze dle řešení ještě dále dělit na frekvenční duplex **FDD** (Frequency Division Duplex), kdy každý z bodů využívá k šíření signálu jinou frekvenci, a časový duplex **TDD** (Time Division Duplex), kdy každý z bodů využívá jiný časový úsek (time slot) a šířený signál je pulzního charakteru [9].

2.2.16 Mobile Originating Call (MOC) a Mobile Terminating Call (MTC)

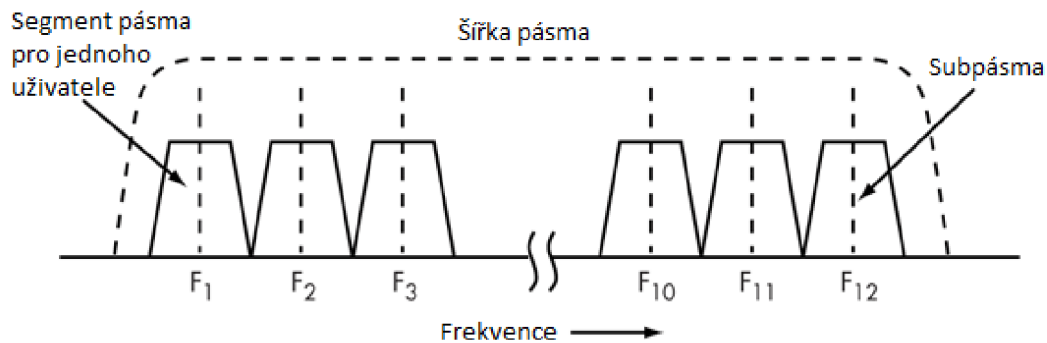
Součástí analýzy sítě je i potřeba rozdělit probíhající hovor na co nejmenší segmenty, aby v případě problému bylo možné blíže definovat, v jaké části případný problém vznikl. V případě, že použijeme příklad, kdy uživatel A se snaží navázat spojení s uživatelem B, dojde nejprve k tomu, že je navazováno spojení mezi uživatelem A a jádrem sítě. Tento proces je nazýván **MOC** (Mobile Originating Call). V momentě, kdy se jádro sítě snaží navázat spojení s uživatelem B, aby mohl propojit uživatele A s uživatelem B, jedná se o Mobile Terminating Call (**MTC**). Tento způsob rozdělení provozu linky není sice nijak kritickým faktorem, nicméně je vhodný pro použití při měření kvality služeb. Pokud se například objevuje neustále chyba u hovoru, je možné tímto způsobem analyzovat, zda dochází k chybám na konkrétní ústředně, popř. na mobilních zařízeních. Pokud hovoříme o měření kvality signálu, je žádoucí, aby měřící zařízení bylo schopno měřit a analyzovat MOC i MTC hovory pro případ nutnosti.

2.3 Mnohonásobný přístup a multiplexování

Komunikační kanály mají omezenou kapacitu a je nutné je efektivně využívat, aby se znásobil profit operátorů a mohlo být obslouženo co nejvíce zákazníků. K tomu slouží přístupové metody využívající **multiplexu**, což umožňuje sdílet komunikační kanály většímu množství uživatelů. Přístupové metody jsou tedy užitím multiplexu v praxi.

2.3.1 Frequency Division Multiple Access (FDMA)

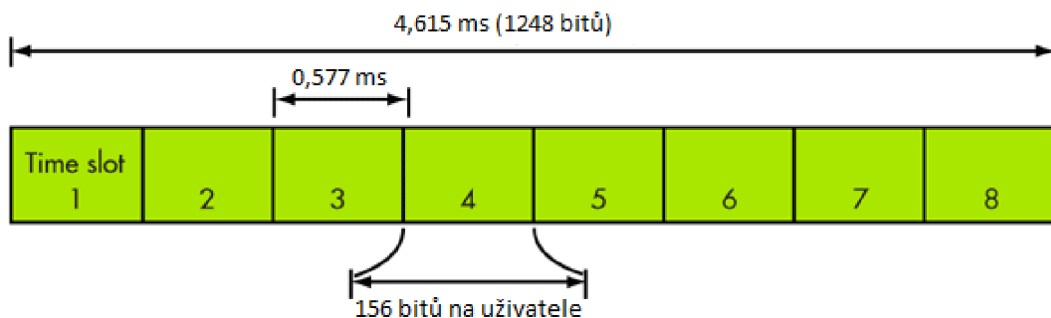
Jedná se o proces, který rozkládá šířku frekvenčního pásma na menší segmenty, z nichž každý tento segment je přiřazen konkrétnímu uživateli. Segmenty pásma neboli subpásma jsou dostatečně široké pro zajištění přenosu dat. Tento princip je na obrázku 2.3 níže [9], [15].



Obr. 2.3 Princip rozdělení šířky pásma u přístupu FDMA [15].

2.3.2 Time Division Multiple Access (TDMA)

TDMA je přístupová metoda, která tentokrát nerozděluje přidělené prostředky dle frekvence, ale rozděluje přenosový kanál na časové úseky, tzv. time sloty. V každém time slotu je přenášen digitální segment dat (např. *byte*) všech přenášených signálů v sériovém datovém formátu. Tato technika se používá především u systému GSM, kdy je přenosový kanál rozdělen do 8 time slotů. To je znázorněno na obrázku 2.4 níže [9], [15].



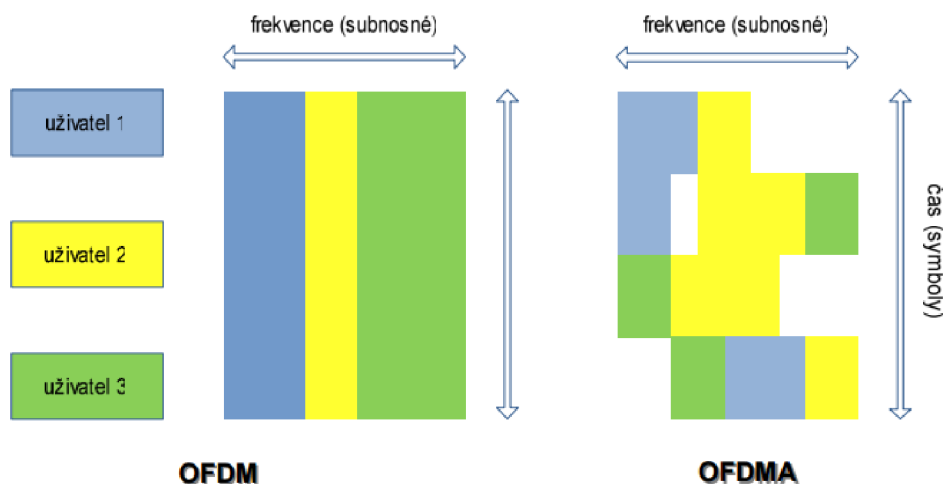
Obr. 2.4 Princip rozdělení kanálu na time sloty u přístupu TDMA [15].

2.3.3 Code Division Multiple Access (CDMA)

Zde se nejedná o telekomunikační systém, ale pouze o přístupovou metodu. U přístupové metody CDMA jsou data modulována pseudonáhodnou posloupností, jako jsou např. Barkerovy kódy, Huffmanovy posloupnosti nebo Walshovy kódy. Signál je tímto způsobem zakódován. Díky CDMA je např. možné za předpokladu užití 64 různých pseudonáhodných posloupností využívat kanál o šířce 1,25 MHz až 64 uživatelům. Stejná metoda, ale s užitím širšího pásma je použita u přístupové metody WCDMA [9], [15].

2.3.4 Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)

Tato technika je užitá především u systému LTE pro směr **Downlink**. Přenosový kanál je rozdělen do úzkých ortogonálních pásem, které mezi sebou obsahují jisté mezery, takže nedochází k interferencím. Každé pásmo obsahuje až tisíce subpásem o šířce 15 kHz. Pásmo je přidělováno podle momentální dostupnosti zdrojů. Jak je vidět na obrázku 2.5 níže. U metody OFDMA je nejprve za využití multiplexu spektrum přerozděleno mezi uživatele, nicméně metoda flexibilně reaguje na potřeby jednotlivých uživatelů [9], [15].



Obr. 2.5: Využití multiplexu a následné přerozdělování spektra u přístupové metody OFDMA [9].

2.3.4 Single-carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)

Technika SC-FDMA je obdobnou technikou jako OFDMA. O tom svědčí i to, že je taktéž použita u technologie **LTE**, avšak pro směr **Uplink**. Vstupní bity jsou zpracovány pomocí rychlé Fourierovy transformace. Následně je báze dat užita k vytvoření subpásem a pomocí zpětné Fourierovy transformace jsou data převedena z frekvenční do časové oblasti. Jak je zmíněno výše, jedná se o obdobnou techniku jako OFDMA a funguje na podobném principu. Hlavní rozdíl tkví v tom, že při užití OFDMA jsou vstupní bity zpracovány přímo na subnosné a pomocí zpětné Fourierovy transformace pak převedeny do časové oblasti. SC-FDMA je tedy technikou složitější [9], [15].

3. Měření kvality služeb

3.1 Motivace měření kvality služeb

Jak je již uvedeno v úvodu této práce, pojem **kvalita služeb** se rychle stává důležitým ukazatelem, který je nástrojem konkurenčního boje a rozhoduje o úspěchu či neúspěchu daného poskytovatele telekomunikačních služeb. Motivací monitorovat kvalitu služeb je tedy hned několik.

V první řadě dokáže měření ohodnotit poskytované služby z pohledu zákazníka. Zákazník především využívá telekomunikační síť přirozeně k volání a v dnešní době čím dál více k využití datových služeb. Vzhledem k rozvoji aplikací umožňujících volání, zasílání zpráv, fotografií, videí a souborů nejrůznějšího charakteru je nezbytné zvyšovat kvalitu připojení prioritně ve všech hustě obydlených oblastech a poté i mimo ně.

Druhým hlediskem je fakt, že měření kvality služeb pomáhá odhalit slabá místa dané sítě a tím efektivněji směřovat prostředky v rámci inovací a investovat je tam, kde budou mít největší návratnost.

Jako třetí z důležitých důvodů proč se zaměřit na monitorování sítě, je fakt, že konkurenční boj o zákazníky se v telekomunikacích projevuje více, než kdekoliv jinde. Moderní měřící zařízení dokážou monitorovat nejen vlastní síť daného poskytovatele, ale samozřejmě i konkurenční síť. Měřící zařízení jsou schopná získat informace o tom, zda konkurenční firma uvádí do provozu novou službu či technologii, buduje infrastrukturu, a navíc poskytují náhled na přenášený objem dat. Tato kapitola je zaměřena na pojmenování a vysvětlení klíčových parametrů a metod, které se užívají k získání co nejpřesnější představy o momentálním stavu sítě.

Jako takový musíme především osvětlit pojem kvalita služeb se zkratkou **QoS** (z anglického Quality of Service). QoS lze považovat za set standardů nebo soubor pravidel (definované v roce 1994 ITU), které umožňují měření, regulování a garantování některých parametrů při přenosu dat a tím zlepšování výkonu sítě. Díky tomuto mechanismu mohou administrátoři efektivně využívat síťové zdroje. Obecně je umožněno přidělením priorit upřednostnit některé služby před jinými. Podle typu služby (požadavek na zpoždění u VoIP hovorů a aplikací v reálném čase, nižší požadavky na zpoždění a vyšší na spolehlivost u přenosu souborů protokoly FTP apod.) je možné garantovat službě potřebnou kvalitu. Prioritizace jedné služby v podstatě znamená umožnění lepšího průchodu paketů sítí, což má za následek zahazování paketů služby druhé. Komunikace mezi prvky v síti spojená s QoS probíhá na síťové vrstvě. QoS se snaží přizpůsobit chování sítě do stavu chtěného z pohledu zákazníka. Nicméně v rámci této práce je užít pojem kvality služeb především v souvislosti s hodnocením stavu sítě – ne v souvislosti s prioritizací služeb.

Ke správnému hodnocení stavu sítě jsou užívány různé parametry. Jako takovéto základní parametry uvádí zdroj [17] především **komunikační zpoždění** (časový úsek, za který je daná datová jednotka – paket, rámeček apod. – přenesena od vysílače k přijímači), **jitter** (udává kolísavost času doručení datagramů do cíle), **šířku pásma** (objem dat přenositelný za jednotku času – typicky bit za sekundu), **ztrátu rámců**, **ztrátu paketů**, **míru pravděpodobnosti blokování**, **kvantovací šum** (vzniká rekonstruováním signálu a snižuje kvalitu výsledného signálu) a **objektivní a subjektivní testování** (vnímání kvality služby uživatelem). U moderních měření, která používají operátoři, aby získali vypovídající zprávu o stavu sítě, jsou využity především parametry, které odpovídají těmto základním nebo na nich založeným. Tyto užívané parametry a metody jsou diskutovány dále v této kapitole.

Metody využití v QoS (zaměřené na prioritizaci služeb) můžeme rozdělit na tři základní modely. Je to metoda **Best Effort** (služba s maximálním úsilím), integrovaná metoda **IntServ** (integrované služby, anglicky Integrated Services) a diferencovaná metoda **DiffServ** (diferencované služby, anglicky Differentiated Services) [16], [17].

3.1.1 Metoda Best Effort

Tato metoda je základním vzorem doručování dat do cíle, kde není QoS využito. V podstatě se systém snaží doručit data body v síti přesně v tom pořadí, ve kterém je obdržel (princip **FIFO** – First In First Out) [16], [17].

3.1.2 Metoda integrovaných služeb (IntServ)

U této metody si samy aplikace, které využívají k přenosu jednotlivých bodů v síti, nárokují zdroje pro daný přenos. Toto nastavení probíhá na začátku přenosu a nedochází k jeho změnám na síťových prvcích, kterým je nastavení pouze oznámeno. Nastavení je definováno pro celou dobu přenosu. Samotnou komunikaci a vyhrazení prostředků sítě zajišťuje protokol **RSVP** (Resource Reservation Protocol). IntServ rozděluje aplikace na 3 základní kategorie – bez speciálních požadavků, citlivé na zpoždění a necitlivé na zpoždění.

Při užití této metody v praxi dochází na straně paketu k rozřazení paketů dle nároků do jednotlivých front a poté jsou pomocí protokolu RSVP informovány síťové prvky o tom, kolik zdrojů si mají rezervovat. Před samotným zahájením procesu, který může probíhat i pomocí vícecestného šíření, je nutné sestavení rezervačního schématu. Prakticky musí zdroj dostat potvrzení od mezilehlých uzlů, že pro danou relaci přijímají podmínky vyhrazení zdrojů. I během relace dochází k potvrzování či změně pravidel a na konci je obdobným způsobem spojení rozpojeno [9], [16], [17].

3.2.2 Metoda diferencovaných služeb (DiffServ)

Metoda DiffServ již využívá princip klasifikace – přiřazení určité váhy určitým paketům. Hodnota, která udává prioritu, jak má být daný paket zpracován, se nazývá **DSCP** (Differentiated Services Code Point). Na rozdíl od metody IntServ, zde určují pravidla QoS již samotné síťové prvky nacházející se v síti. Na síťových prvcích jsou dané služby „obslouženy“ dle údajů v jejich hlavičce.

Data resp. jednotlivé pakety jsou rozřazeny do tříd a podle tohoto údaje jsou pak zařazovány do konkrétní fronty na síťovém zařízení. Priorita, čas zpracování a odeslání směrem k cílové stanici se tedy mění na každém síťovém zařízení. Tento jev je označován jako **PHB** (Per Hop Behaviour). Případně též může docházet k tomu, že jsou jednotlivé síťové prvky sdruženy do tzv. **domén diferencovaných služeb**. To znamená, že v celé této doméně se PHB neliší. Pakety jsou tedy zpracovány na hraničním směrovači, který provede klasifikaci apod. Při vstupu do jiné domény se tento proces opakuje.

Výše zmíněná hodnota DSCP, která udává, jakým způsobem, resp. s jakou prioritou, budou pakety zpracovány, se nachází uvnitř bytu **ToS** (Type of Service). V tomto bytu je DSCP poli věnováno

6 bitů a zbylé dva nejméně platné připadají na další využití uvnitř domény diferencovaných služeb. První tři bity vyjadřují míru priority daných dat, čtvrtý bit udává zpoždění (normální/nízké), pátý bit propustnost a šestý byt spolehlivost. Podle celkového čísla, které udávají první tři bity, jsou data rozdělena do tříd podle priorit doručení. Nejnižší prioritu má služba **Best Effort** (0), následují 4 třídy ze skupiny Assured Forwarding neboli **AF** (1 – Priority, 2 – Immediate, 3 – Flash, 4 – Flash override) a pak expresní priorita Express Forwarding neboli **EF** (5 – Critical). Poslední kategorií tříd je Class Selector neboli **CS**. Třídy ze skupiny AF obsahují i 12 podtříd. Díky tomuto systému klasifikace je zajištěno rychlé zpracování dat v závislosti na jejich prioritě [9], [16], [17].

3.2 Metody a parametry hodnocení kvality služeb

Tato část je zaměřena na samotné parametry, které souvisí s měřením kvality signálu a jsou relevantní pro měření prováděná ve společnosti O2. Jako takové lze v podstatě parametry rozdělit na parametry měřené v souvislosti s měřením kvality hlasových služeb a parametry měřené v souvislosti s měřením kvality datových služeb. Měření se ve většině případů soustředí v jeden okamžik na měření služeb spojených s daty nebo s hlasovými hovory, nicméně některé měřicí sestavy podporují paralelní měření obou typů služeb najednou (PS a CS služby najednou). V tomto případě paralelního měření hovoříme o technologii **Multi-RAB** (Multiple Radio Access Bearer). Parametrem, který je předmětem měření, a který se objevuje v reportech společnosti O2 a je zobrazován i jak profesionálními tak běžně dostupnými aplikacemi, je **síla signálu**, která se v různých variantách (RSRP, RSCP, RxLev) vždy promítá v měření, jelikož je základním kvalitativním parametrem kategorizujícím kvalitu signálu.

3.2.1 Parametry pro určení kvality hlasových služeb

Jako jeden z nejdůležitějších faktorů hlasového hovoru je samotná kvalita hlasového hovoru. Pokud se zaměříme na tuto oblast, je jasné, že zákazník musí v ideálním případě nejen slyšet vše, co říká zákazník na druhé straně, ale zároveň by měla být slova v určité kvalitě, aby byl schopen zákazník porozumět bez námahy. K tomu slouží tzv. **Mean Opinion Score** (MOS), pomocí kterého jsou hovory ohodnoceny po stránce kvality vnímané zákazníkem v rozmezí 1-5 (1-velmi špatná kvalita, 2-špatná kvalita, 3-průměrná kvalita, 4-dobrá kvalita, 5-výborná kvalita). Tohoto způsobu hodnocení se užívá u dvou metod měření kvality hovoru. Jsou to standardy **PESQ** (Perceptual Evaluation of Speech Quality) a **POLQA** (Perceptual Objective Listening Quality Assessment).

Standard PESQ, který byl zveřejněn v roce 2001 v rámci ITU doporučení P.862, je světově používaným standardem pro testy kvality hovorů v telefonii. Aby se testování co nejvíce přiblížilo skutečné zkušenosti zákazníka, je jako testovací sekvence užitá při testování využit skutečný záznam lidské řeči. V rámci tohoto standardu jsou porovnávány vzorky původní se vzorky řeči dekodovanými na straně příjemce. Jedná se tedy o metodu s užitím plné reference **FR** (Full Reference). Opakem jsou metody, které využívají čistě dekodovaný vzorek řečového signálu bez reference – **NR** (No Reference). Nicméně tyto metody se jeví jako nepřesné. Výsledkem hodnocení kvality hovoru pomocí standardu PESQ je předpokládaná hodnota, kterou by přidělil nezávislý uživatel za užití hodnocení MOS. Jak je zmíněno výše, jsou k tomu užitý dva vzorky signálu – původní a degradovaný po průchodu komunikačním kanálem. Tyto dva vzorky jsou mezi sebou korelovány. K tomu, aby byly

přiřazeny k sobě odpovídající vzorky, je součástí algoritmu i výpočet zpoždění vzorků při průchodu komunikačním kanálem.

Standard POLQA byl zveřejněn v roce 2011 v rámci ITU doporučení P.863, nicméně byl v roce 2014 upraven. Standard POLQA vychází se standardu PESQ a je v podstatě jeho nástupcem. Způsob hodnocení kvality hlasového hovoru je tedy obdobný. Na rozdíl od standardu PESQ je navržen i na vyšší frekvence. Stejně jako u PESQ se jedná o FR metodu využívající schéma end-to-end.

S měřením kvality hlasového hovoru souvisí několik dalších parametrů, které jsou měřeny. Parametr **CSFR** (Call Setup Fail Rate) uvádí procento hovorů, kde se nepovedlo uskutečnit spojení mezi účastníky. Jinými slovy tento parametr vyjadřuje pravděpodobnost, že se koncovému uživateli nepodaří připojit do sítě, když o to zažádá vytočením čísla. Vzorec (3.1) pro výpočet tohoto parametru je uveden níže. Pokus o hovor je definován momentem vytočení telefonního čísla na zařízení. Úspěšný pokus je definován na jedné straně zvukem vyzvánění cílové stanice a na straně příjemce vlastním vyzváněním telefonu. Neúspěšný pokus je opakem úspěšného pokusu. Požadovaná maximální hodnota u O2 se pohybuje kolem 0.5%.

$$CSFR (\%) = \frac{\text{počet neúspěšných pokusů o hovor}}{\text{počet všech pokusů o hovor}} \times 100. \quad (3.1)$$

Dále parametr **CDR** (Call Drop Rate) uvádí procentuální vyjádření množství hovorů, které byly ukončeny neplánovaně (výpadek signálu apod.). CDR lze tedy popsat jako pravděpodobnost, že úspěšný pokus o hovor bude ukončen z jiného důvodu, než je úmyslné ukončení ze strany odesílatele nebo příjemce hovoru. Vzorec (3.2) pro výpočet tohoto parametru je uveden níže. CDR by nemělo přesáhnout taktéž hodnotu 0,5% dle standardů O2.

$$CDR (\%) = \frac{\text{počet neúmyslně ukončených hovorů}}{\text{všechny úspěšné pokusy o hovor}} \times 100. \quad (3.2)$$

NSR (No Service Rate) udává opět procentuální vyjádření. Tentokrát se jedná o hovory, kde nebylo navázáno spojení z důvodu nulového pokrytí signálem. U O2 je při tomto měření požadavek na 0% ve městech nad 10 000 obyvatel a v oblastech pokrytých sítí 3G. Vzorec pro výpočet je analogií vzorce 3.1. Nicméně tento parametr se již nadále neužívá, jelikož je naše území pokryto velmi hustě (až 99% obydlených oblastí). Proto je tento parametr zahrnut v parametru CSFR. NSR je tedy speciálním případem obsaženým v CSFR.

Parametry CDR a CSFR mohou být měřeny i v rámci monitorování videohovorů, nejedná se však o standardní měření. Zároveň v rámci testování hlasových hovorů jsou testovány i momentální provizorní řešení v rámci sítí LTE, které je založeno na přepojování okruhů – CS Fallback. Jedná se prakticky o „degradaci“ připojení ze 4G sítě do sítě 2G/3G v momentě, kdy zákazník vytočí telefonní číslo, jelikož VoLTE, ač je již v provozu, využívá jen cca 0,2% zákazníků O2 [18], [19], [20], [21], [22].

3.2.2 Parametry pro určení kvality datových služeb

Součástí technologie GPRS je i protokol **PDP** (Packet Data Protocol), který pomáhá s adresací. Přiděluje MS připojené do sítě adresu. Pokud by nebyl aktivován protokol PDP, nemohlo by docházet ke korektnímu doručování dat v rámci technologie GPRS. Se správnou funkčností této technologie souvisí i ověřování nejen aktivace tohoto protokolu, ale i následné správné připojení do sítě. Tyto dvě funkce jsou monitorovány pomocí dvou parametrů vyjádřených v procentech – **PDP Context Activation Rate** (úspěšné aktivování protokolu) a **PS Core Attach Success Rate** (úspěšné připojení do sítě).

Obecně je spjato s funkcí datových sítí velké množství parametrů, které jsou předmětem měření kvality služeb. Jako jeden z nejdůležitějších parametrů lze považovat **Data Task Fail Rate** (DTFR), který procentuálně vyjadřuje neúspěšně dokončené operace datového přenosu, to znamená, že se nepodařilo dokončit proces downloadu nebo uploadu. Vzorec (3.3) definující tento parametr je uveden níže.

$$DTFR (\%) = \frac{\text{počet nekompletních přenosů}}{\text{počet úspěšně zahájených přenosů}} \times 100. \quad (3.3)$$

Nekompletní přenos ve směru Downlink můžeme definovat jako neúspěšné přijetí posledního paketu obsahujícího přenášená data. Ve směru Uplink potom jako neúspěšné přijetí zprávy [FIN, ACK]. Úspěšně zahájený přenos lze definovat jako událost, kdy uživatel úspěšně zahájil download nebo upload nějakého souboru (např. u protokolu FTP jako odeslání zprávy [SYN]). O2 v rámci 2G sítí požaduje hodnotu maximálně 0,2%, v rámci HSxPA sítí maximálně 0,3% a v rámci LTE sítí maximálně 0,5%. Z trochu opačného konce než Data Task Fail Rate je pojat parametr **IP Data Task Success Rate**, který je naopak vyjádřením úspěšně provedených datových spojení. Vzorec je analogií vzorce 3.3.

Velmi významným parametrem je přenosová rychlost, jejíž hodnoty se liší u různých technologií jak pro směr Uplink tak pro směr Downlink. Konkrétní požadavky na přenosové rychlosti jsou zobrazeny v tabulce 3.1 níže. S přenosovou rychlostí souvisí i měřený parametr **User Data Throughput** označovaný zkratkou UDT, který monitoruje propustnost sítě v čase. Stejně jako přenosová rychlost je UDT měřen jak ve směru Downlink tak Uplink. V podstatě definuje průměrný datový provoz měřený skrze celý čas připojení. Aby poskytoval tento parametr vypovídající hodnotu, mělo by se jednat o úspěšně ukončený proces připojení. Vzorec (3.4) pro výpočet tohoto parametru je uveden níže.

$$UDT (kbit/s) = \frac{\text{přenesená data}}{(\text{čas dokončení transferu dat} - \text{čas zahájení transferu dat})}. \quad (3.4)$$

Čas zahájení transferu dat lze definovat jako čas, kdy započal download nebo upload souboru. Blíže to lze specifikovat buď jako přijetí nebo odeslání prvního paketu obsahujícího vlastní přenášená data. Jiná metoda specifikace této hodnoty je čas přijetí synchronizační zprávy [ACK] v aktivním módu nebo odeslání [ACK] v módu pasivním. Analogicky čas dokončení označuje čas dokončení downloadu nebo uploadu. To lze blíže specifikovat pro směr Downlink jako obdržení

posledního paketu obsahujícího přenášená data. Pokud bychom užíli metody vztažené k synchronizačním zprávám, je čas dokončení transferu vztažen k momentu obdržení zprávy [FIN, ACK] pro opačný směr.

Dalším parametrem, který je předmětem měření, je **Remote Access Service Fail Rate (RASFR)**, který udává procento případů, kdy se nepodařilo připojit k datové síti (nepodařil se přístup do sítě). Vzorec (3.5) pro výpočet tohoto parametru je uveden níže.

$$RASFR (\%) = \frac{\text{počet neúspěšných pokusů o přístup do sítě}}{\text{všechny pokusy o přístup do sítě}} \times 100. \quad (3.5)$$

Před samotným přístupem do datové sítě probíhá proces autentizace SIM karty. Pokud je při procesu ověřování zjištěno, že má SIM karta předplacenou datovou službu apod., je SIM kartě přiřazena IP adresa a následně i povolen přístup do datové sítě. Počet neúspěšných pokusů o přístup do sítě můžeme tedy specifikovat jako událost, kdy se nepodařila autentizace SIM karty a proces přístupu nebyl dokončen přiřazením IP adresy. Požadavek kladený na tento parametr firmou O2 je, aby RASFR nepřekročil hodnotu 1% (pro LTE dokonce 0,2%).

Technologie	Downlink (kbit/s)	Uplink (kbit/s)
2G - GPRS/EDGE	175,7	128,9
3G - HSxPA	7633,1	2673,1
4G - LTE	16853	14590,5

Tab. 3.1: Přehled požadavků O2 na přenosové rychlosti dle technologií

Dalšími parametry spojenými s různými službami jsou např. parametry proměřované v souvislosti se zajištěním kvality služeb SMS a MMS. U obou těchto služeb se měří **end-to-end Delivery Success Rate**, což je procentuální vyjádření úspěšně doručených SMS/MMS zpráv. Vzhledem k požadavkům na zpoždění je dalším parametrem **end-to-end Delivery Time (s)**, který vyjadřuje časový úsek nutný k doručení zprávy k příjemci od momentu, kdy byla zpráva SMS/MMS odeslána.

S rozvojem streamování videa je nyní kladen i velký požadavek na testování této služby, jelikož např. služba YouTube je v momentální době velmi využívanou stránkou. Proto je v rámci měření kvality signálu měřen i parametr **Video-streaming Sequence Download Success Rate**, který opět procentuálně monitoruje podíl úspěšných přenosů videa směrem k MS zákazníka [18], [19], [20], [21], [22].

3.3 Způsoby měření kvality služeb a monitoringu sítě

Měření kvality služeb, které jsou poskytovány zákazníkovi, již dávno nejsou jenom výsadou operátorů. I samotný zákazník si může zmapovat, jakých služeb a v jaké kvalitě se mu dostává. Samozřejmě nejsou tyto způsoby tak přesné a komplexní, jako je tomu u způsobů používaných operátory, nicméně i tak dávají zákazníkovi hrubou představu o kvalitě poskytovaných služeb. Zákazník si může překontrolovat kvalitu mobilního připojení pomocí různých aplikací, které jsou blíže rozebrány v této podkapitole. Pokud se budeme bavit o aplikacích celkově, můžeme je rozřadit na

aplikace na SIM kartě (tzv. **SIM Toolkit**), veřejně dostupné aplikace a profesionální aplikace určené pro operátory.

Další částí této kapitoly je bližší specifikování způsobů, kterými operátoři měří kvalitu služeb za pomoci hardwarového a softwarového profesionálního vybavení, jehož výběrem se zabývá 5. kapitola této práce. V dnešní době operátoři používají několik základních metod ohledně měření kvality signálu, pokud nepočítáme možnost, kdy zákazník může kontaktovat operátora ohledně kvality hovoru či jiných služeb přímo. Tyto metody lze rozdělit na drive testy, nomadic testy, walk testy a stacionární měření.

3.3.1 Aplikace na SIM kartě

SIM karta jako taková disponuje kromě unikátních kódů, které specifikují uživatele při volání, i pamětí, kterou je možné využít k ukládání kontaktů, ukládání zpráv SMS a nahrání různých aplikací. Toto aplikační vybavení SIM karty se nazývá obecně SIM Toolkit. Samotná paměť se liší u různých typů SIM karet, ale to je pro účel této práce irelevantní. V dnešní době je SIM Toolkit na ústupu a nahrazují ho aplikace umístěné přímo v paměti telefonu, popř. na paměťovém zařízení. Tyto aplikace jsou vzhledem k prakticky nulovému omezení z hlediska maximální velikosti souboru mnohem propracovanější. V minulosti se SIM Toolkit užíval především pro GSM Banking (zadávaní platebních příkazů) a služby operátora, které pomohly s orientací v případě, když zákazník hledal např. nejbližší bankomat apod. Ve výsledku tedy v aplikačním vybavení SIM Toolkitu neexistují aplikace, které by umožňovaly přímé měření kvality signálu, kvality hovoru a celkově pokročilejší monitoring kvality sítě [23].

3.3.2 Běžně dostupné aplikace pro monitoring sítě

Běžně dostupné aplikace lze rozlišit na aplikace, které monitorují datové služby, a aplikace, které se zabývají pouze měřením rychlosti připojení (rychlost pro Downlink, Uplink a zpoždění pomocí programu Ping, případně síla signálu – výhodou je jednoduchost). Běžně dostupné aplikace se nesoustředí na měření a monitoring hlasových hovorů, a pokud ano, jedná se o velmi primitivní testování, které prakticky pouze sdělí, zda se spojení podařilo navázat, či nepodařilo. Tyto běžně dostupné aplikace jsou dostupné obvykle pro všechny operační systémy (nejvíce však Android a iOS). Vzhledem k tomu, že jsem vlastníkem mobilního telefonu s operačním systémem Android a i sama společnost O2 využívá k měření především telefony s tímto operačním systémem, věnuji se zde právě aplikacím určeným pro operační systém Android. Všechny tyto aplikace jsou zdarma, nicméně některé nabízejí možnost si zaplatit za rozšířenou „profesionální verzi“. Avšak ani rozšířená verze se nepřibližují funkcím a možnostem monitoringu profesionálních aplikací určených pro operátory, kterým se věnuje následující podkapitola. V rámci této analýzy bylo vyzkoušeno cca 20 různých aplikací pro měření a monitoring sítě v městské části Brno Bystrc. Níže bude zmíněno pouze několik z nich, které nabízejí v tomto ohledu nejkomplexnější náhled na telekomunikační síť a mohou sloužit běžným zákazníkům i zákazníkům vzdělanějším v oblasti telekomunikací. V žádném případě však nemohou konkurovat profesionálním aplikacím, které využívají operátoři.

Jako první aplikace, která vyniká mezi ostatními, byla testována aplikace **Network Cell Info**. Tato aplikace je schopna monitorovat jak připojení mobilních dat (technologie LTE, HSPA, WCDMA,

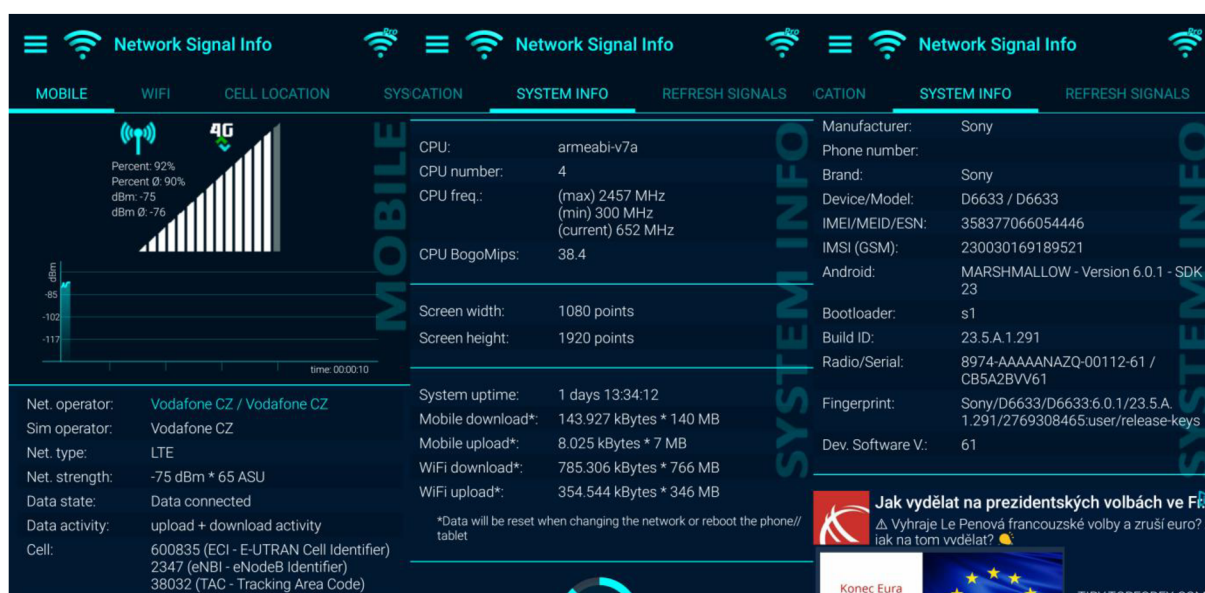
EDGE, GSM, CDMA, EVDO – čili od 2G po 4G) tak připojení k wi-fi. Měří sílu signálu (i pro duální SIM) a poskytuje údaje jak o aktuální buňce (cell) tak o jejích sousedech a i síti samotné. Je možné v ní dohledat informace o telefonu a SIM kartě i údaje o užití technologii. Výsledky je možné odeslat v SMS zprávě nebo např. na email. Nicméně samotné logy působí velmi nepřehledně. Je k dispozici ve verzi Lite (zdarma) nebo verzi Pro (64,99 CZK). Grafické rozhraní aplikace je na obrázku 3.1 níže. Jak je patrné z obrázku, umožňuje zobrazení na mapě, kde je naznačeno připojení k aktuální buňce. Dále poskytuje zobrazení síly signálu na časové ose. Aplikace tedy nabízí spíše náhled a informace o buňce, ke které je telefon připojený, než aby ji bylo možné užít k profesionálnímu měření. Zároveň verze Pro nedisponuje znatelnými výhodami, které by nutily uživatele k jejímu zakoupení.



Obr. 3.1: Grafické rozhraní aplikace Network Cell Info Lite.

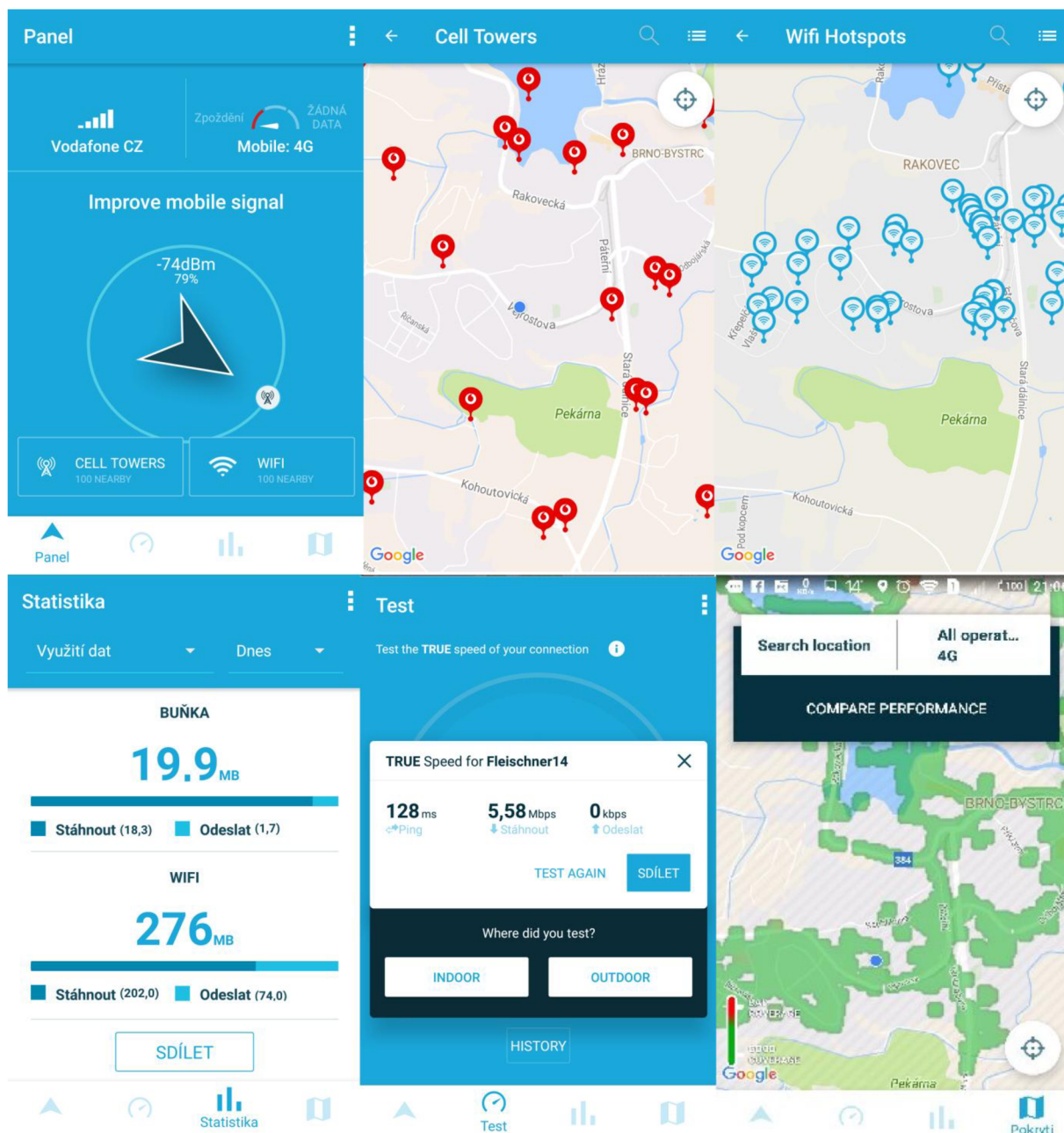
Další testovanou aplikací je **Network Signal Info**, která je dostupná pouze pro operační systém Android. Ta je opět dostupná v neplacené verzi a ve verzi Network Signal Pro (79,99 CZK). Velkou výhodou verze Pro je možnost ukládání záznamů do souborů ve formátu KML (netestováno). Aplikaci je opět možné použít k analýze připojení k mobilním datovým službám (2G-4G) a připojení k wi-fi. Poskytuje jak informace o síti tak aktuální buňce. Na mapě umožňuje zobrazit buňku, ke které

je uživatel připojený, nicméně v tomto případě aplikace nefungovala dostatečně přesně, jelikož zobrazovala, že uživatel v městské části Brno Bystrc je připojený k buňce v jižní části Indie. Tato událost může být způsobena tím, že vývojář není z České republiky a buňky mají primární určení v dané zemi vlivem nepřesných odkazů v aplikaci. Tato služba tedy nelze používat v naší zemi. Taktéž aplikace poskytuje aplikace podrobné informace o telefonu (model, verze softwaru, parametry hardwaru apod.) a umožňuje manuální aktualizaci připojení. Grafické rozhraní aplikace je zobrazeno na obrázku 3.2 níže. Jak je patrné z obrázku, v jednotlivých kartách je možné dohledat sílu signálu a další informace o užití technologii apod. Aplikaci lze považovat za zajímavý náhled na mobilní technologie, ale opět je k profesionálnímu měření respektive pro účely operátora prakticky nepoužitelná.



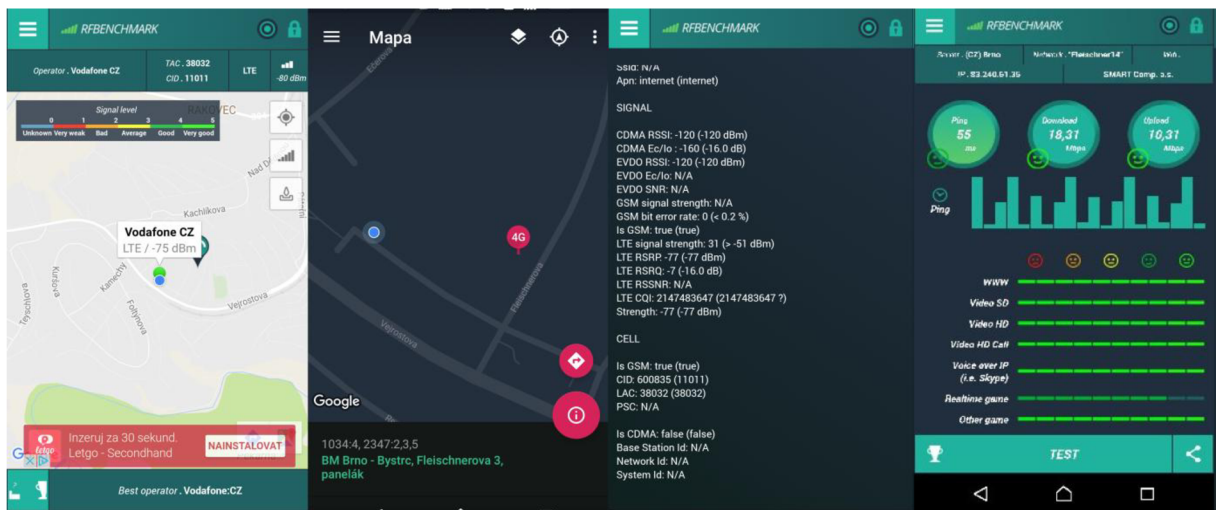
Obr. 3.2: Grafické rozhraní aplikace Network Signal Info

Aplikace **Open Signal** je zdarma a nenabízí placenou rozšířenou verzi. Mimo jiné umožňuje sledovat a vyhodnocovat, který operátor má v dané oblasti nejkvalitnější pokrytí (síla signálu). Tato funkce se však při měření jevila jako nefunkční. Opět umožňuje analyzovat jak mobilní připojení (2G-4G) tak i připojení k wi-fi. Stejně jako její konkurenti umožňuje zobrazení na mapě. Zde je však zobrazeno pokrytí celé republiky bez jakékoliv kolísavosti (zdroj informací pro tuto funkci není znám). Aplikace má pravděpodobně v databázi všechny buňky. V tomto ohledu je možné v zobrazení měnit operátory (v mém případě nebylo dostupné) a technologii (na výběr buď 2G/3G nebo 4G s možností sledování obou variant najednou). Na mapě je taktéž možné zobrazit 100 nejbližších buněk a 100 nejbližších zdrojů wi-fi. Umožňuje test rychlosti připojení (Uplink, Downlink a Ping) v trvání cca 10 sekund a zobrazuje využití dat (rozlišuje datové služby a wi-fi) až 30 dní nazpět. Grafické rozhraní této aplikace je na obrázku 3.3 níže. Na úvodní obrazovce se vždy objeví šipka, směřující k aktuální buňce spolu s údaji o operátorovi, síle signálu a užití technologii. Tato aplikace se jeví jako nejkompaktnější a přestože ji shledávám taktéž nevhodnou pro účely profesionálního měření, jedná se o velmi zdařilou aplikaci, která nabízí uživateli spoustu možností, jak získat informace o mobilní datové síti.



Obr. 3.3: Grafické rozhraní aplikace Open Signal

Čtvrtou testovanou aplikací byl **RFBenchmark**, který je stejně jako předešlá aplikace zdarma a nenabízí rozšířenou placenou verzi. Umožňuje monitoring a testování jak mobilní datové sítě (2G-4G) tak wi-fi. Aplikace v popisku inzeruje, že nabízí porovnání s ostatními operátory, nicméně tato možnost se jevila jako nefunkční. Aplikace opět nabízí test rychlosti připojení (Uplink, Downlink a Ping, rozšířené o internetové stránky, video, VoIP a hry). Samotný test trvá cca 10 sekund, proto je objektivnost testování rychlosti připojení pro video a hry spekulativní. Aplikace nabízí zobrazení připojení k buňce na mapě spolu s informacemi o aktuální buňce (síla signálu) a samotné síti. Grafické rozhraní je zobrazeno na obrázku 3.4 níže. V rozšířeném logu je možné nalézt detailní informace o užití technologii, buňce samotné a provozovateli sítě. Vzhledem k tomu, že aplikaci neshledávám jako vhodnou k profesionálnímu měření, jedná se spíše o nadbytečné informace. Ovšem pro nadšence mobilních technologií se může jednat o zajímavá data.



Obr. 3.4: Grafické rozhraní aplikace RFBenchmark.

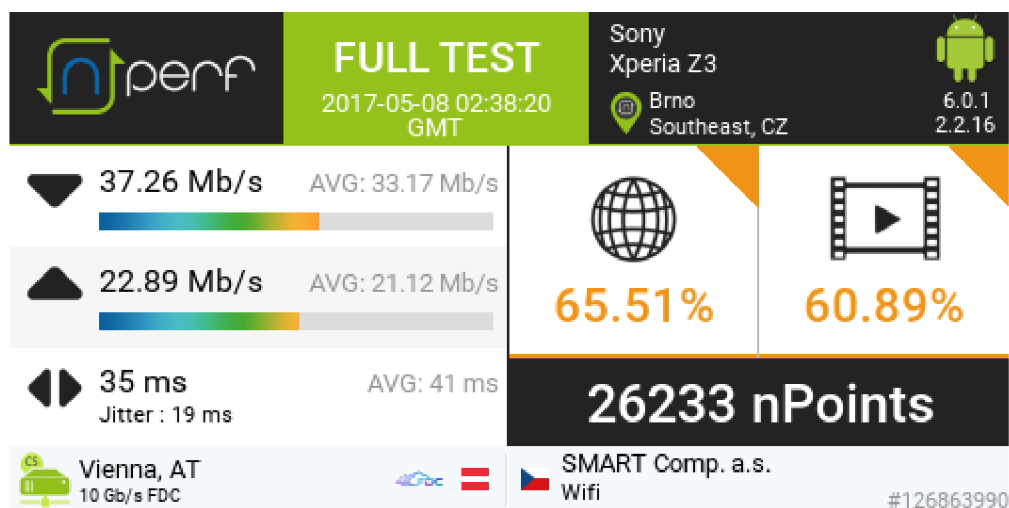
Poslední zmíněnou aplikací je velmi zdařilý a pokročilý tester rychlosti **nPerf** jak pro mobilní datové sítě (2G-4G) tak pro wi-fi. Tato aplikace je zdarma. Umožňuje klasický test rychlosti (Uplink, Downlink, Ping), test načítání internetových stránek (Google, Novinky.cz, Facebook apod. – celkem 5) a testování streamování videa (v kvalitě 240p, 360p a 720p). Je možné vybrat konkrétní scénář nebo kompletní test zahrnující všechny scénáře najednou. Celkový test trvá zhruba 30-45 sekund. Výsledek je možné sdílet ať už na sociálních sítích nebo pomocí emailu a dalších technologií. Odeslaná zpráva však neobsahuje přesné údaje o poloze uživatele, který test provedl (pouze město, popř. městskou část). Dále nabízí možnost regulace spotřeby dat. Uživatel si nastaví den, ke kterému se mu obnovuje datový balíček spolu s limitem a může si nastavit upozornění, při kolika procentech spotřebování dat ho aplikace upozorní. Uživatel si tedy může sám sledovat spotřebu dat. Aplikace taktéž obsahuje mapu pokrytí dané oblasti operátorem, nicméně mapa působí nekompletně. Grafické rozhraní aplikace pro kompletní test jsou zobrazeny na obrázku 3.5 níže.



Obr. 3.5: Grafické rozhraní testu rychlosti aplikace nPerf

Aplikace **nPerf** je velmi dobrým testerem kvality spojení. Pokud by vývojář dodal k odesílaným výsledkům údaje o přesné geografické poloze, popř. některé další měřené parametry

(zejména u načítání internetových stránek a streamování videa - nejen v procentech), mohla by aplikace sloužit jako zajímavý způsob zpětné vazby směrem od uživatele k operátorovi. V případě, že by operátor tyto testy dotoval (např. za test uživatel obdrží volná data), disponoval by operátor dobrým zdrojem informací přímo od zákazníků. Přesnost měření je samozřejmě spekulativní, nicméně po dostatečné profesionální analýze by aplikace mohla sloužit k účelu získávání informací pro oddělení RAN Management. Současný vzhled výsledku měření, který je možné odeslat je zobrazen na obrázku 3.6 níže [24].



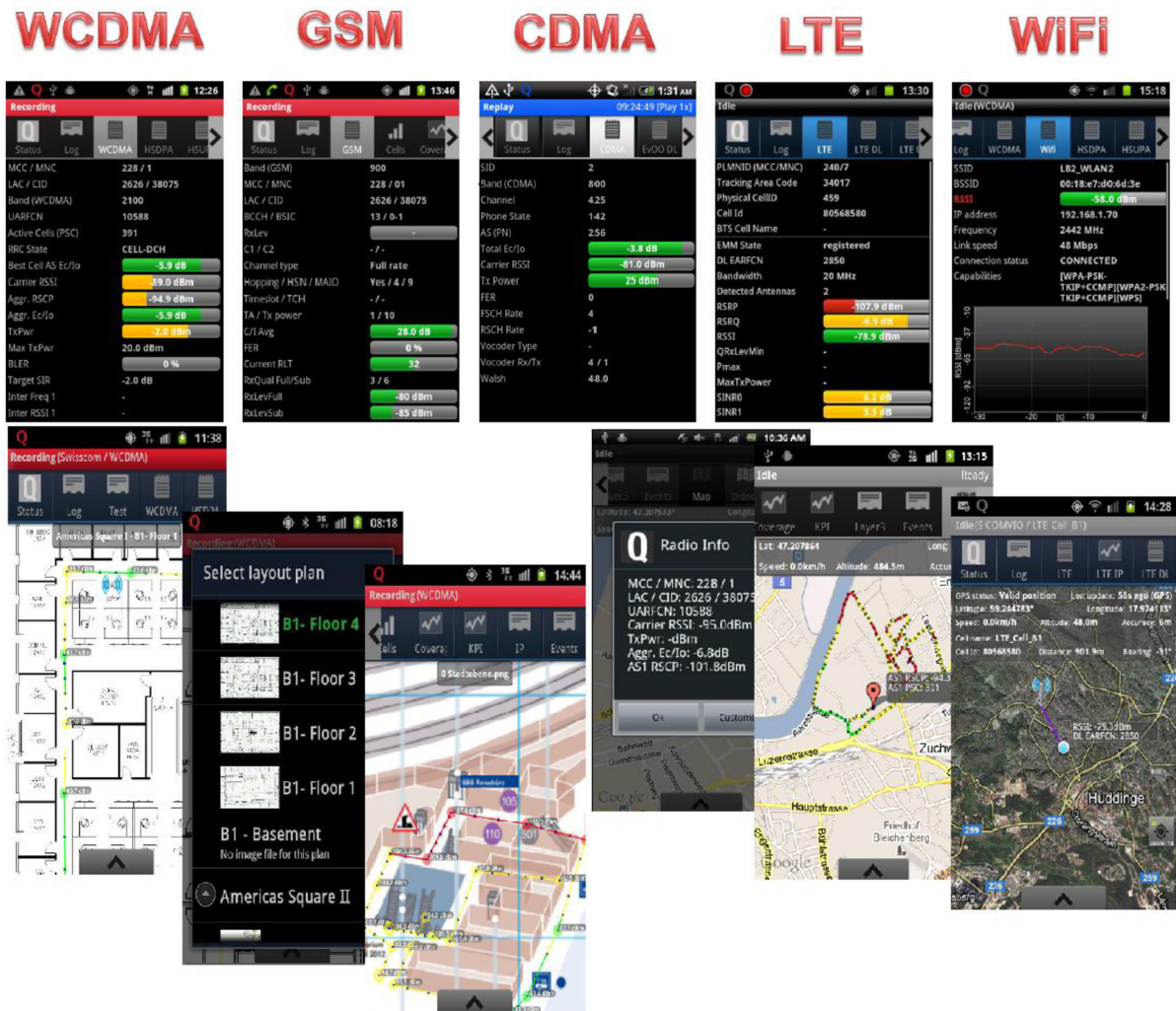
Obr. 3.6: Distribuovatelný výsledek měření aplikace nPerf.

3.3.3 Profesionální aplikace pro monitoring sítě

V tomto případě se jedná o aplikace a celkově software, který dodává ke svému zařízení prakticky každá firma, která se zabývá produkcí a prodejem profesionálního zařízení pro monitoring sítě a měření kvality služeb. Cílovou skupinou v tomto případě jsou telekomunikační společnosti, které potřebují o své síti zjistit co nejvíce detailů. Software je nákladný a obvykle se neprodává bez zakoupení originálního hardwaru. Mezi zástupce firem, které se tímto odvětvím telekomunikačního odvětví zabývají, můžeme zařadit např. Accuver, Anite, Ascom, Focus Infocom, Nielsen nebo SwissQual. Každá z těchto firem přistupuje k monitoringu po svém a aplikace se následně vymezují především v grafickém rozhraní. Samotné funkce aplikace se obvykle příliš neliší a zaměřují se jak na měření kvality datových služeb tak i hlasových (zásadní rozdíl oproti veřejně dostupným aplikacím). Některé firmy (např. Nielsen) kromě monitoringu datových a hlasových služeb inzerují i analýzu výdajů zákazníků. Do jaké míry však tato funkce lze považovat za profesionální je předmětem spekulace, jelikož jsem v rámci této práce neměl přístup k žádné dokumentaci této firmy.

Samotné aplikace jsou multiplatformové a obvykle jsou dostupné pro různé operační systémy (většina však pro Android). Jak bylo řečeno výše, jsou určeny pro detailní analýzy jak hlasových tak datových služeb. Umožňují tvorbu projektů (scénářů), které jsou pak prováděny bez nutnosti manipulace s telefonem. Většinou tyto aplikace obsahují i možnost vzdáleného restartu pro případ „zamrznutí“. To z těchto aplikací činí ideální nástroj pro provádění i stacionárních měření. Umožňují skenování sítě v reálném čase, ale umožňují i zpáteční přehrání proměřených scénářů. Možnost zobrazení na mapě je samozřejmostí. Stejně tak je samozřejmostí i speciální mód pro indoorová

měření. Prakticky umožňují měření všech parametrů (až na výjimky) zmíněných výše v podkapitole 3.2 a většinou i mnoha dalších. Naměřené výsledky se ukládají do databáze, kterou má k dispozici administrátor a může tato data využít k tvorbě výsledných zpráv z měření. Jedná se tedy o komplexní nástroj, který umožňuje plánování, vlastní provedení měření a následné uložení dat ve zpracovatelném formátu. Tato komplexnost zatím jednoznačně převyšuje veškeré volně dostupné aplikace a pro účely operátorů jsou dle mého názoru zatím nenahraditelné. Stručný náhled na grafické rozhraní aplikace firmy SwissQual je na obrázku 3.7 níže [25].



Obr. 3.7: Grafické rozhraní aplikace pro monitoring sítě od firmy SwissQual [25].

3.3.4 Drive test

Momentálně nejvyužívanějším způsobem monitoringu sítě v rámci oddělení RAN Management ve firmě O2, je tzv. **drive test**. Tento test probíhá za využití měřících vozů, které obsahují sestavu určenou k měření. Měřící automobily projíždějí po komunikacích v měřených oblastech, zatímco měřící sestava provádí hovory, popř. datová spojení, mezi touto sestavou a ústřednou. Data z průběhu hovoru jsou zaznamenávána a poté nahrána do databáze a následně vyhodnocena. Tato metoda dokáže relativně rychle zmapovat velkou plochu, což je velkou výhodou a jedná se o časově

velmi efektivní metodu. Zároveň metoda dokáže monitorovat handovery a jejich kvalitu (předávání spojení mezi jednotlivými základnovými stanicemi). Metoda poskytuje dobrou vypovídající hodnotu, jelikož simuluje pohyb zákazníka v automobilu. Touto metodou je možné nashromáždit velké množství dat z mnoha lokalit a přináší statistické údaje monitorující oblast většího rozsahu. Metoda je tedy vhodná k rychlému zmapování větší plochy. Vzhledem k měření velké plochy, přináší i velkou pravděpodobnost náhodného odhalení problému. U ostatních metod je tato pravděpodobnost menší z důvodu velikosti proměřené oblasti.

3.3.5 Nomadic test

Tento test je obvykle prováděn zároveň s drive testem. Slouží ke zmapování nejen určité oblasti z časově efektivního pohledu, ale zároveň dává nahlédnout do provozu a změny výkonu sítě v průběhu času. Jedná se o způsob, kdy měřící vůz provádí měření dané oblasti pomocí drive testu. Poté se však v cílových a předem určených bodech zastaví a provádí krátkodobě stacionární měření, čili měřící vůz stojí na místě a provádí měření. Tato metoda je velmi dobře využitelná v případě, kdy např. na menším městě potřebuje operátor nejen zmapovat signál ve většině ulic, ale zároveň potřebuje detailnější náhled na vytíženost sítě během určitých hodin na frekventovaných místech (náměstí, nádraží, kancelářské oblasti), kde se dá očekávat velké zatížení sítě. Vypovídající hodnotu přináší, pokud měření probíhá delší dobu (minimálně 30 minut). Při delších měřeních (hodina a více) je vhodné tento test vyhodnocovat separátně od drive testu, jelikož nashromáždí dostatečné množství dat a statisticky pak lépe definuje konkrétní oblast.

3.3.6 Stacionární měření

Stacionární měření v podstatě spočívá v umístění měřicí sestavy na předem určené místo, kde provádí měření. Toho je možné využít především v případech, že se v síti objevují problémy pouze v dané hodiny vlivem vyšší vytíženosti v konkrétní časy apod. V podstatě slouží k dlouhodobějšímu náhledu na stav sítě v jednom konkrétním místě. Jedná se o několika hodinová měření a více. Tato metoda na rozdíl od všech ostatních nepotřebuje konkrétního zaměstnance, který by neustále obsluhoval či kontroloval měřicí sestavu a jehož přítomnost by byla nutná na místě měření. Této metody se hojně užívá v případě, kdy např. firemní zákazník reklamuje kvalitu poskytovaných služeb ve svém objektu. Pokud se zaměříme na konkrétní oblast, je vypovídající hodnota pro daný bod vůbec největší ze všech testů. Vzhledem k délce testů se jedná i o statisticky nejpřesnější měření. Taktéž přináší největší vypovídající hodnotu z hlediska možného řešení problému pro daný bod. Tato metoda lze užít i v případě, že je náhodně odhalen problém v síti pomocí některého z jiných metod testování. Tato varianta je tedy nejvhodnější primárně pro samotné řešení problému, nikoliv pro monitoring služeb, jako je tomu u ostatních metod.

3.3.7 Pěší test

Pěší test neboli **walk test** je taktéž metodou, která je svou podstatou obdobnou metodou, jako je drive test. Nicméně walk testy jsou určeny pro vnitřní prostory, kde není možné využít měřicí vůz. Jejich uplatnění je tedy v kancelářských prostorech, na stadionech, na letištích, v pěších zónách,

v průmyslových budovách apod. Měřicí sestava je většinou ve formě kastle, která je uzavřena do obalu, který je možné nosit jako batoh, popř. táhnout za sebou jako příruční zavazadlo. Sestava je obvykle napojena na chytrý telefon, popř. tablet, kde zaměstnanec provádějící test pomocí bodů na mapě (cca každé 2 metry) označuje, kudy se pohybuje, aby pak bylo možné data správně vyhodnotit. To je však nutné pouze ve vnitřních prostorech. Vzhledem k tomu, že u drive testu ani nomadic testu není potřeba takováto přesnost, naprosto stačí, že je měřící vůz vybaven GPS anténou. Stejně tak u stacionárního měření je naprosto dostatečná GPS anténa. U pěších testů je však pohyb na mapě velmi důležitý (např. pohyb v různých patrech budovy), protože díky velice podrobné a přesné analýze je možné odhalit, v čem může spočívat případný problém. Pokud měření probíhá ve venkovních prostorech (např. náměstí a pěší zóny), není nutné zaznačovat pohyb do tabletu, jelikož je zařízení taktéž vybaveno GPS lokátorem. Tato varianta je taktéž velmi vhodná pro užití na frekventovaných místech ve městech, kde je síť zatížena. Samotné testování v tomto případě simuluje zákazníka, který se pohybuje např. po ulici. Vypovídající hodnota je velmi vysoká pro tento konkrétní příklad, jelikož velmi věrně simuluje zkušenost zákazníka. Nicméně měření jsou fyzicky náročná a musí probíhat po dostatečně dlouhou dobu, aby byla statisticky přesná a odpovídající realitě. Každá ze zmíněných metod je tedy vhodná pro konkrétní případy a klíčem k úspěšnému měření je jejich vyváženost.

4. Monitoring sítě v O2 Czech republic a.s.

4.1 O2 Czech republic a.s.

Společnost O2 Czech Republic a.s. je v současné době největším integrovaným poskytovatelem služeb v České republice. Její historie sahá v České republice až do roku 1991, kdy vznikla společnost Eurotel. Eurotel byl však v roce 2006 odkoupen společností Telefonica O2 Czech Republic a.s., která později zkrátila svůj název na O2 Czech Republic a.s. Logo společnosti je na obrázku 4.1 níže.

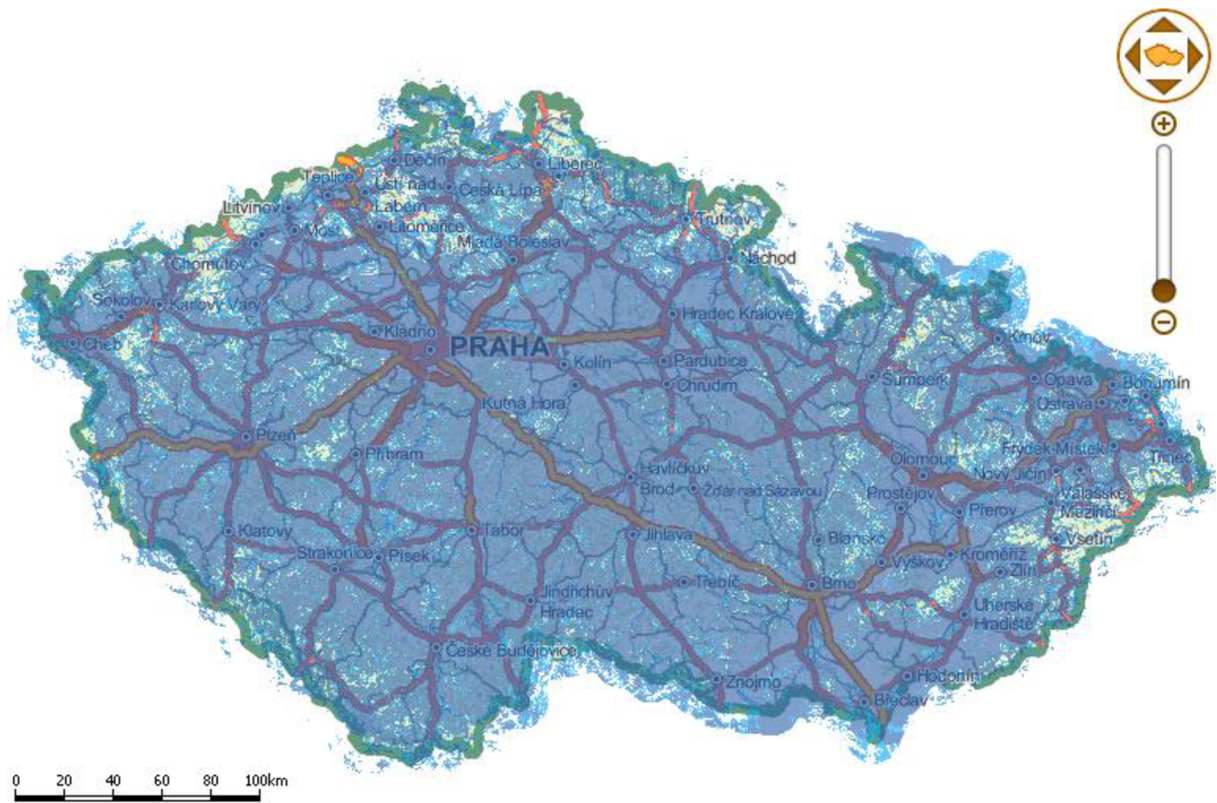


Obr. 4.1: Logo společnosti O2 Czech Republic a.s. [22].

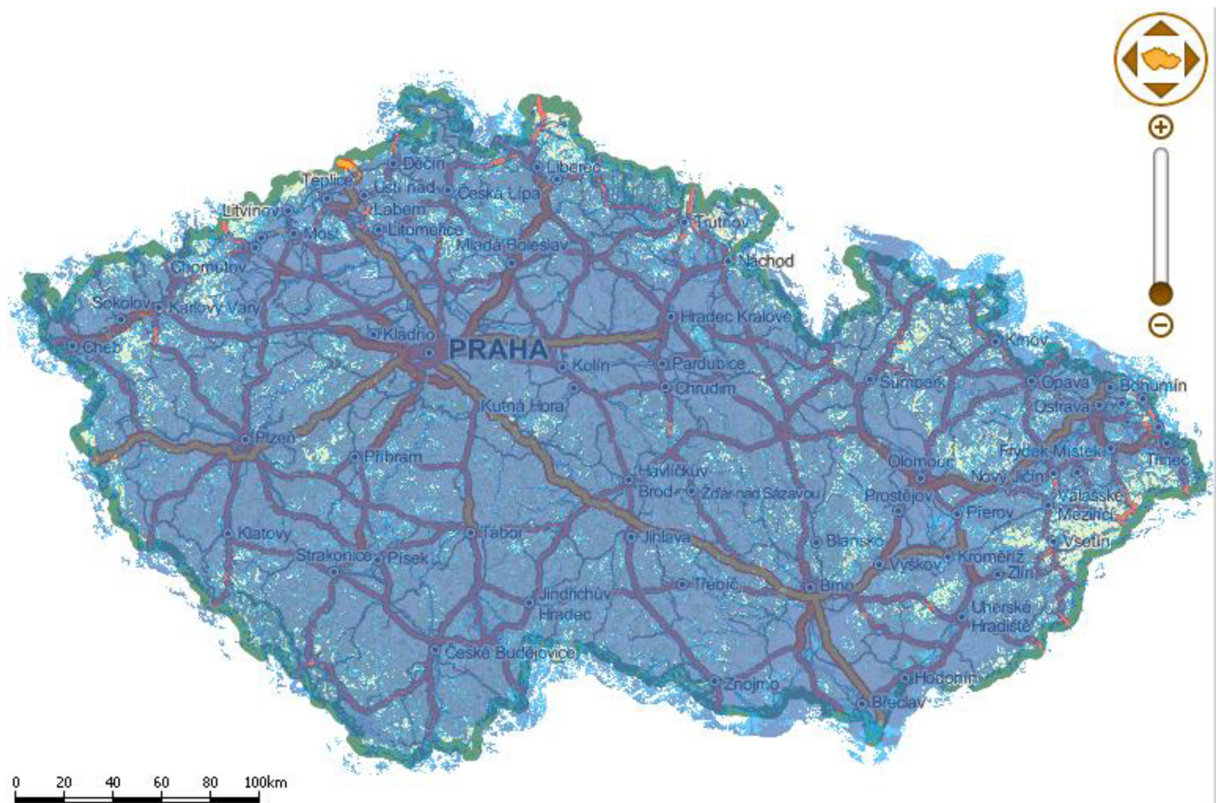
Společnost v současné době spravuje cca 8 milionů pevných linek a mobilních SIM karet. Poskytuje svým klientům moderní technologie LTE a HSPA+. Dále poskytuje svým zákazníkům nejen hlasové a datové služby, ale i třeba digitální televizi O2 TV. Hlavním sídlem společnosti je komplex na pražském Pankráci [26].

4.2 Pokrytí v České republice

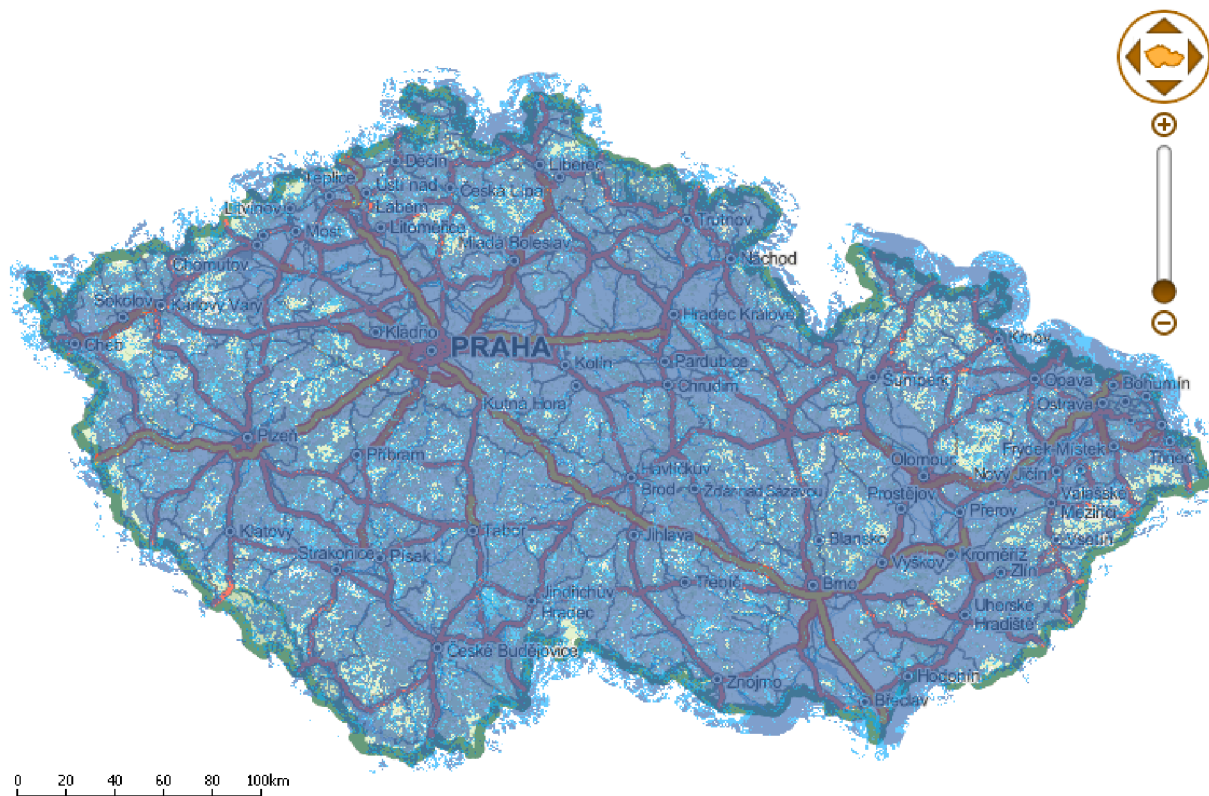
V České republice lze pozorovat tvrdý konkurenční boj mezi 3 hlavními operátory – O2 Czech Republic a.s., T-mobile a Vodafone. Všechny firmy vesměs používají stejná frekvenční pásma (800, 900, 1800, 2100 a 2600 MHz). Tato podkapitola je zaměřena právě na porovnání využití spekter a porovnání pokrytí v České republice. Na obrázcích 4.2, 4.3 a 4.4 je možné pozorovat pokrytí napříč všemi spektry u všech více zmíněných operátorů.



Obr. 4.2: Pokrytí O2 napříč všemi spektry [27].



Obr. 4.3: Pokrytí T-Mobile napříč všemi spektry [27].

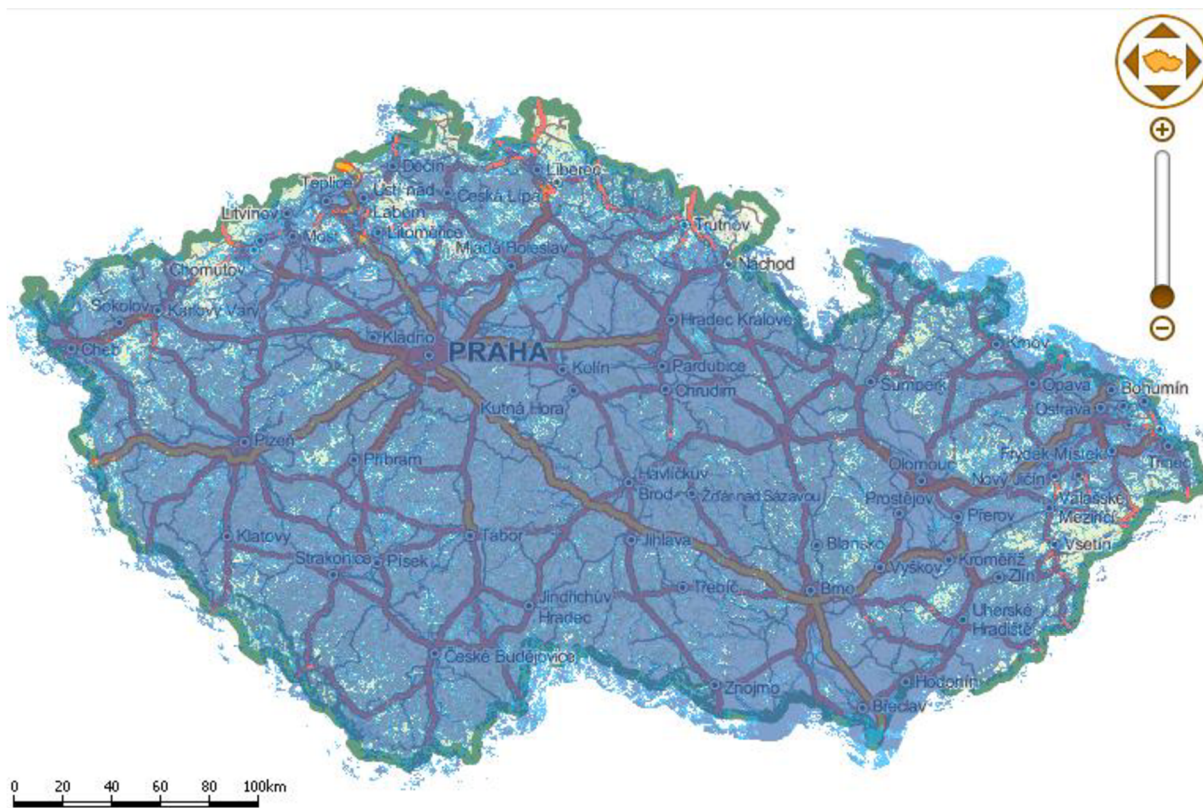


Obr. 4.4: Pokrytí Vodafone napříč všemi spektry [27].

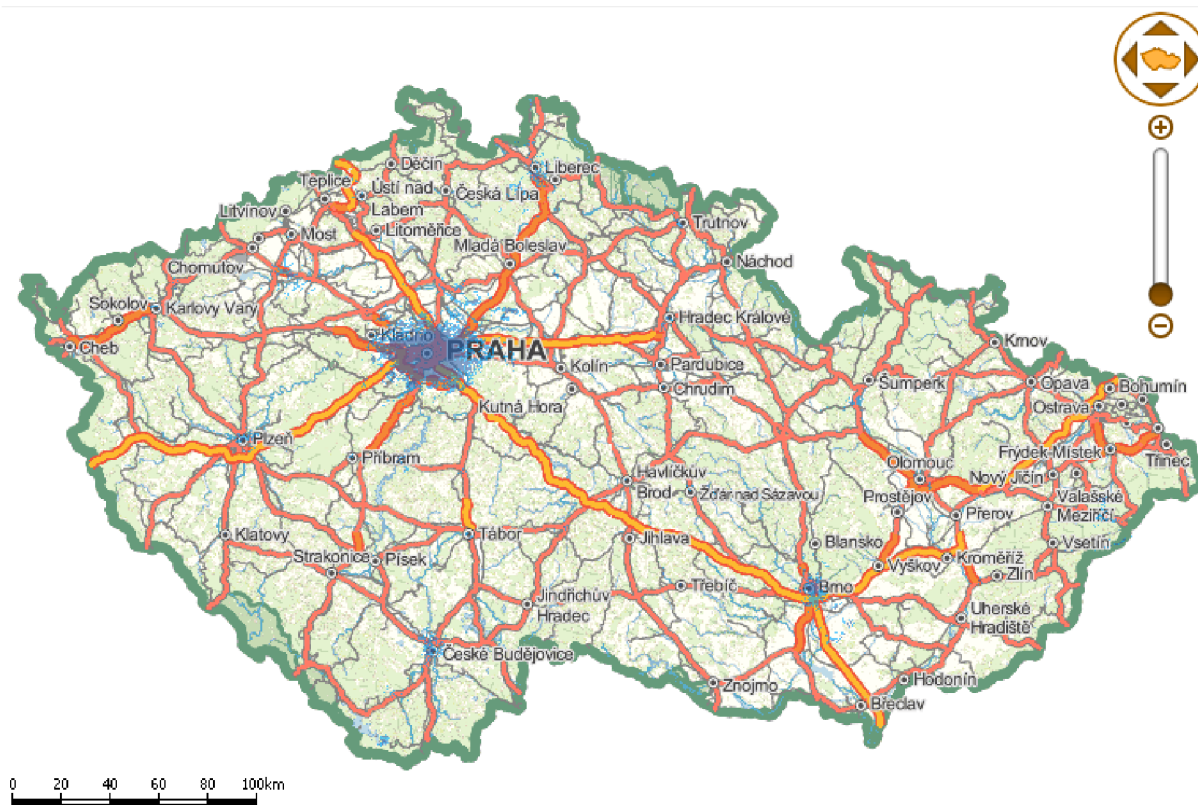
Jak je vidět na obrázcích výše, pokrytí se nijak výrazně neliší a je dostatečně husté napříč celou republikou. O to větší roli hraje kvalita služeb, jelikož se může stát faktorem, který může přesvědčit zákazníka pro toho či onoho operátora. Jak je vidět z map, mají všichni operátoři vesměs stejné problémy s pokrytím určitých oblastí. To může být spojeno s nerovnostmi povrchu v dané oblasti, které přispívají k složitému pokrytí, či dalšími faktory.

Jelikož se tato práce týká celkově společnosti O2, jsou níže zobrazeny na obrázcích 4.5, 4.6, 4.7 a 4.8 postupně pokrytí na frekvenčních pásmech 800, 1800, 2100 a 2600 MHz. Jak je vidět z obrázků, nejhustší pokrytí má síť na frekvencích 800 MHz. Frekvence okolo 1800 MHz jsou určeny pouze k pokrytí dvou největších českých měst – Prahy a Brna. Frekvenčním pásmem okolo 2600 MHz jsou pokryty pouze některé hraniční oblasti České republiky. Pokrytí sítí na frekvencích 2100 MHz je užito především v hustěji obydlených oblastech naší země.

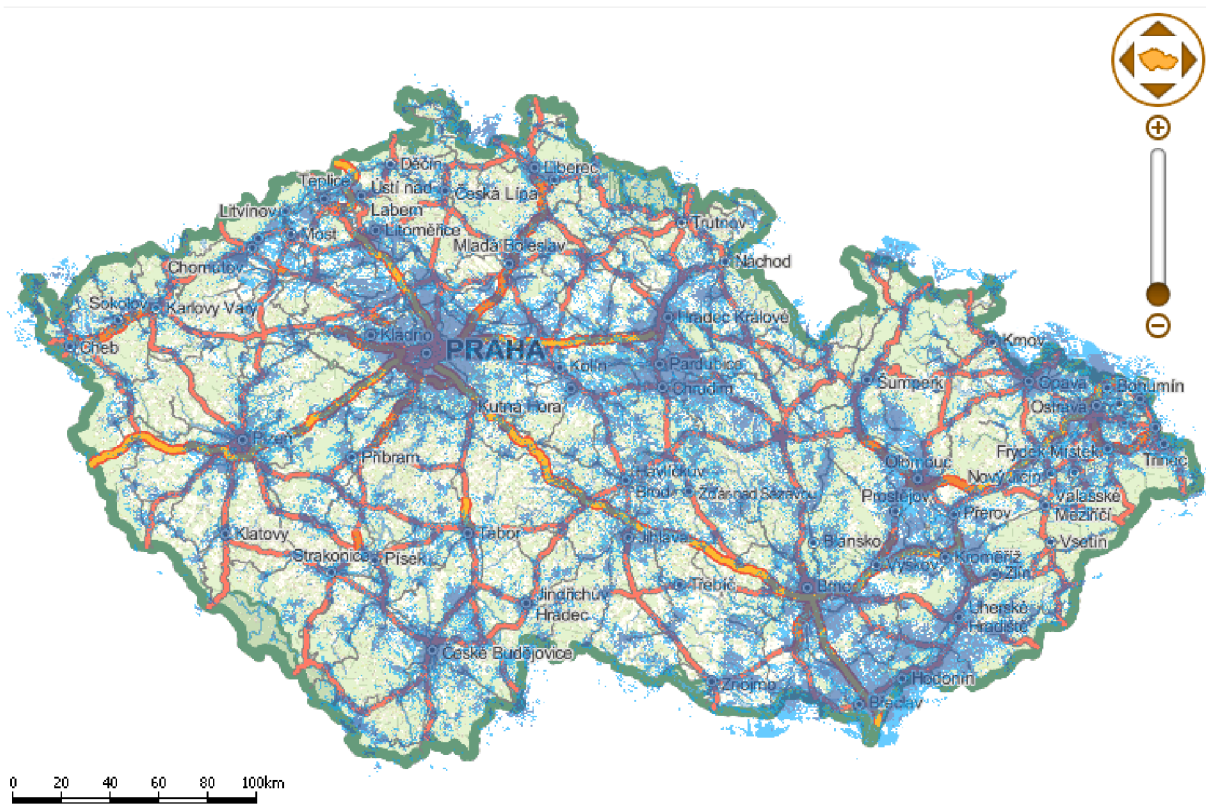
Síťové vybavení společnosti O2 můžeme rozdělit na 2G, 3G a 4G. Území celé České republiky je pokryto tzv. sítí (antény šířící signál). Na síť 2G připadá cca 6 000 sítí, na síť 3G cca 3 200 sítí a na síť 4G opět cca 6 000 sítí. Největší plocha je pokryta sítěmi typu 2G a 4G. Síť typu 3G nejsou tak rozšířené. Vzhledem k frekvenčnímu pásmu, které používají (1920-2170 MHz), by pokrytí našeho území touto technologií bylo velice nákladné a nevyplatilo by se – bylo by potřeba celkem cca 18 000 sítí. Proto je tato technologie soustředěna především v hustě obydlených oblastech. Tento fakt ve spojitosti s nepřilíživou četností zákazníků s telefony podporujícími 4G ovlivňuje např. problémy s připojením ve venkovských oblastech. Většina našeho území je pokryta technologií 4G. V případě, že zákazník disponuje telefonem, který podporuje maximálně technologii 3G, jejíž pokrytí je v ČR řídké, může se stát, že jediná služba, která mu je k dispozici pro datové služby, je technologie 2G. To se odrazí v nízkých přenosových rychlostech.



Obr. 4.5: Pokrytí O2 na frekvencích 800 MHz [27].



Obr. 4.6: Pokrytí O2 na frekvencích 1800 MHz [27].



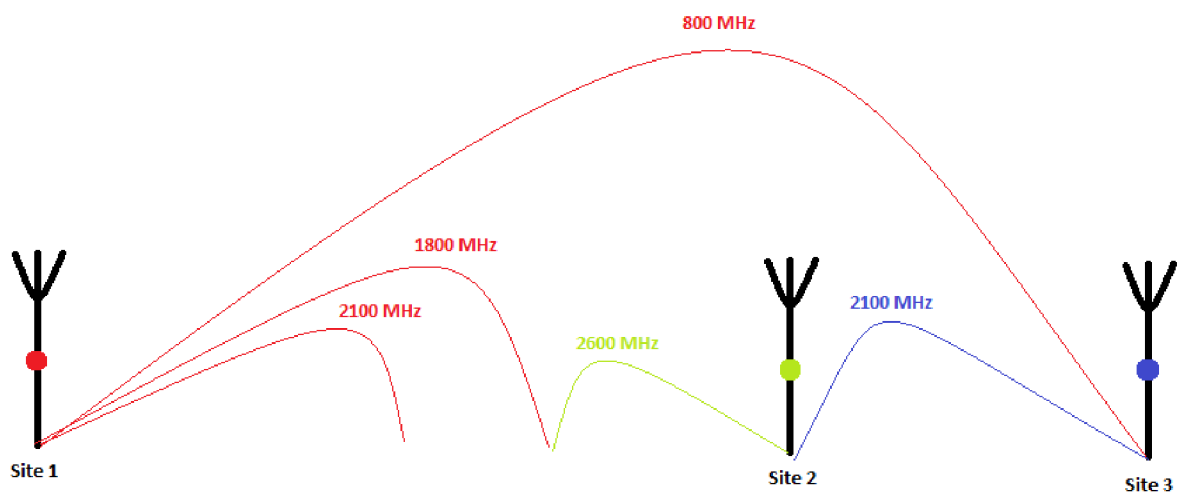
Obr. 4.7: Pokrytí O2 na frekvencích 2100 MHz [27].



Obr. 4.8: Pokrytí O2 na frekvencích 2600 MHz [27].

Vzhledem k výše popsaným faktům, je v samotném zájmu společnosti O2, aby co nejvíce zákazníků bylo vybaveno moderními mobilními telefony, které podporují technologii 4G ve spojení s USIM. Na to se logicky zaměřuje i marketing společnosti. V dnešní době vlastní v síti O2 mobilní telefon podporující 4G cca 1,6 milionu zákazníků a z nich cca polovina vlastní USIM, což není zanedbatelné číslo. Ale s ohledem na to, že pouze cca 0,2% zákazníků O2 (10 000 z cca 4 941 000 ke konci roku 2016) má moderní vybavení umožňující VoLTE, není měření a monitoring služby VoLTE momentálně stěžejním zaměřením oddělení RAN Management. Do budoucna je však třeba počítat s narůstajícím počtem takových zákazníků a je v zájmu společnosti co nejvíce zlepšit kvalitu těchto služeb. Zároveň vzhledem k tomu, že sama služba VoLTE funguje na principu přepojování paketů, je pro společnost i finančně zajímavé, aby co nejvíce zákazníků začalo tuto službu využívat. Mimoto je i další výhodou hovořící ve prospěch VoLTE vysoká kvalita přenášeného řečového signálu.

Ve většině případů, zejména v hustěji obydlených oblastech, se běžně stává, že je místo pokryto hned několika technologiemi naráz a jsou užitá různá frekvenční pásma. Signál ze sítí se překrývá, aby bylo zaručeno co nejefektivnější pokrytí signálem a tím i zajištěna spokojenost zákazníků. Modelový příklad pokrytí oblasti signálem je zobrazen na obrázku 4.9 níže.



Obr. 4.9: Příklad pokrytí náhodné oblasti třemi sity.

Pokud se zaměříme na obrázek 4.9 výše, je z něho patrné, jakým způsobem se často pokrývají oblasti k zajištění požadovaného standard služeb. Barevně je zde odlišen zdroj šíření signálu a křivka naznačuje efektivní dosah signálu o dané frekvenci.

Z využívaných frekvenčních pásem připadá využití pásma 800 MHz na technologie GSM a LTE, pásmo 1800 MHz opět na GSM (technologie GSM ve frekvenčním pásmu je též někdy nazývána DCS – Digital Cellular System) a LTE, pásmo 2100 MHz na technologii UMTS a pásmo 2600 MHz na technologii LTE.

Společnost O2 kromě výše zmíněných pásem a technologií využívá ještě doposud technologii **CDMA2000 EV-DO** (Evolution-Data Optimized) na frekvenčním pásmu 450 MHz. Jedná se o čistě datovou síť. O2 vlastní licenci na její provoz do roku 2018. Další plány nastiňující, jak O2 s tímto frekvenčním pásmem naloží zatím nejsou známy [26].[27].

4.3 Oddělení RAN Management

Oddělení pověřené měřením kvality služeb a celkově monitorováním sítě nejen vlastní ale - i konkurenční - se nazývá RAN Management a má taktéž sídlo v Praze. Dohromady má momentálně 9 zaměstnanců a nárazově využívá 1-2 brigádníky. Celkově se personál tohoto oddělení skládá z pěti měřičů, kteří provádí vlastní měření za pomoci měřících vozů a dalšího vybavení, 2 analytiků, kteří vyhodnocují a dále zpracovávají naměřená data, systémového administrátora, který funguje jako IT specialista starající se o servery, databáze apod., a manažera, který zodpovídá za chod celého oddělení. Měřicí vozy byly původně tvořeny především automobily značky Jeep (např. model Commander), které jsou nyní nahrazovány větším Volkswagenem Transporter. Za účelem monitorování kvality sítě bylo např. v roce 2013 naježděno kvůli měření cca 400 tisíc kilometrů, během kterých bylo provedeno cca 260 tisíc hovorů a 300 tisíc datových spojení. Na obrázku 4.9 níže je zobrazeno několik záběrů na plně funkční měřicí vůz staršího typu (Jeep). Měřicí soustava vykonávající měření a umístěná v měřících vozech byla předmětem výběrového řízení konzultovaného v následující kapitole

Momentálně disponuje RAN Management pěti měřicími vozy, z nichž každý proměří za rok vzdálenost cca 60 tisíc kilometrů. Roční proměřená vzdálenost je tedy aktuálně 300 tisíc kilometrů. Náklady na jeden pracovní den provozu jednoho vozu (a to i v případě, že vůz neměří) je po započítání platů zaměstnanců, údržby vybavení, samotných vozů, pohonných hmot a dalších výdajů cca 18 tisíc Kč. Pokud tedy započítáme, že v roce 2017 je 250 pracovních dní a že oddělení vlastní 4 takové vozy, dostaneme výsledný odhadovaný rozpočet oddělení na jeden rok 22 500 000 Kč.[28].



Obr. 4.10: Měřicí vůz O2 [28].

5. Výběrové řízení na dodavatele měřicího zařízení

V roce 2013 podnikla společnost O2 Czech republic a.s. výběrové řízení, v rámci kterého našli dodavatele technologií užívaných při monitoringu sítě a měření kvality signálu. V rámci tohoto výběrového řízení poskytli zástupci firmy O2 Czech republic a.s. účastníkům seznam technických požadavků na zařízení a zpětně jim byla nabídnuta konkrétní řešení. V rámci semestrálního projektu proběhla revize tohoto výběrového řízení pomocí detailní analýzy nabízených produktů. Vítěz výběrového řízení dle analýzy v semestrálním projektu byl jiný, než kterého O2 finálně zvolila. To bylo zapříčiněno tím, že součástí výběrového řízení byl i šestitýdenní zkušební test, který pro tuto práci nebyl k dispozici a který výsledek značně ovlivnil. Tomuto tématu se nebude již diplomová práce nadále věnovat. Budou pouze stručně představeny vítěz a produkty vítěze výběrového řízení momentálně užívané k monitoringu sítě.

Vítězem byla společnost SwissQual. Bylo tomu tak z důvodu, že během zkušebního měření, jak je zmíněno výše, se prokázalo řešení od firmy SwissQual jako spolehlivé a vhodné řešení. Švýcarská firma SwissQual vznikla v roce 2000 a má sídlo ve švýcarském městě Zuchwill. Je zaměřena na testování mobilních sítí a jejich následnou optimalizaci. Od roku 2012 je součástí německé firmy Rhode & Schwarz, která se zabývá výrobou měřicích zařízení. Má zhruba 100 zaměstnanců.

Balíček	Cena (EUR)
Benchmarker II (5 ks)	336 190
Benchmarker II - roční údržba	36 980
Freerider (1 ks)	22 706
Freerider - roční údržba	2 498
QualiPoc (3 ks)	22 011
QualiPoc - roční údržba	2 421
Celkem nákup vybavení v EUR	380 907
Celkem nákup vybavení v CZK	10 284 489
Celkem roční údržba v EUR	41 899
Celkem roční údržba v CZK	1 131 273
Celkem v EUR	422 806
Celkem v CZK	11 415 762

Tab. 5.1: Ceny produktů a služeb firmy SwissQual [25].

Řešení firmy se skládá ze třech hlavních produktů, pokud nepočítáme softwarové vybavení, které je součástí balíčků. Rozpis jednotlivých cen je uveden v tabulce 5.1 výše. Kromě samotného prodeje produktů provádí SwissQual za cenu, která odpovídá cca 11% z pořizovací ceny, roční servis a asistenční službu k zakoupeným produktům. Samotné měřicí zařízení je u každého produktu vybaveno GPS lokátorem, který umožňuje určit geografickou polohu, kde měření probíhá. Taktéž vybavení umožňuje tzv. forcing, který umožňuje monitorovat výhradně konkrétní technologii (např. 2G). Dokumentace poskytnutá oddělením RAN Management pro účely revize výběrového řízení (materiály od firmy SwissQual), jsou obsaženy na přiloženém disku (Příloha A). Produkt **Benchmarker II** na obrázku 5.1 je zařízení, které se užívá v měřicích vozech (drive testy, nomadic testy), ke kterému

se připojí mobilní telefony. Tyto telefony komunikují s ústřednou dle nastavení a tato komunikace je proměřována. Umožňuje zapojit až 12 telefonů pro simultánní měření. Firma O2 obvykle používá pouze 9 telefonů (obvykle 3x měření hlasových služeb 2G/3G, 3x měření datových služeb 2G/3G, 3x měření datových služeb 4G).



Obr. 5.1: Umístění systému Diversity Benchmarking II v měřicím voze [25].

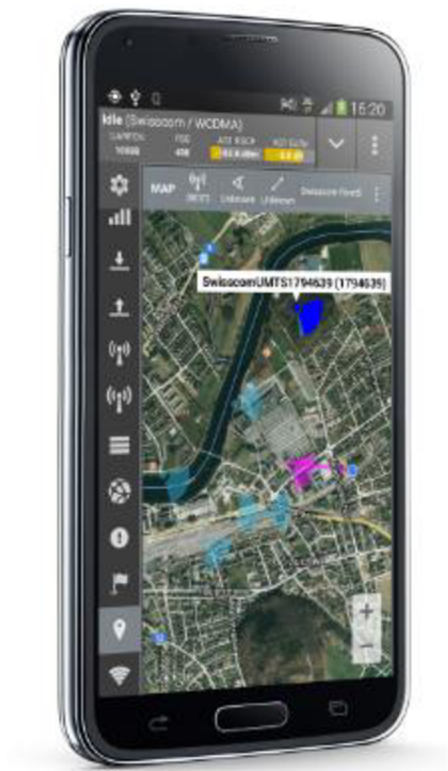
Následujícím produktem je zařízení **QualiPoc Freerider II** (zkráceně Freerider), které je zobrazeno na obrázku 5.2 níže a je určeno pro walk testy. Sestává z kastle, kterou je možno nosit jako batoh, do které je možné připojit až 6 telefonů a tabletu pro ovládání. O2 obvykle využívá připojení pouze 3 telefonů, na kterých provoz monitoruje.



Obr. 5.2: Systém QualiPoc Freerider II pro pěší měření [25].

Posledním produktem je **QualiPoc Android** (zkráceně QualiPoc) užívaný pro stacionární měření (možné užít i pro walk testy). QualiPoc (jeho část) je znázorněn na obrázku 5.3 níže. Jedná se

o dva mobilní telefony vybavené speciálním softwarem, které umožňují vzdálené ovládání [25],[29],[30].



Obr. 5.3: Systém QualiPoc Android užívaný pro stacionární měření [25].

6. Metodika zpracování výsledků měření

V rámci činnosti oddělení RAN Management ve společnosti O2 Czech Republic a.s. jsou pravidelně prezentovány výsledky měření. Tyto výsledky dávají vedení firmy náhled na stav sítě a pomáhá odhalovat rezervy, které brání pomyslnému bezchybnému stavu sítě, spokojenosti zákazníků a tím i většímu profitu, úspěšnosti firmy a možnosti následné investice do vývoje a zdokonalení síťových služeb. V této kapitole je představen report a tedy i náhled na zpracování dat získaných během měření, které provedlo oddělení RAN Management v roce 2016 i v letech předchozích. Výsledky použité v rámci této práce jsou použity ze zprávy prezentované v dubnu 2016. Zpracování výsledků je samozřejmě jiné pro parametry QoS související s hlasovými službami i s datovými službami. Materiály zpracované v této kapitole byly poskytnuty autorovi diplomové práce společností O2

6.1 Výsledky měření QoS parametrů hlasových služeb

Do této kategorie spadá několik parametrů, které se jeví jako klíčové a v samotném vyhodnocování se tedy považují za parametry vypovídající nejvíce o momentálním stavu sítě. Jsou to především parametry CSFR (Call Setup Fail Rate), CDR (Call Drop Rate), NSR (No Service Rate) a PESQ (Perceptual Evaluation of Speech Quality). Během měsíců únor, březen a duben 2016 bylo zmapována především Praha, kde je logicky požadavek na kvalitu služeb největší a další města (např. Benešov, Pardubice, Plzeň, Zlín). Většinou se jedná o hustěji obydlené oblasti a jejich okolí. Měření kvality hlasových služeb probíhalo ve dvou základních módech na základě technologií užitými v sítích – 2G a dual mód (kombinace 2G a 3G). Výsledky měření za duben 2016 v rámci celé ČR jsou vidět níže v tabulce 6.1.

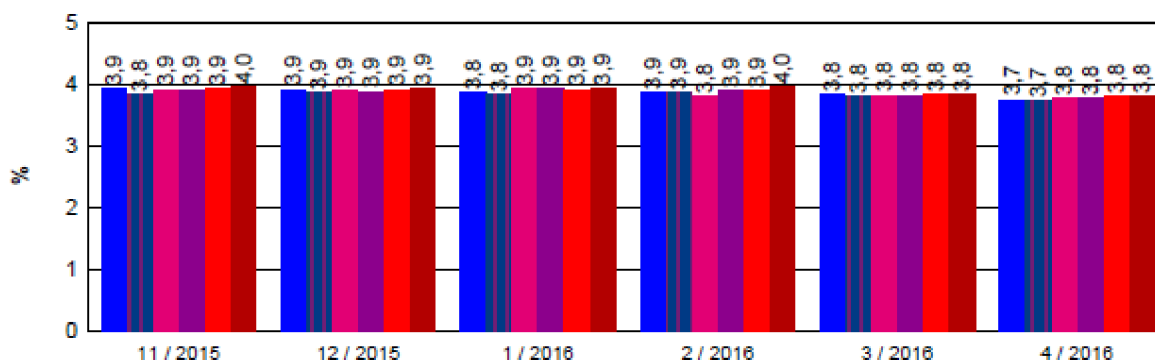
Operátor (Technologie)	Počet hovorů	CSFR	CDR	PESQ
O2 (dual)	6769	0,7	0,3	3,74
O2 (GSM)	1667	0	0,1	3,72
T-Mobile (dual)	6671	1,1	0,4	3,76
T-Mobile (GSM)	1662	0	0,1	3,76
Vodafone (dual)	6664	1,3	0,4	3,78
Vodafone (GSM)	1652	1,1	0,3	3,79

Tab. 6.1: Hodnoty získané v rámci měření QoS společností O2 [31].

Jak je patrné z tabulky, O2 je celkově v České republice operátorem, který dosahuje nejnižší chybovosti a nejvyšší stability hovorů. Nicméně kvalita hovoru vnímaná z pohledu zákazníka má určité rezervy, jelikož v tomto ohledu O2 mírně zaostává za svojí konkurencí. Celkový vývoj kvality hovoru v průběhu půlroku je možné vidět na obrázku 6.1 níže. Pořadí sloupcových diagramů odpovídá pořadí sloupce Operátor (Technologie) v tabulce 6.1.

Vzhledem k tomu, že užití módu dual (kombinace 2G a 3G) vytlačuje postupně užití samostatného GSM, je i na měření kladen větší důraz, což je patrné i z množství provedených hovorů v tabulce 6.1. V tabulce 6.2 níže můžeme vidět výsledky měření ve dvou částech Prahy a v Pardubicích. Zajímavý náhled přináší i tabulka 6.3, kde jsou celkově zmapovány stejné hodnoty, avšak pro větší množství malých měst

PESQ / POLQA



Obr. 6.1: Průměrné hodnoty PESQ v rámci ČR od listopadu 2015 do dubna 2016 [31].

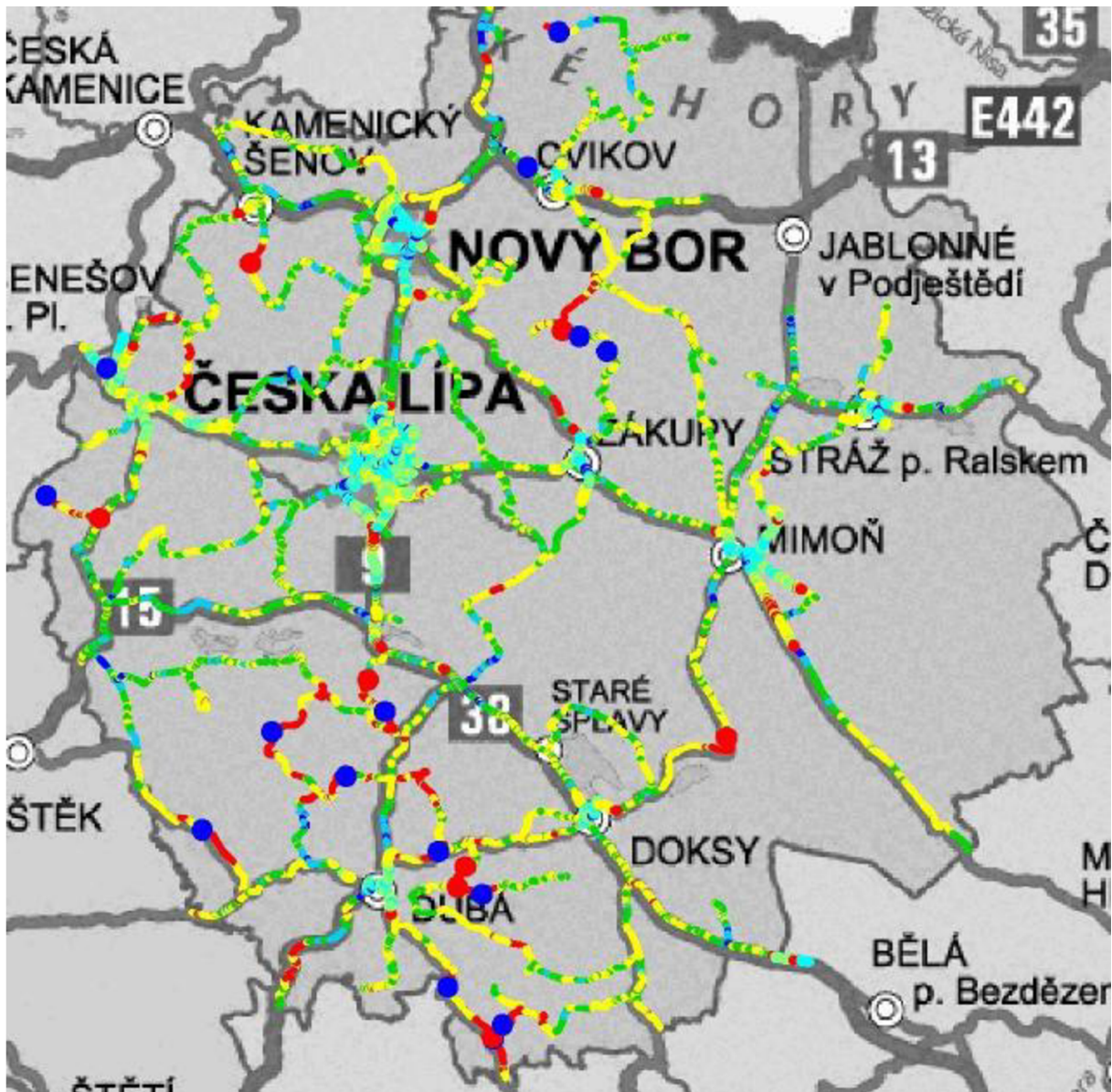
DUAL	POČET HOVORŮ			CSFR [%]			CDR [%]			POLQA		
	O2 DUAL	T-Mobile DUAL	Vodafone DUAL	O2 DUAL	T-Mobile DUAL	Vodafone DUAL	O2 DUAL	T-Mobile DUAL	Vodafone DUAL	O2 DUAL	T-Mobile DUAL	Vodafone DUAL
Praha V	732	738	743	1,09	3,12	1,48	0,41	2,80	0,41	3,69	3,65	3,58
Praha VI	881	901	901	1,48	1,89	1,55	0,92	0,34	0,56	3,62	3,52	3,73
Pardubice	641	642	642	0,47	0,31	1,87	0,00	0,16	0,32	3,75	3,70	3,75

Tab. 6.2: Výsledky měření pro mód dual ve velkých městech [31].

DUAL	POČET HOVORŮ			CSFR [%]			CDR [%]			PESQ/POLQA		
	O2 DUAL	T-Mobile DUAL	Vodafone DUAL	O2 DUAL	T-Mobile DUAL	Vodafone DUAL	O2 DUAL	T-Mobile DUAL	Vodafone DUAL	O2 DUAL	T-Mobile DUAL	Vodafone DUAL
Benešov	271	272	272	1,11	0,37	0,37	0,00	0,37	0,00	3,62	3,71	3,63
Čelákovice	256	261	261	1,17	0,77	0,38	0,79	0,00	0,38	3,50	3,73	3,59
Humpolec	282	272	283	1,42	2,21	1,41	0,36	0,38	0,36	3,74	3,75	3,81
Kladno	301	285	286	0,66	0,70	0,35	0,33	0,00	0,00	3,88	3,91	3,96
Kláštepec nad C	278	265	275	0,36	1,51	0,00	0,36	0,38	0,00	3,94	3,94	3,96
Kralupy nad Vlt	268	262	250	0,37	0,76	0,80	0,37	0,00	0,81	3,90	3,94	3,92
Litomyšl	268	241	269	0,37	0,42	2,97	0,00	0,00	0,00	3,78	3,79	3,81
Louny	266	268	267	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	0,37	3,87	3,94	3,93
Nové Město na	263	263	263	1,14	1,14	1,14	0,00	0,00	0,00	3,71	3,70	3,63
Ostrov	275	259	259	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,85	3,91	3,96
Pelhřimov	261	261	261	1,15	0,00	3,45	0,39	0,00	1,58	3,75	3,77	3,81
Písek	173	173	173	0,00	1,16	1,73	0,58	0,58	0,59	3,61	3,50	3,74
Rychnov nad Ki	277	277	277	0,00	0,00	1,08	0,00	0,00	0,36	3,75	3,75	3,81
Strakonice	154	153	61	0,00	0,00	4,92	0,65	0,00	1,72	3,65	3,53	3,76
Velké Meziříčí	264	220	265	1,14	0,45	1,89	0,00	0,00	0,38	3,76	3,74	3,81
Vlašim	132	132	132	0,00	1,52	0,00	0,00	0,00	0,00	3,63	3,71	3,65
Žatec	262	262	259	0,00	1,15	0,00	0,76	0,00	0,00	3,92	3,95	3,96
Žďár nad Sázav	264	264	265	0,76	0,00	1,51	0,00	0,00	0,38	3,71	3,72	3,61

Tab. 6.3: Výsledky měření pro mód dual v malých městech [31].

Pro získání představy jak moc do detailů probíhají jednotlivá měření v rámci drive testů, je na obrázku 6.2 níže zobrazena oblast mapovaná v okolí České Lípy. Jak je vidět z obrázku, měření probíhá většinou na hlavních komunikacích. Důkladněji jsou proměřována pouze velká města (kombinace drive test a nomadic test). Barevné označení udávají celkovou sílu signálu RSCP, kdy od nejvyšší úrovně až po nejnižší jsou barvy seřazeny v pořadí modrá (od -65 do 0 dBm), azurová (od -80 do -65 dBm), zelená (od -90 do -80 dBm), žlutá (od -105 do -90 dBm), červená (od -200 do -105 dBm) [31].



Obr. 6.2: Trasa měření QoS pro mód dual realizovaná v okolí České Lípy [31].

6.2 Výsledky měření QoS parametrů datových služeb

V rámci měření parametrů QoS je používáno několika parametrů pro vypovídající informaci. Jedná se především o RASFR (Remote Access Service Fail Rate), DTFR (Data Task Fail Rate) a přenosové rychlosti pro směr Downlink i Uplink.

V rámci měření se objevili především nedostatky v technologii LTE v rámci hlavního města. To je dáno například i tím, že provoz v Praze a celkové vytížení sítě vzrostlo za poslední rok na dvojnásobek. Taktéž hodnoty RASFR a DTFR byly v rámci výsledků v dubnu 2016 vyšší než obvykle, což bylo z důvodu změny metodologie. Modelové výsledky datových měření z dubna 2016 pro celou Českou republiku jsou vyobrazena v tabulce 6.4 níže.

Operátor (Technologie) - metoda	Počet datových spojení	Neúspěšná připojení (%)	DTFR (%)
O2 (LTE) - stacionární	1210	0	0,3
O2 (LTE) - drive test	8028	0,1	0,7
T-Mobile (LTE) - stacionární	1213	0	0,2
T-Mobile (LTE) - drive test	7890	0,3	0,2
Vodafone (LTE) - stacionární	1190	0	0
Vodafone (LTE) - drive test	8033	0	0,2
Operátor (Technologie) - metoda	Přenosová rychlost DL průměrná/maximální (kbps)	Přenosová rychlost UL průměrná/maximální (kbps)	
O2 (LTE) - stacionární	17857/51206	21119/24200	
O2 (LTE) - drive test	16548/58504	15559/30930	
T-Mobile (LTE) - stacionární	18220/42787	13507/23280	
T-Mobile (LTE) - drive test	17089/82945	12595/26995	
Vodafone (LTE) - stacionární	21347/51246	15495/31036	
Vodafone (LTE) - drive test	19138/60479	14342/31248	

Tab. 6.4: Výsledky měření LTE z dubna 2016 [31].

Jak je patrné z výsledků, k větší chybovosti dochází v rámci drive testů, jelikož se měřící stanice pohybuje a chyby mohou vznikat např. při handoveru, což je v případě stacionárních měření prakticky ve větší míře eliminováno. Z hlediska přenosové rychlosti O2 dominuje pro směr Uplink nicméně pro směr Downlink je dle měření na posledním místě. Jak je taktéž patrné, mnohem větší důraz je kladený na drive testy než na stacionární měření.

Zajímavý náhled do měření kvality služeb taktéž poskytují lokální měření v různých oblastech, která kromě samotného měření výše uvedených parametrů mapují i podíl různých technologií v síti. Tyto výsledky z dubna 2016 pro okres Český Krumlov můžeme vidět v tabulce 6.5 níže.

Operátor	Technologie (%)		
	GSM	WCDMA	LTE
O2	6	0,7	93,3
T-Mobile	8,6	1,6	89,8
Vodafone	20	3,2	76,8

Tab. 6.5: Procentuální podíl užitých síťových technologií operátorů v ČR [31].

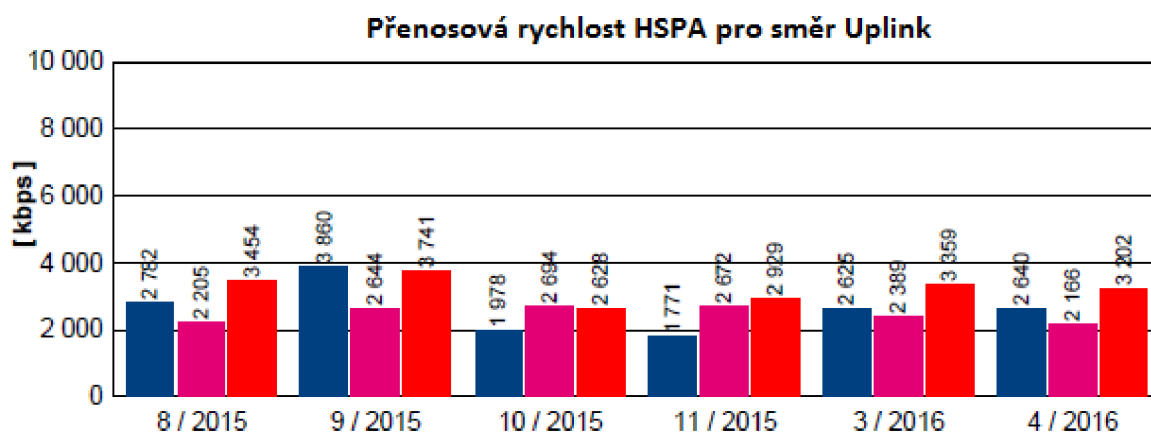
Jak je viditelné z tabulky konkrétně v okrese Český Krumlov O2 jednoznačně dominuje užívanými technologiemi LTE. Lze tedy říci, že konkrétně v tomto okrese je infrastruktura sítě včetně síťových technologií nejmodernější právě u O2. Toto schéma přetrvává v drtivé většině krajů. Nejvíce zastaralou síť má tedy dle této analýzy Vodafone, nicméně přesto je schopen dosahovat mimořádných přenosových rychlostí. Otázkou však je, zda lze předpokládat tento stav i do budoucna v případě, že nebude Vodafone dostatečně rychle modernizovat své síť.

V tabulce 6.6 níže jsou uvedeny výsledky měření pro HSPA pro celou Českou republiku. Jak je vidět, síť operátora O2 lze považovat za druhou nejspolehlivější, přenosová rychlost pro směr Downlink je na tom nejlépe na českém trhu. Vyvažuje ji však druhé místo v přenosové rychlosti pro směr Uplink. Při hodnocení této technologie dosahuje nejlepších výsledků Vodafone.

Operátor	RAS Connection FR		FTP Data task FR		Přenosová rychlost (kbps)	
	počet pokusů	FR (%)	počet pokusů	FR (%)	Downlink	Uplink
O2 HSPA	2076	1	8050	0,8	8179	2599
T-Mobile HSPA	2077	1,2	7956	1	7245	2236
Vodafone HSPA	2120	0,6	8272	0,6	6471	2768

Tab. 6.6: Výsledky měření technologie HSPA v České republice v dubnu 2016 [31].

Pro názornost je na obrázku 6.3 níže vyobrazen graf vyhodnocení přenosové rychlosti pro směr Uplink u technologie HSPA. Výsledky vycházejí z měření provedených na Praze 5. O2 v rámci svých reportů kromě udávání tabulky aktuálně naměřených hodnot udává všechna data v grafické podobě doplněná údaji z minulých měření. Tento přístup dokáže na první pohled upoutat tím, že dává dostatečnou možnost pro rychlé zorientování ve vývoji nejen vlastní společnosti, ale zároveň dokáže přesně informovat i o vývoji konkurence. Pořadí sloupcových diagramů na obrázku 6.3 opět kopíruje pořadí operátorů ve sloupci Operátor v tabulce 6.6 [31].



Obr. 6.3: Přenosová rychlost technologie HSPA pro směr Uplink na Praze 5 [31].

7. Úvod do návrhu nové metodiky

V rámci této kapitoly budou rozebrány samotné potřeby zákazníka. Poté budou diskutovány nedostatky současné metodiky následované samotným návrhem nové metodiky v následující kapitole.

7.1 Potřeby zákazníka

Především je nutné se podívat na cíl této práce a celkově snahy oddělení RAN Management. Cílem je jednoznačně spokojený zákazník, ideálně fungující síť a v případě problému, co nejrychlejší řešení. Rychlá reakce na problémy a nedostatky sítě je závislá především na rychlé lokalizaci problému a dostatku informací. To znamená, že je zde přímá úměra mezi častými efektivně provedenými měřeními a zvýšením schopnosti reagovat na změny v síti.

Pokud se zaměříme na zákazníka lze stanovit jeho priority následovně:

- 1) dostupnost spojení a kvalita služeb – dovolá se, zprávy jsou doručeny, data jsou stažena/nahrána, přenosová rychlost
- 2) cena a benefity poskytnuté operátorem – ekonomické řešení, atraktivita zákazníka z pohledu konkurenčního boje,
- 3) klientský servis
- 4) další faktory – image firmy, doporučení známého apod.

Pokud nebude mít firma zákazníky, nebude schopná úspěšného chodu, proto je velmi důležitým faktorem spokojený klient. I v tomto případě je velmi důležité, aby měl operátor dostatek informací získaných z měření. Ideálním řešením je i zpětná vazba od klientů. Klient však musí být ochotný tuto zpětnou vazbu ochoten poskytnout a měla by být kladena jako priorita i motivace klienta poskytovat zpětnou vazbu.

Pro účely získání zpětné vazby na kvalitu poskytovaných služeb jednotlivými operátory byl autorem vypracován v rámci této práce i dotazník (zdroj [32]), na který odpovědělo celkem 508 respondentů. Odpovídající zahrnují obyvatelstvo ze všech částí našeho území a z různých věkových skupin z důvodu vypovídající hodnoty dotazníku. Celkově byl dotazník zaměřen spíše na mladší generaci (od 15 do 35 let – 60,5% respondentů), u kterých lze předpokládat nejvyšší využití datových služeb. Na věkovou kategorii od 35 do 60 let připadlo 36,6% respondentů, 2,6% respondentů bylo starších 60 let a pouze 0,3% respondentů bylo mladších 15 let (zde lze předpokládat taktéž velké využití datových služeb, nicméně tuto skupinu nepovažuji za relevantní zdroj informací)

Ač největší procento respondentů bylo zákazníky O2 (43,1%), nebyly podíly respondentů využívajících jiné operátory nijak zanedbatelné (T-Mobile 31,7%, Vodafone 19,9%, Ostatní 5,3%). V tomto ohledu nekopíruje přesně dotazník realitu, kdy T-Mobile má cca 6 milionů mobilních zákazníků, O2 cca 5 milionů a Vodafone cca 3,5 milionu. Zbývá část respondentů využívá zahraniční nebo minoritní operátory. Pokud bychom neuvažovali užití cizích operátorů, mělo by být reálné procentuální rozložení respondentů následující: 41% T-Mobile, 35% O2 a 24% Vodafone.

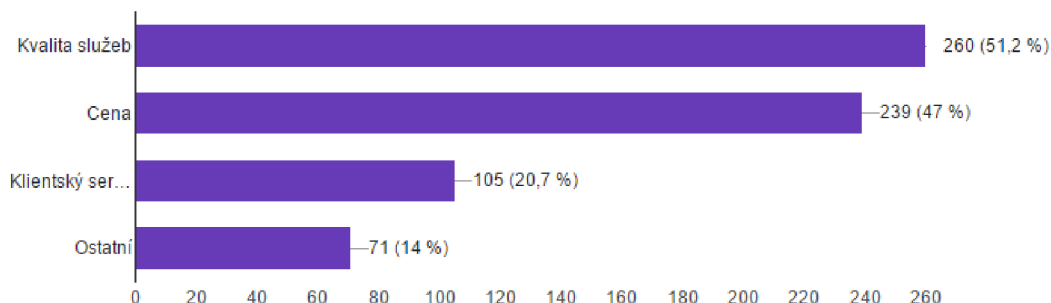
Z těchto respondentů má 59,4% zkušenost s více operátory. 40,6% pak vyzkoušeli pouze jednoho operátora, u kterého již zůstali. Dotazovaní taktéž odpovídali na otázku, se kterým operátorem jsou/byli nejvíce spokojeni. V rámci této otázky se nejvíce lidí vyjádřilo ve prospěch společnosti O2 (38,2%), méně pak byl doporučován T-Mobile (29,1%), Vodafone (22,5%) a ostatní operátoři (10,1%). Ač tento výsledek hraje ve prospěch O2, může být ovlivněn tím, že největší procento respondentů užívá právě tohoto operátora.

Z celkové množiny respondentů 55,7% procenta odpovědělo, že se nejčastěji pohybuje nebo žije ve městech nad 50 000 obyvatel, 26,6% procenta ve městech pod 50 000 obyvatel a jen 17,7% ve městech či vesnicích pod 5 000 obyvatel. Vybraný segment populace lze považovat za věrohodný zdroj informací, jelikož zachycuje všechny věkové kategorie, všechny operátory i obyvatele různých částí ČR a různě zalidněných částí ČR. Samotná otázka, která by odpověděla, ve které části ČR se respondent pohybuje, není v dotazníku obsažena, nicméně respondenti byli vybíráni i na základě toho, ve kterých oblastech se nachází.

Dotazník mimo jiné potvrdil pořadí priorit zákazníka, které je nastíněno výše. Jako klíčové se při výběru operátora pro většinu dotazovaných jeví samotná kvalita služeb (51,2%). Cena je hned v závěsu klíčovým faktorem pro 47% respondentů. Klientský servis je pak důležitý „jen“ pro 20,7%, nicméně věřím, že pro úspěšně fungující firmu na telekomunikačním trhu je i tento faktor dost zásadní, jelikož je důležitý pro každého pátého respondenta. Z jiného důvodu než výše zmíněné preferuje daného operátora pouze 14% respondentů. Vše je graficky znázorněno na obrázku 7.1 níže.

17. Proč jste si vybrali daného operátora?

508 odpovědí



Obr. 7.1: Graf znázorňující důvody pro výběr daného operátora [32].

Respondenti odpovídali na otázky související nejen s výběrem operátora, ale především na otázky související s využitím datových i hlasových služeb a problémy, které při využití těchto služeb vnímají. Z 508 dotazovaných vlastní 95,1% chytrý telefon. 80,9% respondentů má předplaceny datové služby, 12,6% používá datové služby pouze přes wi-fi a jen 6,5% dotazovaných nevyužívá datové služby.

Vzhledem k tomu, že v dnešní době se rozmohly moderní technologie a většina nejen mladých lidí si život bez internetu nedokáže představit, ověřuje dotazník možnost, zda toto nepříznivě neovlivňuje samotný počet hlasových hovorů. Je to i z toho důvodů, že velké množství moderních aplikací umožňuje samotné hovory bezplatně (Facebook Messenger, Viber, Skype, Whatsapp apod.). V šesté otázce odpovídali respondenti na otázku, zda na telefonu využívají

jednoznačně více volání nebo jednoznačně více mobilní datové služby nebo využívají obě služby prakticky stejně často. Dle odpovědí respondentů (obrázek 7.2 níže) lze říci, že jsou jak hlasové služby tak datové služby stejně využívány. Každé ze tří možností byla totiž přiřazena cca třetina odpovědí. Na základě těchto odpovědí lze v rámci návrhu nové metodiky říci, že nemá smysl upřednostňovat měření kvality datových služeb před měřeními hlasových služeb, ačkoli v budoucnu pravděpodobně tomu tak bude.

6. Lze říci, že využíváte volání či datová připojení k internetu jednoznačně více?

508 odpovědí



Obr. 7.2: Graf shrnující upřednostňování hlasových/datových služeb respondenty[32].

Přestože byl dotazník směřován spíše na využití datových služeb, je pro tvorbu nové metodiky klíčové i samotné využití hlasových služeb. Další otázkou směřující na využití hlasových služeb byla třetí otázka, kdy měli respondenti odpovídat, kolikrát denně telefonují a kolik hovorů denně absolvují – ať už příchozích nebo odchozích. Výsledky jsou znázorněny v grafu na obrázku 7.3 níže. Celkem 54,9% respondentů se vyjádřilo, že netelefonují vícekrát než pětkrát denně. Z toho 19,5% netelefonuje každý den. 18,1% odpovídajících podnikne denně 5-10 hovorů a 27% odpovídajících telefonuje vícekrát než desetkrát denně.

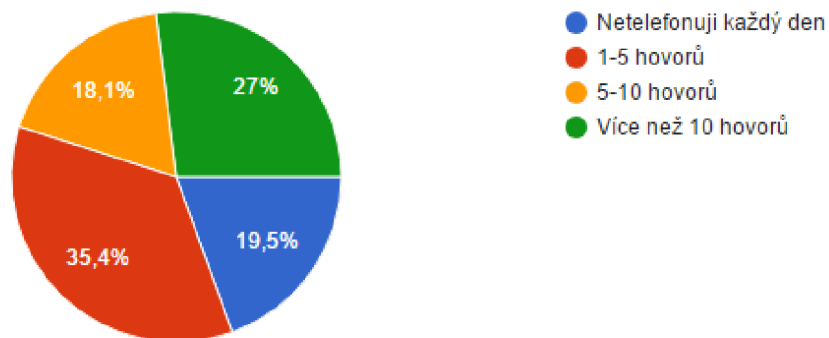
Z dotazníku taktéž vyplývá, že polovina dotazovaných (51,1%) provede za den více než deset aktivních připojení k internetu přes mobilní data (kontrolují novinky na Facebooku, čtou zprávy, komunikují pomocí aplikací, vyhledávají věci na internetu, využívají online mapy, sledují videa, nahrávají data apod.). Z těchto 51,1% se aktivně připojuje k internetu více než třicetkrát 16,7% respondentů. Zhruba třetina respondentů (36,2%) provede toto aktivní připojení maximálně desetkrát. 12,6% odpovídajících se vyjádřilo, že datové služby aktivně nevyužívá aktivně každý den. V rámci dotazníku jsem nezohledňoval pasivní připojení k datovým službám, kdy telefon je napojený a přijímá zprávy, upozornění apod.

Pro kvalitní návrh metodiky měření bylo bezpodmínečně nutné zmapovat i časy a místa, kde jsou datové služby nejvíce využívány. To může být klíčové hned ze dvou důvodů. Jednak může dotazník napovědět, na jakých místech má smysl měření určitě provádět a ve které hodiny by mohla být síť nejvíce zatížena a mohlo být tedy zmapováno nejvíce potenciálních problémů s připojením.

Dle informací poskytnutých společností O2 bývá minimální zatížení hlasových služeb od půlnoci cca do 8 hodin ráno, od 8 hodin ráno provoz narůstá. Největší zatížení hlasových služeb cca mezi 9 a 11 hodinami dopoledne, poté kolem poledne dochází k výraznému poklesu. Po 12. hodině dochází opět k nárůstu a provoz je opět nejvyšší mezi 14 a 18 hodinami odpoledne. Od 20 hodin večer dochází opět k výraznému útlumu a provoz je minimální.

3. Jak často denně telefonujete?

508 odpovědí



Obr. 7.3: Počet hovorů za den prováděných respondenty [32].

Co se týká využití datových služeb a informací, které byly poskytnuty společností O2, je využití od půlnoci do 8 hodin ráno minimální, drobný nárůst probíhá stejně jako u hlasových služeb v úsecích mezi 9 a 11 hodinami dopoledne a mezi 14 a 18 hodinami odpoledne s útlumem kolem poledne. Nicméně využití v těchto "špičkách" je oproti hlasovým službám výrazně nižší. Ke skutečně výraznému nárůstu využití datových služeb, které převyšuje i nejvyšší hodnoty využití hlasových služeb přes den, dochází od cca 19. a 20. hodiny večer do půlnoci, kdy nejvyšší zatížení probíhá cca od 22 hodin do půlnoci. Čili od cca 19 hodin večer do půlnoci je ideální čas pro monitoring datových služeb. Ač se jedná o dobu, kdy je obvykle již po pracovní době, snaží se O2 alespoň minimálně v tuto dobu měřit.

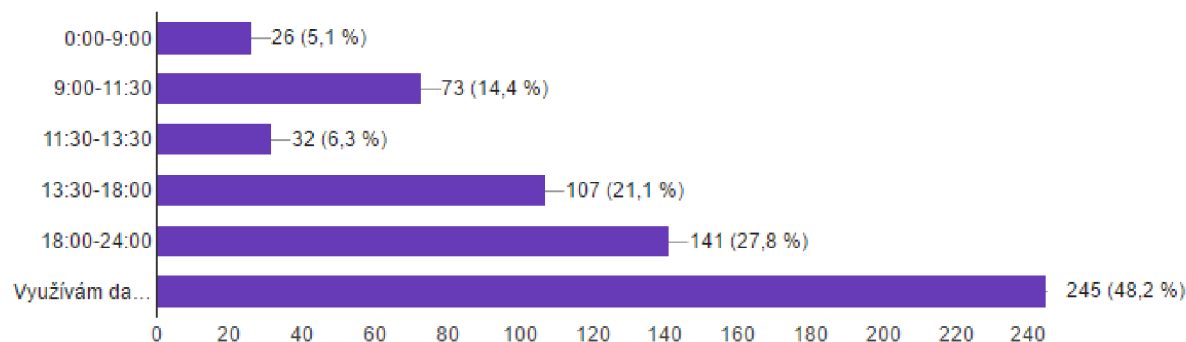
Výše zmíněné informace potvrzují i odpovědi respondentů, kteří v osmé otázce odpovídali, kdy nejčastěji využívají mobilní datové služby. Přestože cca polovina odpovídajících (48,2%) odpověděla, že využívá mobilní data rovnoměrně přes celý den, byly v dotazníku rozeznatelné výrazné odpovědi kopírující informace od O2. V období mezi 9:00 a 11:30 využívá datové služby 14,4% dotázaných, mezi 13:30 a 18:00 je využívá 21,1% a od 18:00 do 24:00 využívá datové služby 27,8% dotázaných. Bližší informace k ostatním časům jsou zobrazeny na obrázku 7.4 níže.

Dotazník se mimo jiné snažil zmapovat i místa, kde dotazovaní nejvíce využívají mobilní datové služby. V tomto ohledu nebyly odpovědi nijak jednoznačné. Doma využívá datových služeb 38% dotazovaných, v práci 42,5%, v prostředcích hromadné dopravy 30,5% a při cestování vlakem, autobusem nebo autem 44,3%. Ač žádná z variant nepřevyšovala výrazně ostatní, dává přesto zajímavý směr návrhu nové metodiky. Předně určitě nabízí variantu monitoring kancelářských prostor, kde v rámci pracovní doby lidé používají vzhledem k výsledkům mobilní datové služby. Vzhledem k podílu respondentů užívajících datové služby doma, stojí určitě zato zahrnout měření v hustě obydlených oblastech (sídliště, satelitní města apod.) na večerní a odpolední hodiny. Dále cca

třetina respondentů využívá data v prostředcích hromadné dopravy a 44,3% procenta respondentů při cestování. Díky tomu je určité v rámci zajištění co nejobektivnějšího náhledu na zkušenost zákazníka žádoucí provádět měření v prostředcích MHD ve velkých městech a zahrnout i měření ve vlacích, popř. autobusech a na frekventovaných silnicích a dálnicích.

8. V kterou část dne využíváte obvykle mobilní data nejvíce?

508 odpovědí

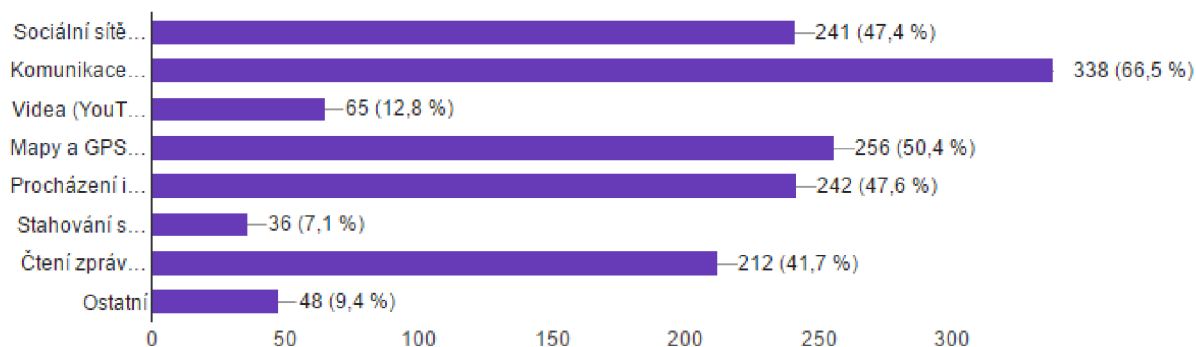


Obr. 7.4: Využití datových služeb v různých částech dne [32].

Další otázka se snažila zmapovat, k čemu vybraný segment populace užívá mobilní datové služby. Rozpis využití je zobrazen na obrázku 7.5 níže. Z odpovědí vyplývá, že 47,4% respondentů využívá datové služby pro sociální sítě, 66,5% pro komunikaci pomocí aplikací typu Facebook Messenger, Whatsapp, Viber, Skype apod., pouze 12,8% pro sledování a streamování videa, 50,4% pro užívání map a GPS navigací, 47,6% pro surfování na internetu, pouze 7,1% pro stahování různých typů souborů, 41,7% pro čtení zpráv a novinek a 9,4% pro ostatní funkce.

10. K čemu využíváte mobilní data nejčastěji?

508 odpovědí



Obr. 7.5: Účel využití datových služeb respondenty [32].

Ač se může zdát tato otázka irelevantní, nabízí taktéž zajímavý náhled. Drtivá většina uživatelů používá internet v mobilu pro služby, které nejsou příliš náročné na datovou spotřebu. Je to

především proto, že většina tarifů má omezené množství dat, které může uživatel využít (např. 500 megabytů, 1 gigabyte). Menší množství uživatelů využívá neomezené tarify. Dalším důvodem je fakt, že na stolním zařízení, popř. na wi-fi, je stahování pohodlnější a někdy i stabilnější. Nehrozí tedy, že se stahování přeruší např. vlivem špatného signálu nebo handoveru a celý soubor se bude muset stahovat v krajním případě znovu. Toto zjištění může napomoci při výsledném návrhu metodiky s výběrem velikosti zkušebních dat, které budou posílány mezi ústřednou a měřícím zařízením. Lze tedy předpokládat, že pro pokrytí většiny využívaných služeb je možné zvolit zkušební data o velikosti jednotek megabytů.

Vzhledem k tomu, že službu sledování nebo streamování videa využívá v dnešní době dle dotazníku 12,8% dotazovaných a s očekáváním příchodu nových technologií, zvýšením přenosových rychlostí a celkovým rozvojem mobilních datových služeb, je vhodně do nové metodiky zařadit v menším množství i měření zabývající se streamováním videa a celkově přenosem větších souborů. Profesionální měřící zařízení jsou tohoto schopná bez větších problémů, proto bude této variantě také přiřazena určitá část.

V otázce, kde měli respondenti odpovídat na otázku, zda mívají problémy s připojením k internetu, odpovědělo 30%, že nemívá problémy nikdy, 62,8% odpovědělo, že mívá problémy cca v maximálně ve 20% případů, 5,5% odpovědělo, že mívá problémy s připojením k internetu ve 20-50% případů, a pouze 1,6% odpovědělo, že mívá problémy ve více než polovině případů. Z toho lze usuzovat, že stav datových sítí v České republice je na dobré úrovni, nicméně určitě i tak je vždy možnost poskytované služby zlepšit.

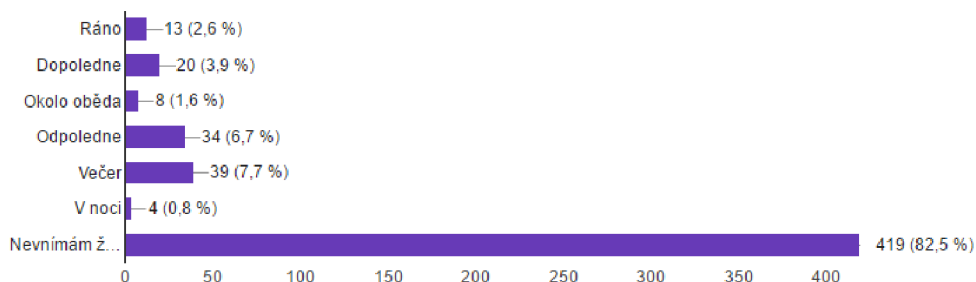
Respondenti byli taktéž otázeni, zda dokážou specifikovat, ve kterých částech měst či venkova vnímají nejvíce problémů s připojením. Výsledky neposkytují žádnou výraznou hodnotu kromě toho, že 70,1% dotázaných vnímá rezervy ve venkovských oblastech a v přírodě, což může být kromě nedostatečného pokrytí způsobeno i tím, že zákazníci nemají novější telefony a SIM karty, jak je diskutováno v kapitole 4.2. 3,5% odpovídajících vnímá rezervy v centrech měst, 14% v kancelářských oblastech, 8,3% na nádražích, 4,7% v obytných částech měst, 6,1% v parcích a 16,1% na jiných místech (ta bohužel nebyla ve většině případů blíže specifikována). Jak jsem již konstatoval výše, tato otázka neposkytla příliš vypovídající data, nicméně v zájmu společnosti O2 by měla být kampaň, která by upozorňovala zákazníky o možnostech nákupu telefonů s technologií 4G, které by jim přinesly i ve venkovských oblastech mnohem lepší možnosti připojení než se staršími modely. Marketing však není předmětem této práce.

Jako poslední otázka z tohoto dotazníku je zde zpracován dotaz, zda zákazníci vnímají problémy s připojením v určitou denní dobu. Výsledné odpovědi jsou zobrazeny v grafu na obrázku 7.6 níže. Zde odpovědělo 82,5% respondentů, že nevnímá žádnou konkrétní denní dobu, kdy by byly problémy s připojením obvyklejší než jindy. Nicméně z těch respondentů, kteří se k této otázce vyjádřili jinak, než že nevnímají specifickou dobu, se většina přiklonila k časům, kdy probíhá špička datových služeb (obrázek 7.4). Ač se to jeví jako logické, jsou procentuální výsledky velmi malé.

Dotazník vypracovaný a využitý v rámci této práce slouží jako náhled a zpětná vazba od zákazníků z různých částí České republiky. V rámci dotazníku se však objevují odchylky od reálného stavu (např. počet procent zákazníků jednotlivých operátorů). Nicméně pro účely této práce má tento dotazník podpůrný efekt při tvorbě nové metodiky, jelikož nastiňuje potřeby zákazníků a jimi vnímané problémy. Je k němu tedy přihlédnuto při tvorbě samotné metodiky [26],[28],[32].

13. Dokážete specifikovat dobu, kdy máte obvykle problémy s připojením?

508 odpovědí



Obr. 7.6: Doba, kdy respondenti vnímají obvykle problémy s datovými službami [32].

7.2 Nedostatky stávající metody

Jako jediný zdroj informací nastiňující stávající metodiku měření oddělení RAN Management byly autorovi poskytnuty výsledné zprávy z měření, které byly analyzovány v rámci šesté kapitoly. Celkově se v rámci analýzy postupů objevilo několik nedostatků, které by měly být eliminovány pomocí nové metodiky. Většina všech měření bývá provedena metodou drive testu (popř. nomadic testu), který simuluje pohyb zákazníka v autě po komunikaci (popř. časově omezené stacionární měření). Dle mého názoru je kladen příliš velký důraz na tuto metodu a oproti tomu jsou zanedbávány jiné metody, jako je stacionární měření (cca 7-8x méně časté) a walk test (není známo, jak často měření probíhá). Pokud vezmeme v úvahu, že spousta hovorů bývá soustředěna na vytížené oblasti (centra města, kancelářské oblasti, sídliště apod.), která v tomto případě nejsou vybaveny stacionárními měřiči – rozhodně ne v dostatečné míře. Metoda stacionárního měření je taktéž nenáročná na lidské zdroje, jelikož v rámci stacionárního měření není nutná obsluha na místě. Větším užitím tohoto způsobu můžou být podchyceny večerní špičky pro datové služby bez nutnosti prodloužení nebo přizpůsobení pracovní doby zaměstnance či brigádníka. Na druhou stranu nemá smysl úplně vypouštět měření prováděná v tuto hodinu pomocí drive testů či walk testů, jelikož stacionární měření dokáže monitorovat pouze jednu konkrétní oblast, ve které je měřič umístěn.

Jak bylo nadneseno výše, větší míra pěších měření taktéž momentálně chybí a mělo by být zařazeno a více prioritizováno, než je nyní. Walk test prakticky simuluje člověka, který při chůzi používá datová spojení popř. hlasových hovorů. Frekvence handoveru je tedy stejná jako u člověka, který se např. prochází po náměstí a s někým hovoří nebo hledá, za jak dlouho mu pojede nejbližší autobus. Tyto testy by tedy měly být zařazeny ve větší míře. Vzhledem k tomu, že celá sestava váží dle propagačních materiálů (zdroj [25]) cca 6 kg, neměl by být problém podnikat delší měření, nicméně ideální by bylo je podnikat v kombinaci s drive testy, aby samotný měřič nebyl příliš fyzicky vyčerpán.

Dalším faktem, který sám o sobě nelze považovat přímo za nedostatek, jsou omezené lidské zdroje oddělení. Samotným měřením je pověřeno 5 zaměstnanců. Pro získání komplexnějšího, detailnějšího pohledu na věc a odhalení, v čem závisí lepší přenosové rychlosti konkurence vzhledem ke starší technologii, by v této sekci rozhodně bylo potřeba více zaměstnanců. Negativní výsledky ve vývoji přenosové rychlosti mohou být způsobeny změnou metodologie a celkově optimalizací sítě vzhledem k nahrazování většiny síťových technologií LTE. Na to se však nelze spoléhat.

Větší lidské zdroje mohou být tedy určitě klíčem k větší efektivitě v měření a celkově možnosti zvládnout během omezeného časového období více výsledků, které mohou být efektivně využity. Tento fakt ovšem také závisí na počtu přidělených zdrojů do rozpočtu oddělení, který logicky není nevyčerpatelný. Lze tedy předpokládat, že ač se 5 měřičů zdá jako nedostatek, není možné v rámci metodiky, která by měla zefektivnit práci a ideálně by měla být ekonomicky úspornější, navýšit číslo zaměstnanců. V tomto ohledu stojí určitě za zvážení využití k měření brigádníky (současně 1-2), popř. navýšit číslo právě zde, kdy rozumně využití služby brigádníka mohou být ekonomickou úlevou oproti zaměstnanci, a navíc v případě pečlivého výběru brigádníků (např. studenti telekomunikačních oborů) může tato brigáda sloužit jako efektivní „inkubátor“ potenciálních zaměstnanců.

Další věc, která se dá vnímat jako nedostatek a neodrazila se ve finální zprávě, jsou měření kvality VoLTE, SMS/MMS a video-streamingu. Přestože se nejedná o měření, která by byly „základním stavebním kamenem“ měření kvality hlasových a datových služeb, má jejich monitoring rozhodně smysl. VoLTE je rozvíjející se technologie, která bude v budoucnu dominantní technologií pro hlasové hovory – alespoň se to dá očekávat. Momentálně, jak je zpracováno výše v kapitole 4, je její užívání výsadou pouze cca 0,2% zákazníků O2, přesto má však velký smysl pracovat na zlepšení a monitoringu této technologie. SMS i MMS jsou stále služby, které má smysl monitorovat, jelikož jejich užívání je stále aktuální. Pokud vezmeme data ze Štědrého dne minulého roku, bylo uskutečněno celkem 14,56 milionu hovorů, přeneseno 23 milionů SMS a 545 tisíc MMS. Ač je tento den z hlediska vytíženosti telekomunikační sítě výjimkou, je vidět, že jak SMS tak MMS služby jsou stále aktuální a má smysl jejich měření zařadit do nové metodiky. Co se týká přenosu videa (ať už sledování nebo vysílání), jedná se o unikátní službu v tom, že na rozdíl od většiny jiných činností, pro které zákazníci užívají datové služby, tato je nejvíce data konzumující. Vymyká se proto výrazně průměru a má smysl pro ni udělat samostatnou kategorii měření. Pokud bychom tak totiž neučinili, neměli bychom představu o stabilitě sítě při přenášení větších souborů podloženou měřením. Zároveň zvyšovat proto výrazně počet zkušebního segmentu dat, který je poslán v rámci běžného testu kvality datových služeb je zbytečné, jelikož by samotné měření neuskutečnilo takový počet datových spojení, jako je žádoucí. Z tohoto důvodu bych všechny výše zmíněné služby chtěl zahrnout do nové metodologie v rámci samostatných měření [26].

8 Metodika měření kvality služeb

V rámci této kapitoly bude zpracována samotná metodika, která může být v budoucnosti použita přímo společností O2, konkrétně oddělením RAN Management. V této kapitole budou rozebrána hlediska, podle kterých lze sestavovat novou metodiku. Především je nutné rozdělit měření podle toho, v jakých oblastech a kdy bude měření probíhat, jaké služby budou měřeny, jaké metody budou užity a celková kombinace těchto faktorů, což je podstatnou částí této kapitoly.

Vzhledem k tomu, že oddělení má momentálně 5 zaměstnanců, kteří provádějí měření, a oddělení dále disponuje jedním až dvěma brigádníky, má 5 plně vybavených měřících aut, 1 sestavu Freerider pro pěší měření a 6 QualiPoců, je navržena metodika pro tento aktuální stav. Nicméně je zde i diskutováno, pokud je to možné, upravení těchto stávajících počtů.

Pro účely diplomové práce byl stanoven rozpočet zmíněný ve čtvrté kapitole této práce - 22,5 milionu CZK na rok. Vzhledem k tomu, že nejsou známy všechny faktory ovlivňující tuto cenu a celkově je tato problematika příliš komplexní, nevěnuje se po dohodě se společností O2 diplomová práce ekonomické stránce a práce je zaměřena především na efektivní a detailní metodiku měření, která bude poskytovat co nejlepší informace.

Při tvorbě této metodiky nebyl znám stávající postup měření a metodika momentálně užívaná společností O2. Jediným zdrojem informací tedy byla výsledná zpráva z měření, která je zmiňována a analyzována v šesté kapitole. Je to z toho důvodu, že společnost O2 zajímal především náhled nezaujatého pozorovatele. Tento záměr by mohl být narušen představením kompletních detailů stávající metodiky autorovi práce.

8.1 Oblasti měření

Samotné měření by mělo v ideálním případě pokrýt celé území naší republiky, což je při reálném měření takřka nemožné. Některé oblasti jsou vytíženy více a některé méně. Logicky proto musí probíhat více měření v Praze, než jich bude probíhat např. ve vesnici o celkovém počtu 500 obyvatel. Zároveň pokud vztáhneme toto tvrzení na dopravní komunikace, určitě musí probíhat více měření na dálnici D1 než na silnici 3. třídy.

Proto, aby metodika postupovala přehledně v rámci celého celku, kterým je Česká republika, uijeme vhodného rozdělení. Dle Českého statistického úřadu (ČSU), který je uveden jako zdroj [33], jsem pracoval s daty k 1.1.2016. Tato data jsou užita v rámci celé práce. Naši zemi dělíme na 14 krajů, 77 okresů a 6 246 měst a obcí. Z toho je 130 měst nad 10 000 obyvatel, 62 měst nad 20 000 obyvatel, 35 měst nad 30 000 obyvatel, 26 měst nad 40 000 obyvatel, 18 měst nad 50 000 obyvatel a 6 měst nad 100 000 obyvatel (Olomouc – 100 154 obyvatel, Liberec – 103 288 obyvatel, Plzeň – 169 858 obyvatel, Ostrava – 292 681 obyvatel, Brno – 377 028 obyvatel a Praha 1 267 449 obyvatel). Zároveň i komunikace můžeme rozdělit. V české republice je 1 250 kilometrů dálnic, 6 000 kilometrů silnic první třídy, 14 500 kilometrů silnic druhé třídy a 34 750 kilometrů silnic třetí třídy, jak udávají zdroje [33] a [34].

8.1.1 Pořadí měření okresů

Pokud rozdělíme naše území nejprve na kraje, není v rámci plánování celého roku rozumné, měřit jeden kraj po druhém. Jde především o to, že by společnost O2 neměla dlouhodobý přehled o dění v celé republice. Zároveň současná přítomnost měřících vozů v různých částech republiky usnadňuje práci v případě pohotovosti, nenadále potřeby proměření dané oblasti a snižuje reaktivní dobu. Proto je zde navržena metodika, kdy v prvním kroku bude každému kraji přiřazeno pořadové číslo označující prioritu. Tento identifikátor, který označuje, v jakém pořadí budou kraje či jejich segmenty proměřovány, je tedy označen jako priorita **PK**. Následně bude z daného kraje vybrán jeden okres, který bude proměřen a poté bude následovat okres z kraje s nižší prioritou PK. Tímto způsobem bude mapováno neustále prakticky celé území naší republiky a operátor bude mít neustále přehled o dění v různých částech republiky. Ač se tento způsob může jevit jako neefektivní z ekonomického hlediska, vnímám ho jako nejefektivnější z hlediska vypovídající hodnoty nejen o stavu jednotlivých částí republiky, ale i sítě jako celku. Navíc je vždy možné spojit cestu do dané oblasti s proměřováním komunikací s vysokou prioritou - čili dálnicemi a silnicemi první třídy. Pokud se zaměříme na priority PK jednotlivých krajů, které jsou zobrazeny v tabulce 8.1 níže, není na první pohled jasné, na základě čeho byly priority PK rozdělovány. Priority PK byly přiřazeny jednotlivým krajům na základě počtu obyvatel, hustoty osídlení a jejich geografické polohy. Hustota osídlení je zaokrouhlena zde (stejně jako ve všech dalších tabulkách) na celá čísla.

PK	Název kraje	Krajské město	Rozloha (km ²)	Počet obyvatel	Hustota osídlení (obyvatel/km ²)
1	Hlavní město Praha	Praha	496	1 267 449	2555
2	Jihomoravský	Brno	7 195	1 175 023	163
3	Moravskoslezský	Ostrava	5 427	1 213 311	224
4	Středočeský	Praha	11 015	1 326 857	120
5	Ústecký	Ústí nad Labem	5 335	822 850	154
6	Liberecký	Liberec	3 163	439 639	139
7	Olomoucký	Olomouc	5 267	634 720	121
8	Jihočeský	České Budějovice	10 057	637 834	63
9	Zlínský	Zlín	3 963	584 676	148
10	Královehradecký	Hradec Králové	4 759	551 421	116
11	Plzeňský	Plzeň	7 561	576 635	76
12	Pardubický	Pardubice	4 519	516 149	114
13	Karlovarský	Karlovy Vary	3 314	297 804	90
14	Vysočina	Jihlava	6796	509 475	75

Tab. 8.1: Rozdělení krajů dle priorit pro měření.

Jak je zmíněno výše, kraje nejsou dostatečně malým objektem pro měření a proto je nutné je dále rozdělit na základě okresů. Schéma umožňující naplánování pořadí měření jednotlivých okresů je žádoucí pro proměření celé republiky určitým systémem, který zajistí, že bude mapováno pokrytí ve všech částech. Kraje jsou tedy rozděleny do jednotlivých okresů a okresům jsou dle obdobného schématu jako u krajů přiřazeny priority v rámci kraje s označením **PO** na základě počtu obyvatel, hustoty osídlení a geografické polohy. Ve výsledném pořadí jsou jednotlivé okresy označeny pomocí

finální priority okresu P. Priorita P je kombinací priorit PK a PO. Okresy jsou nejprve seřazeny vzestupně podle PO a v případě shody je přihlédnuto k PK. Výsledné pořadí jednotlivých okresů seřazených sestupně dle priority P je uvedeno v tabulce 8.2 níže.

P	PK	PO	Název okresu či oblasti	Název kraje	Rozloha (km ²)	Počet obyvatel	Hustota osídlení (obyvatel/km ²)
1	1	1	Hlavní město Praha	Hlavní město Praha	496	1 267 449	2555
2	2	1	Brno-město	Jihomoravský	230	377028	1639
3	3	1	Ostrava-město	Moravskoslezský	332	324311	977
4	4	1	Praha-západ	Středočeský A	581	137523	237
5	5	1	Praha-východ	Středočeský B	755	167851	222
6	6	1	Ústí nad Labem	Ústecký	404	119512	296
7	7	1	Liberec	Liberecký	989	172681	175
8	8	1	Olomouc	Olomoucký	1620	233651	144
9	9	1	České Budějovice	Jihočeský	1638	190844	117
10	10	1	Zlín	Zlínský	1034	191830	186
11	11	1	Hradec Králové	Královéhradecký	892	163159	183
12	12	1	Plzeň-město	Plzeňský	261	188190	721
13	13	1	Pardubice	Pardubický	880	169836	193
14	14	1	Karlovy Vary	Karlovarský	1515	116340	77
15	15	1	Jihlava	Vysočina	1199	112619	94
16	1	2	Hlavní město Praha	Hlavní město Praha	496	1 267 449	2555
17	2	2	Brno-město	Jihomoravský	230	377028	1639
18	3	2	Ostrava-město	Moravskoslezský	332	324311	977
19	4	2	Kladno	Středočeský A	720	162256	225
20	5	2	Mělník	Středočeský B	701	105594	151
21	6	2	Most	Ústecký	467	113371	243
22	7	2	Jablonec nad Nisou	Liberecký	402	89850	224
23	8	2	Přerov	Olomoucký	845	131228	155
24	9	2	Tábor	Jihočeský	1326	102369	77
25	10	2	Uherské Hradiště	Zlínský	991	142830	144
26	11	2	Náchod	Královéhradecký	852	110869	130
27	12	2	Rokycany	Plzeňský	575	47986	83
28	13	2	Ústí nad Orlicí	Pardubický	1258	138179	110
29	14	2	Sokolov	Karlovarský	754	89613	119
30	15	2	Žďár nad Sázavou	Vysočina	1578	118273	75
31	1	3	Hlavní město Praha	Hlavní město Praha	496	1 267 449	2555

32	2	3	Brno-venkov	Jihomoravský	1499	215311	144
33	3	3	Karviná	Moravskoslezský	356	253518	712
34	4	3	Beroun	Středočeský A	662	90169	136
35	5	3	Kolín	Středočeský B	744	98815	133
36	6	3	Teplice	Ústecký	469	128734	274
37	7	3	Semily	Liberecký	699	74087	106
38	8	3	Prostějov	Olomoucký	777	108795	140
39	9	3	Strakonice	Jihočeský	1032	70683	68
40	10	3	Vsetín	Zlínský	1143	143722	126
41	11	3	Trutnov	Královéhradecký	1147	119042	104
42	12	3	Klatovy	Plzeňský	1946	86617	45
43	13	3	Chrudim	Pardubický	993	103945	105
44	14	3	Cheb	Karlovarský	1046	91851	88
45	15	3	Havlíčkův Brod	Vysočina	1265	94649	75
46	1	4	Hlavní město Praha	Hlavní město Praha	496	1 267 449	2555
47	2	4	Hodonín	Jihomoravský	1099	154873	141
48	3	4	Frýdek-Místek	Moravskoslezský	1208	213260	177
49	4	4	Mladá Boleslav	Středočeský A	1023	126286	123
50	5	4	Nymburk	Středočeský B	850	97339	115
51	6	4	Děčín	Ústecký	909	131313	144
52	7	4	Česká Lípa	Liberecký	1073	103021	96
53	8	4	Šumperk	Olomoucký	1313	121785	93
54	9	4	Písek	Jihočeský	1127	70741	63
55	10	4	Kroměříž	Zlínský	796	106294	134
56	11	4	Jičín	Královéhradecký	887	79490	90
57	12	4	Plzeň-sever	Plzeňský	1287	77478	60
58	13	4	Svitavy	Pardubický	1379	104189	76
59	15	4	Třebíč	Vysočina	1463	111873	76
60	1	5	Hlavní město Praha	Hlavní město Praha	496	1 267 449	2555
61	2	5	Blansko	Jihomoravský	863	108126	125
62	3	5	Nový Jičín	Moravskoslezský	882	151762	172
63	4	5	Příbram	Středočeský A	1692	114186	67
64	5	5	Kutná Hora	Středočeský B	917	74495	81
65	6	5	Chomutov	Ústecký	935	124342	133
66	8	5	Jeseník	Olomoucký	719	39261	55
67	9	5	Jindřichův Hradec	Jihočeský	1944	91359	47
68	11	5	Rychnov nad Kněžnou	Královéhradecký	982	78861	80
69	12	5	Domažlice	Plzeňský	1123	61265	55
70	15	5	Pelhřimov	Vysočina	1290	72061	56
71	1	6	Hlavní město Praha	Hlavní město Praha	496	1 267 449	2555
72	2	6	Břeclav	Jihomoravský	1049	115334	110

73	3	6	Opava	Moravskoslezský	1113	176742	159
74	4	6	Benešov	Středočeský A	1475	97085	66
75	5	6	Rakovník	Středočeský B	896	55258	62
76	6	6	Litoměřice	Ústecký	1032	119162	115
77	9	6	Český Krumlov	Jihočeský	1615	61100	38
78	12	6	Plzeň-jih	Plzeňský	990	62262	63
79	2	7	Vyškov	Jihomoravský	876	90813	104
80	3	7	Bruntál	Moravskoslezský	1536	93718	61
81	6	7	Louny	Ústecký	1118	86416	77
82	9	7	Prachatice	Jihočeský	1375	50738	37
83	12	7	Tachov	Plzeňský	1379	52837	38
84	2	8	Znojmo	Jihomoravský	1591	113538	71

Tab. 8.2: Rozdělení okresů dle priorit pro měření.

Vzhledem k tomu, že velká města jako je Praha, Brno nebo Ostrava vyžadují více měření než jakýkoliv jiný okres, je upravena jejich četnost v celkovém pořadí. V tomto pořadí se Praha vyskytuje 6x, Brno 2x a Ostrava také 2x. Tato města mají vždy nejvyšší PO v rámci svého kraje, aby bylo zajištěno prioritní a dostatečně detailní proměření těchto oblastí. Zároveň Středočeský kraj, který na základě počtu obyvatel má velmi vysokou prioritu (PK=4), byl vzhledem k velkému počtu okresů v rámci pořadí rozdělen na dvě podskupiny: Středočeský kraj A (PK=4, obsahuje všechny okresy s původně lichou prioritou PO) a Středočeský kraj B (PK=5, obsahuje všechny okresy s původně sudou prioritou PO). To zajišťuje, že tato oblast kolem našeho hlavního města bude plynule proměřována a nebude „zbývat“ až na konec celého cyklu. Samotný Středočeský kraj bez rozdělení by měl totiž maximální PO=12. Z náhledu do tabulky je tedy patrné, že by samotný Středočeský kraj, byť má vysokou prioritu PK, plnil posledních pět příček pořadí měřícího cyklu.

8.1.2 Měření ve městech

Pro některá měření je nutné uvažovat měření pouze v rámci velkých měst. Je tomu tak proto, že v těchto místech lze očekávat větší požadavky na kvalitu služeb a větší zatížení sítě. Pokud se objeví volné místo v rozvrhu oddělení RAN Management, je vhodné uvažovat měření především v těchto oblastech. Jako předmět měření pro nomadic testy, stacionární měření nebo walk testy nelze uvažovat města s osídlením pod 10 000 obyvatel, jelikož tam nelze očekávat takové zatížení sítě a naprosto dostatečné tedy bude proměření v rámci měření jednotlivých okresů v rámci drive testů. Měření typu walk test nebo nomadic test v takových obcích a městech by bylo neefektivním plýtváním času, pokud si to přímo město či obec nevyžádá na základě problémů s připojením. Pro účely revize a usnadnění práce plánování těchto případných měření byla zpracována tabulka, která je uvedena v příloze B, kde jsou vypsána všechna města České republiky s osídlením nad 10 000 obyvatel, která jsou seřazena právě na základě jejich osídlení. Dále tabulka obsahuje identifikátory priority **P** a **PK**. Tabulka taktéž obsahuje kolonku, která obsahuje značky poskytující informaci, zda daná lokalita disponuje místy, kde by mohly probíhat nomadic testy, popř. walk testy – celkově detailnější měření. Tyto značky odkazují na veřejná místa, která mohou být předmětem měření a je vhodné je monitorovat pouze v konkrétní časy. Místa, na která odkazují značky, jsou spolu s časy blíže rozebrána v podkapitole 8.2.2. Na základě této tabulky se sami měřiči mohou orientovat a použít ji k plánování prováděných měření.

8.1.3 Měření na dopravních komunikacích

Jak bylo uvedeno výše, v České republice se nachází:

- 1 250 kilometrů dálnic,
- 6 000 kilometrů silnic 1. třídy,
- 14 500 kilometrů silnic 2. třídy,
- 34 750 kilometrů silnic 3. třídy.

U měření probíhajících v souladu s touto metodikou k tomu musí být přihlédnuto. Nejvyšší prioritu jednoznačně mají dálnice, jelikož na nich je provoz logicky nejhustší. Poté silnice 1. třídy, 2. třídy a nejnižší prioritu mají pak silnice 3. třídy. Pro objektivitu měření by se nemělo zapomínat v rámci drive testů ani na jednu z těchto kategorií. Nicméně pokud bude plánovat měřič (osoba provádějící měření) řešení pro konkrétní oblast, měl by prioritně využívat k dopravě dálnice a komunikace spadající mezi silnice 1. třídy. Pokud budeme volit vhodný poměr mezi využitím silnic 1., 2. a 3. třídy, pak by poměr v počtu proměřených kilometrů připadajících na konkrétní kategorie měl být alespoň 4:2:1. Tento poměr zajistí prioritní proměrování silnic 1. třídy, ale zajišťuje proměření i dalších částí dopravních komunikací..

8.1.4 Měření v prostředcích hromadné dopravy, vlacích, autobusech a metru

Co se jeví jako jeden z největších nedostatků ve stávající metodice, je absence využití veřejných dopravních prostředků. Tato metoda může pomoci ve velké míře ke sběru relevantních dat. V rámci drive testu je simulován taktéž pohyb zákazníka v dopravním prostředku, nicméně samotný objekt podniká v jeden moment maximálně 4 připojení do sítě jednoho operátora. Je tomu tak proto, že při hojně používané metodě **benchmarking**, se proměřují služby všech tří hlavních operátorů najednou, což vyhrazuje jednomu měřicímu vozu s možností připojit až 12 telefonů pro připojení do sítě např. O2 maximálně výše zmíněné 4 telefony. Obvykle se však dle informací z oddělení RAN Management měří pouze s 9 telefony, což fakticky snižuje toto číslo ze 4 na 3. V případě, že se tedy měřící vůz přesune z oblasti pokryté jedním sitem do oblasti pod správou jiného situ, proběhnou pouze 3 handovery ve stejný moment. Pokud však budeme uvažovat měření za použití QualiPoc v prostředcích hromadné dopravy, může se toto číslo zvýšit. Měřič je tedy umístěn v prostředí, kde je síť více vytížená. Pokud využijeme konkrétního případu, kdy je doprava ve „špičce“ a hromadná doprava je vytížená, můžeme se dostat ke zvýšení potenciálního počtu handoverů. V případě, že v autobuse, soupravě tramvaje nebo vlaku pojedou 50 lidí, z nichž třetina bude využívat datových služeb a z nich třetina bude mít operátora O2, dostaneme se k číslu 5,56, které označuje počet handoverů v jeden okamžik. Ač není toto číslo nijak dramaticky vyšší oproti metodě drive test, dává možnost dalšího náhledu na fungování sítě ve vytížených oblastech, která momentálně není předmětem měření a to bez nutnosti přítomnosti zaměstnance.

K takovému měření je možné použít buď 1 telefon produktu QualiPoc nebo případně pro benchmarking produkt Freerider. V tomto případě navrhuji použití pouze produktu QualiPoc a měření pouze vlastní sítě, jelikož benchmarking by v tomto případě příliš zatížil rozvrh oddělení. Pro pravidelná měření v tomto případě navrhuji stabilní využití 2 ze 6 telefonů produktu QualiPoc a benchmarking za pomoci produktu Freerider využívat pouze sporadicky pro benchmarking.

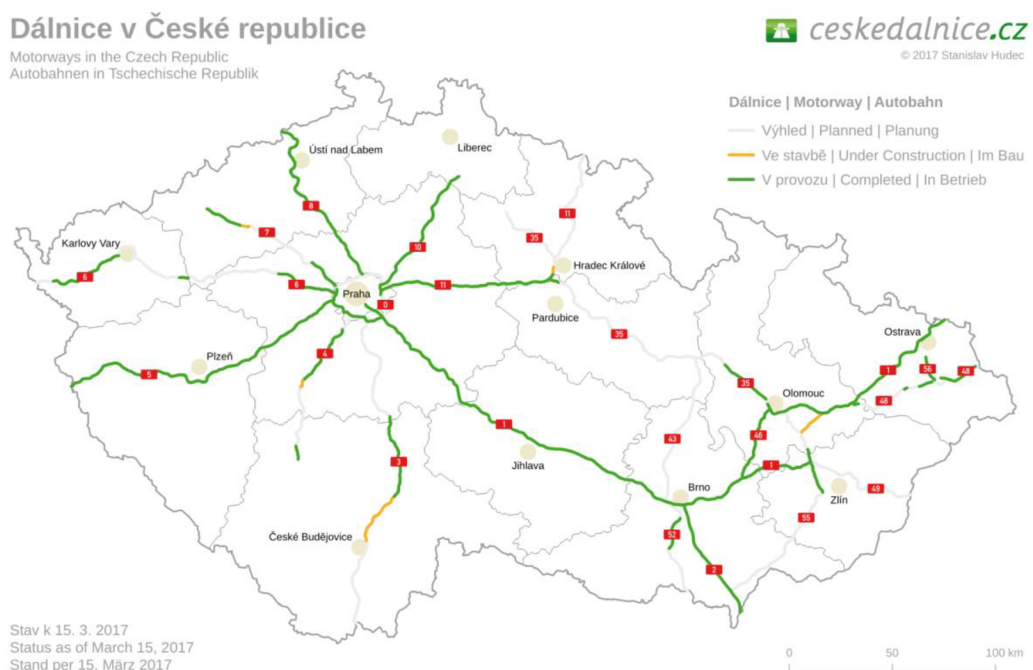
Možnost tohoto měření nabízí dvě možnosti realizace. Vzhledem k nenáročnosti měření je možné k měření využívat brigádníky nebo připadá v úvahu varianta domluvit se s dopravními společnostmi. Vzhledem k tomu, že dle informací od oddělení RAN Management již v minulosti probíhalo měření ve vlacích, budu předpokládat možnost dohody přímo s dopravci.

Co se týká problému souvisejících s tímto způsobem měření, je nutné zmínit, že dle společnosti O2 se v minulosti objevovali problémy s tím, že některé vagóny vlakových souprav zamezovaly proniknutí signálu GPS a měření poté bylo bez vypovídající hodnoty. Tento problém je možné odstranit podrobnou dokumentací měření. Měřič by tedy měl zaznamenat i typ vlaku, popř. vagónu, ve kterém bylo umístěno měřící zařízení, aby se zamezilo neefektivním měřením.

Vzhledem k tomu, že se jedná o metodu zatím nepoužívanou, navrhuji vyzkoušet tuto metodu v rámci zkušební doby třech měsíců. Po tuto dobu budou měření probíhat v prostředcích hromadné dopravy v 6 největších českých městech (Praha, Brno, Ostrava, Plzeň, Liberec a Olomouc), které mají nad 100 000 obyvatel a lze tedy předpokládat velký provoz sítě.

Dalším místem, kde navrhuji nasazení této metody měření, jsou dálkové autobusy, které využívají na svých trasách především dálnice, což může taktéž pomoci jako zdroj dat o monitoringu dálnic. Tím pádem nebude nutné klást takový důraz na měření dálnic v rámci samotných drive testů. Česká dálniční síť je zobrazena na obrázku 8.1 níže. Navrhované trasy jsou tedy následující:

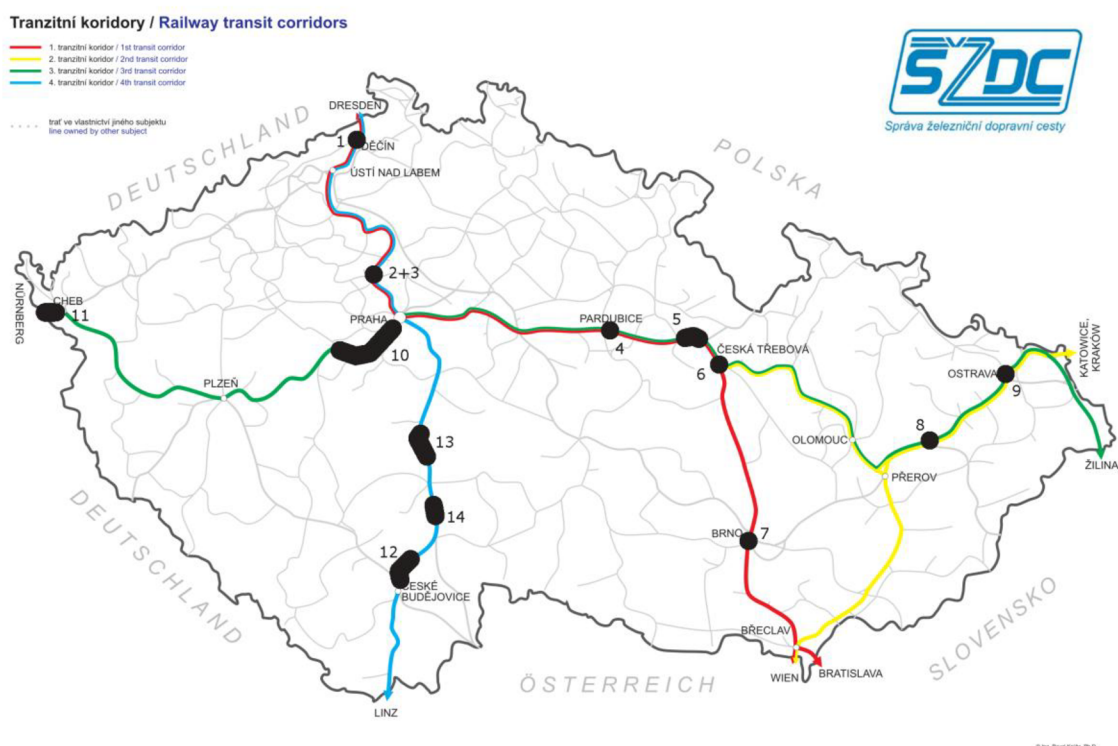
- Praha-Plzeň a zpět (dálnice D5),
- Praha-Ústí nad Labem a zpět (dálnice D8),
- Praha-Liberec a zpět (dálnice D10),
- Praha Hradec Králové a zpět (dálnice D11),
- Praha-České Budějovice a zpět (úsek dálnice D3),
- Praha-Brno a zpět (dálnice D1),
- Brno-Olomouc a zpět (dálnice D1, D46),
- Ostrava-Olomouc a zpět (dálnice D1, D35).



Obr. 8.1: Dálniční síť v ČR [34].

Poslední možností pro potenciální umístění QualiPocu je vlaková doprava. Vzhledem k tomu, že se prozatím bude jednat o zkušební měření, navrhuji využít pro měření nejvytíženější vlakové koridory, které jsou pro názornost zobrazeny na obrázku 8.2 níže. Jako vhodné jsem zvolil následující trasy:

- Praha-Plzeň (popř. Cheb) a zpět,
- Praha-Ústí nad Labem (popř. Děčín) a zpět,
- Praha-Brno (popř. Břeclav) a zpět,
- Praha-Ostrava a zpět,
- Ostrava-Břeclav a zpět,
- Ostrava-Olomouc a zpět.



Obr. 8.2: Železniční koridory v ČR [35].

Speciálním místem pro měření je v tomto ohledu pražské metro. Přestože není celé pokryté, je možné se k síti připojit na trase A mezi stanicemi Dejvická a Nemocnice Motol. Podle zdroje [36] se do budoucna plánuje i pokrytí na trase C mezi stanicemi Muzeum a Roztyly. Zde by použití QualiPocu nebylo vhodné hned ze dvou důvodů. Především by měření po většinu času probíhalo v oblastech bez pokrytí. Jako druhé úskalí se jeví fakt, že je metro umístěno v podzemí a proto je nutné k němu přistupovat jako k indolovým prostorám. Proto je zde nutné použít sestavu Freerider, která je určena pro walk testy. Měřič v tomto případě bude zaznačovat na mapě, kdykoliv dorazí souprava do stanice a následně z ní bude odjíždět. Naměřená data se pak rovnoměrně rozprostřou. Zde je měření pomocí walk tesu žádoucí z hlediska efektivity měření a časového vytížení [33], [34], [35], [36].

8.1.5 Měření v oblastech s významným cestovním ruchem

Ač se obvykle nejedná o místa se stabilně velkým osídlením, jsou to místa, která jsou velmi frekventovaně navštěvována sezónně. Tato část se zaměřuje např. na horská střediska a letní rekreační centra. Tato místa jsou proměřována samozřejmě v rámci proměrování navrženém v části 8.1.1. Nicméně vzhledem k jejich vytiženosti je třeba poskytnout těmto místům dostatek času pro detailní měření a zajištění kvalitních služeb zákazníkům, kdekoliv se nachází. Jejich místo v rozvrhu se prioritně nachází až za proměření krajů, nicméně pokud v rozvrhu oddělení RAN Management bude dostatek místa, navrhuji zařadit tyto oblasti do rozvrhu v závislosti na tom, zda se jedná o letní nebo zimní destinaci. Bylo by kontraproduktivní proměřovat během léta destinaci určenou především k lyžování a naopak. Níže je v tabulce 8.3 uveden rozpis navrhovaných destinací k proměření v rámci zimní/letní sezony. Tabulka těchto míst byla sestavena dle zdroje [37].

Oblast měření	Města a místa	Sezona
Krkonoše	Harrachov, Janské Lázně, Pec pod Sněžkou, Špindlerův Mlýn, Rokytnice nad Jizerou	letní i zimní
Orlické hory	Deštné v Orlických horách, Rokytnice v Orlických horách	zimní
Šumava	Špičák, Velký Javor, Železná Ruda, Lipno nad Vltavou	letní i zimní
Jeseníky	Červenohorské Sedlo, Dolní Morava, Kouty nad Desnou, Ovčárna, Ramzová	zimní
Třeboňsko	Třeboň, Veselí nad Lužnicí	letní
České Švýcarsko	Hřensko	letní
Pálava	Bulhary, Dolní Věstonice, Mikulov, Pasohlávky	letní

Tab. 8.3: Oblasti s významným cestovním ruchem.

8.2 Plánování měření z hlediska času

8.2.1 Roční rozvrh oddělení RAN Management

Pokud budeme dělit měření z hlediska času, je nutné nejdříve stanovit, kolik dní má oddělení k dispozici. V tomto případě budeme uvažovat rok 2017, který obsahuje dohromady 250 pracovních dnů. Vzhledem k tomu, že oddělení disponujeme stabilně 5 zaměstnanci, kteří provádějí vlastní měření, dává nám to k dispozici 1 250 pracovních dní pro naplánování měření. K tomuto účelu vytvoříme jednotku **md** (měřící den), která udává počet pracovních dní, které má v jednom roce k dispozici oddělení RAN Management. Pokud zahrneme do rozvahy, že oddělení využívá až 2 brigádníky, a budeme předpokládat, že mají s O2 vedenou dohodu o pracovní činnosti (pracovní doba odpovídá maximálně polovičnímu úvazku a musí překročit 300 hodin za rok dle zdroje [38]), dává nám to k dispozici dalších 75-250 **md**. Nicméně je třeba počítat s tím, že brigádníci budou využíváni především pro walk testy, nikoli pro drive testy a nomadic testy. Dohromady tedy pro rok 2017

oddělení disponuje až 1 500 *md*, které může využít pro samotné měření. Pro názornost bude použita horní hranice. Vzhledem k tomu, že je třeba vytvořit určitou rezervu, aby oddělení bylo schopno flexibilně reagovat na případné problémy, vyčleníme z celkového počtu 1 500 *md* rezervu, která bude odpovídat 4%, čili 60 *md*. To odpovídá rezervě 5 *md* na každý měsíc a nechává k plánování celkový počet 1 440 *md* (120 *md* měsíčně).

Pokud budeme vycházet z dělení našeho území dle okresů, jak bylo zpracováno v předchozí podkapitole (8.1), vyhradíme-li na každý okres v rámci měření 2 *md* a budeme-li vyžadovat proměření celého cyklu alespoň 6x za rok, dostaneme se na počet:

84 měřených okresů * 2 *md* * 6 cyklů = 1 008 *md*.

Těchto 6 cyklů poskytuje operátorovi každé dva měsíce náhled na situaci v dané oblasti České republiky a tím pádem budou oblasti prakticky neustále monitorovány. V případě jakýchkoliv změn (např. stavba v dané oblasti) tak bude mít operátor možnost velice flexibilně reagovat na veškeré změny.

Z celkového počtu 1 440 *md* za rok tento postup nabízí ještě nevyužitých 432 *md* (250 *md* pro brigádníky a 182 *md* pro zaměstnance). Vzhledem k tomu, že v rámci proměrování jednotlivých okresů dle priority **P**, je kladen velký důraz kladen na silniční komunikace, budou tyto časové prostředky věnovány městům nad 10 000 obyvatel v ČR, jak je zmíněno v podkapitole 8.1.2 a místům s významným cestovním ruchem diskutovaným v části 8.1.5. Ze zmíněných 432 *md* v rámci této metodiky navrhuji vyhradit pro místa s výrazným cestovním ruchem 32 *md* (vyhrazených pro stálé zaměstnance) pro případ, že by do této kategorie bylo nutné zařadit ještě další místa nebo by bylo nutné některé oblasti proměřovat vícekrát.

Ze zbývajících 400 *md* (250 *md* pro brigádníky a 150 *md* pro stálé zaměstnance) navrhuji pokrýt separátní měření měst nad 10 000 obyvatel, jelikož tato místa vyžadují častější kontrolu a monitoring vícekrát než jednou za 2 měsíce. Např. u Prahy by se to jevilo jako naprosto nedostatečné řešení. Proto jsou *md* pro zaměstnance rozděleny následovně: 40 *md* pro města nad 100 000 obyvatel (6), 40 *md* pro města od 50 000 do 100 000 obyvatel (12), 35 *md* pro města mezi 20 000 a 50 000 obyvatel (44) a nakonec 35 *md* pro města mezi 10 000 a 20 000 obyvatel (68). Toto rozdělení poskytne dostatek času pro frekventované proměření všech velkých měst. Pokud budeme uvažovat 1 *md* na město, pak každé město od 50 000 do 100 000 obyvatel bude kromě měření v rámci okresů proměřeno ještě 2x. Nicméně lze předpokládat, že města blízko u sebe (např. Hradec Králové a Pardubice) bude možné proměřit v jeden den, což poskytne časovou úsporu pro ještě frekventovanější měření. Zároveň lze předpokládat, že u menších měst půjde využít 1 *md* pro proměření většího počtu měst najednou. Toto rozčlenění tvoří dohromady rozvrh na 150 *md* a navrhuji pro něj využít stálé zaměstnance.

Časové možnosti brigádníků – až 250 *md* pro dva brigádníky – navrhuji využít pro měření pomocí walk testů ve městech. Brigádník v rámci těchto testů může proměřovat města nad 10 000 obyvatel, kde jsou walk testy žádoucí. V rámci těchto měření by měl využívat i prostředků hromadné a veřejné dopravy (MHD ve městech, vlaky, autobusy), což by poskytlo účel samotné cestě. Popř. mohou být využití brigádníci jako asistenti při měření pomocí drive testů a z důvodu úšetření času mohou doprovázet řidiče měřících vozů. V tomto případě zatímco měřič bude provádět drive test, může brigádník zatím metodou walk test proměřovat centrum města, popř. jiná žádoucí místa. Zde dochází však ke kolizi se současným vybavením oddělení. Vzhledem k tomu, že u měření v rámci metodiky doporučuji využití Freerideru pro prakticky každý měřený objekt (okres, oblast i město), jeví se počet vybavení pro walk testy jako nedostatečný. Navrhuji tedy nákup dalších dvou Freeriderů, aby mohli walk testy provádět brigádníci i zaměstnanci simultánně. Pro získání náhledu na

dlouhodobější stav sítě v dané oblasti lze walk test nahradit pomocí nomadic testu, popř. pro walk test využít zařízení QualiPoc (odpadá však možnost benchmarkingu).

Do časového rozvrhu oddělení není zahrnuto měření na dopravních komunikacích a ve veřejných dopravních prostředcích. Vzhledem k frekventovanému měření v různých oblastech naší země budou komunikace v jednotlivých oblastech proměřovány pravidelně a dostatečné proměřování dálnic a silnic 1. třídy lze zajistit určením priorit pro řidiče měřících vozů. Prioritně budou tedy k dopravě do měřené oblasti využívat dálnice a poté silnice 1. třídy. To je logické řešení jak z hlediska časové úspory tak i vypovídající hodnoty naměřených dat. Pokud se zaměříme na měření ve veřejných dopravních prostředcích, bylo diskutováno umístění měřícího zařízení po domluvě s dopravními podniky. Samotný přesun na místa je možné podniknout v rámci proměřování daných oblastí pomocí drive testů, proto není tato varianta zahrnuta v časovém rozvrhu. Celkový roční rozvrh dle *md* je v tabulce 8.4 níže. V tabulce je u každého měření uveden i počet měřených segmentů, ať už se jedná o kraj, město nebo oblast s vysokým cestovním ruchem. Zároveň je v tabulce uvedeno, pro jaký typ pracovníka je rozvrh navržen (brigádník nebo zaměstnanec).

Oblast měření	Počet měřících dní (md)	Počet segmentů	Pověřený pracovník
Měření v jednotlivých okresech	1008	84	zaměstnanec
Měření ve městech nad 100 000 obyvatel	40	6	zaměstnanec
Měření ve městech od 50 000 do 100 000 obyvatel	40	12	zaměstnanec
Měření ve městech od 20 000 do 50 000 obyvatel	35	44	zaměstnanec
Měření ve městech od 10 000 do 20 000 obyvatel	35	68	zaměstnanec
Měření v oblastech s cestovním ruchem	32	7; dle uvážení více	zaměstnanec
Podpůrná měření, popř. plánování a podpůrná administrativní činnost	75-250	130	brigádník

Tab. 8.4: Rozvrh měření oddělení RAN Management rozpočítaný na dny.

Z hlediska využití měřících zařízení je rozvrh modelován pro stávající počet zaměstnanců. Využity tedy budou všechny měřící automobily i všechny Freeridery (1 stávající, popř. 3 po nákupu). Co se týká QualiPoců, doporučuji využití 2 pro měření ve veřejných dopravních prostředcích, 3 zahrnout do výbavy měřičů, kteří nebudou momentálně disponovat Freeriderem a budou měřit oblast s nejvyšší prioritou P oproti ostatním měřičům, kteří taktéž nebudou disponovat Freeriderem. 1 QualiPoc navrhuji nechat jako rezervní přímo na oddělení, pro případ naléhavých okolností, které

by vyžadovali urgentní proměření. Nicméně vzhledem k povaze metodiky se budou měřiči nacházet v různých koutech republiky a neměl by být problém se kamkoliv rychle dopravit. Pokud budeme k metodice přistupovat z hlediska efektivity měření, bylo by vhodné do vybavení zahrnout ještě další 2 telefony QualiPoc, aby jím disponoval každý měřící vůz, popř. je mohli zapůjčit brigádníkům.

Samotné využití měřících zařízení ve veřejných dopravních prostředcích, navýšení počtu Freeriderů z 1 na 3, navýšení telefonů systému QualiPoc z 6 na 8 a zařazení stacionárního měření do metodiky (diskutované v části 8.3.5) bude doprovázeno navýšením počtu dat získaných během měření. Tato situace nabízí řešení zaměstnat třetího analytika nebo využít jednoho z brigádníků právě pro tuto práci. Krajním řešením pro snížení objemu dat a snížení ekonomického zatížení by bylo snížení počtu měřičů z 5 na 4 (roční plat měřič odpovídá cca nákupní ceně 2 telefonů systému QualiPoc; při předpokladu prodeje jednoho Benchmarkeru za prodejní cenu a nákupu 2 Freeriderů by bylo oddělení v zisku cca 590 000 CZK) a následně rozplánovat počet dní ve stejném poměru, jako je tomu u stávající metodiky pro 5 měřičů. V časovém rozvrhu není zahrnuto plánování vlastního měření v konkrétních lokalitách, což z hlediska úspory času měřičů může být zadáno jako jedna z povinností pro analytika, popř. lze po zaškolení touto činností pověřit brigádníka [38].

8.2.2 Rozdělení měřených objektů dle denní doby

Pro zajištění efektivity měření je nutné rozplánovat i denní dobu, kdy bude v daných oblastech měření probíhat. V opačném případě by se mohlo stát, že ačkoli budou místa vybrána pečlivě, bude v nich měřeno v dobu, kdy nebude síť v dané oblasti vytížena a tím pádem bude měření pouze minimálně odpovídat zkušenosti zákazníka. Nemá tedy smysl provádět měření v univerzitním kampusu ve večerních hodinách a na sídlišti krátce po poledni. Ať už se jedná o měření typu drive test, walk test nebo nomadic test, je nutné některá místa rozřadit dle doby, kdy je vhodné v nich provádět měření. Toto rozdělení zobrazeno v tabulce 8.3 níže. Jednotlivá místa jsou opatřena identifikátory, které jsou použity v tabulce v příloze B.

Jak je zmíněno v tabulce 8.5, jedním z cílů detailnějšího měření by měly být hustě obydlené oblasti jako sídliště, rezidenční čtvrtě, ubytovny, vysokoškolské koleje, internáty apod. Jde o místa, kde zákazníci fyzicky bydlí. Ač je to v rozporu s předchozí větou, do této kategorie lze zařadit i nemocnice. Vzhledem ke špičkám v provozu hlasových a datových služeb, které jsou zmíněny v kapitole 7, je důležité proměřovat tyto špičky v těchto oblastech. Jak pro hlasové tak i datové služby připadají znatelná zatížení v odpoledních a večerních hodinách (datové služby cca od 20. hodiny dále, hlasové služby cca 14-18 hodin). Proto je vhodné v těchto oblastech měřit ideálně v době špičky, ale primárně je nutné zde měřit v době, kdy budou již zákazníci doma a nebudou spát. Z tohoto důvodu byl zvolen interval od 7:00 do 9:00 a poté od 17:00 do 24:00. Vzhledem k tomu, že znatelné množství obyvatel naší země přes víkendy opouští svoje domovy, je prioritou měření v pracovní dny. Výjimkou v této kategorii jsou nemocnice, u kterých lze měření provádět prakticky ve kteroukoliv denní dobu a nemají žádná omezení ohledně dne v týdnu.

Dalším objektem, který v případě měření může poskytovat relevantní data, jsou místa, kde se ve větší míře v pravidelných časech lidé kumulují. To mohou být školy, univerzity, kancelářské budovy, místa veřejné správy, office centra, fabriky, sídla zaměstnavatelů, průmyslové zóny, větší množství menších obchodů, supermarketů atd. Proto je nutné tato místa zahrnout i do nové metodiky a měřit v těchto oblastech v časech, kdy lze předpokládat jejich vytížení, tj. od cca 8:00 do 16:00 s volným intervalem mezi 12:00 a 13:00, kdy většina lidí chodí na oběd a nemusí se v tuto dobu

nacházet v daném objektu. Vzhledem k tomu, že se jedná o místa, kde se lidé až na výjimky nacházejí pouze v pracovní dny, budou tato místa předmětem měření právě v pracovní dny.

Oblast měření	Značka	Vhodné časy měření	Vhodné dny v týdnu
Hustě obydlené oblasti, rezidenční čtvrti, sídliště apod., nemocnice	B	7:00-9:00, 17:00-24:00	pracovní dny
Školy, univerzitní kampusy, kancelářské budovy, office centra, fabriky apod.	ŠO	8:00-12:00, 13:00-16:00	pracovní dny
Vlaková a autobusová nádraží a další uzly veřejné dopravy	N	6:00-9:00, 15:00-21:00, u velkých uzlů kdykoliv	kdykoliv
Letiště	L	9:00-18:00, u velkých letišť kdykoliv	kdykoliv
Nákupní centra a zóny	NC	10:00-20:00	víkendy
Náměstí a další frekventovaná veřejná místa	V	10:00-14:00, u velkých měst kdykoliv	kdykoliv
Významná turistická místa	T	10:00-20:00	víkendy

Tab. 8.4: Rozdělení časů vhodných pro měření v daných oblastech.

Dalšími zmíněnými místy jsou uzly vlakové, autobusové či hromadné dopravy a letiště. Ve zkratce se jedná o dopravní uzly. Ty svou vytížeností ve velkých městech nepodléhají žádné konkrétní prioritizaci časů, ve kterých by zde mělo být měřeno. Nicméně vzhledem k tomu, že předmětem měření jsou i menší města, je nutné zavést pro letiště prioritní časy měření mezi 9:00 a 18:00 v kterémkoliv dny a pro ostatní dopravní uzly čas od 6:00 do 9:00, kdy lze předpokládat nápor vzhledem k tomu, že lidé míří do práce. Dalším časem pro ostatní dopravní uzly jsou pak odpolední a večerní hodiny – 15:00-21:00. Dopravní uzly nepodléhají žádným restrikcím dle konkrétních dnů měření. Je však vhodné poznamenat, že nelze očekávat zatížení dopravních uzlů o víkendu na menších městech.

Nákupní centra a zóny spolu s turistickými místy jsou dvě oblasti, které je vhodné měřit a monitorovat především o víkendu, nicméně lze předpokládat, že to vyžaduje určité dohody se zaměstnancem. Měření je preferováno o víkendech především proto, že v tuto dobu lze očekávat největší zatížení turisty a lidmi, kteří jdou o víkendech nakupovat. Neliší se ani časy zvolené pro jejich monitoring (10:00-20:00). K turistickým místům je třeba poznamenat, že mají rozhodně vyšší prioritu než nákupní centra. V dnešní době velké množství moderních nákupních center nabízí zákazníkům zdarma wi-fi, proto nebude síť tak vytížená, jak by pro účely měření bylo vhodné. Čím více zatížená síť bude, tím pravděpodobněji může měření odhalit mezery, které je nutné opravit. U turistických míst je pokrytí místa wi-fi signálem spíše výjimka. Navíc pokud budeme uvažovat extrémně vytížená turistická místa (např. Staré Město a Malá Strana v Praze), lze předpokládat, že turisté budou využívat datové služby a GPS navigaci. Nápor na datovou síť lze tedy v těchto místech předpokládat znatelný.

Jako poslední je v tabulce položka náměstí a další frekventovaná veřejná místa. To mohou být např. i pěší zóny, frekventované mosty, promenády podél řek apod. Jedná se tedy o místa s velkým množstvím chodců, ačkoli se nejedná o turistická místa. Tato místa jsou obvykle sídla institucí, jako jsou pošty, obchody a restaurace. Z toho důvodu doporučuji v rámci nové metodiky proměřovat tato místa v době kolem oběda ve všední dny.

Jak bylo zmíněno výše, značky u jednotlivých položek v tabulce 8.5 jsou použity i v tabulce měst v příloze B, kde jsou uvedena největší města ČR s minimálně 10 000 obyvateli, která jsou seřazena sestupně od největšího. Značky zde slouží jako informace pro měřiče, na jaká místa se mohou ve městech zaměřit pro detailnější měření. Tyto značky jsou v rámci této práce nadále používány bez odkazu. Zde je nutné zmínit, že zmíněná tabulka uvažuje pouze místa, kde je možné očekávat větší zatížení sítě. To znamená, že neuvažuje např. základní školy, menší nákupní centra, popř. letiště pro soukromé, sportovní nebo vojenské účely. Jako turistická místa jsou taktéž uvedena pouze místa, která plní přední příčky turisticky nejnavštěvovanějších míst ČR (dle zdroje [37]). Celkově jsou tyto značky označující možnosti pro detailnější měření udělovány městům na základě předpokládaného vytížení sítě. Pokud by se metodika totiž řídila pouze papírovými daty, je možné, že by pak ve městě s 10 000 obyvateli měřič prováděl např. nomadic test u turistického místa, kde je minimální vytížení a kde oproti např. Českému Krumlovu by byla vypovídající hodnota minimální.

8.3 Měřené služby a metody měření

Pro efektivitu měření, které bude probíhat dle naplánovaného rozvrhu, je dále nutné stanovit, které služby budou proměřovány. Stávající metodika se zaměřuje na monitoring hlasových služeb (CSFR, CDR, PESQ/POLQA) a datových služeb (DTFR, RASFR a UDT, popř. Ping). Měření těchto služeb a parametrů je rozhodně nutné zachovat, jelikož se jedná o vypovídající parametry. V tomto případě nová metodika navrhuje zachovat beze změny monitoring hlasových služeb. Co současná metodika postrádá a bude zahrnuto v nové metodice, je monitoring streamování/sledování videa a proměřování služeb SMS a MMS.

8.3.1 Měření hlasových služeb

V tomto případě se metodika nová příliš nemění od stávající. Vzhledem k tomu, že je třeba dosáhnout alespoň 100 vzorků během měření, aby mělo smysl aplikovat statistiku, je třeba zvolit vhodnou délku zkušebního hovoru. Zde navrhuji délku zkušebního hovoru v trvání 30 sekund, což umožňuje získání dostatečného počtu vzorků. Samotná síť obsahuje několik technologií, které je taktéž nutné odlišit. Při stávající metodice se používá skript pro měření LTE, s možností přechodu na nižší technologii v místech bez pokrytí systémem LTE, a také pro forcing technologií 2G/3G, což zajišťuje, že v rámci tohoto měření nebude proměřována technologie vyšší než 3G. Čili varianty měření pro hlasové služby budou dvě:

- a) technologie 4G bez forcingu,
- b) forcing technologie 2G/3G.

Vzhledem k počtu cca 5 milionů mobilních zákazníků O2, na které připadá cca 1,6 milionu mobilních telefonů podporujících 4G (tedy 1/3 všech mobilních zákazníků; z toho cca 1/2 vybavena USIM), z nichž jen cca 10 000 zákazníků (0,2% mobilních zákazníků) disponuje telefonem umožňujícím

4G volání, je žádoucí, aby hlasové služby pro 2G/3G byly proměřovány častěji. Přestože cca 2/3 zákazníků připadá striktně na 2G/3G a 99,8% zákazníku telefonuje buď přes 2G/3G nebo 4G Fallback, potenciál u technologie 4G je obrovský. Proto poměr mezi oběma variantami (2G/3G, 4G) je 4:1. Každá varianta by měla zahrnovat střídání volání na ústřednu a přijímání hovoru z ústředny [26].

8.3.2 Měření datových služeb

U datových služeb platí rozdílný scénář, pokud se zaměříme na jednotlivé technologie. Tedy nová metodika navrhuje poměr 1:1 mezi měřením forcingu technologie 2G/3G a technologií 4G bez forcingu. Vzhledem k nejčastěji používaným službám (dle zdroje [32]), které využívají datových služeb, je vhodné zvolit velikost zkušební datového objemu v řádek jednotek megabytů (cca 5 megabytů). V tomto případě se metodika přiklání spíše k použití menšího datového objemu, což umožní i větší svižnost měření a tím pádem i více měřených vzorků. Skript pro měření by měl zahrnovat střídání směru Downlink a Uplink. Poměr mezi měřením datových služeb a hlasových služeb by měl být vzhledem k jejich používání 1:1. Užití varianty jsou tedy následující:

- a) technologie 4G bez forcingu,
- b) forcing technologie 2G/3G.

8.3.3 Měření služeb SMS, MMS a Video-streaming

Stávající metodika vykazuje naprostou absenci měření těchto služeb, proto je nutné je zařadit do nové metodiky, ač je to z odlišných důvodů. Přestože se dá říci, že využití SMS a MMS je s rozvojem moderních aplikací na ústupu, video-streaming je teprve na vzestupu. Nicméně jak služby SMS tak i MMS jsou doposud často využívány a je proto žádoucí k nim tak přistupovat.

U služeb SMS a MMS bude měření monitorovat parametry E2E Delivery Success Rate a E2E Delivery Time. Měření video-streamingu bude monitorovat parametry UDT (stejně jako u klasických datových služeb) a Video-streaming Sequence Download Success Rate. Přestože je video-streaming taktéž datovou službou, je nutné ji zařadit do speciální kategorie, jelikož na rozdíl od většiny služeb a aplikací využívajících datové služby zde dochází k přenosu velkých objemů dat (desítky-stovky megabytů v závislosti na kvalitě a délce videa).

Jako vhodná velikost u SMS a MMS se jeví zkušební sekvence dat jejich maximální velikost, aby byl na síť kladen co možná největší tlak. Maximální délka SMS je 160 znaků bez použití diakritiky a 70 znaků s diakritikou. Maximální velikost MMS je 300 kilobytů. Pokud se budeme bavit o měření u videa, navrhuji zkušební sekvenci omezit na 30 sekund až 1 minutu, což zaručí dostatečnou množinu dat. Vzhledem k tomu, že video-streaming je služba náročnější na přenosovou rychlost, doporučuje metodika měření této služby striktně na technologii 4G nebo na kombinaci 3G/4G, jelikož technologie 2G není pro video-streaming vhodná vzhledem k přenosovým rychlostem, které umožňuje.

Pro monitoring videa je vhodné použít vlastní skript, zatímco služby SMS a MMS navrhuji zahrnout do jednoho společného skriptu, kdy se bude střídát po sobě vždy odeslání 5 SMS a poté 5 MMS. Pokud to skript bude umožňovat, navrhuji do něj následně i zahrnutí přijetí 5 SMS a 5 MMS. Skript pro video-streaming bude zahrnovat střídání směru Downlink a Uplink.

Co se týká samotného rozložení měření těchto služeb, pak navrhuji vzhledem k používanosti těchto služeb a jejich klíčivosti pro zákazníka poměr mezi měřeními 3:3:1:1 pro měření hlasových služeb, datových služeb, SMS/MMS a video-streamingu [26].

8.3.4 Výsledná kombinace měřených služeb

Jak je uvedeno v části 8.3.3, výsledný poměr mezi měřeními je 3:3:1:1 pro měření hlasových služeb, datových služeb, SMS/MMS a video-streamingu. Výsledná procentuální část měřícího času připadající na měření dané technologie či služby je v tabulce 8.5 níže. Součástí všech měření bude i mapování síly signálu v jednotkách *dBm*.

Měřená technologie/služba	Požadovaná část času měření z celku (%)
forcing 2G/3G - hlas	30,00
4G bez forcingu - hlas	7,50
forcing 2G/3G - data	18,75
4G bez forcingu - data	18,75
SMS/MMS	12,50
Video-streaming	12,50

Tab. 8.5: Procentuální část připadající na měření konkrétní technologie či služby z celkového času měření.

Složitějším úkolem pro měřiče se může stát vhodná kombinace těchto služeb a samotná realizace těchto požadovaných poměrů. Je to z toho důvodu, že měření v jednotlivých městech pak nemusí splňovat požadavek alespoň 100 měřených vzorků. Proto budou výsledná data pro SMS/MMS, Video-streaming a vyhodnocována vždy pro konkrétní okres dohromady.

8.3.5 Vhodný poměr mezi užitými metodami

Vzhledem k tomu, že stávající metodika je zaměřena převážně na drive testy, které jsou sice schopny zmapovat velkou plochu v relativně nízkém čase, chybí pak pravidelný report o dění v síti z dlouhodobějšího hlediska. To se může vyvážit podnikáním většího množství walk testů a nomadic testů. Tyto metody jsou však časově méně efektivní. Z toho důvodu navrhuji poměr mezi metodami drive test a walk/nomadic test na 4:1. Tento poměr zajistí dostatečnou časovou efektivitu vzhledem k převaze drive testů a zároveň i pohled na síť z dlouhodobějšího hlediska. Vzhledem k tomu, že stacionárních měření je nevelký počet a i z čistě informativního hlediska má smysl se jím blíže zabývat, navrhuji řešení, že pokud bude měřič pověřený proměřeními konkrétního okresu v rámci 2 *md* vybaven zařízením QualiPoc, umístí ho na celé období měření v daném okrese do některého z vhodných objektů z části 8.2.2. Tím pádem bude mít analytik k dispozici data o chodu sítě z dlouhodobého hlediska. Popř. přichází v úvahu varianta umístit stacionární měřič každý den na jiné místo. Jelikož zařízení QualiPoc určené pro stacionární měření nenabízí variantu benchmarking, probíhal by první den test hlasových služeb v síti O2 a druhý den datových služeb v síti O2 (technologie by se střídaly v rámci jednotlivých cyklů měření). Ve městech jako je Praha, Brno a

Ostrava, kde bude podniknuto cyklů více než 6, doporučuji dodržovat poměr měřených služeb stanovený v části 8.3.4. Popř. přichází v úvahu i zavedení skriptu, který bude zajišťovat vhodný poměr a měření všech služeb a technologií najednou. Vzhledem k dlouhodobé povaze měření by neměl být problém s nedostatkem výsledků pro aplikování statistiky.

8.4 Praktický příklad užití nové metodiky

Pro účely plánování měření byla zpracována tabulka v příloze C, která obsahuje seznam měst nad 10 000 obyvatel, která jsou seřazena dle okresů pomocí identifikátoru **P**. To umožňuje při plánování rychlý náhled na to, kolik měst je při plánování řešení pro konkrétní okres nutné zahrnout do plánování pro nomadic řešení a walk testy, popř. kde je vhodné umístit stacionární měřič. Následně při náhledu do tabulky B nalezne osoba plánující měření kategorie objektů, které se ve městě nacházejí a kde dle denní doby, kdy bude měření probíhat, má smysl měření provést. Pro plánování lze využít různých softwarů, nicméně v rámci této práce byla použita služba Mapy.cz (zdroj [39]). Ta umožňuje exportování vytvořené trasy do souboru ve formátu gpx nebo kml, které mohou být poté nahrány např. do služebního telefonu, který bude měřič používat jako navigaci při drive testu, nicméně řešení je více. Autorovi práce nebylo známo, jaký způsob pro tyto účely momentálně využívá oddělení RAN Management. Řešení za použití Mapy.cz je zdarma a nabízí relativně rychlou práci. Umožňuje zobrazení čísel dopravních komunikací a počet bodů trasy není limitován, jako je tomu např. u hojně používaných map služby Google (zdroj [40]).



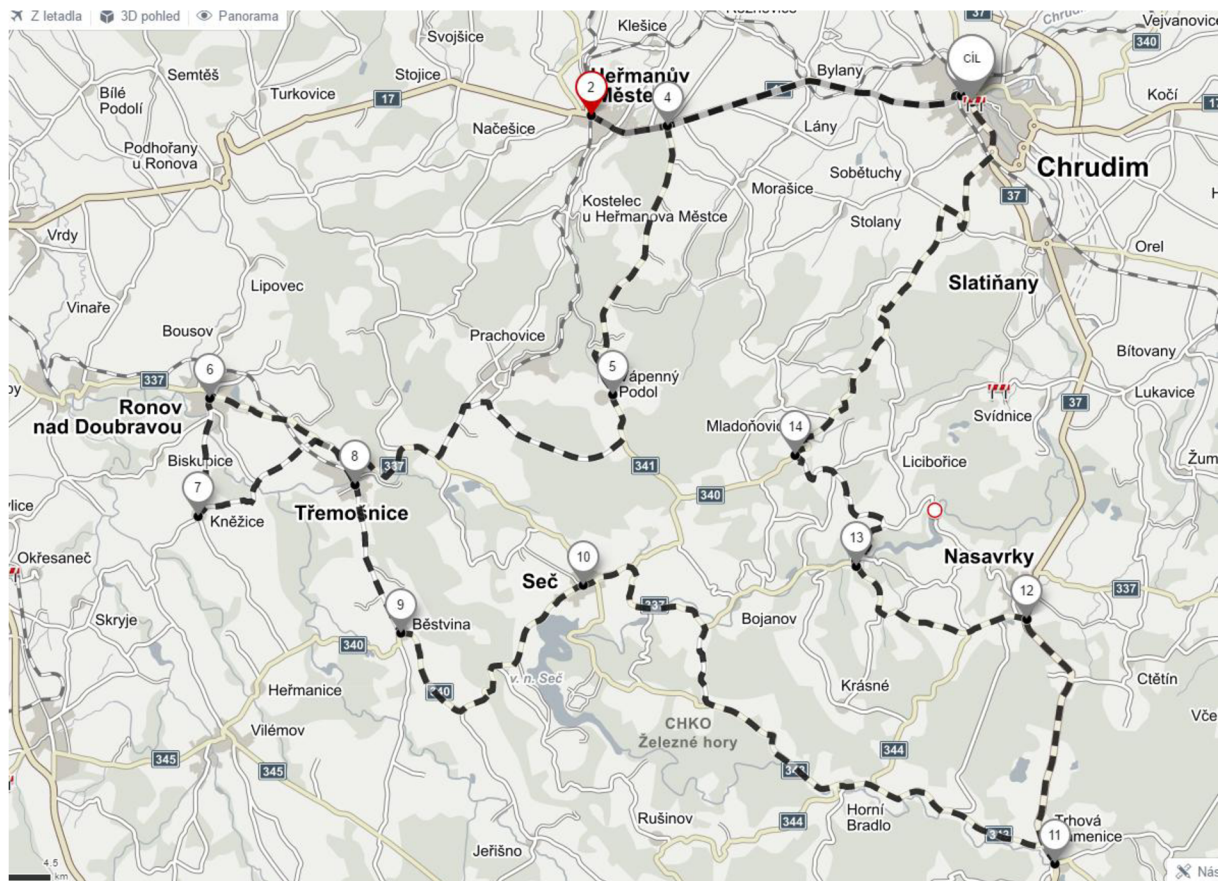
Obr. 8.3: Území okresu Chrudim [40].

Pro tento modelový příklad byl vybrán okres Chrudim ($P=43$). Po nahlédnutí do tabulky z přílohy C, je viditelné, že v okrese se nachází pouze jedno město s obyvatelstvem nad 10 000 obyvatel a tím je právě Chrudim. Po nahlédnutí do tabulky v příloze B ve spolupráci s mapou je možné dohledat, že ve městě se nachází pro detailnější měření objekty typu B (sídlíště, hustě obydlené oblasti, nemocnice), N (autobusové a vlakové nádraží), ŠO (školy, průmyslová oblast, fabriky, kancelářské budovy, menší obchody) a V (náměstí, historická část města). V okrese není mnoho silnic 1. třídy, což vyžaduje vícenásobné projíždění stejné trasy. Nicméně pro efektivní proměření co největší oblasti nebyl dodržen poměr stanovený jako výchozí mezi silnicemi 1., 2. a 3. třídy – 4:2:1. Ač metodika definuje tento poměr, je vždy nutné přihlídnout při řešení v konkrétním okrese k tomu, zda bezvýhradné dodržení tohoto poměru není pro výsledné měření kontraproduktivní, jako by tomu bylo v případě okresu Chrudim

Modelový příklad se zaměřuje na kompletní řešení a plánování měření v tomto okrese v souladu s novou metodikou v rámci dvou měřících dní. Vzhledem k tomu, že okres je vzdálen více než 100 kilometrů od Prahy (ze sídla O2 do Chrudimi 127 km), počítá se s přespáním měřiče v okrese. To navíc umožňuje i proměření hustě obydlených oblastí v době špičky užití datových služeb (19:00-24:00). Toto řešení počítá s pracovní dobou měřiče 8 hodin denně (není zahrnuta pauza na oběd 1 hodina). Pro proměření všech oblastí a měření ve vhodné časy však bylo využito možnosti, kdy v rámci prvního dne měřič odpracuje více než 8 hodin (v tomto případě 11 hodin), což bude kompenzováno v rámci druhého dne, kdy měřičova pracovní doba bude kratší (v tomto případě 5 hodin). Modelový příklad zpracovává řešení zároveň pro celý okres i pro samotné město.

Okres Chrudim (obrázek 8.3 výše) se rozkládá v Pardubickém kraji. Jak je patrné z obrázku, ze severu je tento okres vytyčen městy Heřmanův Městec, Chrudim a obcemi Chroustovice a Ostrov. Ze západu ho ohraničuje město Ronov nad Doubravou. Z jihu je vytyčen obcí Seč a městy Trhová Kamenice a Hlinsko. Na východní hranici se rozkládají obce Proseč a Luže. Celé území lze rozdělit na dvě části pomocí silnice 1. třídy s označením 37, která spojuje Chrudim a Trhovou Kamenici.

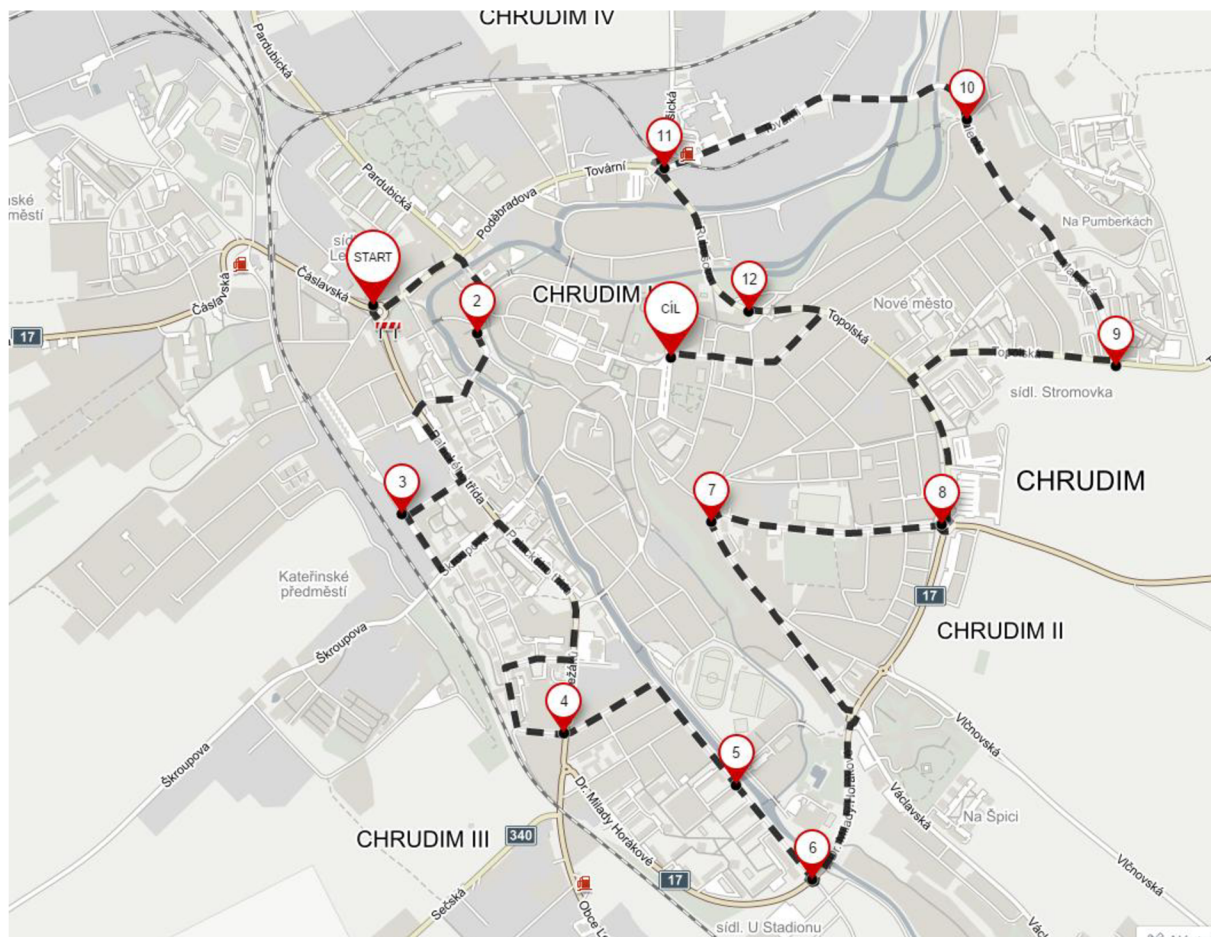
Pro účely měření se počítá s tím, že měřič vyjede ze sídla O2 v Praze první den v 8:00. V rámci cesty do města Chrudim, které je vzdálené 127 kilometrů (1 hodina 14 minut jízdy), proměří celou dálnici D11 a část silnice 1. třídy s označením 37. Do Chrudimi tedy dorazí v 9:14 dle plánu. Poté začne provádět měření v tomto okrese a projede trasu dlouhou 114 kilometrů, která mu zabere 4 hodiny a 25 minut. Tato část měření se soustředí na západní část tohoto okresu. Trasa je vyobrazena na obrázku 8.4 níže.



Obr. 8.4: Trasa měření západní části okresu Chrudim [39].

Trasa začíná v Chrudimi, odkud se vydá měřič do Heřmanova městce po silnici 1. třídy s označením 17, vzhledem k tomu, že v okrese není velké množství silnic 1. třídy, vrátí se měřič po stejné trase do Chrudimi, kde se otočí a bude se vracet zpět do Heřmanova Městce. Ve vesnici Nový Dvůr se vydá směrem na jih po silnici 2. třídy do obce Vápenný Podol. Odtud se po kombinaci silnic 2. a 3. třídy dostane na západní hranici okresu do města Ronov nad Doubravou. Z Ronova měřič pojedje opět na jih po silnici 3. třídy do obce Kněžice a po silnici 3. třídy do města Třemošnice. Odtud bude pokračovat po silnici 3. třídy do obce Běstvína. Zde se napojí na silnici 2. třídy a pojedje do města Seč. Po kombinaci silnic 2. a 3. třídy projede měřič chráněnou krajinnou oblastí Železné hory přes obec Horní Bradlo do Trhové Kamenice. Odtud se vydá na sever po silnici 1. třídy do města Nasavrky, které je na trase zobrazeno jako bod 12. Po silnicích 2. a 3. třídy se přes bod 13 (Libkov) a bod 14 (Petříkovice) napojí na silnici 1. třídy, která vede zpět do Chrudimi. V měření je zahrnuta hodinová rezerva, kterou může měřič využít k detailnějšímu proměření následujících měst: Heřmanův Městec (15 minut), Ronov nad Doubravou (10 minut), Třemošnice (10 minut), Trhová Kamenice (10 minut) a Nasavrky (15 minut). Dle časových možností tyto intervaly může měřič upravit. Tato dílčí měření nejsou zahrnuta v počtu kilometrů připadajícím na toto měření (114) Očekávaný příjezd do Chrudimi je ve 12:39.

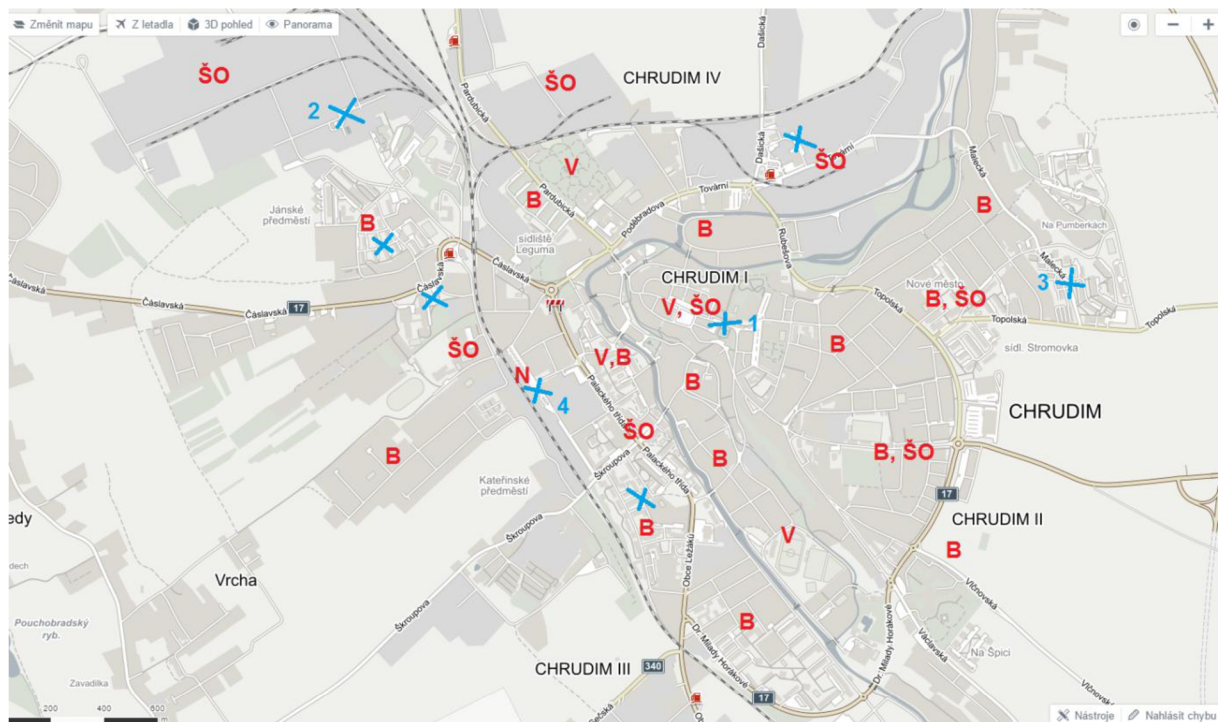
Po příjezdu do Chrudimi zahájí měřič cca 20 minutové měření v ulicích města. Toto měření by mělo zahrnovat různé části města a měl by svým měřením pokrýt co největší plochu města. Návrh tohoto měření je zobrazeno na obrázku 8.5 níže.



Obr. 8.5: Trasa prvního měření v ulicích města Chrudim [39].

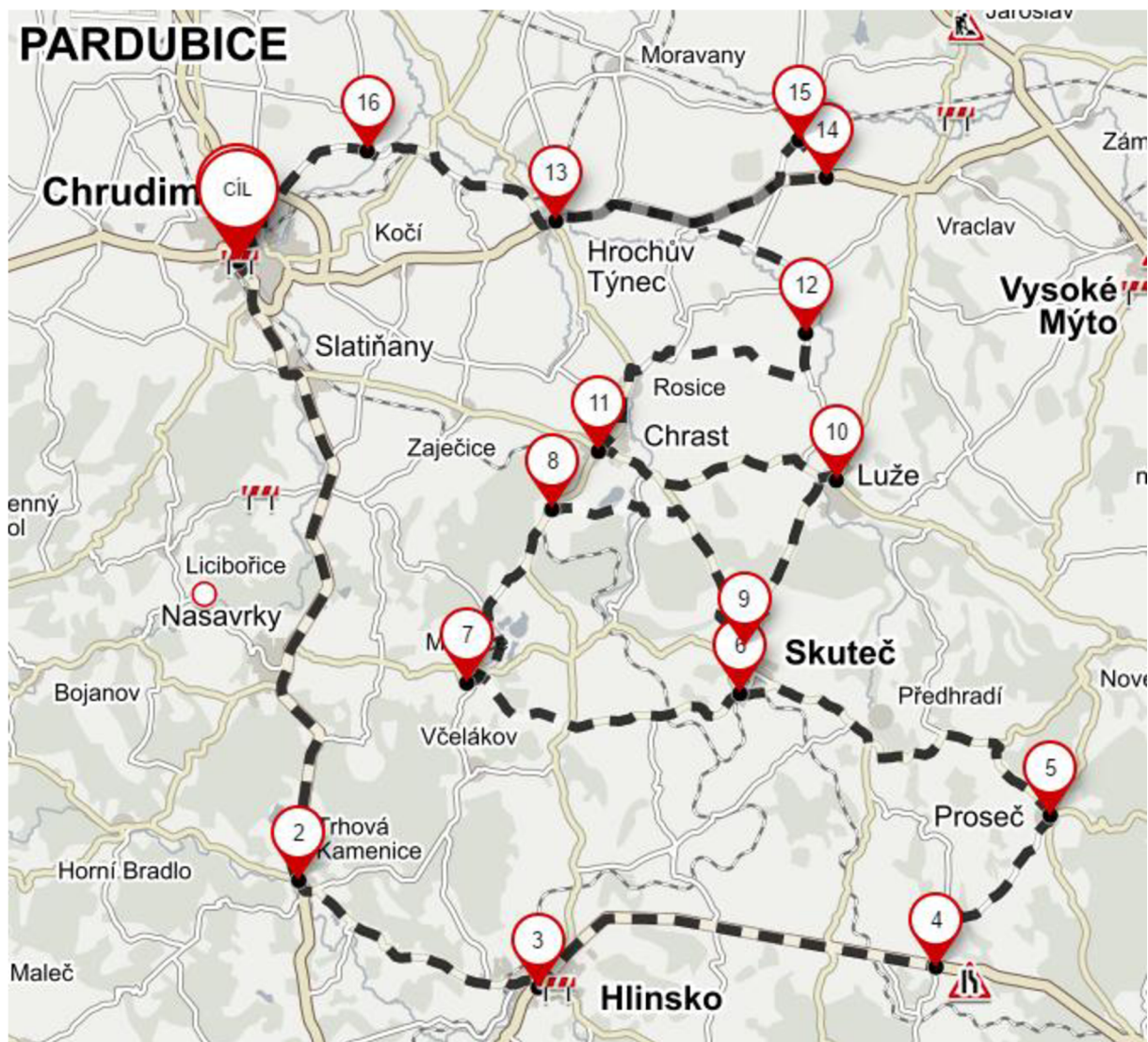
Trasa tohoto měření začíná na kruhovém objezdu na severozápadě města, kam řidič dorazí z jihu. Vzhledem k tomu, že silnice, po které přijede je velmi frekventovaná, začíná měření až po jejím projetí během příjezdu do města, aby byla proměřena co možná nejvícekrát. Jak je vidět z obrázku, měřič udělá okruh kolem města s průjezdem přes obydlené oblasti. Měření končí ve 13:00 na Tyršově náměstí, které je v bezprostřední blízkosti staré části města, kde se nachází i radnice, restaurace apod. Zde je naplánovaná hodinová pauza na oběd, během které bude měřící sestava provádět nomadic test, čili stacionární část drive testu. V rámci této části měření měřič projede 9,6 kilometru

Měření opět započne ve 14:00 a do 15:00 bude měřič provádět další nomadic test, Tentokrát ho bude provádět v průmyslové části města. Plán města, kde jsou vyznačeny jednotlivé části, které se mohou stát předmětem měření, jsou zobrazeny na obrázku 8.6 níže. První test na Tyršově náměstí je označen číslicí 1. Nomadic test v průmyslové oblasti je označen číslicí 2.



Obr. 8.6: Město Chrudim s vyznačenými předměty měření a oblastmi vhodnými pro detailní měření [39].

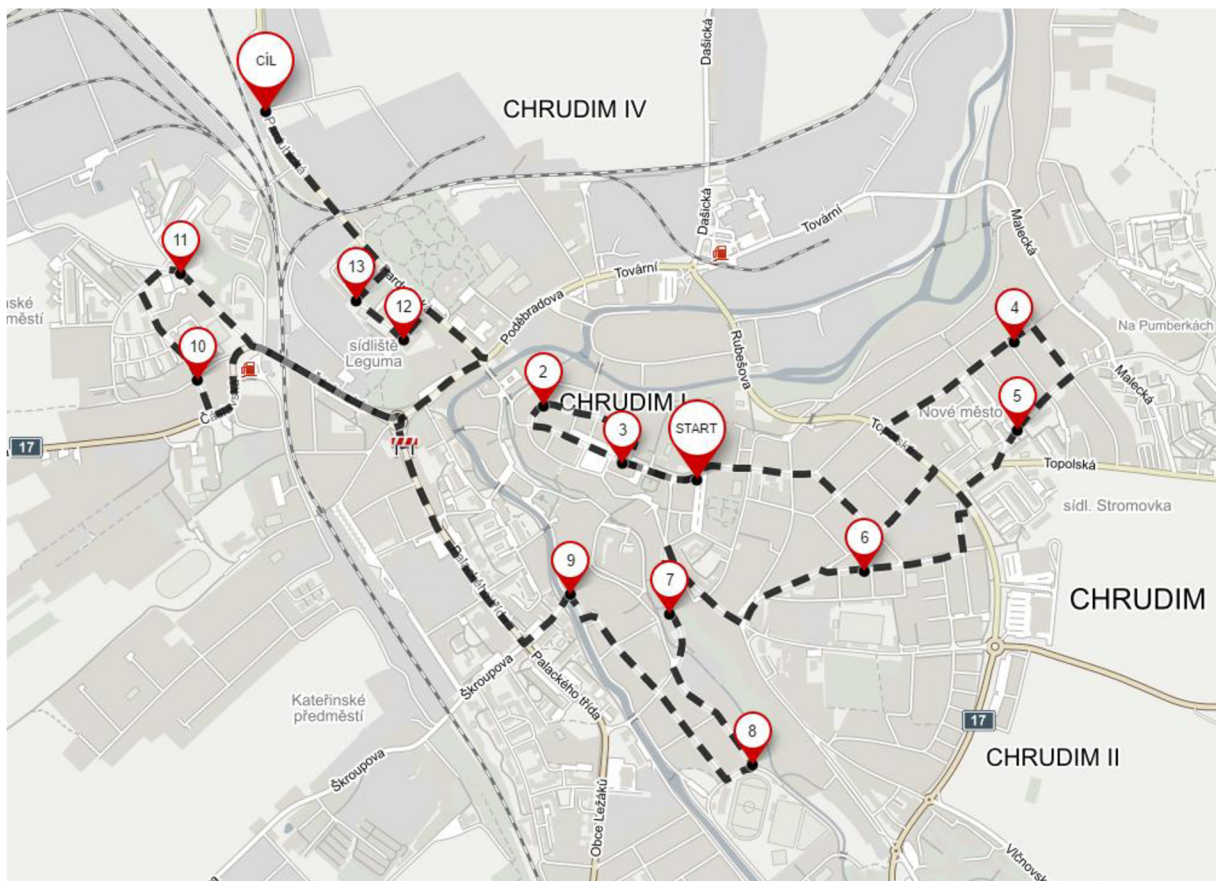
Po dokončení měření v průmyslové oblasti se řidič vydá na trasu, která je zobrazena na obrázku 8.7 níže. V rámci tohoto měření řidič projede trasu o délce 150 kilometrů a má na ni vyhrazeny celkem 3 hodiny a 14 minut. Toto měření je zaměřeno na východní část okresu. Měřič se vydá na jih po silnici 1. třídy, po které dojde až do Trhové Kamenice. Z Trhové Kamenice po silnicích 2. třídy měřič dorazí do města Hlinsko. Odtud po silnici 1. třídy dojde až do bodu 4 této trasy (obec Krouna). Z bodu 4 pojede po silnicích 2. a 3. tříd do obce Proseč. Z Proseče měřič záměří na západ do města Skuteč po silnici 2. třídy a následně po kombinaci silnic 2. a 3. tříd do obce Miřetice (bod 7). Z Miřetic po silnicích 2. a 3. tříd dojde do bodu 8 (obec Horka) a následně do bodu 9 (severní část města Skuteč). Ze Skutče záměří opět na sever a po silnicích 2. a 3. tříd projede body 10 (obec Luže), 11 (město Chrast) a bod 12 (obec Zalažany). Následně po silnici 1. třídy dojde do bodu 13 – Hrochův Týnec. Vzhledem k tomu, že z Chrudimi přes Hrochův Týnec směrem na Vysoké Mýto vede silnice 1. třídy s označením 17, je potřeba ji detailně proměřit. Proto se měřič v Hrochově Týnci na náměstí otočí a pojede po této silnici až na hranice okresu do obce Ostrov, kde provede obrátku po silnici 3. třídy přes bod 15 a přes obec Městec. Po silnici první třídy dorazí opět do Hrochova Týnce, kde se uhone na sever a proměří silnice 2. a 3. třídy přes obec Tuněchody (bod 16) zpět do Chrudimi. Měření opět obsahuje rezervu (tentokrát 45 minut), kterou je možné použít k detailnějšímu drive testu ve městech Slatiňany (10 minut), Hlinsko (15 minut), Skuteč (10 minut) a Hrochův Týnec (10 minut). Pokud měřič nebude vlivem dopravních či jiných podmínek stíhat, je možné od tohoto testování upustit nebo čas uzpůsobit. Kilometry připadající na měření ve městech nejsou v počtu 150 kilometrů započítány.



Obr. 8.7: Trasa měření východní části okresu Chrudim [39].

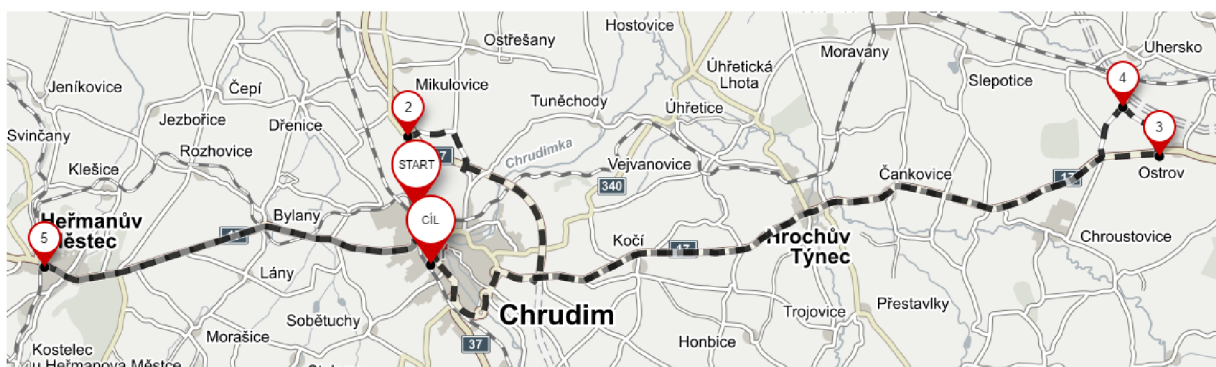
Měřič by měl dojet do Chrudimi zpět v 19:00, kde zahájí nomadic měření na sídlišti. Tento bod je označen na obrázku 8.6 číslicí 3. Měření tedy ukončí ve 20:00. Dle plánu by měl měřič najet cca 400 kilometrů. Vzhledem k tomu, že měření obsahuje případná měření v rámci měst a nejsou započítány drobné přejezdy v rámci města Chrudim, může být v závislosti na počtu podniknutých měření celkový počet kilometrů až o 15% vyšší.

Druhý měřicí den začne měřič opět v 8:00. Předpokládá se jeho ubytování v rámci hotelu na Tyršově náměstí a proto i zde startuje celá trasa měřicí celkem 9,6 kilometrů, která je zobrazena na obrázku 8.8 níže. Měřič v rámci tohoto měření pokryje plochu staré části města a dvou sídlišť (body 10, 11, 12 a 13), která nebyla zmapována v rámci předchozího dne. Vzhledem k tomu, že samotná měření ve městě jsou malé segmenty v trvání cca 25 minut, je vhodné je nechat jako součást měření v rámci okresu u metody drive test a nezačínat nový test. Dlouhodobější měření soustředěné na město metodou drive test bude podniknuto v rámci času vyměřenému čistě na proměrování měst nad 10 000 obyvatel. Měřič opustí město směrem na sever, aby v rámci měření proměřil i část obchvatu kolem města. Město by měl opouštět cca v 8:26.



Obr. 8.8: Trasa druhého měření v ulicích města Chrudim [39].

Následně měřič provede kratší měření soustředící se pouze na silnice 1. třídy. Tato trasa je zobrazena na obrázku 8.9 níže. Měřič tedy vyjede z města směrem na sever a v bodě 2 na hranici okresu se napojí na městský obchvat, po kterém po silnici 1. třídy pojedou do obce Ostrov, kde provede obrátku po silnici 3. třídy a přes Chrudim pojedou po silnici 1. třídy do Heřmanova Městce a zpět do Chrudimi.



Obr. 8.9: Trasa měření silnic 1. třídy v okresu Chrudim [39].

Z Heřmanova Městce se vrátí zpět do Chrudimi na nádraží, kam po 65 kilometrech dorazí dle plánu v 9:32 a provede hodinové stacionární měření, které je na obrázku 8.6 označeno číslicí 4. Ač se

může zdát proměrování separátně silnic 1. třídy zbytečné, jedná se o náhled na stav sítě v této oblasti v jiný den a v jinou dobu a vzhledem k prioritě silnic 1. třídy se to jeví jako nejefektivnější řešení. Měřič by měl mít hotové úkoly v 10:32. To mu nechává dostatečnou rezervu (2 hodiny 28 minut) pro návrat zpět do Prahy a případné výkyvy vlivem frekventované ranní dopravy ve městě. V rámci druhého měřicího dne měřič projede trasu cca 200 kilometrů, která by neměla být nijak navyšována. Namísto nomadic měření lze využít metodu walk test, pokud bude měřič disponovat vybavením Freerider pro benchmarking. Hodinový poměr mezi drive testy a nomadic/walk testy je téměř v souladu s poměrem určeným novou metodikou (4:1), nicméně poměr je zde upraven na 3:1 s větším důrazem na monitoring sítě z dlouhodobějšího pohledu. To je především z důvodu, že okres nedisponuje velkým počtem silnic s vysokou prioritou pro měření. Místa označená modrým křížkem na obrázku 8.6 mohou být použita k umístění stacionárního měřiče.

Poslední otázkou v rámci praktického užití nové metodiky je rozložení měřených služeb. V tomto případě je nutno jednat v respektu s částí 8.3.4. Rozhodně má smysl z hlediska monitoringu konkurence uvažovat variantu benchmarking, čili vyhrazení tří telefonů pro monitoring jedné služby. Pokud budeme uvažovat použití 9 telefonů, jak je tomu obvykle při stávající metodice, navrhuji kombinaci měření forcingu 2G/3G pro hlasové služby po celou dobu měření. Následně pro datové služby je třeba rozdělit použití forcingu 2G/3G a 4G bez forcingu napůl. To znamená např. forcing 2G/3G využít pro měření západní části okresu a měření silnic 1. třídy ve druhém dni a 4G bez forcingu využít pro měření západní části okresu. Vzhledem k tomu, že se cyklus bude opakovat, je možné pořadí prohodit. Nicméně je třeba uvažovat fakt, že při jednotlivých cyklech měření daného okresu (celkem 6) se trasa může změnit. Nomadic měření jsou naplánovaná 4, čili tady by se rozdělily rovnoměrně obě varianty. Poslední tři telefony můžeme rozprostřít mezi měření služeb SMS/MMS, video-streamingu a telefonii technologie 4G. Vzhledem k tomu, že na telefonii služby 4G připadá menší část, doporučuji využít variantu, kdy měření západní části a 2 stacionární měření by připadaly na službu SMS/MMS, východní část okresu a 1 stacionární měření pro monitoring video-streamingu a následně měření silnic 1. třídy a 1 stacionární měření na telefonii technologii 4G.

8.5 Zkušební měření dle nové metodiky

Pro vyzkoušení metodiky v praxi proběhly ve dnech 16. a 17. května 2017 zkušební měření metodou walk test (vybavení Freerider a 3 telefony) na území hlavního města Prahy a na vlakovém koridoru mezi Prahou a Brnem. V rámci tohoto měření byly proměřeny některé oblasti diskutované v části 8.2.2, bylo vyzkoušeno měření v prostředcích hromadné dopravy (tramvaj a metro) a ve vlaku.

Ač byl vznesen požadavek na použití celkem 6 telefonů a oddělených skriptů pro hlasové a datové služby, nebylo to z důvodu vytíženosti oddělení umožněno. Skript, který byl použit pro měření v sobě zahrnoval kombinaci měření datových služeb a hlasových služeb. Byly tedy monitorovány parametry diskutované v části 3.2 a u hlasových služeb byl navíc monitorován parametr **CST** (Call Setup Time), který označuje čas nutný k navázání hovoru mezi odesílatelem a příjemcem hlasového hovoru. Na tomto parametru měla být demonstrována doba navázání hovoru a rozdílnost mezi technologiemi 2G/3G a 4G Fallbackem. U datových služeb probíhal ještě separátní test na vyhodnocování zpoždění pomocí programu Ping. Oddělení bohužel neposkytlo autorovi skript na monitoring služeb SMS/MMS a video-streaming, jelikož těmito skripty v současné době nedisponuje. Tento sdružený skript byl ve dvou variantách – forcing technologie 2G/3G a technologie 4G bez forcingu. Vzhledem k velkému množství služeb měřených v rámci jednoho skriptu bohužel nedošlo k naměření dostatečného množství vzorků, aby šlo aplikovat statistiku a data měla vypovídající

hodnotu, nicméně některé měřené úseky přesto vykazují výrazné odchylky od požadovaných hodnot a oddělení RAN Management by se na ně mělo zaměřit. Tato místa svým měřením pokrývá nová metodika. Měřicí sestava byla použita v módu benchmarking, čili každý telefon monitoroval kvalitu služeb jednoho operátora (O2, T-Mobile a Vodafone).

Skript vykazoval prvky stávající metodiky a doba hovoru, který byl monitorován, byla 120 sekund, což vedlo k menšímu počtu naměřených vzorků (nová metodika navrhuje 30 sekund). Menší časový úsek je vhodnější pro kratší měření.

Test datového připojení spočíval v přenosu souboru (ať pro Downlink nebo Uplink) po dobu 1 minuty. Tato varianta se jeví dle nové metodiky jako vhodnější pro simulaci a měření služby video-streaming. Přestože většina lidí používá datové spojení po delší dobu a úsek 1 minuty má taktéž vypovídající hodnotu, nová metodika se snaží zaměřit svou pozornost na menší celky a simulovat větší množství vzájemně oddělených úkonů (konverzace přes aplikace; zákazník načte stránku, přečte ji, poté načítá další apod.). Nepřetržitý provoz po dobu jedné minuty je tedy z hlediska nové metodiky vhodnější pro video-streaming.

Měření prováděl přímo autor diplomové práce, což je zobrazeno a obrázku 8.10 níže. Výsledná data byla vyhodnocena analytikem oddělení RAN Management a jsou uvedena jako zdroj [41] a jsou taktéž obsaženy na disku, který tvoří přílohu A této práce.



Obr. 8.10: Autor práce provádějící zkušební měření metodou walk test v Praze.

Při měření došlo k problémům s GPS anténou u měřicího zařízení Freerider a proto žádné z měření není možné zobrazit na mapě. Geografická poloha při měření je klíčovým faktorem, který

ovlivňuje vypovídající hodnotu měření. Tento problém nebyl samotným měřičem zaznamenán, jelikož tablet užitý k ovládání celé měřicí sestavy nevykazoval žádné chyby v připojení. To poukazuje čistě na fakt, že ačkoli se jedná o profesionální měřicí zařízení, stále vyžaduje velkou pečlivost a neustálou kontrolu pracovníka, který provádí měření. Vypovídající hodnota dat je tedy v tomto případě minimálně poloviční.

Měření bylo zaměřeno na detailnější proměření částí, kterým se stávající metodika příliš nevěnuje, proto byly vybrány pro odzkoušení nové metodiky. Měření simulovalo chůzi zákazníka přes město (se zastávkami na jídlo, kdy měřič simuloval částečně stacionární měření – varianta nomadic pro walk test), popř. jeho cestu v prostředcích veřejné dopravy. K měření, které probíhalo první den cca 10 hodin, je nutné dodat, že doba vhodná pro provádění měření touto metodou by neměla překročit 5-6 hodiny, kdy už se samotné měření stává dost namáhavým nejen kvůli ujeté vzdálenosti ale i zátěži na zádech.

Níže jsou uvedena všechna měření, která proběhla v rámci obou měřících dnů. Pro samotné rozlišení jednotlivých míst vidím jako žádoucí vždy ukončit test a začít nový při změně metody měření nebo cílené lokality. Např. pokud měřič bude provádět měření metodou drive test a poté se v rámci nomadic testu zastaví v hustě obydlené oblasti během špičky, je žádoucí, aby před započítáním měření v této oblasti spustil nový test. Statisticky by se totiž případné větší výkyvy plně v této oblasti neprojevily a vykazovaly by pouze nevýrazné zhoršení kvality služeb v rámci celého drive/nomadic testu. Vzhledem k použitému skriptu se to však v tomto případě ukázalo jako kontraproduktivní krok, neboť se odrazil v celkovém počtu výsledků. Zde je samotný přehled měření v tabulce 8.6 níže. Celkově byla měření zaměřena spíše na monitoring sítě 4G a jejich dostupnost v daných oblastech, jelikož vzhledem k omezenosti vybavení nebylo možné monitorovat obě varianty najednou. Technologie 4G měla vzhledem k potenciálu rozvoje pro autora větší prioritu a vzhledem ke stálému rozvoji této sítě bylo předmětem měření i monitoring konkurenčních společností. Proto je poměr měření 2G/3G a 4G v poměru, který je v nesouladu s novou metodikou.

Pořadí	Měřená oblast	Technologie	Předmět měření	Datum	Čas zahájení měření	Čas ukončení měření
1	Praha 1,2,4	2G/3G	N, T, V	16.5.2017	12:17	14:48
2	Praha 1	4G	T, V	16.5.2017	14:48	16:21
3	Václavské náměstí	2G/3G	T, V	16.5.2017	16:21	16:43
4	Hlavní nádraží	4G	N	16.5.2017	16:43	17:22
5	Praha 1	4G	T, V	16.5.2017	17:22	18:40
6	Tramvaj	4G	MHD	16.5.2017	18:40	19:46
7	Praha 8	4G	B	16.5.2017	19:46	20:35
8	Tramvaj	4G	MHD	16.5.2017	20:35	21:24
9	Praha 1	4G	T, V	16.5.2017	21:24	21:40
10	Tramvaj	4G	MHD	17.5.2017	9:40	10:16
11	Praha 6 - stacionární	4G	V	17.5.2017	10:16	13:10
12	Metro	4G	MHD	17.5.2017	13:10	13:40
13	Metro	2G/3G	MHD	17.5.2017	13:40	14:07
14	Praha 6	4G	ŠO	17.5.2017	14:07	17:14
15	Vlak Praha-Brno	4G	VLAK	17.5.2017	17:14	19:50

Tab. 8.6: Seznam měření provedených pro účely této práce.

Trasa 1. měření monitorovala centrum Prahy od dopravního uzlu Anděl směrem ke stanici I. P. Pavlova. Poté trasa vedla přes Havlíčkovy sady na stanici metra Vyšehrad a kongresové centrum. Odtud směrem zpět do centra Starého Města. Měření končilo na Palackého náměstí. Měření forcingu technologie 2G/3G monitorovalo především turistické oblasti, veřejná místa a uzly veřejné dopravy. Měření nevykazovalo větší rozdílnosti v měřených službách až na přenosové rychlosti. Síla signálu se u obou operátorů jak pro 2G (RxLev) tak 3G (RSCP) technologie pohybovala mezi -75 a -70 dBm. Průměrná hodnota MOS se u všech operátorů pohybovala kolem hodnoty 3,9. Rozdíly byly především u UDT, kdy pro směr Downlink dosahovala O2 průměrné hodnoty 10 Mbit/s, T-Mobile 3,5 Mbit/s a Vodafone 4,6 Mbit/s. Pro směr Uplink dosahovala O2 průměrné hodnoty 3,3 Mbit/s, T-Mobile 2,5 Mbit/s a Vodafone 3,2 Mbit/s. To může být pro oddělení RAN Management potěšující zpráva. Měření obsahuje cca 16 000 segmentů datového přenosu a cca 80 segmentů pro hlasové hovory od každého operátora. Segment v tomto případě neznamená 1 provedené spojení. Hlasový hovor v tomto případě obsahoval cca 4 segmenty pro měření (přenášené věty) a datové spojení cca 230 segmentů. Pro možnost aplikovat statistiku v míře, kdy by měla vypovídající hodnotu, by byl za použití stávající metodiky požadován limit alespoň 23 000 segmentů datových služeb a alespoň 400 segmentů hlasových služeb. Přestože se jednalo o měření forcingu technologií 2G/3G, objevilo se u každého operátora cca 350-380 datových segmentů technologie 4G. To lze vysvětlit chybou měřícího zařízení, které např. při začátku měření nastavilo forcing až po určité době. Vzhledem k nefunkčnímu GPS lokátoru nelze tuto chybu bohužel blíže určit.

Druhé měření probíhalo od Palackého náměstí přes Karlovo náměstí na Václavské náměstí. Nedaleko od Karlova náměstí probíhalo delší stacionární měření v době trvání cca 1 hodina. Měření bylo prováděno ve venkovních prostorách. Byla monitorována technologie 4G bez forcingu. Síla signálu se pro 2G (RxLev) průměrně pohybovala kolem -76 dBm pro O2 a -77 dBm pro T-Mobile. RSCP (3G) bylo pro O2 průměrně -65 dBm a -69 dBm pro ostatní operátory. Větší rozdíly byly zaznamenány u 4G (RSRP), kdy pro O2 a T-Mobile byla průměrná hodnota -90 dBm a pro Vodafone dokonce nabývala hodnoty -78 dBm. Hodnota MOS byla pro všechny operátory 4. Parametr UDT nabýval hodnot pro Downlink/Uplink následujících hodnot: 17,2/14,0 Mbit/s (O2), 12,8/12,0 Mbit/s (T-Mobile) a 27,4/36,0 Mbit/s (Vodafone). Měření nashromáždilo cca 9 400 datových segmentů a cca 50 hlasových segmentů pro měření od každého operátora.

Třetí měření probíhalo na Václavském náměstí a jednalo se o velmi krátkodobé měření zaměřené na forcing technologie 2G/3G. Bylo získáno cca 2 200 datových segmentů a cca 12 hlasových segmentů. Průměrná hodnota RxLev pro T-Mobile byla -71 dBm. Průměrná hodnota RSCP byla pro O2 -65 dBm, pro T-Mobile -66 dBm a pro Vodafone -57 dBm. Parametr UDT nabýval hodnot pro Downlink/Uplink následujících hodnot: 13,2/1,7 Mbit/s (O2), 3,2/1,5 Mbit/s (T-Mobile) a 5,9/3,4 Mbit/s (Vodafone). Průměrná hodnota MOS označující kvalitu hlasového hovoru nabývala u všech operátorů hodnot 4 s rozdíly v řádech setin.

Čtvrté měření probíhalo na Hlavním nádraží a monitorovalo technologii 4G bez forcingu. Bylo získáno cca 4 000 datových segmentů a cca 12 hlasových segmentů od každého operátora. Průměrná hodnota RxLev pro O2 byla -72 dBm a pro Vodafone -67 dBm. Průměrná hodnota RSCP byla pro T-Mobile -67 dBm a pro Vodafone -77 dBm. Průměrná hodnota RSRP byla pro O2 -75 dBm, pro T-Mobile -82 dBm a pro Vodafone -85 dBm. Parametr UDT nabýval hodnot pro Downlink/Uplink následujících hodnot: 24,9/16,4 Mbit/s (O2), 18,2/21,2 Mbit/s (T-Mobile) a 21,6/29,0 Mbit/s (Vodafone). Průměrná hodnota MOS označující kvalitu hlasového hovoru nabývala následujících hodnot: 3,8 (O2) a 3,9 (T-Mobile a Vodafone).

Páté měření probíhalo na cestě od Hlavního nádraží na Václavské náměstí, Staroměstské náměstí a přes Karlův most na Malou Stranu – cesta, kterou absolvuje každý den velké množství

turistů. Měření bylo zaměřeno na technologii 4G bez forcingu. Bylo získáno cca 7 700 datových segmentů a cca 32 hlasových segmentů od každého operátora. Průměrná hodnota RxLev pro O2 byla -71 dBm. Průměrná hodnota RSCP byla pro O2 -72 dBm pro T-Mobile -62 dBm a pro Vodafone -63 dBm. Průměrná hodnota RSRP byla pro O2 -86 dBm, pro T-Mobile -83 dBm a pro Vodafone -78 dBm. Parametr UDT nabýval hodnot pro Downlink/Uplink následujících hodnot: 26,6/19,5 Mbit/s (O2), 24,8/22,4 Mbit/s (T-Mobile) a 23,6/32,4 Mbit/s (Vodafone). Průměrná hodnota MOS označující kvalitu hlasového hovoru nabývala následujících hodnot: 3,9 (O2) a 4,0 (T-Mobile a Vodafone).

Šesté měření monitorovalo opět technologii 4G bez forcingu a mapovalo cestu tramvají z Malostranského náměstí na zastávku Ládví, kde se nachází sídliště. Bylo získáno cca 6 700 datových segmentů a cca 32 hlasových segmentů od každého operátora. Průměrná hodnota RxLev pro O2 byla -72 dBm. Průměrná hodnota RSCP byla pro O2 -76 dBm, pro T-Mobile -80 dBm a pro Vodafone -76 dBm. Průměrná hodnota RSRP byla pro O2 -88 dBm, pro T-Mobile -84 dBm a pro Vodafone -95 dBm. Parametr UDT nabýval hodnot pro Downlink/Uplink následujících hodnot: 22,1/18,8 Mbit/s (O2), 19,7/16,2 Mbit/s (T-Mobile) a 29,1/30,2 Mbit/s (Vodafone). Průměrná hodnota MOS označující kvalitu hlasového hovoru nabývala následujících hodnot: 3,9 (T-Mobile) a 4,0 (O2 a Vodafone).

Sedmé měření monitorovalo technologii 4G bez forcingu a mapovalo stav sítě na sídlišti Ďáblice. Bylo získáno cca 4 800 datových segmentů a cca 23 hlasových segmentů od každého operátora. Průměrná hodnota RxLev byla pro T-Mobile byla -68 dBm. Průměrná hodnota RSCP byla pro O2 -67 dBm, pro T-Mobile -67 dBm a pro Vodafone -71 dBm. Průměrná hodnota RSRP byla pro O2 -75 dBm, pro T-Mobile -69 dBm a pro Vodafone -95 dBm. Parametr UDT nabýval hodnot pro Downlink/Uplink následujících hodnot: 48,3/26,1 Mbit/s (O2), 18,8/17,4 Mbit/s (T-Mobile) a 33,0/37,6 Mbit/s (Vodafone). Průměrná hodnota MOS označující kvalitu hlasového hovoru nabývala následujících hodnot: 4 (O2 a T-Mobile) a 3,8 (Vodafone). Jak je vidět z výsledků naměřených UDT, O2 jednoznačně dominuje UDT ve směru Downlink, naopak Vodafone opět překonává své konkurenty ve směru Uplink. Vzhledem k tomu, že sídliště bylo proměřováno v době očekávané špičky datového i hlasového provozu (19:46-20:35), je zde přidána tabulka označující klíčové parametry vyhodnocované při měření. Jejich vypovídající hodnota je nižší, jelikož nebylo podniknuto dostatečné množství hovorů. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 8.7 níže.

Měření 7	Hovory	CSFR	CDR	CST
Hlasové služby		%	%	sec
O2	8	12,5	0	6,5
T-Mobile	7	0	0	5,8
Vodafone	6	16,7	0	4,6
Datové služby	Spojení	RASFR	DTFR	Ping
		%	%	ms
O2	20	0	0	118
T-Mobile	21	0	0	108
Vodafone	21	0	0	86

Tab. 8.7: Vyhodnocené parametry k měření 7 [41].

Tabulka k sedmému měření nevykazuje žádné speciální odchylky od průměru pro datové služby a síť se jeví jako bezproblémově funkční. Ani hodnoty zpoždění měřené programem Ping nepřevyšují svými hodnotami nijak průměr. Hodnoty CST jsou taktéž na hodnotách, které vykazovalo

i centrum Prahy. V rámci podniknutých měření se nijak nelišily hodnoty CST pro forcing technologií 2G/3G a technologii 4G bez forcingu, ačkoli lze logicky očekávat větší interval pro navázání u služby 4G Fallback, jelikož mobilní zařízení musí nejdříve provést přechod na nižší technologii. Tato rozdílnost se u žádného z měření výrazně neprojevovala, což může být primárně způsobeno nízkým počtem provedených hovorů v rámci jednoho měření. Měření však vykazuje neúspěšně provedené hlasové hovory, které byly zaznamenány. Vzhledem k tomu, že se u O2 i Vodafone jedná pouze o jeden hovor, nelze procenta brát jako vypovídající hodnotu, nicméně minimálně může být bráno na zřetel, že oblast jako sídliště v tuto dobu mohou být předmětem měření. U takto krátkých měření může být odpovídajících výsledků docíleno zkrácením doby hovoru na ¼ - 30 sekund (navrhuje nová metodika). Zároveň za předpokladu, že bude probíhat test pouze na jednu konkrétní službu (hlasové hovory, datové připojení, SMS/MMS nebo video-streaming), bude vypovídající hodnota velká i u kratších měření.

Osmé měření zahrnovalo opět cestu tramvají ze stanice Ládví na stanici Anděl. Předmětem měření byla technologie 4G bez forcingu. Bylo získáno cca 5 000 datových segmentů a cca 27 hlasových segmentů od každého operátora. Průměrná hodnota RxLev byla pro O2 -78 dBm, pro T-Mobile -82 dBm a pro Vodafone -79 dBm. Průměrná hodnota RSCP byla pro O2 -79 dBm, pro T-Mobile -74 dBm a pro Vodafone -76 dBm. Průměrná hodnota RSRP byla pro O2 -89 dBm, pro T-Mobile -79 dBm a pro Vodafone -81 dBm. Parametr UDT nabýval hodnot pro Downlink/Uplink následujících hodnot: 32,2/17,6 Mbit/s (O2), 23,2/20,7 Mbit/s (T-Mobile) a 30,0/23,9 Mbit/s (Vodafone). Průměrná hodnota MOS označující kvalitu hlasového hovoru nabývala následujících hodnot: 4 (O2) a 3,9 (T-Mobile a Vodafone). K dispozici je opět tabulka, kde jsou zobrazeny parametry související s hodnocením kvality služeb (tabulka 8.8 níže). Jak je patrné z tabulky, síť vykazovala plnou funkčnost a žádné hodnoty nevykazovaly odchylky od průměru. Ač je vlivem malého počtu vzorků vypovídající hodnota malá, jedná se o zajímavou variantu, kterou bude možné pokrýt monitoring ve velké části města prakticky bez dozoru.

Měření 8	Hovory	CSFR	CDR	CST
Hlasové služby		%	%	sec
O2	7	0	0	7
T-Mobile	7	0	0	5,5
Vodafone	7	0	0	5,1
Datové služby	Spojení	RASFR	DTFR	Ping
		%	%	ms
O2	22	0	0	100
T-Mobile	23	0	0	117
Vodafone	22	0	0	116

Tab. 8.7: Vyhodnocené parametry k měření 8 [41].

Deváté měření monitorovalo funkčnost technologie 4G v oblasti Náplavky po dobu zhruba 16 minut. Účelem bylo zmapovat chování sítě v oblasti, kdy se v jeden okamžik sdruží velké množství lidí v rámci kulturní akce, což by mohlo generovat velký provoz na síti. Nicméně se v rámci tohoto měření nepodařilo nalézt dostatečně zalidněnou oblast, proto bylo měření krátce po zahájení ukončeno. Vzhledem ke krátkému časovému úseku postrádají hodnoty jakoukoliv vypovídající hodnotu, proto zde nebudou zmiňovány.

V rámci desátého měření byla monitorována cesta tramvají ze stanice Anděl na stanici Červený Vrch. Předmětem měření byla technologie 4G bez forcingu. Bylo získáno cca 2 700 datových segmentů a cca 12 hlasových segmentů od každého operátora. Průměrná hodnota RxLev byla pro O2 -73 dBm, pro T-Mobile -78 dBm a pro Vodafone -73 dBm. Průměrná hodnota RSCP byla pro O2 -72 dBm, pro T-Mobile -81 dBm a pro Vodafone -72 dBm. Průměrná hodnota RSRP byla pro O2 -85 dBm, pro T-Mobile -88 dBm a pro Vodafone -93 dBm. Parametr UDT nabýval hodnot pro Downlink/Uplink následujících hodnot: 26,6/19,4 Mbit/s (O2), 13,5/14,6 Mbit/s (T-Mobile) a 31,3/22,2 Mbit/s (Vodafone). Průměrná hodnota MOS označující kvalitu hlasového hovoru nabývala následujících hodnot: 3,8 (O2 a T-Mobile) a 4,0 (Vodafone).

Jedenácté měření probíhalo v Dejvicích a jednalo se o stacionární měření uvnitř budovy v obydlené oblasti. Toto měření monitorovalo technologie 4G bez forcingu. Bylo získáno cca 16 700 datových segmentů a cca 95 hlasových segmentů od každého operátora. Průměrná hodnota RxLev byla pro O2 -85 dBm, pro T-Mobile -82 dBm a pro Vodafone -79 dBm. Průměrná hodnota RSCP byla pro O2 -93 dBm, pro T-Mobile -80 dBm a pro Vodafone -93 dBm. Průměrná hodnota RSRP byla pro O2 -92 dBm, pro T-Mobile -74 dBm a pro Vodafone -100 dBm. Parametr UDT nabýval hodnot pro Downlink/Uplink následujících hodnot: 19,4/7,8 Mbit/s (O2), 36,4/20,0 Mbit/s (T-Mobile) a 31,3/10,3 Mbit/s (Vodafone). Průměrná hodnota MOS označující kvalitu hlasového hovoru nabývala následujících hodnot: 3,9 (O2) a 4,0 (T-Mobile a Vodafone).

Dvanácté měření monitorovalo technologii 4G bez forcingu v metru mezi stanicemi Dejvická a Nemocnice Motol, které jako jediné v Praze momentálně disponují pokrytím mobilní telekomunikační sítí. Bylo získáno cca 2 800 datových segmentů a cca 15 hlasových segmentů od každého operátora. Průměrná hodnota RxLev byla pro O2 -72 dBm, pro T-Mobile -73 dBm a pro Vodafone -91 dBm. Průměrná hodnota RSCP byla pro O2 -75 dBm, pro T-Mobile -78 dBm a pro Vodafone -79 dBm. Průměrná hodnota RSRP byla pro O2 -88 dBm, pro T-Mobile -83 dBm a pro Vodafone -94 dBm. Parametr UDT nabýval hodnot pro Downlink/Uplink následujících hodnot: 23,8/12,5 Mbit/s (O2), 18,6/11,2 Mbit/s (T-Mobile) a 11,6/7,0 Mbit/s (Vodafone). Průměrná hodnota MOS označující kvalitu hlasového hovoru nabývala následujících hodnot: 4 (O2 a T-Mobile) a 3,9 (Vodafone).

Třinácté měření monitorovalo forcing technologii 2G/3G opět v metru mezi stanicemi Dejvická a Nemocnice Motol. Bylo získáno cca 2 500 datových segmentů a cca 14 hlasových segmentů od každého operátora. Zajímavé je, že se objevilo u O2 11 a u T-Mobile 12 segmentů připadajících na technologii 4G. Vzhledem k tomu, že testy na sebe bezprostředně navazovaly, lze to přičíst buď chybě měřicího zařízení nebo době, během které se měřicí telefony přeladovaly na jinou technologii. Vzhledem k tomu, že není k dispozici mapa, nelze důvod přesněji specifikovat. Nicméně vzhledem k tomu, že se tento případ objevil již po druhé, lze minimálně doporučit, aby měřič mezi jednotlivými testy posečkal alespoň dvě minuty. Pokud v jednotlivých testech měřič využívá skripty zaměřené na různé technologie, měla by být doba dvou minut dostatečným intervalem zajišťujícím bezpečný přechod na jinou technologii. Průměrná hodnota RxLev byla pro O2 -76 dBm, pro T-Mobile -77 dBm a pro Vodafone -75 dBm. Průměrná hodnota RSCP byla pro O2 -79 dBm, pro T-Mobile -85 dBm a pro Vodafone -86 dBm. Průměrná hodnota RSRP byla pro O2 -79 dBm a pro T-Mobile -81 dBm. Parametr UDT nabýval hodnot pro Downlink/Uplink následujících hodnot: 14,3/1,7 Mbit/s (O2), 7,5/1,5 Mbit/s (T-Mobile) a 7,4/1,5 Mbit/s (Vodafone). Průměrná hodnota MOS označující kvalitu hlasového hovoru nabývala u všech operátorů hodnoty 4. Velkým nedostatkem v rámci tohoto měření je, že není k dispozici mapa vzhledem k výpadku GPS lokátoru, popř. nebylo využito principu určenému pro indoorové prostory (zaznačování aktuální polohy do tabletu) z důvodu ignorace systému pokusů o udání polohy. Samotným měřičem bylo během monitoringu technologií 2G/3G

zaznamenáno znatelné množství chyb a ač se jeví hodnoty (kromě UDT pro Uplink) relativně v normě, během testu docházelo k velkému množství chyb.

Čtrnácté měření probíhalo v oblasti okolo Vítězného náměstí na Praze 6, kde je soustředěno sídlo některých fakult univerzity ČVUT a větší množství kancelářských budov a míst veřejné správy. Čas měření byl zvolen v souladu s novou metodikou. Ač měření dle přístroje probíhalo cca 3 hodiny (14:07-17:14), probíhalo ve skutečnosti jen cca 45 minut, po kterých se přístroj vypnul z důvodu nedostatečného nabití. Po tomto zjištění byl napájen, nicméně jako konec měření zaznamenal až moment, kdy byl opětovně zapnut a test byl manuálně ukončen. Bylo získáno cca 2 500 datových segmentů a cca 12 hlasových segmentů od každého operátora. Průměrná hodnota RxLev byla pro O2 -67 dBm, pro T-Mobile -62 dBm a pro Vodafone -70 dBm. Průměrná hodnota RSCP byla pro O2 na hodnotě -76 dBm, pro T-Mobile -65 dBm a pro Vodafone -64 dBm. Průměrná hodnota RSRP byla pro O2 -93 dBm, pro T-Mobile -93 dBm a pro Vodafone -86 dBm. Parametr UDT nabýval hodnot pro Downlink/Uplink následujících hodnot: 24,7/18,2 Mbit/s (O2), 15,7/14,7 Mbit/s (T-Mobile) a 25,7/27,3 Mbit/s (Vodafone). Průměrná hodnota MOS označující kvalitu hlasového hovoru nabývala následujících hodnot: 4 (O2 a Vodafone) a 3,9 (T-Mobile).

Poslední – patnácté – měření monitorovalo síť během cesty vlakem z pražského hlavního nádraží na brněnské. Pro měření byl použit vlak společnosti RegioJet. Měření probíhalo v časovém rozmezí 17:14-19:50, které lze považovat za dobu, kdy cestuje velké množství lidí. Bylo získáno cca 16 600 datových segmentů a cca 74 hlasových segmentů od každého operátora. Průměrná hodnota RxLev byla pro O2 -81 dBm, pro T-Mobile -85 dBm a pro Vodafone -83 dBm. Průměrná hodnota RSCP byla pro O2 -96 dBm, pro T-Mobile -87 dBm a pro Vodafone -89 dBm. Průměrná hodnota RSRP byla pro O2 -96 dBm, pro T-Mobile -88 dBm a pro Vodafone -94 dBm. Parametr UDT nabýval hodnot pro Downlink/Uplink následujících hodnot: 8,4/9,6 Mbit/s (O2), 8,4/10,4 Mbit/s (T-Mobile) a 10,7/7,9 Mbit/s (Vodafone). Průměrná hodnota MOS označující kvalitu hlasového hovoru nabývala následujících hodnot: 3,6 (O2) a 3,7 (T-Mobile a Vodafone). Hodnoty MOS jsou nižší než u celkového průměru v Praze. Bližší rozpis měřených parametrů je vyhodnocen v tabulce 8.8 níže.

Měření 15	Hovory	CSFR	CDR	CST
Hlasové služby		%	%	sec
O2	19	8,7	5,3	8,4
T-Mobile	18	12,5	4,2	6,9
Vodafone	20	13	0	5,6
Datové služby	Spojení	RASFR	DTFR	Ping
		%	%	ms
O2	71	0	2,1	124
T-Mobile	72	0	0	318
Vodafone	71	0	2,1	558

Tab. 8.8: Vyhodnocené parametry k měření 15 [41].

Při náhledu do tabulky je jasné, že opět nejsou splněny podmínky pro užití statistiky. Ale měření ve vlakovém spoji odhalilo, že UDT dosahuje znatelně nižších hodnot, než tomu bylo v Praze, zpoždění měřené programem Ping je u operátorů T-Mobile a Vodafone několikanásobně vyšší než je tomu v obydlených oblastech. Čas sestavení hovoru lehce ovlivnil parametr CST u O2. Zároveň se u hlasových služeb objevily problémy při navazování a udržení hovoru. U datových služeb byly zjištěny

chyby, kdy nebylo dokončeno úspěšně datové spojení. Celkový počet měřených hovorů i datových spojení je nedostatečný pro aplikování statistiky, nicméně naměřené chyby poukazují na to, že měření ve vlacích může pomoci odhalit některé chyby a mezery v síti. Ty v rámci zkušebního měření nemohly být blíže specifikovány, jelikož z důvodu nefunkčního GPS lokátoru není možné určit, ve které části trasy k nim došlo.

Měření mělo za účel soustředit se na některé oblasti, které běžně nejsou předmětem měření v rámci současné metodiky. Dále blíže zrevidovalo, jaké skripty jsou používány pro měření konkrétních služeb stávající metodikou. Během měření došlo k několika výpadkům zařízení (GPS lokátor, vybití baterie), které ovlivnily vypovídající hodnotu naměřených výsledků. Dalším faktorem ovlivňujícím výsledky měření byly příliš krátké intervaly pro měření v daných lokacích. Vlastní měření tedy vyžaduje velkou dávku pečlivosti a pravidelné kontroly funkčnosti měřícího zařízení. Měření potvrdilo nevhodnost užití varianty skriptů pro užití v nové metodice, které nepřináší dostatek výsledků pro využití statistiky. Je to proto, že nová metodika je založena více na měřeních kratšího charakteru, což ovlivňuje i velikost užitých zkušebních dat, respektive délku zkušebního hovoru. V rámci měření byly zjištěny chyby při měření na sídlišti v době špičky a při měření ve vlaku, na které doporučuje nová metodika se blíže zaměřit. Zároveň měření potvrdilo vhodnost užití měřících přístrojů v rámci prostředků hromadné dopravy. Toto měření nebylo zaměřeno příliš na detailní porovnávání parametrů získaných při monitoringu sítě, ale bylo spíše zaměřeno na ověření předmětů měření v rámci nové metodiky, popř. mělo odhalit mezery v pokrytí. Nicméně měřené parametry jsou nedílnou součástí tohoto měření. Síť jako taková vykazuje kvalitní funkčnost u všech operátorů. Vzhledem k tomu, že autor nemá k dispozici výsledky pro dané lokace a oblasti z předchozího období, není možné blíže diskutovat vývoj sítě v dané oblasti, popř. vyřešení problémů.

9. Závěr

V rámci diplomové práce zaměřené na objektivní analýzu dat získaných během měření kvality signálu ve společnosti O2 Czech Republic a.s. bylo zpracováno několik dílčích témat. Hlavním účelem práce je návrh nové metodiky měření pro oddělení RAN Management, jehož může být plně nebo částečně využito pro plánování měření za účelem monitoringu kvality služeb zákazníků v České republice.

V úvodní části je shrnuta historie a vývoj telekomunikačních sítí spolu s vysvětlením principů, technologií a služeb užívaných v rámci telekomunikačních sítí. Následně jsou shrnuty parametry hlasových a datových služeb, které se užívají k ohodnocení kvality poskytovaných služeb. Jako součást práce je i analýza aplikací určených k vyhodnocování kvality služeb – SIM Toolkit, veřejně dostupných i profesionálních. Poté byly zmapovány metody užití k měření kvality služeb (užití měřících vozidel, pěšího testování, nomadic testování a stacionárního testování) a byly porovnány na základě vhodnosti pro konkrétní oblasti měření.

Práce krátce představila i společnost O2 a oddělení RAN Management, které je pověřeno měřením kvality signálu. V souvislosti s tím bylo zmapováno i současné pokrytí našeho území různými operátory. Krátce byla zrevidována analýza výběrového řízení na dodavatele měřícího zařízení, které proběhlo v rámci roku 2013 a kterým se detailně zabýval semestrální projekt na toto téma.

Byl rozebrán princip vyhodnocování výsledků měření a jejich následná prezentace. Na těchto výsledcích byl demonstrován i způsob vyhodnocení a vypovídající hodnota, která umožňuje objektivní porovnání s konkurencí a je tak jedním z klíčových faktorů v konkurenčním boji, který dokáže nabídnout i představu, do jaké části sítě je vhodné investovat prostředky.

Předposlední část slouží jako úvod do návrhu nové metodiky. V rámci této části byly stanoveny priority zákazníka a byl vyhodnocen dotazník vypracovaný pro účely této diplomové práce, který nastínil směr, kterým by se nová metodika měla ubírat z hlediska využití sítě a potřeb zákazníka. Účel dotazníku byl mimo jiné i odhalit nedostatky v poskytovaných službách. V této části byly taktéž definovány nedostatky stávající metodiky na základě materiálů, které byly autorovi poskytnuty. Vzhledem k tomu, že zadavatel práce očekával od této práce pohled nezaujatého pozorovatele, byly tyto materiály značně omezené.

V poslední části diplomové práce byla navržena nová metodika měření. Ta jasně stanovila klíčové oblasti pro měření, navrhla vhodný poměr mezi měřením jednotlivých služeb a metodami měření a byl sestaven časový harmonogram na jeden rok pro oddělení RAN Management. Po dohodě se zadavatelem bylo upuštěno od ekonomické stránky metodiky z důvodu přílišné komplexnosti této stránky metodiky. V souladu s touto metodikou bylo navrženo řešení pro konkrétní oblast, která je předmětem měření. V tomto příkladu je rozvrh pro měřiče na dva pracovní dny. Jsou stanoveny vhodné trasy k proměření, poměr mezi jednotlivými metodami testování a poměr mezi monitorovanými službami pro získání co nejvíce odpovídajícího náhledu na celou měřenou oblast. Součástí poslední části je i měření, které proběhlo v Praze. To se snažilo soustředit na konkrétní oblasti, které nejsou předmětem měření stávající metodiky a mělo za účel obhájit jejich důležitost jako součást nové metodiky. Užití těchto oblastí/objektů může částečně usnadnit proces získávání informací o chodu sítě a zároveň může poskytnout autentičtější pohled na poskytovanou kvalitu služeb a co nejvíce se tak pomocí měření přiblížit zkušenosti zákazníka. Dále byly zpracovány tabulky, které jsou součástí přílohy, mající za účel usnadnění plánování měření v jednotlivých oblastech.

LITERATURA

- [1] WILLIAM, A., TULLIS, T. Measuring the user experience collecting, analyzing, and presenting usability metrics. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier, 2013. ISBN 9780124157927.
- [2] The worldwide history of telecommunications. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2003. ISBN 04-712-0505-2.
- [3] MVNO Dynamics. MVNO Dynamics [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <https://www.mvnodynamics.com/>
- [4] JEŘÁBEK, Jan. Komunikační technologie [online]. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2014 [cit. 2016-11-30]. ISBN 978-80-214-4713-4.
- [5] Úvod do telekomunikačních sítí [online]. Praha: Petr Jareš, Jiří Vodrážka [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: http://data.cedupoint.cz/oppa_e-learning/2_KME/053.pdf
- [6] Architektura sítí [online]. Brno: Ing. Vít Novotný, PhD., 2012 [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/>
- [7] NOVOTNÝ, Vít. Pevné a bezdrátové síťové technologie pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO [online]. 1. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2014 [cit. 2016-11-30]. ISBN 978-80-214-5120-9. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=90599
- [8] O'DONNELL LEACH, Karen. ISDN information sourcebook. Boston, 1984.
- [9] ELearning: Rádiové a Mobilní komunikace (BRMK 15/16L). Rádiové a Mobilní komunikace (BRMK 15/16L) [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně [cit. 2016-12-01]. Dostupné z: <https://moodle.vutbr.cz/course/view.php?id=160639>
- [10] GARG, Vijay Kumar. Wireless network evolution: 2G to 3G. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, c2002. ISBN 01-302-8077-1.
- [11] ANNA, Shklyeva. Návrh sítí standardu WiMAX. Elektrověst [online]. 2006, 2006(2006/6) [cit. 2016-12-02]. Dostupné z: <http://www.elektrověst.cz/clanky/06006/index.html>
- [12] PETERSON, Larry L a Bruce S DAVIE. Computer networks: a systems approach. 5th ed. Burlington: Morgan Kaufmann, 2011, 884 s. ISBN 9780123850591
- [13] World Wide Web. World Wide Web [online]. Brno: Fakulta informačních technologií VUT v Brně, 2010 [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://www.fit.vutbr.cz/~lampa/WWW/>
- [14] DOPITA, Michal. Odhad zpoždění datového toku při přechodu síťovým zařízením. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Lukáš Verner.
- [15] LOU, Frenzel. Fundamentals of Communications Access Technologies: FDMA, TDMA, CDMA, OFDMA, AND SDMA: Accommodating multiple users in a single bandwidth is the essence of access methods. Electronic design. 2013, 2013.
- [16] ŠKORPIL, Vladislav a Petr VYCHODIL. Efektivní využití přenosu informací pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2014. ISBN 978-80-214-5126-1.
- [17] ŠKORPIL, Vladislav a Václav OUJEZSKÝ. Služby telekomunikačních sítí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2014. ISBN 978-80-214-5157-5.

- [18] Q4HEALTH: Quality of Service and prioritisation for emergency services in the LTE RAN stack [online]. Networks and Communications (EuCNC), 2016 European Conference, 2016 [cit. 2016-09-27]. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7561006/>
- [19] P.800: Methods for subjective determination of transmission quality. International Telecommunication Union [online]. Ženeva: ITU, 1996 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.800-199608-I/en>
- [20] P.862 (02/01): Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs. International Telecommunication Union [online]. Ženeva: ITU, 2001 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <http://www.itu.int/rec/T-REC-P.862-200102-I/en>
- [21] P.863 (09/14): Perceptual objective listening quality assessment. International Telecommunication Union [online]. Ženeva: ITU, 2014 [cit. 2016-12-11]. Dostupné z: <https://www.itu.int/rec/T-REC-P.863-201409-I/en>
- [22] Speech and multimedia Transmission Quality (STQ); QoS aspects for popular services in mobile networks; Part 2: Definition of Quality of Service parameters and their computation. 2011. Sophia Antipolis, Francie: ETSI, 2011.
- [23] GUTHERY, Scott B. a Mary J. CRONIN. Mobile application development with SMS and the SIM toolkit. New York: McGraw-Hill, c2002. ISBN 00-713-7540-6.
- [24] Google Play. Google Play [online]. Google [cit. 2017-05-08]. Dostupné z: <https://play.google.com>
- [25] Produktové listy firmy SwissQual
- [26] O2 Mobilní telefony, internet, tarify a digitální televize. O2 Mobilní telefony, internet, tarify a digitální televize [online]. Praha: O2 Czech Republic, 2006 [cit. 2016-12-07]. Dostupné z: <http://www.o2.cz/>
- [27] Veřejné širokopásmové mobilní sítě: Informace k plnění rozvojových kritérií a pokrytí území a obyvatel. Veřejné širokopásmové mobilní sítě [online]. Praha: Český telekomunikační úřad, 2014 [cit. 2016-11-06]. Dostupné z: <http://lte.ctu.cz/>
- [28] O2 Modrý blog. O2 Modrý blog [online]. Praha: O2 Czech Republic a.s., 2013 [cit. 2016-11-6]. Dostupné z: <http://blog.o2.cz>
- [29] SwissQual: Mobile Network Testing, Installation and Field Services, Benchmarking, Optimization, Service Quality Monitoring, Data Management. SwissQual [online]. 2000: Rohde & Schwarz Mobile Network Testing, Zuchwill [cit. 2016-11-08]. Dostupné z: <http://www.swissqual.com/en/#>
- [30] DOPITA, M. Objektivní analýza dat získaných během měření kvality signálu: semestrální projekt. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 81 stran, 1 příloha. Vedoucí semestrální práce doc. Ing. Vladislav Škorpil, CSc..
- [31] Výsledná interní zpráva měření kvality služeb v ČR firmou O2 z dubna 2016

- [32] Dotazník zpracovaný k účelům diplomové práce, dostupný z : <https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSc7GWWOEr43Fb3CyWgiGYKQzwwgQASnxAxNfjP2M2zZPzp1kUg/viewform?c=0&w=1>
- [33] Český statistický úřad. Český statistický úřad [online]. Praha: Český statistický úřad, 2016 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/>
- [34] České dálnice. České dálnice [online]. Praha: České dálnice, 2016 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.ceskedalnice.cz/>
- [35] Ministerstvo dopravy ČR. Ministerstvo dopravy ČR [online]. Praha: Ministerstvo dopravy ČR, 2017 [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/>
- [36] Metro Praha - informace o pražské MHD a mapa tras. Metro Praha - informace o pražské MHD a mapa tras [online]. Praha: Metro Praha, 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://metropraha.eu/>
- [37] CzechTourism. CzechTourism [online]. Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj, 2005 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.czechtourism.cz/>
- [38] MPSV.CZ:Ministerstvo práce a sociálních věcí. MPSV.CZ:Ministerstvo práce a sociálních věcí [online]. Praha: Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2006 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: <http://www.mpsv.cz/cs/>
- [39] Mapy.cz. Mapy.cz [online]. Praha: Seznam.cz, 1996 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://mapy.cz>
- [40] Mapy Google. Mapy Google [online]. Google [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps>
- [41] Výsledky zkušebního měření vyhodnocené oddělením RAN Management

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

AF	Assured Forwarding
AMR	Adaptive Multi-Rate Speech Coding
AMR-WB	Adaptive Multi-Rate - Wideband
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
CDMA	Code Division Multiple Access
CDR	Call Drop Rate
CN	Core Network
CS	Circuit Switching, Class Selector
CST	Call Setup Time
CSFR	Call Setup Fail Rate
ČTÚ	Český telekomunikační úřad
DCS	Digital Cellular System
DiffServ	Differentiated Services
DSCP	Differentiated Services Code Point
DTFR	Data Task Fail Rate
E2E	End to End
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EF	Expedited Forwarding
EFR	Enhanced Full Rate
EGPRS	Enhanced GPRS
eNB	Evolved Node B
EPC	Evolved Packet Core
EV-DO	Evolution-Data Optimized
FDD	Frequency Division duplexing
FDMA	Frequency Division Multiple Access
FIFO	First In First Out
FR	Full Rate, Full Reference

FTP	File Transfer Protocol
GERAN	GMS EDGE Radio Access Network
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global Systém for Mobile Communication
HR	Half Rate
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSPA+	Evolved High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
HTML	HyperText Markup Language
HTTP	HyperText Transfer Protocol
HTTPS	HyperText Transfer Protocol Secure
ICMP	Internet Control Message Protocol
IMT-2000	International Mobile Telecommunication in the year 2000
IntServ	Integrated Services
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Service Digital Network
ITU	International Telecommunication Unit
md	měřící den
MIMO	Multiple Input Multiple Output
MMS	Multimedia Messaging Service
MOC	Mobile Originating Call
MOS	Mean Opinion Score
MS	Mobilní stanice
MTC	Mobile Terminating Call
Multi-RAB	Multiple Radio Access Bearer
NB	NarrowBand
Node B	Node Base
NSR	No Service Rate
NR	No Reference

LTE	Long Term Evolution
O2	O2 Czech republic a.s.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
P2MP	Point to Multipoint
P2P	Point to Point
PDP	Packet Data Protocol
PESQ	Perceptual Evaluation of Speech Quality
PHB	Per Hop Behaviour
PING	Packet InterNet Grouper
POLQA	Perceptual Objective Listening Quality Assessment
PS	Packet Switching
PSK	Phase Shift Keying
PSTN	Public Switched Telephone Network
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
RAN	Radio Access Network
RASFR	Remote Access Service Fail Rate
RAT	Radio Access Technology
RNC	Radio Network Controller
RSCP	Received Signal Code Power
RSRP	Reference Signal Received Power
RSRQ	Reference Signal Received Quality
RSSI	Received Signal Strength Indicator
RSVP	Resource Reservation Protocol
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SIM	Subscriber Identity Module
SINR	signal-to-interference-plus-noise ratio
SMS	Short Message Service
TCP	Transmission Control Protocol

TDD	Time Division Duplex
TDMA	Time Division Multiple Access
ToS	Type of Service
TS	Time Slot
UARFCN	UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number
UDP	User Datagram Protocol
UDT	User Data Throughput
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
URL	Uniform Resource Locator
USIM	Universal SIM
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VoIP	Voice over Internet Protocol
VoLTE	Voice over LTE
WB	WideBand
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
WWW	World Wide Web

SEZNAM PŘÍLOH

A. Příložený disk.....	105
B. Tabulka měst dle počtu obyvatel s minimálně 10 000 obyvatel.....	106
C. Tabulka měst dle okresů s minimálně 10 000 obyvatel	110

A. Příložený disk

Příložený disk obsahuje soubory, které mi byly propůjčeny společností O2 Czech Republic a.s. Jsou zde obsaženy soubory poskytnuté firmou SwissQual v rámci výběrového řízení a vyhodnocené výsledky zkušebního měření.

Výpis souborů:

měření 1.xlsx – zpracované výsledky k měření 1,

měření 2.xlsx – zpracované výsledky k měření 2,

měření 3.xlsx – zpracované výsledky k měření 3,

měření 4.xlsx – zpracované výsledky k měření 4,

měření 5.xlsx – zpracované výsledky k měření 5,

měření 6.xlsx – zpracované výsledky k měření 6,

měření 7.xlsx – zpracované výsledky k měření 7,

měření 8.xlsx – zpracované výsledky k měření 8,

měření 9.xlsx – zpracované výsledky k měření 9,

měření 10.xlsx – zpracované výsledky k měření 10,

měření 11.xlsx – zpracované výsledky k měření 11,

měření 12.xlsx – zpracované výsledky k měření 12,

měření 13.xlsx – zpracované výsledky k měření 13,

měření 14.xlsx – zpracované výsledky k měření 14,

měření 15.xlsx – zpracované výsledky k měření 15,

SwissQual - Benchmarking system.pdf – představení produktu 1 firmy SwissQual,

SwissQual - Indoor solution A - Freerider.pdf – představení produktu firmy 2 SwissQual,

SwissQual - Indoor Solution B - QualiPoc.pdf – představení produktu firmy 3 SwissQual,

SwissQual - nabídkový list Benchmarking system.pdf – cenová nabídka 1 od firmy SwissQual,

SwissQual - nabídkový list Indoor solution A.pdf – cenová nabídka 2 od firmy SwissQual,

SwissQual - nabídkový list Indoor solution B.pdf – cenová nabídka 3 od firmy SwissQual,

Vyhodnocené parametry 5 měření.xlsx – Vyhodnocené parametry k měřením 3, 4, 7, 8 a 15,

Výsledky měření O2 duben 2016.pdf – Výsledky zpracované oddělením RAN Management.

B. Tabulka měst dle počtu obyvatel s minimálně 10 000 obyvatel

P*	PK**	Město	Počet obyvatel	Rozloha (km ²)	Hustota osídlení (obyvatel/km ²)	Objekty měření
1	1	Praha	1267449	496,09	2555	B, L, N, NC, ŠO, T, V
2	2	Brno	377028	230,19	1638	B, L, N, NC, ŠO, T, V
3	3	Ostrava	292681	214,22	1366	B, L, N, NC, ŠO, T, V
12	12	Plzeň	169858	137,66	1234	B, N, NC, ŠO, T, V
7	7	Liberec	103288	106,09	974	B, N, NC, ŠO, T, V
8	8	Olomouc	100154	103,33	969	B, N, NC, ŠO, T, V
9	9	České Budějovice	93513	55,6	1682	B, N, NC, ŠO, T, V
6	6	Ústí nad Labem	93248	93,95	993	B, N, NC, ŠO, V
11	11	Hradec Králové	92891	105,69	879	B, N, NC, ŠO, V
13	13	Pardubice	89638	82,66	1084	B, L, N, NC, ŠO, V
10	10	Zlín	75171	102,83	731	B, N, NC, ŠO, T, V
33	3	Havířov	74101	32,08	2310	B, N, NC, ŠO, V
19	4	Kladno	68466	36,97	1852	B, N, NC, ŠO, V
21	6	Most	67002	86,94	771	B, N, NC, ŠO, V
73	3	Opava	57676	90,61	637	B, N, NC, ŠO, V
48	3	Frýdek-Místek	56879	51,59	1103	B, N, NC, ŠO, V
33	3	Karviná	55163	57,49	960	B, N, NC, ŠO, V
15	15	Jihlava	50714	87,85	577	B, N, NC, ŠO, T, V
36	6	Teplice	49959	23,77	2102	B, N, NC, ŠO, V
51	6	Děčín	49739	117,69	423	B, N, NC, ŠO, V
14	14	Karlovy Vary	49326	59,1	835	B, L, N, NC, ŠO, T, V
65	6	Chomutov	48710	29,26	1665	B, N, NC, ŠO, V
22	7	Jablonec nad Nisou	45510	31,38	1450	B, N, NC, ŠO, V
49	4	Mladá Boleslav	44199	28,95	1527	B, N, NC, ŠO, V
23	8	Přerov	43994	58,48	752	B, N, NC, ŠO, V
38	8	Prostějov	43977	39,04	1126	B, N, NC, ŠO, V
52	7	Česká Lípa	37158	66,1	562	B, N, NC, ŠO, V
59	15	Třebíč	36641	57,6	636	B, N, NC, ŠO, V
48	3	Třinec	35760	85,38	419	B, N, NC, ŠO, V
24	9	Tábor	34641	62,21	557	B, N, NC, ŠO, V

84	2	Znojmo	33787	65,89	513	B, N, NC, ŠO, V
63	4	Příbram	33058	33,41	989	B, N, NC, ŠO, V
44	14	Cheb	32355	96,38	336	B, N, NC, ŠO, V
35	5	Kolín	30995	34,99	886	B, N, NC, ŠO, V
41	11	Trutnov	30812	103,35	298	B, N, NC, ŠO, V
54	9	Písek	29838	63,23	472	B, N, NC, ŠO, V
33	3	Orlová	29524	24,67	1197	B, N, NC, V
55	10	Kroměříž	29066	50,98	570	B, N, NC, ŠO, V
53	8	Šumperk	26478	27,87	950	B, N, NC, ŠO, V
40	10	Vsetín	26394	57,61	458	B, N, NC, ŠO, V
25	10	Uherské Hradiště	25254	21,26	1188	B, N, NC, ŠO, V
72	2	Břeclav	24941	77,11	323	B, N, NC, ŠO, V
47	2	Hodonín	24796	63,47	391	B, N, NC, ŠO, V
33	3	Český Těšín	24787	33,81	733	B, N, NC, ŠO, V
21	6	Litvínov	24485	40,7	602	B, N, NC, ŠO, V
76	6	Litoměřice	24106	17,99	1340	B, N, NC, ŠO, V
80	3	Krnov	23992	44,3	542	B, N, ŠO, V
29	14	Sokolov	23678	22,9	1034	B, N, NC, ŠO, V
62	3	Nový Jičín	23571	44,7	527	B, N, NC, ŠO, V
45	15	Havlíčkův Brod	23234	64,96	358	B, N, ŠO, V
43	13	Chrudim	23061	33,21	694	B, N, ŠO, V
39	9	Strakonice	22902	34,68	660	B, N, NC, ŠO, V
40	10	Valašské Meziříčí	22449	40,65	552	B, N, NC, ŠO, V
42	12	Klatovy	22415	81,06	277	B, N, NC, ŠO, V
62	3	Kopřivnice	22273	27,48	811	B, N, NC, ŠO, V
67	9	Jindřichův Hradec	21551	74,31	290	B, N, ŠO, V
30	15	Žďár nad Sázavou	21335	37,06	576	B, N, NC, ŠO, V
79	2	Vyškov	21250	50,41	422	B, N, NC, ŠO, V
33	3	Bohumín	21249	31,04	685	B, N, ŠO, V
61	2	Blansko	20664	44,99	459	B, N, NC, ŠO, V
64	5	Kutná Hora	20341	33,04	616	B, N, ŠO, T, V
26	11	Náchod	20267	33,34	608	B, N, ŠO, V
65	6	Jirkov	19835	17,11	1159	B, N, ŠO, V
81	6	Žatec	19271	42,7	451	B, N, ŠO, V
20	5	Mělník	19230	24,97	770	B, N, NC, ŠO, V
34	4	Beroun	19207	31,31	613	B, N, NC, ŠO, V
23	8	Hranice (okres Přerov)	18407	49,79	370	B, N, NC, ŠO, V
81	6	Louny	18407	24,23	760	B, N, NC, ŠO, V
5	5	Brandýs nad Labem – Stará Boleslav	18249	22,65	806	B, N, ŠO, V
10	10	Otrokovice	18157	19,6	926	B, N, ŠO, V
20	5	Kralupy nad Vltavou	17987	21,9	821	B, N, ŠO, V
65	6	Kadaň	17839	65,62	272	B, N, NC, ŠO, V
36	6	Bílina	17112	32,52	526	B, N, ŠO, V
14	14	Ostrov	17079	50,42	339	B, N, ŠO, V

58	13	Svitavy	17005	31,33	543	B, N, NC, ŠO, V
80	3	Bruntál	16654	29,35	567	B, N, ŠO, V
25	10	Uherský Brod	16591	52,06	319	B, N, ŠO, V
74	4	Benešov	16555	46,87	353	B, N, ŠO, V
40	10	Rožnov pod Radhoštěm	16541	39,47	419	B, N, ŠO, V
56	11	Jičín	16394	24,95	657	B, N, NC, ŠO, V
20	5	Neratovice	16234	20,02	811	B, N, ŠO, V
70	15	Pelhřimov	16124	95,27	169	B, N, NC, ŠO, V
75	5	Rakovník	16081	18,5	869	B, N, ŠO, V
41	11	Dvůr Králové nad Labem	15882	35,83	443	B, N, ŠO, T, V
28	13	Česká Třebová	15710	41	383	B, N, NC, ŠO, V
51	6	Varnsdorf	15611	26,21	596	B, N, ŠO, V
19	4	Slaný	15515	35,11	442	B, N, NC, ŠO, V
5	5	Říčany	15027	25,81	582	B, N, NC, ŠO, V
50	5	Nymburk	14979	20,53	730	B, N, ŠO, V
65	6	Klášterec nad Ohří	14730	53,81	274	B, N, ŠO, V
37	7	Turnov	14349	22,72	632	B, N, ŠO, V
28	13	Ústí nad Orlicí	14226	36,37	391	B, N, NC, ŠO, V
50	5	Poděbrady	14219	33,7	422	B, N, NC, ŠO, V
73	3	Hlučín	14020	21,14	663	B, N, ŠO, V
27	12	Rokycany	13969	31,11	449	B, N, ŠO, V
29	14	Chodov	13816	14,26	969	B, N, ŠO, V
53	8	Zábřeh	13792	34,58	399	B, N, NC, ŠO, V
8	8	Šternberk	13551	48,79	278	B, N, ŠO, V
14	14	Mariánské Lázně	13224	51,81	255	B, N, NC, ŠO, V
44	14	Aš	13190	55,86	236	B, N, ŠO, V
77	9	Český Krumlov	13160	22,16	594	B, N, NC, ŠO, T, V
76	6	Roudnice nad Labem	12995	16,67	780	B, N, NC, ŠO, V
36	6	Krupka	12955	46,87	276	B, N, ŠO, V
83	12	Tachov	12609	40,85	309	B, N, ŠO, V
41	11	Vrchlabí	12516	27,67	452	B, N, ŠO, V
26	11	Jaroměř	12489	23,95	521	B, N, ŠO, V
28	13	Vysoké Mýto	12404	42,02	295	B, N, ŠO, V
5	5	Čelákovice	12029	15,87	758	B, N, ŠO, V
52	7	Nový Bor	11844	19,45	609	B, N, NC, ŠO, V
74	4	Vlašim	11704	41,44	282	B, N, ŠO, V
30	15	Velké Meziříčí	11645	40,65	286	B, N, ŠO, V
55	10	Holešov	11638	33,96	343	B, N, ŠO, V
8	8	Uničov	11579	48,27	240	B, N, ŠO, V
61	2	Boskovice	11566	27,83	416	B, N, ŠO, V
66	8	Jeseník	11471	38,24	300	B, N, ŠO, V
47	2	Kyjov	11405	29,87	382	B, N, ŠO, V
47	2	Veselí nad Moravou	11229	35,46	317	B, N, ŠO, V

51	6	Rumburk	11179	24,69	453	B, N, ŠO, V
69	12	Domažlice	11163	24,61	454	B, N, ŠO, V
42	12	Sušice	11130	45,64	244	B, N, ŠO, V
68	11	Rychnov nad Kněžnou	11088	34,97	317	B, N, ŠO, V
82	9	Prachatice	11055	38,9	284	B, N, ŠO, V
32	2	Kuřim	11051	17,37	636	B, N, ŠO, V
70	15	Humpolec	10877	51,5	211	B, N, ŠO, V
62	3	Frenštát pod Radhoštěm	10854	11,43	950	B, N, ŠO, V
64	5	Čáslav	10378	26,46	392	B, N, ŠO, V
58	13	Moravská Třebová	10267	42,05	244	B, N, ŠO, V
30	15	Nové Město na Moravě	10120	61,13	166	B, N, ŠO, V
58	13	Litomyšl	10043	33,45	300	B, N, ŠO, V
28	13	Lanškroun	10031	20,65	486	B, N, ŠO, V

Vysvětlivky:

* P - identifikátor okresu odkazující na prioritu měření dané oblasti,

** PK - identifikátor kraje odkazující na prioritu měření dané oblasti,

B – obydlené oblasti,

L – letiště,

N – nádraží a uzly veřejné dopravy,

NC – nákupní centra,

ŠO – školy, kancelářské komplexy, fabriky, průmyslové zóny apod.,

T – turistická místa,

V – frekventovaná veřejná místa (náměstí, centrum města, pěší zóny apod.).

C. Tabulka měst dle okresů s minimálně 10 000 obyvatel

P*	PK**	Město	Počet obyvatel	Rozloha (km ²)	Hustota osídlení (obyvatel/km ²)
1	1	Praha	1267449	496,09	2555
2	2	Brno	377028	230,19	1638
3	3	Ostrava	292681	214,22	1366
5	5	Brandýs nad Labem – Stará Boleslav	18249	22,65	806
5	5	Čelákovice	12029	15,87	758
5	5	Říčany	15027	25,81	582
6	6	Ústí nad Labem	93248	93,95	993
7	7	Liberec	103288	106,09	974
8	8	Olomouc	100154	103,33	969
8	8	Šternberk	13551	48,79	278
8	8	Uničov	11579	48,27	240
9	9	České Budějovice	93513	55,6	1682
10	10	Otrokovice	18157	19,6	926
10	10	Zlín	75171	102,83	731
11	11	Hradec Králové	92891	105,69	879
12	12	Plzeň	169858	137,66	1234
13	13	Pardubice	89638	82,66	1084
14	14	Karlovy Vary	49326	59,1	835
14	14	Mariánské Lázně	13224	51,81	255
14	14	Ostrov	17079	50,42	339
15	15	Jihlava	50714	87,85	577
19	4	Kladno	68466	36,97	1852
19	4	Slaný	15515	35,11	442
20	5	Kralupy nad Vltavou	17987	21,9	821
20	5	Mělník	19230	24,97	770
20	5	Neratovice	16234	20,02	811
21	6	Litvínov	24485	40,7	602
21	6	Most	67002	86,94	771
22	7	Jablonec nad Nisou	45510	31,38	1450

23	8	Hranice (okres Přerov)	18407	49,79	370
23	8	Přerov	43994	58,48	752
24	9	Tábor	34641	62,21	557
25	10	Uherské Hradiště	25254	21,26	1188
25	10	Uherský Brod	16591	52,06	319
26	11	Jaroměř	12489	23,95	521
26	11	Náchod	20267	33,34	608
27	12	Rokycany	13969	31,11	449
28	13	Česká Třebová	15710	41	383
28	13	Lansškoun	10031	20,65	486
28	13	Ústí nad Orlicí	14226	36,37	391
28	13	Vysoké Mýto	12404	42,02	295
29	14	Chodov	13816	14,26	969
29	14	Sokolov	23678	22,9	1034
30	15	Nové Město na Moravě	10120	61,13	166
30	15	Velké Meziříčí	11645	40,65	286
30	15	Žďár nad Sázavou	21335	37,06	576
32	2	Kuřim	11051	17,37	636
33	3	Bohumín	21249	31,04	685
33	3	Český Těšín	24787	33,81	733
33	3	Havířov	74101	32,08	2310
33	3	Karviná	55163	57,49	960
33	3	Orlová	29524	24,67	1197
34	4	Beroun	19207	31,31	613
35	5	Kolín	30995	34,99	886
36	6	Bílina	17112	32,52	526
36	6	Krupka	12955	46,87	276
36	6	Teplice	49959	23,77	2102
37	7	Turnov	14349	22,72	632
38	8	Prostějov	43977	39,04	1126
39	9	Strakonice	22902	34,68	660
40	10	Rožnov pod Radhoštěm	16541	39,47	419
40	10	Valašské Meziříčí	22449	40,65	552
40	10	Vsetín	26394	57,61	458
41	11	Dvůr Králové nad Labem	15882	35,83	443
41	11	Trutnov	30812	103,35	298
41	11	Vrchlabí	12516	27,67	452
42	12	Klatovy	22415	81,06	277
42	12	Sušice	11130	45,64	244
43	13	Chrudim	23061	33,21	694

44	14	Aš	13190	55,86	236
44	14	Cheb	32355	96,38	336
45	15	Havlíčkův Brod	23234	64,96	358
47	2	Hodonín	24796	63,47	391
47	2	Kyjov	11405	29,87	382
47	2	Veselí nad Moravou	11229	35,46	317
48	3	Frydek-Místek	56879	51,59	1103
48	3	Třinec	35760	85,38	419
49	4	Mladá Boleslav	44199	28,95	1527
50	5	Nymburk	14979	20,53	730
50	5	Poděbrady	14219	33,7	422
51	6	Děčín	49739	117,69	423
51	6	Rumburk	11179	24,69	453
51	6	Varnsdorf	15611	26,21	596
52	7	Česká Lípa	37158	66,1	562
52	7	Nový Bor	11844	19,45	609
53	8	Šumperk	26478	27,87	950
53	8	Zábřeh	13792	34,58	399
54	9	Písek	29838	63,23	472
55	10	Holešov	11638	33,96	343
55	10	Kroměříž	29066	50,98	570
56	11	Jičín	16394	24,95	657
58	13	Litomyšl	10043	33,45	300
58	13	Moravská Třebová	10267	42,05	244
58	13	Svitavy	17005	31,33	543
59	15	Třebíč	36641	57,6	636
61	2	Blansko	20664	44,99	459
61	2	Boskovice	11566	27,83	416
62	3	Frenštát pod Radhoštěm	10854	11,43	950
62	3	Kopřivnice	22273	27,48	811
62	3	Nový Jičín	23571	44,7	527
63	4	Příbram	33058	33,41	989
64	5	Čáslav	10378	26,46	392
64	5	Kutná Hora	20341	33,04	616
65	6	Chomutov	48710	29,26	1665
65	6	Jirkov	19835	17,11	1159
65	6	Kadaň	17839	65,62	272
65	6	Kláštorec nad Ohří	14730	53,81	274
66	8	Jeseník	11471	38,24	300
67	9	Jindřichův Hradec	21551	74,31	290
68	11	Rychnov nad Kněžnou	11088	34,97	317
69	12	Domažlice	11163	24,61	454

70	15	Humpolec	10877	51,5	211
70	15	Pelhřimov	16124	95,27	169
72	2	Břeclav	24941	77,11	323
73	3	Hlučín	14020	21,14	663
73	3	Opava	57676	90,61	637
74	4	Benešov	16555	46,87	353
74	4	Vlašim	11704	41,44	282
75	5	Rakovník	16081	18,5	869
76	6	Litoměřice	24106	17,99	1340
76	6	Roudnice nad Labem	12995	16,67	780
77	9	Český Krumlov	13160	22,16	594
79	2	Vyškov	21250	50,41	422
80	3	Bruntál	16654	29,35	567
80	3	Krnov	23992	44,3	542
81	6	Louny	18407	24,23	760
81	6	Žatec	19271	42,7	451
82	9	Prachatice	11055	38,9	284
83	12	Tachov	12609	40,85	309
84	2	Znojmo	33787	65,89	513

Vysvětlivky:

* P - identifikátor okresu odkazující na prioritu měření dané oblasti,

** PK - identifikátor kraje odkazující na prioritu měření dané oblasti.