

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra Informačních technologií



Diplomová práce

Mobilní internet v České republice

Lukáš Růžek

© 2019 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Lukáš Růžek

Informatika

Název práce

Mobilní internet v České republice

Název anglicky

Mobile internet in Czech republic

Cíle práce

Hlavním cílem práce je charakterizovat a rozebrat stav rozvoje mobilního internetu a jeho infrastruktury v České republice. Je tak provedeno pomocí odborného přehledu řešené problematiky od počátků vývoje, s důrazem na dnes používané technologie.

Dále následuje zpracování praktické části, která představuje zejména měření parametrů mobilního internetu.

Práce je zakončena rozborem výsledků a formulacemi závěrů.

Metodika

Metodika práce je založena na shromažďování informací z odborné literatury a ověřených internetových zdrojů, jejich analýze a využití jako podkladových dat pro vypracování teoretické části. Ta charakterizuje metody přenosu signálu a rozebírá použité technologie od počátků vývoje mobilního internetu po standardy používané dnes.

Praktická část je zaměřena na měření vlastností mobilního internetu v několika odlišných částech České republiky při různém zatížení sítě. Dále obsahuje rozbor naměřených hodnot, porovnání výsledků s teoretickými hodnotami a vysvětlení rozdílů.

Následuje shrnutí a diskuse výstupů měření a formulace závěrů.

Doporučený rozsah práce

50 – 60 stran

Klíčová slova

Mobilní internet, veřejná datová síť, datový přenos, GSM, EDGE, UMTS, LTE, LTE-Advanced, download, upload

Doporučené zdroje informací

COX, Christopher. An introduction to LTE LTE, LTE-advanced, SAE, VoLTE and 4G mobile communications. 2014. ISBN 1118818032.

Český telekomunikační úřad. Český telekomunikační úřad [online]. Copyright © 2017. Dostupné z: <http://www.ctu.cz/>

DAHLMAN, Erik, Stefan PARKVALL a Johan SKÖLD. 4G LTE/LTE-advanced for mobile broadband. Second edition. ISBN 0124199852.

GORSHE, Steven, Arvind RAGHAVAN, Thomas STARR a Stefano GALLI. Broadband access: wireline and wireless alternatives for triple play services. S.l.: Wiley-Blackwell (An Impri, 2014). ISBN 0470741805.

SAUTER, Martin. From gsm to lte-advanced: an introduction to mobile networks and mobile broadband. Revised 2nd edition. S.l.: John Wiley, 2014. ISBN 1118861957.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 22. 5. 2017

Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 24. 5. 2017

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2019

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Mobilní internet v České republice" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor(ka) uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 28.3.2019

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Vaňkovi, Ph. D. za pomoc, podporu a nápady, které mi pomohli s vypracováním práce. Pod jeho vedením se mi otevřelo mnoho cest, jak se práce chopit, které mě samotného nenapadly a vedli tak k hladkému průběhu práce a dosažení cílů práce.

Mobilní internet v České republice

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá měřením parametrů mobilního internetu v České republice. Měření jsou přitom prováděna z pohledu běžného koncového uživatele k co nejpřesnější simulaci uživatelské zkušenosti a k autentickému zjištění dostupnosti služby pro koncového zákazníka. Měření jsou přitom prováděna v různých částech České republiky při simulaci odlišného zatížení sítě pro dosažení reprezentativních výsledků. Kromě parametrů samotného připojení jsou jako doplňkové informace měřeny i charakteristiky sítě jako takové. Zde je třeba říci že neslouží k posouzení, zda je síť kvalitní či nikoliv, neboť pro měření nebyl použit profesionální měřicí přístroj. Charakteristiky tak slouží jako doplňkové hodnoty k výstupů z měření parametrů internetového připojení pro lepší vysvětlení výsledků.

Klíčová slova: Mobilní internet, EDGE, UMTS, LTE, LTE-A, Download, Upload, Ping, Jitter, 3G síť, 4G síť

Mobile internet in Czech republic

Abstract

The thesis is dealing with mobile internet parameters measurement in Czech republic. The idea is that those measurements are made from end user's point of view so the results can simulate authentic experience of network usage by the user. Measurements are made in different corners of Czech republic while variable load within the network is also considered for more representative results. Besides of parameters of internet connection itself there are other parameters to be measured which characterise the network. One thing has to be said though, for no professional measurement instrument was used, these results will only complement outcomes of the internet connection measurements for better explanation of results.

Keywords: Mobile internet, EDGE, UMTS, LTE, LTE-A, Download, Upload, Ping, Jitter, 3G network, 4G network

1 Obsah

1	Obsah.....	- 8 -
2	Seznam obrázků	- 10 -
3	Seznam tabulek.....	- 13 -
4	Seznam zkratek	- 14 -
5	Úvod.....	- 16 -
6	Cíle a metodika práce	- 17 -
6.1	Cíle práce	- 17 -
6.2	Metodika práce	- 17 -
7	Teoretická část.....	- 18 -
7.1	Historie radiového přenosu a Internetu	- 19 -
7.1.1	Počátky celulárních sítí	- 19 -
7.1.2	Historie Internetu.....	- 19 -
7.2	Internet v České republice	- 21 -
7.2.1	Historie internetu v České republice	- 21 -
7.2.2	Současný stav mobilního internetu v České republice.....	- 25 -
7.3	Mobilní síť první generace	- 26 -
7.4	Mobilní síť druhé generace	- 26 -
7.4.1	Síť GSM	- 27 -
7.4.2	Technologie CSD a HSCSD	- 29 -
7.4.3	Technologie GPRS.....	- 29 -
7.4.4	Technologie EDGE	- 30 -
7.4.5	Síť CDMA2000.....	- 31 -
7.4.6	Technologie 1xRTT	- 32 -
7.5	Mobilní síť třetí generace	- 32 -
7.5.1	Technologie UMTS.....	- 33 -
7.5.2	Nadstavby HSDPA a HSUPA.....	- 34 -
7.5.3	Technologie LTE.....	- 35 -
7.5.4	WiMAX.....	- 38 -
7.5.5	CDMA2000 1xEV-DO	- 39 -
7.6	4G	- 39 -
7.6.1	LTE-A	- 39 -
7.7	5G síť a předpokládaný vývoj	- 40 -
7.8	Mobilní operátoři v České republice	- 40 -
7.8.1	Srovnání pokrytí.....	- 41 -
7.8.2	Srovnání tarifů.....	- 42 -
7.9	Měření internetu	- 46 -
7.9.1	Metody měření mobilního internetu.....	- 46 -
7.9.2	Měřené veličiny.....	- 47 -
8	Praktická část	- 51 -
8.1	Úvod k měření	- 52 -
8.2	Metodika.....	- 52 -
8.2.1	Měření dat	- 52 -
8.2.2	Měřené veličiny a měřicí nástroje	- 53 -
8.2.3	Diskuse naměřených výsledků	- 53 -
8.2.4	Formulace závěrů	- 54 -
8.2.5	Použité programy	- 54 -
8.2.6	Vybrané lokality pro měření	- 56 -
8.3	Naměřené výsledky	- 65 -

8.3.1	Paseky nad Jizerou	- 65 -
8.3.2	Felbabka	- 67 -
8.3.3	Těptín	- 72 -
8.3.4	Černovice	- 74 -
8.3.5	Sovolusky	- 75 -
8.3.6	Nymburk.....	- 80 -
8.3.7	Mladá Boleslav	- 84 -
8.3.8	Unhošť.....	- 86 -
8.3.9	Veřovice	- 88 -
8.3.10	Praha.....	- 89 -
9	Diskuse výsledků práce.....	- 93 -
9.1	Porovnání výsledků s informacemi operátora	- 93 -
9.1.1	Paseky nad Jizerou	- 94 -
9.1.2	Felbabka	- 95 -
9.1.3	Těptín	- 95 -
9.1.4	Černovice	- 96 -
9.1.5	Sovolusky	- 96 -
9.1.6	Nymburk.....	- 97 -
9.1.7	Mladá Boleslav	- 98 -
9.1.8	Unhošť.....	- 100 -
9.1.9	Veřovice	- 101 -
9.1.10	Praha.....	- 102 -
9.1.11	Měření v pohybu	- 103 -
9.2	Analýza výsledků	- 106 -
10	Závěr.....	- 109 -
11	Seznam zdrojů	- 111 -
12	Seznam příloh	- 114 -

2 Seznam obrázků

Obrázek 1: Topologie prvotní sítě CESNET[4]	- 22 -
Obrázek 2: Cena připojení přes pevnou linku v roce 1994 [3]	- 23 -
Obrázek 3: Cena připojení jednoho počítače v roce 1994 [3].....	- 23 -
Obrázek 4: GSM - rozdělení frekvencí [9].....	- 28 -
Obrázek 5: GSM - TDMA [9].....	- 28 -
Obrázek 6: Frekvenční pásmo 3G sítí [12]	- 32 -
Obrázek 7: Schéma kódování CDMA [14]	- 33 -
Obrázek 8: Struktura UMTS sítě [15]	- 34 -
Obrázek 9: Architektura sítě LTE [26]	- 36 -
Obrázek 10: OFDMA [27]	- 37 -
Obrázek 11: SC-FDMA [28].....	- 38 -
Obrázek 12: Carrier aggregation - Skládání frekvencí u LTE-A [30]	- 39 -
Obrázek 13: Třídy LTE-A [30]	- 40 -
Obrázek 14: Mapa pokrytí O2 [21]	- 41 -
Obrázek 15: Mapa pokrytí T-Mobile [21].....	- 42 -
Obrázek 16: Mapa pokrytí Vodafone [21]	- 42 -
Obrázek 17: Nabídka kombinovaných tarifů O2 [22].....	- 43 -
Obrázek 18: Nabídka datových tarifů O2 [22].....	- 43 -
Obrázek 19: Nabídka kombinovaných tarifů T-Mobile [23]	- 44 -
Obrázek 20: Nabídka datových tarifů T-Mobile [23]	- 44 -
Obrázek 21: Nabídka kombinovaných tarifů Vodafone [24].....	- 45 -
Obrázek 22: Nabídka datových tarifů Vodafone [25].....	- 46 -
Obrázek 23: Program Ookla Speedtest.....	- 54 -
Obrázek 24: Program NetMetr	- 55 -
Obrázek 25: Program Network Signal Info.....	- 56 -
Obrázek 26: Pražské O2 BTS.....	- 57 -
Obrázek 27: O2 BTS v Nymburce	- 58 -
Obrázek 28: T-Mobile BTS v Nymburce.....	- 58 -
Obrázek 29: O2 BTS v Unhošti	- 59 -
Obrázek 30: O2 BTS v okolí obce Felbabka.....	- 60 -
Obrázek 31: O2 BTS v okolí obce Sovolusky	- 60 -
Obrázek 32: T-Mobile BTS v okolí obce Sovolusky	- 61 -
Obrázek 33: O2 BTS u obce Paseky nad Jizerou.....	- 62 -
Obrázek 34: O2 BTS u obce Černovice	- 62 -
Obrázek 35: O2 BTS u obce Těptín	- 63 -
Obrázek 36: O2 BTS v obci Veřovice	- 63 -
Obrázek 37: O2 BTS v Mladé Boleslavi.....	- 64 -
Obrázek 38: Paseky nad Jizerou - Ookla ráno	- 66 -
Obrázek 39: Paseky nad Jizerou – NetMetr ráno	- 66 -
Obrázek 40: Paseky nad Jizerou - NSI ráno.....	- 67 -
Obrázek 41: Felbabka - Ookla ráno	- 68 -
Obrázek 42: Felbabka - NetMetr ráno.....	- 68 -
Obrázek 43: Felbabka - NSI ráno.....	- 69 -
Obrázek 46: D5 - NetMetr	- 70 -
Obrázek 45: D5 - Ookla	- 70 -
Obrázek 44: D5 - NSI.....	- 71 -
Obrázek 47: Hořovice - Felbabka - NetMetr	- 71 -
Obrázek 48: Hořovice - Felbabka - Ookla	- 71 -

Obrázek 49: Hořovice - Felbabka - NSI.....	- 72 -
Obrázek 52: Těptín - NSI.....	- 73 -
Obrázek 51: Těptín - Ookla.....	- 73 -
Obrázek 50: Těptín - NetMetr.....	- 73 -
Obrázek 53: Černovice - Ookla.....	- 74 -
Obrázek 54: Černovice - NetMetr.....	- 74 -
Obrázek 55: Černovice - NSI.....	- 75 -
Obrázek 57: Sovolusky O2 - NetMetr.....	- 76 -
Obrázek 56: Sovolusky O2 - Ookla.....	- 76 -
Obrázek 58: Sovolusky T-Mobile - Ookla.....	- 76 -
Obrázek 59: Sovolusky T-Mobile - NetMetr.....	- 76 -
Obrázek 61: Sovolusky O2 - NSI.....	- 77 -
Obrázek 60: Sovolusky T-Mobile - NSI.....	- 77 -
Obrázek 63: Mcely - Loučeň O2 - NetMetr.....	- 78 -
Obrázek 62: Mcely - Loučeň O2 - Ookla.....	- 78 -
Obrázek 64: Mcely - Loučeň T-Mobile - NetMetr.....	- 79 -
Obrázek 65: Mcely - Loučeň T-Mobile - NSI.....	- 79 -
Obrázek 66: Mcely - Loučeň O2 - NSI.....	- 79 -
Obrázek 67: Nymburk O2 - NetMetr.....	- 80 -
Obrázek 68: Nymburk O2 - Ookla.....	- 80 -
Obrázek 69: Nymburk T-Mobile - NetMetr.....	- 81 -
Obrázek 70: Nymburk T-Mobile - Ookla.....	- 81 -
Obrázek 71: Nymburk T-Mobile - NSI.....	- 82 -
Obrázek 72: Nymburk O2 - NSI.....	- 82 -
Obrázek 73: D11 O2 - Ookla.....	- 83 -
Obrázek 74: D11 O2 - NetMetr.....	- 83 -
Obrázek 75: D11 O2 - NSI.....	- 83 -
Obrázek 76: Mladá Boleslav O2 - NetMetr.....	- 84 -
Obrázek 77: Mladá Boleslav O2 - Ookla.....	- 84 -
Obrázek 78: Mladá Boleslav T-Mobile - NetMetr.....	- 85 -
Obrázek 79: Mladá Boleslav T-Mobile - Ookla.....	- 85 -
Obrázek 80: Mladá Boleslav O2 - NSI.....	- 86 -
Obrázek 81: Mladá Boleslav T-Mobile - NSI.....	- 86 -
Obrázek 82: Unhošť O2 - NetMetr.....	- 87 -
Obrázek 83: Unhošť O2 - Ookla.....	- 87 -
Obrázek 84: Unhošť O2 - NSI.....	- 87 -
Obrázek 85: Veřovice O2 - NetMetr.....	- 88 -
Obrázek 86: Veřovice O2 - Ookla.....	- 88 -
Obrázek 87: Veřovice O2 - NSI.....	- 89 -
Obrázek 90: Praha - Vinohradská ulice O2 - NetMetr.....	- 90 -
Obrázek 89: Praha - Velká Ohrada O2 - NetMetr.....	- 90 -
Obrázek 88: Praha Velká - Ohrada O2 - Ookla.....	- 90 -
Obrázek 91: Praha - Vinohradská ulice O2 - Ookla.....	- 90 -
Obrázek 92: Praha - Vinohradská ulice O2 - NSI.....	- 91 -
Obrázek 93: Praha - Velká Ohrada O2 - NSI.....	- 91 -
Obrázek 94: Praha - Jižní spojka O2 - Ookla.....	- 92 -
Obrázek 95: Praha - Jižní spojka O2 - NetMetr.....	- 92 -
Obrázek 96: Mapa pokrytí O2 - Felbabka [19].....	- 94 -
Obrázek 97: Mapa pokrytí O2 - Paseky nad Jizerou [19].....	- 94 -

Obrázek 98: Mapa pokrytí O2 – Těptín [19].....	- 95 -
Obrázek 99: Mapa pokrytí O2 – Černovice [19].....	- 96 -
Obrázek 100: Mapa pokrytí O2 – Sovolusky [19]	- 96 -
Obrázek 101: Mapa pokrytí T-Mobile – Sovolusky [31].....	- 97 -
Obrázek 102: Mapa pokrytí O2 – Nymburk [19].....	- 98 -
Obrázek 103: Mapa pokrytí T-Mobile – Nymburk [31]	- 98 -
Obrázek 104: Mapa pokrytí O2 - Mladá Boleslav [19]	- 99 -
Obrázek 105: Mapa pokrytí T-Mobile - Mladá Boleslav [31]	- 99 -
Obrázek 106: Mapa pokrytí O2 – Unhošť [19].....	- 100 -
Obrázek 107: Mapa pokrytí O2 – Veřovice [19]	- 101 -
Obrázek 108: Mapa pokrytí O2 – Praha [19].....	- 102 -

3 Seznam tabulek

Tabulka 1: Rychlosti CESNETu [3].....	- 23 -
Tabulka 2: Technologie sítí druhé generace.....	- 27 -
Tabulka 3: Kódová schémata GPRS	- 29 -
Tabulka 4: Třídy zařízení (multislot class) GPRS	- 30 -
Tabulka 5: Kódové schéma EDGE	- 31 -
Tabulka 6: Počet fyzických bloků na jeden LTE kanál [27].....	- 37 -
Tabulka 7: RSSI ukazatel pro 2G a 3G sítě [17].....	- 48 -
Tabulka 8: RSSI ukazatel pro LTE síť [17]	- 48 -
Tabulka 9: RSCP ukazatel UMTS a CDMA sítě [17]	- 49 -
Tabulka 10: RSRP ukazatel LTE sítě [17]	- 49 -
Tabulka 11: RSRQ ukazatel LTE sítě [17]	- 50 -
Tabulka 12: Analýza charakteristik internetu	- 106 -
Tabulka 13: Analýza charakteristik sítě	- 107 -
Tabulka 14: Srovnání výsledků statických a pohybových měření	- 108 -

4 Seznam zkratek

3GPP2	- 3rd Generation Partnership Project 2
AMPS	- Advanced mobile phone systém
bps	- bytes per second
BSS	- Base station subsystem
BTS	- Base transceiver station
C/I	- Carrier to interference
Cesnet	- Czech Educational and Scientific Network
CDMA	- Code division multiple access
CSD	- Circuit switched data
CN	- Core network
ČTU	- Český telekomunikační úřad
ČVUT	- České vysoké učení technické v Praze
dB	- decibel
dBm	- cedibel vztažený na 1mW
DNS	- Domain name system
DSC	- Diameter signaling controller
EARN	- European Academic and Research Network
Ec/Io	- Signal to noise ratio
EDGE	- Enhanced Data Rates for GSM Evolution
eNodeB	- Evolved NodeB
FDD	- Frequency division duplexing
FDMA	- Frequency division multiple access
FESNET	- Federal Education and Scientific Network
FFT	- Fast Fourir transformation
Gbps	- Gigabytes per second
GMSK	- Gaussian minimum shift keying
GPRS	- General Packet Radio Service
GSM	- Global system for mobile communications
H-ARQ	- Hybryd automatic repeat request
HSCSD	- High speed circuid switched data
HSDPA	- high spees downlink packet access
HSUPA	- High speed uplink packet access
IFFT	- Inverse fast Fourier transformation
IMT	- International Mobile Telecommunications
IoT	- Internet of Things
ITU	- International telecommunication union
kbps	- kilobytes per second
LAN	- Local area network
LTE	- Long term evolution

LTE-A	- Long term evolution - Advanced
MAC	- Media access control
Mbps	- megabytes per second
MIMO	- Multiple input multiple output antenna
NCP	- Network control protocol
OFDM	- Orthogonal frequency division multiplexing
OFDMA	- Orthogonal frequency division multiple access
PAPR	- Peak to average power ratio
PRB	- Physical Resource Block
PSK	- Phase shift keying
QAM	- Quadrature amplitude modulation
RNC	- Radio network controller
RSCP	- Received signal code power
RSRP	- Reference signal received power
RSRQ	- Reference signal received quality
RSSI	- Received signal strength indication
SANET	- Slovak Academic Network
SINR	- Signal to interference and noise ratio
TCP/IP	- transmission control protocol / Internet protocol
TDD	- Time division duplexing
TDMA	- Time division multiple access
TEN-34	- Trans European Network Interconnect
UE	- User equipment
UMTS	- Universal Mobile Telecommunications System
UTRA(N)	- Universal (UMTS) terrestrial radio access (network)
E-UTRAN	- Evolved terrestrial radio access (network)
VoIP	- Voice over internet protocol
WARC	- World Administrative Radio Conference
WiMAX	- Worldwide Interoperability for Microwave Access
xG síť	- mobilní síť x-té generace

5 Úvod

Mobilní Internet. Jedná se o pojem, který se dnes skloňuje téměř denně. Dnešní společnost se na něm stala natolik závislá, že často prvním dotazem v restauraci či rekreačním centru je prosba o heslo k bezdrátové síti. V poslední době poměrně často můžeme zaslechnout pojem doba datová. Toto pojmenování několika posledních let je velice trefné, neboť společnost se stala na datech velice závislá. Málokdo si dnes umí představit život, či byť jen jediný den bez připojení k internetu. Je tomu tak hned z několika důvodů. Někteří lidé pracují z domova a potřebují přístup k firemním datům a aplikacím ať již přes VPN či cloud, jiní se živí produkcí na internetu, youtubeři apod., a velká většina populace jednoduše ráda brouzdá po internetu, nakupuje, nebo jen zabíjí čas. U spousty lidí se stala závislost na tolik silnou, že nedají chytrý telefon z ruky. Prvopočátky ovšem byli úplně o něčem jiném a původní tvůrci celého konceptu ze společnosti ARPA si určitě nedokázali představit, jakých rozměrů jejich projekt nabyde.

Z dnešního pohledu je tak velice důležité pro poskytovatele vybudovat robustní přístupovou síť s dostatečnou kapacitou a pokrytím. Přičemž už nejde pouze o města, ale o celoplošné pokrytí v celé České republice. Pokračuje tak výstavba nových vysílačů, nebo osazování stávajících BTS novou technologií pro přenos LTE signálu. Nicméně tato procedura je velice nákladná a tak poskytovatelé mobilního internetu, konkrétně mobilní operátoři O2, T-Mobile a Vodafone, uzavřeli dohodu o vzájemném poskytování přístupových bodů. V praxi to znamená lepší pokrytí, nicméně na úkor přenosové rychlosti kvůli sdílení sítě mezi větším počtem uživatelů. Logicky pak tedy vylézá na povrch otázka, jak moc to ovlivní výkon sítě? Když si pořídím mobilní internet od některého z operátorů, dostanu za zaplacené peníze opravdu kvalitní produkt ve formě dobrého, stabilního signálu s vysokorychlostním mobilním internetem? Na stránkách poskytovatelů se samozřejmě dají nalézt mapy s pokrytím daného operátora. Nežrádka kdy se ale stane, že v lokalitě, kde má být dostupný LTE internet se uživatel ani nepřipojí, nebo se WWW stránky zobrazují kvůli malému datovému toku v úsporném režimu. Na kolik jsou tato tvrzení pravdivá a běžnou uživatelskou stanicí, v dnešní době převážně mobilní telefony, dostupná tak zůstává velkou neznámou.

Práce si tak klade za cíl dokázat, nebo vyvrátit tvrzení, že je v Čechách dostupný vysokorychlostní internet. Jelikož nebyla nalezena definice takového internetu, je za něj považováno každé připojení k technologii UMTS a výše, neboť ho tak charakterizují operátoři.

6 Cíle a metodika práce

6.1 Cíle práce

Hlavním cílem práce je charakterizovat a rozebrat stav rozvoje mobilního internetu a jeho infrastruktury v České republice. Je tak provedeno pomocí odborného přehledu řešené problematiky od počátků vývoje, s důrazem kladeným na dnes používané technologie. Dále následuje zpracování praktické části, která se věnuje měření parametrů mobilního internetu v České republice. Práce je zakončena rozbohem výsledků, porovnáním naměřených hodnot s daty poskytnutými operátory a formulacemi závěrů vyplývajících z měření a srovnání.

6.2 Metodika práce

Metodika práce je založena na shromažďování informací z odborné literatury a ověřených internetových zdrojů, jejich analýze a využití jako podkladových dat pro vypracování teoretické části. Ta charakterizuje metody přenosu signálu a rozebírá použité technologie od počátků vývoje mobilního internetu po standardy používané dnes. Praktická část je zaměřena na měření vlastností mobilního internetu v několika odlišných částech České republiky při různém zatížení sítě. Dále obsahuje rozbor naměřených hodnot, porovnání výsledků s teoretickými hodnotami a vysvětlení rozdílů. Následuje shrnutí a diskuse výstupů měření a formulace závěrů.

7 Teoretická část

7.1 Historie radiového přenosu a Internetu

Základní kámen mobilní komunikace a bezdrátových sítí sahají až do 19. století. Tehdy je položil Samuel Morse, kdy v roce 1837 sestrojil první telegraf. Ten pro komunikaci vyžaduje drátové spojení. Jenže 18. října roku 1842 se Morseovi povedlo při experimentu, zda-li dokáží dráty natažené pod vodou přenést signál. Když natažené dráty omylem zpřetrhala projíždějící loď, ale signál byl přesto za pomoci vodivosti vody přenesen, vytvořil tak Morse historicky první bezdrátový přenos. O první chtěný přenos se postaral roku 1865 M. Loomis, kdy pomocí papírových draků s kovovou kostrou přenášel morseovku. Jeden drak měl připevněnou vysílací část telegrafu, druhý pak galvanometr, který zaznamenával přijímané signály. Roku 1888 pak Němec Heindrich Hertz potvrdil Maxwellovu teorii a dokázal, že je možno přenášet radiové vlny atmosférou. První rádio pak zprovoznil Ital Guelielmo Marconi, patent získal roku 1897. Záhy, roku 1901, přenesl Marconi signál přes Atlantický oceán a rádio se tak začalo využívat v lodní dopravě. Nicméně toto spojení zajišťovalo přenos kódů, nikoliv hlasu. O ten se postaral roku 1906 R. Fesseden. K většímu rozvoji radiového vysílání pak došlo v desátých a dvacátých letech minulého století. Za důležitou pro vývoj přenosu signálu se dá považovat Druhá světová válka, kde se začaly ve velké míře objevovat přenosné rádio vysílačky od firmy Motorola. Jinak prvním mobilním radiem schopným přenést hlas v obou směrech bylo sestrojeno v Bell Laboratories roku 1924. Prvním řešením radiotelefonů určených veřejnosti pak představili společnosti AT&T a Southwestern Bell roku 1946 v Saint Louis. Jednalo se o radiotelefony montovaná do automobilů, jež využívali šest kanálů v pásmu 150 MHz. [1]

7.1.1 Počátky celulárních sítí

Úspěch nasazeného systému v Saint Louis podpořil další výzkum bezdrátových přenosů. V prosinci 1947 zveřejnili D. H. Eing a W. R. Young v interním materiálu Bell Laboratories první článek s popisem mobilní celulární sítě, dnešní sítě GSM. Principem bylo rozdělení oblasti na buňky, anglicky cells, kde v každé z nich je vysílač/přijímač signálu a celý provoz sítě je centrálně kontrolován a řízen. Tato technologie počítala s využitím frekvencí, kde různé buňky mohly využívat stejné frekvence a telefon se při přechodu z jedné buňky do jiné přizpůsobí. V 50. a 60. letech se velice rozmohl výzkum celulární sítě. V roce 1971 společnost Bell systém požádala jako první o uznání patentu na mobilní komunikační síť, který byl 16.května 1972 uznán. Nicméně povolení na spuštění testovacího provozu sítě se Bell systém a AT&T dočkali až roku 1977. Začali tak vznikat sítě první generace. [1]

7.1.2 Historie Internetu

Vývoj a počátky Internetu sahají zpět do let studené války, konkrétně na 4.října 1957, kdy sověti vypustili na oběžnou dráhu první umělou družici, Sputnik 1. USA si tak uvědomila zaostávání v kosmických a nejspíše i vojenských technologiích a začala jednat. Roku 1958 založilo ministerstvo obrany USA agenturu ARPA, jež se zaměřovala na podporu výzkumných projektů vedoucích k novým technologiím. V oblasti počítačových technologií

a komunikací vyrostlo z podhoubí ARPA několik velice neformálních skupin výzkumníků a programátorů, kteří by dnes byli označováni jako hackeři, jež pracovali převážně na univerzitách. K nejvýznamnějším z těchto komunit patřili například MIT v Bostonu, nebo Kalifornské univerzity v Berkley a Los Angeles. Počátkem šedesátých let si Joseph C. R. Licklider uvědomil potenciál těchto hackerských skupin, které působili prakticky izolovaně, protože spolu nemohli efektivně komunikovat. Licklider tak založil skupinu specialistů s názvem Intergalactic Network, která začala pracovat na konceptu paketových sítí založených na principech, na nichž stojí dnešní internet. [2]

V létě roku 1968 tak ARPA vypsalala tendr na vývoj paketové sítě. Projekt nesl jméno ARPANET. Do tendru se přihlásilo dvanáct účastníků, kde ale chyběli velcí konkurenti, jako třeba IBM nebo AT&T, jež tou dobou stále ignorovali paketové sítě. Vítězem soutěže se stala firma BBN, Beranek and Newman, a ta poté do projektu angažovala čtyři univerzitní pracoviště ze Stanfordu, Utahu, Sanda Barbary a Los Angeles. První topologie pak propojovala právě tyto univerzity. Firma BBN měla na starosti vývoj jádra sítě, založeném na zařízeních zvaných IMP, což byli předchůdci dnešních routerů. Univerzity poté pracovali na základním softwaru, jehož prostřednictvím by jejich koncové stanice mohli přes IMP komunikovat a vytvořili tak NCP, neboli Network Control Protocol. Historicky první zpráva ARPANETU byla 29.října 1969 odeslána ze Stanfordu do Los Angeles. Počátkem sedmdesátých let dvacátého století se síť ARPANET v akademickém prostředí velmi rychle rozrůstala a postupně do se do ní připojili desítky univerzit a dalších institucí po celých Spojených státech. V létě 1973 se síť stala mezinárodní, jelikož se do ní přidaly dvě evropské instituce, University College London a norský seismologický ústav NORSTAR. Díky úspěchům ARPANETU se stal princip přepojování paketů velice populární a v první polovině 70. let dvacátého století se začali používat i jiné sítě, například ALOHAnet na Havaji, nebo CYCLADES ve Francii. Ač byly tyto sítě založeny na stejných principech, nemohly však mezi sebou komunikovat. Proto v roce 1973 Bob Kahn s Vint Cerf začali pracovat na specifikacích, jež měli za cíl sjednotit protokoly paketových sítí, jejich rozhraní s koncovými stanicemi a datové objekty vyměňované v těchto sítích. Vznikla technologie, nazvaná přímo po protokolech, ze kterých se skládá, TCP/IP. V roce 1975 byl proveden první test komunikace pomocí protokolů TCP/IP mezi Stanfordskou a Londýnskou univerzitou. Finální přesun ARPANETu z NCP na TCP/IP však proběhl až 1.ledna 1983. V tom samém roce se od ARPANETu oddělila z bezpečnostních důvodů armádní síť MILNET, neboli Military Network, a TCP/IP se tak přeneslo do komerční sféry a byl zaveden Domain name systém DNS. Pojem Internet, jakožto síť sítí vznikl roku 1987 a v tu dobu bylo propojeno 27 000 počítačů. ARPANET jako takový skončil roku 1990. V roce 1991 došlo v CERNU k nasazení WWW, jež byl navržen roku 1989 Timem Bernsem-Lee, který společně s Robertem Cailliauem roce 1990 publikovali koncept hypertextu. Internet se přibližně do podoby, v jaké ho známe dnes, dostal v roce 1993, kdy byl navržen Marcem Andreessenem první WWW prohlížeč Mosaic. K nevyhnutelné komercializace Internetu pak došlo roku 1994. [2]

Nicméně nezůstává jen u pevného Internetu. Díky možnostem GSM sítě se začínají bezdrátově přenášet první multimediální zprávy. Díky rozmachu pevného Internetu a rychlé progresi na poli mobilních telefonů, je potřeba sdílení multimediálních zpráv stále větší. Taktéž vznikají požadavky na Internet dostupný odkudkoliv. Proto se další vývoj směřuje převážně na bezdrátový přenos dat v podobě sítí třetí generace, které se začínají využívat od roku 2000. Nicméně požadavky společnosti na kapacitu datové sítě jsou rok od roku vyšší a vyšší, zejména kvůli dostupnosti mobilních zařízení podporujících mobilní připojení k Internetu a dostupné ceně od jeho poskytovatelů. Vývoj se tak musí posouvat stále dál a dál, neboť nároky uživatelů jsou stále vyšší a jejich počet roste každým dnem. Dnes se už v souvislosti s mobilním Internetem zdaleka nejedná jen o uživatele mobilních telefonů, či notebooků s přenosným modemem poskytujícím mobilní Internet. Nýbrž i o televize, chytré domácí spotřebiče a spoustu dalších přístrojů pod souhrnným názvem IoT (Internet of Things). Proto se vývoj posunul k technologiím jako LTE a později dále do sítí čtvrté generace, LTE-A (LTE-Advanced), jež umožňuje skládání frekvencí, tzv. carrier aggregation, za účelem větší přenosové kapacity. Nároky na mobilní přenos dat stále rostou. Tento fakt jen podtrhuje skutečnost, že s každou generací mobilních technologií je pro jejich přenos uvolněno další přenosové pásmo. V dnešní době je mobilní Internet naprosto normální záležitostí a nikterak se neliší od Internetu pevného. V České republice je dnes situace taková, že vysokorychlostní mobilní Internet je dostupný v každém větším městě a je jím pokryta většina republiky s výjimkou některých horských oblastí, kde se ovšem zdaleka nedá hovořit o jeho absenci, nýbrž jen o nedostatečně silném signálu. Dnes nejnovější technologie, LTE-A, je u nás zatím dostupná jen v několika krajských městech. Každopádně vývoj mobilních datových sítí rozhodně není u konce a nároky na přenos stále rostou. Vývojářům tak nezbyvá, než se stále snažit maximalizovat využití přenosového pásma, přenosovou kapacitu a pokrytí signálem pro nasycení potřeb společnosti.

7.2 Internet v České republice

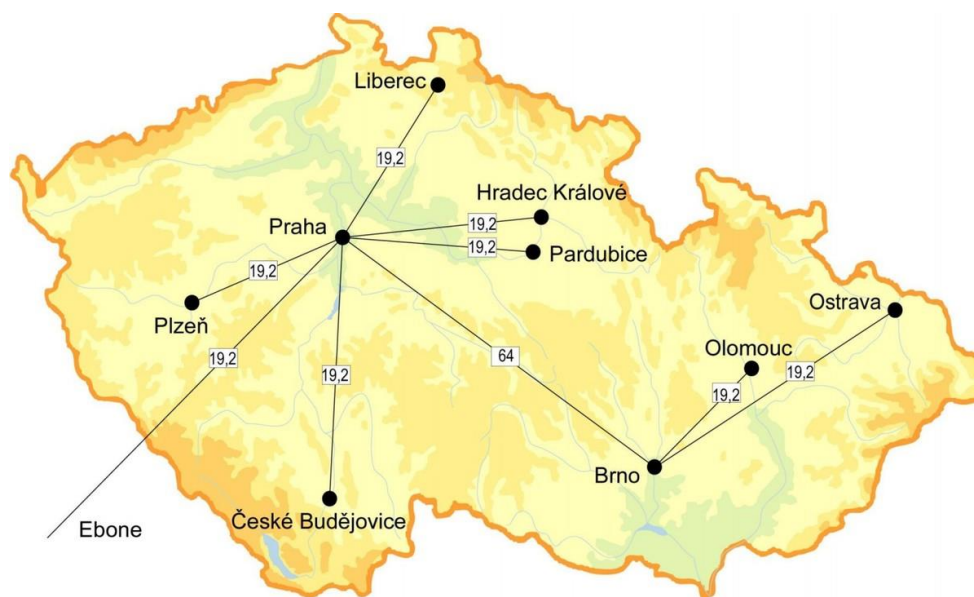
Historie Internetu v Čechách si prošla za svých téměř třicet let existence značným vývojem. Zásadním krokem bylo vytvoření návrhu první celorepublikové páteřní sítě, zvané CESNET, a to již v roce 1991.

7.2.1 Historie internetu v České republice

První pokusy o připojení ovšem sahají ještě před CESNET. Konkrétně do počátků roku 1990. Jelikož tou dobou v tehdejším Československu neexistovala žádná pevná linka, vyjma telefonních, tak se první pokusy o vytvoření počítačové sítě děly pomocí komutovaných linek veřejné telefonní sítě. První síť fungující na pevných okruzích, která se do Čech dostala, byla EARN (European Academic and Research Network) a stalo se tak na podzim roku 1991. Historicky prvním českým uzlem byl střediskový počítač v Oblastním Výpočetním Centru ČVUT v Praze. Přenosová rychlost linky z pražského uzlu do rakouského Linze byla 9600 bps. Došlo tak k neoficiálnímu připojení Československa

k Internetu. K tomu oficiálnímu pak došlo dne 13.2.1992, kde jinde, než na pražském ČVUT. [3]

Počátky celorepublikové páteřní sítě se datují do roku 1991. Tato síť měla propojovat veškerá tuzemská akademická centra a dále by pak Internet měli rozvádět metropolitní sítě. Na základě tohoto návrhu pak vznikly dva projekty na vybudování národních páteřních sítí, české a slovenské, přičemž propojení těchto dvou páteří bylo součástí projektu české strany. Jednalo se o spoj Praha-Bratislava. Původní název českého projektu byl FESNET (Federal Education and Scientific Network), na který ministerstvo školství v roce 1992 uvolnilo 20 milionů korun. Již v průběhu roku 1992 se pak název změnil na CESNET (Czech Educational and Scientific Network). Na Slovensku se souběžně budovala síť SANET (Slovak Academic Network). Z počátku byla síť CESNET realizována hvězdicovou topologií se středovými uzly v Praze a v Brně, které byly propojeny linkou o rychlosti 64 kbps. K těmto dvěma uzlům byli připojovány další uzly umístěné v našich akademických městech. Postupně byly připojeny České Budějovice, Hradec Králové, Liberec, Plzeň a další. V březnu roku 1993 byly uzly CESNETu rozmístěny již v 11 městech. Sada z těchto připojení byla realizována pomocí pronajaté telefonní linky. Přenosová rychlost, krom již zmíněné linky Praha-Brno, byla 19,2 kbps.



Obrázek 1: Topologie prvotní sítě CESNET[4]

Postupem času byla většina uzlů propojena dvěma nezávislými spoji, pro zachování konektivity v případě výpadku. Dále se začal rozrůstat počet linek směřujících za české hranice. Z původně jediného spoje z Prahy do Linze byla vytvořena linka Praha-Vídeň. Později přibýlo spojení Praha-Amsterdam a rozpadem Československa vznikl spoj Praha-Banská Bystrica. Na přelomu roku 1994 a 1995 byla infrastruktura CESNETu v podstatě vybudována a pozornost se tak přesunula především na navyšování přenosových rychlostí a s tím související zvyšování spolehlivosti. Následující tabulka obsahuje rychlosti

některých spojů CESNETu v lednu roku 1995. Většina ostatních linek fungovala na rychlosti 19,2 kbps. [3]

Spoj	Přenosová Rychlost
Praha-Amsterdam	512 kbps
Praha-Vídeň	128 kbps
Praha-Brno	128 kbps
Praha-Liberec	128 kbps
Liberec-Ostrava	128 kbps
Brno-Olomouc	128 kbps
Olomouc-Ostrava	128 kbps
Praha-Plzeň	64 kbps
Praha-České Budějovice	64 kbps
Plzeň-České Budějovice	64 kbps

Tabulka 1: Rychlosti CESNETu [3]

Původně vznikl CESNET jako páteří síť, jež měla sloužit akademickým účelům. Ministerstvo školství, jakožto zřizovatel CESNETu, rozšířilo jeho mandát i na komerční scénu. To znamenalo, že nevyužitou kapacitu sítě mohli využívat různé ziskové i neziskové organizace a ze získaných prostředků pak mohl CESNET financovat svůj rozvoj a provoz. Tím se stal CESNET současně i poskytovatelem Internetu. Nebyl ovšem jediným. První čistě komerční firmou, která začala zprostředkovávat připojení k Internetu, se stala společnost COnet, která začala provozovat síť CZnet, jež vznikla z pražského uzlu sítě EUnet. Následující obrázek poukazuje na měsíční poplatky v Kč/měsíc v říjnu roku 1994, za připojení k Internetu pevnou linkou. [3]

	9,6 kbps	14,4 kbps	19,2 kbps	64 kbps	
CESNET pro ziskové organizace	23 470,-	29 770,-	33 970,-	56 385,-	(s 5% DPH)
CESNET pro neziskové organizace	14 020,-	18 220,-	22 420,-	34 500,-	(s 5% DPH)
COnet	45 000,-			120 000,-	(bez 5% DPH)

Obrázek 2: Cena připojení přes pevnou linku v roce 1994 [3]

Další obrázek pak zobrazuje na poplatky za připojení jediného počítače přes komutovanou linku s přenosovou rychlostí 14,4 kbps ve stejném roce.

	měsíční paušál	za dobu připojení
CESNET pro ziskové organizace	2 940,-	neúčtuje se
CESNET pro neziskové organizace	1 470,-	neúčtuje se
COnet	1 000,-	12,- za minutu

Obrázek 3: Cena připojení jednoho počítače v roce 1994 [3]

Přelomem v rozmachu připojení k Internetu v česku byl rok 1995. Do tohoto roku byla na tomto poli výrazná absence komerční sféry, což se na přelomu let 1995 a 1996 změnilo. Do této doby totiž trval monopol společnosti Eurotel, který se mimo jiné vztahoval

i na veřejné služby přenosu dat. Pádem tohoto monopolu na sklonku roku 1995 se otevřelo široké pole pro komerční využití Internetu a s tím spojený rozmach. To jen potvrzuje meziroční procentuální růst uzlů připojených u nás k Internetu. Ten v roce 1995 činil 104% a v následujícím roce dosáhl téměř 105%. [3]

Mohutný rozvoj se ale netýkal pouze komerční oblasti. V roce 1994 se Česká republika zapojila do projektu TEN-34 (Trans European Network Interconnect at 34 Mbps). Cílem projektu bylo vybudovat vysokorychlostní celoevropskou síť, která by propojovala vědecké a univerzitní síť rychlostí až 34 Mbps. V České republice byl projekt TEN-34 CZ schválen ministerstvem školství dne 3.října 1996. Již koncem tohoto roku byl uveden do provozu první radioreleový okruh o rychlosti 34 Mbps z Prahy do Brna, jež byl dodán českými radiokomunikacemi. Dalších šest okruhů pak následovalo počátkem roku 1997. Byla zvolena hvězdicová topologie s centrálními uzly v Praze a v Brně, jež sloužili jako přípojné body pro ostatní napojené uzly. Páteř TEN-34 Cz byla vybudována na nativní technologii ATM. Zároveň se počátkem roku 1997 začal převádět síťový provoz vysokých škol a ústavů Akademie věd ČR ze sítě CESNET na podstatně výkonnější TEN-34 CZ. Bylo třeba zajistit oddělení provozu komerčních a akademických sítí, které doposud využívaly jedinou síť CESNET a to tak, aby vznikající TEN-34 CZ nemohla být využívána komerčními sítěmi. Proto bylo rozhodnuto, že všechny síť TEN-34 CZ se stanou součástí samostatného autonomního systému, jenž bude mít vlastní adresový prostor. Roku 1997 byly uvedeny do provozu další mezinárodní datové okruhy, dodané společností SPT Telecom. Konkrétně se jednalo o linky Praha – Mnichov a Praha – Stockholm, každá o kapacitě 2 Mbps. Tím byl zajištěn přístup uživatelů TEN-34 CZ do vnějšího internetu prostřednictvím sítě EBONE. Začátkem srpna tohoto roku byl pak zahájen provoz dalšího mezinárodního datového okruhu Praha – Frankfurt o kapacitě 34 Mbps, dodaným formou Global One Communications. Zprovozněním tohoto okruhu se stal CESNET oficiálním členem celoevropského projektu TEN-34. v roce 1998 se pak k síti TEN-34 CZ začali připojovat další města, konkrétně Ústí nad Labem, Zlín, Cheb a Karviná s Opavou. V červenci tohoto roku pak do vzrostla rychlost páteřní linky Praha-Brno z 34 Mbps na 155 Mbps a byla navýšena kapacita zahraničních spojů na požadovaných 34 Mbps. V roce 1998 dále došlo k připojení významnějších knihoven a fakultních nemocnic. Celoevropský projekt TEN-34 však dne 30.11.1998 skončil a navázal na něj projekt QUANTUM, jež měl vybudovat síť o přenosové kapacitě 155 Mbps. Sdružení CESNET se stalo členem projektu QUANTUM již v roce 1998. [3]

Jak již bylo řečeno, projekt QUANTUM se stal následníkem TEN-34. V rámci projektu se dále pracovalo na zvýšení spolehlivosti a bezproblémovém chodu sítě TEN-155. V roce 1999 došlo k vylepšení spojení do zahraničí, kdy byly uvedeny v chod dvě nezávislé linky, jedna s napojením na evropskou TEN-155, druhá s připojením do USA přes síť EBONE. Celková kapacita zahraničních linek tak vzrostla z 34 Mbps na 79 Mbps. Dne 10. února 2000 byl zahájen testovací provoz linky s rychlostí 2,5 Gbps na trase Praha - Brno. Kromě CESNETu a jím provozované sítě TEN-155 se na české scéně objevilo množství dalších sítí a poskytovatelů Internetového připojení. Nicméně tito poskytovatelé se zaměřovali

jen na specifické připojení, například DirectNet s kapacitou 2 Mbps do New Yorku, či Global One s rychlostí 34 Mbps ATM do sítě Deutsche Telecom a 4 Mbps do páteřní sítě Global One (Pennsauken a Londýn). Takovýchto sítí bylo na českém trhu celá řada. K 31.1.2000 bylo v Čechách více než 350 poskytovatelů přístupu k Internetu. [3]

Vývoj Internetu můžeme sledovat i z jiné stránky. Jedním ze zajímavých čísel může být statistika nárůstu počtu zaregistrovaných domén druhého řádu. Takže pro představu: 1.3.1999 byl počet těchto domén roven 25 240. V průběhu roku 1999 počet domén roste přibližně lineárně s měsíčním přírůstkem cca 2000 domén, s výjimkou přelomu roku 1999 a 2000, kdy byly zrušeny tisíce domén těm majitelům, kteří odmítali zaplatit poplatek. Po následném uvolnění zrušených domén 4. února 2000 nabral průběh registrace opět přibližně lineárního charakteru (ovšem poněkud strmějšího) a počet zaregistrovaných domén v České republice se k dni 11.4.2000 pohyboval okolo 53 400. [3]

Internet se v Čechách velice rychle rozšířil a z počátků se začala psát novodobá historie. V roce 2001 začal v České republice platit nový zákon o telekomunikacích, díky němuž k částečnému odebrání monopolu Českému Telekomu. Síť CESNET2 se propojila gigabitovou technologií s transevropskou sítí GÉANT, která byla tou dobou nejrychlejší akademickou sítí na světě. Do České republiky byl zaveden jeden okruh o kapacitě 10 Gbps a další dva okruhy o rychlosti 2,5 Gbps. Dalším velkým milníkem v Čechách, a zároveň celosvětově, je rok 2012, kdy počet pod domén .cz překročil 1 milion. Dále podle Českého statistického úřadu má k dispozici osobní počítač více než dvě třetiny domácností, z nichž 62% je připojeno k internetu. Počet uživatelů Internetu v ČR překročil 6 milionů. Globálně pak došlo k vyčerpání adres IPv4 v RIPE NCC pro Evropu a blízký východ. Započalo také rozšiřování domén nejvyšší úrovně DNS. V roce 2013 CESNET navyšuje rychlost a nasazuje do páteřní sítě 100 Gbps a Česká republika se připojuje do celosvětové sítě LHC open Network Environment (LHCONE). [4, 5]

7.2.2 Současný stav mobilního internetu v České republice

V současné době je v Čechách na většině území dostupný 2G internet, konkrétně technologie EDGE. Operátoři se chlubí pokrytím až 95% povrchu republiky a 99,5% populace. Obdobně je tom pokrytí LTE signálem, které zaznamenalo velkého rozšíření s využíváním 800MHz pásma. O pokrytí a nabídku mobilního internetu se v Čechách starají převážně tři velcí operátoři. Telefónica O2, T-Mobile a Vodafone, kteří disponují vlastní sítí na které dané technologie provozují.

V České republice se pro přenos LTE signálu využívají pásma 800MHz, 1800MHz, 2100MHz a v malé míře uvnitř velkých metropolí i 2600MHz. Šírka pásma pak bývá zmenšována z původních 20MHz na 10MHz, nebo 5MHz z důvodu navýšení přenosové kapacity, neboť ve venkovských lokalitách musí často jeden vysílač pokrývat hned několik obcí.

Ve velkých městech, konkrétně v Praze a Mladé Boleslavi začalo v roce 2017 testování 4G sítě LTE-Advanced, operátory nazývané LTE+. Dnes již tuto síť operátoři T-Mobile a Vodafone na několika místech v České republice provozují. Současný stav je dále popsán v kapitole č. 5.8 Mobilní operátoři v České republice a v praktické části práce.

7.3 Mobilní síť první generace

Sítě první generace, tzv. 1G sítě, začínají vznikat již v 80. letech dvacátého století. Nejedná se o datové sítě. Soustředí se výhradně na analogový přenos hlasu. Všechny systémy zapadající do 1G se vyznačují nízkou kvalitou přenosu, ale také velice špatným zabezpečením proti odposlechu a zneužití. Dále není možný mezinárodní roaming, pro neslučitelnost odlišných systémů, jež se využívali v různých zemích. Z těchto důvodů se jako první v Evropě domluvilo Finsko, Dánsko, Norsko a Švédsko a vytvořili jednotný standart NMT (Nordic Mobile Telephone), který byl spuštěn roku 1981 a později rozšířen dále do světa. V roce 1991 byl NMT 450 zaveden také v České republice a to společností Eurotel. Číslovka 450 označuje frekvenční pásmo 450 MHz, které byla zvoleno pro šíření signálu z důvodu lepšího ohybu rádiových vln. Nevýhodou ovšem je relativně nízká kapacita sítě. Původně síť využívala frekvenčního pásma 900 MHz. Později se na frekvence kolem 900 MHz přesunul systém GSM. Systém NMT využívá frekvenční modulaci FM a metodu mnohonásobného přístupu FDMA. Šířka kanálu rozšířenější varianty NMT 450 je 25 kHz s počtem kanálů 180. Vysílací pásmo základnové stanice je 463-467,5 MHz, vysílací pásmo mobilní stanice je 453-457,5 MHz. V USA je coby systém sítě první generace používán AMPS (Advanced Mobile Phone System/Standart) pracujícím ve frekvenčním pásmu 800 MHz. [6]

7.4 Mobilní síť druhé generace

Sítě druhé generace již spadají do rodiny datových sítí. Rozdílovým faktorem oproti sítím první generace je možnost přenášet data, jako jsou například SMS zprávy, obrázky, či jiné multimediální zprávy. Dalším důležitým rozdílovým faktorem pak je přechod na digitální způsob přenosu. [8]

Impulzem k vývoji sítí druhé generace je neschopnost podpory roamingu sítí první generace. Proto roku 1982 Konference evropských práv a pošt CEPT vytváří standardizační skupinu Groupe Spécial Mobile, GSM, s cílem vytvořit standardy pro nový digitální systém, kompatibilní ve všech zemích Evropy a světa. V roce 1989 přebírá zodpovědnost za standardizaci Evropský telekomunikační normalizační institut. Následně je roku 1990 specifikace sítě GSM prohlášena standardem. Později byla síť přejmenována na Global System for Mobile Communication. [7]

Technologií pracujících na sítích druhé generace je celá řada. Nicméně je nutno říci, že i když síť podporuje datový přenos, o mobilním Internetu je možno mluvit až v souvislosti

s technologiemi vycházejícími z původního GSM. Následující tabulka obsahuje sítě druhé generace a technologie na nich nasazené, jež jsou podrobněji popsány níže.

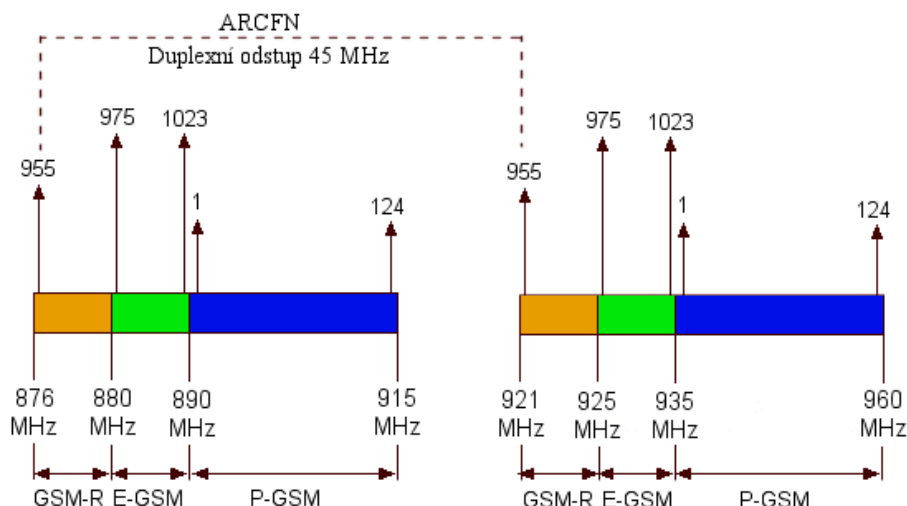
Označení generace	2G	2,5G	2,75G
Název technologie	CSD, HSCSD	GPRS	EDGE CDMA 1xRTT
Název mobilní sítě	GSM	GSM	GSM CDMA 2000

Tabulka 2: Technologie sítí druhé generace

7.4.1 Sít' GSM

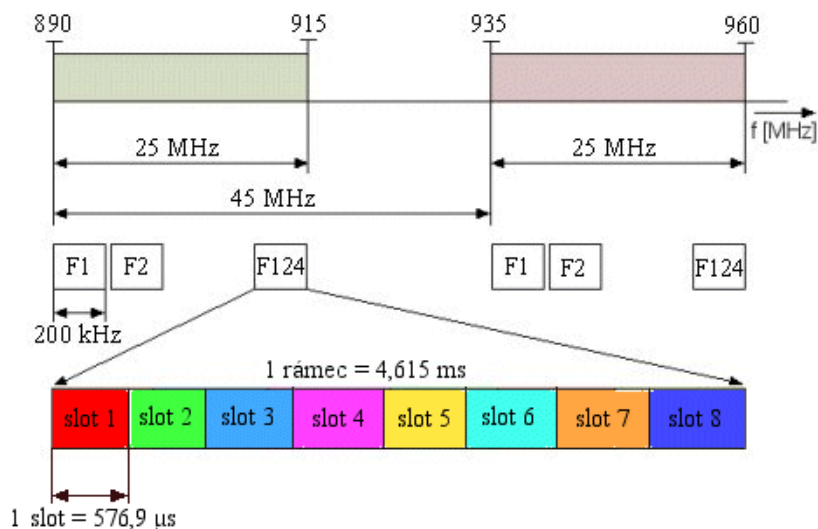
Komerční provoz sítí GSM byl zahájen v roce 1991. Standardy této sítě převzaly nejen Evropské země, ale také Austrálie nebo Jižní Afrika a další. V České republice byl provoz GSM spuštěn roku 1996 společností Eurotel. Jak již bylo zmíněno, jedná se o digitální síť, jejichž hlavní prioritou zůstává přenos hlasu. Nicméně jednotlivé technologie umožňují také datový přenos, či zaslání SMS zpráv. Dále poskytují služby zvyšující komfort uživatelů, jako jsou zobrazování čísla volajícího, hlasová schránka, přesměrování hovorů a mnoho dalších. Digitalizace také přináší zlepšení kvality zvuku, ztěžuje odposlech hovorů a umožňuje jejich šifrování.

System GSM má vyhrazena dvě rádiová pásma o šířce 2x25 MHz. Pro vzestupnou trasu (vysílají mobilní stanice) je to 890-915 MHz a pro trasu sestupnou (vysílají základnové stanice) je to 935-960 MHz. System poskytuje plně duplexní provoz ve formě frekvenčního duplexu FDD s duplexním odstupem 45 MHz. Nosné vlny mají vzájemný odstup 200 kHz, takže v pásmu 25 MHz je jich celkem 125. Kanál č. 0 je oddělovací a nepoužívá se pro přenos hovorů, využitelných je tedy 124 duplexních kanálů. Každá dvojice uplink/downlink je potom označena absolutním číslem rádiového frekvenčního kanálu ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number). U systému GSM nabývá ARFCN hodnot 1-124. Kapacita frekvenčního pásma v oblasti 900 MHz se ukázala nedostačující a proto bylo rozhodnuto o použití dalších kmitočtových pásem. Vznikl tak systém nazývaný GSM 1800 (DCS 1800), který je založen na standardech GSM a je koncipován pro nasazení v buňkách malých rozměrů. Liší se především v použitém kmitočtovém pásmu (1710-1785/1805-1880), které poskytuje kapacitu 375 rádiových kanálů (ARFCN 512-885). Šířka přiděleného pásma je tedy 75 MHz a duplexní odstup 95 MHz. V USA je systému PCS 1900 (DCS 1900, GSM 1900) přiděleno pásmo 1850-1910/1930-1990, což znamená že šířka pásma je 60 MHz a odstup 80 MHz. Použit lze 300 rádiových (ARFCN 512 -810) a 2400 uživatelských kanálů. Dále vznikla novější varianta GSM, označená E-GSM (Extended-GSM), kde je rozšířeno frekvenční pásmo standardní P-GSM (Primary-GSM) na 880-915/925-960 MHz (ARFCN jako u P-GSM a navíc 975-1023) a zmínit je třeba i variantu GSM-R (Railway GSM), kterou odsouhlasili provozovatelé železnic jako jednotný komunikační systém pro použití v železniční dopravě. Pro tuto službu ETSI vymezila pásmo 876-880/921-925 MHz (odpovídá ARFCN 955-974). [9]



Obrázek 4: GSM - rozdělení frekvencí [9]

Na každém rádiovém kanálu je metodou TDMA vytvořeno 8 časových slotů, přičemž každý interval představuje 1 uživatelský kanál. Celkem je tedy u standardního systému GSM 900 k dispozici $8 \times 124 = 992$ duplexních kanálů (3000 u varianty GSM 1800). To ovšem platí při zdrojovém kódování "plnou rychlostí", tzv. full rate. Zavedením dokonalejšího a účinnějšího zdrojového kódování half rate je potom možno docílit přenosu 16 hovorových kanálů na jedné nosné vlně. Uvedený způsob přenosu s kombinovaným frekvenčním a časovým multiplexem se pak označuje zkratkou FDMA/TDMA. [9]



Obrázek 5: GSM - TDMA [9]

Každý digitalizovaný hovorový kanál má po zakódování v kodéru zdroje přenosovou rychlost 13 kbit/s. Ta se dále po přidání ochranných bitů, prováděném při kanálovém kódování, zvýší na 22,8 kbit/s. Sdružením takových osmi kanálů a přidáním dalších pomocných a signalizačních bitů dojdeme k celkové přenosové rychlosti signálu připadajícího na jednu frekvenci o hodnotě 270,883 kbit/s. Odpovídající perioda jednoho bitu je potom 3,692 μ s a efektivní přenosová rychlost na jeden kanál 33,854 kbit/s. [9]

7.4.2 Technologie CSD a HSCSD

Technologie CSD (Circuit Switched Data) a HSCSS (High Speed circuit Switched Data) jsou technologiemi fungujícími na síti GSM a využívajícími metody přepojování okruhů. Garantují tak propustnost a rychlost připojení. Nicméně z dnešního pohledu dosahují velice pomalých přenosových rychlostí. Pro CSD je efektivní přenosová rychlost jednoho kanálu pouhých 9,6 kbps. Z původních 33,8 kbps, kterými disponuje síť GSM, je potřeba odečíst kapacitu pro funkčnost sítě, která činí 22,8 kbps, a kapacitu 1,4 kbps pro udržení kanálu a opravy chyb. Připojení probíhá po stejné lince jako hlasová kanál, CSD je tak podobné vytáčenému připojení. Velkou nevýhodou vyplývající z přepojování okruhů je vyhrazení kanálu po celou dobu připojení a to i v případě, že nejsou přenášena data. [10]

Technologie HSCSD, kterou v České republice provozoval pouze Eurotel, má zvýšenou přenosovou rychlost jednoho kanálu na 14,4 kbps, především kvůli menší nutnosti kapacit na provoz a opravu spojení. Nespornou výhodou proti CSD je pak možnost vytváření až čtyř přenosových kanálů. Maximální přenosová kapacita tak vzrostla na 43,2 kbps pro download a 14,4 kbps pro upload. [10]

7.4.3 Technologie GPRS

Technologie GPRS (General Packet Radio Service) je uvedena do provozu roku 1997. Jako taková znamená mohutný a důležitý krok kupředu. Zásadním rozdílem oproti technologiím CSD a HSCSD je tok dat pouze tehdy, je-li na ně vytvořen požadavek. Přenosový kanál tak není neustále otevřen a nejedná se již o přepojování okruhů, nýbrž přepojování paketů. GPRS je podporována celou řadou zařízení, která lze rozdělit do tří tříd, třídy A, B a C. Třída A umožňuje simultánní užívání GPRS a hlasového přenosu, třída B poskytuje možnost v jednom okamžiku využívat pouze datový, nebo hlasový přenos a zařízení třídy C poskytují pouze datový přenos. Maximální přenosová rychlost dosažitelná technologií GPRS je 80 kbps pro download a 40 kbps pro upload. [10]

Přenosová rychlost ovšem záleží hned na několika faktorech. Informace jsou v síti posílány v packetech, ty putují v timeslotech, které jsou částmi jednotlivých kanálů, tedy přenosových frekvencí, na kterých probíhá komunikace s mobilním zařízením. GPRS používá čtyři kódová schémata CS-1 až CS-4 s modulací GMSK, kde rychlost jednoho timeslotu se dle schématu pohybuje od 8 kbps do 20 kbps, viz tabulka č. 4. [10]

Kódové schéma	Rychlost [kbps]
CS-1	8
CS-2	12
CS-3	14,4
CS-4	20

Tabulka 3: Kódová schémata GPRS

Každý přenosový kanál obsahuje osm timeslotů. V současné době dokáže většina zařízení současně využívat pouze pět timeslotů, ovšem jsou i přístroje schopné najednou využít timeslotů šest. Počet timeslotů, které je schopno zařízení najednou využívat je společný pro download a upload. Ovšem kolik jich bude využito, ve skutečnosti závisí na operátorovi, respektive na vytížení sítě, ale také na tom, kolik jich je zařízení schopno využít. Počet využitelných timeslotů u přístroje udává tzv. třída GPRS. Ta říká, s kolika timesloty současně dokáže přístroj pracovat, viz tabulka č. 5. [10]

Třída	Downlink TS	Uplink TS	Současně TS
1	1	1	2
2	2	1	3
3	2	2	3
4	3	1	4
5	2	2	4
6	3	2	4
7	3	3	4
8	4	1	5
9	3	2	5
10	4	2	5
11	4	3	5
12	4	4	5
30	5	1	6
31	5	2	6
32	5	3	6
33	5	4	6
34	5	5	6

Tabulka 4: Třídy zařízení (multislot class) GPRS

Dalším technologickým faktorem ovlivňujícím rychlost přenosu signálu, je způsob kódování signálu, který je odvislý od lokality, neboť v různých místech je odlišná kvalita signálu, a proto se využívají odlišné metody kódování. [10]

7.4.4 Technologie EDGE

Technologie EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution), také nazývána EGPRS, je nadstavbou mateřské GPRS. Má s ní tedy mnoho společného. Jedná se o technologii taktéž fungující na síti GSM. Reálně je ve větší měřítku EDGE nasazena v roce 2004. S mateřskou GPRS je EDGE zpětně kompatibilní.

Proti svému předchůdci však přináší mnohá vylepšení. Stejně jako GPRS vybírá EDGE v závislosti na síle signálu, respektive na odstupu signálu od šumu, z několika kódových schémat. První čtyři využívají stejnou modulaci jako GPRS a poskytují i podobné rychlosti.

Dalších pět pak používá modulaci 8-PSK, viz tabulka č. 5. Modulace 8-PSK, neboli osmistavová fázová modulace, umožňuje za stejný časový interval přenést až třikrát více dat, než GMSK. Rychlost jednoho timeslotu se tím pádem z původních 20 kbps zvýšila na necelých 60 kbps. Pro představu při konfiguraci 4+1 timeslot, neboli čtyři timesloty pro download a jeden pro upload, lze dosáhnout rychlosti 236 kbps pro download a 59 kbps pro upload. Ovšem reálně se v praxi rychlost při 4 timeslotech pro download pohybuje 130-170 kbps, v závislosti na kvalitě signálu a prostředí, ve kterém se šíří. [10]

Kódové a modulační schéma EDGE (MCS)	Rychlost (Kbps/slot)	Modulace
MCS-1	8,80	GMSK
MCS-2	11,2	GMSK
MCS-3	14,8	GMSK
MCS-4	17,6	GMSK
MCS-5	22,4	8-PSK
MCS-6	29,6	8-PSK
MCS-7	43,8	8-PSK
MCS-8	54,4	8-PSK
MCS-9	59,2	8-PSK

Tabulka 5: Kódové schéma EDGE

7.4.5 Síť CDMA2000

Síť CDMA2000 je nástupcem původní CDMAone, také nazývané IS-95. Jedná se o síť používanou převážně v USA a západní Asii. Oproti GSM síti nevyužívá CDMA síť TDMA kódování, nýbrž CDMA (Code Division Multiple Access). Jedná se o metodu digitálního multiplexování, tedy přenosu vícero digitálních signálů prostřednictvím jediného sdíleného média. Signály se pak od sebe rozlišují odlišným kódováním, tzv. vícenásobný přístup (Multiple Access). CDMA tak povoluje několika radio stanicím sdílet a využívat stejné frekvence s tím, že všechny stanice mohou být neustále aktivní. Kapacita sítě striktně nevyhrazuje počet aktivních stanic. CDMA2000 je zpětně kompatibilní s původním CDMAone a dnes je standardizováno 3GPP2. [11]

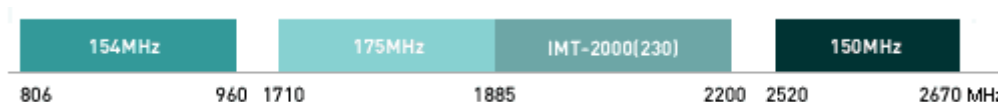
Původní CDMAone je do komerčního využití uvedena v roce 1995 v Hong Kongu. Následně roku 1996 v Jižní Koreji a ve 14 městech v USA. Roku 1997 je zveřejněna nová specifikace IS-95B, umožňující přenos datových paketů rychlostí 64 kbps a v USA je CDMAone nasazeno již ve více než 100 městech. Postupná migrace na síť CDMA2000 nastává v roce 2001. Obecně je CDMA2000 považována za síť třetí generace, nicméně na ní funguje technologie 1xRTT (X1, 1X), která specifikací spadá do technologií generace druhé, tzv. 2,75G. [11]

7.4.6 Technologie 1xRTT

Jedná se o základní protokol rádiového rozhraní pro CDMA2000, nazývaný též 1X, nebo X1. RTT, neboli Radio Transmission technology, vychází z původní technologie IS-95, která fungovala na síti CDMAone. Využívá stejné technologie i rádiové pásmo, stejně tak využívá stejných duplexních párů. Šířka kanálu zůstává rovněž nezměněna, a to 1,25 MHz. 1X však téměř zdvojnásobuje přenosovou kapacitu IS-95 ve směru ze základnové stanice k mobilnímu zařízení přidáním 64 kanálů ortogonálních k původním 64. Teoreticky tak 1X dosahuje rychlosti až 153 kbps, reálně potom 70-110 kbps. Dalším přínosem 1X proti IS-95 je změna na linkové vrstvě. Konkrétně protokoly pro řízení přístupu k médiu a řízení linky s podporou QoS. [11]

7.5 Mobilní sítě třetí generace

Na vývoji systémů třetí generace začali mezinárodní telekomunikační orgány již v devadesátých letech. První iniciativy ITU se tak objevili v roce 1986, tedy ještě před dokončením standardizace 2. generace. Specifikací, která vymezuje požadavky na technologie třetí generace je IMT-2000 (International Mobile Telecommunications for the year 2000). Obecně lze říci, že s nástupem 3G se přeneslo zaměření na přenos hlasu na přenos dat. IMT-2000 tak vymezuje množství charakteristik, jež systémy třetí generace musí splňovat. Kromě široké nabídky telekomunikačních služeb, jako hlas, data, multimédia a internet, to jsou celosvětová kompatibilita, tedy mezinárodní roaming a spolupráce zařízení různých výrobců, včetně integrace satelitních a pozemních systémů z důvodu dosažení globálního pokrytí. Dále vysoká rychlost přenosu dat. Konkrétně se jedná o 2 Mbps pro uživatele s malým stupněm mobility, tedy obytné čtvrti a centra měst, 384 kbps pro mobilního uživatele s omezenou rychlostí pohybu a 144 kbps pro mobilního uživatele s vysokou rychlostí pohybu. Dále musí technologie podporovat jak přepojování paketů, tak přepojování okruhů. Musí se vyznačovat vysokou spektrální účinností a být dostupné nejrůznějšími přístupovými metodami a rádiovými rozhraními, jako LAN, bezdrátové připojení, mobilní připojení, satelitní připojení. Velkým milníkem ve vývoji je pak rok 1992, kdy WARC (World Administrative Radio Conference), později WRC, vymezuje kmitočtové pásmo 230 MHz sítím třetí generace. Jedná se o pásma 1885-2025 MHz a 2110-2200 MHz, kde části 1980-2010 MHz a 2170-220 MHz jsou určeny pro družicovou část systému. Na konferenci WRC v roce 2000 pak byla pro využití ve 3G sítích schválena další pásma, konkrétně 1710-1885 MHz a 2520-2670 MHz. Dále bylo rezervováno pásmo 806-960 MHz z předpokladu velkého zájmu o mobilní komunikaci. [12]



Obrázek 6: Frekvenční pásmo 3G sítí [12]

Na jednání ITU v roce 1999 pak došlo ke schválení kompletní sady specifikací rádiových rozhraní pro IMT-2000, z původních deseti návrhů byly vybrány tyto:

IMT-DS (Direct Spread) - UTRA FDD (W-CDMA) - Evropsko/Japonský návrh

IMT-MC (Multi Carrier) - cdma2000 - USA

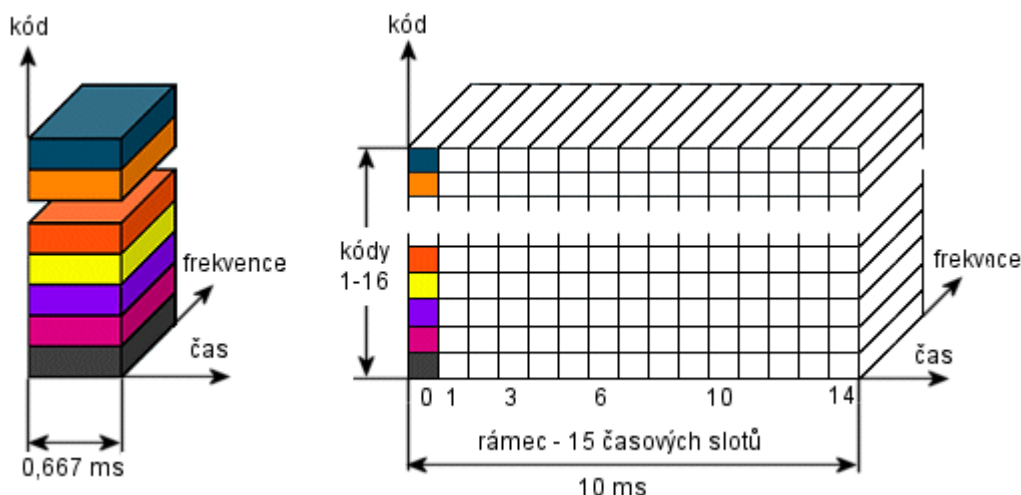
IMT-TC (Time Code) - UTRA TDD (TD-CDMA) - Evropsko/Japonský návrh

IMT-SC (Single Carrier) - UWC-136 - USA

IMT-FT (Frequency Time) - DECT- Evropa [12]

7.5.1 Technologie UMTS

Technologie UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) je implementována do existujících sítí druhé generace a primárně slouží pro datový přenos. Oproti systémům druhé generace má několikanásobně vyšší kapacitu sítě a rychlejší odezvu. Jelikož pro sítě třetí generace bylo zvoleno CDMA (Code Division Multiple Access) kódování, což je přístupová metoda kódového dělení, využívá jej i UMTS.



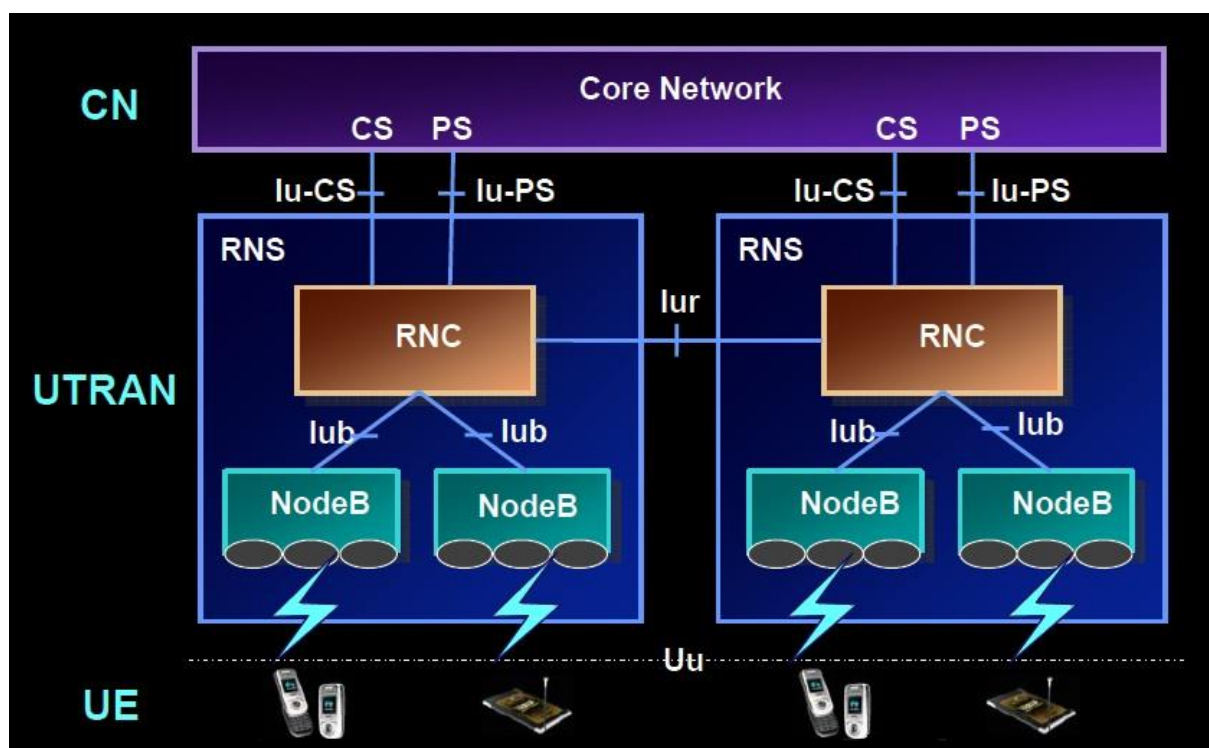
Obrázek 7: Schéma kódování CDMA [14]

Konkrétně se jedná o variantu WB-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), jež je širokopásmovou přístupovou metodou. Jelikož však v CDMA kódování neexistuje časové dělení, používají všichni uživatelé přidělené frekvenční pásmo po celou dobu spojení. K rozeznání uživatelů využívajících jedno frekvenční pásmo se tak používá přidělený unikátní binární kód. Spektru se pak skládá z jednoho párového pásma z rozsahu 1920-1980 MHz a 2110-2170 MHz. Dále pak z jednoho nepárového pásma z rozsahu 1910-1920 MHz a 2010-2025 MHz. Teoretická maximální přenosová rychlost je 2 Mbps.

WB-CDMA využívá dvě duplexní metody. FDD (Frequency Division Multiplex) pro párové pásmo a TDD (Time Division Multiplex) pro pásmo nepárové. UMTS FDD je síť umožňující hovory a datové přenosy současně. Není tak rychlá, jako UMTS TDD, maximální rychlost směrem k uživateli je 384 kbps. Výhodou tohoto řešení je kompatibilita s 3G sítěmi v jiných zemích. UMTS TDD je čistě datová síť, kde rychlost dat k uživateli je okolo 800 kbps. Oproti předchozí je mnohem rychlejší, ale také stabilnější, a má rychlejší odezvu. [13]

Na nejvyšší úrovni bude použita ATM páteřní síť CN (Core Network), dále pak směrem k uživatelům radiová přístupová síť UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network), a konečně uživatelé budou přistupovat k UMTS síti pomocí uživatelských terminálů UE (User Equipment). Mezi těmito entitami byly definovány rozhraní Iu (mezi CN a UTRAN) a Uu (mezi UTRAN a UE). V porovnání se systémem GSM odpovídá přístupové síti UTRAN subsystém základnových stanic BSS a páteřní síti (jádro) CN odpovídá síťový spojovací subsystém NSS.

Hlavní funkcí CN je spojování hovorů a směrování paketů. Existuje několik možných provedení CN, jednotným požadavkem však je dostatečná přenosová kapacita. Součástí této páteřní sítě jsou také databázové funkce a funkce síťového managementu. Přístupová síť UTRAN je částí systému, se kterým prostřednictvím rádiového rozhraní komunikují jednotlivé uživatelské terminály. Samozřejmě ani v systému UMTS není možná komunikace jednotlivým mobilních stanic přímo mezi sebou. Uživatelský terminál UE nepatří do UTRAN ani do žádné jiné části systému, ale jedná se o samostatnou součást systému UMTS. [13]



Obrázek 8: Struktura UMTS sítě [15]

7.5.2 Nadstavby HSDPA a HSUPA

HSDPA (High Speed Downlink Packet Access), patřící do Release 5, je v podstatě vylepšení technologie UMTS, týkající se toku dat k uživateli, které probíhá na straně operátora a je kompatibilní jak s FDD, tak s TDD standardem. Inovací architektury sítě oproti původnímu UMTS je dosaženo nižšího zpoždění, rychlejších reakcí na změnu kvality signálu

a zpracování H-ARQ, tedy hybridního automatického požadavku na opakování přenosu. Dále také efektivnějšího využití frekvenčního pásma a odlišný přístupem k přenosovému kanálu. Podstatné změny jsou provedeny na radiové části sítě, kdy jsou přeneseny některé úkoly, jako třeba plánování a řízení na 1. vrstvě, či většina MAC funkcí, z RNC na Node B. Tyto změny výrazně přispívají ke zrychlení toku dat a k odstranění zpoždění a rozptylu. HSDPA tak pro W-CDMA sítě, v Evropě tedy UMTS, nabízí sdílené rychlosti na jednu buňku až 14,4 Mbps. Reálně se však dosahuje rychlosti okolo 4-6 Mbps. Technologie HSDPA se také označuje jako 3,5G.

HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), které spatřilo světlo světa s Release 6, je pak alternativou HSDPA, týkající se toku dat od uživatele. Obdobnými změnami se pak rychlost uploadu zvedá na teoretických 5,76 Mbps, reálně však kolem 1,5 Mbps. Tato technologie je též označována jako 3,75G.

S Release 7 pak přichází technologie HSPA+ neboli HSDPA+ a HSUPA+, která je dalším vylepšením na programové úrovni na straně operátora, jež dále navyšuje přenosové rychlosti. Z počátku se jednalo a teoreticky dvojnásobnou rychlost, tedy 28 Mbps na downlinku a 11,5 Mbps na uplinku, nicméně tento standart definuje rychlosti až 56 Mbps pro downlink s 22 Mbps pro uplink. V praxi se pak rychlost downlinku pohybuje kolem 7-10 Mbps a rychlost uplinku je přibližně 3-5 Mbps, v závislosti na síle signálu a zatížení sítě.

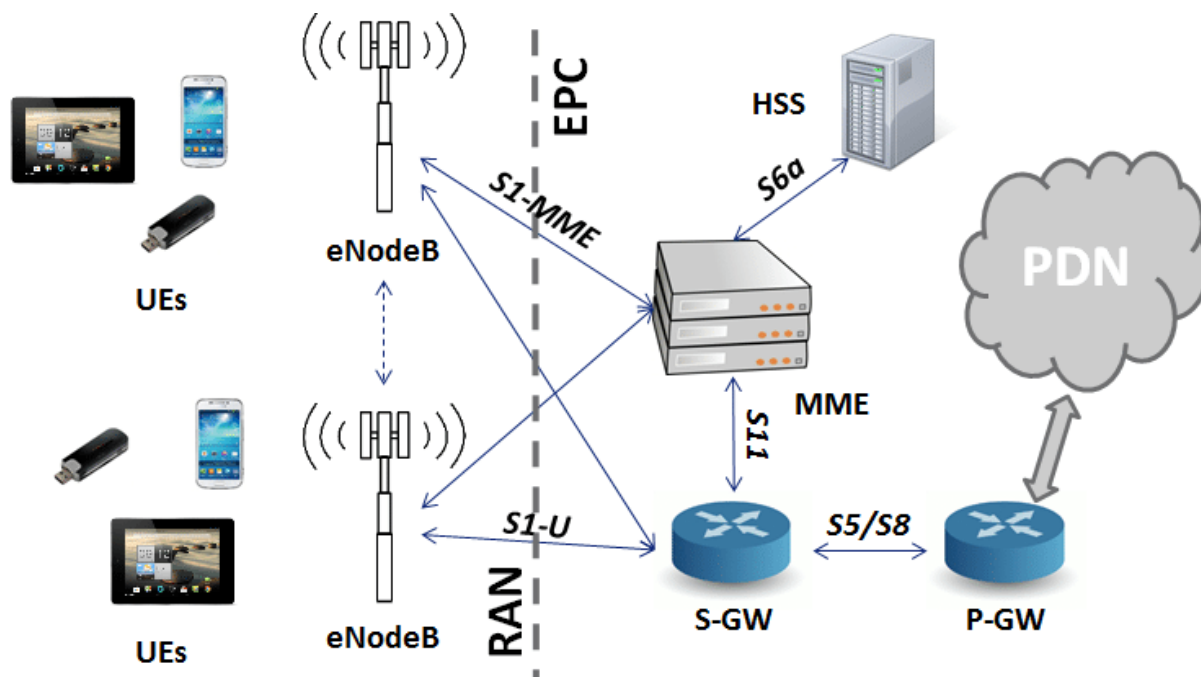
7.5.3 Technologie LTE

LTE, neboli Long Term Evolution, je nástupcem GSM sítí. Jedná se o technologii spadající do standardu 3G. Bývá často označována jako 3,9G. Tato technologie již počítá s přenosem hlasu přes datové spojení a nebude tak pro hovory používat oddělený systém, jako jeho předchůdci. Základním elementem se stalo používání technologie MIMO.

Na rozdíl od technologie UMTS, která využívá širokopásmový vícenásobný přístup kódovým dělením, WCDMA, využívá LTE v sestupném směru, pro download, technologii OFDMA (přístup na základě ortogonálních frekvencí). Pro upload pak LTE využívá vícenásobný přístup pomocí pomocí frekvenčního dělení s jednou nosnou, tedy SC-FDMA. Kde SC značí právě single carry. Teoreticky je LTE technologie schopna dosáhnout při šířce kanálu 20MHz rychlostí až 172,8 Mbps pro download, respektive 57,6 Mbps pro upload. Nicméně v reálné světě se tato rychlost dělí mezi přihlášené uživatele. Operátoři navíc pro větší kapacitu sítě často využívají menší šířku kanálu. [17]

V České republice se pro přenos LTE využívají pásma 800MHz, 900MHz (pouze Vodafone), 1800MHz, 2100MHz a minimálně i 2600MHz v městských aglomeracích. Standartní šířka pásma je sice 20MHz, nicméně v Čechách se hojně využívají menší. Pro 800MHz a 2100MHz je to 10MHz, kde teoretická přenosová rychlost klesá přibližně na polovinu. Vodafone pak pro frekvenci 900MHz využívá 3MHz pásmo, kde je teoretická přenosová rychlost okolo

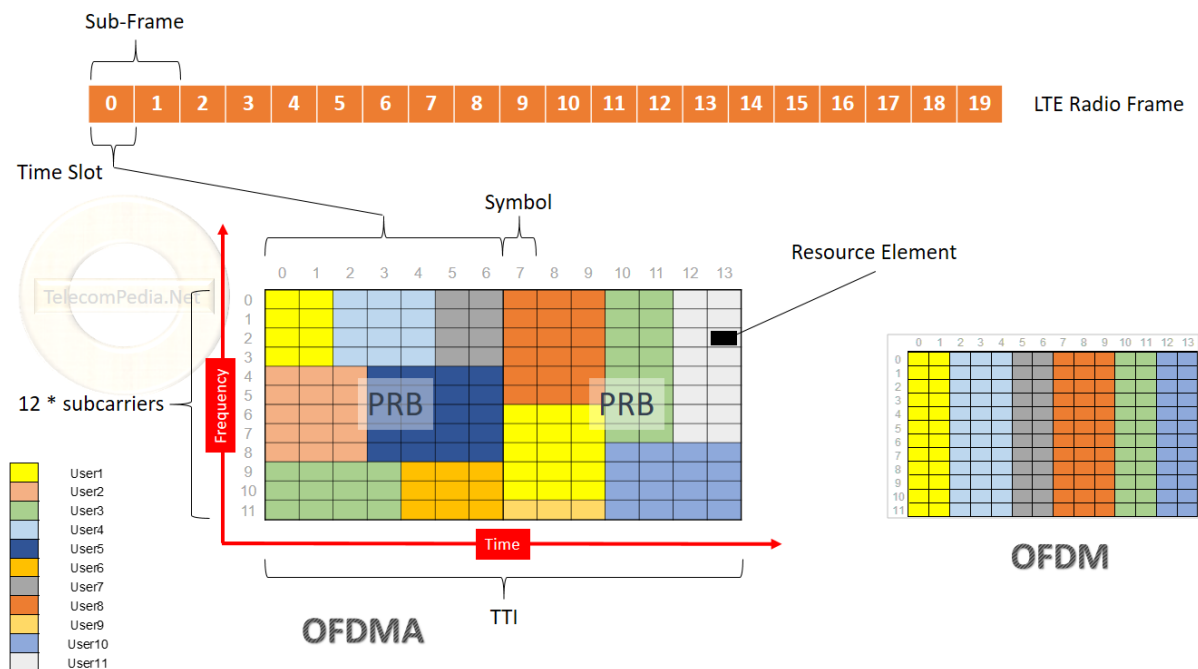
22,5 Mbps pro downlink a 7,5 Mbps pro uplink. Standard umožňuje i menší frekvenční blok o šířce pásma 1,4MHz, viz tabulka č.6, nicméně ten se v České republice nevyužívá.



Obrázek 9: Architektura sítě LTE [26]

OFDMA

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access), pracuje stejně jako OFDM s mnoha desítkami až stovkami subnosných. Subnosné jsou ale dělené do skupin a každá tato skupina se nazývá subkanál. Subnosné tvořící subkanál nemusí přiléhat k sobě, ba naopak jsou rozprostřeny po celém pásmu, což umožňuje vybírat takové kanály, které jsou nejméně rušené, použít vyšší typ modulace (např. 64-QAM) a tím docílit vyšší přenosové rychlosti. Další výhodou této metody je, že umožňuje vysílat terminálu s různým výkonem a tak podstatně šetřit baterie. OFDMA se využívá ve vzestupném směru vysílání (uplink), zatímco OFDM v sestupném směru (downlink). [29]



Obrázek 10: OFDMA [27]

OFDMA technologie využívaná pro download má délku rámce 10ms s délkou sub-frame 0,1ms. Délka jednoho timeslotu je pak 0,5ms. LTE využívá pro obsluhu zákazníků tzv. PRB, tedy Physical Resource Block. Jedná se o nejmenší přenosovou jednotku, která může být uživateli přiřazena. V realitě to pak znamená, kolik zákazníků je maximálně schopný jeden kanál obsloužit. Přehled počtu bloků na šířku pásma je v následující tabulce č.6. [27]

Šířka pásma	Počet fyzických bloků
20 MHz	100
15 MHz	75
10 MHz	50
5 MHz	25
3 MHz	15
1,4 MHz	6

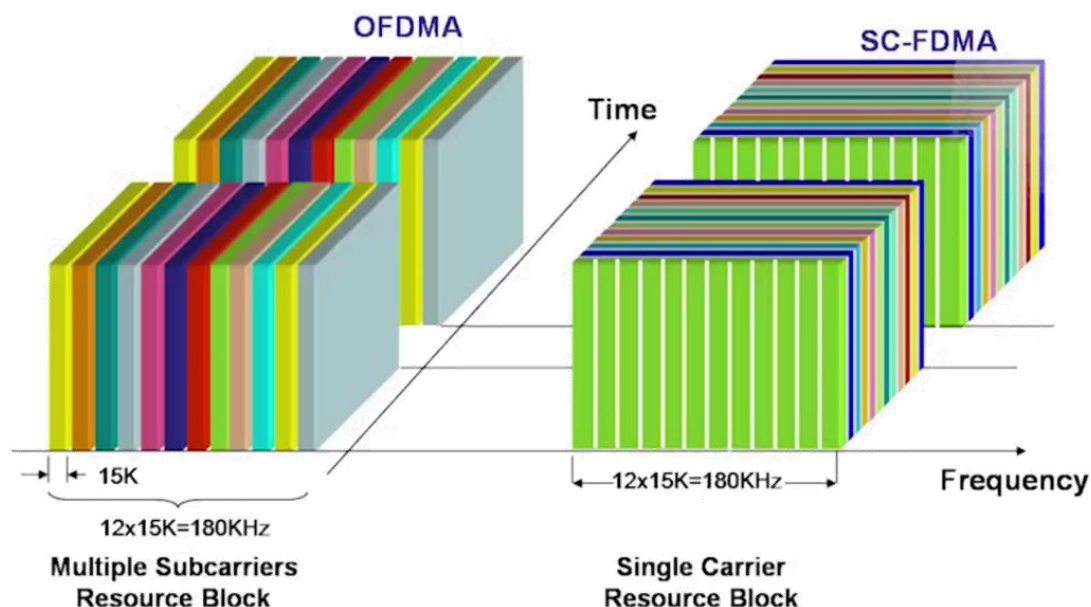
Tabulka 6: Počet fyzických bloků na jeden LTE kanál [27]

SC-FDMA

SC-FDMA (Single-Carrier Frequency Division Multiple Access) patří také do rodiny modulačních technik s využitím více subnosných. SC-FDMA se od OFDMA liší v tom, že místo toho, aby byly použity vstupní bity k vytvoření signálu pro subnosné, jsou informace rozprostřeny přes všechny subnosné. Na skupinu vstupních bitů je nejprve aplikována rychlá Fourierova transformace FFT. Tím vznikne báze dat, která je použita obdobně jako u OFDM k vytvoření subnosných. Ty jsou stejně jako v případě OFDM převedeny už pomocí IFFT z frekvenční oblasti do časové. [29]

SC-FDMA je konkurenční technikou k OFDMA a nachází své uplatnění v mnohonásobném přístupu ve vzestupném směru od uživatele. Jelikož se jedná o mnohonásobný přístup,

nejdou terminálem využity všechny subnosné. Nevyužité subnosné mohou a nemusí být využity ostatními terminály. [29]



Obrázek 11: SC-FDMA [28]

Rozdíly mezi OFDMA a SC-FDMA

Při OFDMA je použita skupina vstupních bitů k vytvoření subnosných a ty jsou zpracovány IFFT tak, aby z nich vznikl signál v časové oblasti. Naproti tomu SC-FDMA aplikuje na vstupní skupinu bitů FFT, aby je rozprostřela mezi všechny subnosné, a pak použije IFFT k vytvoření časového signálu. SC-FDMA vnáší do celého procesu další operace a je tak výpočetně náročnější než OFDMA, na druhou stranu je tím docíleno snížení poměru špičkového a průměrného výkonu PAPR (Peak to Average Power Ratio), čímž se snižují nároky na baterie terminálu, ale i riziko rušení vlastní sítě. Právě snížení hodnoty PAPR je jedním z hlavních důvodů proč byla technika SC-FDMA použita v nastupující nové generaci mobilních sítí LTE (Long Term Evolution). [29]

7.5.4 WiMAX

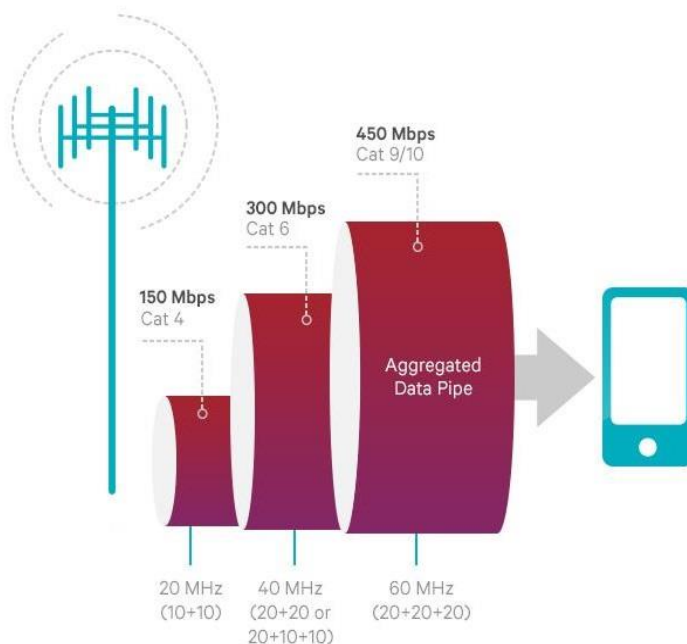
WiMAX spadá do technologií 3G a využívá se jako řešení poslední míle. Jedná se odlehčeně řečeno o venkovní Wi-Fi. Technologie totiž právě z Wi-Fi vychází. Nicméně WiMAX má dosah zhruba 40-70km a teoreticky může dosahovat přenosových rychlostí až 75 Mbps pro downlink a uplink a nabízí možnost spojení i bez přímé viditelnosti. Podporuje QoS, tudíž je schopna zákazníkovi garantovat v případě potřeby dostatečnou rychlost. Technologie operuje na frekvencích 2-11GHz. WiMAX používá OFDM modulaci a pracuje na principu TDD a využívá MIMO antény. V České republice není WiMAX příliš používán, z těchto důvodů mu není věnována pozornost.

7.5.5 CDMA2000 1xEV-DO

Jedná se o nadstavbu staršího CDMA2000 1x. Dosahuje vyšších přenosových rychlostí a nižší odezvy, konkrétně až 3,1 Mbps pro downlink a 1,8 Mbps pro uplink. Nicméně v České republice nebyla technologie nikdy nasazena a proto jí není věnována pozornost.

7.6 4G

Aby byla technologie zařazena do standardu 4G, musí splňovat podmínku pro možnou přenosovou rychlost vydanou ITU (International Telecommunication Union) pro stacionárního uživatele 1Gbps a 100Mbps pro pohybujícího se uživatele (vlaky a auta). Z této specifikace jednoznačně vyplývá, že LTE není 4G technologií. Dále 4G systémy nepodporují klasické spojování okruhů pro realizaci telefonních hovorů, nýbrž využívají IP protokol, například funkce IP telefonie. Technologie počítá s masivním využitím 2x2 MIMO antén pro maximalizaci datového toku a to až 4x4 MIMO.



Obrázek 12: Carrier aggregation - Skládání frekvencí u LTE-A

7.6.1 LTE-A

Tento standard, jakožto nadstavba LTE byl vydán v roce 2011 v 3GPP Release 10. LTE-A (Long Term Evolution - Advanced) na rozdíl od svého předchůdce splňuje podmínky pro zařazení do rodiny 4G sítí. Technologie je s LTE zpětně kompatibilní kvůli téměř totožné struktuře. S release 11 také přišla specifikace na použití 4x4 MIMO. Výhodou LTE-A je především možnost koordinovat interferenci mezi buňkami a pružné využívání kmitočtového spektra. Dále přiřazení šířky pásma pro asymetrické FDD paralelní přenos s využitím více antén díky systému MIMO. Každopádně tou nejdůležitější je tzv. carrier aggregation, neboli skládání nosných frekvencí, což umožňuje rozšířit šířku pásma až na 100MHz. Právě tato funkcionality pak teoreticky navyšuje přenosovou rychlost až na 1 Gbps pro downlink a 500 Mbps pro uplink při spojení 5 pásem o šířce 20MHz. Reálně však budou spojena 2, maximálně 3 pásma a to ne vždy 20MHz široká. Tím se reálně rychlost snižuje na hodnotu kolem 150 Mbps při nízkém zatížení sítí. S release 12 přišla specifikace pro použití 256-QAM modulace a dále řešení problému pohybu uživatele sítí, převážně častého handoveru. [30]

V České republice zatím technologie LTE-A není příliš rozšířena a podporována, nicméně Praha je z většiny pokryta všemi operátory. Co se týče pokrytí, je na tom nejlépe operátor T-Mobile následován Vodafone. O2 se drží na poslední příčce. Je tomu především z důvodu nedostatku materiálů, jelikož jako jediný operátor neposkytuje na svých stránkách informace o pokrytí LTE-A.

LTE Class	Speeds	Aggregation Options
Category 12	600 Mbps download 100 Mbps upload	3 x 20MHz download 2 x 20MHz upload
Category 10	450 Mbps download 100 Mbps upload	3 x 20MHz download 2 x 20MHz upload
Category 9	450 Mbps download 50 Mbps upload	3 x 20MHz download
Category 7	300 Mbps download 100 Mbps download	2 x 20MHz download 2 x 20MHz upload
Category 4	150 Mbps download 50 Mbps upload	2 x 10MHz download

Obrázek 13: Třídy LTE-A [30]

7.7 5G síť a předpokládaný vývoj

Standard specifikující mobilní síť 5 generace byl vydán organizací 3GPP v únoru roku 2017 a jedná se o Release 15, také R15. Maximální teoretická přenosová rychlost je 20 GB/s, v metropolitních lokalitách pak až 100 GB/s. Standard stanovuje, že uživatel musí po 95% datového přenosu dosahovat rychlosti alespoň 100 Mbps pro download a 50 Mbps pro upload. Odezva by se měla pohybovat v jednotkách milisekund. Předpokládaný termín prvních nasazených 5G sítí je rok 2019 v Severní Americe a v Asii. Hlavním důvodem nasazení a zvyšování celkové přenosové rychlosti a tím i kapacity je ohromný nárůst připojených zařízení do mobilní datové sítě.

7.8 Mobilní operátoři v České republice

V České republice účinkuje trojice velkých operátorů disponujících vlastní sítíovou infrastrukturou a dále velký počet virtuálních operátorů. Ostatní pak používají jejich přístupové sítě, nebo jsou dceřinými společnostmi. Operátory tzv. velké trojky jsou Telefónica O2, T-Mobile, nebo Vodafone.

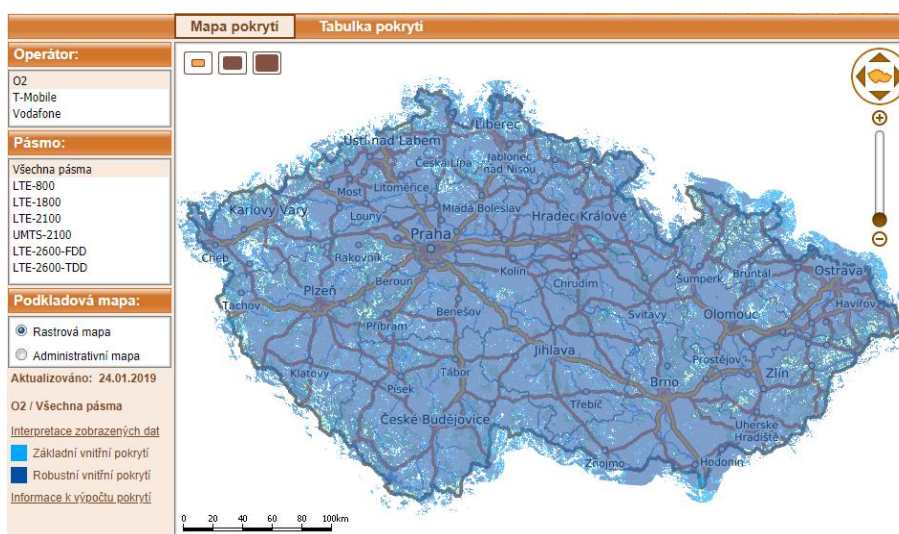
Kapitola se zabývá srovnáním nabídky a pokrytí jednotlivých operátorů. Jelikož je práce zaměřena na měření mobilního internetu, porovnávají jsou především datové tarify a pokrytí UMTS a LTE technologií operátorů Telefónica O2, T-Mobile a Vodafone.

Virtuální operátoři nebudou dále rozebíráni, neboť využívají sítě některého z výše zmíněných poskytovatelů, nebo jsou jedním z nich přímo vlastní.

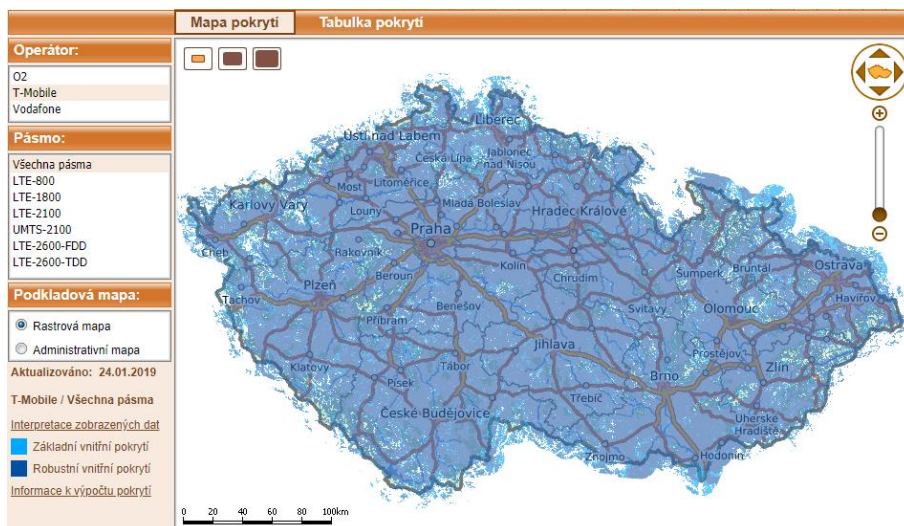
7.8.1 Srovnání pokrytí

V České republice je na tom s pokrytím nejlépe operátor O2. Vyplyvá to z výsledků měření Českého telekomunikačního úřadu z roku 2018. Telefónica pokrývá signálem 94,7% území České republiky a 99,5% obyvatel má přístup k signálu společnosti O2. Jako jediný operátor z trojice Telefónica O2, T-Mobile a Vodafone měla navíc O2 v době měření ze 100% pokrytou Prahu. Vodafone zaostává v územním pokrytí o 0,3%, T-Mobile pak o 0,1%. [20]

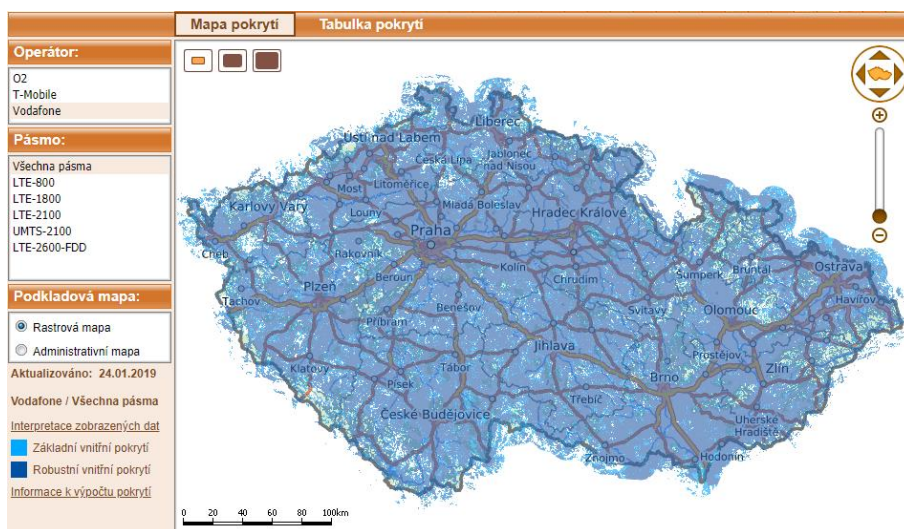
Na následujících obrázcích jsou k nahlédnutí mapy pokrytí jednotlivých operátorů ze stránek ČTU. Mapy obsahují pokrytí všech dostupných pásem pro technologie UMTS a LTE, která operátor nabízí. Rozdíl 0,1% mezi O2 a T-Mobile není z obrázků patrný, nicméně rozdíl 0,3% mezi pokrytím O2 a Vodafone je již v zřetelný, obzvláště v okolí Olomouce a v Jižních Čechách.



Obrázek 14: Mapa pokrytí O2 [21]



Obrázek 15: Mapa pokrytí T-Mobile [21]



Obrázek 16: Mapa pokrytí Vodafone [21]






7.8.2 Srovnání tarifů

Srovnání nabídky a cen se týká pouze klasických tarifů z nabídky operátorů. Neobsahuje slevy při zakoupení více produktů dané společnosti, slevy pro věrné zákazníky, studentské tarify, či předplacené karty.

Co se nabídky tarifů týče, je u všech tří hlavních operátorů v České republice velice podobná. Nicméně nejvýhodněji vychází tarify od operátora Vodafone. V cenové kategorii do 800Kč nabízí největší objem dat, dočasná akce T-Mobile na 2GB dat na víc není brána v potaz. Dále pak T-Mobile a O2 s 3GB dat okupuje poslední příčku. Datové tarify O2 a T-Mobile jsou pak srovnatelné, zde naopak Vodafone zaostává.

Srovnání jednotlivých tarifů je vidět na následujících obrázcích. Od každého operátora jsou představeny jako první tarify, které nabízí jak data, tak volání, dále pak pouze datové tarify.

Tarify operátora Telefónica O2:

FREE Modrý	FREE Bronzový	FREE Stříbrný	FREE Zlatý	FREE Platinový
				
Neomezené volání a SMS do všech sítí	Neomezené volání a SMS do všech sítí	Neomezené volání a SMS do všech sítí	Neomezené volání a SMS do všech sítí	Neomezené volání a SMS do všech sítí
500 MB	3 GB	6 GB	12 GB	60 GB
Roaming v EU zdarma Sleva na telefony	Roaming v EU zdarma Spotify Premium na 3 měsíce zdarma Sleva na telefony	Roaming v EU zdarma Spotify Premium na 3 měsíce zdarma 50 Kč měsíčně do O2 Knihovny Sleva na telefony	300 minut do zahraničí Roaming v EU zdarma Spotify Premium na 3 měsíce zdarma 50 Kč měsíčně do O2 Knihovny Sleva na telefony	600 minut do zahraničí 1 GB dat v zóně Top Svět Roaming v EU zdarma Spotify Premium na 3 měsíce zdarma 50 Kč měsíčně do O2 Knihovny Sleva na telefony
499 Kč	749 Kč	849 Kč	1 199 Kč	2 499 Kč

Obrázek 17: Nabídka kombinovaných tarifů O2 [22]

Modrá O2 Data	Stříbrná O2 Data	Zlatá O2 Data
		
3,50 Kč/min do všech sítí 1,50 Kč/SMS do všech sítí	3,50 Kč/min do všech sítí 1,50 Kč/SMS do všech sítí	3,50 Kč/min do všech sítí 1,50 Kč/SMS do všech sítí
4 GB nebo 2 GB dat + až 2 500 Kč	10 GB nebo 5 GB dat + až 2 500 Kč	20 GB nebo 10 GB dat + až 4 000 Kč
na telefon dle výběru při pořízení nové služby	na telefon dle výběru při pořízení nové služby	na telefon dle výběru při pořízení nové služby
349 Kč	499 Kč	799 Kč

Obrázek 18: Nabídka datových tarifů O2 [22]

Tarify operátora T-Mobile:

	Volání + SMS	Celkový objem dat	Měsíční paušál
Mobil S	neomezeně 1,50 Kč / SMS	0,50 GB	499 Kč
Mobil M	neomezeně	4 GB + 2 GB	799 Kč
Mobil L	neomezeně	8 GB + 2 GB	999 Kč
Mobil XL	neomezeně	16 GB + 2 GB	1 499 Kč
Mobil XXL	neomezeně	60 GB + 2 GB	2 499 Kč

Obrázek 19: Nabídka kombinovaných tarifů T-Mobile [23]

	Volání + SMS	Celkový objem dat	Měsíční paušál
Mobil DATA	3,50 Kč / min 1,50 Kč / SMS	10 GB	499 Kč

Máte u nás číslo? [Přihlaste se](#) a uvidíte individuální nabídku tarifů.

Obrázek 20: Nabídka datových tarifů T-Mobile [23]

Tarify operátora Vodafone:

Start 500 minut	Start neomezeně	Red Naplno 5 GB	Red Naplno 10 GB	Red Naplno 20 GB
500 minut po vyčerpání 3,49 Kč/min	Neomezené volání	Neomezené volání	Neomezené volání	Neomezené volání
1,51 Kč/SMS	Neomezené SMS	Neomezené SMS	Neomezené SMS	Neomezené SMS
500 MB 1,5 GB <small>(i)</small>	1,5 GB <small>(i)</small>	5 GB <small>(i)</small>	10 GB <small>(i)</small>	20 GB <small>(i)</small>
Dárek 500 MB navíc v aplikaci Můj Vodafone <small>(i)</small>	Dárek 2 GB navíc v aplikaci Můj Vodafone <small>(i)</small>	Dárek 2 GB navíc v aplikaci Můj Vodafone <small>(i)</small>	Dárek 2 GB navíc v aplikaci Můj Vodafone <small>(i)</small>	Dárek 2 GB navíc v aplikaci Můj Vodafone <small>(i)</small>
Roaming v EU zdarma	Roaming v EU zdarma	Roaming v EU zdarma	Roaming v EU zdarma 1000 minut do zahraničí	Roaming v EU zdarma 1000 minut do zahraničí Roaming ve světě: zdarma 7 dní
		Sleva až 3000 Kč na telefon <small>(i)</small>	Sleva až 3000 Kč na telefon <small>(i)</small>	Sleva až 3000 Kč na telefon <small>(i)</small>
477 Kč měsíčně	549 Kč měsíčně	777 Kč měsíčně	1 077 Kč měsíčně	1 777 Kč měsíčně

Obrázek 21: Nabídka kombinovaných tarifů Vodafone [24]

Red Data+ 4 GB	Red Data+ 10 GB	Red Data+ 30 GB
4 GB + 1 GB na půl roku zdarma ⓘ při objednání v eShopu	10 GB + 1 GB na půl roku zdarma ⓘ při objednání v eShopu	30 GB + 1 GB na půl roku zdarma ⓘ při objednání v eShopu
Dárek 2 GB navíc v aplikaci Můj Vodafone ⓘ	Dárek 2 GB navíc v aplikaci Můj Vodafone ⓘ	Dárek 2 GB navíc v aplikaci Můj Vodafone ⓘ
1 + 1 SIM zdarma pro sdílení dat	1 + 3 SIM zdarma pro sdílení dat	1 + 3 SIM zdarma pro sdílení dat
399 Kč měsíčně	549 Kč měsíčně	999 Kč měsíčně

Obrázek 22: Nabídka datových tarifů Vodafone [25]

7.9 Měření internetu

Při realizaci měření lze postupovat různě za použití různých přístrojů. Existuje také velké množství měřitelných veličin. Kapitola se převážně zabývá výčtem veličin parametrů měřených v práci.

7.9.1 Metody měření mobilního internetu

K měření parametrů internetu se dá použít široká škála zařízení. Je ovšem nutné si uvědomit, že pro výsledky měření je velice důležitá samotná anténa měřáku, převážně pak její zisk a citlivost. Právě díky těmto parametrům je kvalitní přijímač schopen přijmout signál o menší síle, nebo v prostředí s velkým poměrem šumu vůči signálu na rozdíl od méně kvalitních kolegů. Dalším rozdílem je samotný měřák, může jít o profesionální měřicí přístroj, nebo o jednoduchou freewarovou aplikaci do chytrého telefonu. V podstatě by ve výsledcích těchto dvou způsobů měření neměl být rozdíl, v případě, že se oba přístroje připojí do sítě s dobrou intenzitou a kvalitou signálu. Reálně pak ale vznikají značné rozdíly, neboť každá aplikace zpracovává hodnoty různě. Dalším důležitým faktorem je, že operátoři sponzorují různé aplikace a internetové měřáky pro dosažení výhody oproti konkurenci. Nicméně i tak se dají nalézt aplikace dosahující reprezentativních výsledků.

Pro elektromagnetické vlnění se dá měřit celá řada parametrů. Nicméně ve vztahu k mobilnímu internetu jsou důležité převážně rychlosti download a upload, které poukazují na rychlost přenosu dat, dále ukazatele stability sítě, jako ping, jitter a packet loss. Většina aplikací tyto parametry zvládá. Velká část volně dostupných aplikací změří také sílu signálu, buďto z hodnoty RSSI, nebo z hodnoty ASU. Nadou se také aplikace měřící kvalitu signálu, nicméně zde jsou již výsledky diskutabilní. V tomto ohledu je určitě lepší použití kvalitního profesionálního měřicího zařízení, které je schopné pak přidat například změřit

přijatou frekvenci, či zobrazit spektrální analýzu, poměr okolních šumů, dostupné frekvence, sousední kanály, atd. Nicméně zde je třeba si uvědomit, že tato zařízení jsou osazena velmi kvalitními anténami a dosahují tak z pravidla lepších výsledků, než měření pomocí telefonu, či internetových aplikací.

7.9.2 Měřené veličiny

Měřitelných veličin pro elektromagnetický přenos signálu je celá řada. Nicméně pro práci jsou stěžejní informace o přenosu dat skrze síť a parametry s tím spojené. Popsány proto jsou jen ty parametry, které jsou dále měřeny v praktické části.

Download

Jedná se o jednotku charakterizující rychlost stahování dat ze sítě. Typicky je měřena pomocí stahování testovacího balíčku dané velikosti ze serveru do přijímače. Měrnou jednotkou jsou dnes z pravidla Mbps.

Upload

Tato veličina je protikladem rychlosti download. Jedná se o rychlost nahrávání dat do sítě a její měření probíhá na stejném principu, tedy měření doby, za kterou se nahraje testovací balíček dané velikosti na server. Měrnou jednotkou jsou dnes Mbps.

Ping

Ping, neboli odezva, udává časový údaj, který potřebuje příjemce zprávy k odeslání odpovědi. Tedy obdrží-li příjemce packet s nějakou zprávou, za jakou dobu je schopen doručit odpověď. Je to tedy zpoždění packetů na jednosměrné trase. Ping se udává v jednotce ms a jeho hodnota je velice důležitá zejména pro aplikace běžící v reálném čase jako VoIP, streaming, videokonference, atd.

Jitter

Jitter, také zvaný ping variance jako takový představuje kolísání. V sítích postavených na IP protokolu to pak v praxi znamená, že hodnota jitter ukazuje změny ve velikosti zpoždění, tedy změny hodnoty ping, packetů při průchodu sítí (vzniká převážně jako důsledek routování). Měří se stejně jako ping v ms. Obecně je jitter ukazatelem stability připojení.

Packet loss

Ztrátovost paketů je jev, kdy pakety nedorazí do svého cíle. Může být způsobena například zahazením paketů při zahlcení sítě v rámci QoS managementu, zamítnutím přenosu poškozených paketů, nebo také selháním síťového hardware, či síťových ovladačů. Příčin proč mohou být pakety ztraceny je mnoho, nicméně všechny vedou ke stejnému závěru a to ke zhoršení kvality sítě. Při ztrátě paketů klesá výkon sítě a většinou se navýší hodnota odchylky, jitter. Vysoká ztrátovost paketů pak má negativní dopad převážně na aplikace běžící v reálném čase. Nicméně nízká ztrátovost má negativní vliv buď minimální, nebo žádný. Pro aplikace běžící v reálném čase se za dobrou ztrátovost považuje 0-1%, za přijatelnou

pak 1-2,5%. Nicméně například při přenosu dokumentů může ztráta paketů znamenat ztrátu obsahu.

Síla signálu

Měření síly signálu je důležité s pohledu síly a kvality přijatého signálu. Je ale potřeba říci, že přijatý signál velice závisí na kvalitě antény, zejména na jejím zisku a citlivosti. Metody měření se liší vzhledem k přijímané technologii. Je proto důležité rozlišovat význam naměřené hodnoty pro odlišné technologie přenosu signálu (EDGE, UMTS, LTE, atd.). Dále je v souvislosti se silou a kvalitou signálu za potřeby zmínit tři veličiny, respektive měřené hodnoty RSSI, RSCP, RSRP a RSRQ. V případě RSSI a RCRP se jedná o ukazatele na sílu přijatého signálu, kde RSSI ukazatelem společným pro všechny typy sítě. RSCP se pak měří v souvislosti s technologií UMTS. RSRP a RSRQ jsou ukazatele LTE sítě. Obecně slouží parametr RSSI pro stanovení síly přijatého signálu z vysílače. Hodnota se vyjadřuje jednotkou dBm, respektive její zápornou hodnotou. Jedná se sílu přijatého signálu porovnávanou s hodnotou 1mW. Nicméně síla signálu je zpravidla menší než 1mW, proto je vyjádřena jako -dBm. Tudíž čím více se hodnota blíží k nule, tím silnější signál je. Jelikož naměřená hodnota RSSI obsahuje celkovou sílu přijatého signálu, včetně rušení z vedlejších buněk a z okolí, je dále očištěna o šum a je z ní vypočítána kvalita signálu. Takto kvalitu signálu použité aplikace používají především pro 2G síť. [17]

RSSI 2G a 3G	Síla signálu	Popis
>= -70 dBm	Výborná	Silný signál s vysokou rychlostí přenosu.
-70 dBm až -85 dBm	Dobrá	Silný signál s dobrou rychlostí přenosu.
-85 dBm až -100 dBm	Dostačující	Dostačující síla signálu, přenosové rychlosti mohou být slušné, nicméně pravděpodobně se objeví značný pokles rychlosti.
< -100 dBm	Špatná	Špatná síla signálu, časté výpadky signálu, nízké přenosové rychlosti.
< -100 dBm	Bez signálu	Bez signálu.

Tabulka 7: RSSI ukazatel pro 2G a 3G síť [17]

RSSI 3G LTE	Síla signálu	Popis
>= -65 dBm	Výborná	Silný signál s vysokou rychlostí přenosu.
-65 dBm až -75 dBm	Dobrá	Silný signál s dobrou rychlostí přenosu.
-75 dBm až -85 dBm	Dostačující	Dostačující síla signálu, přenosové rychlosti mohou být slušné, nicméně pravděpodobně se objeví značný pokles rychlosti.
-85 dBm až -95 dBm	Špatná	Špatná síla signálu, časté výpadky signálu, nízké přenosové rychlosti.
< -95 dBm	Bez signálu	Bez signálu.

Tabulka 8: RSSI ukazatel pro LTE síť [17]

Pro CDMA a UMTS už vstupuje do hry ukazatel RSCP, což je síla signálu naměřená na příslušném přijatém komunikačním kanálu očištěná o šum. RSSI pro 3G sítě je pak vypočítáno jako $RSCP - Ec/Io$. Kde Ec/Io je poměr přijaté energie a energie přijatého šumu. [17]

RSCP	Síla signálu	Popis
≥ -60 dBm	Výborná	Silný signál s vysokou rychlostí přenosu.
-60 dBm až -75 dBm	Dobrá	Silný signál s dobrou rychlostí přenosu.
-75 dBm až -85 dBm	Dostačující	Dostačující síla signálu, přenosové rychlosti mohou být slušné, nicméně pravděpodobně se objeví značný pokles rychlosti.
-85 dBm až -95 dBm	Špatná	Špatná síla signálu, nízké přenosové rychlosti, mohou nastat vysoké poklesy přenosové rychlosti.
< -95 dBm	Velice špatná	Špatná síla signálu, nízké přenosové rychlosti, vysoká kolísavost rychlosti, výpadky signálu za hranicí -120 dBm.

Tabulka 9: RSCP ukazatel UMTS a CDMA sítě [17]

LTE sítě pak pro zjištění síly a kvality signálu využívají hodnot RSRP a RSRQ. Hodnota RSRP, podobně jako RSSI vyjadřuje sílu přijatého signálu vztaženou k 1mW a je vyjádřena v -dBm. Nicméně měří se v různých buňkách na stejné nosné frekvenci pro porovnání a následnému rozhodování o výběru lepší buňky a pro rozhodování o handoveru. [17]

RSRP	Síla signálu	Popis
≥ -80 dBm	Výborná	Silný signál s vysokou rychlostí přenosu.
-80 dBm až -90 dBm	Dobrá	Silný signál s dobrou rychlostí přenosu.
-90 dBm až -100 dBm	Dostačující až špatná	Dostačující síla signálu, přenosové rychlosti mohou být slušné, nicméně pravděpodobně se objeví značný pokles rychlosti.
< -100 dBm	Špatný signál - Bez signálu	Slabý až téměř žádný signál, připojení velice závislé na kvalitě signálu, při hodnotě pod -120dBm nastávají problémy s připojením.

Tabulka 10: RSRP ukazatel LTE sítě [17]

Kvalita signálu

Kvalita signálu je velice důležitou vlastností pro jeho samotný příjem. Ovlivňuje totiž nejen parametry přenosu, jako přenosovou rychlost či odezvu, ale také schopnost zařízení signál přijmout, jelikož rozhodování telefonu není závislé pouze na síle signálu.

Ukazatele této hodnoty můžeme najít pro sítě všech generací. U GSM je to ukazatel C/I, pro CDMA a UMTS je to hodnota Ec/Io a u LTE hodnota SINR. Tyto veličiny obecně

představují poměr síly přijatého signálu k síle přijatého šumu a vyjadřují se v dB. Nicméně v práci nejsou tyto hodnoty měřeny, neboť je měřicí aplikace měřit neumí. Jediným indikátorem kvality signálu, který se v práci vyskytuje, je hodnota RSRQ měřená pro LTE síť. Z této hodnoty pak dále vychází právě ukazatel SINR.

Hodnota RSRQ je ukazatelem kvality LTE signálu. Jednoduše řečeno je to hodnota RSRP dělená RSSI. Čím lepší je hodnota RSRQ, tím lepe může být signál přijat v porovnání s okolním šumem a rušením z ostatních buněk. Hodnota se vyjadřuje, jako předchozí ukazatele, na logaritmické stupnici, nicméně jelikož se nejedná o sílu přijatého signálu, nicméně pouze o poměr, její jednotkou jsou -dB. Ovšem i zde platí, že čím více se hodnota blíží k nule, tím je lepší. [17]

RSRQ	Síla signálu	Popis
≥ -10 dB	Výborná	Kvalitní signál s vysokou rychlostí přenosu.
-10 dB až -15 dB	Dobrá	Kvalitní signál s dobrou rychlostí přenosu.
-15 dB až -20 dB	Dostačující až špatná	Dostačující kvalita signálu, přenosové rychlosti mohou být slušné, nicméně pravděpodobně se objeví značný pokles rychlosti.
< -20 dB	Bez signálu	Bez signálu

Tabulka 11: RSRQ ukazatel LTE síť [17]

8 Praktická část

8.1 Úvod k měření

Praktická část je zaměřena na samotné měření parametrů mobilního internetu jakožto služby poskytovatele O2. Pro dosažení reprezentativních výsledků jsou měření prováděna dvěma různými programy. Oba jsou volně dostupné. Třetí použitý program pak slouží převážně k identifikaci BTS, ke které je v době měření telefon připojen pro pozdější zjištění umístění této BTS, vzdálenosti od místa měření. Důležitým aspektem práce je simulace běžného uživatele a jeho přístupu k síti v odlišných podmínkách co se vytíženosti sítě a lokality uživatele týče. Ve vybraných lokalitách je pak pro porovnání výsledků měřena síť operátora T-Mobile.

Následující kapitoly se věnují popisu použitých programů, postupu měření, výčtu jednotlivých naměřených veličin. Dále odůvodnění vybraných míst pro měření parametrů a prezentaci výsledků. Veškeré obrázky z měření jsou vlastní a byly pořízeny v listopadu, prosinci roku 2018 a v lednu, únoru a březnu 2019 pro aktuálnost a tím co možná nejlepší reprezentativní schopnost.

8.2 Metodika

Práce je rozložena do několika částí. První je sběr dat, následuje jejich zpracování a rozbor výsledků. Na konec přichází porovnávání a diskutování výsledků a vyvození závěrů.

Kapitola dále obsahuje podrobné informace o použitých programech a popis jednotlivých lokalit, v nichž byla měření provedena.

8.2.1 Měření dat

Pro sběr dat byla použita měření v různých částech České republiky. Byl kladen důraz na výběr daných lokalit. Kvůli reprezentativnosti výsledků tak musela být data měřena jak ve velkých městech, menších městech, tak na vesnici, či samotě. Dalším důležitým faktorem bylo okolí míst z hlediska přírodních překážek pro přenos signálu. Byly tak vybrány lokality v nížinách, pahorkatinách a na horách. Všechny vybrané lokality mají dle mapy pokrytí operátora O2 přístup k LTE technologii.

Dalším atributem ovlivňujícím přenosovou rychlost je zatížení sítě. Z tohoto důvodu byla měření prováděna vždy ráno mezi 7 a 10 hodinou, v poledne mezi 12 a 15 hodinou a večer po 19 hodině pro simulaci různých zatížení sítě. V případě problémů s připojením bylo měření po 15-20 minutách opakováno. Maximální počet pokusů o navázání spojení byl 5 na jedno měření. V případě nenavázání spojení bylo měření považováno za neúspěšné.

Jelikož se jedná o zjišťování parametrů mobilního internetu, byla data shromažďována nejen staticky, ale i za pohybu. Konkrétně na dálnicích při rychlosti 100-110 km/h a na okresních silnicích při rychlosti 60-70 km/h.

Statická měření byla vždy provedena venku a měřicí zařízení bylo umístěno ve výšce 150cm pro simulaci přibližné průměrné výšky pro využívání mobilních zařízení. Toto umístění bylo rovněž použito při měření provedených ČTÚ jako referenční výška pro měření signálu. Pro měření v pohybu bylo měřicí zařízení umístěno na palubní desce vozidla.

8.2.2 Měření veličiny a měřicí nástroje

Jelikož se jedná o měření mobilního internetu jakožto služby, byly k tomu adekvátně zvoleny i měřené atributy. Měřené veličiny byly download a upload pro stanovení rychlosti připojení, dále ping, jitter a packet loss kvůli zjištění stability připojení. Jedinou měřenou hodnotou popisující přijímaný signál je síla signálu pro určení kvality pokrytí. To se samozřejmě nedá určit pouze pomocí samotné síly signálu, nicméně jedná se o ukazatel dostupnosti dané technologie v měřené lokalitě. Pro LTE síť pak program NetMetr měří i ukazatel RSRQ, který slouží jako ukazatel kvality signálu, nicméně jako takový nemá vysokou vypovídající hodnotu a slouží jako základ pro výpočet hodnoty SINR.

Všechna měření byla provedena stejným přístrojem a to obyčejným mobilním přístrojem, konkrétně modelem Xiaomi MiA2. Upřednostnění chytrého telefonu před profesionálním zařízením je z důvodu co nejlepší simulace uživatelské zkušenosti. K měření byly použity tři freeware aplikace. Speedtest by Ookla pro měření download, upload, ping, jitter a packet loss, dále NetMetr pro měření download, upload, ping, jitter, síly signálu a zjištění typu sítě a Network Signal Info pro měření síly signálu a zjištění identifikačního čísla BTS, ke které byl telefon připojen. Klasický telefon byl upřednostněn před profesionálním měřicím zařízením z důvodu simulace dostupnosti pro běžného uživatele, který nemusí vždy mít velice kvalitní anténu.

8.2.3 Diskuse naměřených výsledků

Výsledky měření jsou pak porovnávány s informacemi od operátora. Konkrétně s mapou pokrytí poskytnutou operátorem. Měření byla provedena na síti poskytovatele O2, pro konfrontaci výsledků pak ve vybraných lokalitách byla změřena síť Vodafone. Pro lepší identifikaci dostupné technologie v lokalitách je využit web gsm.cz, který obsahuje mapu vysílačů včetně technologií dostupných na daných vysílačích a frekvencích, na kterých operují.

Výsledky jsou pak dále porovnávány na základě typu lokality, které jsou rozděleny do tří kategorií. Na velká města, menší města a maloměsta a poslední pak jsou vesnice a oblasti venkova. Je srovnávána průměrná přenosová rychlost, průměrné hodnoty ping, jitter a síly signálu, dále procentuální úspěšnost navázání připojení a procentuální pokrytí typu

lokality danou technologií. Zde je potřeba říci, že se nejedná o sestavování mapy pokrytí, nýbrž o bodovou analýzu pokrytí, neboť měření byla provedena staticky na jednotlivých místech.

8.2.4 Formulace závěrů

Poslední částí práce pak je formulace závěrů vycházejících z diskuse naměřených výsledků. Kapitola shrnuje měření a popisuje celkovou kvalitu služeb dle naměřených dat.

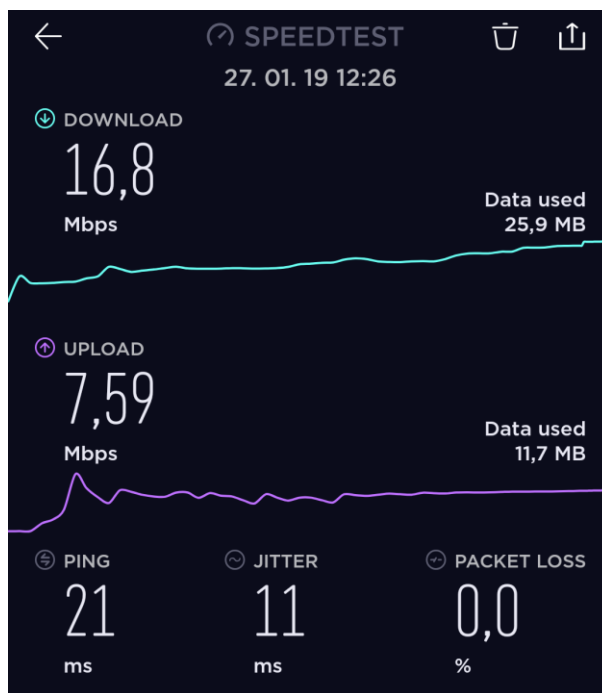
8.2.5 Použité programy

Ke shromažďování výsledků byli použity tři volně dostupné programy pro operační systém Android. Dva pro měření rychlosti download a upload, měření odezvy signálu a síly signálu. Třetí aplikace měří tak jako jedna z předchozích sílu signálu, nicméně důležitým parametrem který přidává je druh sítě, na který je telefon připojen a identifikační číslo BTS, s jehož pomocí je možno danou BTS dohledat na stránce gsmweb.cz. Stránka obsahuje všechny vysílače mobilního internetu v ČR od GSM sítě po LTE a je možno tak určit, jaké technologie podporuje vysílač, na který j telefon připojen, případně kde se v blízkosti nachází další vysílač, který podporuje technologie vyšší generace.

Program Speedtest by Ookla

Tento program byl zvolen kvůli jeho vysokému hodnocení a jeho používání techniky telekomunikačních společností. To samo o sobě svědčí o dobrých výsledcích testů. Ookla Speedtest nedosahuje nejvyššího hodnocení v obchodě s aplikacemi pro Android (4,4/5), nicméně řadí se mezi nejstahovanější s více než 100 miliony stažení. Tyto skutečnosti z něj dělají nejlepšího kandidáta pro měření rychlosti mobilního internetu.

Ookla Speedtest nenabízí měření velkého množství parametrů, nicméně použit byl k zjištění rychlosti download, upload, k měření odezvy, jitteru a procentuální ztráty packetů (packet loss).



Obrázek 23: Program Ookla Speedtest

Program NetMetr

Aplikace NetMetr je produktem Českého telekomunikačního úřadu a sdružení CZ.NIC. A je velice dobrým nástrojem pro komplexní analýzu kvality připojení.

Aplikace měří rychlost a kvalitu připojení, tedy rychlost download a upload, dobu odezvy, navíc oproti Ookla Speedtestu měří také sílu signálu (RSSI pro 2G, RSRP a RSRQ pro LTE), dále druh sítě, na který byl telefon v době testu připojen, ale také QoS (Quality of Service), tedy kvalitu jednotlivých služeb připojení, jako DNS, TCP, UDP apod. Nicméně pro potřeby práce stačí základní charakteristika, tedy rychlost download a upload, doba odezvy, síla a kvalita signálu a druh sítě. Ostatní parametry pak nejsou porovnatelné, neboť jiný použitý nástroj tyto hodnoty není schopen změřit.



VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu		26. 1. 2019 13:08:23	
Časové pásmo		UTC+1h	
Rychlost downloadu		15 Mbps	
Rychlost uploadu		2,4 Mbps	
Ping		40 ms	
Ping variance		31 ms	
Síla signálu (RSRP)		-110 dBm	
Kvalita signálu (RSRQ)		-9 dB	
Typ sítě		4G (LTE)	
Poloha		N 49°24.341' E 14°46.507' (GPS, +/- 11 m)	
Země umístění		CZ	
Pohyb		359 m	

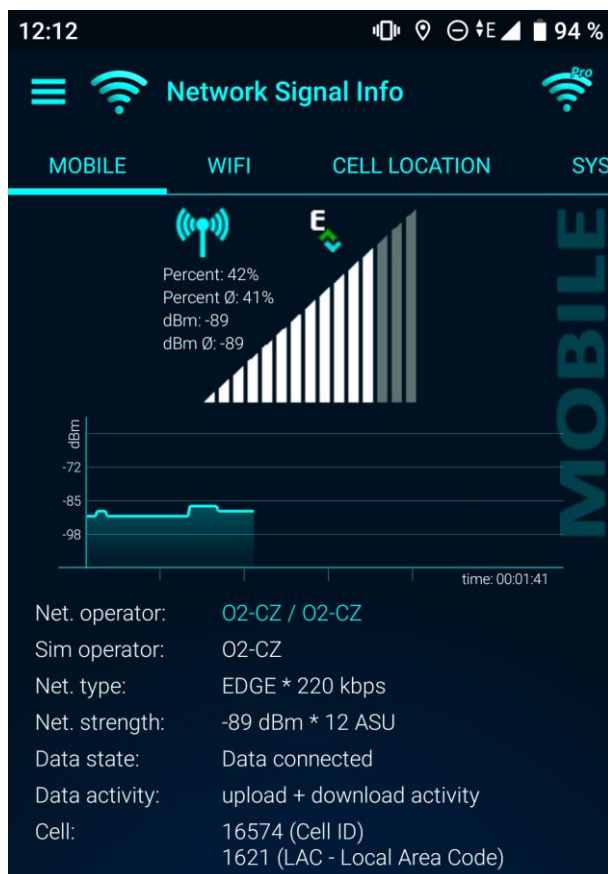
Obrázek 24: Program NetMetr

Program Network Signal Info

Obdobně jako u programu Speedtest by Ookla se nejedná o aplikaci s nejvyšším hodnocením, tentokrát ani s jedním z nejvyšších počtů stažení, nicméně s hodnocením 4,1/5, nicméně s více než milionem stažení už se dá mluvit o používané aplikaci s důvěryhodným hodnocením. Aplikace je jednoduchá, rychlá a spolehlivá. Nicméně neměří rychlost připojení jako dvě předchozí.

Network Signal Info zjišťuje sílu signálu pomocí jednotky ASU, která je dále přepočítávána procedurami odlišnými pro každý druh sítě. Pro 2G sítě na ukazatel RSSI, pro 3G na ukazatel RSCP a pro LTE na ukazatel RSRP. Dále aplikace zjišťuje procentuální kvalitu signálu, druh

sítě, na který je telefon připojen a poté informace o vysílači, ke kterému je telefon připojen, pomocí těchto dat je pak možné vysílač dohledat pomocí webové stránky gsmweb.cz. Nicméně aplikace sama nabízí možnost lokalizace BTS, ke které je telefon připojen se zobrazením na mapě včetně vypočtení vzdálenosti vzdušnou čarou od místa měření. [18]



Obrázek 25: Program Network Signal Info

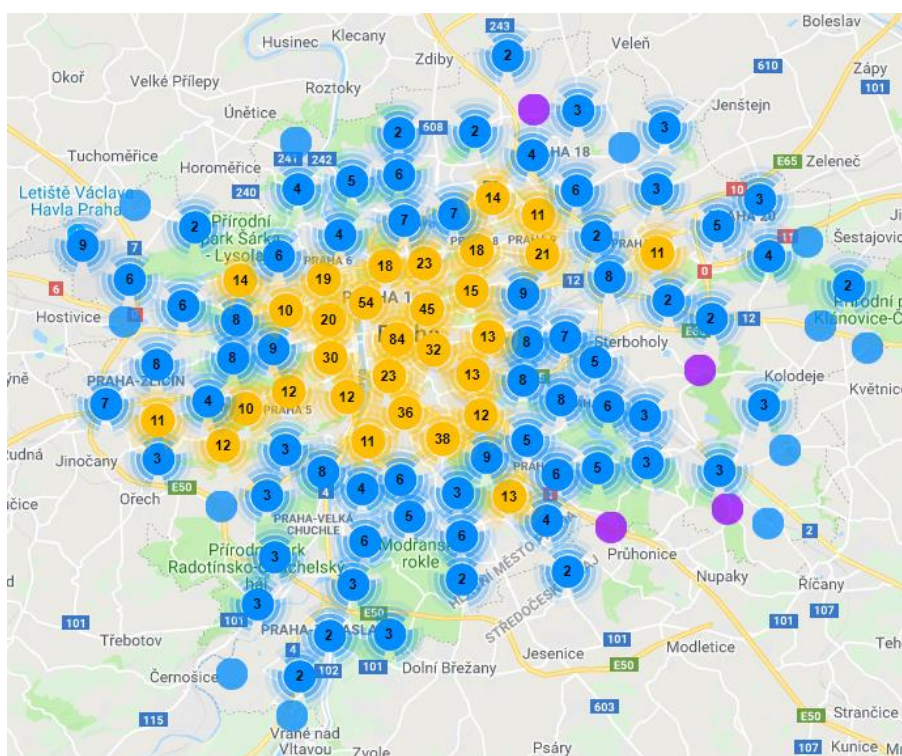
8.2.6 Vybrané lokality pro měření

Pro výběr míst určených k měření parametrů mobilního internetu bylo důležité, aby jejich výčet zastupoval veškeré lokality, do kterých se může uživatel dostat. Tedy velká, krajská města, menší města okresního formátu, dále maloměsta, vesnice a osamělé chaty. Dále jsem kladl důraz na výběr míst s dobrou kvalitou signálu stejně tak, jako na výběr míst se špatnou kvalitou pro možnost porovnání výsledků. Dalším důležitým aspektem bylo zvolit místa položená jak v nížinách, tak pahorkatinách a na horách z důvodu různorodosti přírodních překážek ovlivňujících přenos signálu. Nakonec byla provedena měření v pohybu na českých silnicích a dálnicích pro měření kvality a síly signálu pro uživatele za pohybu. Tato měření jsou vždy v blízkosti některé z lokalit, ve kterých byla provedena statická měření pro porovnání kvality signálu a služeb.

V každé lokalitě, kde došlo ke statickému měření, byly parametry změřeny 3x za den (ráno, odpoledne a večer), parametry měřené v pohybu byli měřeny jednou.

Praha

Lokalita Praha zastupuje velká města. Výběr velkých měst je důležitý z hlediska schopnosti infrastruktury operátora dostát závazkům v místě velké poptávky. Co se právě potřeby po internetu týče, je Praha díky množství obyvatel a velkému přílivu turistů ideálním místem pro testování zatížené sítě v místě, kde je dobrý přístup ke kvalitnímu signálu. Je to dáno tím, že v Praze je možné nalézt BTS na téměř každé vyšší budově právě kvůli vysoké potřebě metropole o obsluhu vysokého počtu zákazníků. Jelikož měření probíhá na síti O2, na následujících mapách jsou zobrazeny všechny Pražské BTS pro jednotlivé druhy sítě. Modrá a oranžová kolečka s číslem uvnitř značí počet BTS v dané oblasti. Fialová kolečka pak značí jedinou BTS.



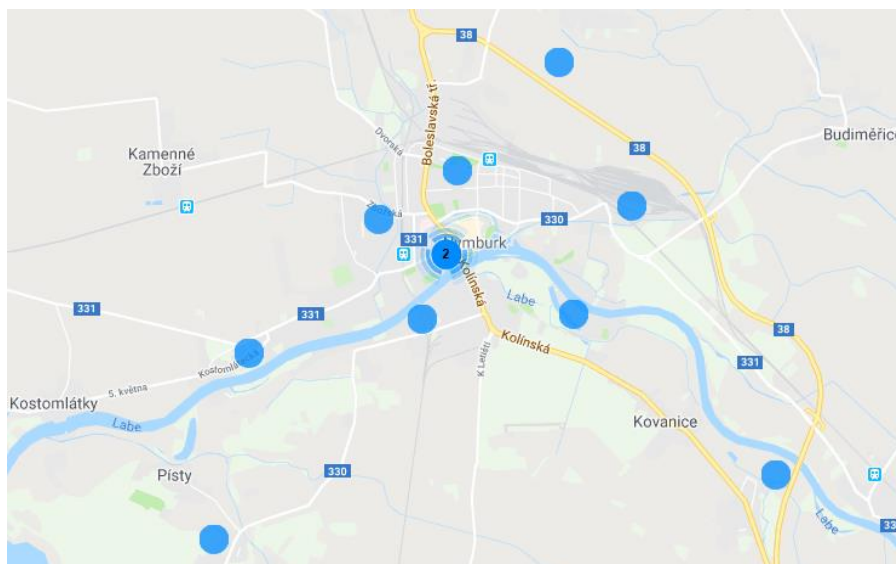
Obrázek 26: Pražské O2 BTS

Je tedy zřetelné, že Praha s pokrytím nemá žádný problém. Nicméně takto vysoký počet BTS je velice důležitý, neboť v Praze jsou používány vysílače na vyšších frekvencích (1800 MHz, 2100 MHz), které nedosahují tak širokého pokrytí, jako vysílače s frekvencí 800MHz, nicméně nabízí vyšší přenosovou kapacitu. Je tomu tak, jelikož právě na frekvencích 1800 a 2100MHz dosahuje LTE vyšších přenosových rychlostí (přenosové kapacity), než je tomu u vysílačích s frekvencí 800MHz. Přenosová rychlost se pak následně dělí mezi uživatele připojené k dané BTS.

Nymburk

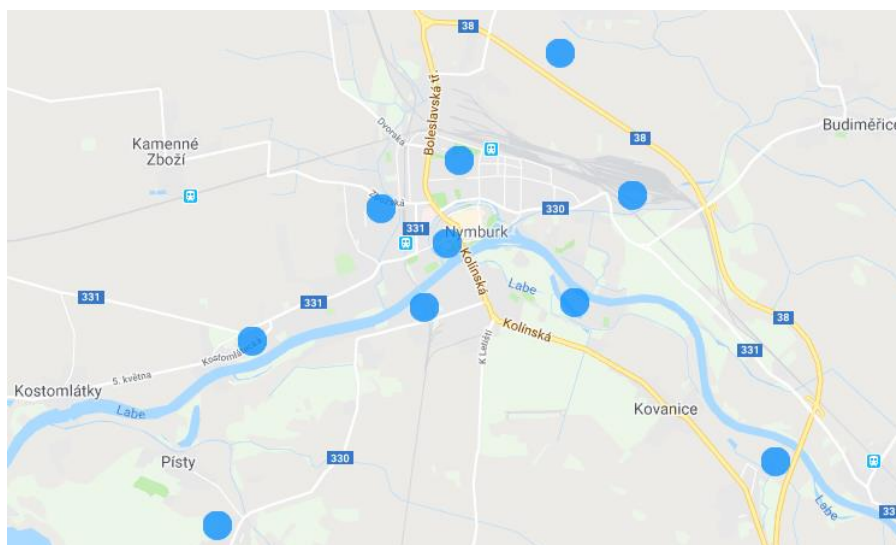
Nymburk je zástupcem okresního města. Je vybrán pro jeho polohu, jakožto místo s minimem přírodních překážek. Dalším faktorem výběru byla jeho velikost. Jelikož záměrem diplomové práce je testování především LTE internetu, na následujícím obrázku jsou zobrazeny LTE

vysílače v Nymburce. Zde by nemělo cenu přidávat obrázky s vysílači ostatních sítí, jako GSM, nebo UMTS, jelikož dle stránky <https://www.gsmweb.cz/mapa/> je na každé BTS v Nymburce umístěna anténa pro LTE signál. Tato mapa je totožná pro LTE, UMTS a GSM vysílače. V Nymburce bylo také provedeno měření parametrů sítě T-Mobile pro porovnání výsledků. Dále proběhlo měření na dálnici D11 mezi 30 a 35km.



Obrázek 27: O2 BTS v Nymburce

Na následujícím obrázku jsou zobrazeny LTE vysílače operátora T-Mobile.



Obrázek 28: T-Mobile BTS v Nymburce

Unhošť

Unhošť leží v okrese Kladno západně od Prahy. Jedná se o zástupce maloměsta disponující minimem přírodních překážek. Zařazena je pro svou polohu, neboť se nachází v blízkosti dálnice, které jsou v Čechách, až na drobné výjimky dobře pokryty. Dále leží v relativní blízkosti Prahy a Kladna. Přímo v Unhošti a v její blízkosti se nachází dva vysílače

společnosti O2, které disponují technologií pro šíření 3G a LTE signálu. Dá se zde tedy očekávat velice dobrá kvalita signálu, stejně tak jako dostatečná kapacita sítě pro provoz vysokorychlostního mobilního internetu.



Obrázek 29: O2 BTS v Unhošti

Felbabka

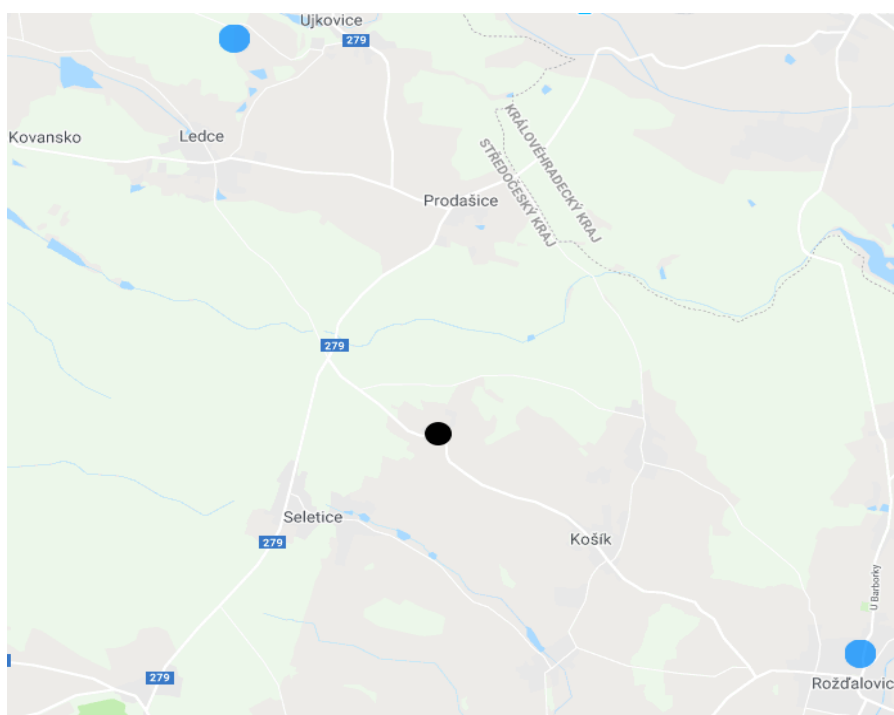
Felbabka je malou obcí ležící na kraji Brdské vrchoviny směrem k městu Hořovice a k dálnici D5. Obec leží na prvním valu kopců při vjezdu do Brd a v její blízkosti není žádný vysílač. Je ze všech stran chráněna kopci, které tak tvoří přírodní bariéru pro šíření signálu. Poblíž obce bylo také provedeno měření v pohybu, konkrétně na okresní silnici mezi Hořovicemi a Felbabkou při rychlosti 60km/h. Dále pak proběhlo měření na dálnici D5 mezi sjezdem 28 na Zdice a sjezdem 34 na Hořovice.



Obrázek 30: O2 BTS v okolí obce Felbabka

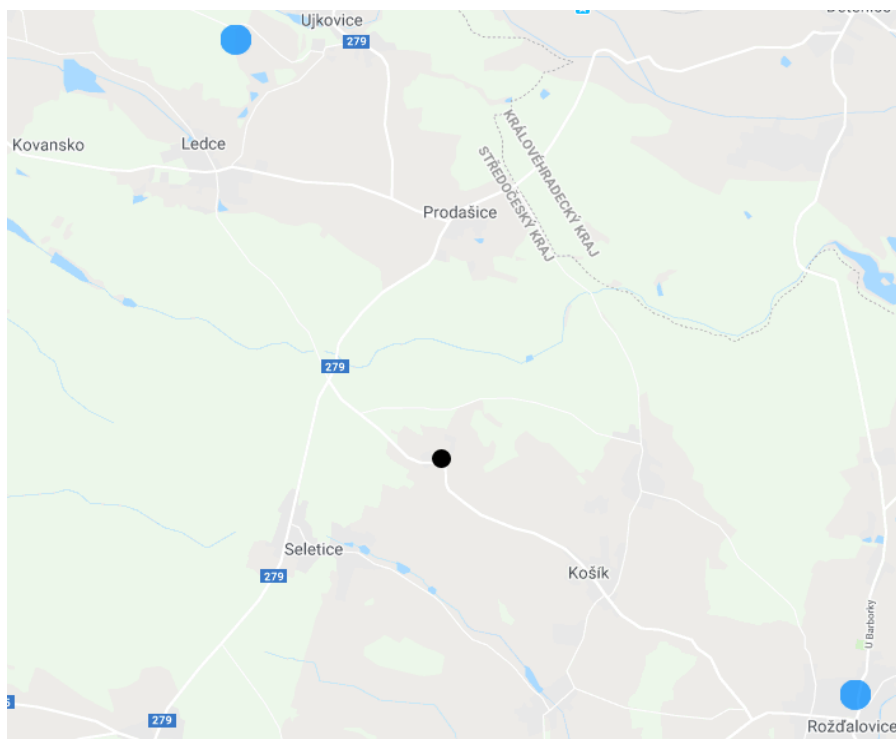
Sovolusky

Obec Sovolusky je zástupcem malé vesnice. Leží ve Středočeském kraji v okrese Nymburk a téměř nemá stálé obyvatele. V blízkosti obce neleží žádný vysílač. Okolí je velice rovinaté. Pro možnost zobrazení vysílačů v okolí nebyla při oddálení obec na mapě již viditelná, proto je vyznačena černou značkou. V blízkosti proběhlo také měření v pohybu a to na komunikaci mezi obcemi Mcely a Loučeň. Jak v Sovoluskách, tak na trase bylo také provedeno měření sítě T-Mobile



Obrázek 31: O2 BTS v okolí obce Sovolusky

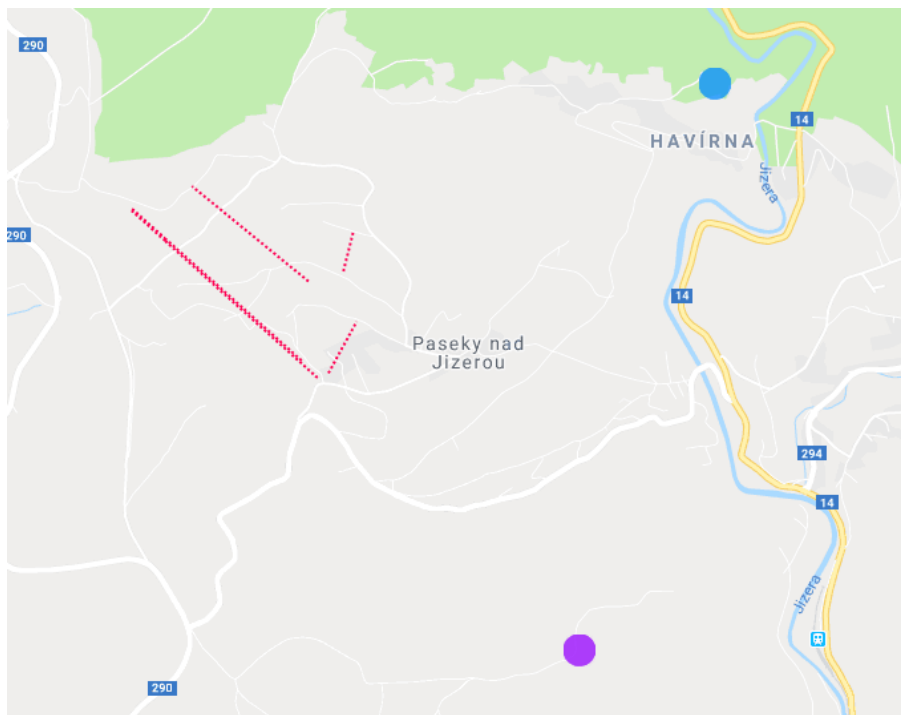
Na následujícím obrázku jsou zobrazeny BTS operátora T-Mobile v okolí obce Sovolusky. I zde je obec zobrazena černou značkou pro její absenci na mapě.



Obrázek 32: T-Mobile BTS v okolí obce Sovolusky

Paseky nad Jizerou

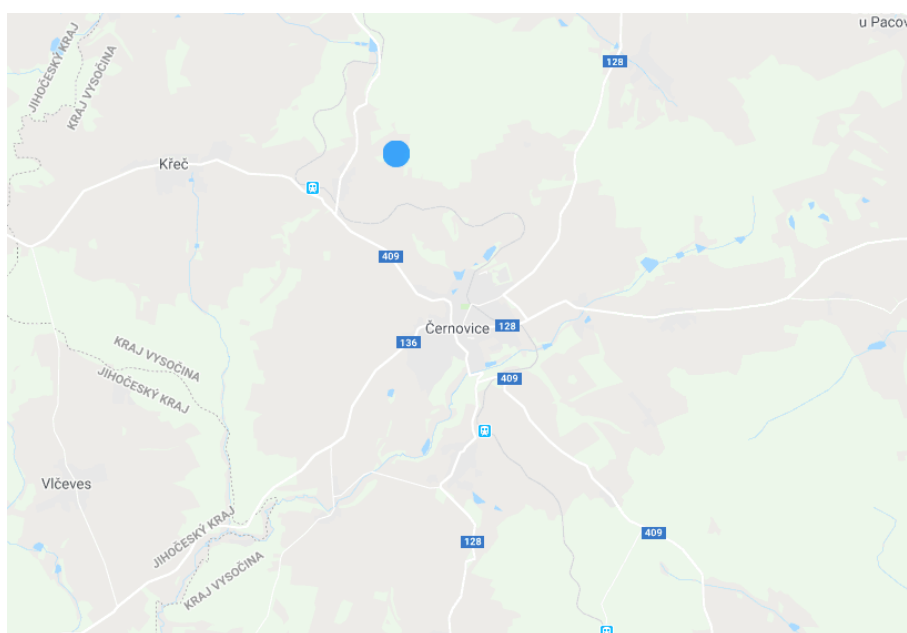
Obec Paseky nad Jizerou je zástupcem menšího města/vesnice. Vybrána byla především proto, jelikož je položena uvnitř Krkonošských hor. Obec je obehnána ze všech stran kopci což tvoří pro přenos signálu přírodní bariéry. Dále se jedná o oblast s nižším počtem vysílačů a to i přes to, že je velice oblíbenou destinací turistů během zimních měsíců a takřka sousedním městem je další velká turistická destinace skiareál Rokytnice nad Jizerou.



Obrázek 33: O2 BTS u obce Paseky nad Jizerou

Černovice

Obec Černovice zastupuje menší města. Leží v rovinatém kraji na jihu Čech. V blízkém okolí není žádné větší město, nejbližší položený je Tábor, který je vzdálen přibližně 25km. V blízkosti se nachází jediný vysílač, který podporuje EDGE a LTE technologie. Obec leží v mírně zvlněné krajině, nicméně v šíření signálu zde nebrání žádné větší kopce.



Obrázek 34: O2 BTS u obce Černovice

Těptín

Obec Těptín leží na jih od Prahy přibližně 2km za obcí Kamenice. Jedná se o zástupce malé české vesnice. Obec leží v mírně vrchovaté krajině z jedné strany částečně kryta kopcem. Jediný vysílač v blízkosti je 2km vzdálená BTS v obci Kamenice podporující EDGE a LTE technologie.



Obrázek 35: O2 BTS u obce Těptín

Veřovice

Obec leží v údolí v Moravskoslezském kraji na pokraji Beskydských hor v blízkosti Frenštátu a Rožnova pod Radhoštěm. Okolí je tak tvořeno přírodními překážkami pro přenos signálu, nicméně přímo ve Veřovicích je vysílač osazen technologií pro přenos EDGE a LTE signálu.



Obrázek 36: O2 BTS v obci Veřovice

Mladá Boleslav

Mladá Boleslav je dalším zástupcem města. Zařazena byla pro svou předpokládanou vytiženost sítě a také z důvodu že zde došlo k porovnání sítě operátora O2 a T-Mobile s přihlédnutím k faktu, že T-Mobile má v Boleslavi plně funkční pokrytí signálem LTE-A. Město leží v rovinném kraji a přenosu signálu tak nebrání žádné přírodní překážky.



Obrázek 37: O2 BTS v Mladé Boleslavi

8.3 Naměřené výsledky

Tato kapitola obsahuje výčet jednotlivých lokalit s výsledky, které v nich byly naměřeny. Zobrazené výstupy z aplikací jsou vždy z ranního měření. Pokud k měření nedošlo pro absenci signálu, jsou to výsledky z dalšího úspěšného měření. Hodnoty ostatních měření se nacházejí v přílohách.

Z naměřených výsledků jsou patrné rozdíly mezi jednotlivými aplikacemi. Nicméně za více relevantní při porovnání výsledků rychlosti internetu a hodnot ping a jitter z aplikací Ookla a NetMetr se dají považovat výstupy aplikace Ookla. Dále při porovnání výsledků síly a kvality signálu je reprezentativnější výstup aplikace NetMetr před výsledkem aplikace Network Signal Info. V jistých případech dochází k opravdu velikým rozdílům, převážně v hodnotách jitter (i několikanásobky) a síly signálu (až 15dBm). Nicméně je důležité brát v úvahu i fakt, že výsledky nejsou pořizovány ve stejném čase a tak je zde jistá variabilita očekávána. Obzvláště pak v lokalitách se špatnou kvalitou signálu, nebo za špatných přenosových podmínek.

Pro přehlednější popis jsou všechny základnové stanice pojmenovány BTS. Korektní by samozřejmě bylo pojmenovat stanice UMTS technologie NodeB a stanice LTE technologie eNodeB, nicméně sjednocením názvu do BTS vzniká větší přehlednost. Hodnota packet loss byla na konec vypuštěna, neboť nebyla nikde naměřena pozitivní hodnota a vzhledem k ostatním výsledkům je pravděpodobné, že ji aplikace neměří správně.

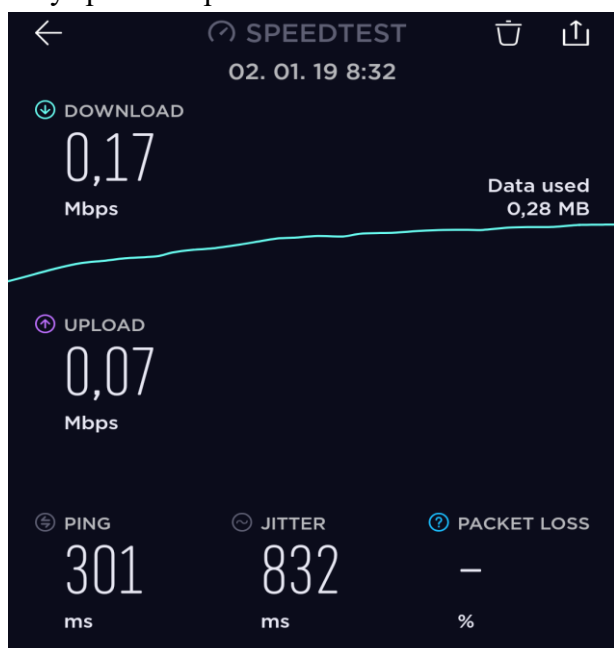
8.3.1 Paseky nad Jizerou

V obci Paseky nad Jizerou bylo provedeno jedno měření. Během odpoledního měření nebylo dosaženo spojení ani v jednom z 5 pokusů mezi 12 a 14 hodinou. Večerní měření proběhlo za polojasného počasí. Ranní měření bylo provedeno za hustého sněžení a spojení se povedlo navázat až na druhý pokus. Jak je později vidět z výsledků, zhoršené podmínky a díky sněhu větší vlhkost ovzduší, nikterak záporně neovlivnili již tak nízkou přenosovou rychlost.

Telefon byl po všechna měření připojen na BTS s ID 16574, jež leží na kopci přes údolí a je vzdálena vzdušnou čarou 1,77km. Nicméně tento vysílač nedisponuje technologií pro vysílání LTE signálu. Jediný takový vysílač společnosti O2 v blízkosti obce Paseky nad Jizerou je přes kopec u obce Havírna, vzdálen vzdušnou čarou 1,87km vysílající na frekvenci 800MHz. Je tedy možné že právě vlivem přechodu signálu přes kopec v kombinaci s nepříznivými podmínkami, je síla signálu natolik slabá, že algoritmus telefonu pro výběr sítě dle nejlepší dostupné technologie v kombinaci s dostatečnou silou a kvalitou signálu dává přednost 2G síti EDGE. Toto je ovšem velice zvláštní, neboť BTS na kterou byl telefon připojen podporuje také technologii UMTS. S velkou pravděpodobností je to způsobeno špatnou kvalitou UMTS signálu. Koeficient RSCP zřejmě zabředl do nízkých hodnot a síla signálu by nemusela být dostačující pro vytvoření stabilního spojení. Algoritmus tak zvolil připojení k EDGE síti dosahujících lepších hodnot pro zajištění stabilního spojení.

Rychlost a stabilita připojení

Na první pohled je zřejmé, i bez informací o síti, že se nejedná o 3G ani o LTE síť, viz. specifikace o minimálních přenosových rychlostech jednotlivých technologií. Jak rychlost download, tak rychlost upload dosahují velice špatných výsledků. V praxi to například znamená, že telefon není schopen načíst internetové stránky v jejich originální podobě, nýbrž zobrazuje tzv. „úspornou verzi“, tedy verzi bez obrázků. Vysoký ping a jitter taktéž značí, že kvalita spojení není ideální. Hodnota ping sice není nijak extrémně vysoká, nicméně jitter již dosahuje nepříjemné hodnoty. Reálně to pak znamená, že spojení, respektive internet, jako služba, je velice nestabilní, ve smyslu velice proměnlivé odezvy a nehodí se tak využívání jakékoliv real-time služby. Tento jev může být způsoben horší kvalitou signálu díky špatnému počasí.



Obrázek 38: Paseky nad Jizerou - Ookla ráno

The screenshot shows the NetMetr app interface with the following data:

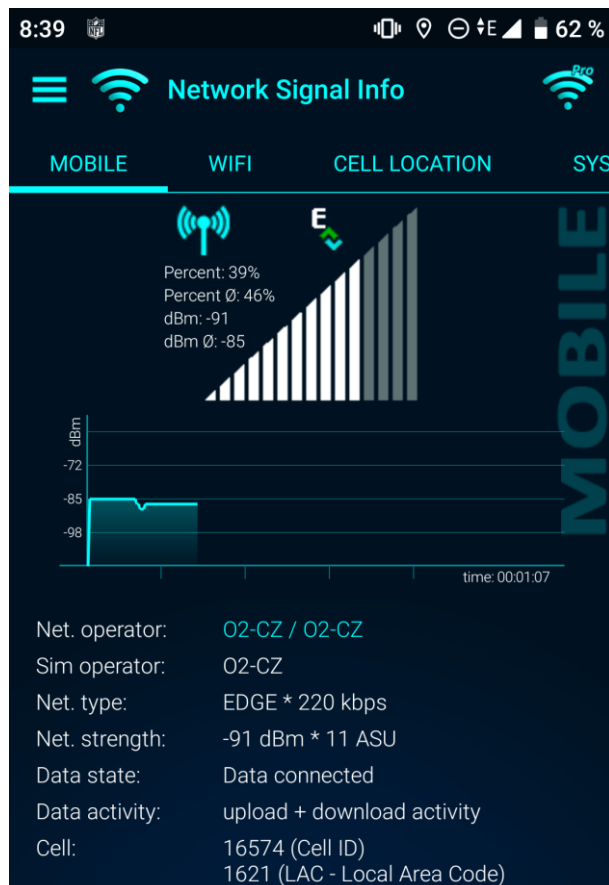
Metric	Value
Čas testu	2. 1. 2019 8:34:06
Časové pásmo	UTC+1h
Rychlost downloadu	0,15 Mbps
Rychlost uploadu	0,034 Mbps
Ping	120 ms
Ping variance	180 ms
Síla signálu	-97 dBm
Typ sítě	2G (EDGE)
Poloha	N 50°43.455' E 15°23.732' (GPS, +/- 34 m)

Obrázek 39: Paseky nad Jizerou – NetMetr ráno

V měřeních provedených odpoledne a večer byly výsledky velice podobné. Signál byl slabý s vysokou kolísavostí, která má vliv na větší odezvu, nicméně bez jakýchkoliv ztrát packetů v síti. Výsledky odpoledního a večerního měření jsou v příloze 1.

Síla a kvalita signálu

Dle hodnot síly signálu RSSI v rozmezí -90dBm až -100dBm je patrné, že síla signálu byla velice slabá, neboť od hodnoty -100dBm dochází k pravidelným výpadkům a k problémům s připojením v 2G sítích. Aplikace neměří kvalitu signálu pro 2G síť, nicméně z parametrů připojení je patrné, že se zde nemůžeme o kvalitním signálu bavit vzhledem k faktu, že se telefon připojil raději k 2G síti, než k technologiím třetí generace jako UMTS či LTE. Dalším ukazatelem špatné kvality je nízká kvalita samotného připojení.



Obrázek 40: Paseky nad Jizerou - NSI ráno

8.3.2 Felbabka

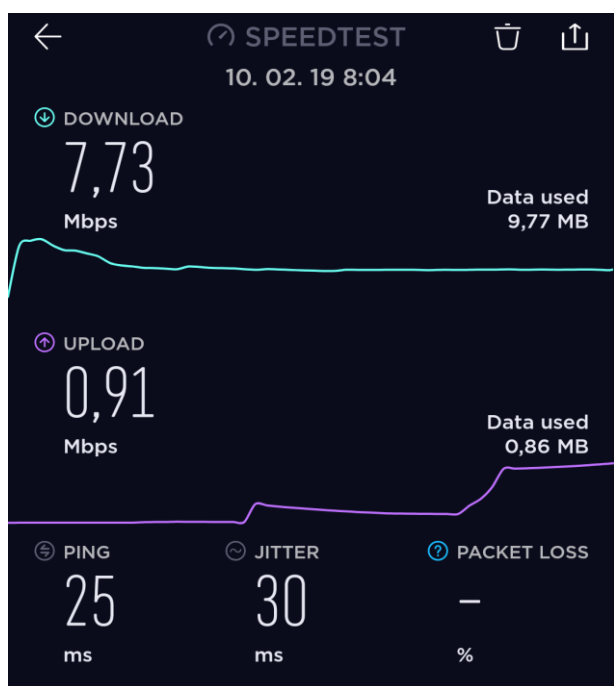
V obci Felbabka a jejím okolí bylo provedeno jedno statické měření a dále dvě dynamická. První měření za pohybu bylo provedeno na okresní komunikaci vedoucí z města Hořovice do obce Felbabka při rychlosti 60 km/h, druhé pak na dálnici D5 mezi exity 28 na Zdice a 34 na Hořovice při rychlosti 100 km/h. Felbabka se nachází v okrese Nymburk na severním kraji Brdské vrchoviny. Obec leží na prvním valu kopců Brd a nachází se přímo pod vrchem Ostrý v blízkosti vojenského cvičiště Jince. Jelikož se jedná o chatařskou oblast. Měření byla provedena o víkendu pro předpokládané vyšší zatížení sítě. Ranní měření bylo provedeno za jasného počasí, od poledne se přidali srážky.

8.3.2.1 Statické měření

Dle informací operátora O2 je v lokalitě dostupný LTE internet. Obec Felbabka nedisponuje vlastní BTS stanicí. Po všechna měření byl měřicí přístroj připojen ke stanici s identifikačním číslem 292391. Jedná se o vysílač v nedaleké obci Jince ležící za kopcem a vzdálen vzdušnou čarou 2,3km, který vysílá LTE signál na frekvenci 800MHz. Další vysílače v okolí obce Felbabka jsou v městě Hořovice, které jsou vzdáleny 3,6km a v obci Lhotka, která je vzdálena 4,5km. S připojením po celou dobu nebyly žádné větší potíže. Signál byl celkově velice slabý a telefon chvílemi volil připojení k 2G síti.

Rychlost a stabilita připojení

Na obrázcích č.23 a 24 jsou k vidění výsledky ranního měření. Toto měření se potýkalo s nejlepšími podmínkami ze všech, neboť ráno bylo jasno s nižší vlhkostí vzduchu. Z výsledků je patrné, že došlo k připojení k LTE síti. Přenosové rychlosti nikterak neoslňují, nicméně pro běžnou aktivitu na internetu jsou dostačující. Pro představu na sledování videa ve full HD rozlišení je potřeba stabilní připojení o rychlosti stahování přibližně 5 Mbps. Naměřený download 7,73 Mbps, respektive 6,7 Mbps, tak bohatě postačí. Hodnota rychlosti upload už tak slušná není. Nicméně pro běžné užívání, jako je surfování po internetu a prohlížení e-mailové schránky je tato hodnota stejně irelevantní a pro uživatele, kteří neustále synchronizují telefon s cloudovým úložištěm postačí. Hodnota odezvy 25ms, respektive 38ms je velice dobrá. Uživatel nemá šanci takovouto odezvu zaznamenat a byla by bez problémů dostačující pro jakékoliv real-time aplikace, jako hraní on-line her, či videohovory. Taktéž hodnota jitter 30ms, respektive 15ms, je velice dobrá a v praxi ji uživatel také nezaznamená.



Obrázek 41: Felbabka - Ookla ráno

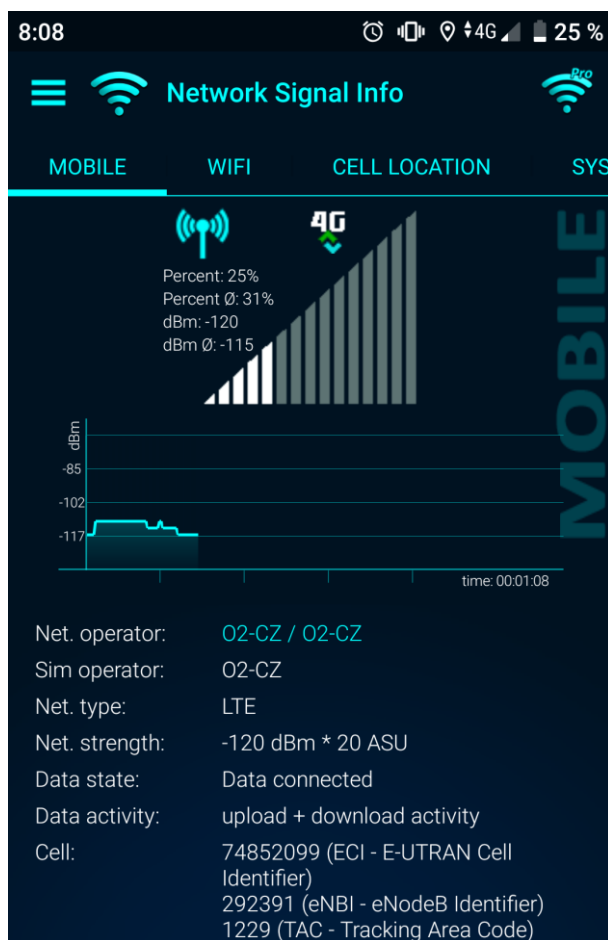
Metric	Value
Čas testu	10. 2. 2019 8:06:17
Časové pásmo	UTC+1h
Rychlost downloadu	6,7 Mbps
Rychlost uploadu	0,61 Mbps
Ping	38 ms
Ping variance	15 ms
Síla signálu (RSRP)	-116 dBm
Kvalita signálu (RSRQ)	-12 dB
Typ sítě	4G (LTE)
Poloha	N 49°48.730' E 13°56.639' (GPS, +/- 5 m)

Obrázek 42: Felbabka - NetMetr ráno

Hodnoty naměřené odpoledne a večer (viz příloha 2) již zaznamenali pokles v přenosových rychlostech. Na vině může být hned několik faktorů. Za nejdůležitější se dá považovat předpokládané navýšení vytíženosti sítě a s ním spojená možnost rušení ze sousedních vysílačů. Dalším faktorem může být zhoršení podmínek pro přenos, neboť od poledne se přidaly srážky. I přes občasné výpadky LTE signálu a přepojení telefonu na technologii EDGE v odpoledních hodinách, byl LTE dostupný pro všechna měření.

Síla a kvalita signálu

I přes slušné výsledky, co se přenosových rychlostí týče a velice dobrých výsledků, co se kvality přenosu týče, je síla signálu v obci velice špatná. Nicméně dobrá kvalita signálu zajišťuje, že jsou uživatelé schopni se připojit. Obecně lze říci, že síla signálu menší, než -100 dBm je špatná a schopnost příjemce se připojit pak velice závisí na kvalitě signálu a na výkonu antény telefonu, či jiného přijímacího zařízení. Ve všech případech byla naměřená síla signálu nižší, než -110 dBm, což je velice málo, hodnota odpovídá 0,01pW. Právě díky kvalitnímu signálu byl telefon schopen připojení k BTS. Kvalitu signálu určuje právě hodnota RSRQ. Na jejím základě se pak příjemce LTE signálu rozhoduje, k jaké stanici se připojí v případě, že všechny nabízené signály vykazují nízkou intenzitu. V tomto případě tak dobrá hodnota RSRQ dává telefonu možnost připojení i přes velice nízký výkon signálu a umožňuje připojení k LTE před EDGE. Obecně se dá říci, že hodnota do -15dBm se považuje za dobrou. Z měření není nikterak patrný pokles síly či kvality signálu v závislosti na venkovním počasí.



Obrázek 43: Felbabka - NSI ráno

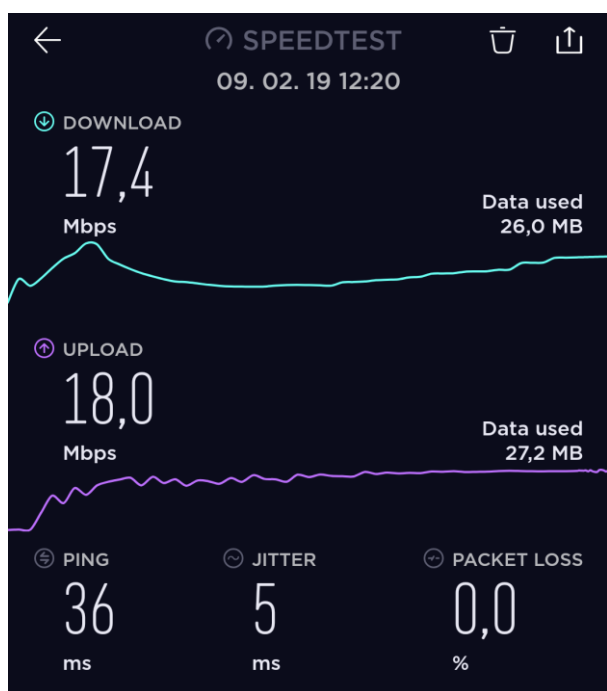
8.3.2.2 Měření v pohybu

Oblasti měření na komunikaci mezi obcemi Hořovice a Felbabka a dále na dálnici D5 mezi 28 a 32 kilometrem jsou dle operátora pokryty LTE signálem. Při měření na okresní silnici došlo ke spojení s vysílačem č. 260281 ležícím v obci Lochkovice vysílajícím

na frekvencích 800MHz a 1800MHz. Vysílač byl od místa měření vzdálen ve vzdálenosti 4km – 4,2km. Pro měření na dálnici D5 bylo měřicí zařízení připojeno k vysílači č.260241, který vysílá též na frekvencích 800MHz a 1800MHz a leží v obci Žebrák, vzdálen 2,5-5,4km od místa měření.

Měření na dálnici D5

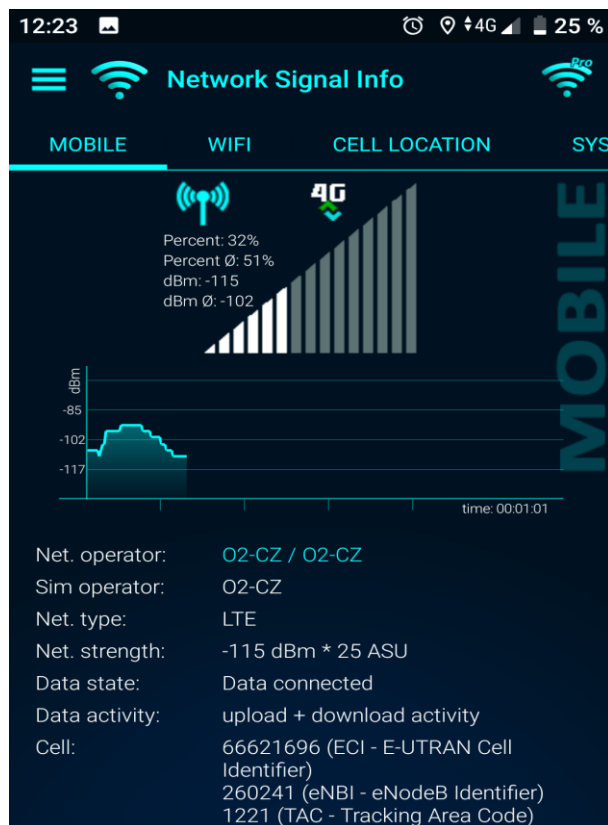
Měření proběhlo bez problémů a obecně se dá říci, že připojení na dálnici dosahuje velice slušných výsledků. Telefon neztrácel signál, nicméně přenosová rychlost byla velmi nestálá. I tak se ale dá považovat 17,4 Mbps, potažmo 34 Mbps pro download a 18 Mbps pro upload za dobrý výkon sítě. Stabilita a kvalita připojení byla dobrá, což hodnoty ping 36ms, respektive 26ms a hodnoty jitter 5ms a 53ms jen potvrzují. Síla signálu kolísala mezi hodnotami -90dBm a -115dBm. Nicméně ani slabý signál neměl na připojení vliv.



Obrázek 45: D5 - Ookla

VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	9. 2. 2019 12:21:27		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	34 Mbps		
Rychlost uploadu	18 Mbps		
Ping	26 ms		
Ping variance	53 ms		
Síla signálu (RSRP)	-100 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-10 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 49°53.620' E 13°56.609' (GPS, +/- 3 m)		
Země umístění	CZ		
Pohyb	466 m		

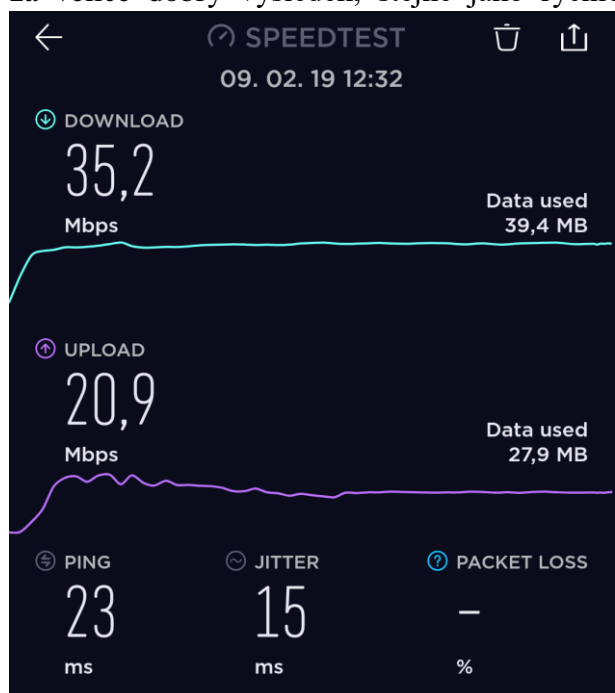
Obrázek 44: D5 - NetMetr



Obrázek 46: D5 - NSI

Měření na okresní komunikaci mezi Hořovicemi a Felbabkou

Měřicí zařízení bylo po celou dobu měření připojeno a nedocházelo k výpadkům signálu. Kvalita připojení a služeb byla na velice dobré úrovni, o čemž vypovídají i parametry připojení. Rychlost download při obou případech překročila 35 Mbps což lze považovat za velice dobrý výsledek, stejně jako rychlost upload s oběma výsledky přes 16 Mbps.

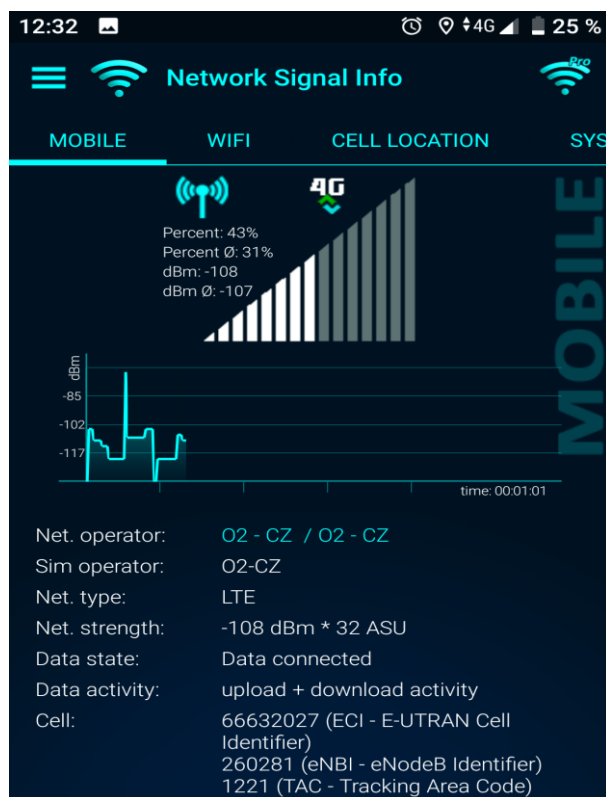


Obrázek 48: Hořovice - Felbabka - Ookla

Výsledky testů	
VÝSLEDEK	DETAILY
Čas testu	9. 2. 2019 12:32:57
Časové pásmo	UTC+1h
Rychlost downloadu	42 Mbps
Rychlost uploadu	16 Mbps
Ping	38 ms
Ping variance	35 ms
Síla signálu (RSRP)	-107 dBm
Kvalita signálu (RSRQ)	-12 dB
Typ sítě	4G (LTE)
Poloha	N 49°49.158' E 13°55.699' (GPS, +/- 3 m)
Země umístění	CZ
Pohyb	257 m

Obrázek 47: Hořovice - Felbabka - NetMetr

Stabilita sítě byla taktéž na velice dobré úrovni s hodnotami ping 23ms a 38ms a hodnotami jitter 15ms, respektive 35ms. Síla signálu vykazovala po dobu měření značnou variabilitu a to od -70dBm až po hraničních -120dBm.



Obrázek 49: Hořovice - Felbabka - NSI

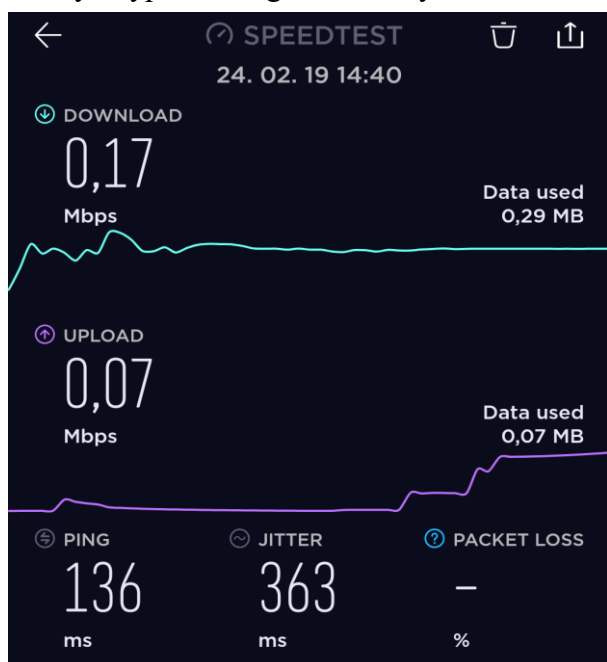
8.3.3 Těptín

V obci Těptín bylo provedeno jedno statické měření. Těptín leží v okrese Praha – východ a je vzdálen přibližně 2km od obce Kamenice. Okolí je vrchovaté, nicméně jedná se o malé kopce, které tvoří přírodní bariéry pro přenos signálu. Měření byla provedena o víkendu pro předpokládané větší zatížení sítě. V Těptíně se nenachází žádný vysílač. Nejbližší tak leží v obci Kamenice a je vzdálen vzdušnou čarou 2,2km. Nicméně spojení, pokud bylo navázáno, střídalo tuto BTS s další, 6,5km vzdálenou u města Velké Popovice a to i přes to, že 3km vzdálená Rozhledna Ládví u Kamenice obsahuje také vysílač s technologií pro UMTS a LTE. Je ale potřeba říci, že se nachází přes jediný větší kopec v okolí. Oba vysílače, ke kterým bylo zařízení po dobu měření střídavě připojeno vysílají na frekvenci 800MHz. V ranních hodinách nebylo spojení mezi 8 a 10 hodinou ani v jednom z 5 pokusů navázáno. V odpoledních hodinách pak až na 3 pokusy. Ve večerních hodinách na druhý pokus. Obrázky jsou tak použity z odpoledního měření.

Rychlost a stabilita připojení

Připojení v jihovýchodní části obce, kde bylo prováděno měření, dosahuje celkově velice špatných výsledků. Z obrázků č.41 a č.42 je patrné, že přenosové rychlosti jsou velice malé. Dále je viditelná vysoká proměnlivost hodnoty ping, kde 136ms nepředstavuje nikterak vysoké číslo, nicméně 710ms je již hodně. Také jitter je velice vysoký a to v obou případech,

s hodnotou 363ms je možné vést slušný videohovor, nicméně druhá hodnota, tedy 900 000ms je alarmující. Nutno podotknout že poté, co NetMetr dokončil test hodnot ping a jitter nastal krátký výpadek signálu, který mohl ovlivnit výsledky. Nicméně ani první hodnota,



Obrázek 51: Těptín - Ookla

The screenshot shows the NetMetr test results table. The table has columns for 'VÝSLEDEK', 'DETAILY', 'QOS', and 'GRAFY'. The data is as follows:

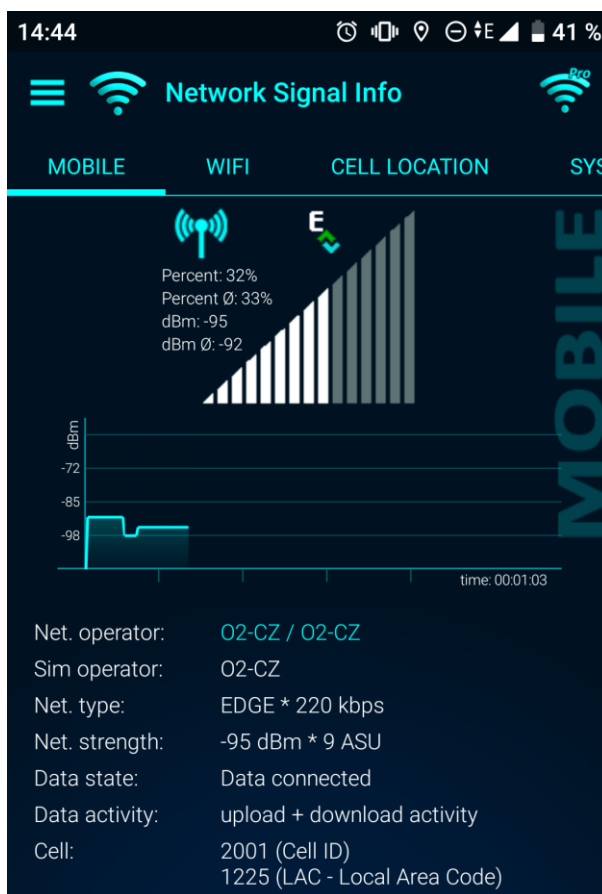
VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	24. 2. 2019 14:41:12		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	0,17 Mbps		
Rychlost uploadu	0,042 Mbps		
Ping	710 ms		
Ping variance	900 000 ms		
Síla signálu	-103 dBm		
Typ sítě	2G (EDGE)		
Poloha	N 49°53.451' E 14°34.195' (GPS, +/- 10 m)		

Obrázek 52: Těptín - NetMetr

tedy 363ms není dobrá. Připojení je velice pomalé a často nedostupné.

Síla a kvalita signálu

Telefon, pokud bylo spojení navázáno, byl připojen v 2G síti. Nicméně je potřeba zmínit vysokou kolísavost. K rannímu připojení vůbec nedošlo, v odpoledním až na 4. pokus. Jediným případem, kdy bylo spojení navázáno na první pokus bylo večerní měření. Síla signálu se pohybovala nad -95dBm, což je velice blízko pro 2G hraničních -100dBm. Z naměřených parametrů připojení vyplývá, že ani kvalita signálu není vysoká. Kvalitě připojení také nepřidává střídání přístupových bodů. Dalším aspektem, který může mít vliv na nízkou kvalitu UMTS a LTE signálu může být rušení z okolních kanálů, či nízká kapacita vysílačů.



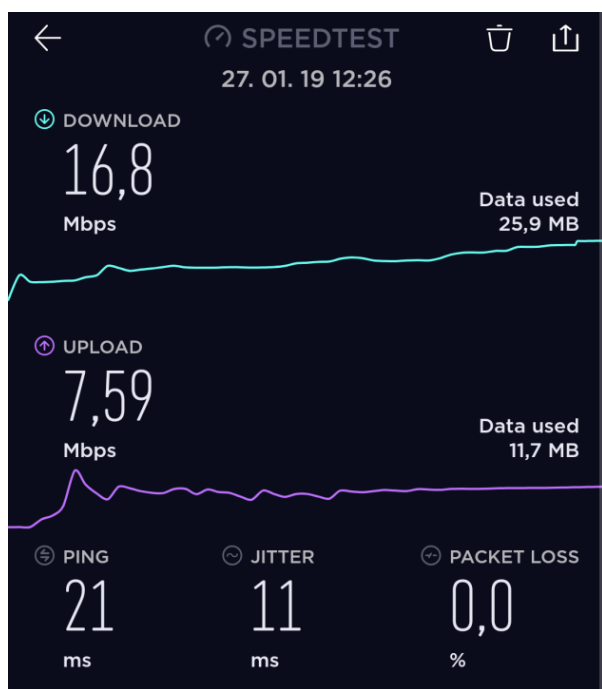
Obrázek 50: Těptín - NSI

8.3.4 Černovice

Obec leží v mírně kopcovitém kraji na západní hranici kraje Vysočina. Na kraji obce je vysílač podporující EDGE a LTE technologie. Telefon byl připojen právě na tuto BTS s id 3288 / 7003 pro EDGE, respektive LTE. Vysílač využívá frekvenci 800MHz a je vzdálen 1930 metrů od místa měření. Během měření nepanovaly žádné ztížené podmínky pro přenos signálu. Počasí bylo klidné, zatažená obloha, nicméně bez jakýchkoliv sněhových či deštivých srážek.

Rychlost a stabilita připojení

V případě obce Černovice je udělována výjimka a jsou použity screenshots z odpoledního měření. Je tomu z důvodu, že připojení v obci bylo bezproblémové, kromě ranního přepnutí na 2G síť a EDGE technologii, ke které se telefon navíc připojil až na 3 pokus.. Po celou dobu byl LTE internet dostupný a je tak na místě použít hodnoty z odpoledního měření, které lépe charakterizují jeho kvalitu a parametry.



Obrázek 53: Černovice - Ookla

The screenshot shows a table of test results. The table has four columns: 'VÝSLEDEK', 'DETAILY', 'QOS', and 'GRAFY'. The data is as follows:

VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu		27. 1. 2019 12:27:03	
Časové pásmo		UTC+1h	
Rychlost downloadu		27 Mbps	
Rychlost uploadu		7,3 Mbps	
Ping		33 ms	
Ping variance		62 ms	
Síla signálu (RSRP)		-100 dBm	
Kvalita signálu (RSRQ)		-19 dB	
Typ sítě		4G (LTE)	
Poloha		N 49°22.412' E 14°57.528' (GPS, +/- 4 m)	

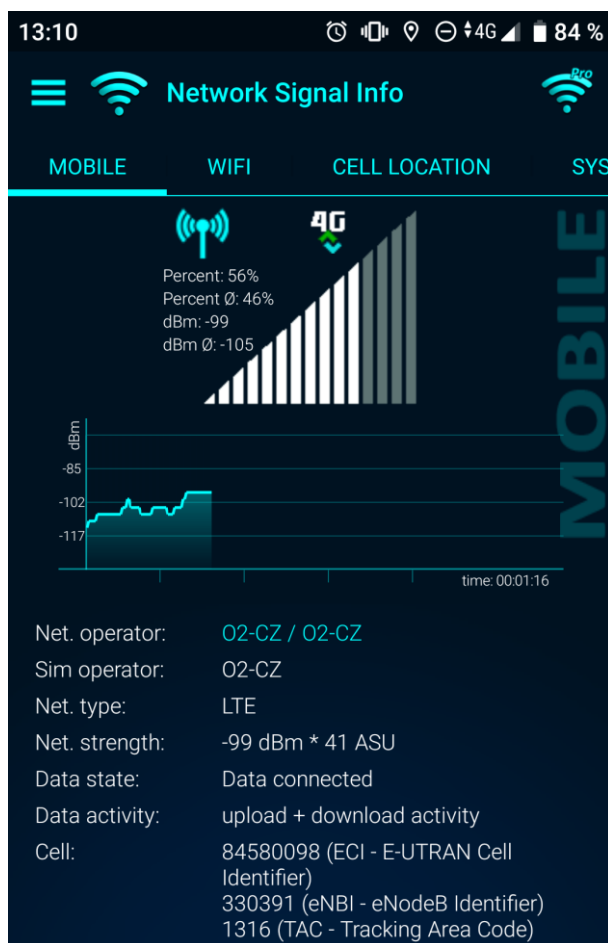
Obrázek 54: Černovice - NetMetr

Z obrázků č.44 a č.45 je znatelný propad v rychlosti download mezi oběma měřeními. Nicméně i hodnota 16,8 Mbps je dobrá. Připojení dosahuje dobrých rychlostí jak pro download tak pro upload. Také stabilita připojení je na velice dobré úrovni. Hodnoty odezvy 21ms, respektive 33ms jsou velice nízké, včetně hodnot jitter 11ms, či 62ms. Připojení je velice kvalitní a použitelné pro real-time aplikace.

Síla a kvalita signálu

Nicméně síla a kvalita signálu už nejsou tak přesvědčivé, jako kvalita a rychlost připojení. Hodnoty síly signálu pohybující se v rozmezí -95dBm až -105dBm nejsou nikterak oslnivé. Dále ukazatel RSRQ -19dB je velice nízký. Jedná se o téměř hraniční hodnotu, kdy je telefon

schopný přijmout LTE technologii. Je tak velice pravděpodobné že právě díky nízké kvalitě signálu došlo ráno k přepojení na EDGE síť.



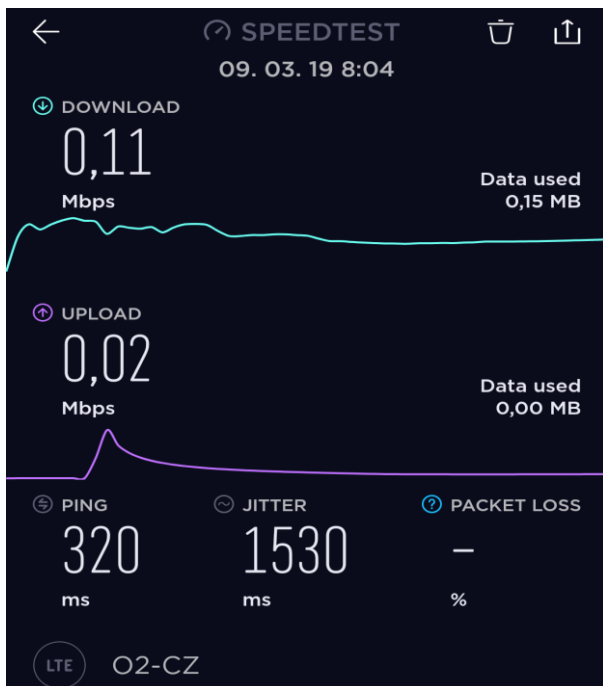
Obrázek 55: Černovice - NSI

8.3.5 Sovolusky

V obci Sovolusky a jejím okolí byla provedena dvě měření. Obě proběhla o víkendu pro předpokládané vyšší zatížení sítě. Obec se nachází v okrese Nymburk v rovinatém kraji. Jedná se spíše o chatařskou vesničku. V okolí bylo také provedeno měření za jízdy po okresní komunikaci při rychlosti 60km/h na silnici mezi obcemi Mcely a Loučeň. Toto měření bylo také realizováno pro sítě operátorů jak O2, tak T-Mobile.

8.3.5.1 Statické měření

V blízkosti obce Sovolusky neleží žádný vysílač. Měření byly parametry internetu od poskytovatelů O2 a T-Mobile. Oba poskytovatelé mají v okolí osazeny přenosovou technologií stejné vysílače. Jsou to 4,5km vzdálený vysílač v Ujkovicích a 4,7km vzdálený vysílač v Rožďalovicích. Nicméně ani k jednomu z těchto vysílačů se telefon během měření nepřipojil. V případě sítě O2 došlo ke spojení s vysílačem s ID 42744, který je vzdálen 19,5km a leží v obci Srbce u Poděbrad. V případě sítě poskytovatele T-Mobile byl telefon připojen k vysílaču ID 21893 ležící 21,6km daleko v obci Hradčany u Poděbrad. Během měření bylo klidné počasí.



Obrázek 57: Sovolusky O2 - Ookla

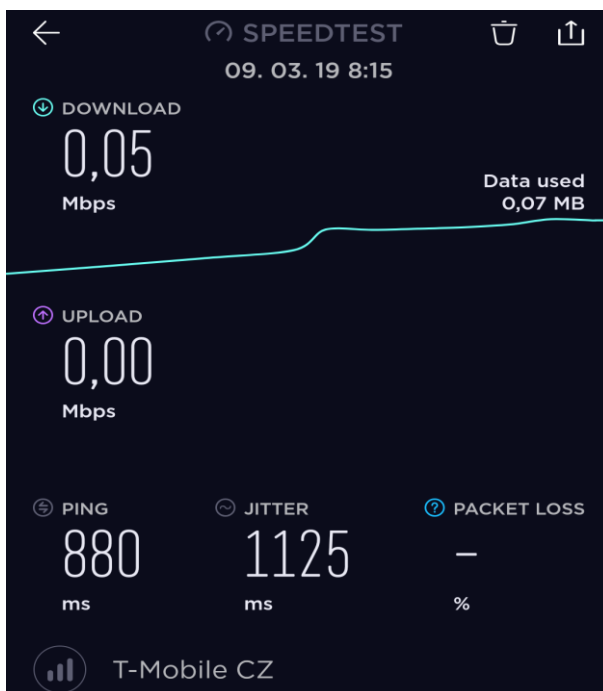
Výsledky testů	
VÝSLEDEK	DETAILY
Čas testu	9. 3. 2019 8:06:58
Časové pásmo	UTC+1h
Rychlost downloadu	0,1 Mbps
Rychlost uploadu	0,021 Mbps
Ping	160 ms
Ping variance	1 200 ms
Síla signálu	-105 dBm
Typ sítě	2G (EDGE)
Poloha	N 50°19.808' E 15°6.950' (GPS, +/- 4 m)
IP jméno sítě	O2-CZECH-REPUBLIC, CZ

Obrázek 56: Sovolusky O2 - NetMetr

Rychlost a stabilita připojení

Z naměřených hodnot je patrné, že internet nedosahuje ani u jednoho operátora nikterak oslnivých výsledků. Obrázky č. 55 a č. 56 patří rannímu měření internetu operátora O2.

Hodnoty download jsou velice průměrné i na technologii EDGE, kde se za dobré dají považovat výsledky od 170 kbps pro download. Hodnota Upload je dnes pro síť EDGE téměř irelevantní. Ping 320ms, respektive 160ms je poměrně vysoká hodnota, nicméně daleko větším strašákem je hodnota jitter 1530ms, respektive 1200ms. Jelikož se ale jedná o EDGE



Obrázek 58: Sovolusky T-Mobile - Ookla

Výsledky testů	
VÝSLEDEK	DETAILY
Čas testu	9. 3. 2019 8:30:17
Časové pásmo	UTC+1h
Rychlost downloadu	0,045 Mbps
Rychlost uploadu	0,03 Mbps
Ping	240 ms
Ping variance	6 600 ms
Síla signálu	-105 dBm
Typ sítě	2G (EDGE)
Poloha	N 50°13.258' E 15°12.030' (Síť, +/- 7319 m)
IP jméno sítě	TMOBILE-, CZ

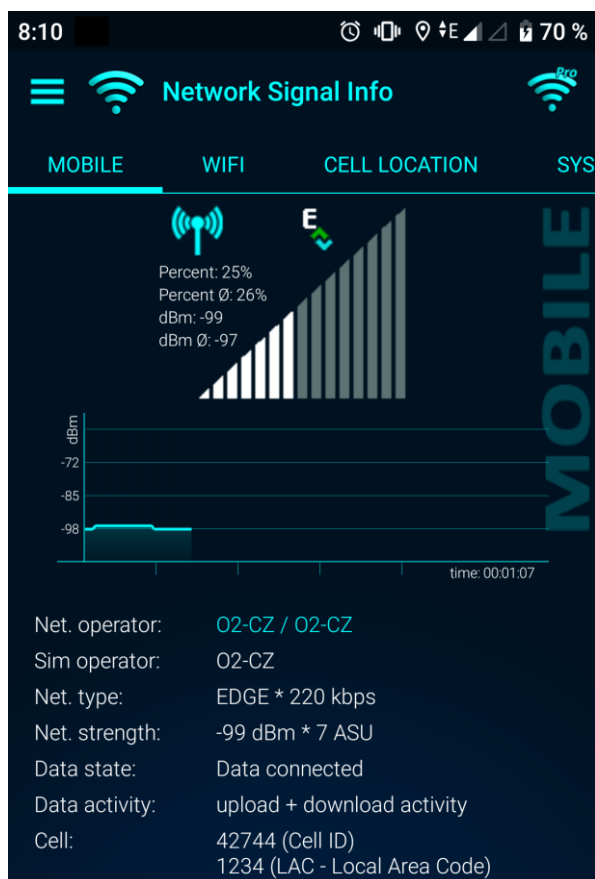
Obrázek 59: Sovolusky T-Mobile - NetMetr

technologii, na které je dnes nemožné provozovat například videohovory, streamovat, nebo hrát online hry, je to i přes vysokou hodnotu téměř irrelevantní. Fakticky to pouze zhoršuje uživatelskou zkušenost s prohlížením webových stránek ve smyslu velkého zpomalení načítání.

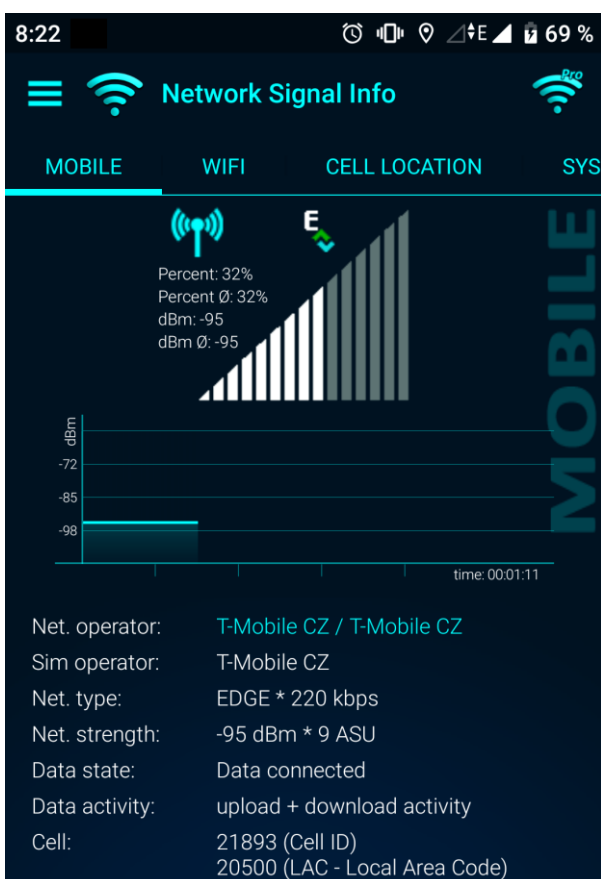
Výsledky měření služeb T-Mobile jsou ještě slabší. Zde je na tom kvalita EDGE připojení ještě hůře. Na rozdíl od O2 docházelo k velice častým výpadkům. V ranních hodinách bylo měření pomocí Ookla speedtesteru provedeno na poprvé, přičemž následně signál vypadl a měření pomocí aplikace NetMetr bylo realizováno až na druhý pokus. Odpolední měření pak pomocí aplikace Ookla proběhlo na druhý pokus, pomocí aplikace NetMetr až na čtvrtý pokus. Rychlosti download a upload jsou i na EDGE technologii velice špatné. Upload je také velice nízký, i když dnes ne příliš podstatný pro 2G síť. Hodnoty ping a jitter jsou rovněž velice vysoké. Hodnota jitter při měření aplikací NetMetr 6600ms je velice pravděpodobně zapříčiněna výpadky signálu v průběhu měření.

Síla a kvalita signálu

V okolí obce je celkově velký problém se signálem, ať již co se přenosu dat, či přenosu hlasu týče. Signál je velice kolísavý a slabý. Naměřená síla signálu se v případě obou operátorů pohybovala jen těsně nad hranicí -100dBm. Při překročení této hodnoty má obecně přijímač velké problémy s přijetím EDGE signálu a dochází tak část ok výpadkům. Nicméně zde se není čemu divit s přihlédnutím k faktu, že došlo ke spojení s velice vzdálenými vysílači.



Obrázek 60: Sovolusky O2 - NSI



Obrázek 61: Sovolusky T-Mobile - NSI

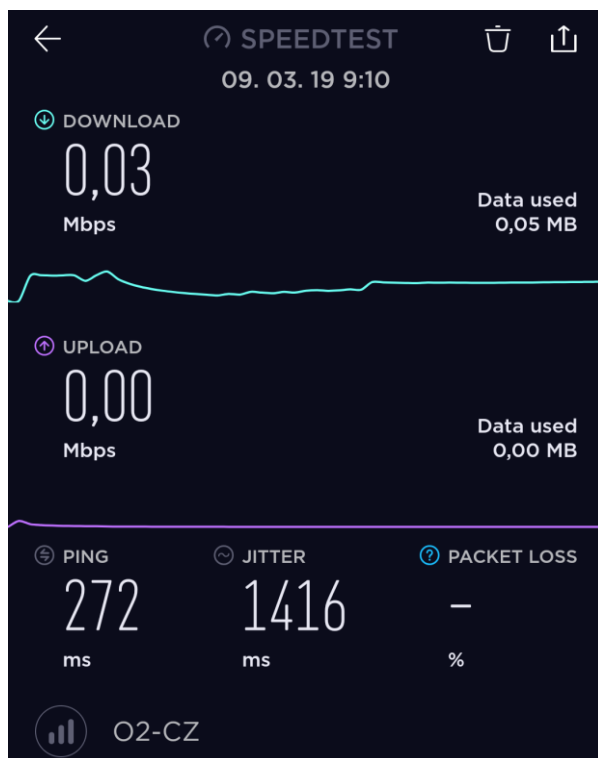
Aplikace nevidují ukazatele poukazující na kvalitu signálu pro 2G síť. Nicméně z měření a zkušenosti při používání internetu v lokalitě lze říci, že kvalita signálu je stejně jako jeho síla špatná. Právě kvůli častým výpadkům a nemožnosti přijmout data i v případě, že jak telefon, tak měřící aplikace indikuje připojení k síti.

8.3.5.2 Měření v pohybu

Prvotním plánem bylo provést měření na komunikacích vedoucích kolem obce Sovolusky. Nicméně jelikož ani na jedné z nich nedošlo k připojení zařízení do sítě operátora, bylo měření provedeno na vzdálenější komunikaci mezi obcemi Mcely a Loučeň. Mcely leží km od Sovolusk. Měření v pohybu bylo taktéž provedeno pro operátora O2 a T-Mobile. Pro lepší porovnatelnost byla trasa projeta 2x aby měření obou operátorů začínala na stejném místě při pohybu po stejné trase. Měření začalo za obcí Mcely na odbočce na Loučeň. Zde započalo měření aplikací Ookla. Dále po vjezdu do lesa proběhlo měření aplikací NSI. Poslední měření aplikací NetMetr bylo spuštěno na odbočce na obec Studce.

Rychlost a stabilita připojení

Z naměřených výsledků O2 sítě je patrná skutečnost, že došlo k přepojení sítě v průběhu měření. Po opuštění obce Mcely byl telefon připojen k technologii EDGE, zatímco v blízkosti obce Loučeň za křižovatkou u obce Studce došlo k přepojení na LTE technologii. Parametry sítě EDGE jsou velice špatné, jelikož rychlost download 30kbps je i na 2G síť velice pomalá. Rychlost upload nebyla dokonce naměřena. Hodnoty odezvy a jitter jsou rovněž vysoké. Obzvláště pak hodnota jitter 1,4 sekundy. Značí tak vysokou kolísavost sítě, jakožto služby. Naměřené parametry LTE sítě jsou poměrně slušné, neboť nelze říci, jak široké skutečně bylo přenosové pásmo. Na venkově se dá předpokládat s šířkou pásma 10MHz, výjimečně



Obrázek 63: Mcely - Loučeň O2 - Ookla

Výsledky testů	
VÝSLEDEK	DETAILY
Čas testu	9. 3. 2019 9:13:24
Časové pásmo	UTC+1h
Rychlost downloadu	4,5 Mbps
Rychlost uploadu	2,8 Mbps
Ping	38 ms
Ping variance	26 ms
Síla signálu	-103 dBm
Síla signálu (RSRP)	-106 dBm
Kvalita signálu (RSRQ)	-12 dB
Typ sítě	2G/4G
Poloha	N 50°17.525' E 15°1.967' (GPS, +/- 10 m)
IP jméno sítě	O2-CZECH-REPUBLIC, CZ
Pohyb	303 m

Obrázek 62: Mcely - Loučeň O2 - NetMetr

dokonce 5MHz pro dosažení vyšší kapacity při menším množství vysílačů. Hodnota download 4,5 Mbps tak nikterak neoslňuje, nicméně společně s velice dobrou stabilitou připojení se jedná o dostačující výsledek.

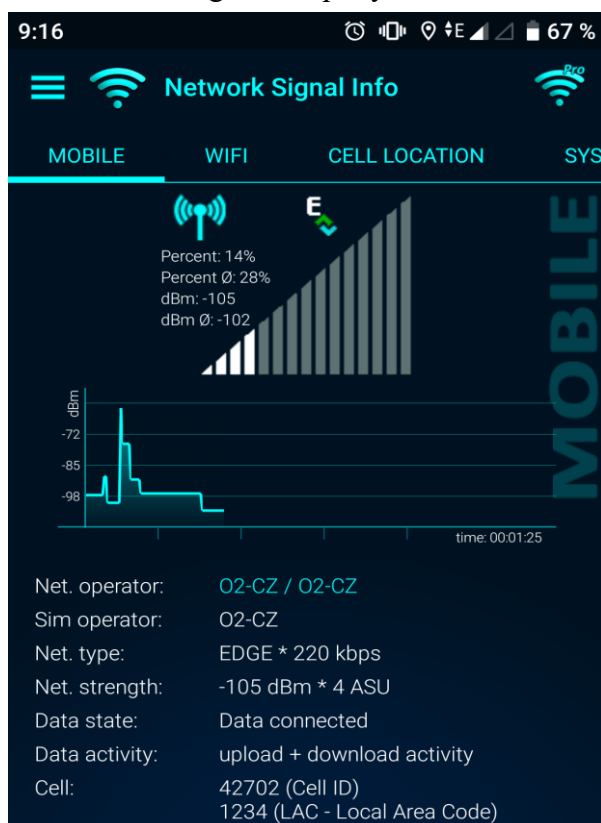
Síť poskytovatele T-Mobile zde od konkurenta lehce zaostává. Je tomu z důvodu absence připojení po opuštění obce Mcely. I přes ukazatel EDGE síť nebyl telefon schopen navázat spojení. Test aplikací Ookla tak neproběhl. Po spuštění aplikace NetMetr za křižovatkou u obce Studce již vše proběhlo podobně jako v případě poskytovatele O2. Tedy došlo k připojení do LTE sítě operátora T-Mobile. Nicméně parametry služby ve všech aspektech zůstávají za poskytovatele O2.

Výsledky testů			
VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu		9. 3. 2019 9:26:47	
Časové pásmo		UTC+1h	
Rychlost downloadu		1,5 Mbps	
Rychlost uploadu		1,7 Mbps	
Ping		34 ms	
Ping variance		46 ms	
Síla signálu (RSRP)		-105 dBm	
Kvalita signálu (RSRQ)		-20 dB	
Typ sítě		4G (LTE)	
Poloha		N 50°17.581' E 15°2.163' (GPS, +/- 3 m)	
IP jméno sítě		TMOBILE-, CZ	
Pohyb		349 m	

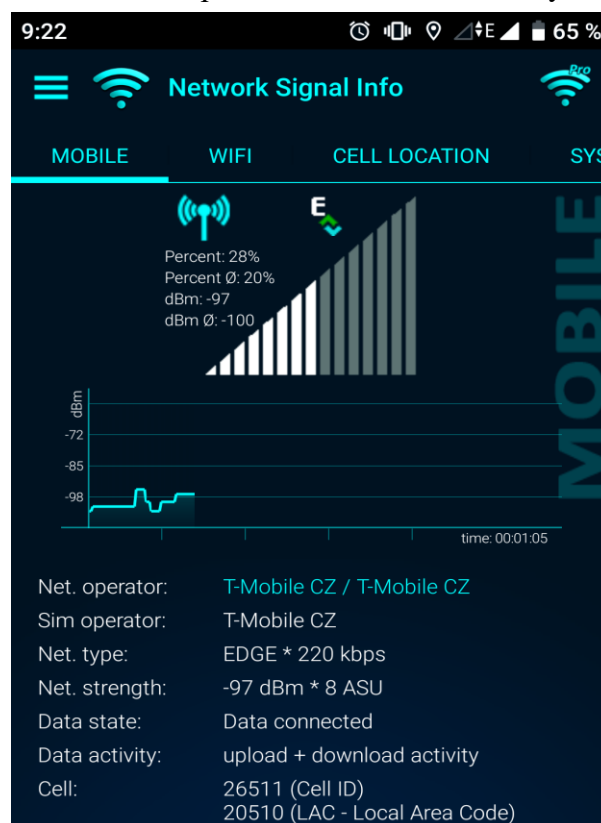
Obrázek 64: Mcely - Loučeň T-Mobile - NetMetr

Síla a kvalita signálu

O síle signálu se dá společně pro oba operátory říci, že je velice špatná. Intenzity jak O2 tak T-Mobile signálu se pohybovali okolo hranice -100dBm a pod tuto hranici také klesaly.



Obrázek 66: Mcely - Loučeň O2 - NSI



Obrázek 65: Mcely - Loučeň T-Mobile - NSI

To může být důvodem výpadků signálu na trase, jelikož hodnota -100dBm je pro připojení k EDGE síti referenční hodnotou. Při měření O2 sítě byl telefon připojen k BTS v Loučni s ID 42702, pro T-Mobile k BTS též v Loučni s ID 26511. Jedná se o ten samý vysílač, na kterém mají svou technologii nainstalovanou oba dva operátoři. Obzvláště u operátora O2 je možné pozorovat skok v intenzitě signálu. Právě v tu chvíli došlo k přepojení z EDGE sítě na LTE, zároveň byla změněna stanice, ke které byl telefon připojen.

8.3.6 Nymburk

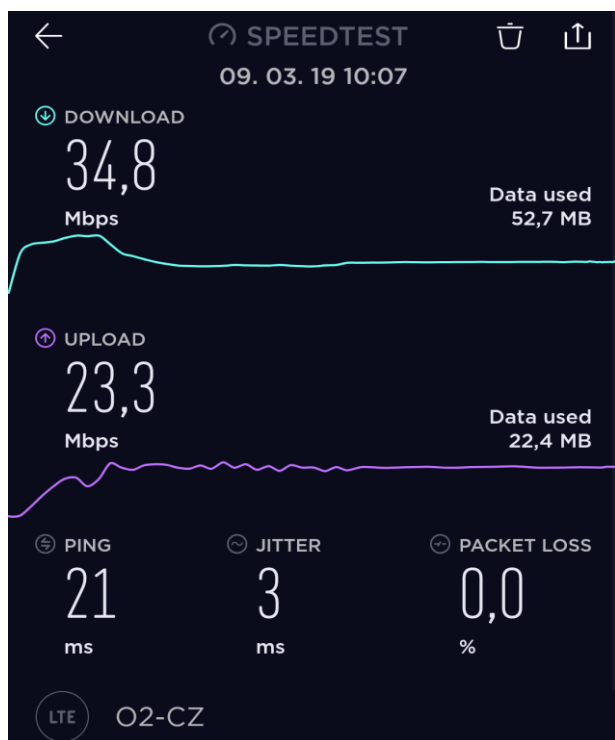
V Nymburce a jeho okolí proběhla dvě měření. Jedno statické na kraji města, druhé v pohybu na dálnici D11 mezi 30-35 kilometrem při rychlosti 100 km/h. Při statickém měření byly zjišťovány parametry sítí O2 a T-Mobile. Město leží v rovinném kraji bez přírodních překážek pro šíření signálu. Po celou dobu měření panovalo klidné počasí. Sběr dat proběhl o víkendu pro možné větší zatížení sítě.

8.3.6.1 Statické měření

Statické měření proběhlo na kraji Nymburka. Telefon byl po celou dobu připojen k jediné BTS. Pro O2 to byla BTS s ID 58890497 vysílající LTE signál na frekvenci 800MHz. Pro T-Mobile BTS s ID 58890508 vysílající LTE signál též na v 800MHz pásmu. Technologie obou operátorů jsou nainstalovány na stejném stožáru. Vysílač je vzdálen 200m od místa měření.

Rychlost a kvalita připojení

Připojení bylo po celou dobu stabilní a celková služba dosahovala velice vysoké kvality,



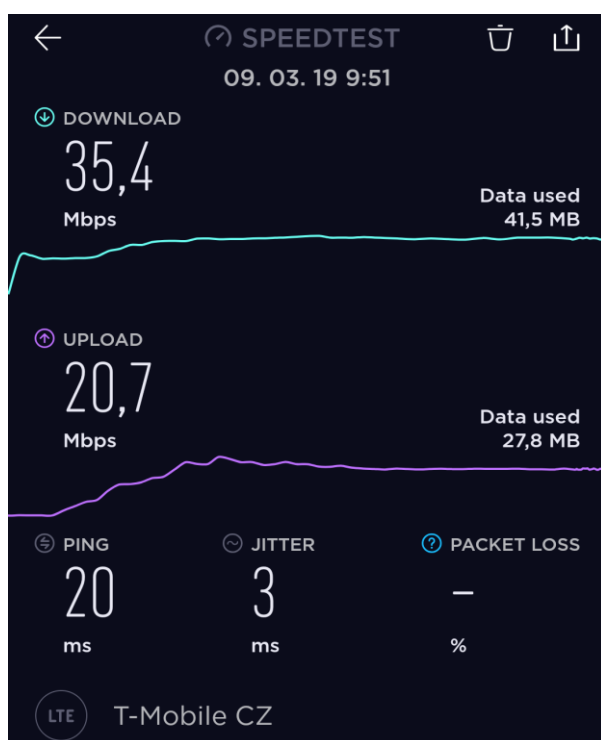
Obrázek 68: Nymburk O2 - Ookla

Výsledky testů	
VÝSLEDEK	DETAILY
Čas testu	9. 3. 2019 10:08:45
Časové pásmo	UTC+1h
Rychlost downloadu	19 Mbps
Rychlost uploadu	22 Mbps
Ping	20 ms
Ping variance	21 ms
Síla signálu (RSRP)	-76 dBm
Kvalita signálu (RSRQ)	-7 dB
Typ sítě	4G (LTE)
Poloha	N 50°10.699' E 15°3.579' (GPS, +/- 10 m)
IP jméno sítě	O2-CZECH-REPUBLIC, CZ

Obrázek 67: Nymburk O2 - NetMetr

o čemž vypovídají také naměřené výsledky. Přenosové rychlosti sítě O2 dosahovala 20 Mbps a více pro upload i download. Odezva a jitter byly taktéž velice rychlé, z pravidla do 30ms. Jedná se po všech stránkách o velice kvalitní připojení.

Parametry služby od poskytovatele T-Mobile na tom jsou velice podobně. S připojením nebyl po celou dobu měření problém a telefon byl připojen k jediné BTS. Přenosová rychlost neklesla pod 20 Mbps. Nicméně T-Mobile trochu zaostával v rychlosti upload, kde se ranního měření nepřehoupl přes 2 Mbps. Nicméně hodnoty ping a jitter jsou stejně jako u O2 velice rychlé, také do 20ms. Lze tak říci že je internet od obou operátorů velice kvalitní, rychlý a stabilní.



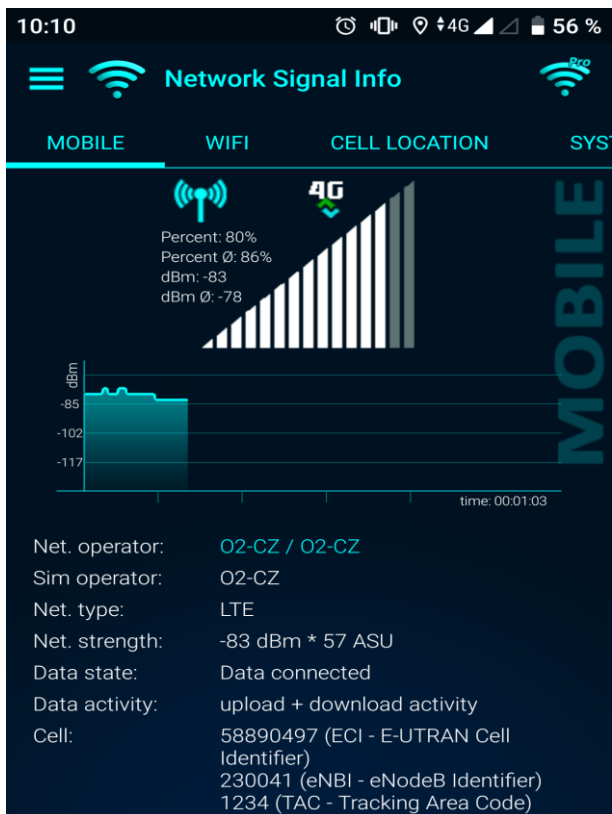
Obrázek 70: Nymburk T-Mobile - Ookla

Výsledky testů	
VÝSLEDEK	DETAILY
Čas testu	9. 3. 2019 9:52:28
Časové pásmo	UTC+1h
Rychlost downloadu	30 Mbps
Rychlost uploadu	22 Mbps
Ping	18 ms
Ping variance	2,2 ms
Síla signálu (RSRP)	-87 dBm
Kvalita signálu (RSRQ)	-7 dB
Typ sítě	4G (LTE)
Poloha	N 50°10.704' E 15°3.538' (Síť, +/- 20 m)
IP jméno sítě	TMOBILE-, CZ

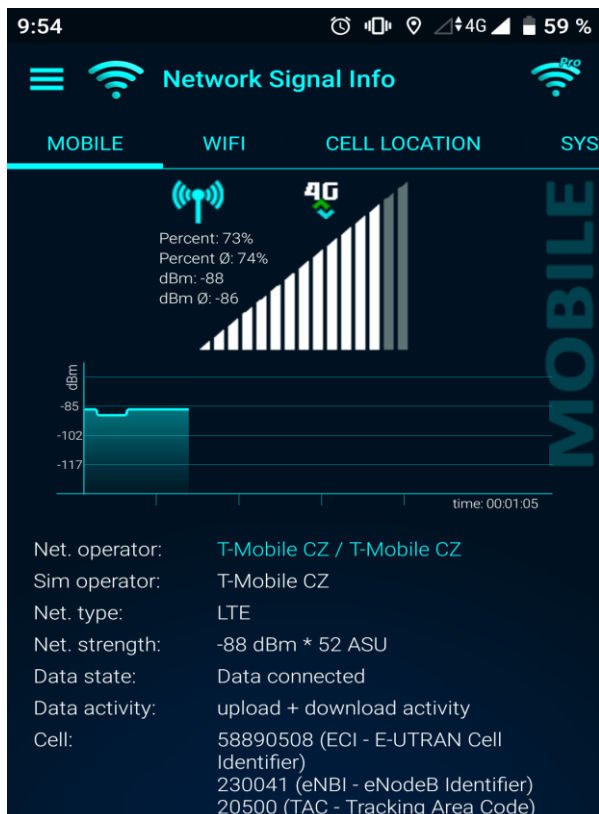
Obrázek 69: Nymburk T-Mobile - NetMetr

Síla a kvalita signálu

Kvalita signálu dosahuje pro oba operátory velice dobrých hodnot, kde ukazatel RSRQ s naměřenými -7dB poukazuje na velice kvalitní signál. Z velké části je tomu tak v důsledku blízkého vysílače. Nicméně s BTS v takovéto blízkosti by se dal očekávat silnější signál než hodnoty blížící se -90dBm.



Obrázek 72: Nymburk O2 - NSI



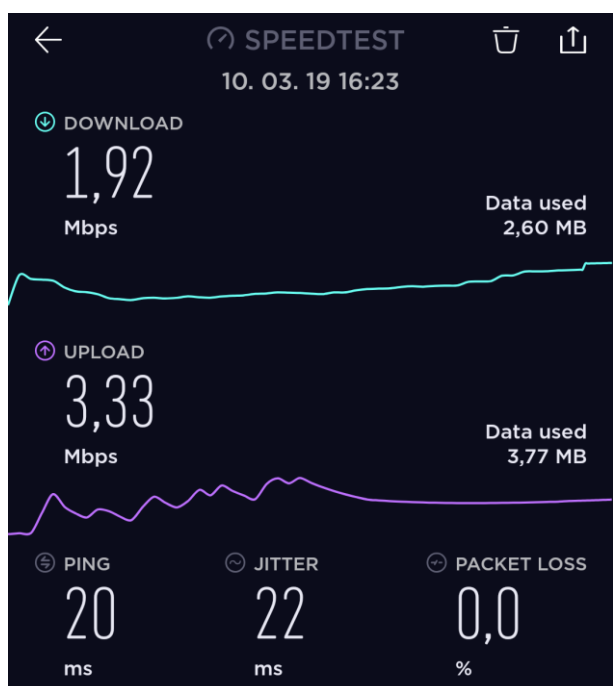
Obrázek 71: Nymburk T-Mobile - NSI

8.3.6.2 Měření v pohybu

Měření bylo provedeno na dálnici D11 mezi 30 a 35 kilometrem za deštivého počasí při rychlosti 100 km/h. Telefon byl připojen k BTS s ID 59082498, která vysílá LTE signál v pásmu 800MHz. Vysílač leží 400 metrů od dálnice a v době měření se nacházel ve vzdálenosti 400 metrů – 3,5km od místa měření.

Rychlost a kvalita připojení

Rychlosti download a upload nejsou nikterak vysoké. Nicméně jelikož se jedná o připojení přes vysílač ležící v malé obci zásobující daty několik okolních vesnic a část dálnice, je možné že dochází k výraznému zúžení přenosového pásma pro navýšení přenosové kapacity na úkor přenosové rychlosti. Nicméně kvalita připojení je vysoká s hodnotami ping do 40ms. Taktéž jitter je velice dobrý s 22ms, respektive slušný se 160ms. Internet s těmito parametry je použitelný například pro videohovory, či online navigaci při cestování.



Obrázek 73: D11 O2 - Ookla

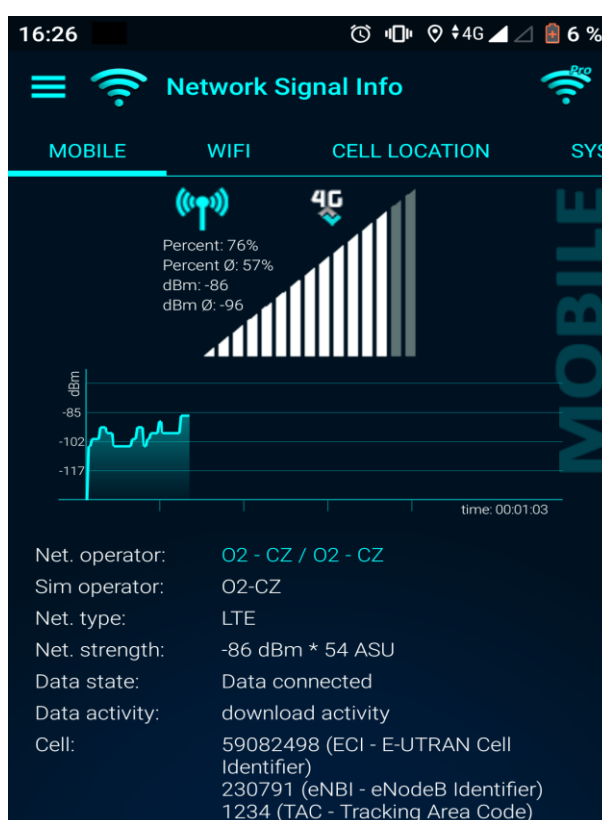


Obrázek 74: D11 O2 - NetMetr

Síla a kvalita signálu

Síla signálu je velice závislá na vzdálenosti od vysílače. Zde je velice dobře patrné k jakým rozdílům dochází. Aplikace NetMetr byla spuštěna přibližně 3km od vysílače, kdežto aplikace Network Signal Info běžela přibližně od 2,5 km od vysílače až přibližně do místa, kde je dálnice k BTS nejbližší. Proto velký rozdíl mezi hodnotami těchto aplikací.

Nicméně zde je třeba vzít v úvahu i hustý déšť, který zhoršuje podmínky pro přenos signálu a signál je více tlumen samotným okolím. Ukazatel kvality signálu RSRQ s hodnotou -16dB není nikterak dobrý, ale ani špatný. Odpovídá přibližně 20-30% kvality signálu. Nicméně zde je opět znatelný rozdíl mezi hodnotou aplikace NetMetr, tedy -16dB, a hodnotou aplikace NSI, která naměřila přibližnou kvalitu signálu v místě blízkém BTS 76%, což odpovídá přibližně -7dB. Je tedy opět dobře patrný rozdíl mezi měřením provedeným přibližně 3km a nebo 0,5km od BTS.



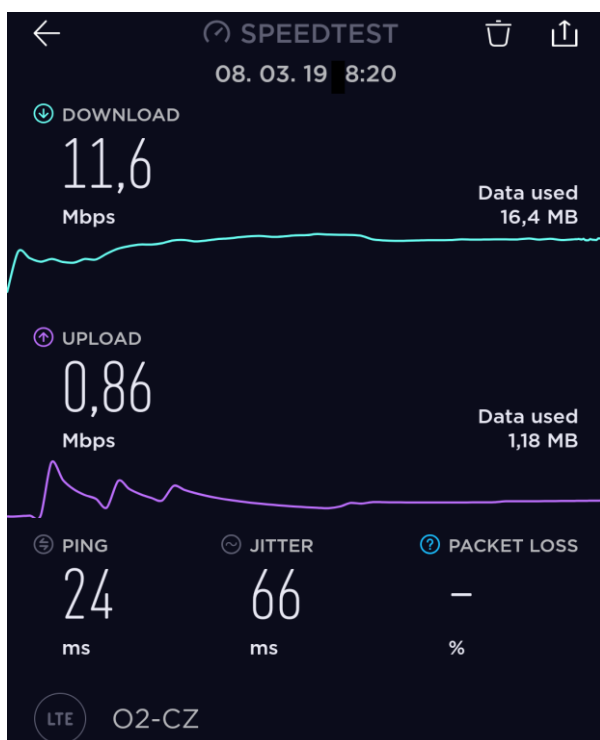
Obrázek 75: D11 O2 – NSI

8.3.7 Mladá Boleslav

V Mladé Boleslavi byla provedena měření sítě operátorů O2 a T-Mobile. Měření bylo provedeno na kraji města u silnice č.16 na Jičín. O2 připojení bylo realizováno přes vysílače s ID 240051, který je vzdálen 910 metrů od místa, kde bylo provedeno měření, pracující v pásmu 800MHz. Druhým vysílačem byla BTS s ID 70416, vzdálena 150 metrů od místa měření pracující v pásmu 1800MHz. Při měření sítě T-Mobile byl telefon připojen k jedinému vysílači s ID 240051. Jedná se o stejnou BTS jako v případě jednoho měření sítě O2, na kterém mají oba operátoři nainstalovanou vlastní technologii. Měření proběhla ve všední den pro předpokládané větší zatížení sítě, jelikož se nejedná o chatářskou či rekreační oblast. Po celou dobu měření panovalo dobré počasí.

Rychlost a kvalita připojení

Celková zkušenost s používáním internetu byl dobrá. Přenosové rychlosti operátora O2 byly dostačující s úpadkem v poledních a odpoledních hodinách. Rychlost download



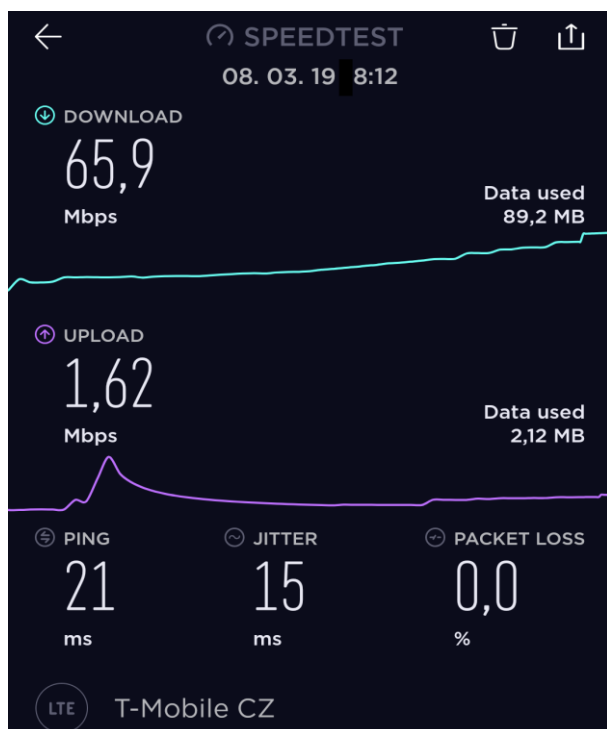
Obrázek 77: Mladá Boleslav O2 - Ookla

The screenshot shows the NetMetr test results table. The title is 'Výsledky testů'. The table has four columns: 'VÝSLEDEK', 'DETAILY', 'QOS', and 'GRAFY'. The data is as follows:

VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu		8. 3. 2019 8:19:48	
Časové pásmo		UTC+1h	
Rychlost downloadu		8,8 Mbps	
Rychlost uploadu		5,1 Mbps	
Ping		40 ms	
Ping variance		210 ms	
Síla signálu (RSRP)		-96 dBm	
Kvalita signálu (RSRQ)		-14 dB	
Typ sítě		4G (LTE)	
Poloha		N 50°24.529' E 14°56.334' (GPS, +/- 3 m)	
IP jméno sítě		O2-CZECH-REPUBLIC, CZ	

Obrázek 76: Mladá Boleslav O2 - NetMetr

se pohybovala kolem 10 Mbps. Rychlost upload naproti tomu dosahovala velké variability mezi přibližně 1 Mbps až 5,5 Mbps. Stabilita sítě zůstala mírně za očekáváním. Hodnota odezvy byla po celou dobu dobrá mezi 20-40ms, nicméně jitter kolísal a zabředl i do vyšších hodnot, než by bylo na LTE síť provozovanou ve městě požadované. Jeho hodnota se pohybovala v rozmezí 40-700ms.



Obrázek 79: Mladá Boleslav T-Mobile - Ookla

Výsledky testů	
VÝSLEDEK	DETAILY
Čas testu	8. 3. 2019 8:13:05
Časové pásmo	UTC+1h
Rychlost downloadu	66 Mbps
Rychlost uploadu	2 Mbps
Ping	21 ms
Ping variance	55 ms
Síla signálu (RSRP)	-97 dBm
Kvalita signálu (RSRQ)	-8 dB
Typ sítě	4G (LTE)
Poloha	N 50°24.532' E 14°56.335' (GPS, +/- 5 m)
IP jméno sítě	TMOBILE-, CZ

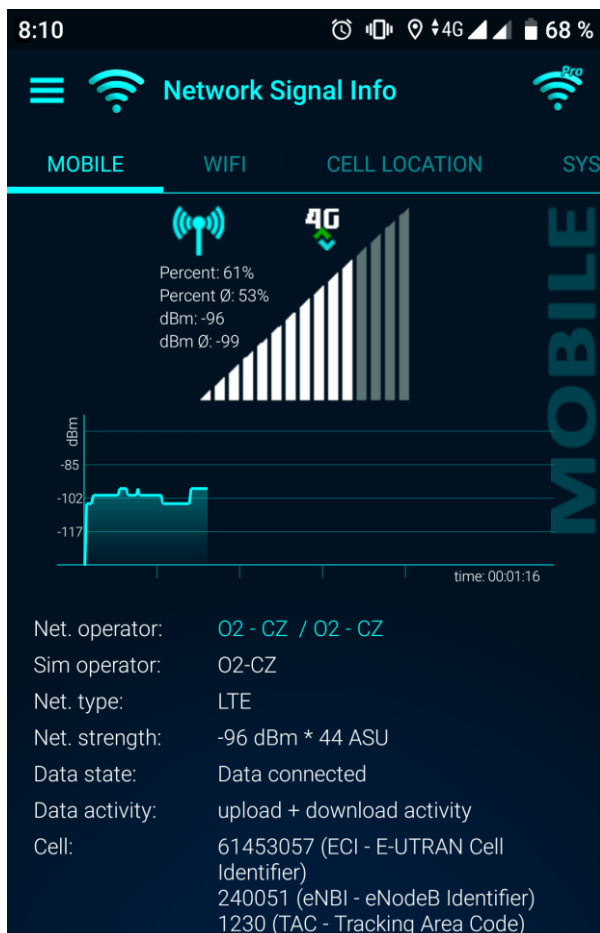
Obrázek 78: Mladá Boleslav T-Mobile - NetMetr

Hodnoty sítě T-Mobile naproti tomu vypadají o poznání jinak. V tomto případě srovnávání těchto dvou sítí nabízí souboj Davida s Goliášem, neboť T-Mobile provozuje v Mladé Boleslavi LTE-A síť. Na první pohled je vidět znatelný rozdíl, kde rychlost download je hned 6x větší než u konkurenta O2 a v ranních hodinách přesahoval 60 Mbps. Je potřeba říci, že takto vysoké hodnoty byly naměřeny pouze ráno, přes den se rychlost pohybovala mezi 35 a 50 Mbps pro download, upload zůstal podobný. Právě rychlost upload ale zůstává velice za očekáváním. Hodnota kolem 2 Mbps není nikterak dobrá ani pro klasickou LTE síť, natož pak pro LTE-A.

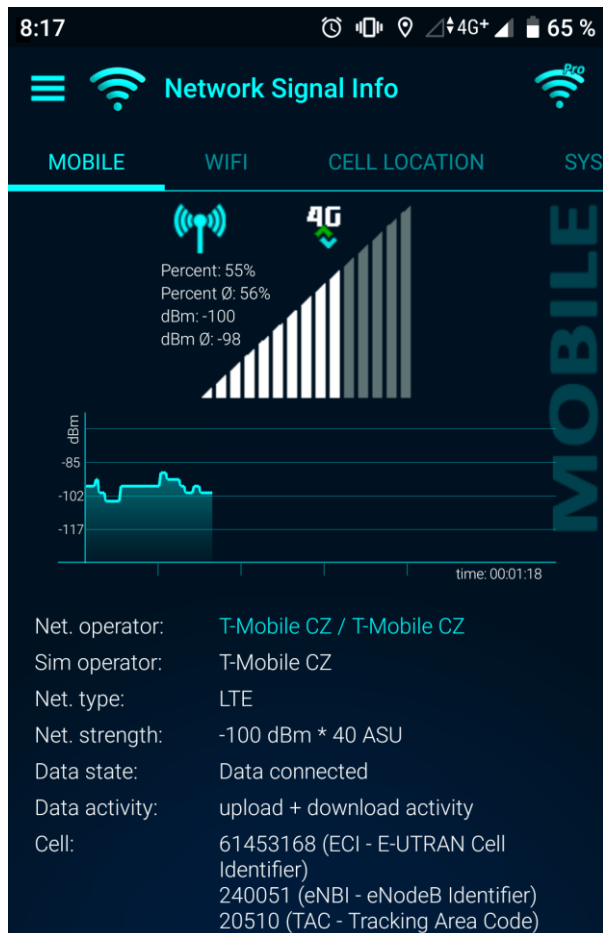
Hodnoty ping jsou velice podobné těm sítě O2, nicméně jitter zaznamenal zlepšení. Především jeho variabilita není tak vysoká. Konkrétně ranní hodnota viditelná na obrázku č. 78 je nejhorší z naměřených, jinak se jitter držel kolem 20-30ms.

Síla a kvalita signálu

Síla signálu obou operátorů s hodnotou blížící se -100dBm není vzhledem k vzdálenosti od vysílače ideální, nicméně stačí k bezproblémovému připojení a stabilitě spojení. Po celou dobu měření a užívání internetu nedocházelo k výpadkům. Nicméně s podobností u síly signálu pro oba operátory podobnost končí, neboť ukazatel kvality signálu RSRQ byl pro O2 -13dB a -14dB, zatímco u T-Mobile -7dB a -8dB. Je třeba si uvědomit, že rozdíl 3dB je zhruba 50%. Kvalita signálu T-Mobile tak na základě tohoto ukazatele je o 75% vyšší, než kvalita signálu O2, nicméně hodnota RSRQ jako taková slouží pouze jako ukazatel používaný k výpočtu kvality signálu a nejedná se tak o výslednou hodnotu.



Obrázek 80: Mladá Boleslav O2 - NSI



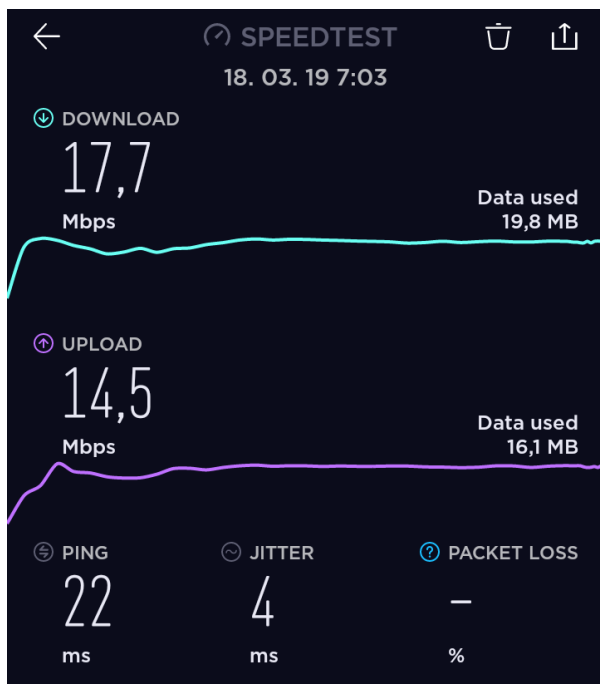
Obrázek 81: Mladá Boleslav T-Mobile - NSI

8.3.8 Unhošť

V městě Unhošť proběhlo jedno měření sítě operátora O2. Po celý den nebyl s připojením žádný problém a parametry internetu dosahovali velice dobrých výsledků s očekávaným poklesem rychlosti ve večerních hodinách. Večer také došlo k jednomu výpadku signálu, nicméně neměl dlouhého trvání. Unhošť leží v rovinném kraji a v jejím centru se nachází vysílač s ID 270391, jež operuje na frekvenci 800MHz. Je vzdálený 1,3 km od místa měření, ke kterému byl telefon při všech měření připojen.

Rychlost a kvalita připojení

Připojení v Unhošti dosahuje velice slušných výsledků. Nicméně mimo špičku dochází ke znatelnému propadu. I tak jsou ale přenosové rychlosti na takové úrovni, že to zkušenost uživatele s používáním internetu nikterak výrazně neovlivňuje. S výjimkou večera, kdy je zatížení sítě nejvyšší, se rychlost download pohybovala nad 17 Mbps a rychlost upload nad 14 Mbps. Připojení kromě dobrých přenosových rychlostí dosahuje především vysoké kvality a stability. Rychlosti ping do 30ms a hodnota jitter do 10ms značí velice dobré připojení kde ve spojení s přenosovou rychlostí není problém například streamovat full HD video, či provozovat full HD videohovor.



Obrázek 83: Unhošť O2 - Ookla

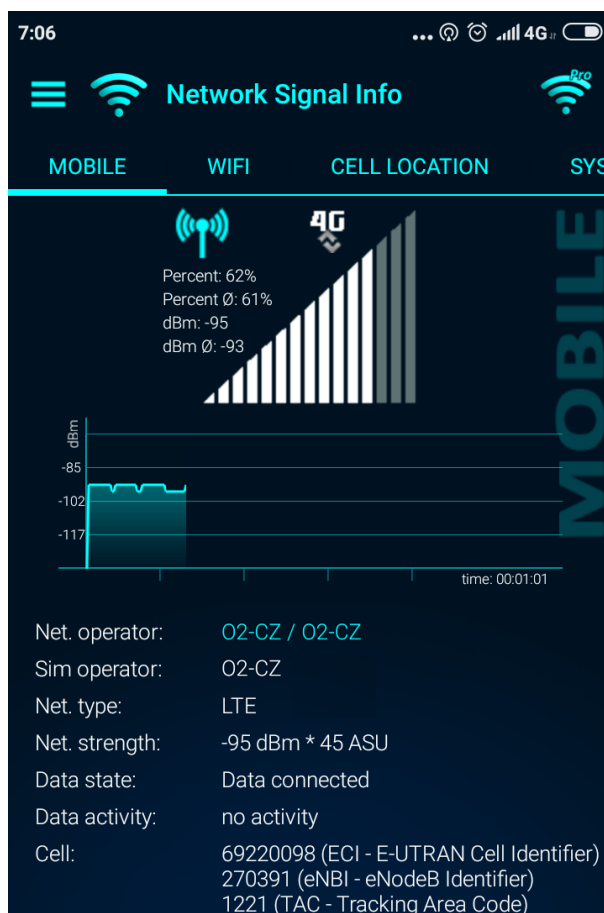
The screenshot shows a table titled 'Výsledky testů' (Test Results). The table has four columns: 'VÝSLEDEK' (Result), 'DETAILY' (Details), 'QOS', and 'GRAFY' (Charts). The data rows are as follows:

VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu		18. 3. 2019 7:04:35	
Časové pásmo		UTC+1h	
Rychlost downloadu		19 Mbps	
Rychlost uploadu		18 Mbps	
Ping		25 ms	
Ping variance		9,3 ms	
Síla signálu (RSRP)		-96 dBm	
Kvalita signálu (RSRQ)		-11 dB	
Typ sítě		4G (LTE)	
Poloha		N 50°4.757' E 14°7.343' (GPS, +/- 4 m)	

Obrázek 82: Unhošť O2 - NetMetr

Síla a kvalita signálu

Síla signálu s hodnotami v rozmezí -90 a -96 dBm není vzhledem k vzdálenosti od BTS pouze 1,3 km ideální. Nicméně v kombinaci s kvalitním signálem bez problémů stačí k navázání stabilního a rychlého připojení. Signál nevypadává a při vypnutí a opětovném zapnutí dat k připojení dochází okamžitě. Stejně jako u předchozích měření parametrů sítě LTE byla naměřena hodnota RSRQ jakožto ukazatel kvality sítě. Hodnota -11dB značí dobrou kvalitu signálu, nicméně pro přesné stanovení je třeba hodnotu přepočítat na ukazatel SINR. Po celou dobu byl telefon připojen k jedné BTS která leží v centru Unhoště vzdálena 1,3km. Jedná se o jediný vysílač ve městě, nicméně svojí kapacitou bez problémů zvládá zásobovat internetem celou Unhošť.



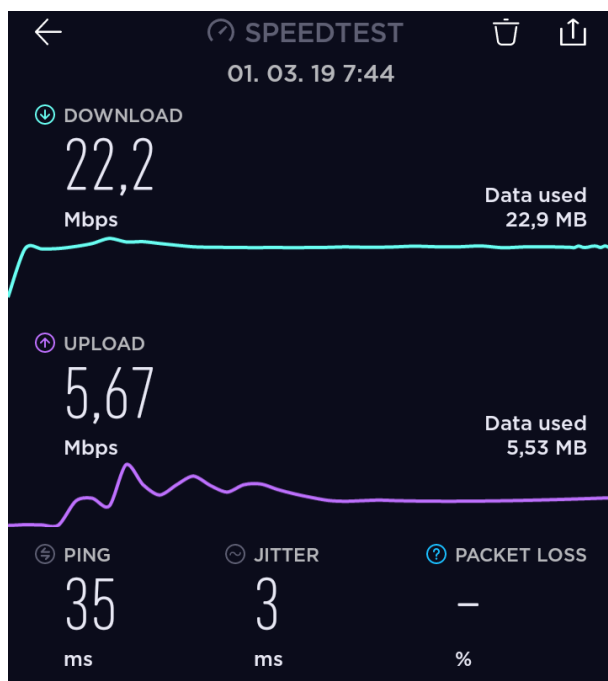
Obrázek 84: Unhošť O2 - NSI

8.3.9 Veřovice

Ve Veřovicích bylo provedeno jedno měření operátora O2. Ač leží obec v podhůří Beskydských hor, s připojením k internetu nenastaly žádné potíže. Přímo ve vesnici se nachází BTS s ID 71048 jež podporuje LTE a EDGE technologie, přičemž LTE vysílá na frekvenci 800MHz a od místa měření je vzdálena 1 km. Nicméně při ranním měření došlo k připojení k jinému vysílači a sice ID 72406, který leží 3,7 km od místa měření a vysílá rovněž LTE signál v 800MHz pásmu a dále pak signál EDGE. Během celého dne panovalo klidné počasí.

Rychlost a kvalita připojení

V ranních hodinách bylo připojení velice rychlé, o čemž vypovídají i naměřené hodnoty. Rychlost download se pohybovala kolem 20 Mbps a rychlost upload kolem 10 Mbps. Taktéž stabilita sítě byla velice dobrá, nedocházelo k výpadkům připojení a internet pracoval téměř bez odezvy. Hodnoty ping do 40ms a jitter do 10ms jen potvrzují toto tvrzení.



Obrázek 86: Veřovice O2 - Ookla

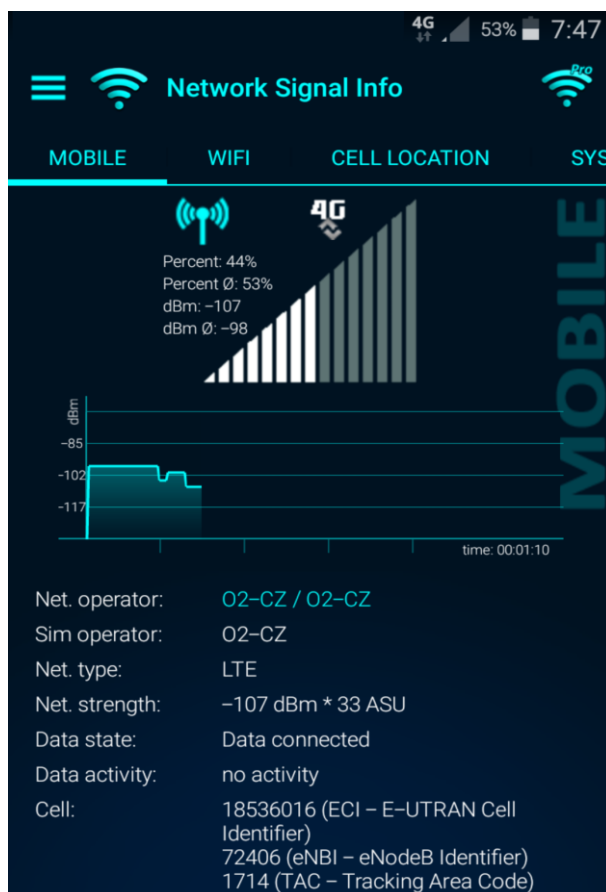
Výsledky testů			
VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	1. 3. 2019 7:43:12		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	20 Mbps		
Rychlost uploadu	13 Mbps		
Ping	40 ms		
Ping variance	6 ms		
Síla signálu (RSRP)	-100 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-11 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 49°32.674' E 18°4.594' (Síť, +/- 2300 m)		

Obrázek 85: Veřovice O2 - NetMetr

V odpoledních a večerních hodinách zaznamenaly přenosové rychlosti ztrátu. Odpoledne se rychlost download pohybovala kolem 7-10 Mbps, večer pak kolem 5-7 Mbps. Rychlost upload pak po celé odpoledne a večer klesla k hodnotám kolem 1-3 Mbps. S větším zatížením sítě se v odpoledních hodinách snížila i její stabilita. Ping zůstal na hodnotách okolo 40ms, nicméně jitter stoupl na 20-40ms. I tak se ale dá říci, že jsou tyto výsledky velice dobré. Připojení bylo po celou dobu stabilní a bez výpadků. Za zhoršením může kromě většího vytížení být i změna BTS, kde právě vysílač ve Veřovicích může používat menší šířku přenosového pásma pro větší kapacitu sítě.

Síla a kvalita signálu

Síla signálu na rozdíl od rychlostí připojení není tak uspokojivá. S přihlédnutím k faktu, že se BTS nachází 1 km od místa kde byla provedena měření, pro ranní je to 3,7 km, jelikož byl telefon připojen k jinému vysílači, jsou hodnoty kolem -110dBm poněkud znepokojivé. Síla signálu se tak blíží k prahu možnosti navázání spojení a jde o signál na frekvenci 800MHz, který by měl mít dosah zhruba 20-30 km. Nicméně kvalita signálu byla po celou dobu na dobré úrovni. Hodnota ukazatele RSRQ se pohybovala kolem -10dB.



Obrázek 87: Veřovice O2 – NSI

8.3.10 Praha

Celkem byla v Praze provedena tři měření sítě operátora O2. První dvě v klidu a to na západním okraji Prahy v městské části Praha 13 – Velká Ohrada, poté v centru Prahy v ulici Vinohradská nad Národním Muzeem. Třetí pak v pohybu na jižní spojce mezi sjezdy na Kačerov a Vršovice. Po dobu obou měření panovalo klidné počasí.

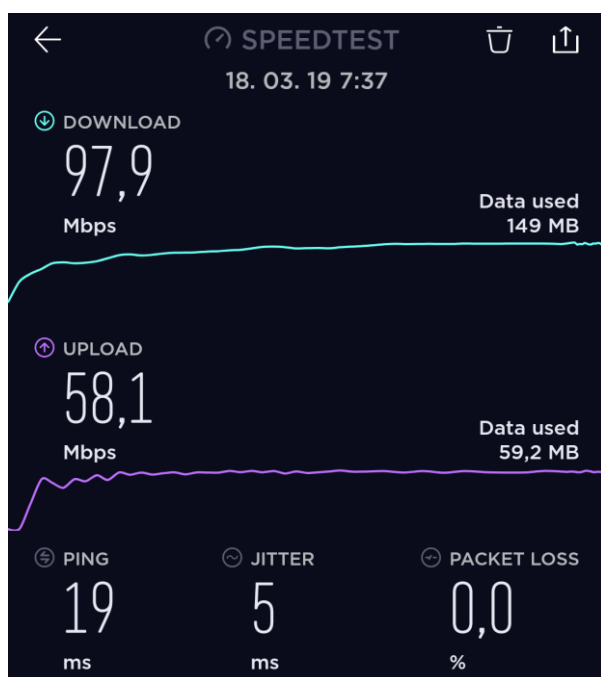
8.3.10.1 Statické měření

K prvnímu statickému měření došlo na sídlišti Velká Ohrada ležícím na Praze 13. Telefon byl po celou dobu připojen k jediné BTS s ID 40468, která leží v 80m od místa měření a disponuje technologií pro přenos EDGE, UMTS a LTE signálu. LTE signál přenáší v pásmech 800MHz a 1800MHz. S připojením nebyly po celou dobu měření a v průběhu používání žádné potíže. Druhé měření bylo provedeno v ulici Vinohradská. Telefon

byl po celou dobu připojen k jedinému vysílači s ID 40128, který se nachází 85m od místa měření a podporuje přenos EDGE, UMTS a LTE technologií. Vysílá LTE signál v pásmech 800MHz a 1800MHz.

Rychlost a kvalita připojení

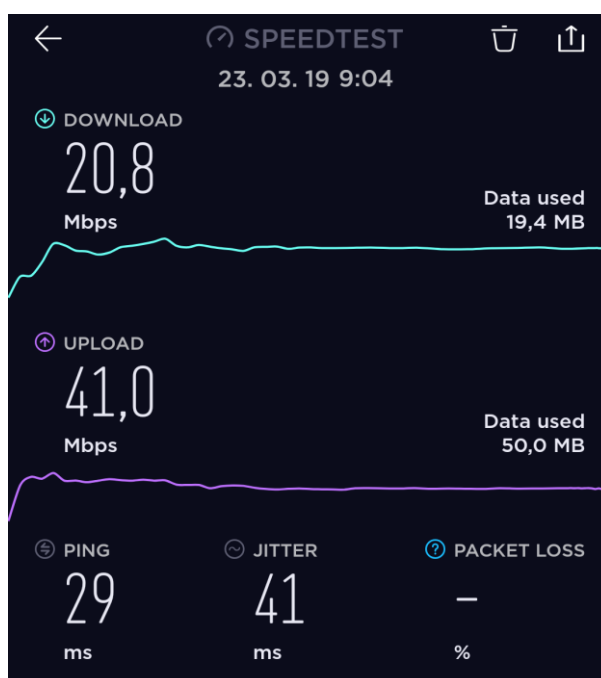
Jak rychlost, tak kvalita připojení byla na velice vysoké úrovni, nicméně nic jiného nejde v takové blízkosti od vysílače ani očekávat. Ranní a odpolední rychlosti se pohybovali



Obrázek 90: Praha Velká - Ohrada O2 - Ookla

Výsledky testů	
VÝSLEDEK	DETAILY
Test time	18. 3. 2019 7:38:33
Timezone	UTC+1h
Download speed	97 Mbps
Upload speed	58 Mbps
Ping	28 ms
Ping variance	31 ms
Signal strength (RSRP)	-78 dBm
Signal quality (RSRQ)	-10 dB
Network type	4G (LTE)
Location	N 50°2.265' E 14°20.437' (GPS, +/- 3 m)

Obrázek 89: Praha - Velká Ohrada O2 – NetMetr



Obrázek 91: Praha - Vinohradská ulice O2 - Ookla

Výsledky testů	
VÝSLEDEK	DETAILY
Test time	23. 3. 2019 9:05:21
Timezone	UTC+1h
Download speed	18 Mbps
Upload speed	45 Mbps
Ping	57 ms
Ping variance	400 ms
Signal strength (RSRP)	-88 dBm
Signal quality (RSRQ)	-11 dB
Network type	4G (LTE)
Location	N 50°4.614' E 14°26.525' (GPS, +/- 9 m)

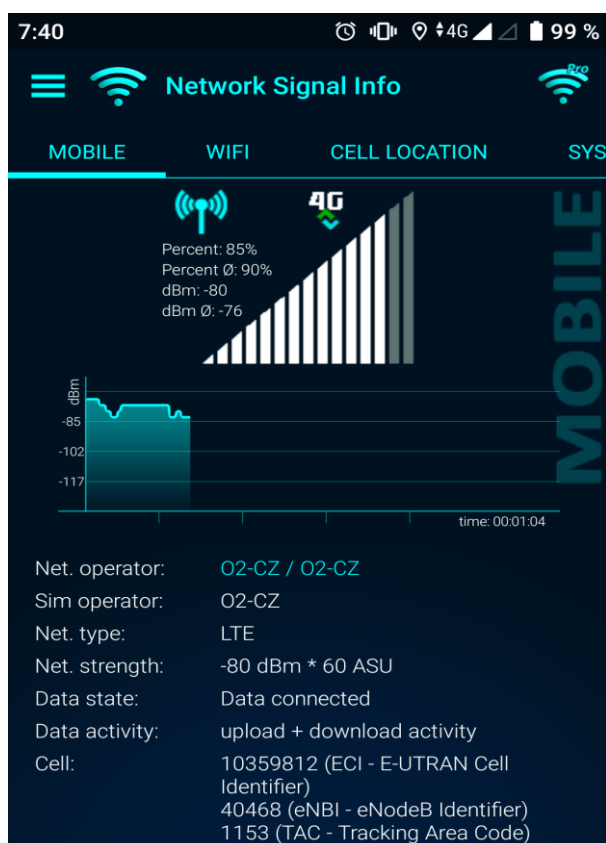
Obrázek 88: Praha - Vinohradská ulice O2 - NetMetr

kolem 95 Mbps pro download a kolem 55 Mbps pro upload. Taktéž stabilita připojení byla velice dobrá s hodnotami ping do 30ms, stejně tak na tom byly hodnoty jitter. Ve večerních hodinách došlo k poklesu rychlosti, nicméně vzhledem k výsledku nebyl znatelný, jelikož stále se rychlost download pohybovala nad 70 Mbps, rychlost upload pak nad 45 Mbps.

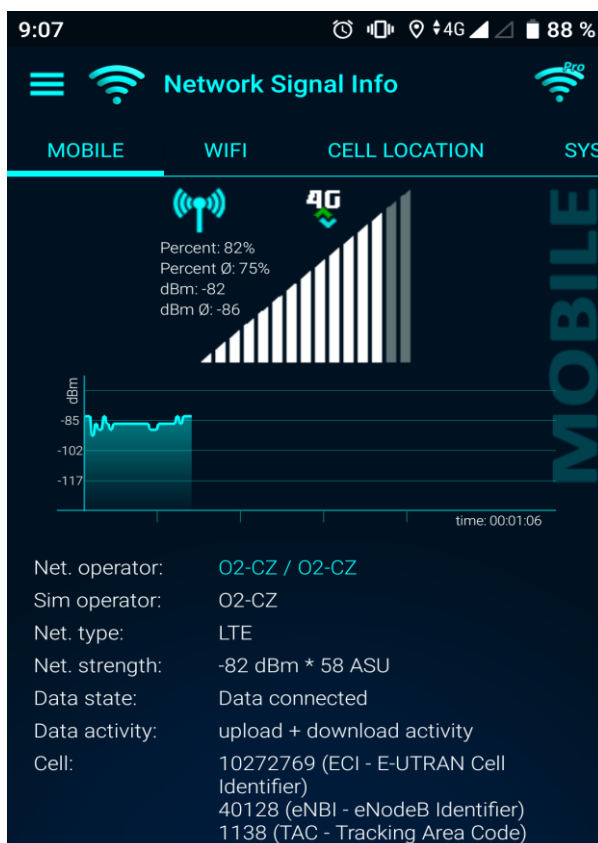
Výsledky druhého měření provedeného v centru Prahy jsou již poněkud slabší. Přenosové rychlosti oproti prvnímu měření zaznamenaly výrazný pokles, kde rychlost download se pohybovala kolem 20 Mbps. Upload byl kromě ranního měření kdy byl na hodnotě 20 Mbps podobný hodnotám z prvního měření. Rychlost se tak pohybovala okolo 40 Mbps. Stabilita připojení taktéž zaznamenala pokles. Odezva se pohybovala po většinu dne okolo velice slušných 30ms, nicméně jitter byl velice nestálý. Po většinu času se jeho hodnota nacházela mezi 30ms a 60ms. Nicméně klesla také k hodnotám 400ms, nebo 1700ms, což jsou pro jakékoliv real-time aplikace nepoužitelné hodnoty.

Síla a kvalita signálu

Síla signálu byla rovněž na vysoké úrovni, zde ale nejde ani nic jiného očekávat vzhledem k blízkosti k BTS u obou realizovaných měření. Hodnoty do -80dBm jsou velice dobré a značí opravdu silný signál který by neměla problém zachytit i opravdu slabá anténa. Kvalita signálu by ovšem vzhledem k blízkosti vysílače a přenosovým podmínkám mohla být vyšší. Nicméně hodnoty mezi -8 a -10dBm jsou dobré. Zde je opět potřeba zdůraznit že rozdíl byť jen 3dB značí buďto pokles o 50%, nebo naopak dvojnásobek původní hodnoty. Proto je rozptyl 2dB v takovéto blízkosti vysílače jistě velice nežádoucí.



Obrázek 93: Praha - Velká Ohrada O2 - NSI



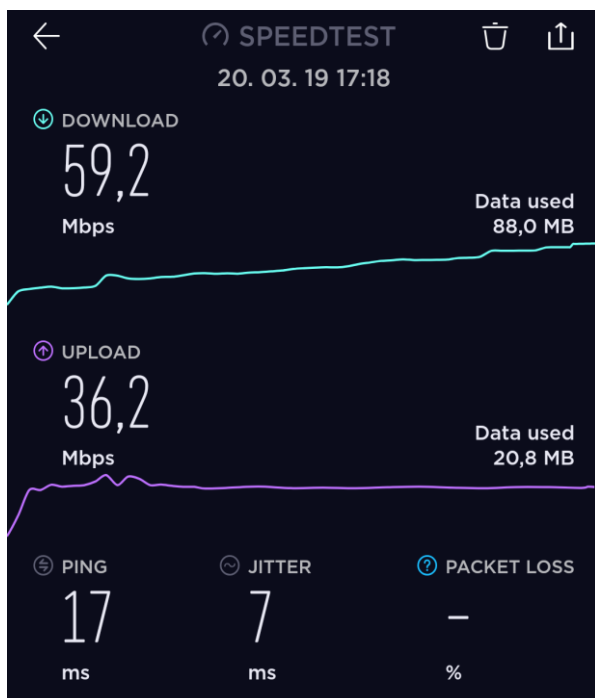
Obrázek 92: Praha - Vinohraská ulice O2 - NSI

8.3.10.2 Měření v pohybu

Měření v pohybu bylo realizováno na jižní spojnici mezi sjezdem na Kačerov a Vršovice. Měřeno bylo za stále rychlosti 70 km/h v odpoledních hodinách. Telefon byl po dobu měření připojen k BTS s ID 40080, který podporuje EDGE, UMTS a LTE technologie. Konkrétně LTE pak vysílá na frekvencích 800MHz, 1800MHz a 2600MHz. Vzdálenost od místa měření byla od 570m do 1,4km.

Rychlost a kvalita připojení

Vzhledem v faktu, že bylo měření provedeno po 17 hodině se dá tato doba považovat za špičku. A to jak dopravní, tak co se vyzužití sítě týče. I přes náročné podmínky ovšem kapacita sítě bez problémů obstála. Rychlost download překročila v obou měřeních 40 Mbps. Ani ostatní charakteristiky nezůstaly pozadu. Rychlost upload byla v obou případech vyšší než 10 Mbps, odezva se držela do 20ms a hodnota jitter v prvním případě byla pouhých 7ms, v druhém pak 190s, nicméně stále se jedná o dobré výsledky, obzvláště při pohybu 70km/h rychlostí.



Obrázek 94: Praha - Jižní spojka O2 - Ookla

Výsledky testů	
VÝSLEDEK	DETAILY
Test time	20. 3. 2019 17:17:32
Timezone	UTC+1h
Download speed	42 Mbps
Upload speed	12 Mbps
Ping	21 ms
Ping variance	190 ms
Signal strength (RSRP)	-106 dBm
Signal quality (RSRQ)	-16 dB
Network type	4G (LTE)
Location	N 50°2.385' E 14°28.149' (GPS, +/- 3 m)
Country of location	CZ
Motion	411 m

Obrázek 95: Praha - Jižní spojka O2 - NetMetr

9 Diskuse výsledků práce

Kapitola se věnuje rozboru naměřených výsledků a diskutuje je s informacemi poskytnutými operátorem. Dále je provedena analýza naměřených dat s výpočtem středních hodnot měřených atributů připojení i sítě a jejich porovnání v rámci typu lokality, ve které byla data shromážděna.

9.1 Porovnání výsledků s informacemi operátora

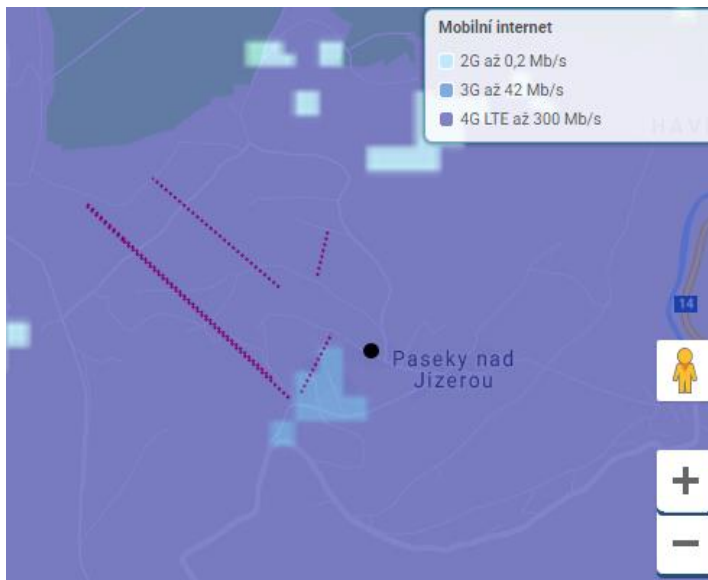
K porovnání naměřených výsledků s informacemi o pokrytí přímo od operátora je použita mapa pokrytí dostupná na internetových stránkách poskytovatele, která poukazuje na dostupnost jednotlivých technologií v daných lokalitách. Nicméně operátor nikdy negarantuje přístup k některé technologii, či určitou minimální přenosovou rychlost. Toto chování je jasné z důvodu možnosti zhoršení přenosových podmínek, pro případ vyčerpání přenosové kapacity, kvůli rušení, nebo například pro možnost, že se uživatel dostane do prostor, kam se signál nedostane. Je to obraný mechanismus operátora, kterým se chrání proti žalobám a nařčení z nedodržování podmínek. Nicméně v jistých lokalitách dochází k velkému rozestupu zjištěných a naměřených hodnot oproti údajům dodaným operátorem.

Je ovšem důležité říci, že naměřené hodnoty jsou stále výsledky freeware aplikací, byť dle hodnocení relevantních aplikací, a že jsou pořízeny z telefonu, kde přijímací anténa nemusí dosahovat tak kvalitních parametrů. Pro příjem signálu jsou obzvláště důležité citlivost a zisk antény. Tyto parametry jsou samozřejmě různé pro každý telefon. Pro měření byl použit telefon společnosti Xiaomi, konkrétně pak model MiA2. Výkon antény se bohužel nepodařilo dohledat. Nicméně na druhou stranu je nutné poznamenat, že jako uživatel toužím dostat příslibenou službu, která má být dle inzerce dostupná. Operátor tak nemůže předpokládat s tím, že uživatel s sebou bude nosit zesilovač nebo přídavnou anténu. Z pohledu uživatele je tak mobilní telefon naprosto relevantním měřákem, jelikož simuluje reálnou situaci.

Dále je třeba zvážit podmínky, za jakých bylo měření provedeno. Vliv na sílu a kvalitu signálu samozřejmě hraje počasí, kde s narůstající vlhkostí vzduchu klesá kvalita a intenzita přijatého signálu, dalším důležitým aspektem je, zda-li je měření prováděno uvnitř či venku. V případě, že je měření prováděno uvnitř, tak z jakého materiálu a jak tlusté jsou stěny budovy, neboť různý materiál o různých tloušťkách bude mít samozřejmě různý vliv na útlum signálu. Tento aspekt ovšem v rámci práce nebude brán v potaz, jelikož všechna měření proběhla venku. Dalším důležitým aspektem ovlivňujícím dosah signálu jsou přírodní překážky. V neposlední řadě je důležité zohlednit i kapacitu sítě v daném místě měření.

9.1.1 Paseky nad Jizerou

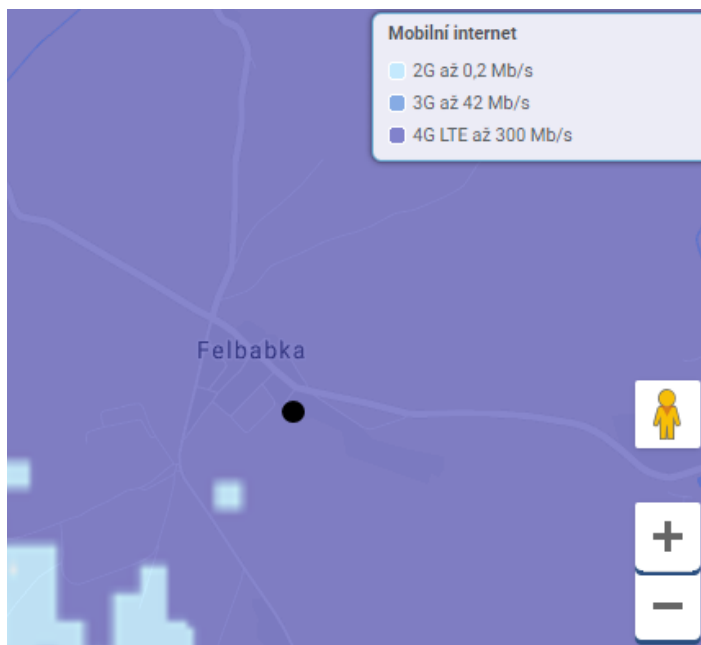
Dle informací od operátora je v oblasti Paseky nad Jizerou dostupný LTE internet. Nicméně jediné místo, kde se mi podařilo se k LTE síti připojit bylo přímo na kopci na vrcholu lanovky, která je na mapě, obr. č.25, zobrazena nejdelší červenou tečkovanou čarou. Nicméně měření probíhalo v obci, která leží podstatně níže a kam se signál z vysílače podporujícího LTE technologii, který leží za kopcem dostává s velice slabou intenzitou. Telefon, ze kterého bylo prováděno měření byl tak pokaždé připojen k jinému vysílači na protilehlém kopci, který ale LTE technologii nepodporuje. Nicméně podporuje technologii UMTS, ale ani ta v obci nedosahovala potřebné síly a kvality signálu k navázání stabilního spojení. Je samozřejmě možné,



Obrázek 97: Mapa pokrytí O2 - Paseky nad Jizerou [19]

že za slabými výsledky s připojením pouze k 2G síti stojí hardware měřícího zařízení, převážně zisk

a citlivost antény. Nicméně ani hodnoty 2G sítě co se přenosových rychlostí týče byly na EDGE technologii velice slušné. Bohužel připojení bylo velice kolísavé, chvílemi nedosažitelné. Informace o dostupnosti sítí poskytnuté operátorem jsou vidět na obrázku č.47. Místo měření je označeno černou značkou. Nicméně je třeba zohlednit, že v době měření nepanovali pro přenos signálu zdaleka ideální podmínky. Bylo mlhavé počasí doprovázené sněžením. Síla přijatého signálu se blížila k hodnotě -100dBm. Což je pro 2G síť hraničním výkonem pro příjem. Při klesnutí hodnoty pod -100dBm se zařízení nemusí vůbec připojit, nebo dochází k pravidelným výpadkům spojení. Vzhledem k lokalitě a její turistické oblíbenosti a s přihlédnutím k termínu měření, který byl na nový rok, je na místě zohlednit i kapacitu sítě. Jelikož je v blízkém okolí pouze jeden LTE vysílač, tak právě kapacita sítě mohla mít za následek



Obrázek 96: Mapa pokrytí O2 - Felbabka [19]

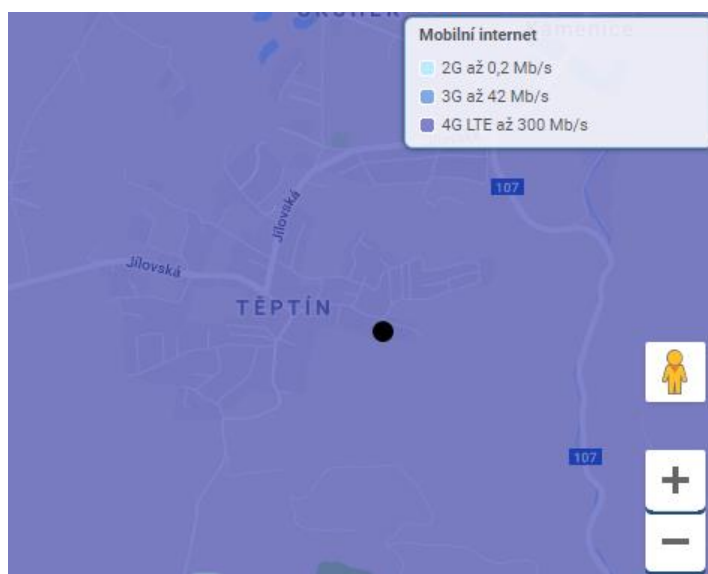
připojení pouze k 2G síti. Lze tak říci, že celková kvalita připojení je nedostačující, stabilita je kolísavá, dochází v častém výpadkům a přenosové rychlosti jsou velmi malé.

9.1.2 Felbabka

Podle mapy poskytnuté operátorem by měl být v obci všude dostupný LTE internet. Místo měření je označeno černou značkou. Závazek o dostupnosti LTE technologie je splněn, ovšem signál je v obci velice slabý. Přístroje s nízkou kvalitou antény se pravděpodobně do LTE sítě vůbec nepřipojí, právě kvůli nízké intenzitě signálu. Přenosové rychlosti taktéž zůstávají daleko za očekáváním. Připojení jen výjimečně překročí 5Mbps. Nicméně jedná se o kvalitní a stabilní připojení. Nižší přenosové rychlosti jsou pravděpodobně způsobeny zúžením přenosového pásma, jelikož v lokalitě je velmi malý počet BTS. Všechny operují na frekvenci 800 MHz. Je tak nutné zmenšit přenosové pásmo pro vytvoření větší kapacity sítě. Konkrétně v okolí obce Felbabka se jedná o jediný vysílač připojující několik jižně položených vesnic. Na vině tak ve špičkách může být také nedostatečná kapacita vysílače. Každopádně lze říci, že LTE internet je v obci dostupný, signál je kvalitní a stabilní, bohužel přenosové rychlosti zůstávají dosti za očekáváním.

9.1.3 Těptín

Jak indikuje mapa operátora Telefónica O2, v obci by měl být dostupný LTE internet. Místo, kde bylo provedeno měření je označeno černou značkou a nic nenaznačuje, že by měl být problém se k LTE technologii připojit, ba dokonce se připojit k jakékoliv technologii. Bohužel v obci Těptín došlo k nejhorším výsledkům ze všech měření a tak i přes dobrou zprávu operátora, že je LTE signál dostupný bylo horko těžko navázáno jakékoliv spojení. O tom také vypovídá fakt, že v ranních hodinách se nepodařilo



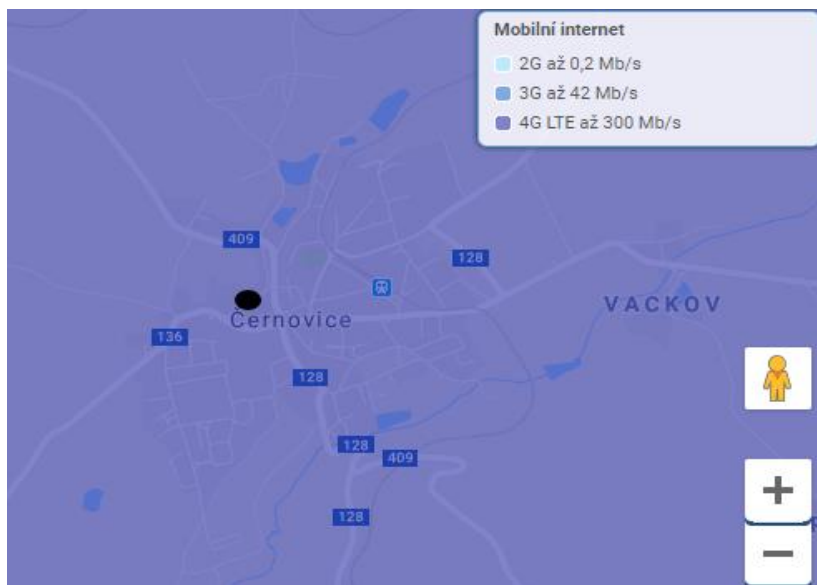
Obrázek 98: Mapa pokrytí O2 – Těptín [19]

spojení vůbec navázat a ani v odpoledne či večer se telefon na první pokus nepřipojil. Celkem pro 2 úspěšná měření bylo potřeba udělat měření 10, což vůbec není lichotivá statistika. Přenosové rychlosti jsou na poměry sítě EDGE velice slušné, nicméně kvalita připojení zůstává velice za očekáváním. Signál velice často vypadává a spojení přeskakuje mezi dvěma BTS. K LTE síti se nepovedlo připojení navázat. Celkově špatná kvalita signálu je do jisté míry jistě způsobena nízkým výkonem signálu. Do hry může každopádně vstupovat i nízká kapacita, neboť na celou obec Kamenice a všechny obce k ní přidružené je pouze jeden vysílač, který vysílá LTE na frekvenci 800MHz. Právě nízká frekvence a s ní spojená nižší kapacita sítě mohou mít vliv na připojení do 2G sítě. Co se kvality signálu týče, okolí je mírně kopcovaté, nicméně nejedná se o oblast s obtížnými podmínkami pro přenos dat. Zde může

hrát roli spíše rušení frekvenci z vedlejších kanálů z čehož může plynout právě zmiňované přepínání telefonu mezi základnovými stanicemi.

9.1.4 Černovice

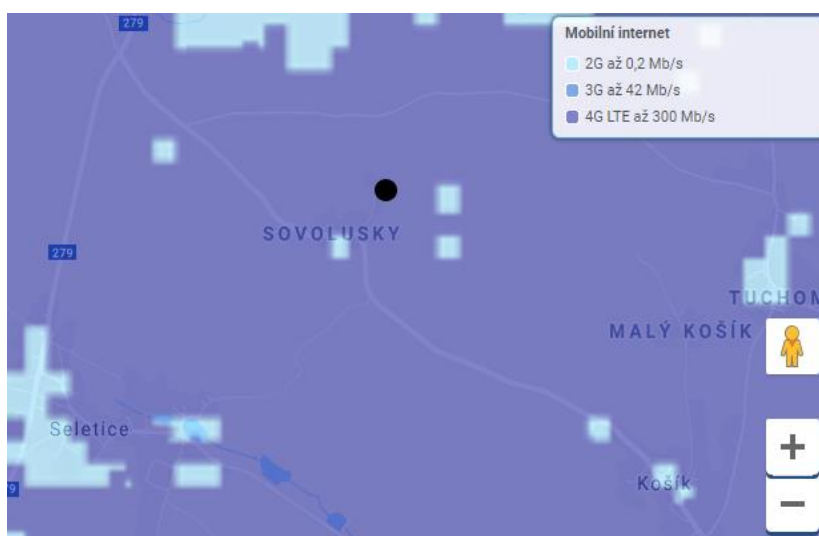
Z mapy pokrytí operátora O2 vyplývá, že v lokalitě by měl být dostupný LTE internet. Místo měření je v mapě vyznačeno černou značkou. S používáním internetu v lokalitě nebyly žádné problémy. K jedinému krátkému výpadku LTE signálu došlo v ranních hodinách kdy byly naměřeny parametry EDGE sítě, nicméně jednalo se o velice krátkou indispozici. Přenosové rychlosti jak LTE sítě tak EDGE sítě jsou na dobré úrovni, nicméně síla a kvalita LTE signálu zůstává za očekáváním vzhledem k tomu, že vzdálenost od vysílače je necelé 2km a jedná se o signál v pásmu 800MHz. Nicméně zde je potřeba poznamenat, že samotný ukazatel RSRQ není pro stanovení kvality signálu dostatečný. Každopádně lze říci že LTE internet je v Černovicích dostupný, stabilní a dosahuje velice slušných přenosových rychlostí při dobré stabilitě sítě.



Obrázek 99: Mapa pokrytí O2 – Černovice [19]

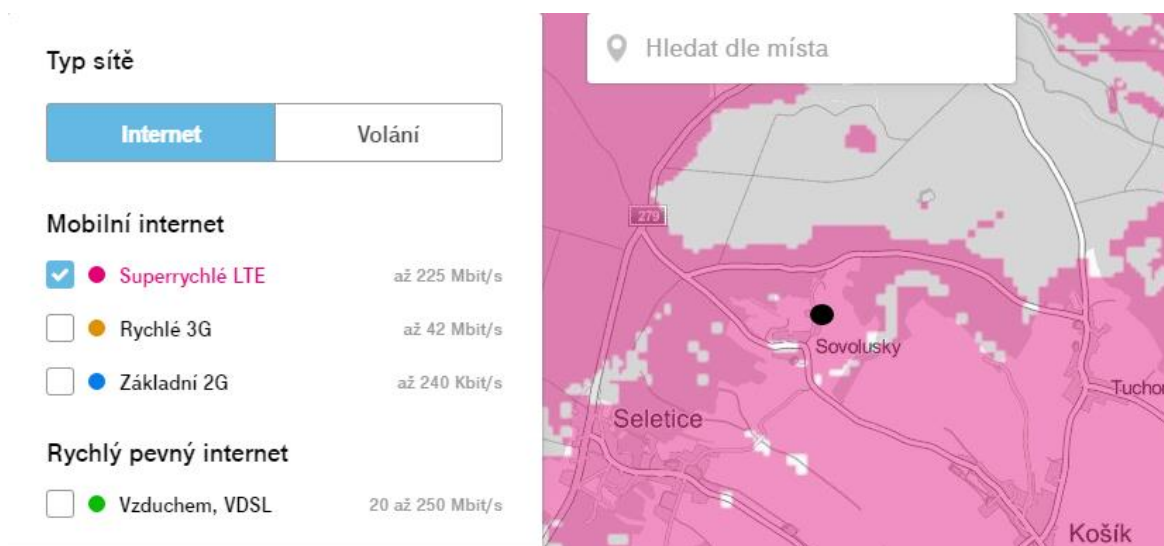
9.1.5 Sovolusky

V lokalitě Sovolusky bylo provedeno měření pro dva operátory a sice pro O2 a T-Mobile. Místo měření je označeno černou značkou. Dle dostupných informací od obou poskytovatelů má být v místě měření dostupný LTE internet i přes fakt, že oblast kolem obce Sovolusky se z hlediska pokrytí LTE signálem potýká se „slepými“ místy.



Obrázek 100: Mapa pokrytí O2 – Sovolusky [19]

Nicméně i přes informaci o dostupnosti je realita zcela jiná. V průběhu měření je jakékoliv navázání spojení u obou operátorů velice obtížné a když už dojde ke spojení, nejedná se o LTE signál, nýbrž o technologii EDGE. Bohužel ta také dosahuje velice špatných výsledků a velmi častých výpadků. V případě měření parametrů sítě poskytovatele T-Mobile muselo být měření několikrát opakováno pro nenavázání spojení. Na vině může být několik faktorů, nicméně zprvu se jako největší problém jeví kapacita sítě. Nejbližší poležené vysílače jsou vzdáleny 4,5 a 4,7km v obcích Ujkovice a Rožďalovice, jež oba obsahují technologii pro šíření EDGE a LTE signálu operátorů O2 a T-Mobile. Nicméně telefon se nebyl ani v jednom případě schopen k žádnému z nich připojit. Na místo toho došlo k připojení k vysílačům umístěných v okolí Poděbrad vzdálených přibližně 20km. Z toho plyne velký ubytek na síle signálu, která velice často překračuje referenční hodnotu EDGE sítě -100dBm. Dochází tak k velice častým výpadkům signálu a nemožnosti telefonu připojit se do sítě. Tento fakt má také vliv na kvalitu internetu, konkrétně na jitter a tak celkovou stabilitu připojení. Rychlost internetu dosahuje přibližně poloviny kapacity EDGE sítě, nicméně při tak vysoké nestabilitě a kolísavosti připojení je internet ve skutečnosti nepoužitelný.

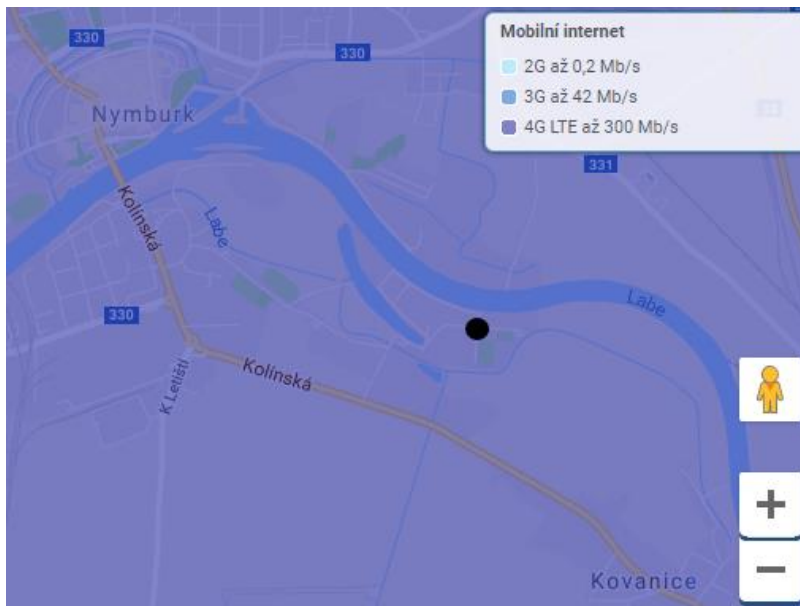


Obrázek 101: Mapa pokrytí T-Mobile – Sovolusky [31]

9.1.6 Nymburk

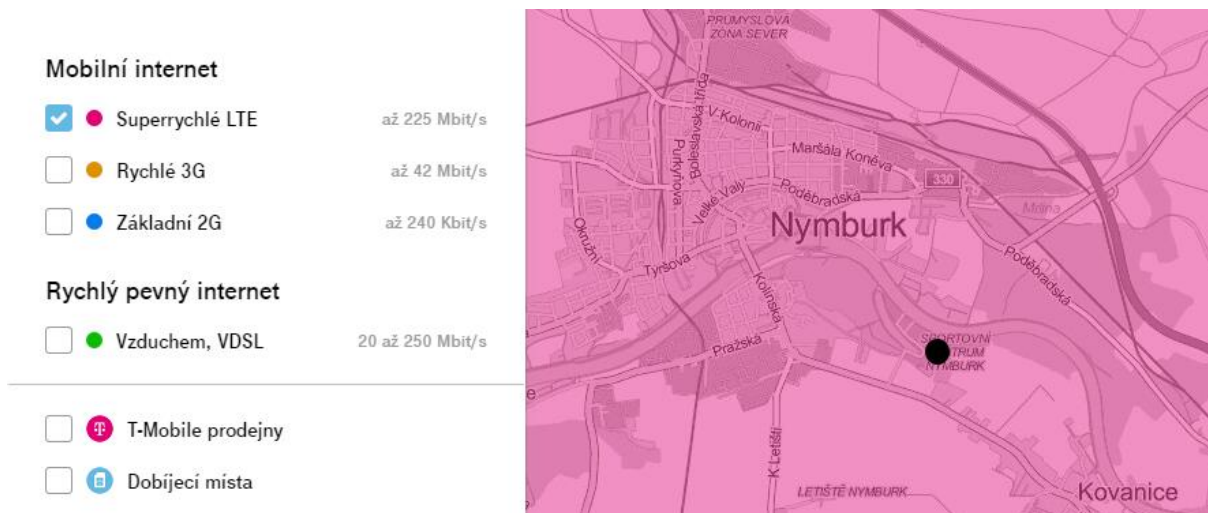
V Nymburce byla provedena měření dvou operátorů a sice O2 a T-Mobile. V celé lokalitě je dle map operátorů dostupný LTE internet. Místo měření je na mapách vyznačeno černou značkou. S používáním internetu nebyl v Nymburce žádný problém. Připojení bylo po celou dobu velice rychlé a stabilní. Zde je třeba říci že svou roli zcela jistě sehrála vzdálenost mezi místem měření a samotnou BTS, neboť ta byla pouze 200m. Přenosové rychlosti obou operátorů přesahovali po celou dobu měření 20 Mbps. Je ovšem na místě zmínit, že síť operátora T-Mobile stabilně operovala na rychlostech download přes 30 Mbps, na rozdíl od O2, která se pohybovala po většinu času mezi 20 a 25 Mbps. Je ovšem na místě zmínit, že síť operátora T-Mobile stabilně operovala na rychlostech download přes 30 Mbps, na rozdíl od O2, která se pohybovala po většinu času mezi 20 a 25 Mbps. Rychlosti upload

již žádný znatelný rozdíl nezaznamenaly a pro oba operátory se pohybovaly v rozmezí 20-25 Mbps. Stabilita sítě byla rovněž u obou sítí velice dobrá s hodnotami ping do 20ms a hodnotami jitter do 5ms. Parametry se průběhu dne nikterak neměnily, což značí dostatečnou kapacitu sítě. Co je ovšem poněkud nelichotivé je naměřená síla signálu pohybující se mezi -75 a -80dBm pro O2 a -85 až -90 pro T-Mobile.



Obrázek 102: Mapa pokrytí O2 – Nymburk [19]

I když se jedná o slušnou hodnotu a k takovému signálu by neměl mít žádný přijímač problém s připojením, hodnota přesahující -80dBm musí být brána negativně vzhledem k dobrým přenosovým podmínkám a vzdálenosti od vysílače pouhých 200m. Vyzdvihnout pak lze kvalitu signálu, kde ukazatel RSRQ byl pro oba operátory shodných -7dB. Lze tedy tvrdit že v Nymburce je dostupný kvalitní vysokorychlostní internet s dostatečnou kapacitou sítě vhodný k jakémukoliv způsobu použití, jako například streaming full HD videí, videohovory, či nahrávání souborů větší velikosti (v řádech GB).

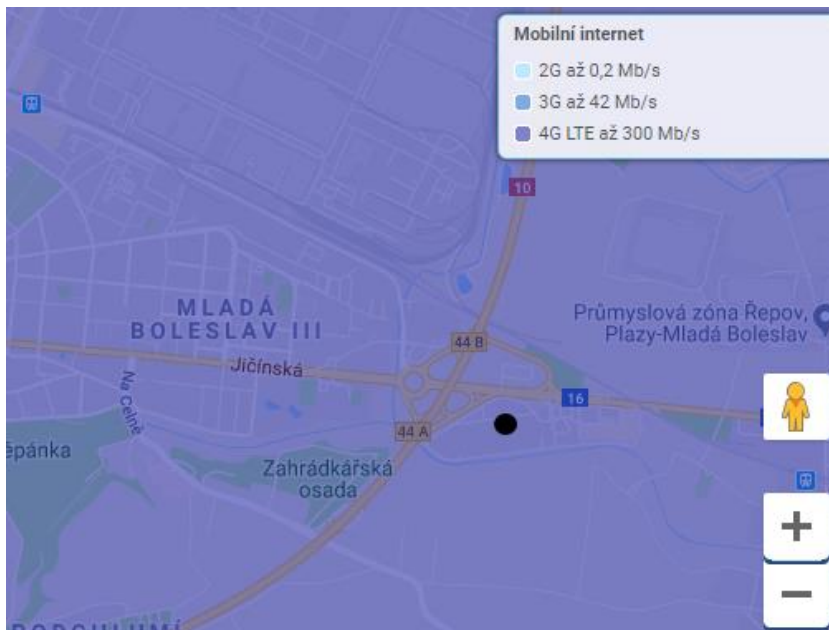


Obrázek 103: Mapa pokrytí T-Mobile – Nymburk [31]

9.1.7 Mladá Boleslav

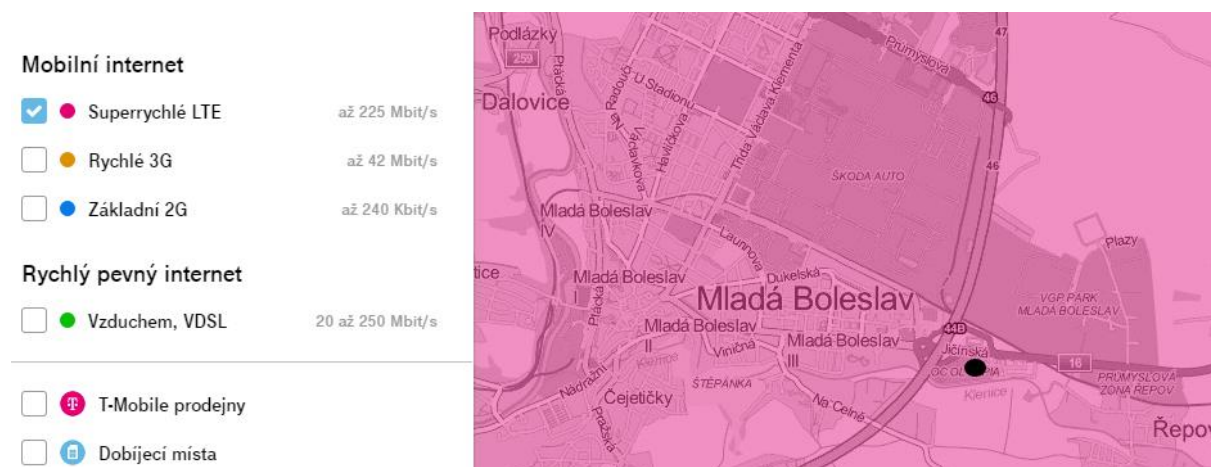
V Mladé Boleslavi byla provedena měření dvou operátorů a sice O2 a T-Mobile. V celé lokalitě je dle map operátorů dostupný LTE internet. Místo měření je na mapách vyznačeno černou značkou. Ze tří lokalit, ve kterých byly měřeny parametry dvou operátorů jsou právě

v Mladé Boleslavi velice znatelné rozdíly mezi oběma sítěmi. Zatímco O2 poskytuje v lokalitě LTE internet, konkurenční T-Mobile zde podporuje šíření LTE-A signálu. Přenosové rychlosti se tak velice liší. Internet dostupný od operátora Telefonica O2 dosahoval stabilních přenosových rychlostí pro download kolem 10 Mbps. Rychlost upload zaznamenala velkou variabilitu v rozmezí hodnot 1-5 Mbps. Stabilita sítě byla dobrá, odezva se pohybovala převážně v rozmezí mezi 20-30ms s občasným navýšením k 40ms, což jsou všeobecně velice dobré hodnoty. Nicméně jitter zaznamenal daleko větší variabilitu naměřených hodnot v rozmezí 20-300ms. Hodnoty přes 100ms se už dají pro real-time aplikace považovat za vysoké, neboť narušují plynulost přenosu. Během dne došlo k výraznému poklesu v odpoledních hodinách kdy rychlost download spadla na hodnoty kolem 4 Mbps, nicméně upload a stabilita sítě zůstaly nezměněny. Parametry sítě konkurenčního T-Mobile vykazují pro většinu měřených veličin podobné hodnoty. Upload je jako u konkurence nízký s hodnotami okolo 2 Mbps. Odezva je rovněž velice podobná s výsledky do 30ms, nicméně síť již dosahuje stálé hodnoty jitter, také do 30ms. Právě rychlost download je ale parametrem, který se výrazně odlišuje. V ranních hodinách byly naměřeny rychlosti kolem 65 Mbps, odpoledne pak 35 Mbps a ve večerních hodinách výsledky mezi 40-50 Mbps.



Obrázek 104: Mapa pokrytí O2 - Mladá Boleslav [19]

hodnoty. Nicméně jitter zaznamenal daleko větší variabilitu naměřených hodnot v rozmezí 20-300ms. Hodnoty přes 100ms se už dají pro real-time aplikace považovat za vysoké, neboť narušují plynulost přenosu. Během dne došlo k výraznému poklesu v odpoledních hodinách kdy rychlost download spadla na hodnoty kolem 4 Mbps, nicméně upload a stabilita sítě zůstaly nezměněny. Parametry sítě konkurenčního T-Mobile vykazují pro většinu měřených veličin podobné hodnoty. Upload je jako u konkurence nízký s hodnotami okolo 2 Mbps. Odezva je rovněž velice podobná s výsledky do 30ms, nicméně síť již dosahuje stálé hodnoty jitter, také do 30ms. Právě rychlost download je ale parametrem, který se výrazně odlišuje. V ranních hodinách byly naměřeny rychlosti kolem 65 Mbps, odpoledne pak 35 Mbps a ve večerních hodinách výsledky mezi 40-50 Mbps.

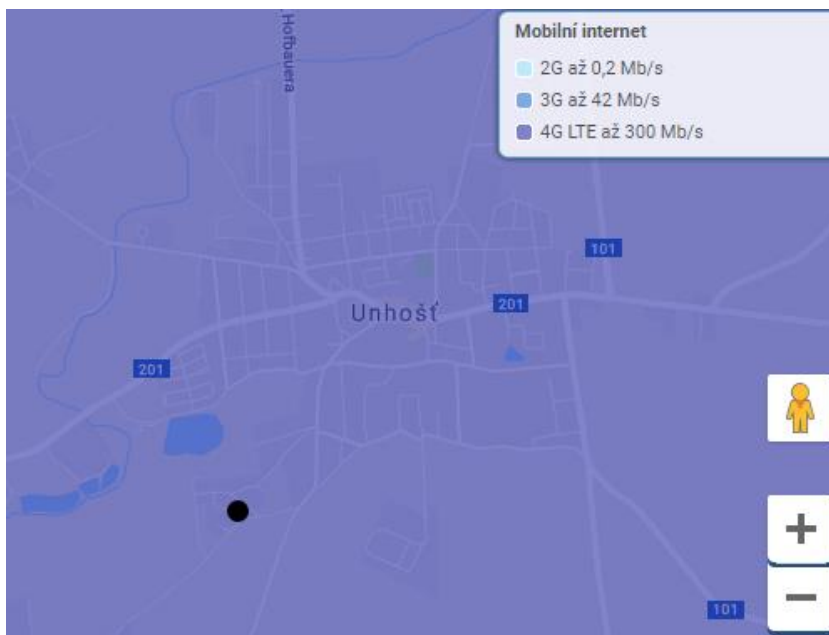


Obrázek 105: Mapa pokrytí T-Mobile - Mladá Boleslav [31]

Toto je oproti konkurenčnímu O2 ohromný nárůst rychlosti, nicméně je na druhou stranu potřeba poznamenat, že potenciál LTE-A sítě je daleko větší, přesněji řečeno až pěti násobný. Odpolední propad přenosových rychlostí lze přisuzovat lokalitě, neboť se v blízkosti nachází obchodní centrum Olympia. Za očekáváním zůstala síla signálu vzhledem k blízkosti vysílače. Hodnota blížící se -100dBm není nikterak lichotivá, jelikož se vysílač nacházel necelý kilometr od místa měření. Pro signál o frekvenci 800MHz, který by měl mít teoreticky dosah 20-30km je v takovéto blízkosti tato hodnota poměrně nízká. Kvalita signálu pak zaznamenala velký rozdíl. Zatímco u sítě O2 byly naměřeny hodnoty -14dB, u T-Mobile sítě to byly hodnoty -7dB a -8dB. Na základě tohoto ukazatele se tak jedná o 75% kvalitnější signál, neboť odstup 3dB odpovídá zhruba rozdílu 50% z původní hodnoty. Obecně lze říci, že LTE internet dostupný v lokalitě je, nicméně parametrově zůstává za očekáváním. Pro O2 jsou nízké přenosové rychlosti a síla signálu není ideální. Kvalita signálu by taktéž snesla zlepšení. U sítě T-Mobile je velká rezerva v rychlosti upload. Download dosahuje velice dobrých rychlostí, nicméně s přihlédnutím k použité technologii je i zde prostor pro zlepšení. Síla signálu by stejně jako u O2 mohla být vyšší s přihlédnutím k vzdálenosti BTS. Pro obvyčejné používání je internet dostačující. Nicméně například pro streaming již není ideální vyšší hodnota jitter u sítě O2. Taktéž se internet obou operátorů nehodí pro nahrávání souborů větší velikosti z důvodu nízké rychlosti upload.

9.1.8 Unhošť

V obci Unhošť bylo provedeno měření sítě operátora O2 a dle mapy pokrytí by měla být celá pokryta LTE signálem, místo měření je označeno černou značkou. Toto tvrzení se dá potvrdit, neboť s měřením nebyly žádné potíže a internet byl až na jednu výjimku bez problémů dostupný a vždy se jednalo o LTE síť. Jediný zaznamenaný výpadek byl ve večerních hodinách, kdy i přes informaci o dostupnosti LTE technologie na displeji telefonu nebylo možné provést měření, či internet používat. Zařízení nebylo ani přepnuto na EDGE síť. Nicméně toto byla jediná kaňka na jinak bezproblémové zkušenosti s využíváním mobilního internetu v dané lokalitě.



Obrázek 106: Mapa pokrytí O2 – Unhošť [19]

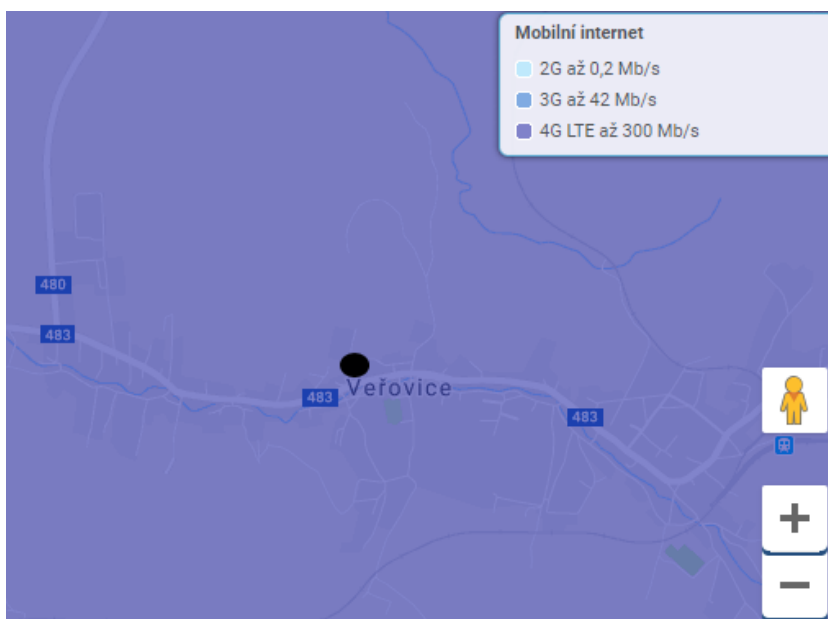
Přenosové rychlosti dosahovaly slušných hodnot převyšujících 15 Mbps přes den jak pro download tak pro upload. Večer nastal pokles rychlosti download na hodnotu mezi

5-8 Mbps, upload nezaznamenal žádný úbytek na rychlosti. Nejlepší hodnoty byly naměřeny odpoledne, což je odpovídající předpokládanému zatížení, kdy velká část obyvatel ráno opouští město kvůli škole a práci. Stabilita sítě byla po celý den na velice dobré úrovni s odezvou do 30ms a hodnotou jitter do 15ms. Síla signálu byla naměřena v hodnotách mezi -90 a -96dBm což není vzhledem k vzdálenosti 1,3km od BTS ideální. Nicméně na pokrytí obce to bez problémů stačí a problém s příjmem signálu by neměly mít i nevykonné antény. Nicméně opět, jakož u několika dalších měření se jedná o vysílač operující v přenosovém pásmu 800MHz a jehož operační rádius by měl být až 30km. Kvalita signálu byla rovněž na dobré úrovni, konkrétně na -8dB ukazatele RSRQ, s poklesem v ranních hodinách na -11dB. Obecně lze tak říci, že LTE internet je v Unhošti dostupný s dostačujícími parametry. Je stabilní a nabízí dobrou uživatelskou zkušenost bez výpadků a výrazných poklesů rychlosti. Nicméně kapacita by jistě snesla navýšení, neboť rozdíl mezi odpolední hodnotou download, tedy při nejmenším zatížení, a večerní hodnotou je 300%, což je velice markantní.

9.1.9 Veřovice

V obci Veřovice bylo provedeno měření sítě operátora O2 a dle mapy pokrytí by měla být celá pokryta LTE signálem, místo měření je označeno černou značkou. Výsledky měření

jen potvrzují informace z mapy. Nicméně je třeba říci, že přenosové rychlosti zaznamenaly odpoledních a večerních hodinách pokles o více než 50% z ranních hodnot. Ty se pohybovaly mezi 20 a 22 Mbps pro download a 6-13 Mbps pro upload. V odpoledních a večerních hodinách již data směrem k uživateli nepřekročili 10 Mbps a upload klesl pod 3 Mbps. Stabilita



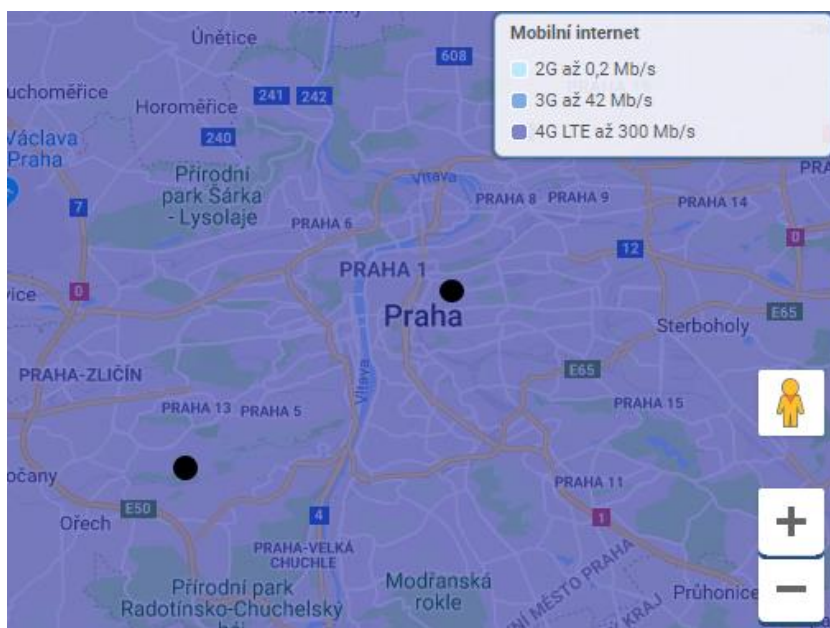
Obrázek 107: Mapa pokrytí O2 – Veřovice [19]

připojení zůstala nedotčena a pohybovala se ve velice dobrých hodnotách do 40ms odezvy a do 20ms jitteru. Parametry sítě jako takové ovšem zůstaly mírně za očekáváním, neboť síla signálu se pohybovala mezi -100 a -110 dBm, což vzhledem ke vzdálenosti BTS pouhý kilometr není vůbec lichotivé. Polehčující okolností není ani fakt, že se obec nachází v podhůří Beskydských hor, neboť mezi vysílačem a místem měření nebyla žádná hora či ostrý kopec. V případě ranního měření bylo připojení dokonce realizováno přes BTS vzdálenou 3,7km, kde bylo dokonce dosaženo nejlepšího výsledku co se síly signálu týče. Kvalita signálu se dle ukazatele RSRQ pohybovala mezi -8 a -12 dB, což jsou obecně dobré

výsledky. Při měření a využívání internetu v lokalitě nedocházelo k výpádkům a vše běželo plynule. Lze tak konstatovat že je LTE internet ve Veřovicích dostupný, nicméně přenosové rychlosti nejsou při větším zatížení ideální. I tak by ale výkon měl stačit například pro streaming HD videa.

9.1.10 Praha

V Praze došlo ke dvěma měřením sítě operátora O2. Jedno proběhlo v centru města, druhé pak v krajních částech pro porovnání charakteristik internetu. Místa měření jsou označena černou tečkou. Celkově nebyl s připojením dle očekávání žádný problém, neboť Praha obsahuje vysoký počet přístupových bodů a poskytuje tak dostatečnou kapacitu a kompletní pokrytí. Otázkou tak zůstalo pouze na kolik přenosové kapacity si uživatel přijde a jak stabilní ono připojení bude. Zde je třeba říci, že měření na sídlišti Velká Ohrada dosáhlo velice překvapivých výsledků s přenosovými rychlostmi přesahujícími 90 Mbps, ve večerní špičce pak nad 70 Mbps



Obrázek 108: Mapa pokrytí O2 – Praha [19]

pro download a stabilně přes 50Mbps pro upload. Zde je třeba si uvědomit, že na sídlišti většina uživatelů operuje ze svého bytu kde mají buďto pevný internet, nebo vlastní wifi, která je napájena kabelem, tudíž nevyužívají kapacitu BTS. Taktéž stabilita byla na velice dobré úrovni s hodnotami ping i jitter do 30ms. Síla signálu byla také v pořádku na hodnotách mezi -70 a -80 dBm, nicméně zde nelze nic jiného očekávat, neboť přístupový bod byl vzdálen pouze 80m. Druhé měření z centra metropole již zaznamenalo pokles v přenosových rychlostech, což je vzhledem k nárůstu uživatelů očekávané. Přenosové rychlosti se tak přes den držely na velice slušných 20-27 Mbps pro download. Ten zaznamenal pokles ve večerních hodinách na hodnoty mezi 16-21 Mbps, pravděpodobně v důsledku většího vytížení sítě. Rychlosti upload byly velice podobné těm z Velké ohrady a to v rozmezí 40-47 Mbps. Zde byl znatelný pokles v odpoledních hodinách a to na 21-24 Mbps, který mohl být způsoben například vytížením sítě v důsledku uploadu většího množství dat v rámci některé ze společností působících v lokalitě. Nicméně na rozdíl od okrajové části Prahy zde internet nedosahoval zdaleka takové stability. Odezva se pohybovala v rozmezí 20-80 ms. Jitter byl po většinu času na hodnotách mezi 30 a 50ms, nicméně zaznamenal chvilkové propady až k 1700ms, což je pro real-time aplikace nepoužitelná hodnota. K výraznějším

propadům ve stabilitě a navýšení hodnoty odezvy došlo právě ve večerních hodinách při největším zatížení sítě. Síla signálu byla obdobně jako na Velké ohradě velice dobrá a pohybovala se mezi -70 a -80 dBm, nicméně opět je potřeba říci, že přístupový bod byl vzdálen pouze 85m. Kvalita sítě dle ukazatele RSRQ -9 až -11 dB je také velice dobrá. V Praze je třeba vzít v úvahu při konzultaci kvality signálu vyšší možnost rušení z okolních signálů. Nicméně lze říci, že v Praze je LTE internet dle očekávání bez problémů dostupný, je rychlý a stabilní.

9.1.11 Měření v pohybu

Celkem bylo realizováno 5 měření v pohybu. Na 2 dálnicích, v Praze na Jižní spojce a na 2 okresních silnicích, kde na jedné z nich byla trasa projeta 2x a byla provedena měření pro operátory O2 a T-Mobile. Měření jednotlivými aplikacemi začínalo vždy na stejném místě na trase pro co možná nejlepší srovnatelnost výsledků.

Při měření realizovaných v pohybu je nutné brát v úvahu změnu prostředí, kde může dojít k přejetí do míst bez signálu, nebo například časté přepojování mezi přístupovými body. Dále rychlost pohybu z důvodu lokalizace příjemce signálu. Dále je třeba zmínit že měření byla provedena pouze v krátkých úsecích na trase a proto platí pouze pro danou část silnice, potažmo dálnice, nelze tak na jejich základě paušálně říci, že je jedna komunikace lépe pokryta než druhá. K tomuto výsledku by bylo možno dojít při důkladném měření a průjezdu po celé trase dané silnice / dálnice a realizaci častých opakovaných měření.

9.1.11.1 Dálnice D5 a D11

Dle informací ČTÚ a samotných poskytovatelů má operátor O2, stejně jako jeho konkurence, pokryté LTE signálem dálnice v Čechách. Toto tvrzení bylo otestováno na dálnicích D5 v úseku mezi 28 a 32 kilometrem a na dálnici D11 mezi 30 a 35 kilometrem. Měření na dálnicích bylo realizováno za konstantní rychlosti 110km/h a měřeny byly parametry pouze pro síť operátora O2. V případě těchto dvou dálnic se výsledky velice liší. Ačkoliv v obou případech bylo navázáno stabilní LTE spojení, jeho parametry jsou velice rozdílné. I navzdory tomu, že okolí dálnice je v obou úsecích měření podobné, tedy rovinná krajina s blízkými okolními vesnicemi, tudíž blízkými přístupovými body. Na dálnici D5 byly naměřeny velice dobré hodnoty, které by byly neméně kvalitní i pro statického uživatele. Přenosové rychlosti v průměru 25 Mbps pro download a 18 Mbps pro upload s hodnotou odezvy 31ms a jitterem 29ms značí velice kvalitní internet, který dosahuje rychlosti a stability potřebné pro jakékoliv použití. Vysílač byl vzdálen od 2,5 do 5,4 km, nicméně síla signálu dosahovala v porovnání s některými statickými měřeními slušných hodnot v průměru -100 dBm a hodnotu ukazatele RSRQ -10 dB. Naproti tomu výsledky z dálnice D11 jsou o poznání horší. Síla signálu zůstává podobná, nicméně je nutno zmínit že BTS byla v tomto případě vzdálena 400m – 1,3km. Kvalita signálu dle ukazatele RSRQ je slabší, konkrétně -16 dB, nicméně stále se jedná o slušné číslo. Parametry samotného připojení jsou již slabší. Přenosová rychlost směrem k uživateli byla v průměru 2,3 Mbps, od uživatele

1,9 Mbps. Hodnota ping byla 28ms a jitter byl průměrně 90ms. S těmito parametry sice nelze provozovat například full HD videohovor, na druhou stranu alespoň pro řidiče není tato funkce žádoucí a na online navigaci tyto hodnoty bez problémů vystačí.

9.1.11.2 Měření na okresních komunikacích a Jižní spojce v Praze

Pražská Jižní spojka byla do okresních komunikací zahrnuta z důvodu, že se nejedná o dálnici a měření proběhlo při rychlosti 70km/h. Nicméně není ani brána jako okresní komunikace a nebude tak s nimi srovnávána. Internetové připojení na ní dosahuje stejných parametrů, jako kdekoliv jinde po Praze. Dokonce se jedná o kvalitnější připojení, než bylo realizováno v ulici Vinohradský v centru Prahy. S přenosovými rychlostmi v průměru 50 Mbps pro download a 24 Mbps pro upload při dobré stabilitě s odezvou 19ms a jitterem 100ms tak nezůstává pozadu oproti statickým měřením. Jen dokazuje skutečnost, že Praha je velice dobře pokryta a síť má dostatečnou kapacitu. Průměrná síla signálu byla -95dBm a ukazatel RSRQ -16dB. Vzdálenost od přístupového bodu se pohybovala mezi 570m – 1,4km.

Samotná měření okresních komunikací vykazují velké rozdíly obdobně jako dálnice D5 a D11. Na silnici mezi Hořovicemi a Felbabkou byly naměřené parametry na velice dobré úrovni. Rychlost download byla v průměru 38 Mbps a rychlost upload 18 Mbps. Taktéž stabilita byla velice dobrá s hodnotou ping na 30ms a hodnotou jitter na 25ms. Výsledky jsou tak o poznání lepší než v obci Felbabka, která je od měřeného úseku komunikace vzdálena 2km, nicméně se nachází za kopcem a je připojena k jiné BTS, naproti tomu silnice vede nížinou nacházející se před Brdskou vrchovinou. Vysílač byl vzdálen 4-4,2km a síla signálu byla jedinou nelichotivou hodnotou měření s průměrnou hodnotou -106 dBm. K výpadkům připojení nedošlo. Ukazatel kvality signálu RSRQ byl rovněž dobrý s hodnotou -12 dB.

Měření v okrese Nymburk na silnici z obce Mcely do obce Loučeň bylo realizováno pro operátory O2 a T-Mobile. Jedná se o lokalitu v blízkosti vesnice Sovolusky kde bylo provedeno statické měření. Celá oblast se potýká s problémy s připojením. Ani skutečnost, že silnice se nachází mezi dvěma obcemi, které jsou poměrně hojně navštěvovány však neznamená lepší pokrytí, které by se dalo očekávat. Pro síť O2 proběhlo po opuštění Mcel měření aplikací Ookla, a bylo realizováno připojení do sítě EDGE. V tomto úseku trasy se T-Mobile vůbec nepřipojil. Nicméně parametry připojení od O2 byly zanedbatelné. Rychlost download 0,03 Mbps, upload nebyl naměřen. Odezva sítě rovněž vysoká s 272ms a jitter s 1416ms. Nicméně při této přenosové rychlosti je stabilita irelevantní, neboť internet nestačí ani jako podpora navigace. Dále pokračovalo měření aplikací NetMetr, kde se již oba operátoři připojili k síti LTE. Z výsledků vychází o poznání lépe O2, které dosahovalo přenosových rychlostí 4,5/2,8 Mbps oproti T-Mobile s 1,5/1,7 Mbps. Stabilita sítě byla srovnatelná s hodnotami ping 38/34ms a jitter 26/46ms. Síla signálu se rovněž u obou operátorů pohybovala kolem -102 dBm. Další velký rozdíl se objevil v kvalitě signálu, kde T-Mobile s hodnotou RSRQ -20 dB jednoznačně prohrál s O2 s hodnotou RSRQ -12 dB. Nicméně připojení v celé lokalitě lze kvalifikovat jako nestálé a nespolehlivé. Ke stabilnímu

připojení s přenosovými rychlostmi kolem 5 Mbps a více dochází jen v blízkém okolí větších obcí a malých měst. I přes tuto skutečnost je dle mapy pokrytí údajně všude dostupný LTE internet.

9.2 Analýza výsledků

Kapitola porovnává výsledky dle typu lokality. Srovnává tedy velkoměsta (v tomto případě pouze Praha) s městy a maloměsty a dále vesnicemi. Tato rozdělení podléhají kritériu pro počet obyvatel. Pro velkoměsto je to více jak 100 000, pro město více než 3000 obyvatel viz zákon o zákon o obcích. Sledované hodnoty jsou rozděleny do dvou kategorií. Tedy na ukazatele samotného připojení, neboli kvality internetu jako takového a dále na ukazatele kvality sítě poskytované operátorem.

I přes skutečnost, že byly v několika lokalitách měřeny parametry sítě operátora T-Mobile, jedná se pouze o srovnání a vyloučení zaujatosti vůči jednomu operátorovi. Z tohoto důvodu nejsou výsledky dále interpretovány. Analýza je tak provedena pouze pro měření realizované v síti operátora O2.

Ukazatele internetu jako služby pak jsou průměrné rychlosti download a upload, průměrná doba odezvy a průměrný jitter.

Ve výsledné tabulce je patrná hodnota očištěné průměrné variance odezvy. Tato hodnota je uvedena z důvodu, kdy kvůli velice nestabilnímu připojení byl naměřený jitter vyšší než 10 sekund a velice tak ovlivnil výsledky. Dále v případě kdy vzhledem k uživatelské zkušenosti z dané lokality byla naměřena jednou hodnota alespoň 10x horší, než průměrná ostatních měření. Toto opatření bylo provedeno pro lepší a věrohodnější představení výsledků. Jelikož například pro venkov by jinak v důsledku několika připojení kdy docházelo k výpadkům a byl tak naměřen jitter i několik desítek vteřin byla průměrná hodnota 37 vteřin viz tabulka č. 12. Což by znamenalo naprosto nepoužitelný internet. Tento jev by byl odstraněn, nebo jeho vliv velice zmírněn, při navýšení počtu měření v daných lokalitách a zároveň při měření na více místech. Nicméně v práci je počet měření a lokalit omezen a hodnota proto musela být upravena do podoby, ve které se dá prezentovat. I tak je 648ms opravdu hodně. Výsledek je velmi ovlivněn faktem, že 3 z 6 venkovských lokalit zaznamenaly velmi špatné výsledky.

Měřená hodnota	Velkoměsta	Města	Venkov
Avg. Download (Mbps)	55,09	19,27	5,08
Avg. Upload (Mbps)	45,15	14,14	1,78
Avg. Ping (ms)	31	24	154
Avg. Jitter (ms)	195	48	37323
Avg. Jitter - očištěná hodnota (ms)	25	48	648

Tabulka 12: Analýza charakteristik internetu

Naproti tomu Praha a města s maloměstý dosáhly velice uspokojivých výsledků. Přenosové rychlosti jsou v obou případech dobré. Nicméně je třeba říci, že ve 2 ze 3 měst jsou výsledky pod průměrnou tabulkovou hodnotou, které významně vypomáhají hodnoty z měření v Nymburce. Nicméně i tak lze konstatovat, že internet je dostačující pro jakékoliv úkony, včetně full HD videohovorů, nebo sledování full HD videí. Stabilita na rozdíl od přenosových rychlostí platí pro všechny tři městské zástupce a je na velice dobré úrovni. V městech a maloměstech nedošlo jako v jediném typu lokality k žádnému výraznějšímu kolísání a hodnota jitter tak nemusela být upravována. V Praze se tak stalo kvůli večernímu měření ve Vinohradské ulici, kdy hodnota jitter vylétla na 1700ms. Nicméně jednalo se o ojedinělý úkaz, který by jinak velice pošpinil výsledky. Z tabulky je jednoznačné, že velkoměsta jsou na tom s internetem nejlépe.

Druhou částí analýzy výsledků je poměrování naměřených hodnot sítě jako takové. Zde je třeba zmínit použití neprofesionálního měřicího zařízení z důvodu simulace zkušenosti běžného uživatele. Tyto výsledky jsou výstupem bodového měření, nikoliv pokusem o zmapování pokrytí daných oblastí.

Z naměřených hodnot jsou vypočítány parametry procentuální úspěšnosti připojení. Zde ovšem nastává rozhodnutí hodnotu počítat. Je tak učiněno dvěma způsoby, jelikož maximální počet pokusů na realizaci měření je 5. V prvním způsobu se bere v potaz reálný počet pokusů o připojení, tedy připojení na první pokus 1/1, na druhý 1/2, na pátý 1/5. Druhý počítá s 5 pokusy a odečítá od číslovky neúspěšná připojení. Tedy připojení na první pokus je 5/5, na druhý 4/5, na pátý 1/5. S velkoměstý a maloměstý nebyl problém, připojení bylo realizováno vždy na první pokus, nicméně jelikož 3 z 6 venkovských lokalit zaznamenaly problémy s připojením zde to bylo složitější. Původní úvaha počítala s průměrem z obou metod. Nicméně pro dosažení reálnějších výsledků na konec zůstalo jen u použití druhé varianty, která vyšla 66,6%. Výpočet pomocí první varianty pak vyšel 50%. Další hodnotou je procento navázaných připojení do LTE nebo EDGE sítě.

Měřená hodnota	Velkoměsta	Města	Venkov
% úspěšnost připojení	100%	100%	66,60%
% navázaných připojení do LTE sítě	100%	100%	50%
% navázaných připojení do EDGE sítě	0%	0%	50%
Avg. Síla signálu (-dBm)	78	93	104
Avg. Kvalita signálu pro LTE sítě (-dB)	9,5	10,2	12,3
Avg. Vzdálenost k BTS (m)	82,5	719	5292
Avg. Vzdálenost k BTS očištěná (m)	82,5	719	2450

Tabulka 13: Analýza charakteristik sítě

To je vypočítáno jako procentuální podíl úspěšných připojení k jedné, či druhé síti v poměru s celkovým počtem úspěšných připojení v daném typu lokality. Dále průměrná síla signálu, průměrná kvalita signálu, která je počítána pouze na základě ukazatele RSRQ, tudíž je stanovena jen pro LTE síť a průměrná vzdálenost k BTS. Tato hodnota je dále očištěna ze stejného důvodu, jako hodnota průměrného jitteru u charakteristik internetu. Opět za použitím této hodnoty stojí nedostatečný počet měření, kde hodnota z lokality Sovolusky výrazně ovlivňuje výsledek. I po očištění jsou hodnoty 4 z pěti zbývajících lokalit mírně podprůměrné.

Procentuální pokrytí lokace pak vychází z technologie, která byla přijata při měření. Tento údaj obsahuje velice malou datovou základnu a je spíše orientační. Typicky pokud při 2 měřeních byl telefon připojen k LTE síti a při jednom k UMTS, je v lokalitě dostupný LTE signál z 67% a UMTS z 33%.

Poslední částí je srovnání parametrů internetu pro statická měření v konfrontaci s měřeními v pohybu. Je tak realizováno zprůměrováním hodnot celé datové základny pro statická měření s celou datovou základnou pro pohybová měření. Tato realizace vychází z předpokladu, že při pohybu se uživatel pohybuje jak mezi poli, tak v blízkosti měst, či vesnic, nebo například přímo ve městě, vis měření v Praze na Jižní spojnici.

Měřená hodnota	Statická měření	Pohybová měření
Avg. Download (Mbps)	26,48	21,85
Avg. Upload (Mbps)	20,36	11,77
Avg. Ping (ms)	70	51
Avg. Jitter (ms)	12522	180
Avg. Jitter - očištěná hodnota (ms)	240	180

Tabulka 14: Srovnání výsledků statických a pohybových měření

Ze srovnání výsledků je patrné, že pokrytí na českých silnicích a dálnicích je v dobrém stavu a dosahuje velice slušných přenosových rychlostí i dobré stability sítě. V ničem si tak nezadá s výsledky ze statického měření. Obzvláště porovnají-li se naměřené hodnoty z konkrétních lokalit. V tom případě lze zjistit, že jsou si velmi podobné. Velkou výjimkou je zde měření v obci Felbabka a na okresní silnici mezi ní a městem Horoměřice. Zde právě kvůli ztíženým podmínkám pro přenos v podobě velmi strmě kopcovaté krajiny ve spojení s velice pravděpodobně nedostatečnou kapacitou sítě dochází v velkém rozdílu v naměřených hodnotách. Obdobně tomu je u dálnice D11 a Nymburka. Nicméně zde je již větší vzdálenost mezi místy v nichž došlo k měření.

10 Závěr

Obecně lze říci, že internet je všude dostupným jelikož v žádné lokalitě nenastala situace, kdy by se nepodařilo alespoň jednou navázat úspěšné připojení. Nicméně ne všude se dá hovořit o vysokorychlostním připojení, ať již si pod slovem vysokorychlostní představíme cokoliv. Může se jednat o připojení alespoň 3G technologií, nebo o takové připojení, které umožní sledování on-line HD videí, případně HD videohovor, ba dokonce full HD v případě náročného zákazníka, či takové které umožní streaming v HD/full HD kvalitě a klade tak větší nároky na upload. Definice vysokorychlostního internetu se bohužel nepodařilo dohledat, nicméně z pohledu uživatele se bude ve většině případů jednat o jeden z výše uvedených požadavků. Z pohledu operátorů se pak jedná právě o technologie UMTS a vyšší. Každopádně technologii EDGE nelze považovat za vysokorychlostní připojení. A i když zprůměrované výsledky hovoří jinak, na venkově vysokorychlostní připojení není vždy dostupné, neboť v 50% vybraných lokalit nedošlo ani v jednom případě k navázání spojení s UMTS či LTE sítí. Obecně však lze říci, že naměřené výsledky jsou dobré a zprůměrované hodnoty z daných typů lokalit dosahují kvalitních výsledků.

Je ovšem potřeba poznamenat, že i přes to, že se jednalo o test vybraných míst, nelze na základě takto malého počtu měření říci, že je takováto situace celorepubliková. Neboť vzorek dat pro takové tvrzení není dostatečný. Co se simulace zatížení týče, tři měření v rámci jednoho dne jsou dle mého názoru dostačující, nicméně po zpětném zhodnocení výsledků by mělo být každé měření realizováno minimálně 2x a to ve všední den a o víkendu. Dále v dané lokalitě by mělo měření proběhnout na několika místech naráz pro lepší váhu výsledných hodnot. Na druhou stranu mám-li jako uživatel dle operátora mít přístup k LTE signálu, nemusí mě zajímat skutečnost, že na druhé straně obce je LTE dostupné, když u mě není. Z tohoto důvodu lze považovat výsledky za reprezentativní. Pro dosažení lepších výsledků by tak bylo třeba rozšířit soubor dat. Nemusí se jednat o drastický nárůst, nicméně nemělo by chybět více zástupců velkoměst, i když zde lze očekávat velice podobné výsledky. Dále více měst a maloměst. I zde by měly být výsledky velice podobné. Kde se ale dá čekat větší variabilita jsou právě oblasti venkova. Pro lepší vypovídací schopnost by tak mělo být zahrnuto více horských oblastí, dále lokality poblíž rekreačních středisek a více vesnic, které neleží v blízkosti větších měst a vyznačují se rozdílnými podmínkami pro přenos signálu a pro zatížení sítě.

Měření realizovaná v pohybu podléhají stejným problémům jako statická. Tedy převážně nedostatku vzorků. Ovšem i zde platí že má-li být internet dostupný, mělo by dojít k přihlášení do sítě. Větší počet vzorků by tak měl přinést vyšší procentuální úspěšnost přihlášení a reprezentativnější průměrné hodnoty pro dané typy lokalit.

Co se měření parametrů sítě a signálu týče, jedná se pouze o bodová měření, tudíž neslouží, ani se nesnaží o vytváření mapy pokrytí. Poskytují doplňkové informace k parametrům internetu. Pro stanovení mapy pokrytí by bylo třeba projíždět, potažmo procházet lokalitou a neustále měřit s odstupem několika uražených metrů. Nicméně cílem práce nebylo vytvoření

mapy pokrytí, nýbrž charakteristika mobilního internetu. K té pak informace o síle či kvalitě signálu jistě patří, jelikož právě tyto hodnoty mohou zdůvodnit například výpadky signálu. Pro jejich přesné stanovení by ale bylo potřeba zvolit profesionální měřicí přístroj. Obzvláště pokud by cílem práce bylo potvrdit či vyvrátit přístup k signálu a porovnávat a diskutovat tak hodnoty s měřeními realizovanými operátorem. Nicméně práce nediskutuje přístup k signálu, nýbrž přístup k internetu. Lze si tak na základě naměřených parametrů sítě udělat představu a případně vypočítat například vliv umístění přijímacího zařízení do budovy, kde bude síla signálu samozřejmě jiná. Právě při operacích s parametry v jednotkách dB je nutné brát v potaz fakt že pokles o 3 dB znamená 50% původní hodnoty, naopak nárůst o 3 dB pak dvojnásobek původní hodnoty.

Jelikož cílem práce bylo prošetření dostupnosti internetu z pohledu uživatele. Lze tak klasický mobilní telefon považovat za naprosto adekvátní měřicí zařízení. Výsledky použitých freewarových aplikací rovněž nelze brát na lehkou váhu, jelikož i když mohou být operátory sponzorovány pro dosažení lepších výsledků než konkurenční poskytovatelé, jedná se dle hodnocení o jedny z nejlepších na trhu a naměřené hodnoty tak mají určitou vypovídající hodnotu. Dále se sice nemusí jednat o naprosto přesné výsledky, nicméně pro představu a popis situace jsou dostačující.

Počáteční hypotéza práce je tak částečně potvrzena. Vysokorychlostní internet je v Čechách dostupný. Nicméně alespoň v případě této studie se v 50% případů připojení ve venkovských oblastech jednalo o technologii EDGE, která žádným svým parametrem nesplňuje ani jednu podmínku potřebnou pro zařazení do kategorie vysokorychlostního internetu.

11 Seznam zdrojů

Použitá literatura

[17] SAUTER, Martin. From GSM to LTE-Advanced Pro and 5G an introduction to mobile networks and mobile broadband. Third edition. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2017. ISBN 9781119346869. [cit. 17-1-2019]

[32] COX, Christopher. An introduction to LTE LTE, LTE-advanced, SAE, VoLTE and 4G mobile communications. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, [2014]. ISBN 9781118818039. [cit. 15-2-2019]

Internetové zdroje

[1] Faculty of Informatics, Masaryk University | Faculty of Informatics Masaryk University [online]. [cit. 29-9-2018]
Dostupné z: https://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2003/xrambous_index.htm

[2] Jak na Internet - Historie Internetu. Jak na Internet - Jak na Internet [online]. Copyright © 2019 CZ.NIC, z. s. p. o. [cit. 29-9-2018].
Dostupné z: <https://www.jaknainternet.cz/page/1205/historie-internetu/>

[3] Faculty of Informatics, Masaryk University | Faculty of Informatics Masaryk University [online]. [cit. 2-10-2018]
Dostupné z: <https://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2000/xchlad.htm>

[4] 20 let Internetu v České republice | Ikaros. Ikaros | elektronický časopis o informační společnosti [online]. Copyright © 1997 [cit. 2-10-2018].
Dostupné z: <https://ikaros.cz/20-let-internetu-v-ceske-republice>

[5] Historie internetu v datech – 25 let v ČR | CESNET. CESNET z. s. p. o. [online]. Copyright © 1999-2019 [cit. 2-10-2018]
Dostupné z: <http://www.itpoint.cz/cesnet/clanky/?i=historie-internetu-25-let-cr-11512>

[6] Systém NMT | Technologie pro mobilní komunikaci [online]. [cit. 2-10-2018]
Dostupné z: <http://www.tomas.richtr.cz/mobil/bunk-nmt.htm>

[7] Historie GSM | Technologie pro mobilní komunikaci [online]. [cit. 2-10-2018]
Dostupné z: <http://www.tomas.richtr.cz/mobil/bunk-gsm.htm>

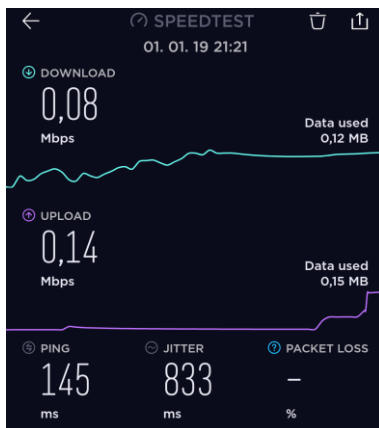
- [8] Průvodce po mobilních sítích nejen čtvrté generace, aneb co znamená 3G, 4G, HSPA+, LTE či WiMax (1. část) | ITBIZ [online]. [cit. 2-10-2018]
Dostupné z: <https://www.itbiz.cz/pruvodce-po-mobilnich-sitich-nejen-ctvrte-generace-aneb-co-znamená-3g-4g-hspa-lte-ci-wimax-1-část>
- [9] Rádiové rozhraní systému GSM | Technologie pro mobilní komunikaci [online]. [cit. 2-10-2018]
Dostupné z: <http://www.tomas.richtr.cz/mobil/gsm-radio.htm>
- [10] Technologie mobilního internetu – od CSD po LTE Advanced (vědecké okénko) | Mobilizujeme. [online]. [cit. 2-10-2018]
Dostupné z: <https://www.mobilizujeme.cz/clanky/technologie-mobilniho-internetu-od-csd-po-lte-advanced-vedecke-okenko>
- [11] CDMA2000 1X / 1XRTT | electronicnotes. [online]. [cit. 2-10-2018]
Dostupné z: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/cdmaone-cdma2000/cdma2000-1xrtt-basics-tutorial.php>
- [12] IMT 2000 | Technologie pro mobilní komunikaci [online]. [cit. 2-10-2018]
Dostupné z: <http://www.tomas.richtr.cz/mobil/umts.htm>
- [13] Základní struktura UMTS | Technologie pro mobilní komunikaci [online]. [cit. 2-10-2018]
Dostupné z: <http://www.tomas.richtr.cz/mobil/umts-strukt.htm>
- [14] Vysoké učení technické v Brně [online]. Copyright © [cit. 2-10-2019].
Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=7642
- [15] UMTS Network Structure | TELETOPIX.ORG. Telecom Techniques Guide [online]. Copyright © [cit. 10-10-2018].
Dostupné z: <http://www.teletopix.org/3g-wcdma/umts-network-structure/>
- [16] Interaktivní mapa BTS | GSMweb.cz [online]. [cit. 20-2-2019]
Dostupné z: <https://www.gsmweb.cz/mapa/>
- [18] ASU Wert - Signalstärke messen und interpretieren. LTE: alle Anbieter, Vergleich & viele nützliche Ratgeber [online]. Copyright © LTE [cit. 20-2-2019].
Dostupné z: <https://www.lte-anbieter.info/technik/asu.php>
- [19] O2 | Mapa pokrytí [online]. [cit. 22-2-2019]
Dostupné z: https://www.o2.cz/osobni/199436-mapa_pokryti_a_prodejen/

- [20] O2 má podle průzkumů již 6 let nejlepší datovou síť. A co ostatní? | Mobilizujeme. [online]. [cit. 22-2-2019]
Dostupné z: <https://www.mobilizujeme.cz/clanky/o2-ma-podle-pruzkumu-jiz-6-let-nejlepsi-datovou-sit-a-co-ostatni>
- [21] Pokrytí | Veřejné širokopásmové mobilní sítě LTE. Informace k webu lte.ctu.cz | Veřejné širokopásmové mobilní sítě LTE - rozcestník [online]. Copyright © 2014 [cit. 22-2-2019].
Dostupné z: <https://digi.ctu.cz/lte-pokryti/pokryti>
- [22] O2 | Mobilní tarify [online]. Copyright © O2 Czech Republic a.s. [cit.22-2-2019].
Dostupné z: <https://www.o2.cz/osobni/mobilni-tarify>
- [23] Neomezené tarify: Volání, SMS a internet v mobilu - T-Mobile.cz. [online].
Copyright © 2004 [cit. 22-2-2019]. Dostupné z: <https://www.t-mobile.cz/tarify>
- [24] Mobilní tarify – Vodafone.cz [online]. Copyright © 2019 Vodafone Czech Republic a.s. [cit. 22-2-2019]. Dostupné z: <https://www.vodafone.cz/tarify/>
- [25] Datové tarify – Vodafone.cz [online]. Copyright © 2019 Vodafone Czech Republic a.s. [cit. 22-2-2019]. Dostupné z: <https://www.vodafone.cz/internet/mobilni-internet/>
- [26] LTE network architecture | Download Scientific Diagram. ResearchGate | Share and discover research [online]. Copyright © ResearchGate [cit. 3-3-2019].
Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/LTE-network-architecture_fig1_283831847
- [27] OFDMA - TelecomPedia. TelecomPedia - Easy Explanation, Mostly Visualization [online]. Copyright © 2019 [cit. 3-3-2019].
Dostupné z: <http://telecompedia.net/ofdma/>
- [28] 4G - LTE/LTE-A. GTA / COPPE / UFRJ - Mestrado e Doutorado em Redes de Computadores [online]. [cit. 3-3-2019] Dostupné z: https://www.gta.ufrj.br/ensino/ee1879/trabalhos_vf_2014_2/rafaelreis/ofdma_scfdma.html
- [29] Modulační techniky v moderních bezdrátových sítích. Access server [online]. [cit. 3-3-2019] Dostupné z: <http://access.fel.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010020004>
- [30] What is LTE Advanced? - Android Authority. Android Authority [online]. Copyright ©2019 Android Authority [cit. 3-3-2019].
Dostupné z: <https://www.androidauthority.com/lte-advanced-176714/>
- [31] Mapa pokrytí - T-Mobile.cz. [online]. Copyright © 2004 [cit. 3-3-2019].
Dostupné z: <https://www.t-mobile.cz/podpora/mapa-pokryti>

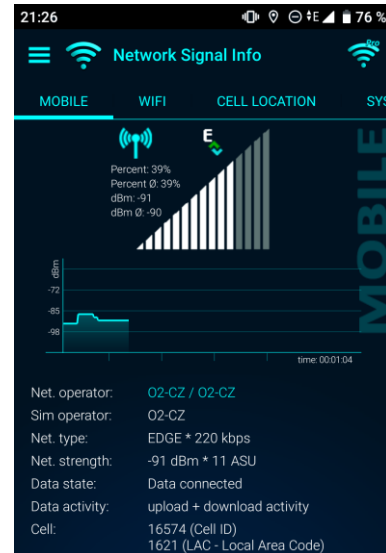
12 Seznam příloh

Obsahuje výsledky měření nezasazené do práce pro úsporu místa a lepší orientaci v dokumentu.

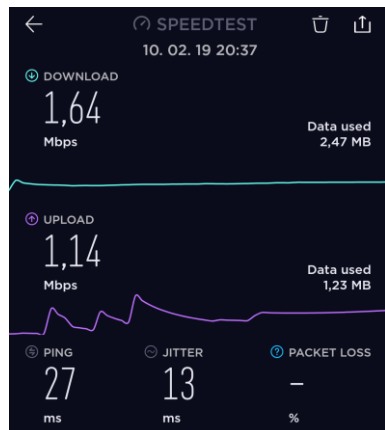
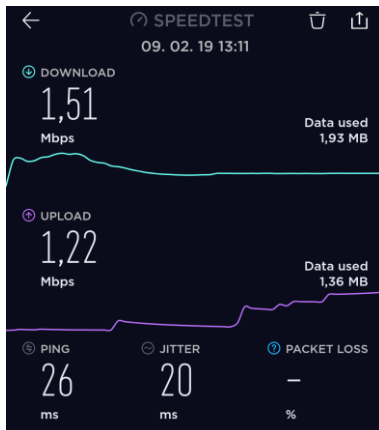
Příloha 1 - Paseky nad Jizerou



VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	1. 1. 2019 21:23:15		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	0,043 Mbps		
Rychlost uploadu	0,02 Mbps		
Ping	130 ms		
Ping variance	5 700 ms		
Síla signálu	-99 dBm		
Typ sítě	2G (EDGE)		
Poloha	N 50°43.460' E 15°23.718' (Sít, +/- 60 m)		

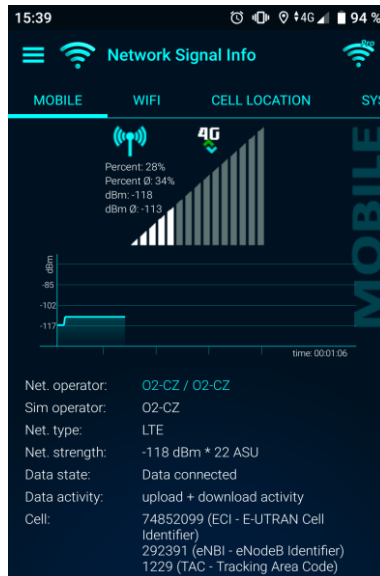
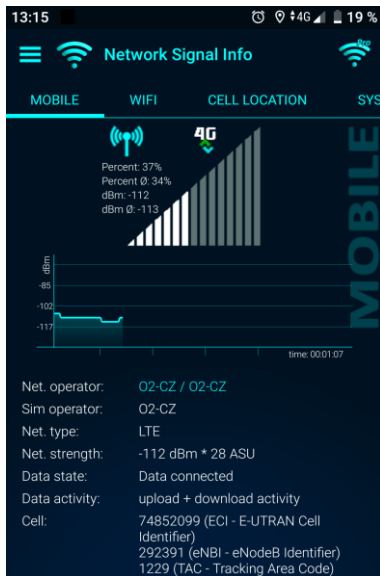


Příloha 2 - Felbabka

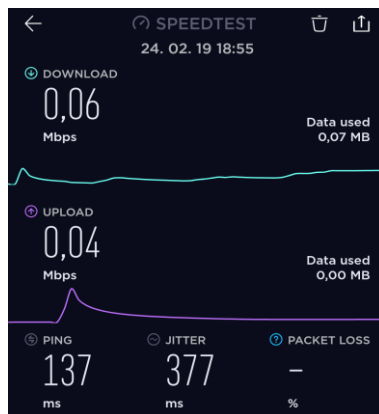
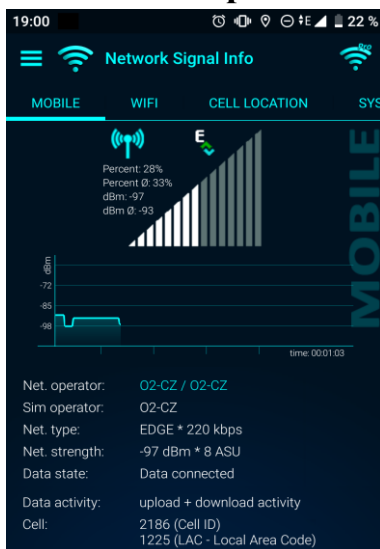


VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	9. 2. 2019 13:12:17		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	1,4 Mbps		
Rychlost uploadu	0,52 Mbps		
Ping	37 ms		
Ping variance	63 ms		
Síla signálu (RSRP)	-112 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-12 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 49°48.727' E 13°56.649' (GPS, +/- 6 m)		

VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	10. 2. 2019 20:36:22		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	2,6 Mbps		
Rychlost uploadu	1,5 Mbps		
Ping	39 ms		
Ping variance	22 ms		
Síla signálu (RSRP)	-118 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-13 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 49°48.723' E 13°56.640' (GPS, +/- 8 m)		

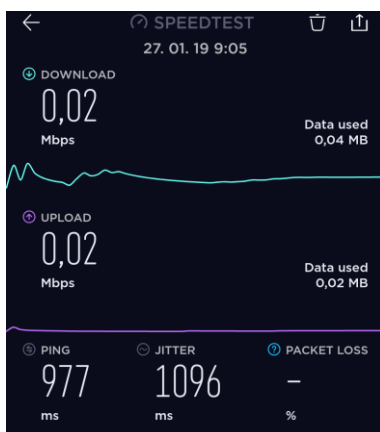


Příloha 3 - Těptín

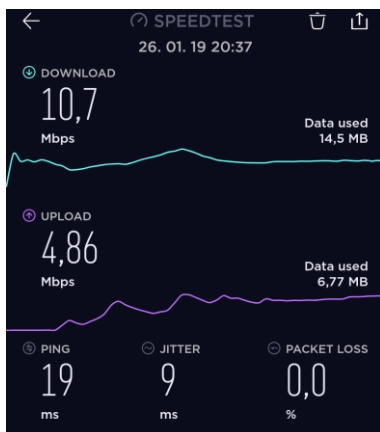


Výsledky testů			
VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	24. 2. 2019 18:56:43		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	0,14 Mbps		
Rychlost uploadu	0,015 Mbps		
Ping	140 ms		
Ping variance	2 900 ms		
Síla signálu	-99 dBm		
Typ sítě	2G (EDGE)		
Poloha	N 49°53.447' E 14°34.193' (GPS, +/- 4 m)		

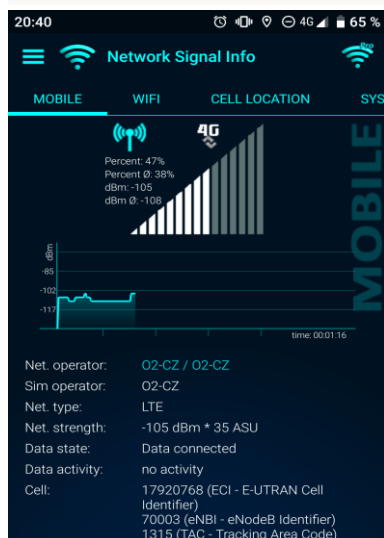
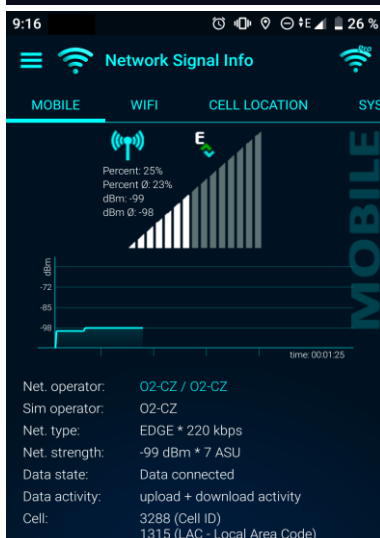
Příloha 4 – Černovice



Výsledky testů			
VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	27. 1. 2019 9:09:17		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	0,092 Mbps		
Rychlost uploadu	0,037 Mbps		
Ping	480 ms		
Ping variance	160 000 ms		
Síla signálu	-105 dBm		
Typ sítě	2G (EDGE)		
Poloha	N 49°22.112' E 14°58.033' (SIT, +/- 3132 m)		

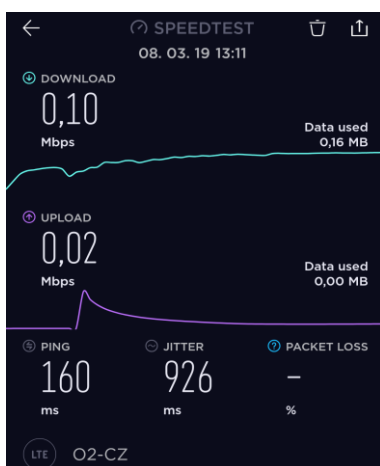


VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	26. 1. 2019 20:38:02		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	8,7 Mbps		
Rychlost uploadu	4,5 Mbps		
Ping	40 ms		
Ping variance	16 ms		
Síla signálu (RSRP)	-112 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-12 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 49°22.406' E 14°57.529' (GPS, +/- 6 m)		

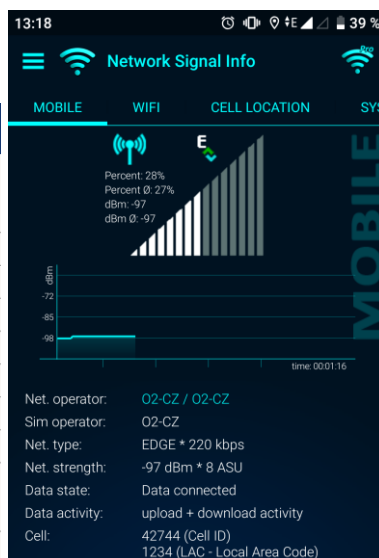


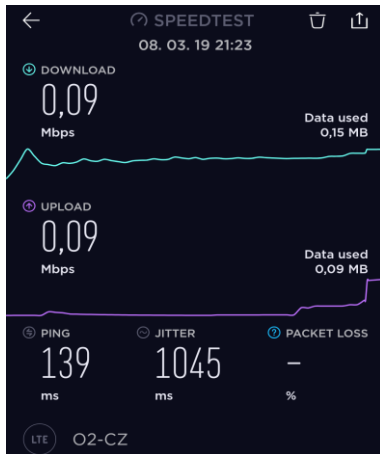
Příloha 5 – Sovolusky

Měření parametrů operátora O2



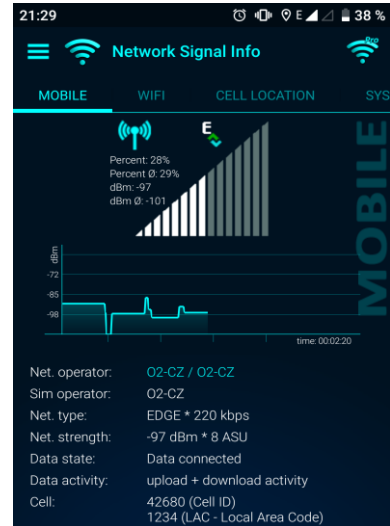
VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	8. 3. 2019 13:14:38		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	0,05 Mbps		
Rychlost uploadu	0,022 Mbps		
Ping	200 ms		
Ping variance	90 000 ms		
Síla signálu	-97 dBm		
Typ sítě	2G (EDGE)		
Poloha	N 50°10.562' E 15°14.080' (SÍŤ, +/- 2283 m)		
IP jméno sítě	O2-CZECH-REPUBLIC, CZ		



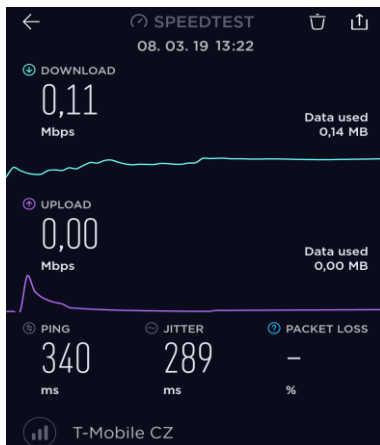


Výsledky testů

VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	8. 3. 2019 21:24:57		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	0,14 Mbps		
Rychlost uploadu	0,045 Mbps		
Ping	120 ms		
Ping variance	27 000 ms		
Síla signálu	-91 dBm		
Typ sítě	2G (EDGE)		
Poloha	N 50°19.809' E 15°6.953' (GPS, +/- 3 m)		
IP jméno sítě	O2-CZECH-REPUBLIC, CZ		

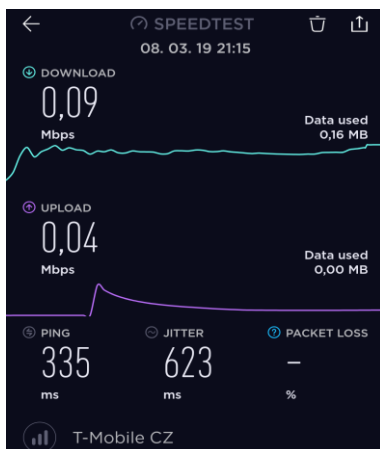
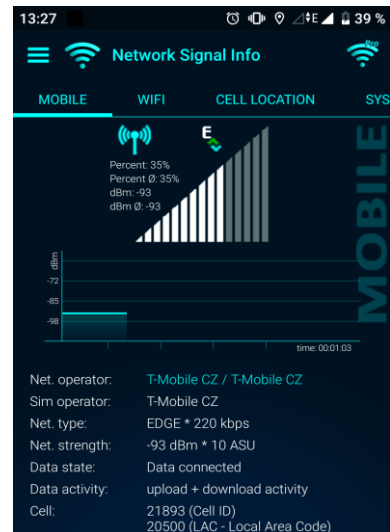


Měření parametrů operátora T-Mobile



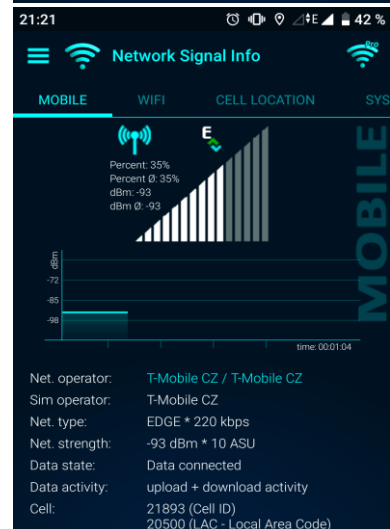
Výsledky testů

VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	8. 3. 2019 14:24:18		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	0,099 Mbps		
Rychlost uploadu	0,057 Mbps		
Ping	100 ms		
Ping variance	99 ms		
Síla signálu	-103 dBm		
Typ sítě	2G (EDGE)		
Poloha	N 50°19.805' E 15°6.945' (GPS, +/- 5 m)		
IP jméno sítě	TMOBILE-, CZ		



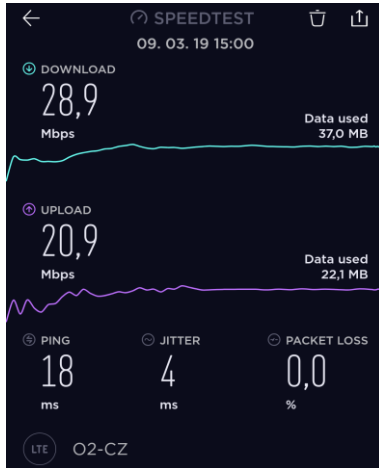
Výsledky testů

VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	8. 3. 2019 21:17:27		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	0,026 Mbps		
Rychlost uploadu	0,057 Mbps		
Ping	140 ms		
Ping variance	380 000 ms		
Síla signálu	-93 dBm		
Typ sítě	2G (EDGE)		
Poloha	N 50°19.810' E 15°6.953' (GPS, +/- 3 m)		
IP jméno sítě	TMOBILE-, CZ		

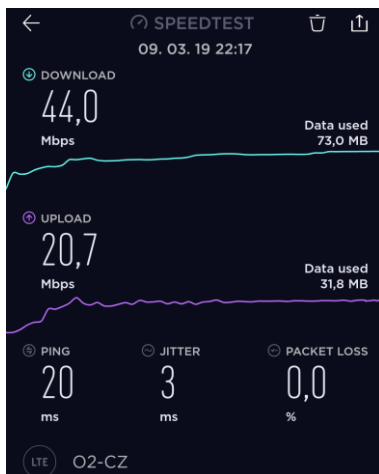
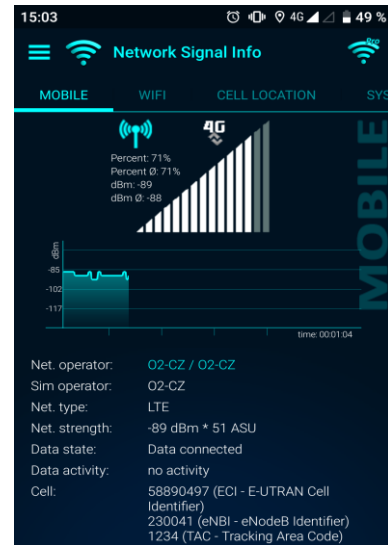


Příloha 6 - Nymburk

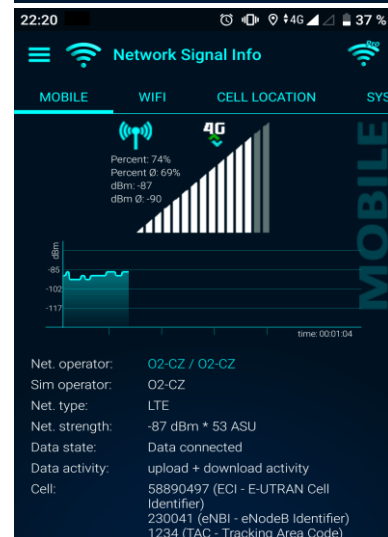
Měření parametrů operátora O2



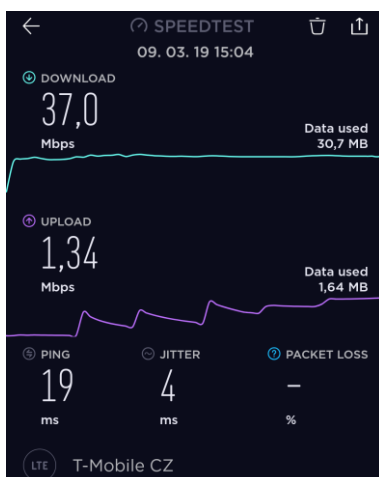
Výsledky testů			
VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	9. 3. 2019 15:01:26		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	26 Mbps		
Rychlost uploadu	19 Mbps		
Ping	20 ms		
Ping variance	16 ms		
Síla signálu (RSRP)	-88 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-9 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 50°10.727' E 15°3.502' (Sít', +/- 20 m)		
IP jméno sítě	O2-CZECH-REPUBLIC, CZ		



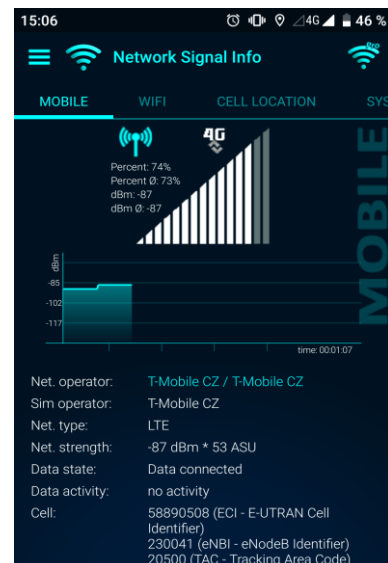
Výsledky testů			
VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	9. 3. 2019 22:19:05		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	46 Mbps		
Rychlost uploadu	21 Mbps		
Ping	20 ms		
Ping variance	3,6 ms		
Síla signálu (RSRP)	-89 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-8 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 50°10.699' E 15°3.617' (GPS, +/- 6 m)		
IP jméno sítě	O2-CZECH-REPUBLIC, CZ		

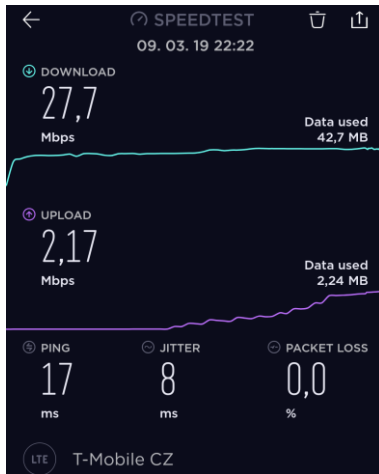


Měření parametrů operátora T-Mobile

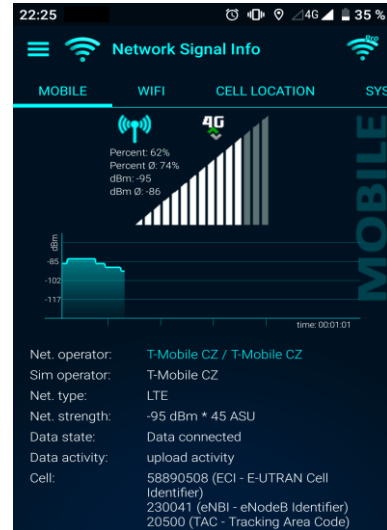


Výsledky testů			
VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	9. 3. 2019 15:04:56		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	34 Mbps		
Rychlost uploadu	1,4 Mbps		
Ping	22 ms		
Ping variance	18 ms		
Síla signálu (RSRP)	-89 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-8 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 50°10.727' E 15°3.502' (Sít', +/- 20 m)		
IP jméno sítě	TMOBILE-, CZ		



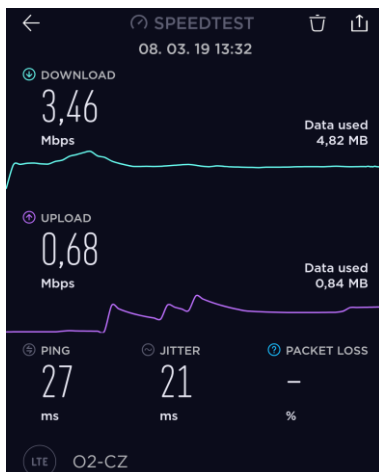


VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	9. 3. 2019 22:23:23		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	18 Mbps		
Rychlost uploadu	1,1 Mbps		
Ping	25 ms		
Ping variance	55 ms		
Síla signálu (RSRP)	-83 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-7 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 50°10.706' E 15°3.610' (GPS, +/- 8 m)		
IP jméno sítě	TMOBILE-, CZ		

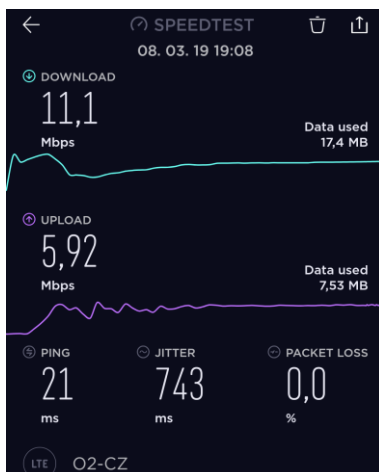
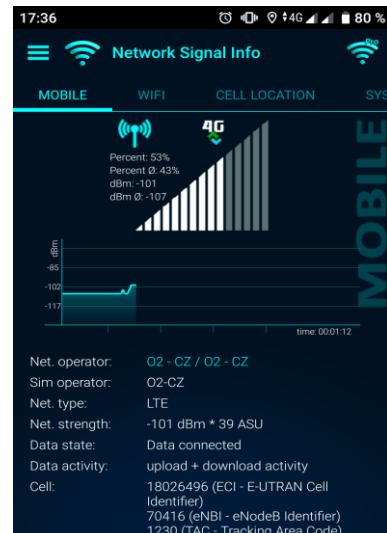


Příloha 7 - Mladá Boleslav

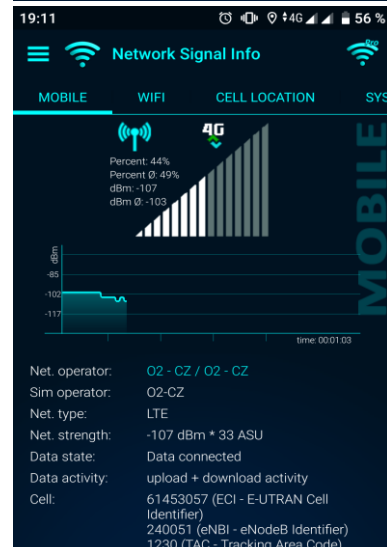
Měření parametrů operátora O2



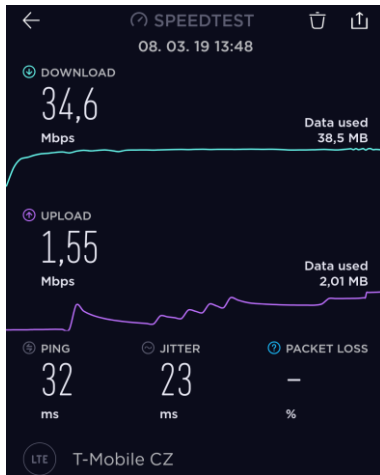
VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	8. 3. 2019 13:34:15		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	0,99 Mbps		
Rychlost uploadu	1,2 Mbps		
Ping	40 ms		
Ping variance	290 ms		
Síla signálu (RSRP)	-108 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-14 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 50°24.496' E 14°56.405' (Sít, +/- 20 m)		
IP jméno sítě	O2-CZECH-REPUBLIC, CZ		



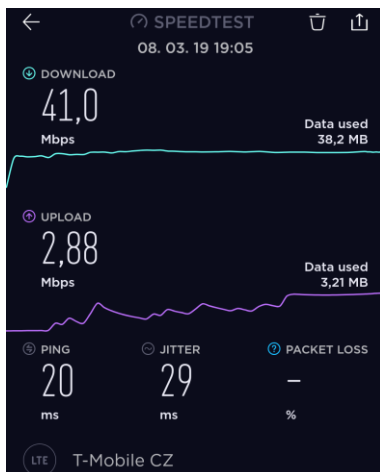
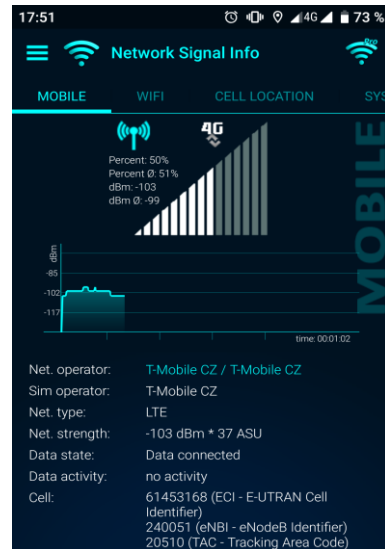
VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	8. 3. 2019 19:09:37		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	9,5 Mbps		
Rychlost uploadu	3,7 Mbps		
Ping	31 ms		
Ping variance	150 ms		
Síla signálu (RSRP)	-102 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-13 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 50°24.540' E 14°56.345' (GPS, +/- 4 m)		
IP jméno sítě	O2-CZECH-REPUBLIC, CZ		



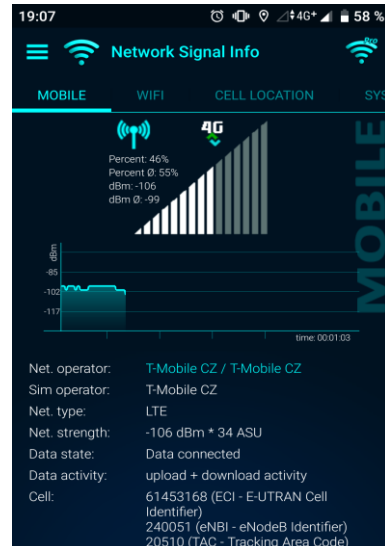
Měření parametrů operátora T-Mobile



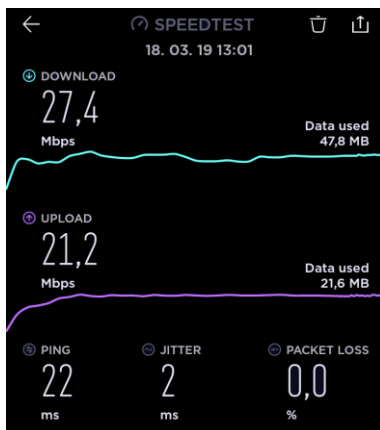
VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	8. 3. 2019 13:49:21		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	32 Mbps		
Rychlost uploadu	1,4 Mbps		
Ping	37 ms		
Ping variance	33 ms		
Síla signálu (RSRP)	-101 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-7 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 50°24.491' E 14°56.409' (GPS, +/- 5 m)		
IP jméno sítě	TMOBILE-, CZ		



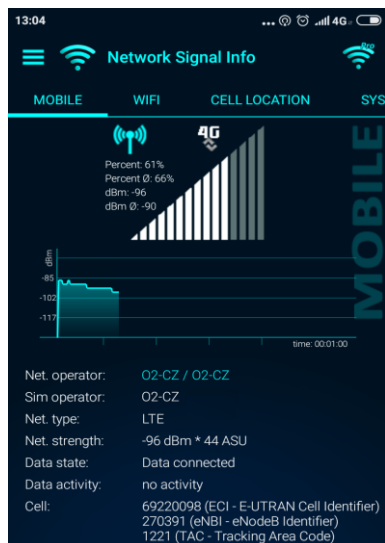
VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	8. 3. 2019 19:05:59		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	54 Mbps		
Rychlost uploadu	1,9 Mbps		
Ping	26 ms		
Ping variance	15 ms		
Síla signálu (RSRP)	-97 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-7 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 50°24.540' E 14°56.348' (GPS, +/- 3 m)		
IP jméno sítě	TMOBILE-, CZ		

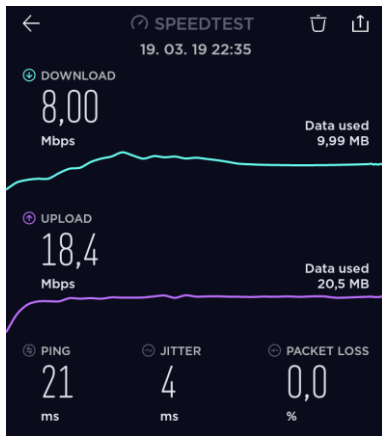


Příloha 8 - Unhošť



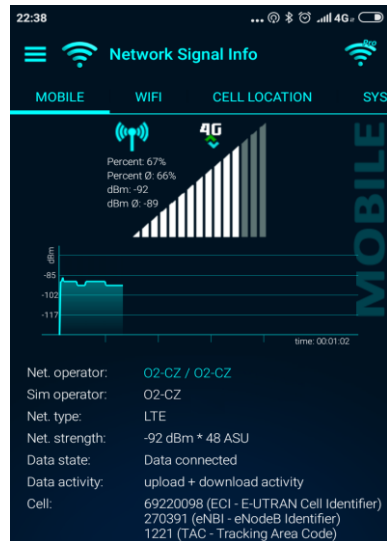
VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	18. 3. 2019 13:01:58		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	26 Mbps		
Rychlost uploadu	21 Mbps		
Ping	23 ms		
Ping variance	10 ms		
Síla signálu (RSRP)	-86 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-8 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 50°4.751' E 14°7.343' (GPS, +/- 4 m)		



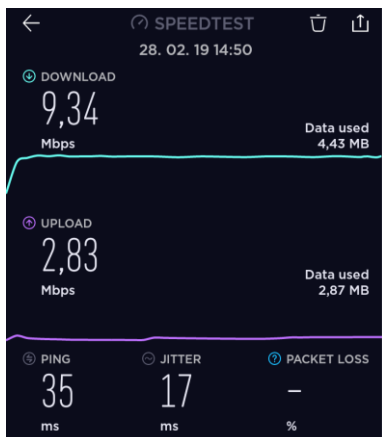


Výsledky testů

VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Test time	19. 3. 2019 22:36:25		
Timezone	UTC+1h		
Download speed	4,6 Mbps		
Upload speed	17 Mbps		
Ping	25 ms		
Ping variance	21 ms		
Signal strength (RSRP)	-91 dBm		
Signal quality (RSRQ)	-8 dB		
Network type	4G (LTE)		
Location	N 50°4.748' E 14°7.340' (GPS, +/- 4 m)		

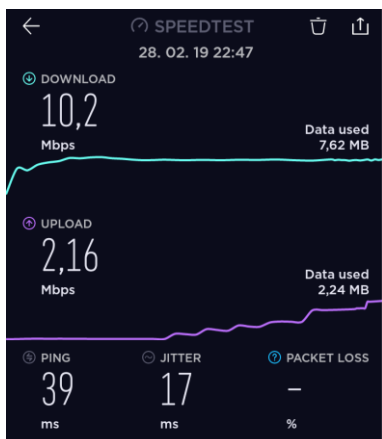
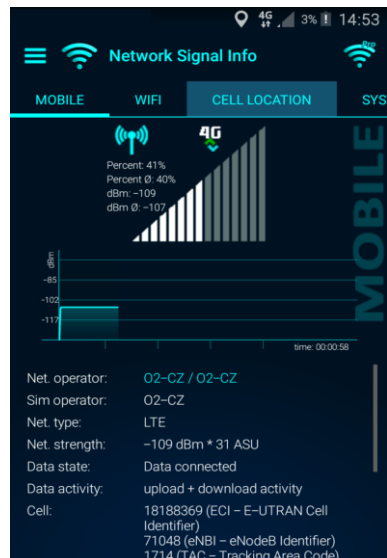


Příloha 9 - Veřovice



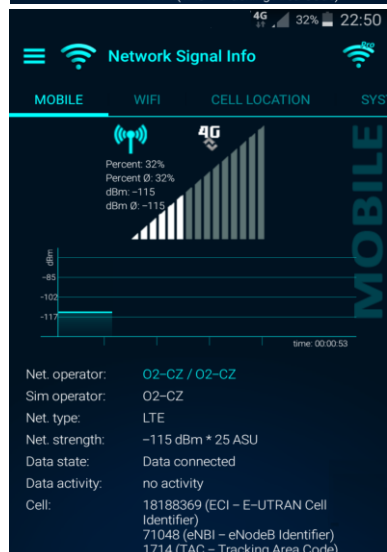
Výsledky testů

VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	28. 2. 2019 16:48:14		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	8,6 Mbps		
Rychlost uploadu	1,3 Mbps		
Ping	43 ms		
Ping variance	18 ms		
Síla signálu (RSRP)	-109 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-11 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 49°32.390' E 18°6.227' (SiT, +/- 2300 m)		

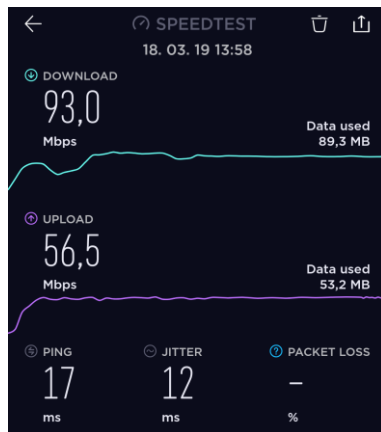


Výsledky testů

VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Čas testu	28. 2. 2019 22:46:14		
Časové pásmo	UTC+1h		
Rychlost downloadu	5,6 Mbps		
Rychlost uploadu	1,1 Mbps		
Ping	41 ms		
Ping variance	40 ms		
Síla signálu (RSRP)	-115 dBm		
Kvalita signálu (RSRQ)	-8 dB		
Typ sítě	4G (LTE)		
Poloha	N 49°32.390' E 18°6.227' (SiT, +/- 2300 m)		

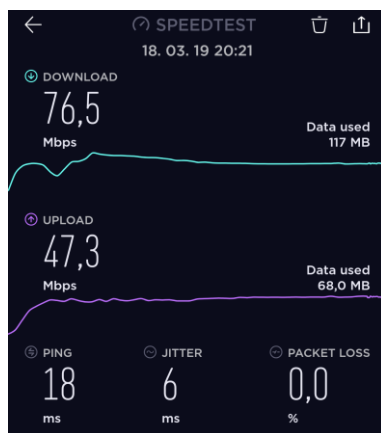
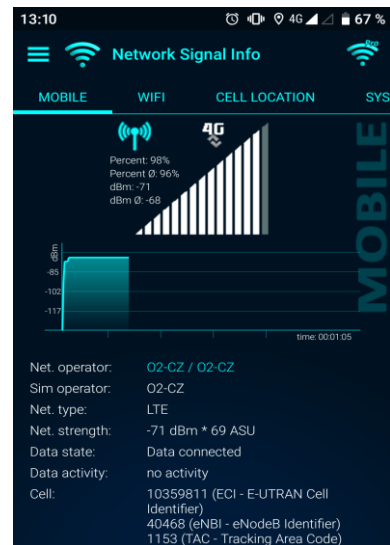


Příloha 10 – Praha Velká ohrada



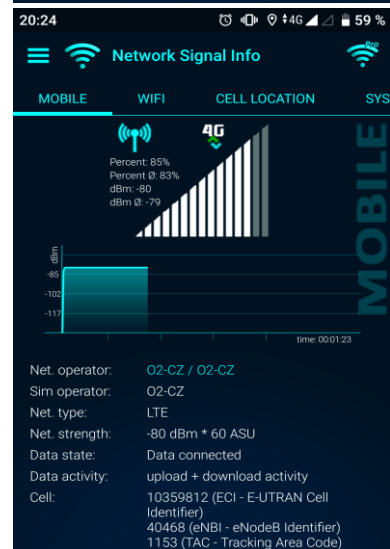
Výsledky testů

VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Test time	18. 3. 2019 13:58:47		
Timezone	UTC+1h		
Download speed	110 Mbps		
Upload speed	52 Mbps		
Ping	25 ms		
Ping variance	30 ms		
Signal strength (RSRP)	-73 dBm		
Signal quality (RSRQ)	-8 dB		
Network type	4G (LTE)		
Location	N 50°2.240' E 14°20.414' (GPS, +/- 6 m)		

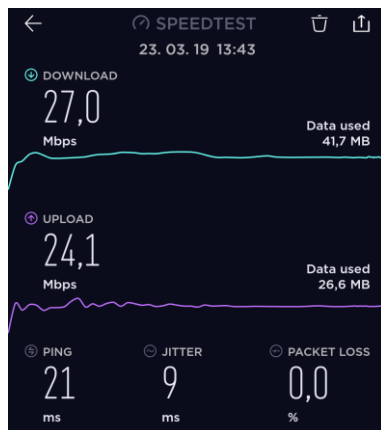


Výsledky testů

VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Test time	18. 3. 2019 20:22:40		
Timezone	UTC+1h		
Download speed	61 Mbps		
Upload speed	48 Mbps		
Ping	28 ms		
Ping variance	16 ms		
Signal strength (RSRP)	-81 dBm		
Signal quality (RSRQ)	-9 dB		
Network type	4G (LTE)		
Location	N 50°2.241' E 14°20.421' (GPS, +/- 5 m)		

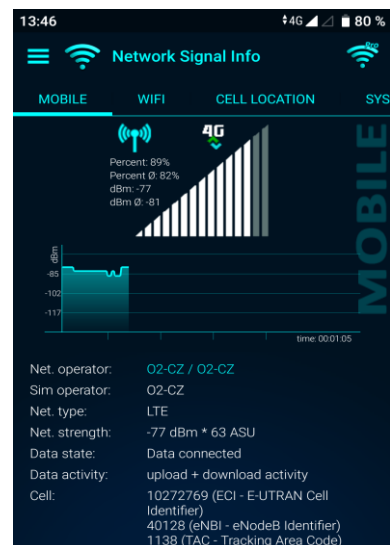


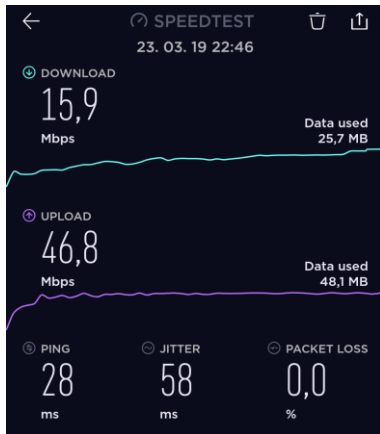
Vinohradská ulice



Výsledky testů

VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Test time	23. 3. 2019 13:44:26		
Timezone	UTC+1h		
Download speed	23 Mbps		
Upload speed	21 Mbps		
Ping	26 ms		
Ping variance	33 ms		
Signal strength (RSRP)	-68 dBm		
Signal quality (RSRQ)	-9 dB		
Network type	4G (LTE)		
Location	N 50°4.611' E 14°26.497' (GPS, +/- 8 m)		





Výsledky testů

VÝSLEDEK	DETAILY	QOS	GRAFY
Test time	23. 3. 2019 22:47:33		
Timezone	UTC+1h		
Download speed	21 Mbps		
Upload speed	44 Mbps		
Ping	80 ms		
Ping variance	1 700 ms		
Signal strength (RSRP)	-81 dBm		
Signal quality (RSRQ)	-10 dB		
Network type	4G (LTE)		
Location	N 50°4.616' E 14°26.492' (GPS, +/- 14 m)		

