

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Monitoring spektra mobilních rádiových sítí

Oldřich Puha

Bakalářská práce

2021

Univerzita Pardubice  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Akademický rok: 2020/2021

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Oldřich Puha**  
Osobní číslo: **I18055**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komunikační a mikroprocesorová technika**  
Téma práce: **Monitoring spektra mobilních rádiových sítí**  
Zadávací katedra: **Katedra elektrotechniky**

### Zásady pro vypracování

Bakalářská práce je zaměřena na monitoring rádiového spektra mobilních komunikačních systémů a bezdrátových lokálních datových sítí. Práce bude obsahovat rešerši softwarových nástrojů pro monitorování dostupných datových sítí a porovnání parametrů těchto nástrojů s možnostmi laboratorních signálových a spektrálních analyzátorů.

V praktické části budou ověřeny vlastnosti vybraných SW nástrojů pro monitoring bezdrátových datových sítí typu GSM, 3G, LTE a Wi-Fi. Pro různé velikosti pokrývaných buněk bude provedeno měření přijímaného výkonu v závislosti na vzdálenosti od vysílače a typu zástavby, zároveň budou měřeny i datové rychlosti. Výsledky měření budou ověřeny s využitím laboratorního vybavení s různými typy antén a s teoretickými předpoklady, které budou odvozeny z radiokomunikační rovnice a modelů šíření signálu v zástavbě a ve volném prostředí.

Rozsah pracovní zprávy: **50**  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

DOBEŠ, Josef a Václav ŽALUD. *Moderní radiotechnika*. Praha: BEN – technická literatura, 2006. ISBN 80-730-0132-2.

Český telekomunikační úřad: *Plán přidělení kmitočtových pásem: národní kmitočtová tabulka* [online]. [cit. 2020-10-29]. Dostupné z: <https://www.ctu.cz/narodni-kmitoctova-tabulka>

Český telekomunikační úřad: *Využití radiového spektra / kmitočty* [online]. [cit. 2020-10-29]. Dostupné z: [www.ctu.cz/vyuziti-radioveho-spektra-kmitocety](http://www.ctu.cz/vyuziti-radioveho-spektra-kmitocety)

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.**  
Katedra elektrotechniky

Datum zadání bakalářské práce: **15. listopadu 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **14. května 2021**

L.S.

**Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.** v.r.  
děkan

**Ing. Jan Pidanič, Ph.D.** v.r.  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 29. ledna 2021

## **Prohlášení autora**

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 5. 8. 2021

Oldřich Puha

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Zdeňku Němcovi, Ph.D. za ochotu, komunikaci a rady, které mi v průběhu práce dal. Dále bych chtěl poděkovat rodině, kolegům, kamarádům a všem, kteří mě v průběhu celého studia podporovali.

## **Anotace**

Bakalářská práce se zabývá analýzou parametrů měřených mobilními SW aplikacemi pro monitoring bezdrátových datových sítí. Pro validaci monitoringu rádiového spektra mobilních komunikačních systémů a bezdrátových lokálních datových sítí jsou využity laboratorní spektrální analyzátory, signálový generátor a různé typy antén. Pro porovnání možností SW aplikací a profesionálních přístrojů jsou z provedených měření odvozeny jednoduché modely šíření signálu pro vnitřní a vnější prostředí.

## **Klíčová slova**

šíření signálu, mobilní sítě, Wi-Fi, signál, měření

## **Title**

Spectrum Analysis of Mobile Radio Networks.

## **Annotation**

The bachelor's thesis deals with the analysis of parameters measured by SW mobile applications for monitoring wireless data networks. Laboratory spectrum analyzers, a signal generator and various types of antennas are used to validate the radio spectrum monitoring of mobile communication systems and wireless local data networks. To compare the possibilities of SW applications and professional devices, simple signal propagation models for indoor and outdoor environments are created from the measurements.

## **Keywords**

signal propagation, mobile networks, Wi-Fi, signal, measurement

# Obsah

<b>Seznam zkratk</b> .....	<b>8</b>
<b>Seznam obrázků</b> .....	<b>10</b>
<b>Seznam tabulek</b> .....	<b>12</b>
<b>Úvod</b> .....	<b>13</b>
<b>1 Monitoring rádiového spektra</b> .....	<b>14</b>
1.1 Účely monitoringu pro ČTU.....	14
1.2 Radiomonitoring pro speciální účely.....	14
<b>2 Analýza rádiového spektra</b> .....	<b>15</b>
2.1 Spektrální a signálové analyzátory .....	16
2.2 Anténní systémy .....	17
2.2.1 Základní parametry antén .....	18
2.2.2 Druhy antén .....	19
2.3 Softwarově definované rádio.....	21
2.4 Klasifikace radiokomunikačních systémů .....	22
2.5 Lokalizace zdroje signálu .....	24
2.6 Monitoring a lokalizace s využitím SW aplikací.....	26
2.7 Typy aplikací .....	26
2.7.1 Network Cell Info Lite .....	26
2.7.2 WiFi Monitor.....	27
2.7.3 Cell Signal Monitor .....	27
<b>3 Měření a ověření vlastností bezdrátových datových sítí</b> .....	<b>28</b>
3.1 Měření s využitím mobilní aplikací.....	28
3.1.1 Parametry sítí zjistitelné SW mobilními aplikacemi .....	28
3.1.2 Mapa pokrytí .....	28
3.1.3 Schéma měření .....	28
3.1.4 Analýza pro konkrétní komunikační systémy .....	29
3.2 Laboratorní měření .....	35
3.2.1 Schéma měření .....	35
3.2.2 Měření v různých prostředích.....	35
3.2.3 Popis měření .....	35
3.2.4 Měření LTE – 800 MHz .....	54

3.2.5	Měření GSM – 900 MHz.....	55
3.2.6	Měření 3G/LTE – 1,8 GHz.....	56
3.2.7	Měření LTE – 2,1 GHz.....	57
3.3	Porovnání SW aplikací a laboratorního měření.....	58
	<b>Závěr.....</b>	<b>60</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>61</b>



## Seznam zkratek

SW	Software
ČTÚ	Český Telekomunikační Úřad
GSM	Globální Systém pro Mobilní komunikaci
LTE	Long Term Evolution
Wi-Fi	Wireless Ethernet Compatibility Aliance
3G	třetí generace mobilních telekomunikačních technologií
4G	čtvrtá generace mobilních telekomunikačních technologií
5G	pátá generace mobilních telekomunikačních technologií
LTE	Long Term Evolution
ASMKS	Automatizovaný Systém Monitorování Kmitočtového Spektra
DFT	Diskrétní Fourierova Transformace
VSA	Vektorový Signálový Analyzátor
SDR	Softwarově Definované Rádio
CDMA	Code Division Multiple Access
FDMA	Frequency Division Multiple Access
TDMA	Time Division Multiple Access
NP	Nad Podlaží
AM	Amplitudová modulace
FM	Frekvenční modulace
AOA	Angle of Arrival
DF	Direction Finding
MCC	Mobile Country Code
MNC	Mobile Network Code
CID	Cell ID
LAC	Location Area Code

TAC	Tracking Area Code
RSRP	Reference Signal Received Power
RSSI	Received signal strength indication
RSRQ	Reference Signal Received Quality
WPA	Wi-Fi Protected Access
MAC	Media Access Control
RSSNR	Signal-to-Noise Ratio
IP	Internet Protocol
WLAN	Wireless Local Area Network
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
MIMO	Multiple Input Multiple Output
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power
AP	Access Point
BTS	Base Transceiver Station

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Spektrální analyzátor Rohde&Schwarz [6] .....	17
Obrázek 2 - Signálový analyzátor Rohde&Schwarz [6] .....	17
Obrázek 3 - Základní typy antén a příklady jejich vyzařovacích diagramů [2] .....	18
Obrázek 4 - Druhy polarizace antén [7] .....	19
Obrázek 5 - Dipólová anténa [9] .....	20
Obrázek 6 - Prutová anténa [11].....	20
Obrázek 7 - Mikropásková anténa [13] .....	21
Obrázek 8 - Síť typu point to point [15].....	23
Obrázek 9 - Síť typu point to multipoint [15] .....	23
Obrázek 10 - Přejechod mezi dvěma buňkami [15] .....	24
Obrázek 11 - Schéma měření - SW aplikace (vlastní tvorba) .....	28
Obrázek 12 - Eduroam - náměstí Čs. legií (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm].....	30
Obrázek 13 - Model - Eduroam - náměstí Čs. legií (vlastní tvorba) .....	30
Obrázek 14 - rozdělení Eduroam - rozdělení kanálů (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm] .....	31
Obrázek 15 - Hotspot - WiFi Monitor 4NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm].....	32
Obrázek 16 - Model - Hotspot WiFi Monitor 4NP (vlastní tvorba).....	32
Obrázek 17 - Hotspot - Network Cell Info Lite 4NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm] .....	33
Obrázek 18 - Model - Hotspot Network Cell Info Lite 4NP (vlastní tvorba) .....	33
Obrázek 19 - LTE - Network Cell Info Lite (vlastní tvorba) .....	34
Obrázek 20 - Schéma měření - Laboratorní měření (vlastní tvorba).....	35
Obrázek 21 - 900 MHz Dipólová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm].....	36
Obrázek 22 - Model - 900 MHz - Dipólová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba) .....	36
Obrázek 23 - 900 MHz Prutová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm].....	37
Obrázek 24 - Model - 900 MHz - Prutová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba).....	37
Obrázek 25 - 900 MHz Dipólová anténa 4NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]...	38
Obrázek 26 - Model - 900 MHz - Dipólová anténa 4NP (vlastní tvorba).....	38
Obrázek 27 - 900 MHz Prutová anténa 4NP (Vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm] ....	39
Obrázek 28 - Model - 900 MHz - Prutová anténa 4NP (vlastní tvorba) .....	39
Obrázek 29 - 900 MHz Dipólová anténa 3NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]...	40
Obrázek 30 - Model - 900 MHz - Dipólová anténa 3NP (vlastní tvorba) .....	40
Obrázek 31 - 900 MHz Dipólová anténa 2NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]...	41
Obrázek 32 - Model - 900 MHz - Dipólová anténa 2NP (vlastní tvorba).....	41
Obrázek 33 - 900 MHz Dipólová anténa 1NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]...	42
Obrázek 34 - Model - 900 MHz - Dipólová anténa 1NP (vlastní tvorba).....	42
Obrázek 35 - 2 GHz Dipólová anténa 4NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm] .....	43
Obrázek 36 - Model - 2 GHz - Dipólová anténa 4NP (vlastní tvorba).....	43
Obrázek 37 - 2 GHz Dipólová anténa 3NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm] .....	44

Obrázek 38 - Model - 2 GHz - Dipólová anténa 3NP (vlastní tvorba).....	44
Obrázek 39 - 2 GHz Dipólová anténa 2NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm] .....	45
Obrázek 40 - Model - 2 GHz - Dipólová anténa 2NP (vlastní tvorba).....	45
Obrázek 41 - 2 GHz Dipólová anténa 1NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm] .....	46
Obrázek 42 - Model - 2 GHz - Dipólová anténa 1NP (vlastní tvorba).....	46
Obrázek 43 - 2,4 GHz Dipólová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm].....	47
Obrázek 44 - Model - 2,4 GHz - Dipólová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba).....	47
Obrázek 45 - 2,4 GHz Prutová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm].....	48
Obrázek 46 - Model - 2,4 GHz - Prutová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba) .....	48
Obrázek 47 - 2,4 GHz Dipólová anténa 4NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm] ....	49
Obrázek 48 - Model - 2,4 GHz - Dipólová anténa 4NP (vlastní tvorba).....	49
Obrázek 49 - 2,4 GHz Prutová anténa 4NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm].....	50
Obrázek 50 - Model - 2,4 GHz - Prutová anténa 4NP (vlastní tvorba) .....	50
Obrázek 51 - 2,4 GHz Dipólová anténa 3NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm] ....	51
Obrázek 52 - Model - 2,4 GHz - Dipólová anténa 3NP (vlastní tvorba).....	51
Obrázek 53 - 2,4 GHz Dipólová anténa 2NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm] ....	52
Obrázek 54 - Model - 2,4 GHz - Dipólová anténa 2NP (vlastní tvorba).....	52
Obrázek 55 - 2,4 GHz Dipólová anténa 1NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm] ....	53
Obrázek 56 - Model - 2,4 GHz - Dipólová anténa 1NP (vlastní tvorba).....	53
Obrázek 57 - Spektrální analyzátor 800 MHz (vlastní tvorba) .....	54
Obrázek 58 - Model - LTE 800 MHz - Dipólová anténa (vlastní tvorba).....	55
Obrázek 59 - Spektrální analyzátor 900 MHz (vlastní tvorba) .....	55
Obrázek 60 - Model - GSM 900 MHz - Dipólová anténa (vlastní tvorba) .....	56
Obrázek 61 - Spektrální analyzátor 1,8 GHz (vlastní tvorba).....	56
Obrázek 62 - Model - 3G/LTE 1,8 GHz - Dipólová anténa (vlastní tvorba) .....	57
Obrázek 63 - Spektrální analyzátor 2,1 GHz (vlastní tvorba).....	57
Obrázek 64 - Model - LTE 2,1 GHz - Dipólová anténa (vlastní tvorba) .....	58
Obrázek 65 - Porovnání měření pro frekvenci 1,8 GHz (vlastní tvorba) .....	59

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Rozdělení Kmitočtových pásem [3].....	15
Tabulka 2 - LTE - Network Cell Info Lite (vlastní tvorba).....	34
Tabulka 3 - Měření LTE - 800 MHz .....	54
Tabulka 4 - Měření GSM - 900 MHz.....	55
Tabulka 5 - Měření 3G/LTE - 1,8GHz.....	56
Tabulka 6 - Měření LTE - 2,1 GHz.....	57
Tabulka 7 - Porovnání měření pro frekvence 1,8 [GHz].....	58

## Úvod

Cílem této bakalářské práce je ověřit možnosti SW nástrojů v mobilních zařízeních pro monitoring rádiového spektra a následně laboratorně porovnat a vyhodnotit vybrané parametry signálů komunikačních sítí. S využitím vybraných SW aplikací je analyzován zejména přijímaný výkon ve vybraném prostředí městské zástavby a uvnitř budovy. Získané charakteristiky jsou porovnány s měřením s laboratorními přístroji, které simulují šíření signálu bezdrátových sítí. K porovnání jsou využity modely šíření signálu odvozené z měřených parametrů.

V teoretické části se práce zaměřuje na popis rádiového monitoringu, který udává informace o hodnotách a parametrech sledovaných signálů ve zvoleném frekvenčním pásmu a tím o zařízeních vysílajících dané signály. S využitím rádiového monitoringu je pak možné odhadovat i polohu vysílajícího zařízení. Dále práce popisuje rádiové spektrum a prostředky pro jeho analýzu, například spektrální a signálové analyzátory, základní vlastnosti antén a jejich druhy, typy rádiových spojů s přímou a nepřímou viditelností, druhy vysílání a vlastnosti radiokomunikačních sítí.

V praktické části jsou ověřeny vlastnosti signálů pomocí SW nástrojů v mobilních zařízeních a laboratorními zařízeními, výsledky měření lze porovnávat z naměřených průběhů a odvozených spojnic trendu. Měření jsou provedena ve vnitřním prostředí a ve venkovním prostranství v městské zástavbě včetně přilehlých ulic. Naměřené hodnoty jsou zaznamenány do mapy pokrytí. Pro vybrané směry od vysílače jsou vytvořeny modely šíření signálu, které umožňují porovnat vlastnosti volně dostupných aplikací s měřeními, kterých lze dosáhnout s pomocí profesionální techniky. Modely jsou na ose vzdálenosti normované vůči číslu měření, protože slouží ke srovnání vlastností SW a HW měřicích nástrojů.

## 1 Monitoring rádiového spektra

Radiový monitoring je činnost, při které je získávána informace o hodnotách a parametrech sledovaného rádiového signálu (přijatý výkon či napětí na přijímací anténě). Monitoring může být zaměřen na sledování přijatého výkonu signálu v závislosti na poloze přijímače (měření pokrytí krajiny signálem), čase příjmu, kombinaci obojího, či na určení místa vysílání. [1]

### 1.1 Účely monitoringu pro ČTU

Základním účelem monitoringu rádiového spektra je dohled nad dodržováním předpisů pro využívání dané frekvence, které jsou stanovené v Národní kmitočtové tabulce. Kontrolu využívání a narušování rádiového spektra v České republice provádí Český telekomunikační úřad (ČTÚ). Tento úřad využívá k celoplošnému monitorování území České republiky systém ASMKS (Automatizovaný Systém Monitorování Kmitočtového Spektra), který zajišťuje nepřetržitý dohled nad rádiovým spektrem v oblasti od 9 kHz do 3 GHz. Pro monitorování vyšších kmitočtů (do 40 GHz) je využíváno mobilních stanic. [1]

Další důvody monitoringu rádiového spektra je zjišťování, jak efektivně v daných zeměpisných oblastech jsou přidělena kmitočtová pásma a jednotlivé kmitočty rádiového spektra. Stupeň efektivity je určen na základě poměru času, kdy jsou kmitočty využívány v souladu s podmínkami jejich přidělení a kdy jsou bez využití. Získané informace pomáhají posoudit využití vydaných přidělů pásem, odstraňování nežádoucího rušení a slouží k plánování budoucího využití jednotlivých kmitočtových úseků rádiového spektra. [2]

K monitorování rádiového spektra se využívají různé technické prostředky a systémy, například SDR (Softwarově Definované Rádio) rádiové přijímače se směrovými nebo všesměrovými anténami, spektrální analyzátory, družicové přijímače navigačních systémů pro lokalizaci, zaměřovací systémy a přijímače se směrovými nebo speciálními anténami nebo anténními soustavami, počítačové systémy s aplikacemi pro sběr a zpracování dat a geografických informací. [2]

### 1.2 Radiomonitoring pro speciální účely

Radiomonitoring se realizuje i pro další účely, jako je dohled nad frekvenčním pásmem konkrétního uživatele nebo operátora mobilních sítí. Speciálními typy monitoringu jsou vojenské a zpravodajské systémy pro odhalování komunikace mimo povolená pásma, lokalizace zdrojů rušení ve vyhrazených pásmech apod.

## 2 Analýza rádiového spektra

Rádiové spektrum představuje vymezený úsek frekvencí z celého spektra elektromagnetických vln tvořený přírodními (sluneční záření, bleskové výboje a jiné) a umělými zdroji (rádiové vysílače, infrazářiče, jiskření u elektrických motorů nebo alternátorů automobilů a jiné). Rádiovým spektrem se tedy rozumějí dle zákona č. 127/2005 Sb, elektromagnetické vlny o kmitočtu od 9 kHz do 3 000 GHz, šířené prostorem bez zvláštního vedení, tyto frekvence odpovídají vlnovým délkám od velmi dlouhých vln do 0,1 mm. [3] Vzájemný vztah mezi vlnovou délkou  $\lambda$  a kmitočtem vlny  $f$  je dán vztahem

$$\lambda = \frac{c}{f} \left[ m; \frac{m}{s}, Hz \right] \quad (2.1)$$

kde  $\lambda$  ... je vlnová délka [m]

$c$  ... je rychlost šíření elektromagnetických vln ve volném prostoru [ $\frac{m}{s}$ ]

$f$  ... je frekvence [Hz].

V závislosti na kmitočtu rádiové elektromagnetické vlny se rádiové spektrum dělí do kmitočtových pásem viz tabulka 1.

**Tabulka 1 - Rozdělení Kmitočtových pásem [3]**

Jméno pásma	Symoly	Frekvenční pásmo	Názvy pásem
Velmi dlouhé vlny Ultra Low Frequency	ULF	300 Hz – 3000 Hz	Hektokilometrové vlny
Velice dlouhé vlny Very Low Frequency	VLF	3 kHz - 30 kHz	Myriametrové vlny
Dlouhé vlny Low Frequency	LF	30 kHz - 300 kHz	Kilometrové vlny
Střední vlny Medium Frequency	MF	300 kHz – 3 000 kHz	Hektometrové vlny
Krátké vlny Short Wave Frequency	HF	3 MHz - 30 MHz	Dekametrové vlny
Velmi krátké vlny Very High Frequency	VHF	30 MHz - 300 MHz	Metrové vlny
Velice krátké vlny Ultra High Frequency	UHF	300 MHz – 3 000 MHz	Decimetrové vlny
Velmi velice krátké vlny Super High Frequency	SHF	3 GHz - 30 GHz	Centimetrové vlny
Extrémně krátké vlny Extremely High Frequency	EHF	30 GHz - 300 GHz	Milimetrové vlny
Submilimetrové vlny Tremendously High Frequency	THF	300 GHz – 3 000 GHz	Submilimetrové vlny

Mezi základní a obecné vlastnosti rádiového spektra patří jeho vzácnost, jakožto obnovitelného přírodního zdroje pro přenos informací a dat pomocí elektromagnetických vln. Vzhledem k vlastnostem elektromagnetických vln nemůžeme rádiové spektrum omezit



v rámci geografických, státních ani jiných hranic. Taktéž mezi atributy rádiového spektra patří volný přístup všem ve smyslu práva na jeho využívání, tato práva jsou spravována a využívána prostřednictvím mezinárodních smluv a národních politik. Využívání rádiového spektra je nepostradatelné v oblasti ekonomické, sociální a kulturní v každém společenském uskupení pro budování informační společnosti a jako takové má ekonomickou hodnotu a je obchodovatelnou komoditou na radiokomunikačním trhu. [3]

## 2.1 Spektrální a signálové analyzátory

Spektrální analyzátory jsou přístroje pro měření frekvenčního spektra. Jejich účelem je zobrazování signálů v určité frekvenční oblasti a v širokém dynamickém rozsahu, což je poměr maximálního ku minimálnímu vstupnímu výkonu, který je analyzátor schopen zpracovat. Cílem měření je zjištění velikosti složek diskrétního spektra nebo průběhu spektrální hustoty u spojitého spektra. Význam těchto přístrojů spočívá v tom, že sledování složitějších signálů v časové oblasti může být nepřehledné a nepřináší získání nezbytných parametrů. V kmitočtové oblasti je naopak sledování jednodušší vzhledem k možnostem analýzy vybraných pásem. [4]

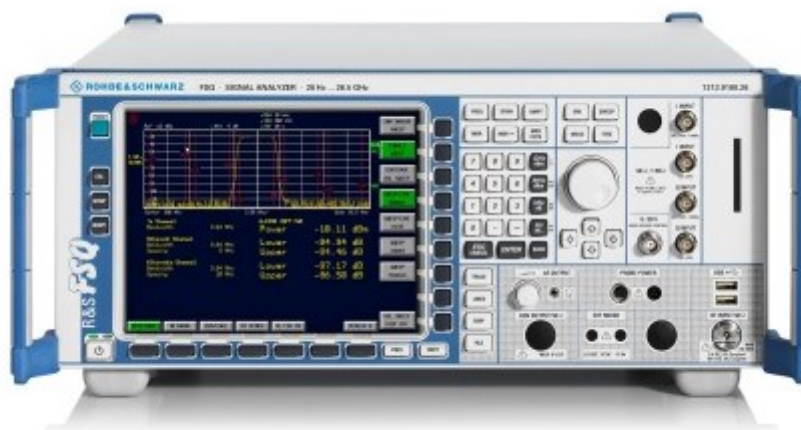
Zobrazené amplitudy spektrálních složek měřeného periodického signálu odpovídají jeho Fourierovu rozvoji. Spektrální analyzátor je v oblasti vysokofrekvenční techniky jedním z nejvíce používaných měřicích přístrojů. Jeho primární oblastí použití je analýza výstupních signálů oscilátorů, modulátorů nebo vstupních signálů přijímačů. Lze ho však také použít například k měření výkonu, měření frekvence, měření poměru signál/šum, měření řady parametrů nelineárních obvodů, filtrů apod. S pomocí souběžového generátoru funguje spektrální analyzátor jako skalární analyzátor s širokým dynamickým rozsahem. Skalární analýzou lze získat základní přenosovou charakteristiku měřeného obvodu nebo zařízení. [5]

Spektrální analyzátory se z hlediska principu rozdělují na analogové a digitální a z hlediska měřených parametrů signálu na amplitudové a vektorové. Analogové spektrální analyzátory jsou založeny na použití pásmových propustí a většinou poskytují jen amplitudové spektrum. Digitální analyzátory převádějí analyzovaný signál do číslicové podoby a určují jeho frekvenční spektrum na základě metod číslicového zpracování signálů. Používají metody diskrétní Fourierovy transformace (DFT), případně číslicovou filtraci. Amplitudové analyzátory určují zpravidla pouze amplitudu jednotlivých složek frekvenčního spektra signálu. Vektorové analyzátory určují amplitudové i fázové parametry spektra signálu, případně jeho reálné a imaginární složky. [4]



Obrázek 1 - Spektrální analyzátor Rohde&Schwarz [6]

Signálový analyzátor neboli vektorový signálový analyzátor (VSA), se používá k demodulaci a analýze signálů se složitou digitální modulací. Analyzátor zachycuje signály na pevné střední frekvenci pomocí filtrů pro nastavení šířky pásma (nebo rozsahu) zobrazení spektra; spektrální analyzátor rozkmitává na širší rozsah frekvence. Ve srovnání se spektrálním analyzátozem obsahuje měření s pomocí VSA informace o fázi signálu mezi výstupem a vstupem obvodu a další parametry signálu, která nelze získat pomocí spektrální analýzy. Používá digitální zpracování k demodulaci signálů na základě digitálních fázových (I) a kvadrurních (Q) modulačních složek. VSA analyzuje charakteristiky signálu, jako je poměr signál-šum (nebo poměr nosné k šumu), velikost chybového vektoru a výkon kódové domény. Lze měřit všechny charakteristiky pulzních nebo přechodových signálů, včetně všech úrovní, frekvence, fáze, šumu, zisku, šířky pásma obsazeného signálu a hodnot výkonu sousedního kanálu. [6]



Obrázek 2 - Signálový analyzátor Rohde&Schwarz [6]

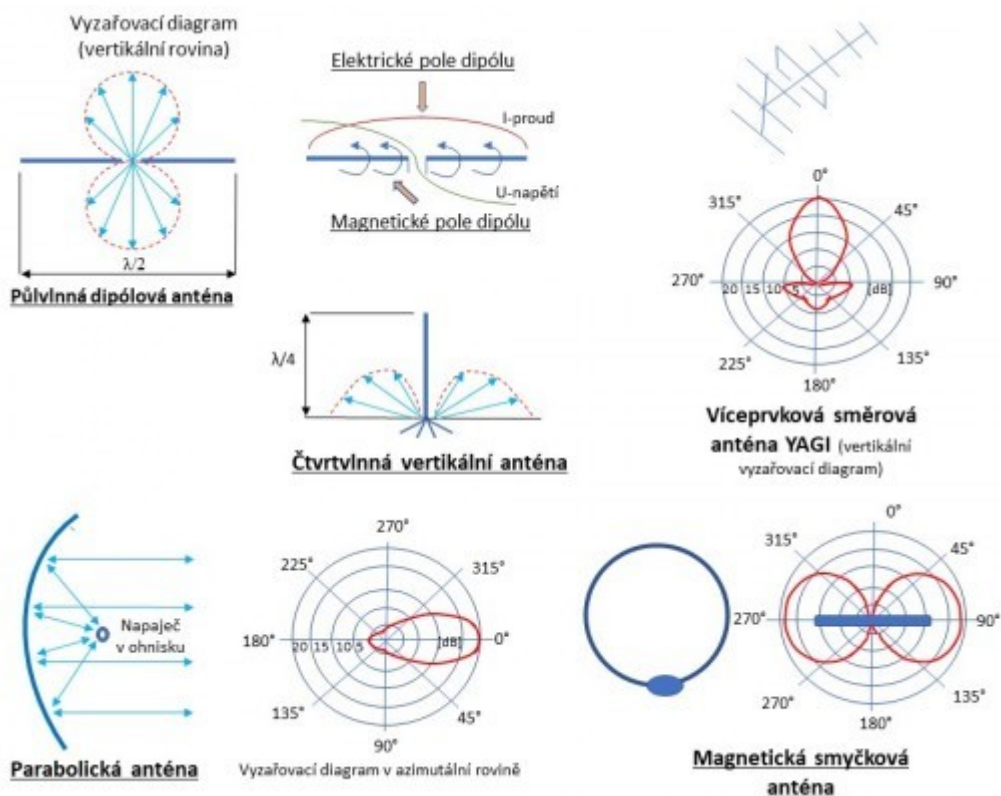
## 2.2 Anténní systémy

Anténu definujeme jako zařízení sloužící k vysílání a přijímání rádiových vln. Anténa je velice důležitým prvkem pro šíření rádiových vln, jak z hlediska účinnosti předání energie do prostoru v místě vysílání, tak jejího směřování do místa příjmu a následné obnovení signálu v rádiovém přijímači. Vlastnosti antén jsou součástí strany vysílače i přijímače,

antény se podle konkrétního systému mohou na obou stranách lišit. Proto se podle směru šíření parametry a charakteristiky antén nerozlišují. V praxi se tyto parametry rozlišují z hlediska dimenzování s ohledem na vyzařovaný výkon a konstrukci prvků zajišťující ukotvení a provozování vzhledem k daným klimatickým podmínkám (působení větru, deště, mrazu, sněhu atd.). Základem antény je vždy analogový prvek na rozhraní mezi vysílačem nebo přijímačem a volným prostorem, nehledě na to, zda vysokofrekvenční signál rádiové vlny má digitální či analogový charakter. [2]

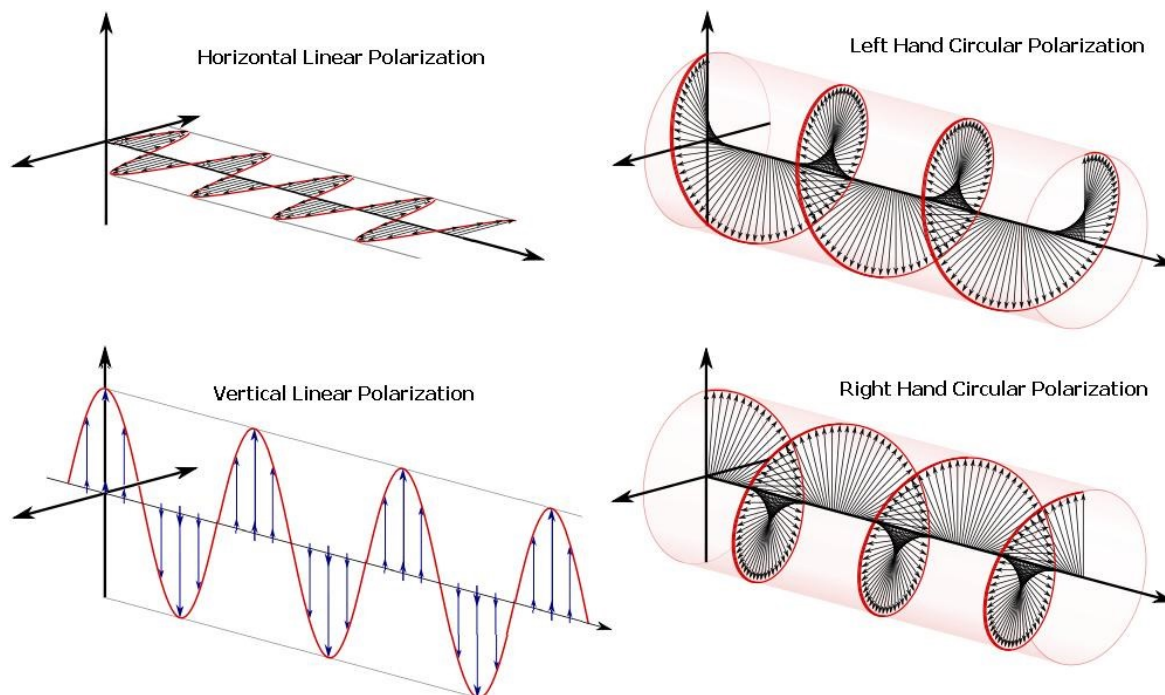
### 2.2.1 Základní parametry antén

- **Směrnost** – udává závislost vyzařované intenzity elektromagnetického pole (vyzařovaného výkonu) na směru vyzařování. Směrnost lze popsat matematicky, ale i graficky za pomoci vyzařovacích diagramů (horizontálních či vertikálních) a činitele směrnosti  $D$  (poměr intenzit vyzařené v daném směru vůči intenzitě izotropního zářiče). Izotropní zářič vyzařuje ve všech sférických směrech stejnou intenzitu elektromagnetického pole (výkon). Vyzařování antény je ovlivněno výškou nad zemským povrchem a jejími elektrickými vlastnostmi.



Obrázek 3 - Základní typy antén a příklady jejich vyzařovacích diagramů [2]

- **Polarizace** – vyjadřuje orientaci vektoru intenzity elektrické složky elektromagnetické rádiové vlny. Elektrická složka je vždy kolmá na magnetickou a naopak. Pro dosažení maximální úrovně příjmu musí mít jak přijímací, tak vysílací anténa stejnou polarizaci (stejnou orientaci os v případě směrových antén). Druhy polarizace jsou znázorněny na obr.4.



Obrázek 4 - Druhy polarizace antén [7]

- **Zisk** – udává výkonovou účinnost antény v přeměně energie anténou v závislosti na úhlu vyzařování na dané vlnové délce v porovnání se všesměrovým izotropním zářičem. Udává se v jednotkách dBi vůči izotropnímu zářiči nebo v dBd vůči ideálnímu dipólu (přibližně platí, že 0 dBd je rovno 2,15 dBi).
- **Charakteristická impedance** – určuje se v absolutní hodnotě velikosti vstupní impedance dané antény, obvyklé hodnoty jsou 50  $\Omega$ , 75  $\Omega$ , 300  $\Omega$  a 600  $\Omega$ . [2]

### 2.2.2 Druhy antén

Antény se rozlišují podle mnoha kritérií a technických provedení. Dělí se na pasivní a aktivní, podle frekvenčních pásem, na kterých pracují, nebo podle směrovosti na směrové a všesměrové. Rozdíl mezi aktivní a pasivní anténou spočívá vtom, že aktivní anténa má v sobě zabudovaný zesilovač, zatímco pasivní nikoliv.

Z mnoha druhů antén jsou pro tuto práci podstatné pouze vybrané typy vhodné pro vysílání a příjem zejména v lokálních sítích standardu 802.11 a pro příjem signálu v mobilních sítích GSM a vyšších generací.

Prvním typem antény je anténa dipólová. Dipólová anténa je vodič dlouhý  $l = \lambda/2$  („půlvlnný dipól“) nebo  $l = \lambda$  („celovlnný dipól“). Obvykle se dipól skládá ze dvou symetrických ramen a symetrického vedení pro přenos energie. Největší vyzařování dipólu je ve směru kolmo na vodič a nejmenší vyzařování je ve směru vodiče. Z tohoto důvodu dipól řadíme do antén všesměrových. Dipólové antény se obvykle kvůli nízkému zisku, malé směrovosti a malé šířce pásma používají jako základ složitějších antén (např. typu Yagi) nebo anténních systémů. [8]



**Obrázek 5 - Dipólová anténa [9]**

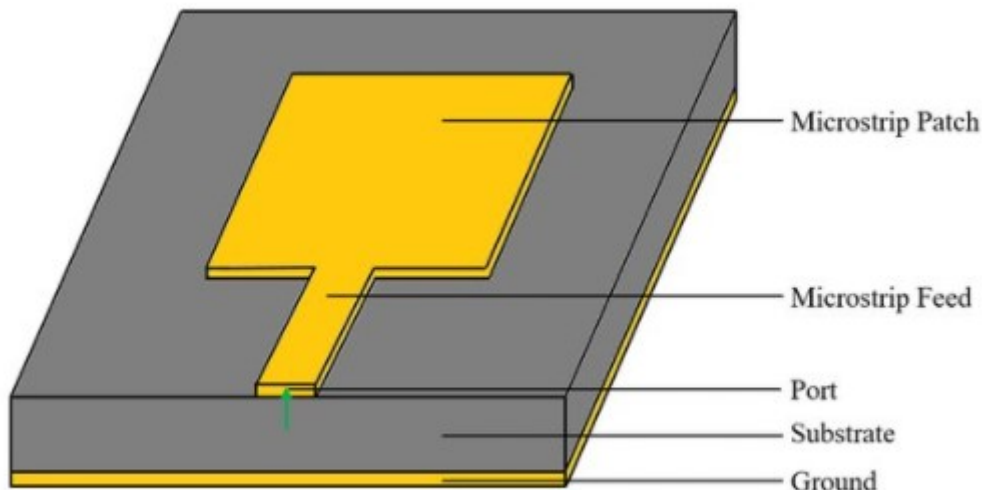
Druhým typem antény je prutová anténa. Prutová anténa je vodič vhodné délky, délka antény odpovídá násobku vlnové délky vysílaného či přijímaného signálu. Na rozdíl od dipólové antény se prutová skládá jen z jednoho vodiče. Jedná se o všesměrovou anténu, která se používá například u Wi-Fi routerů, radiopřijímačů nebo v automobilovém průmyslu. Čím je vodič vůči délce vlny delší, tím je vyzařované pole plošší a anténa má větší zisk. Čím je délka vodiče kratší než délka vlny, tím více vyzařuje i směrem nahoru a dolů. [10]



**Obrázek 6 - Prutová anténa [11]**

Třetím typem antény jsou mikropáskové antény (takzvané flíčkové antény). Jedná se o různě tvarované plochy, nejčastěji obdélníky, rovinné motivy na lici nejméně dvoustraně pokovené desky ze substrátu, kde jedna strana tvoří zemní rovinu. Nejvhodnější substrát je obecně vzduch či pěnový substrát kvůli hodnotě permitivity blízké okolnímu prostředí. Tyto tvarované rovinné prvky nám poté slouží jako mikropáskové antény. Výhody mikropáskových antén jsou jejich malé rozměry, malá hmotnost, nízké náklady, vícepásmovost a integrovatelnost na desku plošných spojů s aktivními prvky. Mezi

nevýhody patří nižší účinnost, nižší výkonová zatížitelnost a úzké frekvenční pásmo. Tento typ antén se například používá v mobilních telefonech. [12]



Obrázek 7 - Mikropásková anténa [13]

### 2.3 Softwarově definované rádio

V současné době se ve vysílačích a přijímačích využívají i moderní technologie založené na principu softwarového rádia SDR. V nich jsou dříve používané analogové a digitální obvody – hardware přijímače nebo vysílače (kmitočtové filtry, omezovače šumu, mezifrekvenční zesilovače), AM a FM modulátory, směšovače a demodulátory postavené na fyzických součástkách (odpory, kondenzátory, cívky, speciální integrované obvody) nahrazeny výkonným počítačovým systémem se softwarovými metodami zpracování signálu s využitím speciálních integrovaných obvodů (chipů). V SDR vysílači nebo přijímači tak prakticky zůstávají jen klasické vstupní oddělovací a výkonové tranzistorové zesilovače. I v době digitalizace zůstává (a zatím zůstane) v přenosovém řetězci jeden analogový prvek, kterým je anténa. Řešení SDR umožňuje pokrýt celé rádiové spektrum jedním univerzálním hardwarem a podle potřeby měnit kmitočtová pásma, zpracování signálů a přenosových protokolů pomocí softwaru v počítači. [14]

Této vlastnosti SDR technologie se využívá v přenosových systémech používajících přenosovou metodu rozprostřeného kmitočtového pásma. Jejím principem je, že přenos rádiového signálu se neděje na jednom přiděleném kmitočtu nosné vlny nebo v pásmu rádiového kanálu, ale před vlastním přenosem vysílač hledá volné nevyužité kmitočty. Na nich se vytvoří přenosový kanál a následně uskuteční vlastní přenos obvykle ve formě digitálních signálových paketů s modulací nesoucí užitečnou informaci. Vše podléhá speciálním protokolům a vyžaduje i synchronizaci s přijímačem. Tohoto způsobu je

využíváno například v mobilních radiokomunikačních sítích využívajících pro sdružování (multiplexování) vícezdrojových signálů v základním pásmu přístupových metod CDMA (Code Division Multiple Access), kmitočtových FDMA (Frequency Division Multiple Access) a časových TDMA (Time Division Multiple Access). [2]

## **2.4 Klasifikace radiokomunikačních systémů**

Rádiové sítě lze klasifikovat podle kritérií, která odpovídají způsobu využití radiostanic nebo principu funkce. Z tohoto základního rozdělení vyplývá i další klasifikace, často v souvislosti s postupnou digitalizací téměř všech systémů.

Z pohledu geometrie jsou pro tuto práci důležité dvoubodová spojení (point to point), hvězdicové sítě a sítě buňkové. Dalšími typy sítí jsou sítě broadcastové, sítě s retranslačními stanicemi nebo sítě typu multicast.

Podle organizace rozlišujeme systémy s pevně přidělenými kanály, s kanály přidělovanými pro dané spojení nebo se selektivní volbou.

Podle přenášených informací se může jednat o systémy fónické, datové nebo smíšené. V současnosti lze pod pojmem datová síť realizovat prakticky jakýkoliv druh přenosu, rozdíl je pouze ve formě vstupního signálu.

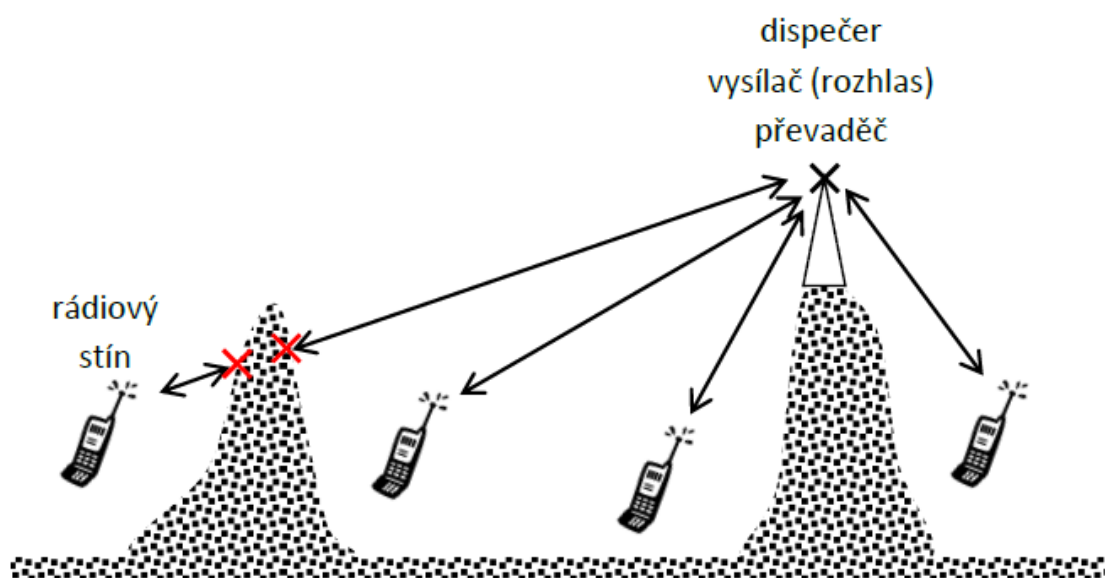
Podle druhu provozu rozlišujeme systémy duplexní – obě strany mohou současně vysílat i přijímat, simplexní – ve vysílání a příjmu se obě strany střídají, semiduplexní – jedna strana duplexní, druhá simplexní.

Při realizaci nesmí ale dojít k zastínění jednoho z uživatelů nebo k poklesu signálu pod úroveň, kterou dokáže přijímač zpracovávat. Takto zastíněné místo se označuje jako rádiový stín. U hvězdicové sítě má každá radiostanice spojení pouze se základnou (dispečer). Pro rozhlasovou síť (broadcast) se využívá jeden vysílač, jenž komunikuje jednosměrně s uživatelem, tato metoda se uplatňuje např. u rozhlasových radiopřijímačů. Trunková síť využívá více kanálů propojujících mnoho uživatelů v okolí. V trunkovém provozu poté komunikují dva uživatelé obousměrně, ale prostřednictvím převaděče, který překlene překážky bránící v potřebném dosahu signálu. [15]





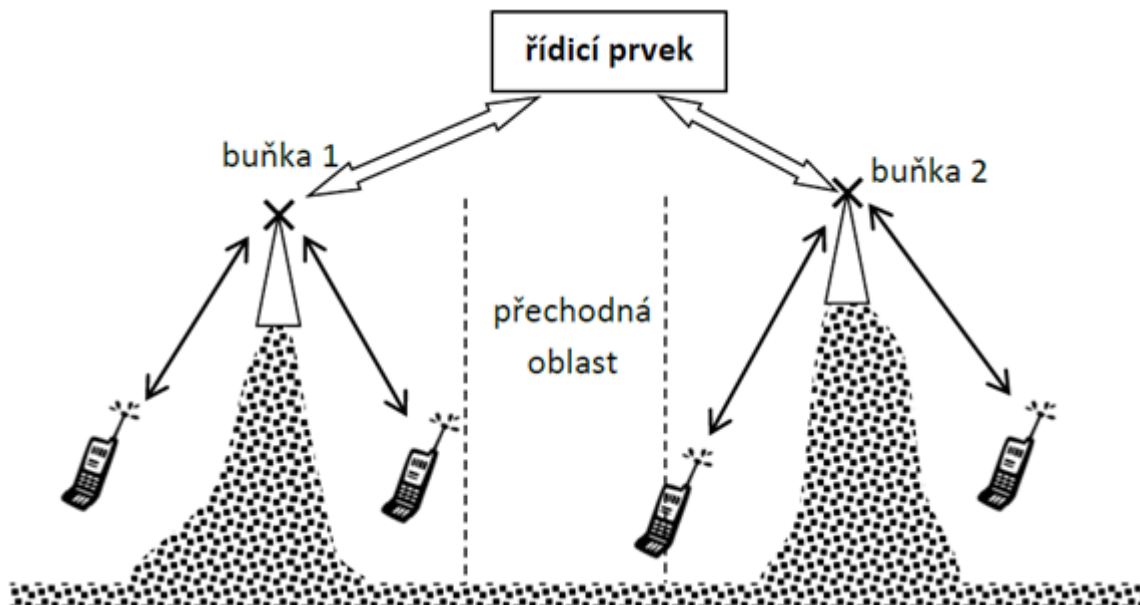
Obrázek 8 - Síť typu point to point [15]



Obrázek 9 - Síť typu point to multipoint [15]

V buňkové síti komunikaci zajišťuje vhodně rozmístěná soustava základnových stanic, které svým dosahem tvoří jednotlivé buňky v soustavě. Buňkový systém je ideálním způsobem rádiového pokrytí neomezeně velkého území. Velikost území (poloměr buňky) je dána vysílacím výkonem, výškou antény a typem zástavby. V mobilních systémech umožňuje buňkový systém pokrytí téměř neomezeného počtu uživatelů a neomezeně rozsáhlého území. Řešit se ale musí přechody uživatelů mezi buňkami (základnovými stanicemi). Spojení mezi buňkami a řízení přechodu komunikace mezi buňkami jsou zajištěny vyšší úrovní rádiového systému (řídící prvek). [15]





Obrázek 10 - Přechod mezi dvěma buňkami [15]

## 2.5 Lokalizace zdroje signálu

Zaměřování místa nebo směru vysílání signálu, v angličtině označované jako DF (Direction Finding), je činnost, při které se zjišťuje směr vysílání zájmového signálu vůči přijímači. Důležitými parametry lokalizačních systémů jsou přesnost a citlivost. Přesnost je měřítkem toho, s jakou chybou lze odhadnout směr vysílání zdroje signálu. Přesnost lokalizačního systému závisí na parametrech sledovaného signálu (šířka pásma, náhodnost vysílání), na straně specializovaného přijímače pro DF závisí na procesoru, konkrétním provedení, kvalitě použitých anténních prvků a instalačním prostředí antény. Citlivost je měřítkem toho, jak dobře bude systém DF fungovat v přítomnosti signálu s nízkou úrovní v určité hladině šumu. Citlivost závisí na šumu přijímače, ztrátách v anténě a na topologii anténních prvků v poli.

Hledání směru zdroje signálu se používá v několika odvětvích. Ve zpravodajském sektoru se jedná o hledání směru ohrožení, umístění a pohyb zájmových vysílačů a směr zdrojů rušení. Záchranářské služby sledující umístění vyhledávacích a záchranných radiofrekvenčních majáků. V oblasti vědy se jedná např. o sledování pohybu zvířat v přírodě. [16]

Nejjednodušší vysokofrekvenční směrovací systém se skládá ze směrové antény a jednoho přijímače. Anténa je postupně zaměřena do různých směrů, zatímco přijímač ukazuje sílu přijímaného signálu. K odhadu směru vysílání se používá pouze úroveň signálu. Přesnost této techniky závisí na šířce vyzařovacího diagramu antény. Úzký svazek může zlepšit přesnost, ale prodlouží čas strávený skenováním všech možných směrů. [16]

Dopplerův systém zaměřování lokace používá jeden přijímač připojený k všesměrové anténě, která je fyzicky otáčena po obvodu kruhu. Jak se anténa pohybuje směrem ke zdroji vysílání nebo od něj, Dopplerův jev vede ke zvýšení snížení dopplerovské frekvence. Změna frekvence tak slouží k určení směru rádiového zdroje. Moderní přístup spočívá v postupném

vzorkování každé antény v kruhovém poli antén, čímž se odstraní potřeba jakýchkoli pohyblivých částí. Toto se označuje jako Pseudo-Dopplerův systém zaměřování. [16]

Zjišťování směru mono-pulzní nebo součtovou technikou používá dvě antény. Antény jsou připojeny ke kombinátoru, který generuje součtový a rozdílový signál. Pro určení směru vysílače se používá poměr součtových a rozdílových signálů, které se porovnávají s modelem vycházejícího z odhadovaných poměrů signálů podle konkrétních směrů. Fázové informace se používají k získání doplňující informace o směru v případě všesměrové lokace, kdy je nezbytné určit stranu vyzařovacího diagramu (před nebo za anténami). Výhodou tohoto systému je jeho schopnost určit směr vysílače po přijetí jednoho impulsu. [16]

Interferometrický systém zjišťuje relativní rozdíl ve fázi signálu přijímaného dvěma všesměrovými anténami. Systém lze použít k určení směru nebo úhlu příchodu RF signálu. Ve všesměrovém případě interferometr nemá způsob, jak určit, zda signál přichází z přední nebo zadní části antén. Se zvyšující se frekvencí dochází k neurčitosti v určení fáze. Pokud jsou antény příliš blízko, bude výsledný fázový rozdíl velmi malý a systém nebude schopen určit směr (AOA - Angle of Arrival). Frekvenční rozsah použití je určen umístěním antén a šumovým číslem přijímačů. [16]

## 2.6 Monitoring a lokalizace s využitím SW aplikací

Mobilní aplikace, které zprostředkovávají monitorovací služby, ve většině případů měří a udávají sílu signálu RSRP neboli úroveň přijímaného signálu ze základnové stanice. Toto platí pro systémy LTE, obdobně pro 2G a 3G se měří RSSI. Kvalita přijímaného referenčního signálu RSRQ poskytující dodatečné informace, když RSRP nestačí k provedení spolehlivého rozhodnutí o předání nebo opětovném výběru buňky. Dalším parametrem je poměr signálu k šumu RSSNR. SW aplikace dále identifikují číslo pásma neboli frekvenci (frekvenční pásmo), kterou telefon aktuálně používá. Ty se rozdělují následovně, pásmo 20 je pro frekvence 800 MHz, pásmo 8 je pro frekvence 900 MHz, pásmo 3 je pro frekvence 1800 MHz, pásmo 1 je pro frekvence 2100 MHz a pásmo 7 je pro frekvence 2600 MHz. Aplikace nabízí i označení operátora a služby nebo typ komunikace, kterou aktuálně využíváme, ať už se jedná o GSM, 3G, 4G, LTE nebo do budoucna 5G. Některé aplikace navíc nabízejí údaje MCC (Mobile Country Code) a MNC (Mobile Network Code), tyto parametry se používají k jedinečné identifikaci operátora mobilní sítě. Pro českou republiku je první trojčíslí 230, dále CID (Cell ID) neboli identifikátor buňky, kód PCI (Physical Cell ID) sloužící k rychlé detekci identity buňky v LTE. LAC (Location Area Code) / TAC (Tracking Area Code) označuje oblasti vysílačů. Kombinace těchto dvou kódů dává dohromady jedinečný identifikátor buňky v síti. Aplikace získávají údaje o poloze přístroje díky přijímači GPS v mobilním zařízení a připojováním přes základnové stanice. [17] [18] [19]

Mobilní aplikace pro měření Wi-Fi signálů ve většině případů měří a udávají tyto názvy sítě SSID sloužící k rozpoznání jednotlivých Wi-Fi sítí. Dále identifikátor BSSID sloužící k přiřazování ke správnému Access Pointu v rámci více Wi-Fi sítí, kanál a frekvenci každé sledované Wi-Fi sítě. Pro frekvence 2,4 GHz se v Evropě používají kanály 1 až 13 o šířce kanálu 20 MHz nebo 40 MHz s rozestupem kanálů 5 MHz. Pro frekvence 5 GHz se v Evropě používají kanály 32 až 173 mimo kanálu 163, šířka kanálu může být 20 MHz, 40 MHz, 80 MHz nebo 160 MHz a rozestup mezi kanály 10 MHz. Stejně jako pro mobilní sítě je určován indikátor síly signálu RSSI. Dalšími parametry jsou typ chráněného přístupu k Wi-Fi síti (např. WPA, WPA2, WPA3), rychlost připojení v Mbit/s, rychlost ve směru downlink a uplink, jitter pro určení kolísání sítě a měření odezvy pro detekci délky zpoždění (latenci). Některé aplikace udávají i MAC adresy a IP adresu telefonu nebo výrobce routeru. [20]

## 2.7 Typy aplikací

Pro testování parametrů komunikačních sítí je nabízeno mnoho SW aplikací. Následující text uvádí popis vybraných aplikací, z nichž pro realizaci měření v této práci byla použita Network Cell Info Lite.

### 2.7.1 Network Cell Info Lite

Tato aplikace nabízí monitoring signálů buňkových sítí a Wi-Fi signálů téměř v reálném čase (odezva cca 1 s). Aplikace podporuje systémy GSM, CDMA, UMTS, IWLAN, LTE, LTE+, měří rychlosti Wi-Fi/mobilního připojení dat (download, upload, ping a jitter), Dokáže

pracovat s Dual-SIM pro porovnání dvou operátorů. Signálové diagramy. S využitím dalších aplikací nabízí mapu s informacemi o základnových stanicích a jejich umístěním, včetně informací o operátorech. Záznam jednotlivých měření je realizován i s barevným rozlišením podle kvality signálu. [19]

### **2.7.2 WiFi Monitor**

Aplikace umožňuje analyzovat stav Wi-Fi sítě. Udává nám název a identifikátor, výrobce routeru, rychlost připojení, sílu připojení, frekvence a číslo kanálu, ping, možnosti zabezpečení, MAC a IP adresu telefonu. Aplikace nám graficky zobrazuje překrytí kanálů v okolí a diagramy síly, rychlosti stahování a odesílání dat. Aplikace je užitečná i pro nastavení bezdrátového routeru a sledování využití Wi-Fi připojení. Může také použít jako skener, který pomáhá detekovat zařízení připojená k síti WLAN. [21]

### **2.7.3 Cell Signal Monitor**

Aplikace kontroluje stav sítí GSM, UMTS a LTE. Udává nám název mobilního operátora, MCC, MNC, aktuální typ sítě, indikátor roamingu, rychlost stahování a odesílání dat, CID, LAC nebo TAC pro sítě LTE, RSSI nebo RSRP pro sítě LTE. Sílu signálu a rychlosti stahování a posílání aplikace zobrazuje pomocí grafů a barevně je rozlišuje. Aplikace naměřené údaje ukládá a nabízí koláčový diagram se statistikou. [22]

### 3 Měření a ověření vlastností bezdrátových datových sítí

Cílem bakalářské práce je ověření možností měření přijímaného výkonu a dalších parametrů s využitím SW aplikací. Pro měření byly vybrány dvě SW aplikace, z nichž aplikace Network Cell Info Lite byla následně použita pro získání informace o přijímaném výkonu ve venkovním prostředí a uvnitř budovy a aplikace WiFi Monitor byla použita pouze pro porovnání měřených hodnot a dalších informací o sledované síti. Další aplikace nabízí pouze jiné grafické prostředí, měřené hodnoty jsou stejné. Pro porovnání získaných hodnot byly naměřeny referenční hodnoty s využitím laboratorního vybavení. Umístění vysílací antény je v případě měření WiFi sítí co nejbližší skutečnému umístění přístupového bodu.

#### 3.1 Měření s využitím mobilní aplikací

##### 3.1.1 Parametry sítí zjistitelné SW mobilními aplikacemi

SW mobilní aplikace nabízí širší možnosti v oblasti získání parametrů sítí. Jedná se zejména o názvy sítí, druh operátora, adresy, frekvence, kanály nebo pásma a sílu signálu.

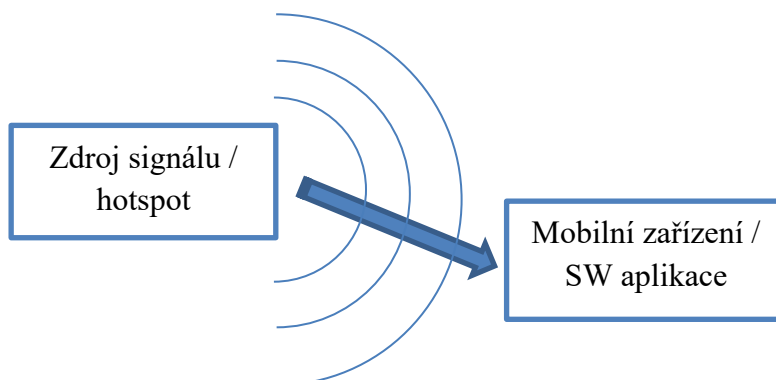
U Wi-Fi sítě se za ideální úroveň signálu považuje -30 dBm, naopak za nejslabší možnou úroveň se považuje hodnota -90 dBm. Typická hodnota se pohybuje kolem -60 dBm.

U LTE sítí se za ideální úroveň signálu považují hodnoty větší než -80 dBm a naopak za „neuspokojivou“ úroveň hodnoty menší než -100 dBm. Typická hodnota pro udržení spojení se pohybuje kolem -90 dBm.

##### 3.1.2 Mapa pokrytí

Mapa pokrytí zobrazuje úroveň a dostupnost signálu na konkrétním místě pro určitou datovou síť. Většina operátorů si vede vlastní mapu pokrytí s rozdělením na typ sítě a datovou rychlost sítě. V praktické části popisujeme naměřené hodnoty zaznamenáním do mapy pokrytí s barevným zvýrazněním.

##### 3.1.3 Schéma měření



Obrázek 11 - Schéma měření - SW aplikace (vlastní tvorba)

### 3.1.4 Analýza pro konkrétní komunikační systémy

Pro venkovní šíření signálu byly použity Access Pointy typu Cisco Aironet vysílající na frekvenci 2,4 GHz, konkrétně v pásmu 2,426 GHz – 2,448 GHz. Specifikace standardu byla 802.11n, což znamená, že používá více antén ke zvětšení datové rychlosti, navíc podporuje pásma 5 GHz a je zpětně kompatibilní se standardy 802.11a/ac/b/g. K přístupovému bodu byly připojeny standardní antény umožňující šíření signálu technologií MIMO.

K příjmu signálu byl použit mobilní telefon Asus Zenfone 2 Z00D k monitoringu Wi-Fi sítě dále telefon Samsung Galaxy A71 pro monitoring LTE sítě, k monitoringu byly použity SW aplikace Network Cell Info Lite, WiFi Monitor a Cell Signal Monitor a jako zdroj posloužila univerzitní Wi-Fi Eduroam a hotspot na mobilním telefonu iPhone SE.

Antény telefonů nebudou mít zisk větší než 3 dB ve směru vyzařování/příjmu při nasměrování plochy telefonu k BTS. Bereme v potaz zastínění telefonu rukou/tělem a jiné vlivy, se kterými se při používání spektrálního analyzátoru nesetkáme.

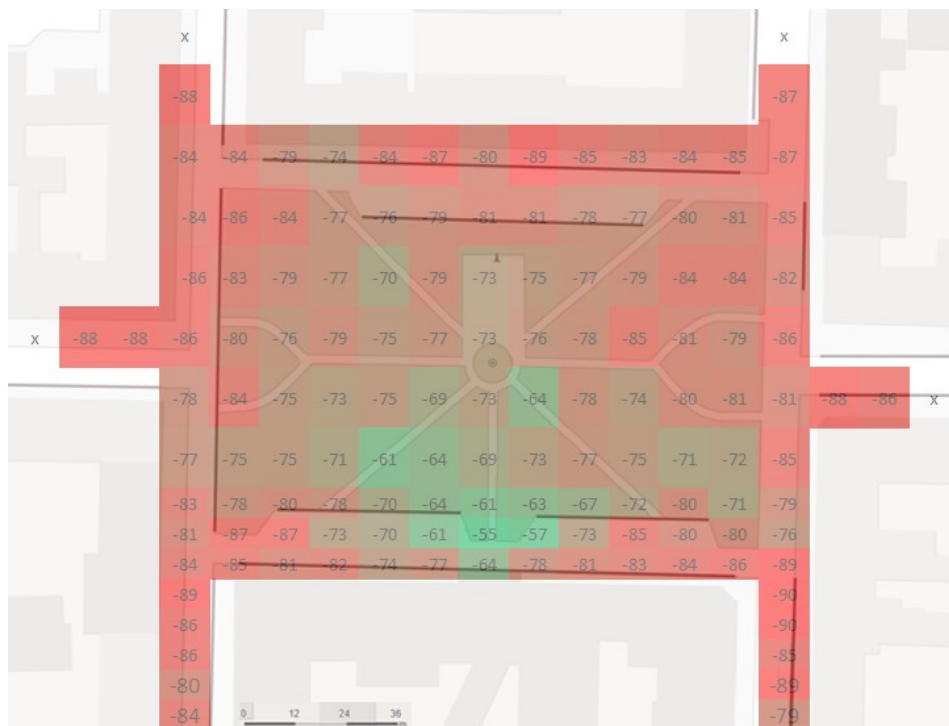
Mobilní telefon Asus Zenfone 2 Z00D s operačním systémem Android 5.0.1 podporuje sítě 2G GSM, 3G UMTS a 4G LTE, dále podporuje Wi-Fi se standardem 802.11 a/b/g/n/ac.

Mobilní telefon Samsung Galaxy A71 s operačním systémem Android 10 podporuje GSM: 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz a 1900 MHz, 3G: 850 MHz, 900 MHz, 1900 MHz a 2100 MHz, LTE: 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz a 2600 MHz a 5G, dále podporuje Wi-Fi se standardem 802.11 a/b/g/n/ac.

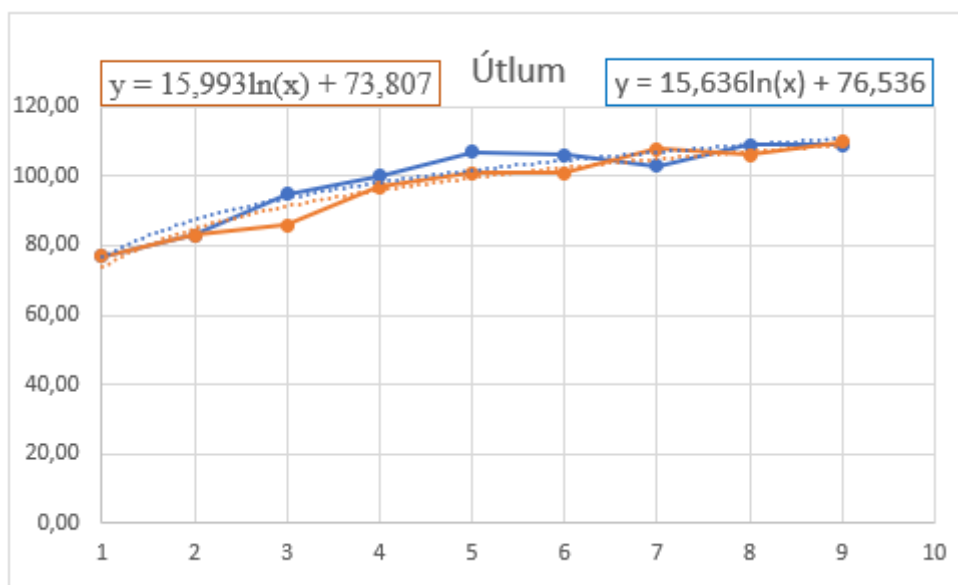
Mobilní telefon iPhone SE s operačním systémem iOS 14.7.1 podporuje GSM: 850 MHz, 900 MHz, 1800 MHz a 1900 MHz, 3G: 850 MHz, 900 MHz, 1900 MHz a 2100 MHz a LTE: 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz a 2600 MHz, dále podporuje Wi-Fi se standardem 802.11 a/b/g/n/ac.

#### 1) Měření v sítích WiFi

Přístupový bod ve standardu 802.11 vysílal v pásmu 2,4 GHz do prostoru náměstí o rozměrech cca 140 x 90 metrů. Vysílací všesměrové antény byly umístěny uvnitř budovy a v čele budovy, podél budovy je zřetelný rádiový stín způsobený konstrukčními prvky. Pokrytí signálem je omezováno vegetací a vzrostlými stromy. Do okolních ulic se signál šíří na úrovni, kterou SW aplikace označují jako velmi nízkou kvalitu a která neumožňuje datové připojení.



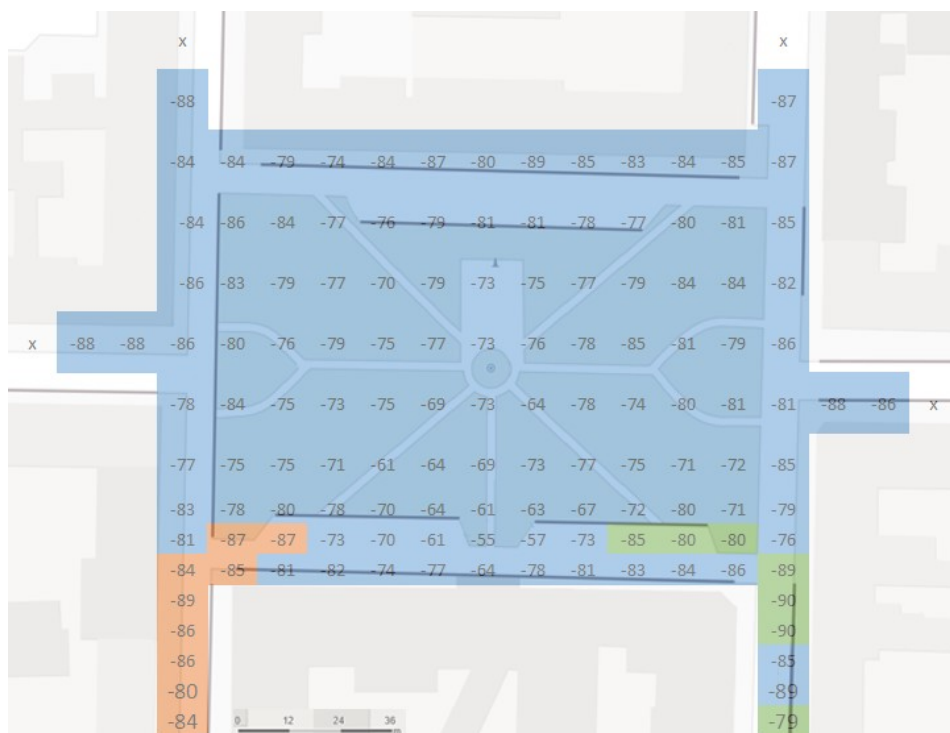
**Obrázek 12 - Eduroam - náměstí Čs. legií (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]**



**Obrázek 13 - Model - Eduroam - náměstí Čs. legií (vlastní tvorba)**

U měření provedených ve venkovním prostředí body propojené modrou křivkou označují hodnoty od zdroje signálu diagonálně do pravého rohu náměstí Čs. legií. Oranžový průběh zobrazuje hodnoty naměřené od zdroje signálu diagonálně do levého rohu náměstí Čs. legií. V případě měření provedených ve vnitřním prostředí modrá křivka označuje delší chodbu a oranžová křivka chodbu kratší. U obou průběhů je zobrazena rovnice trendu, kterou generuje MS excel. Křivka trendu v grafech znázorňuje zjednodušený model, který je v ose vzdálenosti normovaný vůči číslu měření, protože slouží ke srovnání vlastností SW a HW měřicích nástrojů a ne ke skutečnému vyjádření vlastností šíření signálu. Vytvoření modelu

šíření signálu by bylo obtížně použitelné pro jiná prostředí, než ve kterých probíhalo ověření vlastností vybraných nástrojů pro měření.



Obrázek 14 - rozdělení Eduroam - rozdělení kanálů (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]

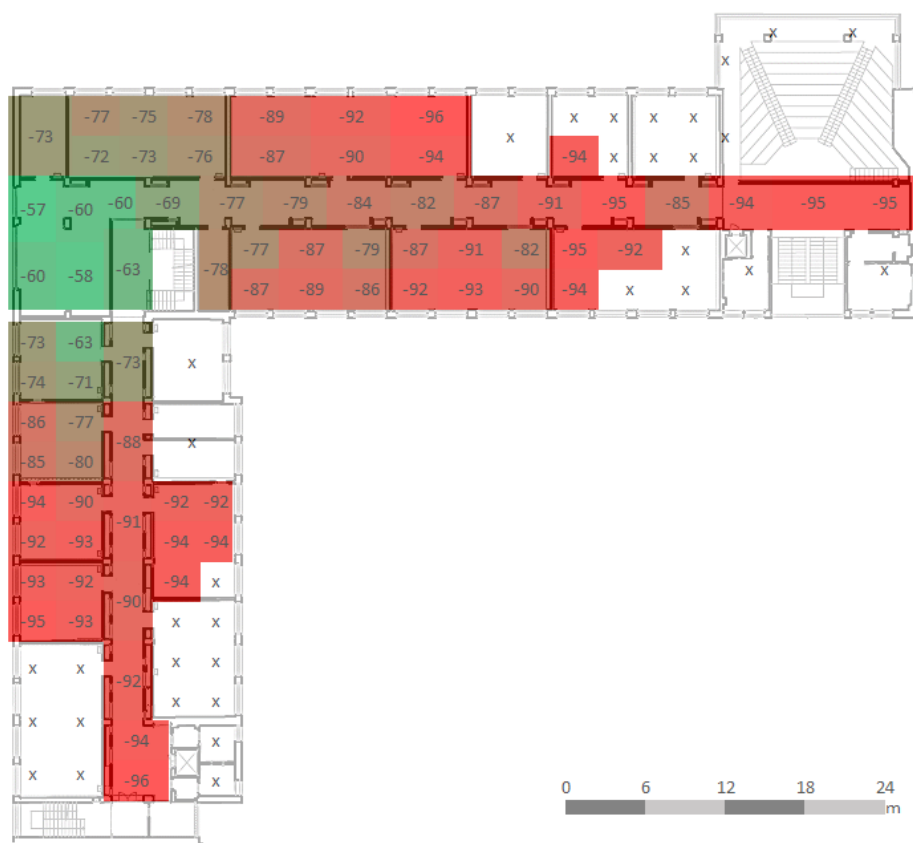
SW aplikace Network Cell Info Lite vyhodnocuje pokles signálu přibližně o 30 dB ve všech směrech šíření. Úroveň cca -80 dBm je limitní pro možnost datového připojení, nižší hodnoty jen zaznamenávají síť bez možnosti „kvalitního“ datového přenosu.

SW aplikace umožňuje rozeznat jednotlivé kanály Wi-Fi sítě, tudíž je možné rozeznat dosah jednotlivých kanálů. U sítí s mnoho vysílači a managementem přístupových bodů se musí brát v potaz handover mezi kanály, který by mohl zkreslit interpretaci získaných hodnot.

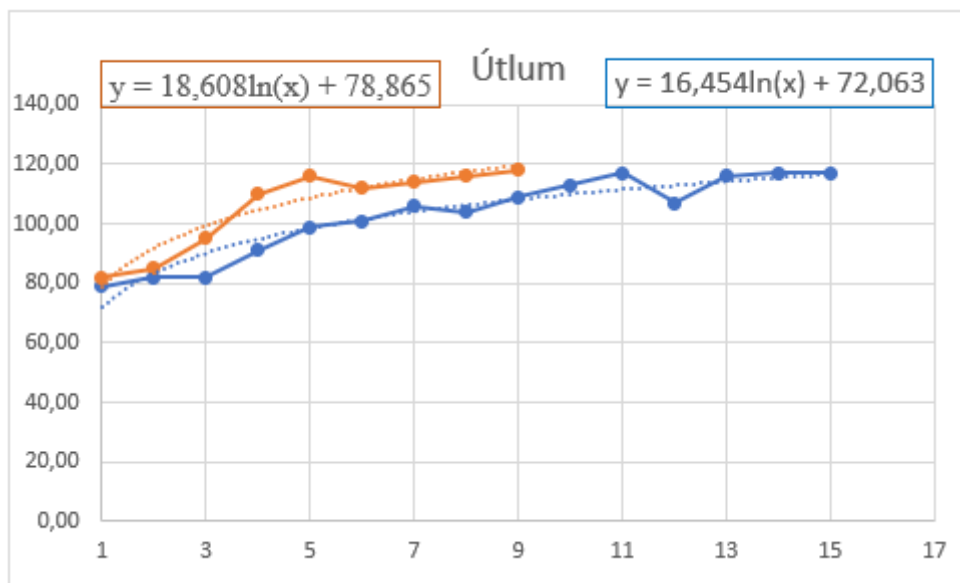
Ve vnitřním prostředí byl použit přístupový bod typu hotspot vytvořený z mobilního telefonu iPhone SE. Vnitřní prostory budovy jsou pokryty sítí přístupových bodů a managementem pro řízení jejich výkonu pro dosažení optimální datové rychlosti a zároveň připojení mnoha uživatelů. Proto pro měření byl sledován přijímaný výkon pouze jednoho AP. Pokles signálu oproti maximu je cca 40 dB, další hodnoty už nedokáže SW aplikace detekovat. Hodnota -80 dBm je opět limitem pro datové připojení.

K měření byly použity dvě aplikace pro porovnání, výsledky jsou podobné. Když se zanedbají vnější vlivy způsobené pravděpodobně okamžitou polohou telefonu, můžeme měření dvou aplikací označit za identické.



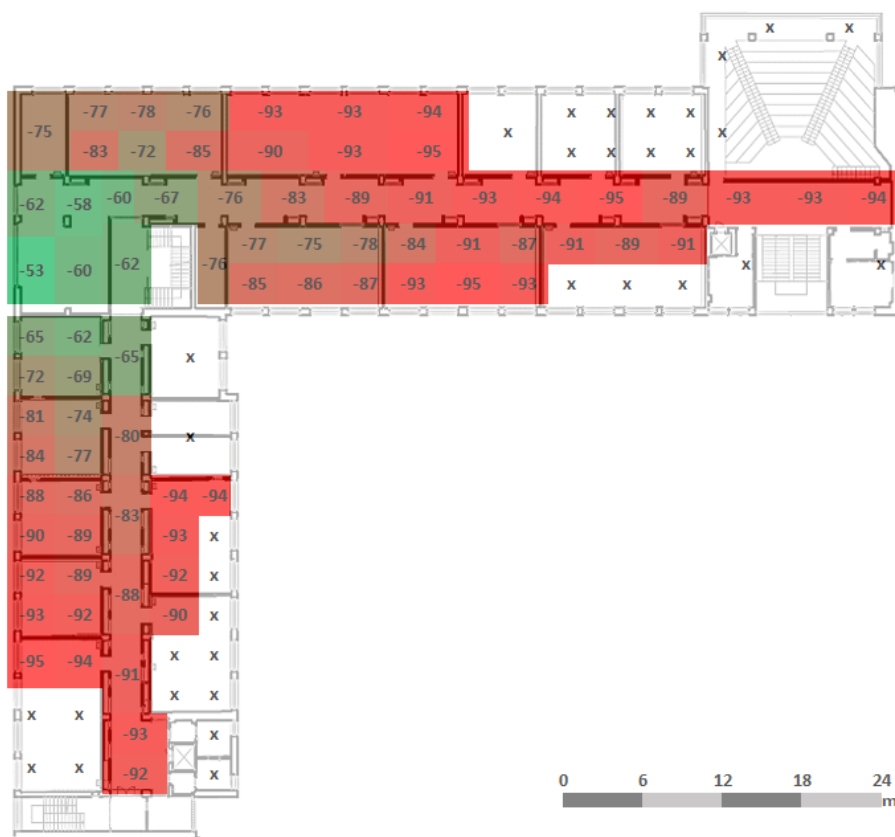


Obrázek 15 - Hotspot - WiFi Monitor 4NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]

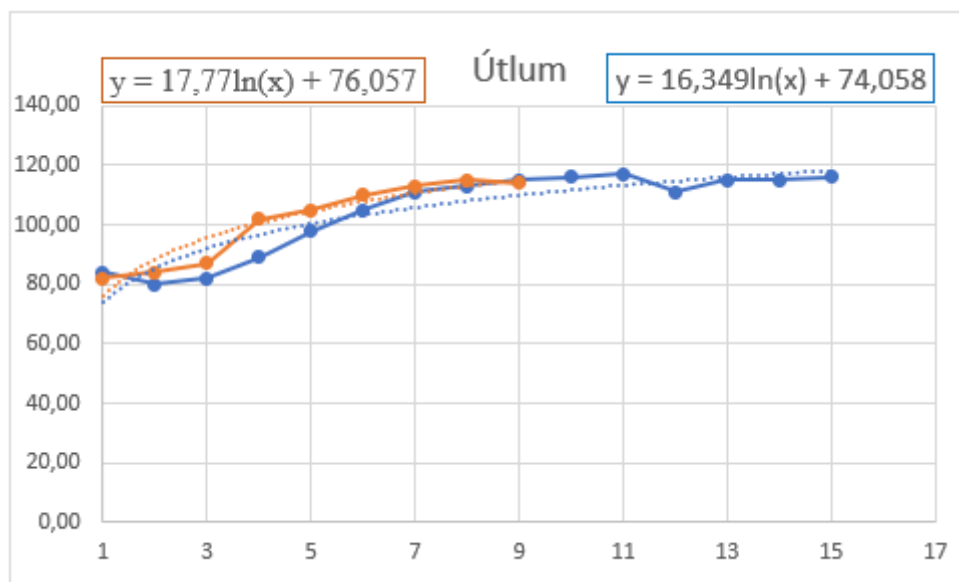


Obrázek 16 - Model - Hotspot WiFi Monitor 4NP (vlastní tvorba)

Při některých měřeních nebylo možné získat hodnoty pro celý rozsah vzdáleností. V těchto případech jsou pak uvedeny jen hodnoty skutečně naměřené, odhadované hodnoty lze dále určit z naznačené spojnice trendu.



Obrázek 17 - Hotspot - Network Cell Info Lite 4NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]



Obrázek 18 - Model - Hotspot Network Cell Info Lite 4NP (vlastní tvorba)

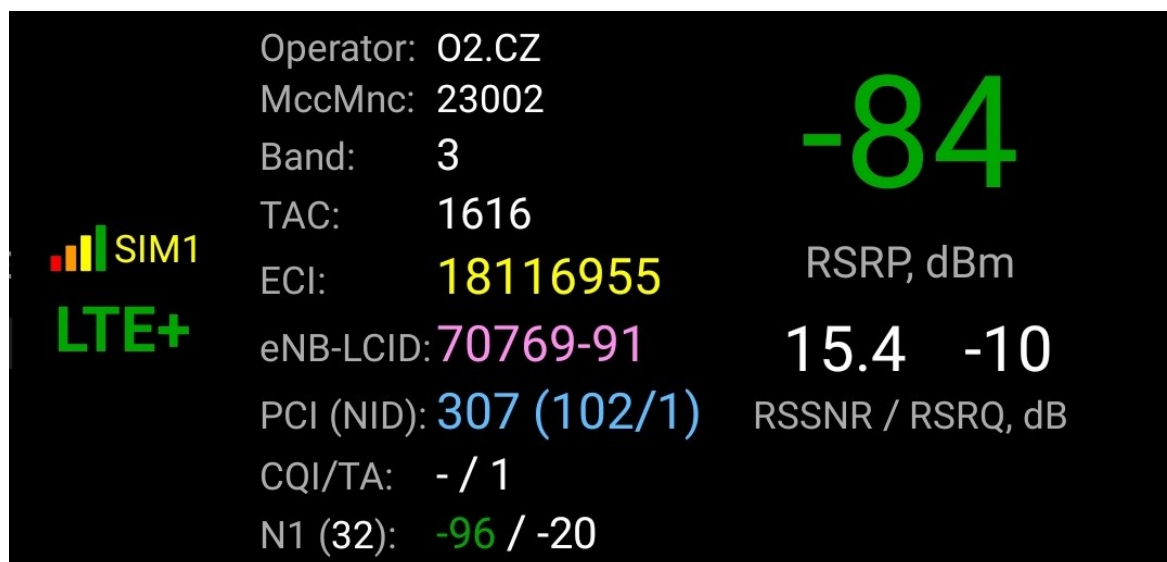
## 2) Měření v sítích 4G / GSM

Toto měření není vhodné pro zastavěné (urban) lokace z důvodu častého přepojování mezi základnovými stanicemi (handover). Z důvodu nespolehlivosti připojení mobilních aplikací k jedné základnové stanici bylo provedeno měření pouze LTE sítě, kde jedna obslužná buňka pokrývá ve městech oblast větší než v systémech 2G. Síť GSM je proto měřena pouze simulovaně (laboratorně) s využitím spektrálního analyzátoru.

Měření bylo provedeno uvnitř budovy v rámci chodby dlouhé zhruba 56 m. Měření bylo prováděno po 9 krocích neboli cca 6 m. Mobilní telefon byl při měření namířen na západ ve výšce cca 120 cm v úhlu cca 45°.

Tabulka 2 - LTE - Network Cell Info Lite (vlastní tvorba)

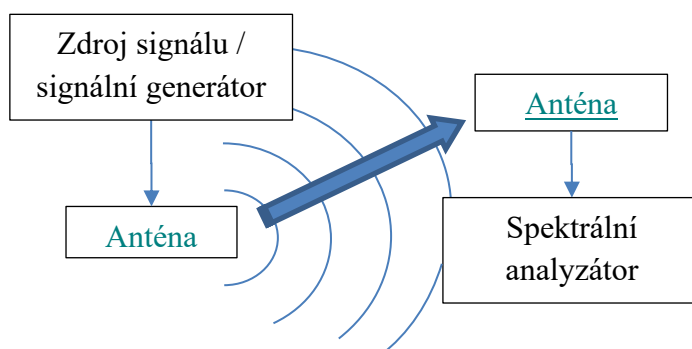
Měření	Frekvence 1,8 [GHz]								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RSRP [dBm]	-84	-90	-84	-91	-92	-90	-97	-98	-96
RSSNR [dB]	15,4	13,6	12,2	15	12,6	13,2	14	16,6	11,8
RSRQ [dB]	-10	-16	-14	-10	-10	-11	-10	-12	-13



Obrázek 19 - LTE - Network Cell Info Lite (vlastní tvorba)

## 3.2 Laboratorní měření

### 3.2.1 Schéma měření



Obrázek 20 - Schéma měření - Laboratorní měření (vlastní tvorba)

### 3.2.2 Měření v různých prostředích

Měření bylo provedeno ve venkovním prostředí a uvnitř budovy. Ve venkovním prostředí se projeví ztráty způsobené vegetací, vzrostlými stromy, okolní dopravou, jinými signály na stejné frekvenci a odrazy od okolních budov. Ve vnitřním prostředí budovy se projeví mnohonásobný odraz i při pohybu o několik centimetrů, vliv mají překážky (zdi), rušení jinými elektrickými zařízeními a jiné signály na stejné frekvenci, např. při frekvenčním překrývání více přístupových bodů v jednom místě.

### 3.2.3 Popis měření

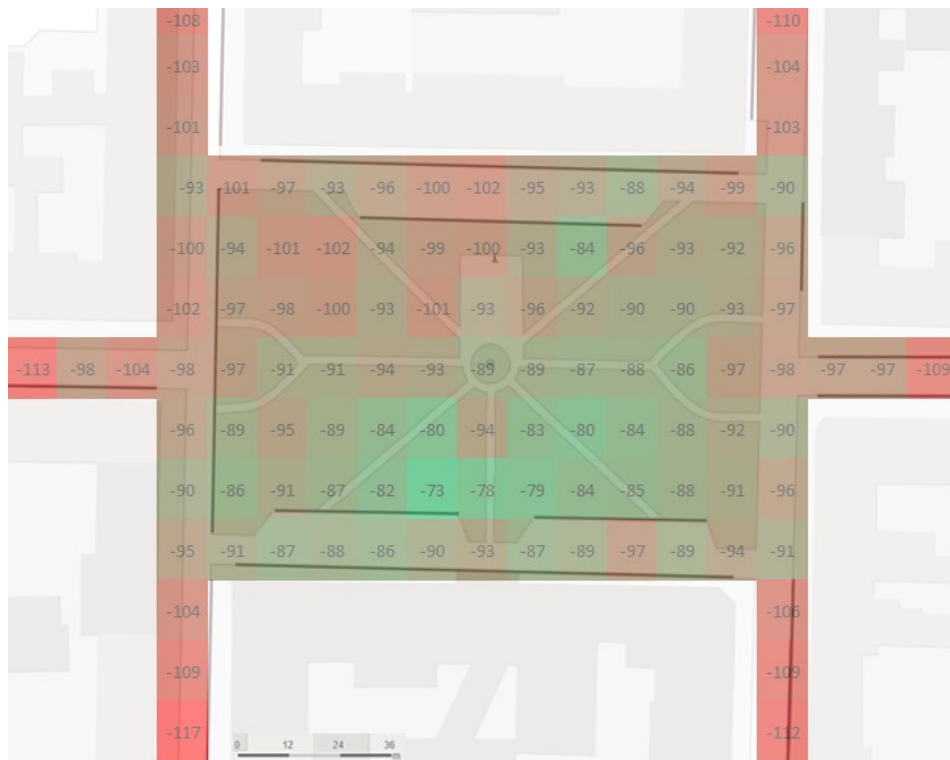
Měření jsme si ověřili vlastnosti šíření signálu o frekvencích 900 MHz, 2 GHz a 2,4 GHz, které reprezentují síť GSM, LTE a Wi-Fi. Výsledky jsem zaznamenal do mapy pokrytí a vyjádřil pomocí modulu.

Pro měření jsem použil Spektrální analyzátor Rohde&Schwarz FSH4 s frekvenčním rozsahem 9 kHz – 3,6 GHz, všesměrovou dipólovou anténu Vert900 se ziskem 3 dBi, prutovou anténu o délce 40 cm a signálním generátorem Rohde&Schwarz SMC 100A s frekvenčním rozsahem 9 kHz – 3,2 GHz a výkonem vysílače -19 dBm.

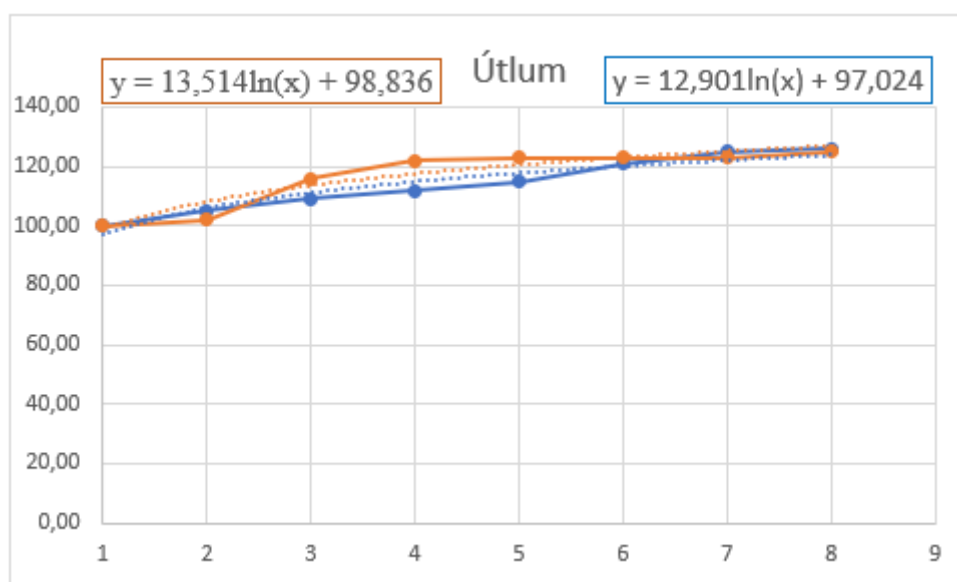
Měření bylo provedeno ve venkovním a vnitřním prostředí s dipólovou i prutovou anténou. Venkovní měření probíhalo stylem odebrání vzorků úrovně síly signálu na náměstí Československých legií a přilehlých ulicích. Vzdálenost mezi odebráním jednotlivých vzorků byla cca 10 m. Generátor signálu byl umístěn na terase, nad vstupem do budovy, v prvním nad podlaží ve výšce cca 8 m. Vnitřní měření bylo provedeno v budově Fakulty elektrotechniky a informatiky Univerzity Pardubice, měřilo se ve všech poschodích na chodbách a ve čtvrtém nad podlaží i ve vybraných místnostech. Při měření byl spektrální analyzátor namířen vždy na generátor signálu a držen ve výšce cca 120 cm. Generátor signálu byl umístěn ve čtvrtém nad podlaží uprostřed respiria zhruba ve výšce cca 50 cm nad zemí.

### 3.2.3.1 Měření na frekvenci 900 MHz

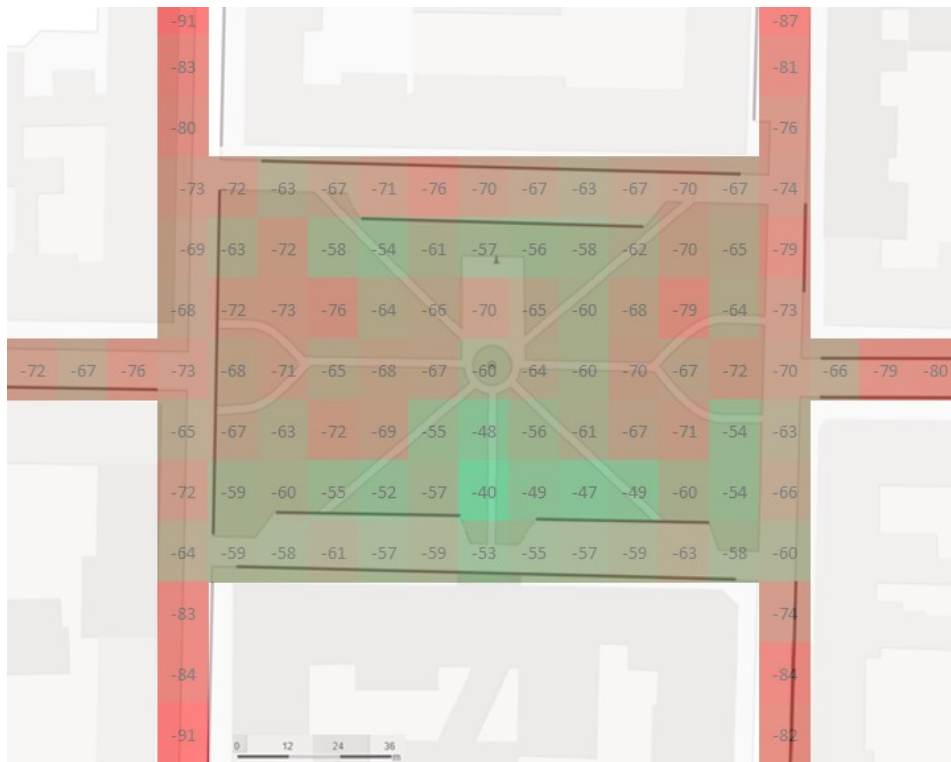
Podle výsledků lze poznat, že při frekvenci 900 MHz má prutová anténa ve venkovním prostředí úroveň signálu větší o cca 30 dBm než dipólová a ve vnitřním o cca 10 dBm větší než dipólová.



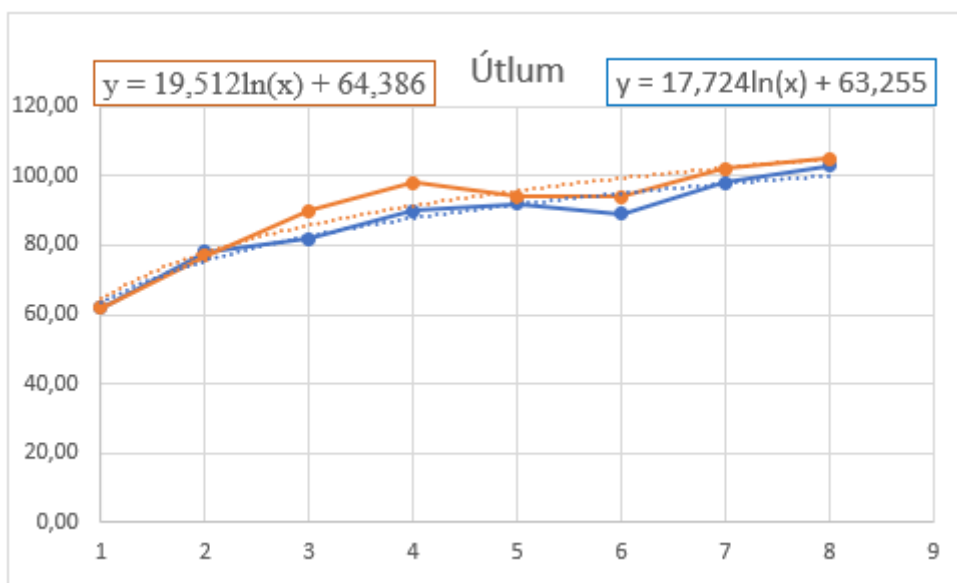
Obrázek 21 - 900 MHz Dipólová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]



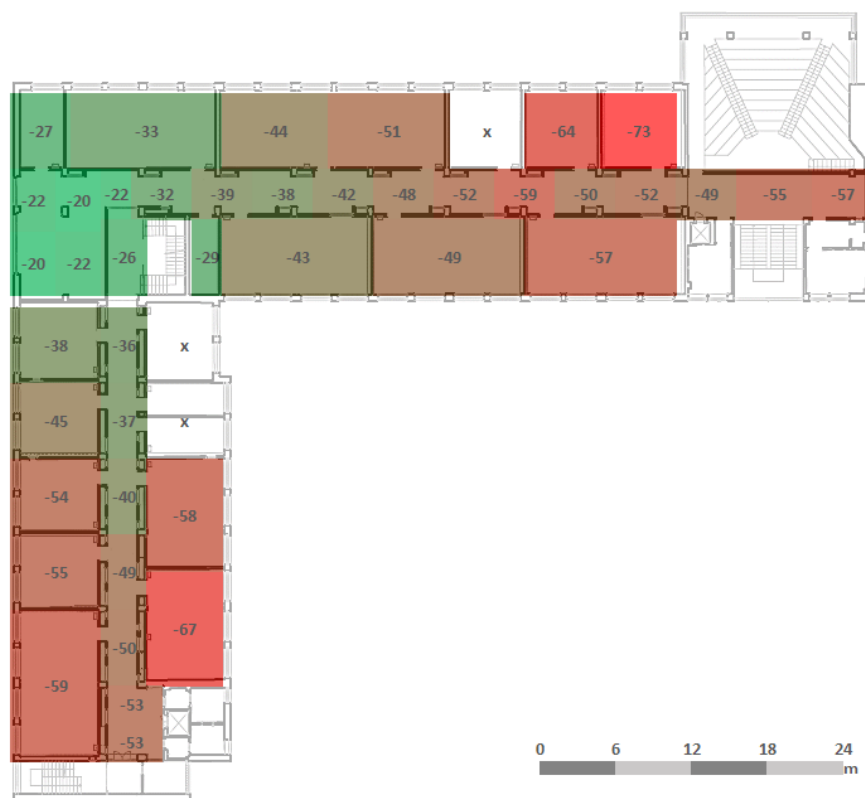
Obrázek 22 - Model - 900 MHz - Dipólová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba)



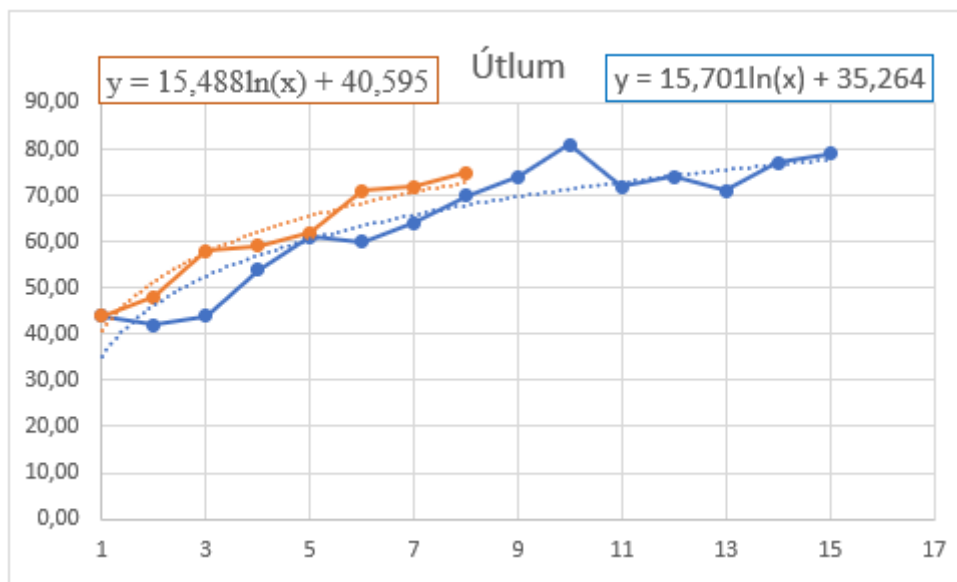
Obrázek 23 - 900 MHz Prutová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]



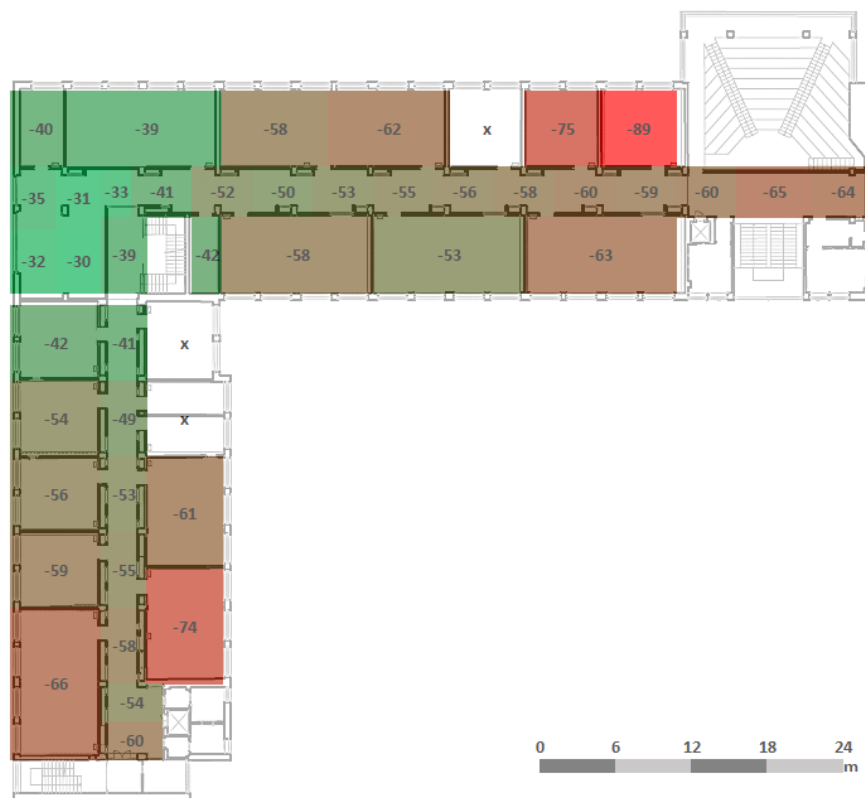
Obrázek 24 - Model - 900 MHz - Prutová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba)



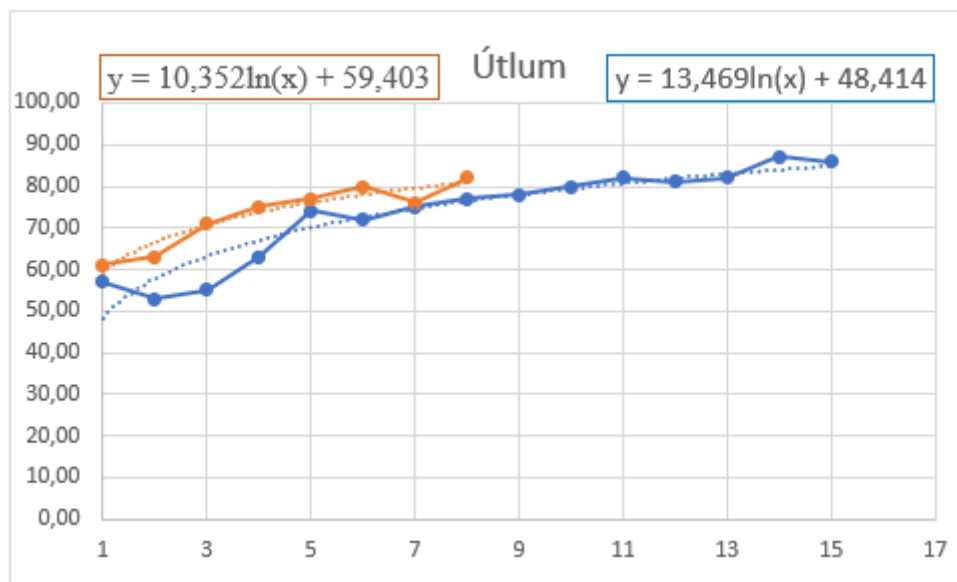
Obrázek 25 - 900 MHz Dipólová anténa 4NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]



Obrázek 26 - Model - 900 MHz - Dipólová anténa 4NP (vlastní tvorba)

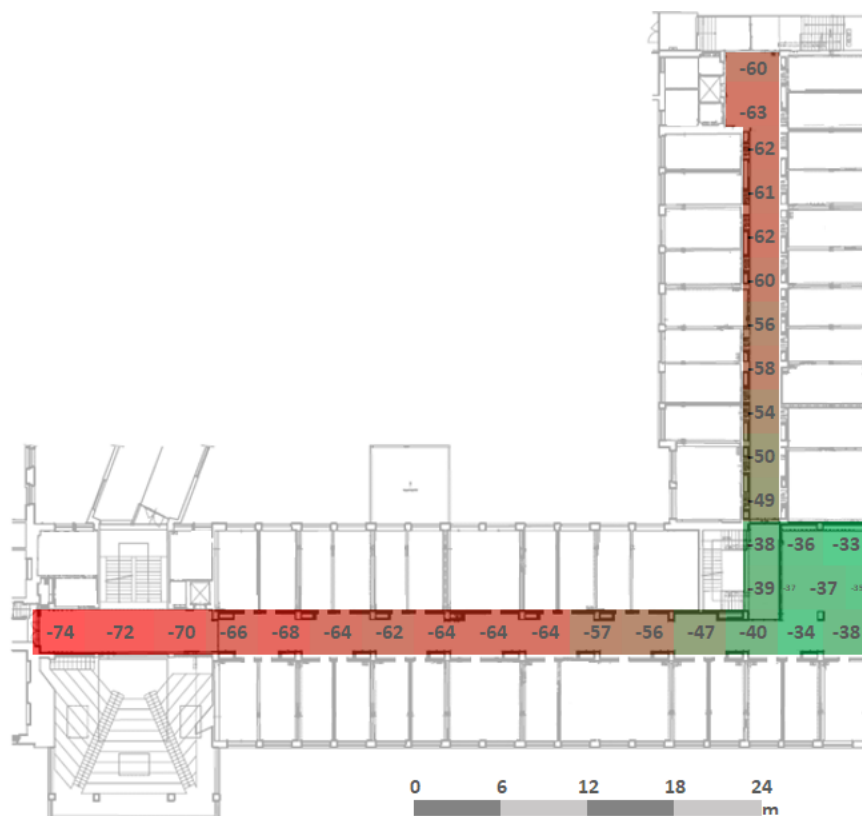


Obrázek 27 - 900 MHz Prutová anténa 4NP (Vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]

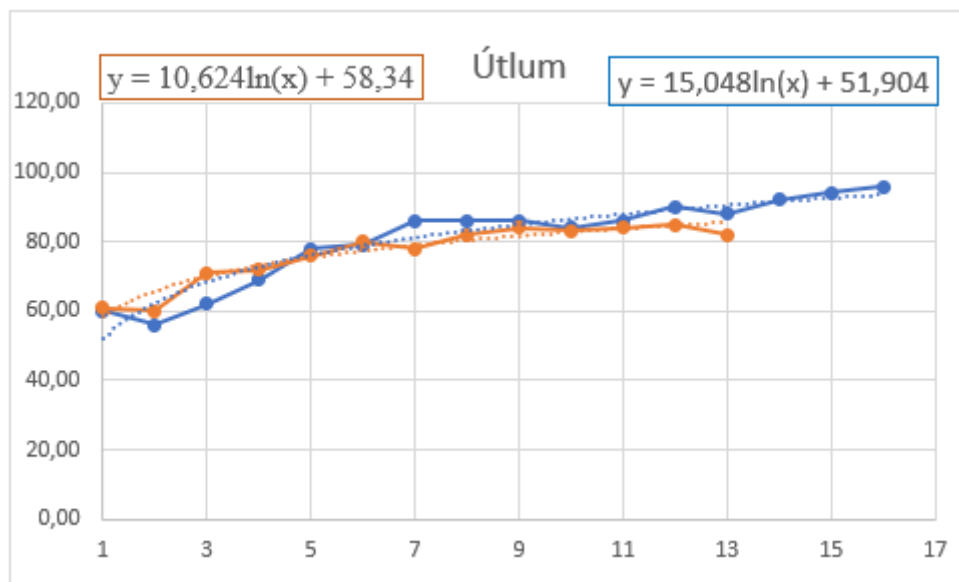


Obrázek 28 - Model - 900 MHz - Prutová anténa 4NP (vlastní tvorba)

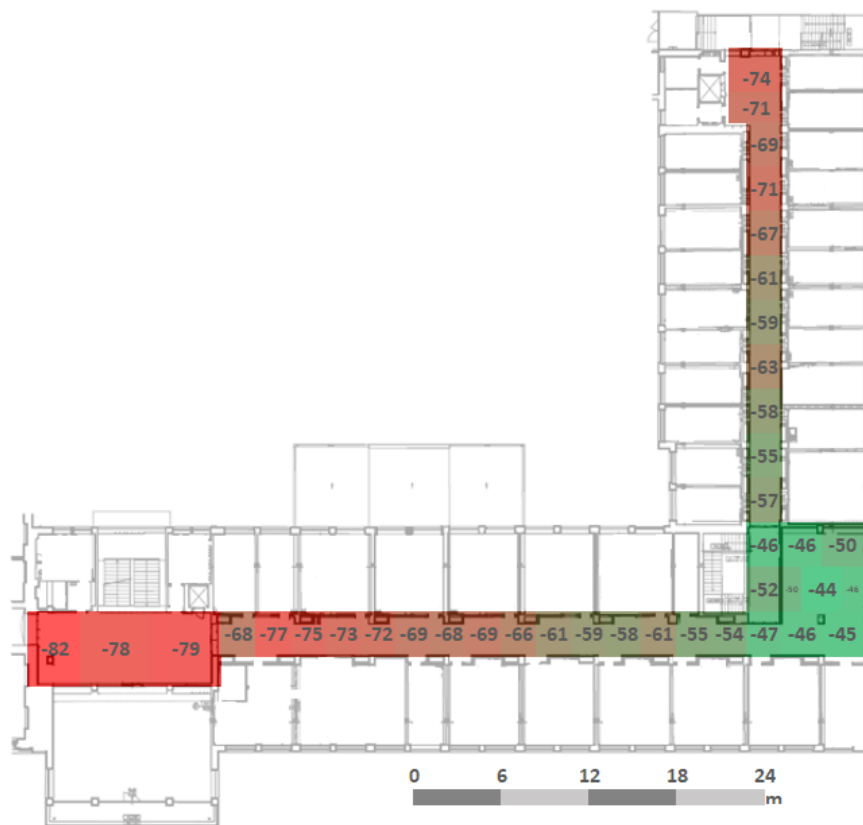




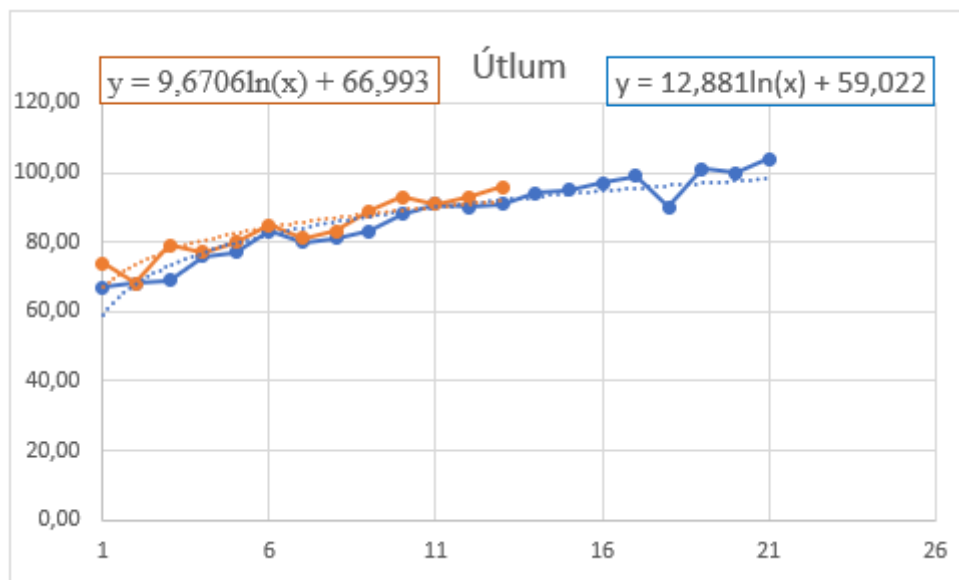
Obrázek 29 - 900 MHz Dipólová anténa 3NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]



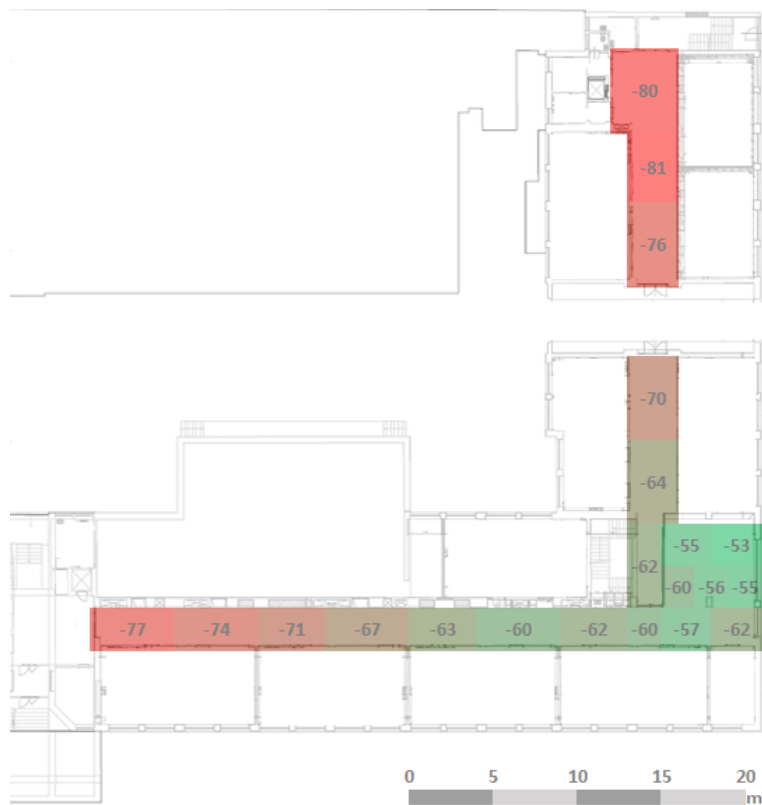
Obrázek 30 - Model - 900 MHz - Dipólová anténa 3NP (vlastní tvorba)



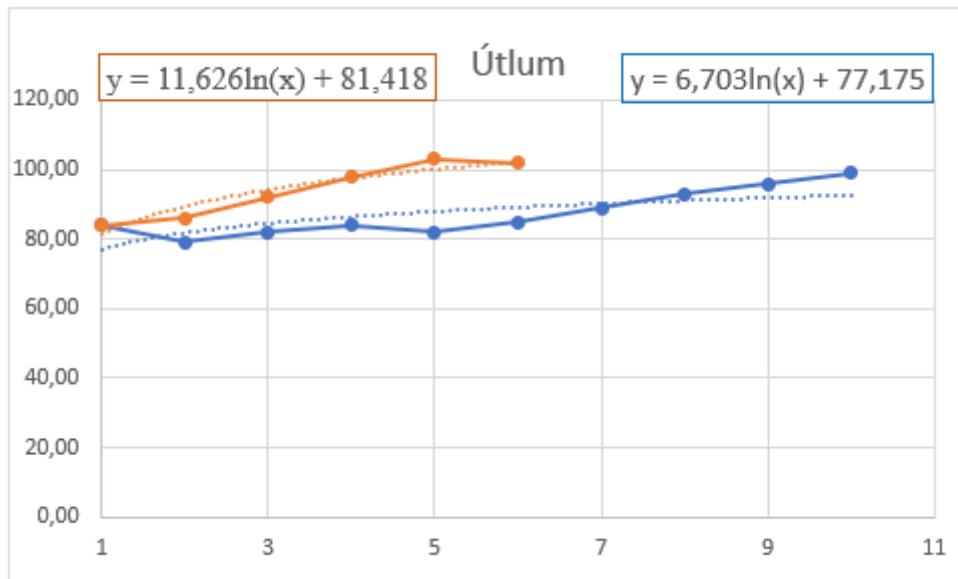
Obrázek 31 - 900 MHz Dipólová anténa 2NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]



Obrázek 32 - Model - 900 MHz - Dipólová anténa 2NP (vlastní tvorba)

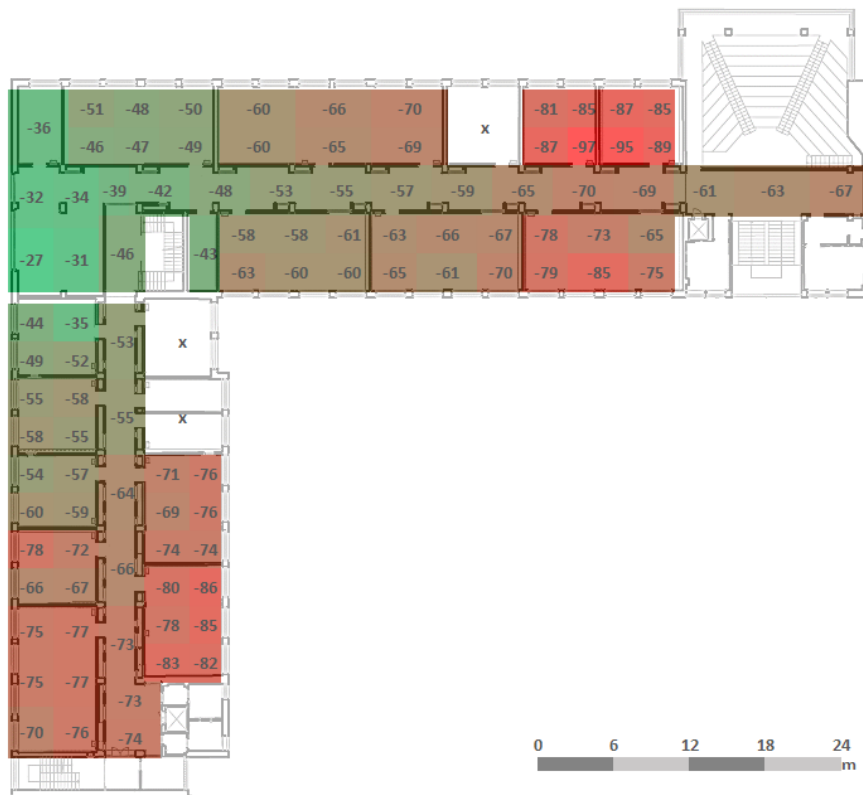


Obrázek 33 - 900 MHz Dipólová anténa 1NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]

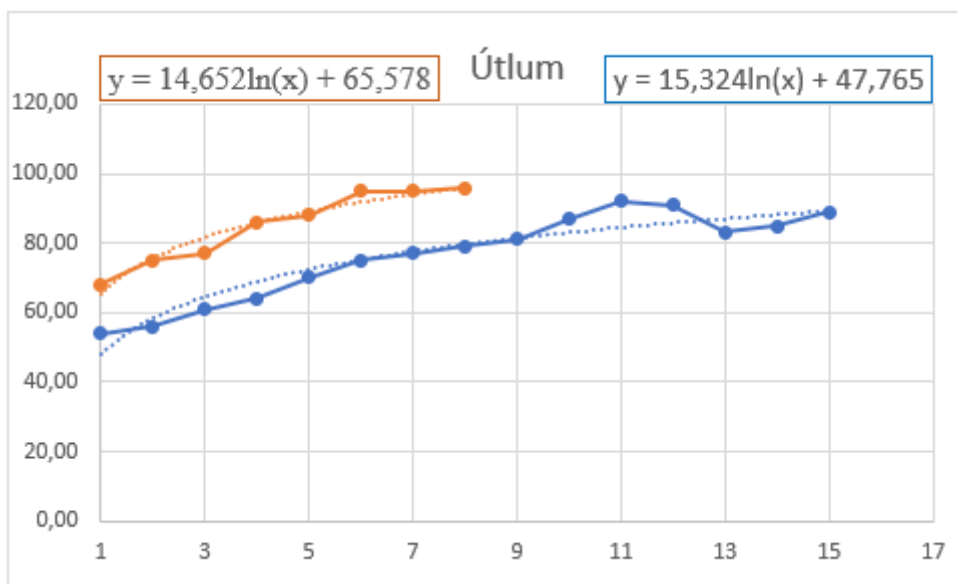


Obrázek 34 - Model - 900 MHz - Dipólová anténa 1NP (vlastní tvorba)

### 3.2.3.2 Měření na frekvenci 2 GHz



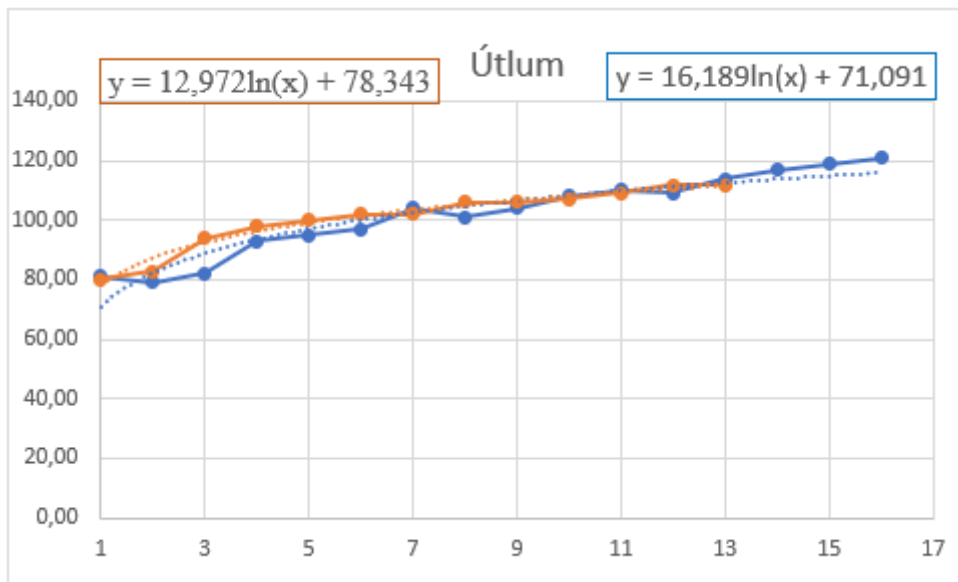
Obrázek 35 - 2 GHz Dipólová anténa 4NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]



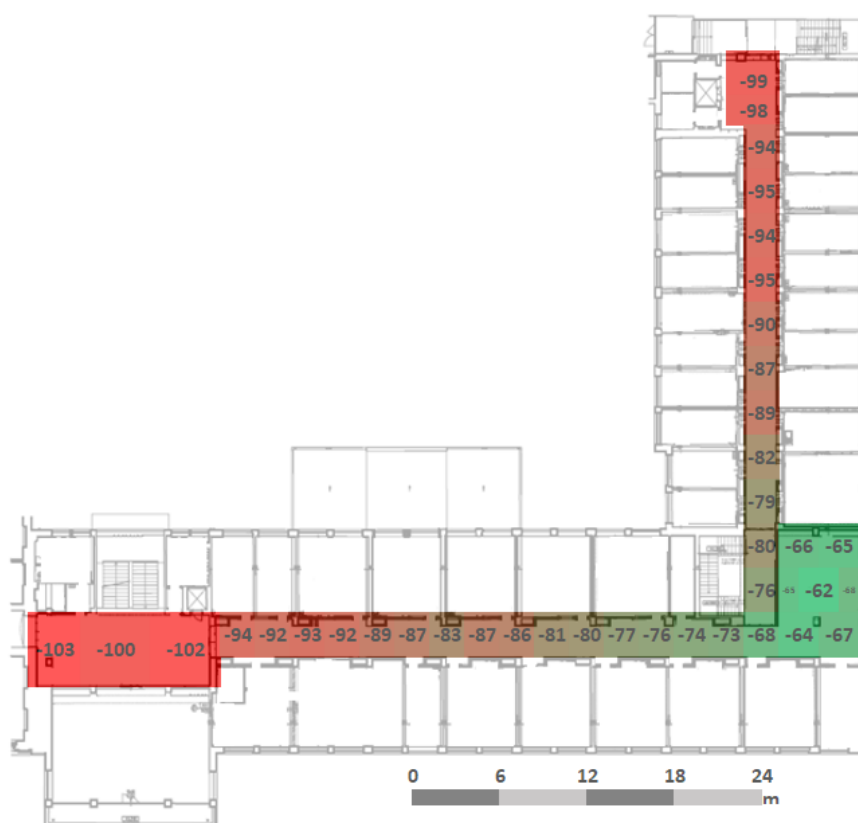
Obrázek 36 - Model - 2 GHz - Dipólová anténa 4NP (vlastní tvorba)



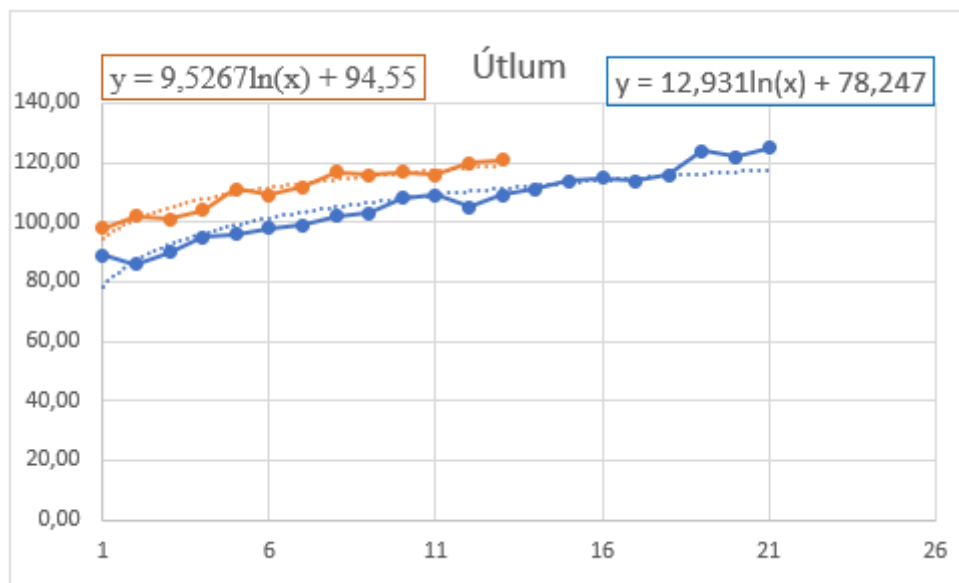
Obrázek 37 - 2 GHz Dipólová anténa 3NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]



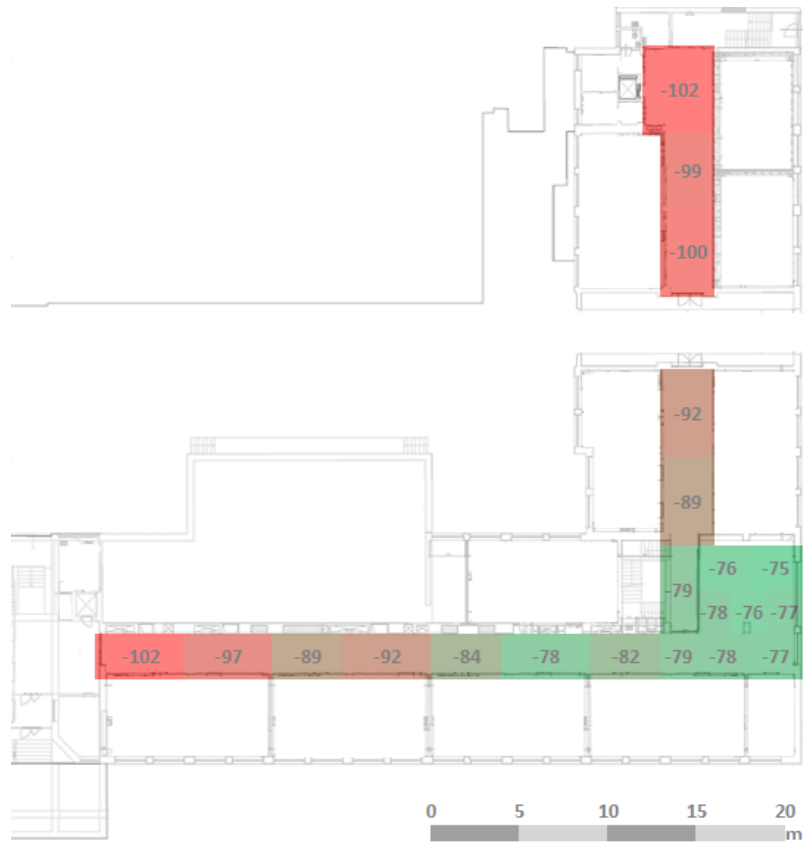
Obrázek 38 - Model - 2 GHz - Dipólová anténa 3NP (vlastní tvorba)



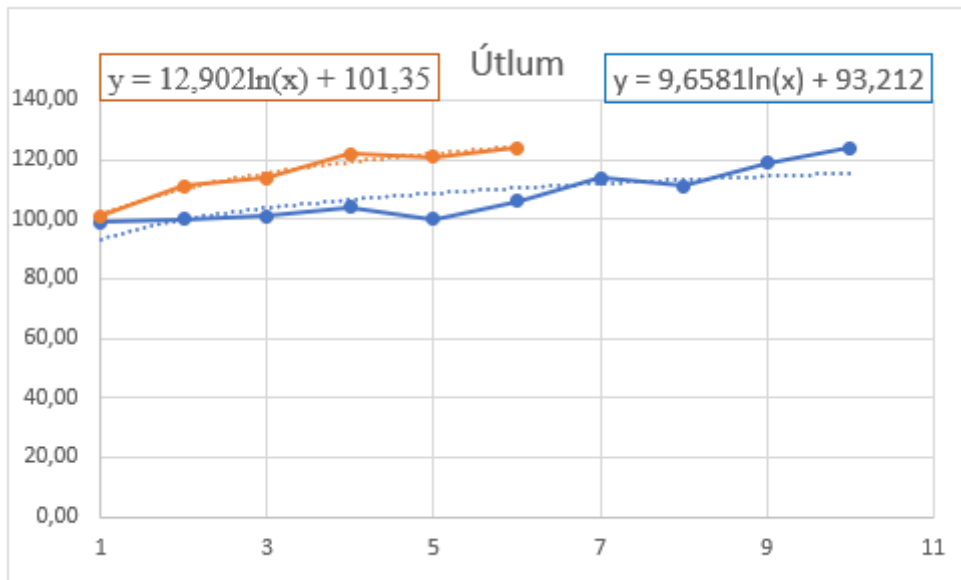
Obrázek 39 - 2 GHz Dipólová anténa 2NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]



Obrázek 40 - Model - 2 GHz - Dipólová anténa 2NP (vlastní tvorba)

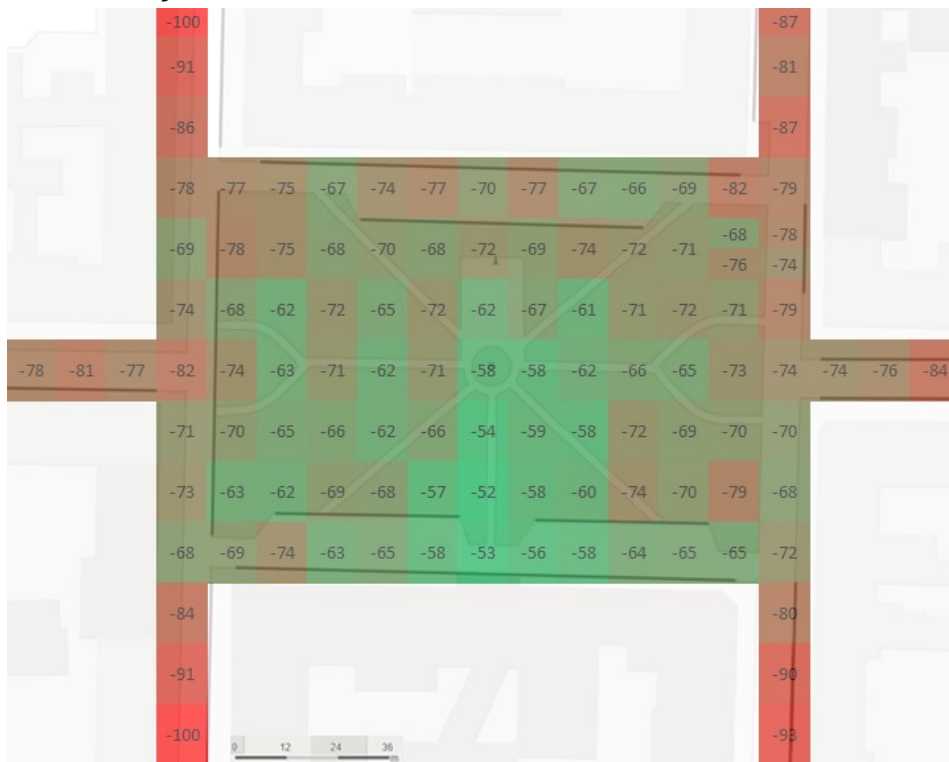


Obrázek 41 - 2 GHz Dipólová anténa 1NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]

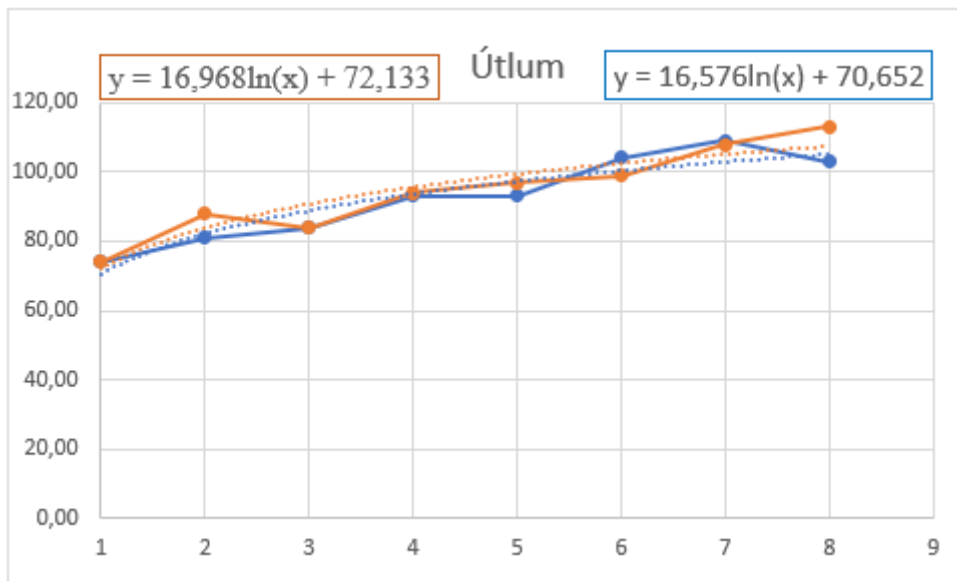


Obrázek 42 - Model - 2 GHz - Dipólová anténa 1NP (vlastní tvorba)

### 3.2.3.3 Měření na frekvenci 2,4 GHz

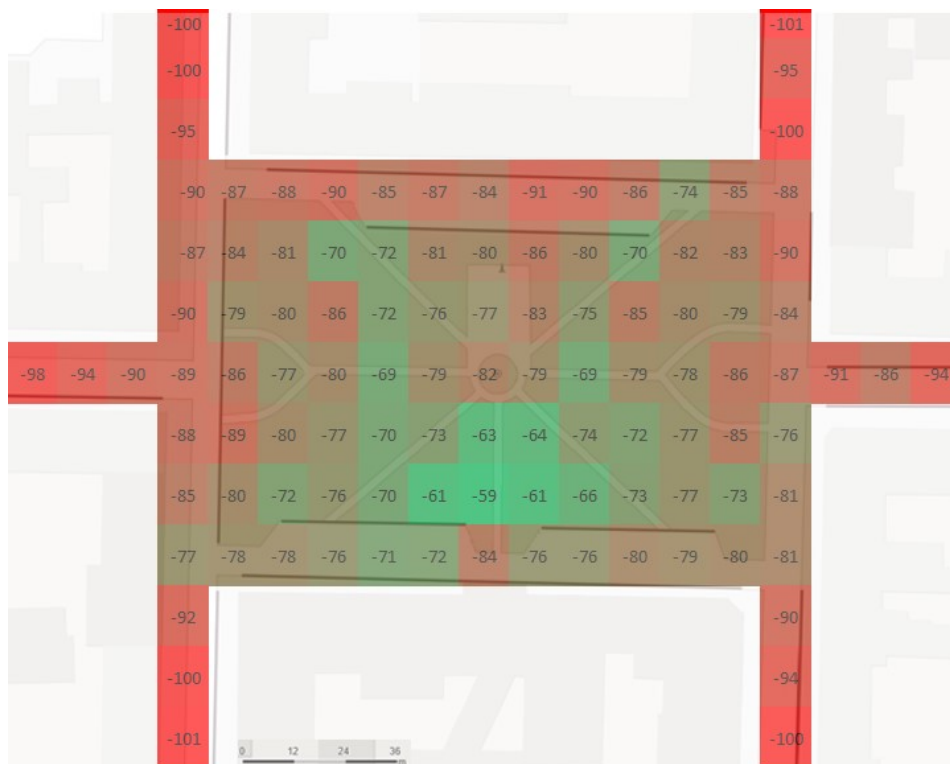


Obrázek 43 - 2,4 GHz Dipólová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]

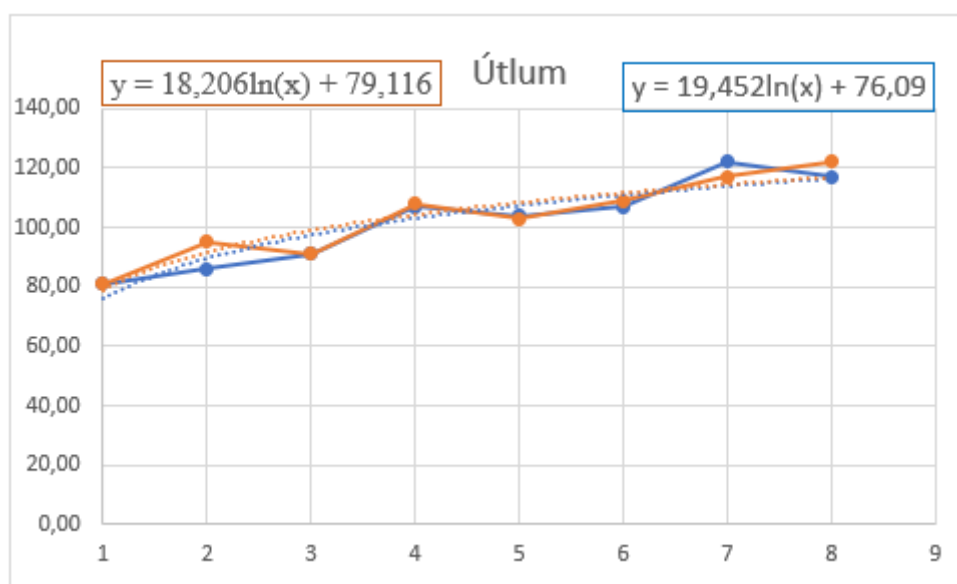


Obrázek 44 - Model - 2,4 GHz - Dipólová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba)

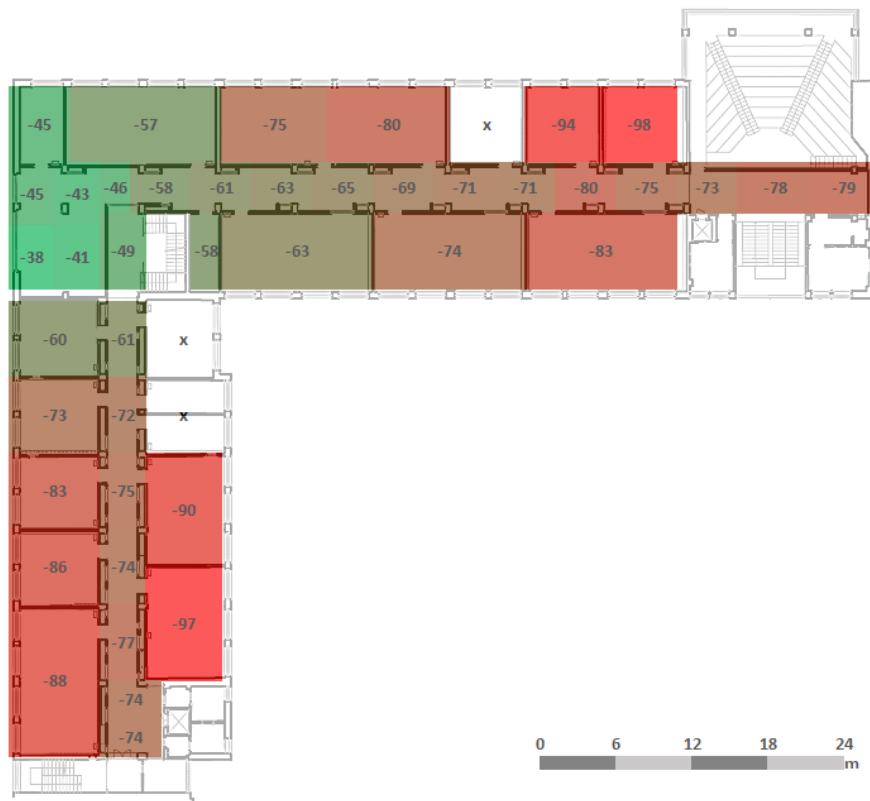




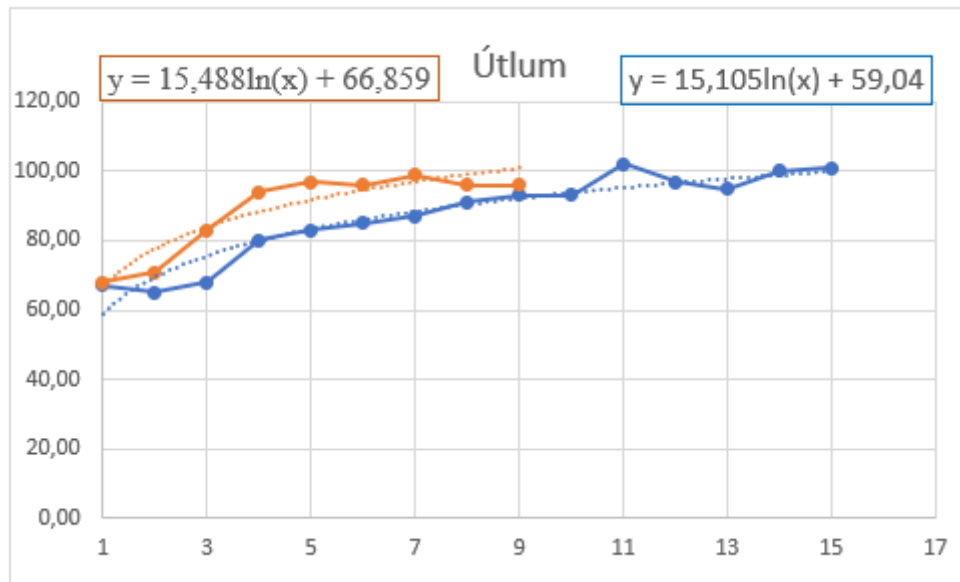
Obrázek 45 - 2,4 GHz Prutová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]



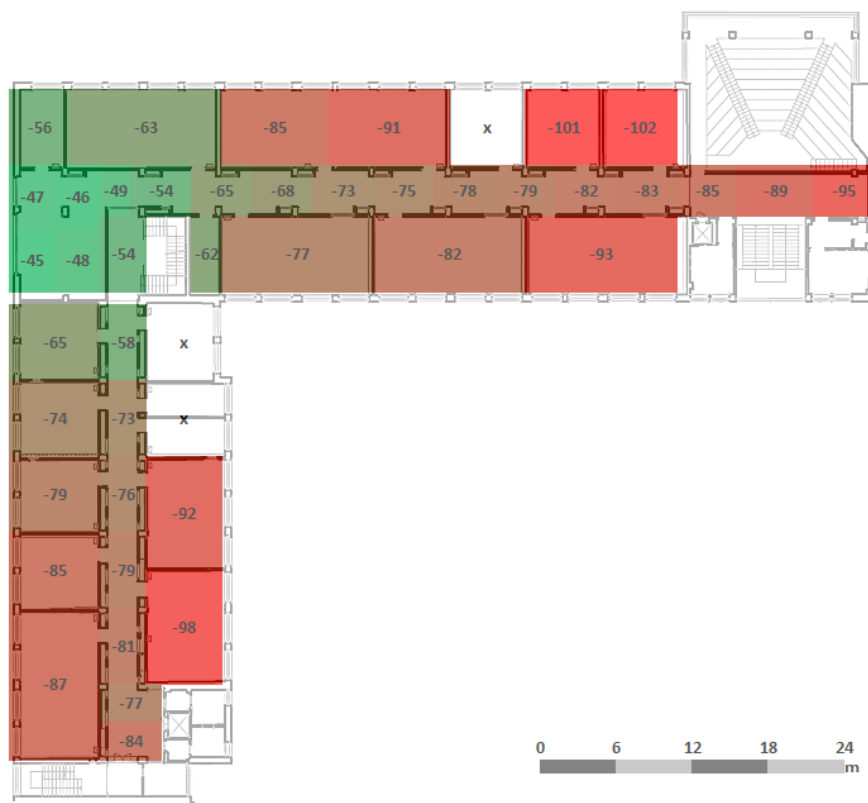
Obrázek 46 - Model - 2,4 GHz - Prutová anténa náměstí Čs. legií (vlastní tvorba)



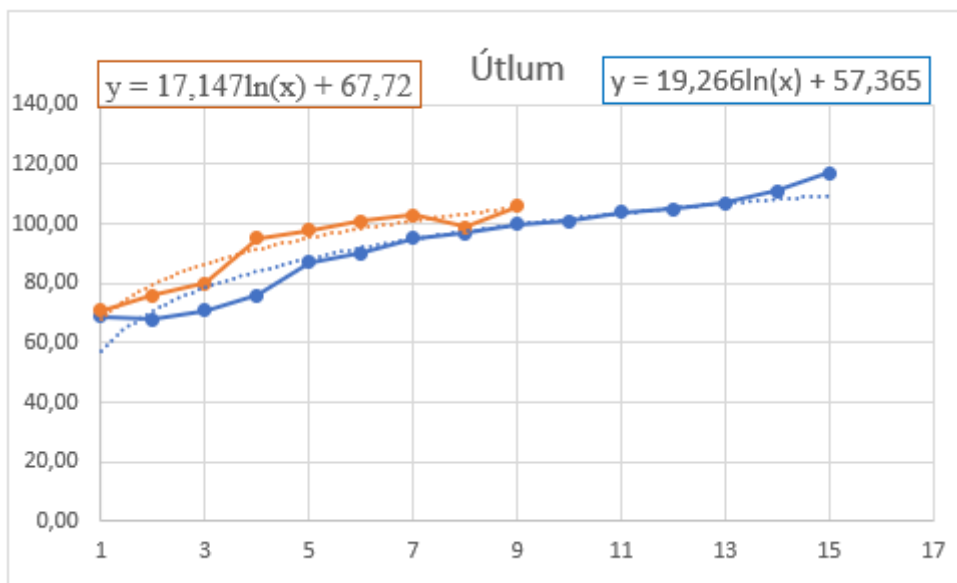
Obrázek 47 - 2,4 GHz Dipólová anténa 4NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]



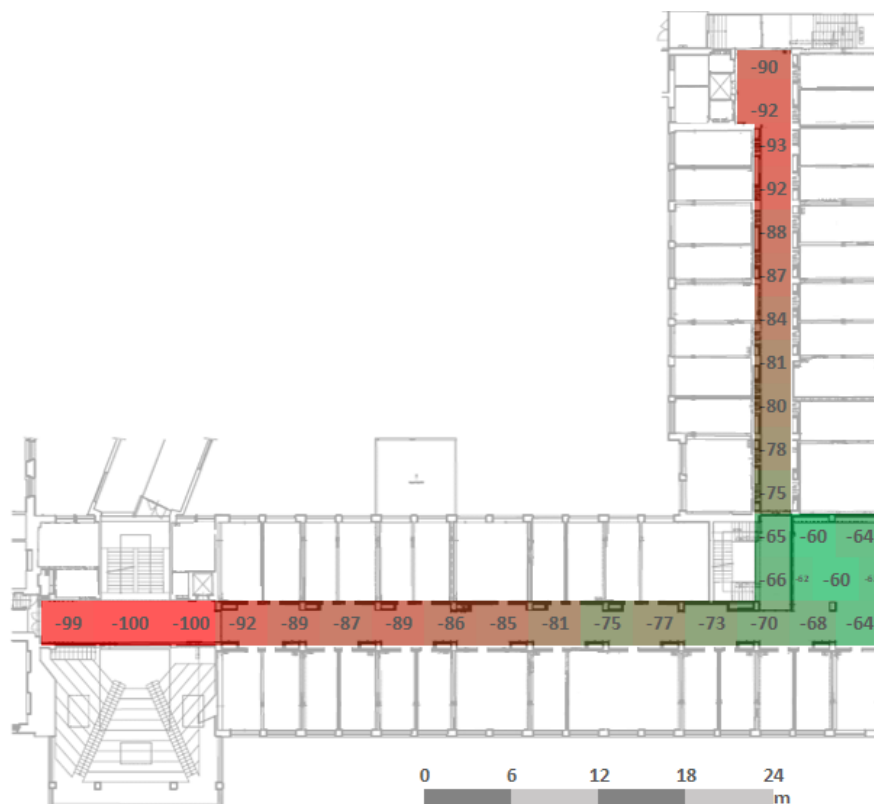
Obrázek 48 - Model - 2,4 GHz - Dipólová anténa 4NP (vlastní tvorba)



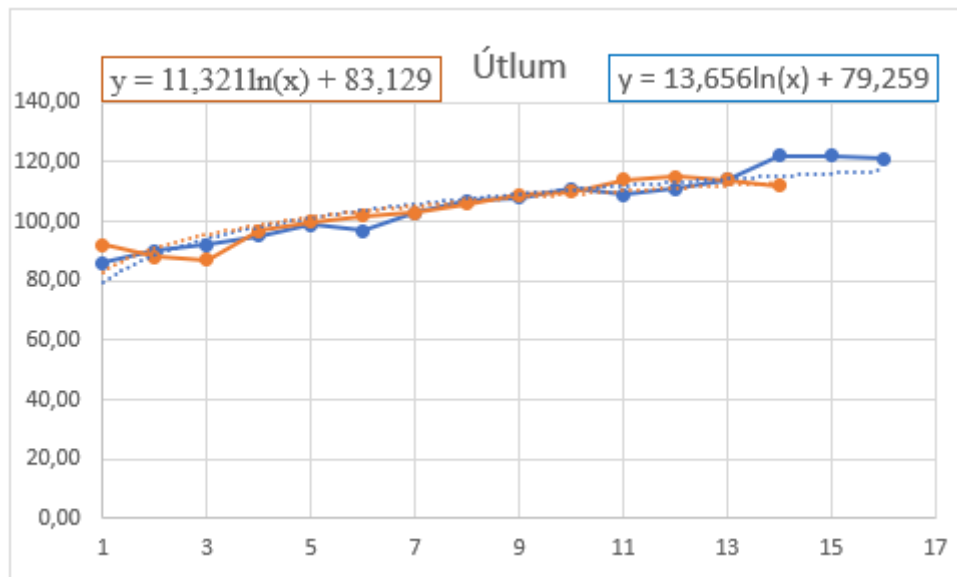
Obrázek 49 - 2,4 GHz Prutová anténa 4NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]



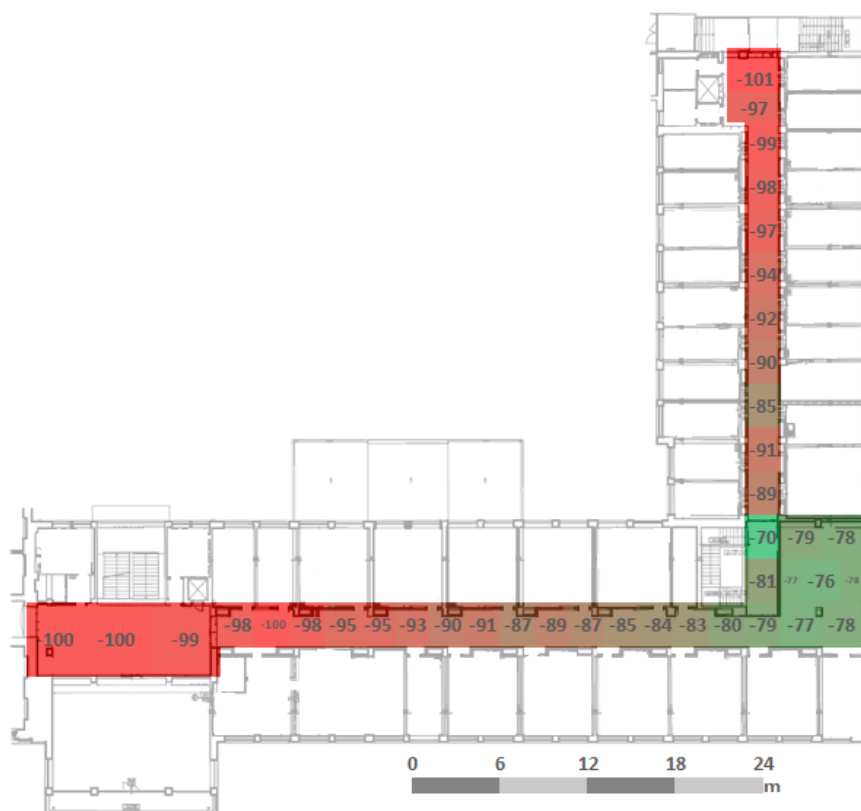
Obrázek 50 - Model - 2,4 GHz - Prutová anténa 4NP (vlastní tvorba)



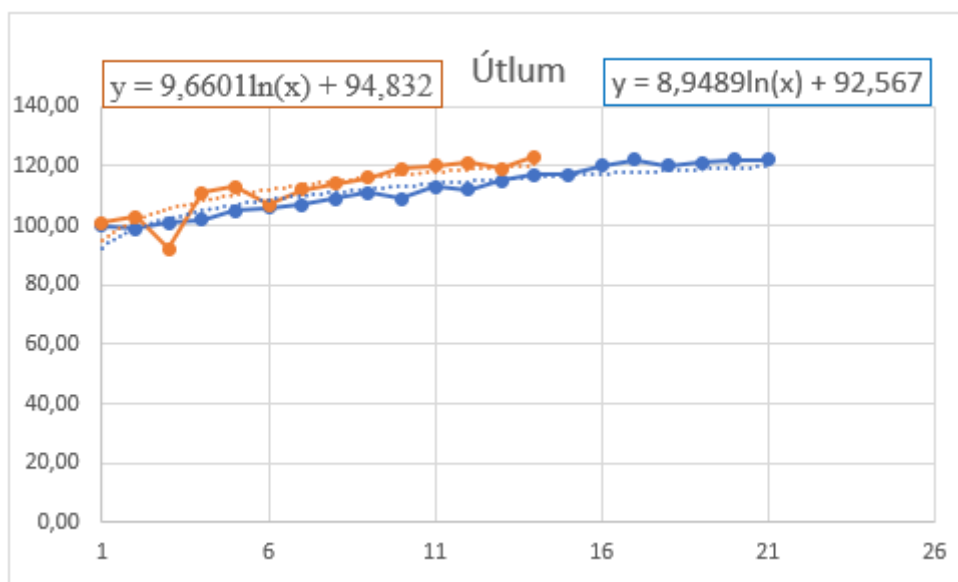
Obrázek 51 - 2,4 GHz Dipólová anténa 3NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]



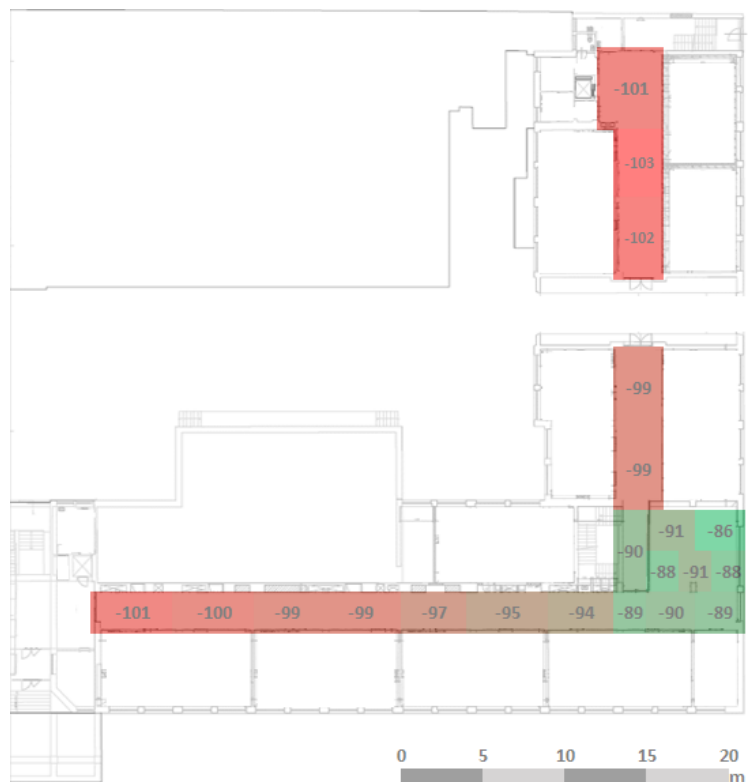
Obrázek 52 - Model - 2,4 GHz - Dipólová anténa 3NP (vlastní tvorba)



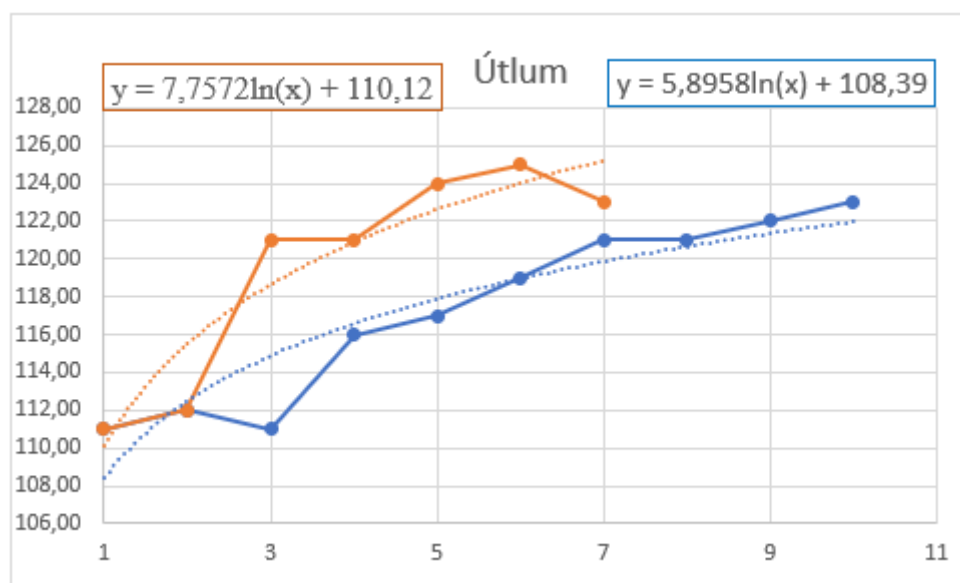
Obrázek 53 - 2,4 GHz Dipólová anténa 2NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]



Obrázek 54 - Model - 2,4 GHz - Dipólová anténa 2NP (vlastní tvorba)



Obrázek 55 - 2,4 GHz Dipólová anténa 1NP (vlastní tvorba), jednotky výkonu [dBm]



Obrázek 56 - Model - 2,4 GHz - Dipólová anténa 1NP (vlastní tvorba)

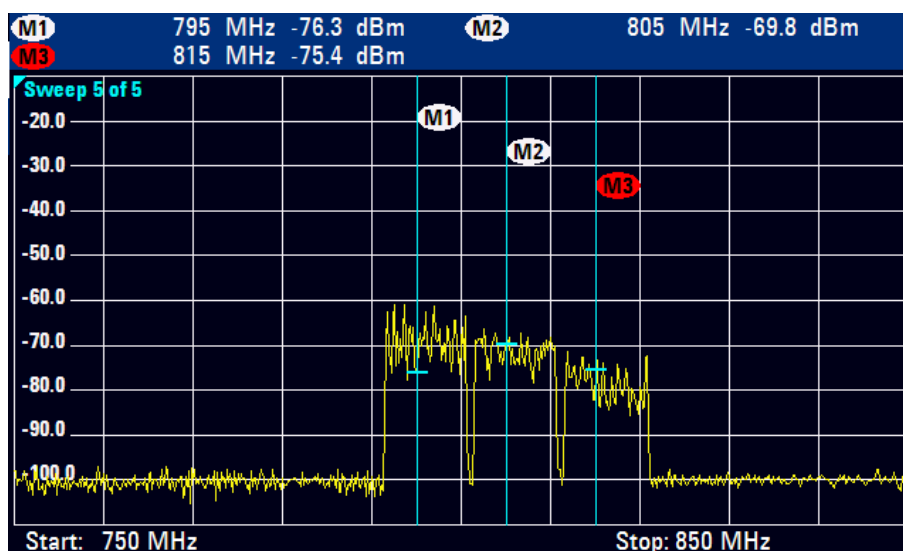
### 3.2.4 Měření LTE – 800 MHz

Tabulka 3 - Měření LTE - 800 MHz

Frekvence [MHz]		Výkon signálu [dBm]										
		Okno		Chodba								
		Otevřené	Zavřené	1	2	3	4	5	6	7	8	9
795		-48,5	-63,1	-76,3	-57,5	-56,8	-62,8	-54,9	-74,1	-61,4	-57,6	-67,3
805		-54,2	-69	-69,8	-77,5	-82,1	-75,5	-73,6	-80,9	-77,2	-76,2	-67,1
815		-61,8	-81,1	-75,4	-80	-80,7	-84,4	-77	-81,7	-89,6	-81,9	-84,8

V tabulce 3 jsou zaznamenány hodnoty ze tří základnových stanic v systému LTE. Jejich výkon v místě měření je dán vlastním výkonem vysílače a jeho vzdáleností od místa měření, dále také okamžitou polohou laboratorního analyzátoru.

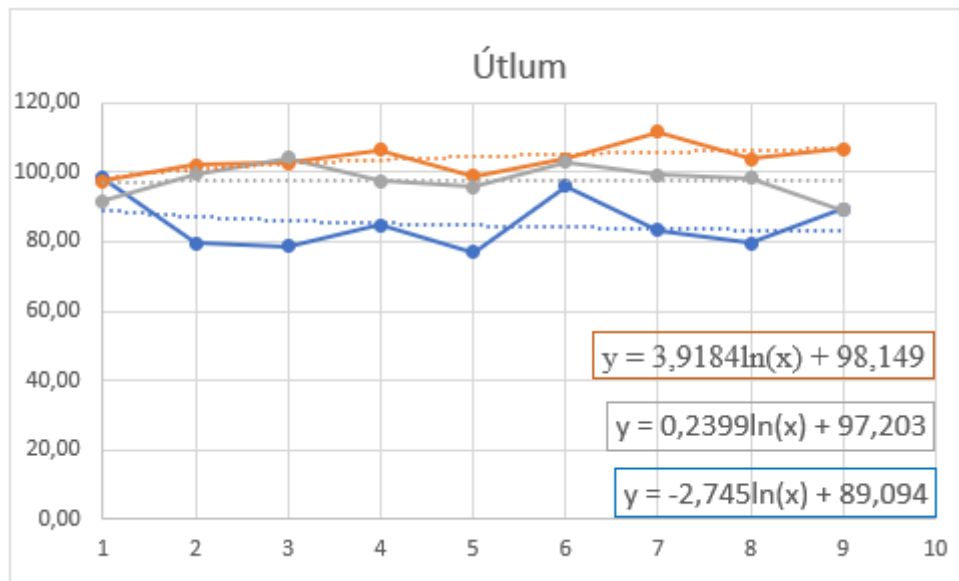
Spektrální analyzátor umožňuje i zobrazení průběhu spekter, což samozřejmě mobilní aplikace nemohou nabídnout. Pro referenční měření byl použit vždy vybraný bod ve spektrálním průběhu, funkce pro měření celkové energie ve spektru nebyla v nabídce přístroje.



Obrázek 57 - Spektrální analyzátor 800 MHz (vlastní tvorba)

Grafické zobrazení hodnot na obrázku 58 pouze porovnává měřené hodnoty, zobrazení útlumu je zde ponecháno jen pro srovnání s měřeními v sítích WiFi nebo simulace lokálního přístupového bodu pro LTE.

Obdobně je tomu i u tabulek a grafů pro měření v systému GSM a LTE na vyšších frekvencích, výsledky jsou uvedeny v kapitolách 3.2.5 až 3.2.7.

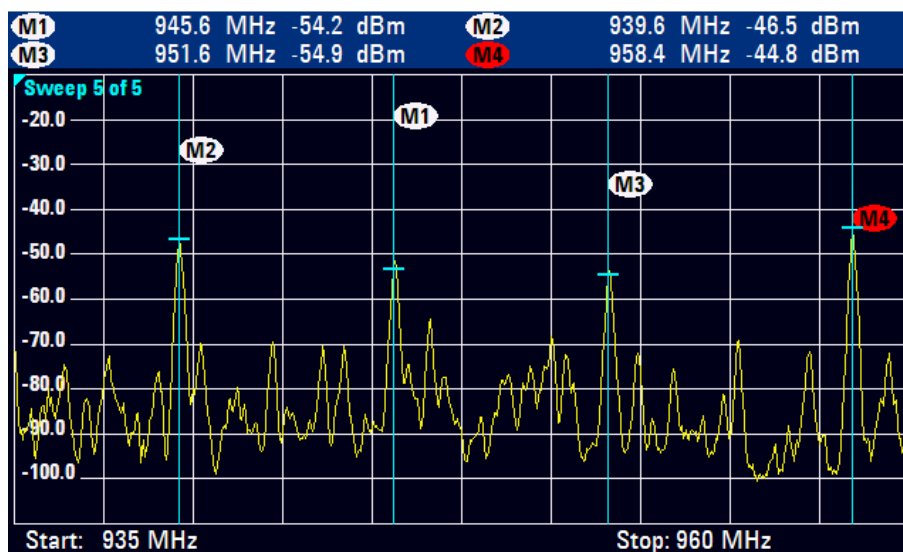


Obrázek 58 - Model - LTE 800 MHz - Dipólová anténa (vlastní tvorba)

### 3.2.5 Měření GSM - 900 MHz

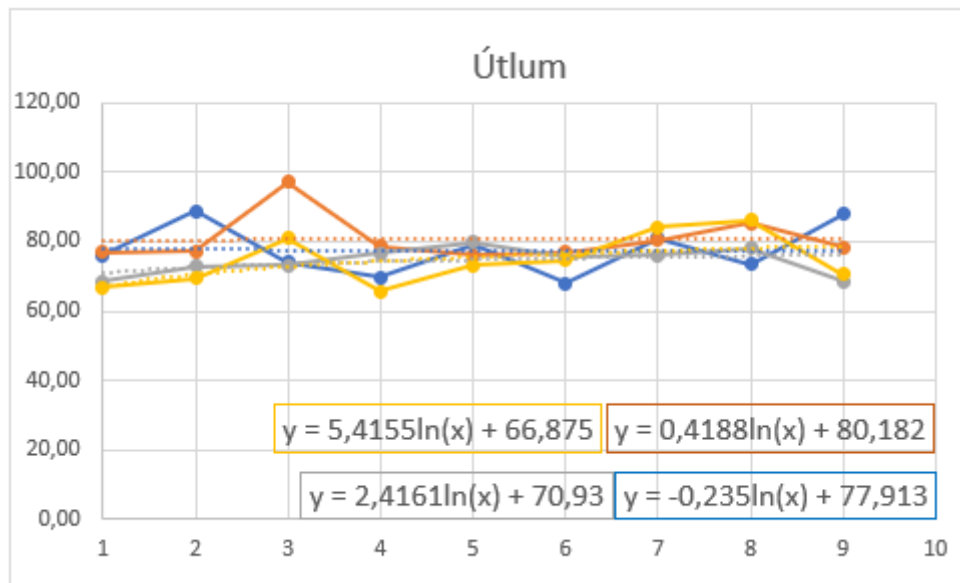
Tabulka 4 - Měření GSM - 900 MHz

Frekvence [MHz]	Výkon signálu [dBm]										
	Okno		Chodba								
	Otevřené	Zavřené	1	2	3	4	5	6	7	8	9
945,6	-44	-54,5	-54,2	-66,7	-52,2	-47,6	-57,2	-46,1	-58,9	-51,4	-65,9
939,6	-33,8	-41,3	-46,5	-50,9	-51,1	-54,8	-57,8	-53,5	-54	-56,2	-46,5
951,6	-46,2	-48,9	-54,9	-55,1	-75,1	-56,6	-54,1	-54,9	-58,5	-63,4	-56,4
958,4	-37,7	-48,8	-44,8	-47,3	-58,9	-43,6	-51,2	-52,6	-62,1	-64,1	-48,6



Obrázek 59 - Spektrální analyzátor 900 MHz (vlastní tvorba)



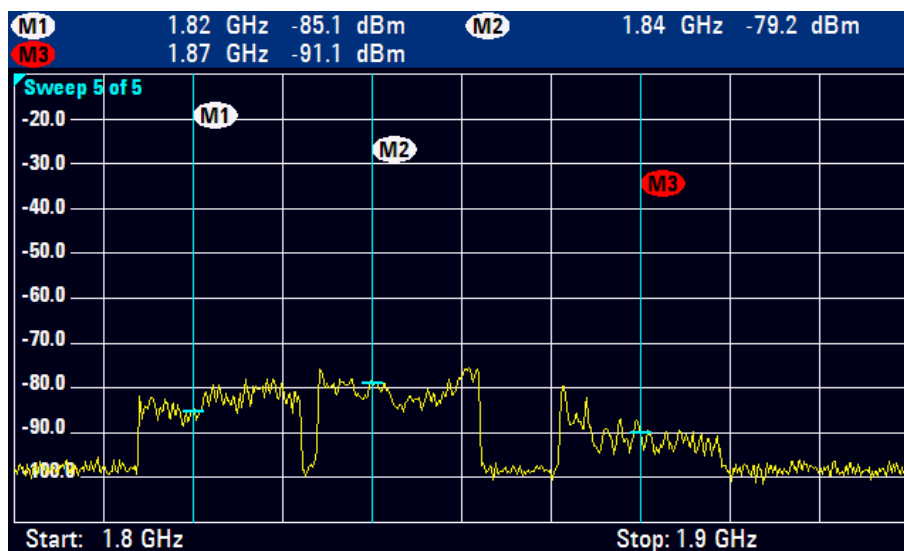


Obrázek 60 - Model - GSM 900 MHz - Dipólová anténa (vlastní tvorba)

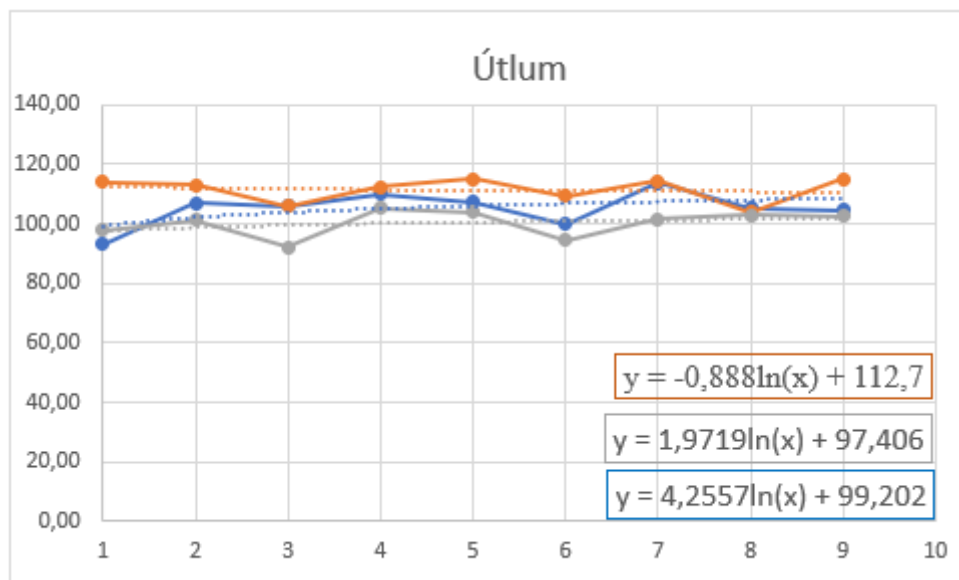
### 3.2.6 Měření 3G/LTE - 1,8 GHz

Tabulka 5 - Měření 3G/LTE - 1,8GHz

Frekvence [GHz]		Výkon signálu [dBm]										
		Okno		Chodba								
		Otevřené	Zavřené	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,82	-69,9	-71,4	-71,3	-85,1	-84	-88	-85,4	-77,9	-91,7	-83,3	-82,6	
1,84	-63,3	-62,9	-75,8	-79,2	-70	-83,3	-81,9	-72,5	-79,7	-80,9	-80,6	
1,86	-85,8	-80,3	-91,9	-91,1	-84	-90,2	-93,1	-87,2	-92,4	-81,8	-93,2	



Obrázek 61 - Spektrální analyzátor 1,8 GHz (vlastní tvorba)

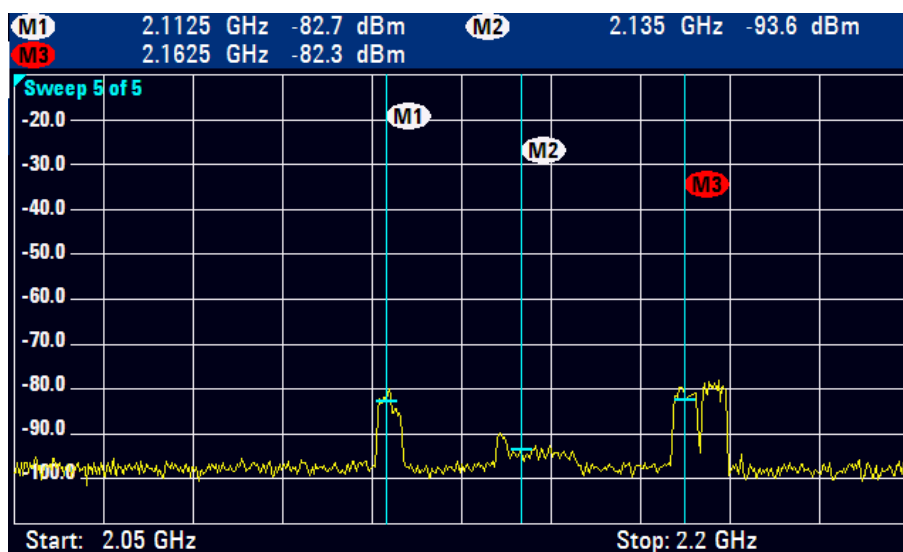


Obrázek 62 - Model - 3G/LTE 1,8 GHz - Dipólová anténa (vlastní tvorba)

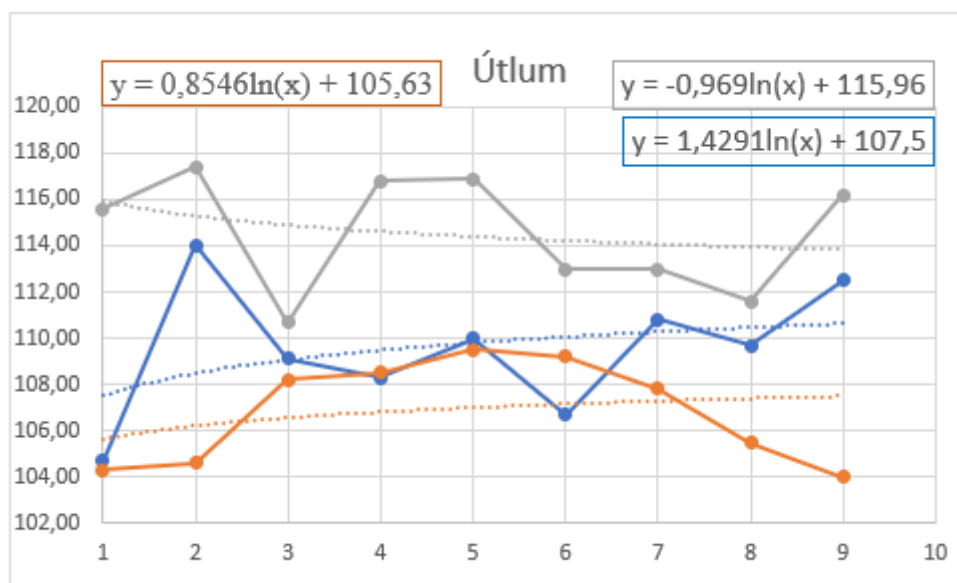
### 3.2.7 Měření LTE - 2,1 GHz

Tabulka 6 - Měření LTE - 2,1 GHz

Frekvence [GHz]	Výkon signálu [dBm]										
	Okno		Chodba								
	Otevřené	Zavřené	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2,1125	-60,2	-75,6	-82,7	-92	-87,1	-86,3	-88	-84,7	-88,8	-87,7	-90,5
2,135	-86,4	-82,6	-93,6	-95,4	-88,7	-94,8	-94,9	-91	-91	-89,6	-94,2
2,1625	-63,6	-76,3	-82,3	-82,6	-86,2	-86,5	-87,5	-87,2	-85,8	-83,5	-82



Obrázek 63 - Spektrální analyzátor 2,1 GHz (vlastní tvorba)



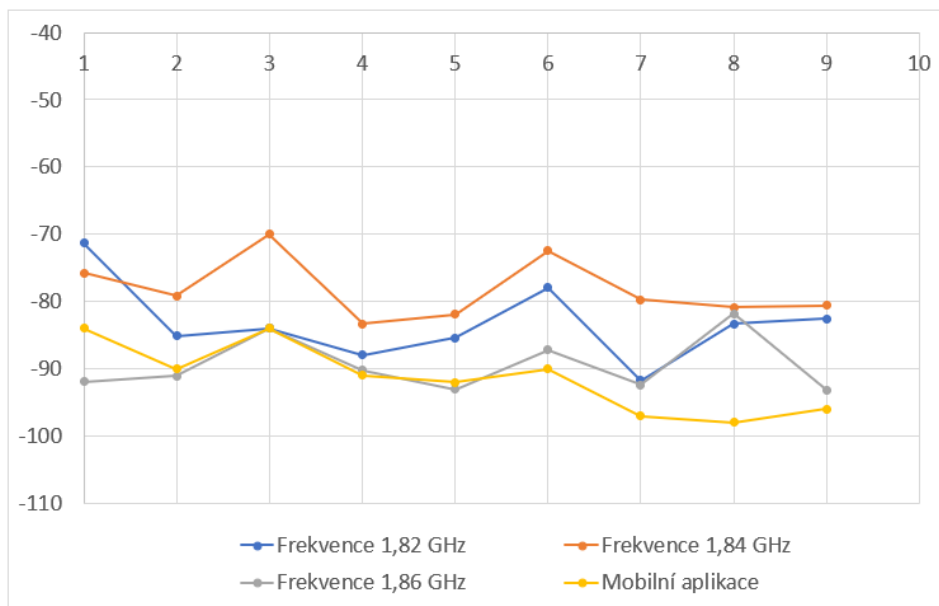
Obrázek 64 - Model - LTE 2,1 GHz - Dipólová anténa (vlastní tvorba)

### 3.3 Porovnání SW aplikací a laboratorního měření

Porovnání výsledků měření pro mobilní systém bylo možné jen pro frekvenci 1,8 GHz. Jedná se o pásmo označované číslem 3, které využívají všichni operátoři pro jednoduchý přechod od generace 3G směrem k LTE. Jako referenční měření jsem vybral frekvenci 1,82 GHz, připojení telefonu k této frekvenci bohužel SW aplikace neumožňuje. Měření nemohla být prováděna zcela ve stejném čase, odchylky v měřeních ale ani tak nejsou velké a pohybují se od 0 dBm do 14 dBm, střední hodnota odchylky měření je 8 dBm. Závěry z měření sice nelze z malého počtu dat uvádět jako zobecňující, i přesto lze brát hodnoty měřené SW aplikací jako odpovídající skutečnosti. Měření je samozřejmě ovlivněno i okamžitou polohou antén a stavem sítě.

Tabulka 7 - Porovnání měření pro frekvence 1,8 [GHz]

		Chodba								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Frekvence [GHz]	1,82 GHz	-71,3	-85,1	-84	-88	-85,4	-77,9	-91,7	-83,3	-82,6
	1,84 GHz	-75,8	-79,2	-70	-83,3	-81,9	-72,5	-79,7	-80,9	-80,6
	1,86 GHz	-91,9	-91,1	-84	-90,2	-93,1	-87,2	-92,4	-81,8	-93,2
	Mobilní aplikace	-84	-90	-84	-91	-92	-90	-97	-98	-96



**Obrázek 65 - Porovnání měření pro frekvenci 1,8 GHz (vlastní tvorba)**

## Závěr

Cílem teoretické části bylo popsat a vysvětlit princip a použití rádiového monitoringu. V práci je popsána důležitost monitoringu jak pro Českou republiku, tak pro aplikace využívané v celém světě. Uvedeny jsou způsoby jeho použití a důvody pro užívání v různém prostředí. Dále je v teoretické části popsáno rádiové spektrum, včetně tabulky rozdělení frekvenčních pásem a popsání jejich vlastností. Popsány jsou spektrální a signálové analyzátoři, jejich využití a princip činnosti, základní parametry antén a jejich důležitost pro vysílání a přijímání signálu, dále podrobnější popsání antén důležitých pro tuto práci. V práci je také vysvětleno softwarově definované rádio a jeho využití v moderní měřicí technice, způsoby šíření vln a popis jednotlivých geometrií spojení důležitých pro tuto práci, způsoby lokalizace zdroje signálu. Na závěr teoretické části jsou popsány vlastnosti SW aplikací v mobilních telefonech a jejich využití pro měření a monitoring datových sítí. Blíže byly popsány aplikace, které byly použity v praktické části.

Cílem praktické části bylo ověřit vlastnosti SW nástrojů pro monitoring datových sítí. Datové sítě použité v měření byly GSM, 3G, LTE a Wi-Fi. Při měření s mobilními telefony za pomoci SW aplikací byla provedena měření sítí Wi-Fi a sítí LTE, zbylá měření nebyla z důvodu nespolehlivosti mobilního připojení provedena. Při měření Wi-Fi sítí se využilo univerzitní síť Eduroam a služby hotspot poskytující mobilními telefony. Ověření s použitím laboratorního vybavení bylo provedeno měřením pevně daných frekvencí a frekvenčních pásem určených pro dané sítě a následným porovnáním vlastností šíření s hodnotami naměřenými pomocí SW aplikací. Z naměřených hodnot byly sestrojeny mapy pokrytí a jednoduché modely vhodné pro daná měření.

Při zanedbání vlivů ovlivňujících šíření signálu proměnných v čase a nezaznamenávání hodnot z SW aplikace a laboratorního vybavení v tu samou dobu, můžeme zhodnotit, že měření pomocí SW aplikací je věrohodné a se správnou aplikací a mobilním zařízením se dá použít pro ověřování základních vlastností datových sítí.

## Literatura

- [1] *Mobilní měřicí pracoviště pro monitoring* pokrytí vybraných rádiových signálů [online]. [cit. 2021-07-26]. Dostupné z: [https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/68068/ValentaV\\_Monitoring\\_pokryti\\_JP\\_2017.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/68068/ValentaV_Monitoring_pokryti_JP_2017.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- [2] *Základy správy rádiového spektra* [online]. 2019 [cit. 2021-07-26]. Dostupné z: <https://www.vovcr.cz/odz/tech/503/page00.html>
- [3] *Český telekomunikační úřad: Rádiové spektrum* [online]. [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://www.ctu.cz/radiove-spektrum>
- [4] *GESCHEIDTOVÁ, Eva, Miloslav STEINBAUER a Jiří REZ. Měření v elektrotechnice.* Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické, 2002. ISBN 80-214-1990-3.
- [5] *HOFFMANN, Karel a Přemysl HUDEC. Vysokofrekvenční a mikrovlnná měření.* Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03442-9.
- [6] *Rohde&Schwarz* [online]. [cit. 2021-07-26]. Dostupné z: [https://www.rohde-schwarz.com/cz/home\\_48230.html](https://www.rohde-schwarz.com/cz/home_48230.html)
- [7] *Live Rotorama: Antény* [online]. [cit. 2021-07-28]. Dostupné z: <https://live.rotorama.cz/tutorial/komponenty/anteny/>
- [8] *MAZÁNEK, Miloš a Pavel PECHAČ. Šíření elektromagnetických vln a antény.* Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2004. ISBN 80-01-03032-6.
- [9] *Dipólová anténa: Taoglas* [online]. [cit. 2021-07-28]. Dostupné z: <https://www.taoglas.com/product/gw-71-2-45-8ghz-5dbi-dipole-antenna-rp-smam-hinged/>
- [10] *PROCHÁZKA, Miroslav. Antény: encyklopedická příručka.* 3., rozš. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-166-7.
- [11] *Pruťová anténa: hamashop* [online]. [cit. 2021-07-28]. Dostupné z: <https://www.hamashop.cz/hama-short-rod-antenna-universal>
- [12] *Plošná anténní řada v pásmu X* [online]. 2011 [cit. 2021-07-28]. Dostupné z: <https://dk.upce.cz/bitstream/handle/10195/38811/Ko?sequence=1>

- [13] *Mikropásková anténa: Researchgate [online]*. [cit. 2021-07-28]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/330277091\\_Single\\_Feed\\_Circularly\\_Polarized\\_Crescent-Cut\\_and\\_Extended\\_Corner\\_Square\\_Microstrip\\_Antennas\\_for\\_Wireless\\_Biotelemetry/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/330277091_Single_Feed_Circularly_Polarized_Crescent-Cut_and_Extended_Corner_Square_Microstrip_Antennas_for_Wireless_Biotelemetry/figures?lo=1)
- [14] MARŠÁLEK, Roman. *Digital predistortion and its integration in the software defined radio transceiver: Číslicové předzkreslení a jeho integrace v softwarově definovaném vysílači : a thesis of a talk for the professorial appointive procedure in the study field of electronics and communications*. Brno: VUTIUM, 2015. ISBN 978-80-214-5201-5.
- [15] NĚMEC, Zdeněk. *Vybrané rádiové systémy: Blok3 - Radiostanice*. UPCE.
- [16] *Alaris antennas: Lokalizace zdroje signálu [online]*. [cit. 2021-07-31]. Dostupné z: <https://www.alarisantennas.com/blog/an-introduction-to-radio-direction-finding/>
- [17] *CellIdFinder [online]*. [cit. 2021-08-03]. Dostupné z: <https://cellidfinder.com/mcc-mnc>
- [18] *Svět Aplikací: Operátorská síť [online]*. [cit. 2021-08-03]. Dostupné z: <https://svetaplikaci.tyden.cz/netmonster-operatorska-sit-dohledem/>
- [19] *Network Cell Info Lite [online]*. [cit. 2021-08-03]. Dostupné z: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.wilysis.cellinfolite&hl=cs&gl=US>
- [20] *Understanding the Network Terms SSID, BSSID, and ESSID: Juniper [online]*. [cit. 2021-08-03]. Dostupné z: [https://www.juniper.net/documentation/en\\_US/junos-space-apps/network-director3.7/topics/concept/wireless-ssid-bssid-ssid.html](https://www.juniper.net/documentation/en_US/junos-space-apps/network-director3.7/topics/concept/wireless-ssid-bssid-ssid.html)
- [21] *WiFi Monitor [online]*. [cit. 2021-08-03]. Dostupné z: [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.signalmonitoring.wifimonitoring&hl=en\\_US&gl=US](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.signalmonitoring.wifimonitoring&hl=en_US&gl=US)
- [22] *Cell Signal Monitoring [online]*. [cit. 2021-08-03]. Dostupné z: <https://signalmonitoring.com/en/cell-signal-monitor-description>