

UNIVERZITA PARDUBICE

Fakulta elektrotechniky a informatiky

Určování polohy Wi-Fi zařízení

Bc. Jan Šafařík

Diplomová práce

2010

Univerzita Pardubice
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan ŠAFAŘÍK**
Osobní číslo: **I070167**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komunikační a řídicí technologie**
Název tématu: **Určování polohy WiFi zařízení**
Zadávající katedra: **Katedra elektrotechniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Proveďte analýzu dostupných produktů (systémů) pro určování polohy v systému 802.11 z pohledu přesnosti (za jakých podmínek), použitých metod zpracování signálu, hardwarového vybavení, náročnosti SW aplikace.

V praktické části navrhnete vlastní systém pro určování polohy ve známém prostředí Fakulty elektrotechniky a informatiky pro známé rozložení AP při využití modelů šíření signálu a při proměření výkonových charakteristik prostředí. Pro vyhodnocení výsledků proveďte statistickou analýzu měřených dat a vytvořte software pro určování polohy ve vybraných částech budovy.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

<http://www.ekahau.com>

Pechač, P.: Šíření vln v zástavbě, BEN - technická literatura, 2006

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
Katedra elektrotechniky

Datum zadání diplomové práce: **15. ledna 2010**

Termín odevzdání diplomové práce: **14. května 2010**



prof. Ing. Simeon Karamazov, Dr.
děkan



Ing. Zdeněk Němec, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 31. března 2010

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem tuto práci 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.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 20. 8. 2010

Bc. Jan Šafařík

Poděkování

V úvodu bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce, Ing. Zdeňku Němcovi, Ph.D. za rady, připomínky a návrhy týkající se diplomové práce a za odborné vedení při navrhování systému určování polohy.

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na problematiku určování polohy Wi-Fi zařízení v budovách. V teoretické části jsou popsány metody určování polohy a hlavní rysy dostupných lokalizačních systémů. Praktická část obsahuje návrh systému určování polohy využívající metodu měření přijímaného výkonu z přístupových bodů sítě podle standardu 802.11 g. Funkčnost navrženého systému je ověřena softwarovým programem, který umožňuje modelovat pohyb objektu a následně odhadnout polohu v testovaném prostředí.

Klíčová slova

určování polohy v budovách; modelování; WiFi; 802.11 g

Title

WiFi based localization system

Annotation

The thesis focuses on indoor localization of Wi-Fi devices. It concentrates on position determination methods and main features of present localization systems. In the practical part, there is a design of signal power measuring method for Wi-Fi devices localization inside buildings, based on 802.11g standard wireless network. To verify the proposed method functionality the computer model was created.

Keywords

indoor localization; modeling; Wi-Fi; 802.11 g

Obsah

Seznam zkratk	8
Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Úvod	12
1 Wi-Fi standard IEEE 802.11	13
1.1 IEEE 802.11 b,g	13
1.2 IEEE 802.11a.....	15
1.3 IEEE 802.11 n	15
2 Metody určování polohy	17
2.1 Identifikace buňky (Cell ID)	17
2.2 Měření času příchodu signálů ToA (Time of Arrival)	17
2.3 Měření rozdílů v časech příchodů signálů TDoA (Time Difrerence of Arrival).....	18
2.4 Měření úhlu dopadu AOA (Angle of Arrival).....	19
2.5 Měření síly signálu RSSI (Received Signal Strength Indication)	19
2.5.1 Metoda korelace prostředí	20
2.5.2 Metoda modelování	20
3 Systémy určování polohy v budovách	22
3.1 Rádiový signál	22
3.2 Systémy využívající rádiový signál.....	22
3.2.1 Locata	22
3.2.2 SpotON.....	22
3.2.3 Ekahau	22
3.2.4 Systémy využívající UWB signál.....	23
3.2.5 Systémy využívající Bluetooth standard	23
4 Pasivní RFID technologie	24
4.1 Pasivní tag	24
4.2 Porovnání RFID a čárových kódů	25
4.3 Rozdělení tagů dle použití	26
5 Aktivní RFID – RTLS	27
5.1 Aktivní tagy	27
5.2 Topologie systému.....	27

5.2.1	Topologie centralizovaného řešení.....	28
5.2.2	Topologie řešení se samostatnými přístupovými body	28
5.3	Rozdělení RTLS dle používané infrastruktury	29
5.3.1	Proprietární systémy	29
5.3.2	Systémy používající standardizované sítě	29
6	Popis Wi-Fi RTLS systému.....	31
6.1	Princip systému	31
6.2	Topologie systému.....	31
6.3	Westico Visibility Platform	32
6.3.1	Westico Sensor Server	33
6.3.2	Westico Map Server	34
6.3.3	Westico Visibility Viewer	34
6.4	Westico W100 tag.....	34
6.5	Vlastnosti systému.....	35
	• Zatížení WiFi.....	35
	• Service provider funkcionalita.....	36
	• Ochrana soukromí	36
	• Integrace - Enterprise architektura	36
6.6	Použití Westico RTLS systému.....	36
6.6.1	Sledování mobilních zařízení, osob, zboží a manipulační techniky.....	36
6.6.2	Sběr dat ze senzorů.....	37
6.6.3	Funkční tlačítka	37
7	Návrh systému určování polohy v budovách	38
7.1	Testovací prostředí	38
7.2	Rozmístění AP.....	39
8	Měřicí sestava (software a hardware).....	40
9	Ověření konstantně vysílaného výkonu.....	42
10	Statistická analýza naměřených dat	45
10.1	Postup analýzy dat.....	45
10.2	Analýza naměřených dat v jednom bodě polohy.....	47
10.2.1	Průzkumová analýza dat (EDA).....	47
10.2.2	Ověření předpokladů výběru dat	55
10.2.3	Transformace dat	55

10.2.4	Závěr ze statistické analýzy dat	56
11	Výsledky měření	57
11.1	Podmínky měření.....	57
11.2	Naměřené hodnoty.....	57
11.3	Závěr z měření signálu	65
12	Modely šíření.....	67
12.1	Vliv Fresnelova zlomu	67
12.2	Použité modely	68
12.3	Modely šíření signálu pro Chodby	69
12.4	Modely šíření signálu pro místnosti	73
12.5	Ray Tracing model	77
12.6	Porovnání měření s nalezenými modely.....	78
12.7	Závěr z modelování signálu.....	81
13	Algoritmy určení polohy	82
13.1	Úprava map pro výpočty	82
13.2	Určení odhadu polohy metodou největšího korelačního koeficientu	82
13.3	Určení odhadu polohy metodou nejmenšího rozdílu.....	85
13.4	Váhování rozdílů	87
14	Přesnost určení polohy	88
14.1	Změřená mapa pokrytí prostředí.....	88
14.2	Namodelovaná mapa pokrytí prostředí.....	90
14.3	Závěr analýzy přesnosti určení polohy	93
15	Analýza chyb	94
15.1	Příčina největší chyby metody rozdílů	94
15.2	Příčina největší chyby metody korelačního koeficientu.....	95
15.3	Metody zpřesňující hledanou polohu	97
15.3.1	Hardwarové zpřesnění polohy	97
15.3.2	Softwarové zpřesnění polohy	97
16	Software pro určení polohy	99
	Závěr	101
	Použitá literatura	102
	Příloha A – Pokrytí celého měřeného prostředí Wi-Fi signálem	8
	Příloha B – Pokrytí celého prostředí modelem signálu.....	9

Seznam zkratek

AP	Access Point
RFID	Radio Frequency Identification
RTLS	Real-time locating systems
WLAN	Wireless Local Area Network
WIFI	Wireless Fidelity
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
ToA	Time of Arrival
TDoA	Time Difference of Arrival
AOA	Angle of Arrival
RSSI	Received Signal Strength Indication
UWB	Ultra-wideband
RTK	Real Time Kinematic
EDA	Exploratory data analysis

Seznam obrázků

Obrázek 1.1 - Překrývání kanálů 802.11g	14
Obrázek 1.2 - Efektivní rozložení bezdrátových kanálů	14
Obrázek 1.3 - MIMO technologie	16
Obrázek 2.1 – Celulární systém [6]	17
Obrázek 2.2 – Měření tranzitního času signálu [6]	18
Obrázek 2.3 – Měření rozdílů tranzitního času [6].....	19
Obrázek 2.4 – Měření úhlu dopadu	19
Obrázek 4.1 - RFID pasivní tag (Alien ALN-9629 Square) [9].....	25
Obrázek 5.1 - Aktivní tag	27
Obrázek 5.2 – Topologie centralizovaného řešení [10].....	28
Obrázek 5.3 – Topologie řešení se samostatnými přístupovými body [10]	29
Obrázek 6.1 - Součásti Westico Visibility Systemu.....	31
Obrázek 6.2 - Topologie Westico Visibility Systému [7]	32
Obrázek 6.3 - Topologie Westico Visibility Platform [7].....	33
Obrázek 6.4 - Westico W100 tag [7]	34
Obrázek 7.1 - Měření prostředí s rozmístěním přístupových bodů 1.NP	38
Obrázek 8.1 - Měření pomocí Network Stumbleru	40
Obrázek 8.2 - Měřící pracoviště	41
Obrázek 9.1 - Ověření konstantně vysílaného výkonu.....	42
Obrázek 9.2 - Měření úrovně wifi signálu AP F, 30 minut.....	43
Obrázek 10.1 - Q-Q graf.....	48
Obrázek 10.2 - Diagram rozptýlení	48
Obrázek 10.3 - Krabicový graf	49
Obrázek 10.4 - Graf trendu.....	49
Obrázek 10.5 - Kvantilový graf	50
Obrázek 10.6 - Graf rozptýlení s kvantily	50
Obrázek 10.7 - Histogram po vynechání odlehlých hodnot	51
Obrázek 10.8 - Odhad hustoty po vynechání odlehlých hodnot	52
Obrázek 10.9 - Krabicový graf po vynechání odlehlých hodnot.....	52
Obrázek 10.10 - Graf trendu po vynechání odlehlých hodnot	53
Obrázek 10.11 - Kruhový graf po vynechání odlehlých hodnot	53
Obrázek 10.12 – Histogram normálního rozdělení z druhého měření	54
Obrázek 10.13 - Histogram normálního rozdělení ze třetího měření	54
Obrázek 10.14 - Box-Coxova transformace, odhad optimálního λ	56
Obrázek 11.1 - Úrovně wifi signálů v prostředí Chodba1	58
Obrázek 11.2 - Absolutní hodnotu rozdílů obou měření pro přístupové body B a F	59
Obrázek 11.3 - Úrovně Wi-Fi signálů v prostředí Chodba2.....	59
Obrázek 11.4 - Rozložení měřících bodů Místnosti G	60
Obrázek 11.5 - Úrovně Wi-Fi signálů v prostředí Místnost G	61
Obrázek 11.6 - Rozložení měřících bodů Místnosti A	62
Obrázek 11.7 - Úrovně Wi-Fi signálů v prostředí Místnost A (50 bodů)	62

Obrázek 11.8 - Rozvržení měřících bodů Místnosti A (78 bodů)	63
Obrázek 11.9 - 3D pokrytí Místnost A Wi-Fi signálem z AP B (78 bodů).....	64
Obrázek 11.10 - 3D pokrytí Místnost A Wi-Fi signálem z AP Z (78 bodů).....	65
Obrázek 12.1 - Nalezený model pro AP B Chodby 1	70
Obrázek 12.2 - Nalezený model pro AP F Chodby 1	71
Obrázek 12.3 - Nalezený model pro AP Z Chodby 1.....	72
Obrázek 12.4 - Nalezený model pro AP G Chodby 1	73
Obrázek 12.5 - Nalezené modely pro místnost G.....	74
Obrázek 12.6 - Nalezený model pro AP Z místnosti A.....	75
Obrázek 12.7 - Nalezený model pro AP B místnosti A	76
Obrázek 12.8 - Ukázka Ray-Tracing modelování pro 6 měřících bodů.....	77
Obrázek 12.9 - Nalezené úrovně signálu Ray-Tracing modelu pro 6 měřících bodů	78
Obrázek 12.10 - Měřené prostředí s rozmístěním přístupových bodů 1.NP	79
Obrázek 12.11 - 3D pokrytí Místnost A Wi-Fi signálem z AP B, 78 bodů	79
Obrázek 12.12 - 3D pokrytí Místnost A One-Slope modelem signálu z AP B, 78 bodů....	80
Obrázek 12.13 - 3D pokrytí Místnost A Ray-Tracing modelem signálu z AP B, 78 bodů.	80
Obrázek 13.1 – Velikost korelačních koeficientů pro hledání jedné polohy.....	84
Obrázek 13.2 - Maximální korelační koeficient stejný ve třech výpočtech	85
Obrázek 13.3 - Rozdíly jednotlivých prvků porovnávaných vektorů	87
Obrázek 13.4 - Suma rozdílů jednotlivých prvků porovnávaných vektorů.....	87
Obrázek 14.1 - Graf přesnosti korelační metody pro změřenou mapu pokrytí.....	88
Obrázek 14.2 - Graf přesnosti metody rozdílů pro změřenou mapu pokrytí.....	89
Obrázek 14.3 - Graf přesnosti korelační metody pro mapu modelů	91
Obrázek 14.4 - Graf přesnosti metody rozdílů pro mapu modelů.....	91
Obrázek 15.1 - Největší chyba určení polohy pro metodu rozdílů.....	94
Obrázek 15.2 - Příčina největší chyby metody rozdílů	95
Obrázek 15.3 - Největší chyba určení polohy pro korelační metodu	95
Obrázek 15.4 - Příčina největší chyby korelační metody	96
Obrázek 15.5 – Hranice s vysokými korelačními koeficienty.....	98
Obrázek 16.1 - Grafické prostředí softwaru pro určení polohy.....	99

Seznam tabulek

Tabulka 1.1 - Přehled standardů IEEE 802.11[1].....	13
Tabulka 1.2 - Přehled frekvencí a kanálů 802.11g[2]	13
Tabulka 4.1 - Struktura EPC kódu [8] [9]	24
Tabulka 4.2 - Přidělená frekvenční pásma pro UHF tagy [8] [9].....	24
Tabulka 6.1 - Technické údaje tagu [7].....	35
Tabulka 10.1 - Tabulka statistických parametrů pro změřený soubor dat	55
Tabulka 11.1 - Korelační koeficienty mezi měřeními Chodby 1	58
Tabulka 11.2 - Korelační koeficienty mezi měřeními Chodby 2	60
Tabulka 11.3 - Tabulka korelačních koeficientů mezi měřeními Chodba2	61
Tabulka 11.4 - Korelační koeficienty mezi měřeními Chodby 2	63

Tabulka 12.1 - Korelační koeficienty pro Chodbu 1 AP B	70
Tabulka 12.2 - Tabulka korelačních koeficientu pro Chodbu 1 AP F.....	71
Tabulka 12.3 - Korelační koeficienty pro Chodbu 1 AP Z	72
Tabulka 12.4 - Korelační koeficienty pro Chodbu 1 AP G.....	73
Tabulka 12.5 - Korelační koeficienty pro místnost G	74
Tabulka 12.6 - Tabulka korelačních koeficientu pro místnost A	76
Tabulka 13.1 - Tabulka korelací sloupcových vektorů	83
Tabulka 13.2 - Tabulka sumy rozdílů prvků sloupcových vektorů.....	86
Tabulka 14.1 – Přesnost pro chodbu	89
Tabulka 14.2 – Přesnost pro místnosti	90
Tabulka 14.3 – Přesnost pro celé prostředí	90
Tabulka 14.4 – Přesnost pro chodbu	92
Tabulka 14.5 – Přesnost pro místnosti	92
Tabulka 14.6 – Přesnost pro celé prostředí	93

Úvod

Diplomová práce se zabývá problematikou určování polohy ve vnitřních prostorách budov. Systémy určování polohy se můžou rozdělit na dva způsoby použití. První je určování aktuální polohy uživatele, tak jak ho známe z GPS. Druhý způsob použití je, že uživatel prostřednictvím např. webové aplikace sleduje polohu označeného objektu. Uplatnění druhého způsobu použití se nachází např. při sledování mobilních zařízení. Při identifikaci polohy mohou být drahé nemocniční přístroje efektivněji využívány. Další využití tento systém nalézá při zajišťování bezpečnosti osob. Při havárii lze zjistit počet pracovníků a identifikovat aktuální nebo alespoň poslední známou polohu. Uplatnění se bezesporu nalezne také v logistických firmách, kde je velký pohyb zboží a manipulační techniky. Pomocí označení těchto objektů je umožněno efektivní řízení.

Cílem této práce je navrhnout systém, který bude schopen určovat polohu na základě změřených úrovní signálů od dostupných přístupových bodů Wi-Fi sítě.

V teoretické části v kapitole 1 jsou popsány specifikace Wi-Fi standardu 802.11, popis signálu tohoto standardu je z pohledu jeho využití pro určování polohy velmi důležitý. V kapitole 2 je uvedeno pět základních metod určování polohy, které je možné využít v uvedeném prostředí. Kapitola 3 popisuje princip funkce pěti odlišných systémů určování polohy, které se používají právě ve vnitřních prostorách. Dále jsou popsány pasivní a aktivní RFID systémy. Na konci teoretické části v kapitole 6 je uveden konkrétní komerční systém *Westico Visibility System*, který pro určování polohy používá měření úrovní signálů od stávající infrastruktury Wi-Fi sítě.

V první kapitole praktické části je popsáno zvolené testovací prostředí chodeb a místností spolu s označením přístupových bodů. Další dvě kapitoly jsou zaměřeny na statistickou analýzu dat. Zkoumá se stabilita příjmu vysílaného výkonu přístupových bodů a přiřazení referenčních poloh přijímače k naměřeným datům. V kapitole 11 jsou shrnuty výsledky měření úrovní Wi-Fi signálů ve vybraných bodech budovy. Dále jsou uvedeny navržené modely signálu, které s určitou přesností popisují naměřené signálové mapy pokrytí sledovaného prostředí. V kapitole 13 jsou popsány dva algoritmy, které vypočítávají polohu přijímače z provedeného reálného měření nebo z teoretických modelů šíření signálu. Na konci práce se zkoumá přesnost takto navrženého systému spolu s analýzou největších chyb obou algoritmů.

1 Wi-Fi standard IEEE 802.11

IEEE 802.11 je původní standard pro lokální bezdrátové sítě (WLAN) z roku 1997. Označením 802.11x jsou rozlišeny další specifikace tohoto standardu, které následovaly. Pomocí dodatku jsou definovány parametry přenosu jako např. používaná modulace, rychlost přenosu dat a další. Nejpoužívanější specifikace 802.11 jsou označeny písmeny *a*, *b*, *g*, *n*. Dále jsou uvedeny jejich definice z pohledu využití pro systémy určování polohy. Základní přehled těchto standardů je v tabulce 1.1 [1].

Tabulka 1.1 - Přehled standardů IEEE 802.11[1]

Standard	Rok vydání	Pásmo[GHz]	Maximální	Vysílací výkon [mW]	Fyzická vrstva
IEEE 802.11	1997	2.4	2		DSSS
IEEE 802.11a	1999	5	54	40-800	OFDM
IEEE 802.11b	1999	2.4	11	200	DSSS
IEEE 802.11g	2003	2.4	54	65	OFDM
IEEE 802.11n	2009	2.4 nebo 5	až 600		OFDM, MIMO

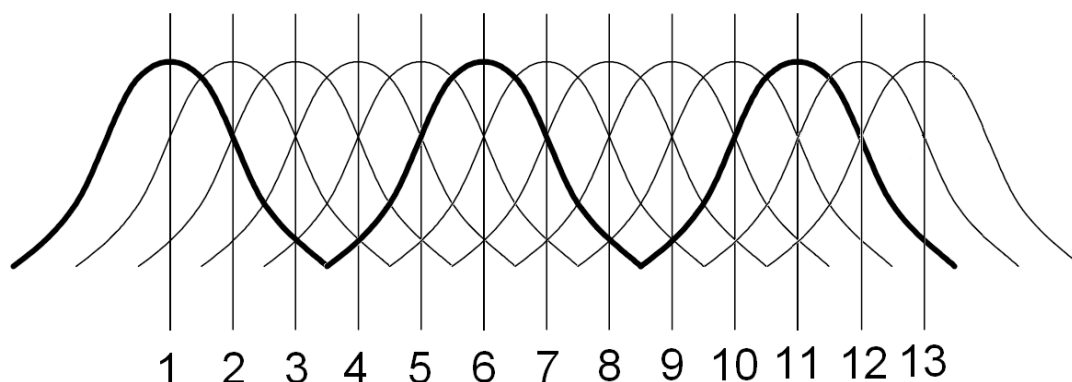
1.1 IEEE 802.11 b,g

Nejrozšířenější specifikací dneška je 802.11g, na trh přišla v roce 2003. Spolu s 802.11b využívají bezlicenční frekvenční pásmo 2,4 GHz, což je nevýhoda z pohledu rušení. Zařízení jako Bluetooth, mikrovlnné trouby, bezdrátové telefony využívají stejné frekvenční pásmo a může tedy docházet k interferenci. Česká republika má k dispozici 13 kanálů s frekvencemi, které jsou zapsány v tabulce 1.2 [2].

Tabulka 1.2 - Přehled frekvencí a kanálů 802.11g[2]

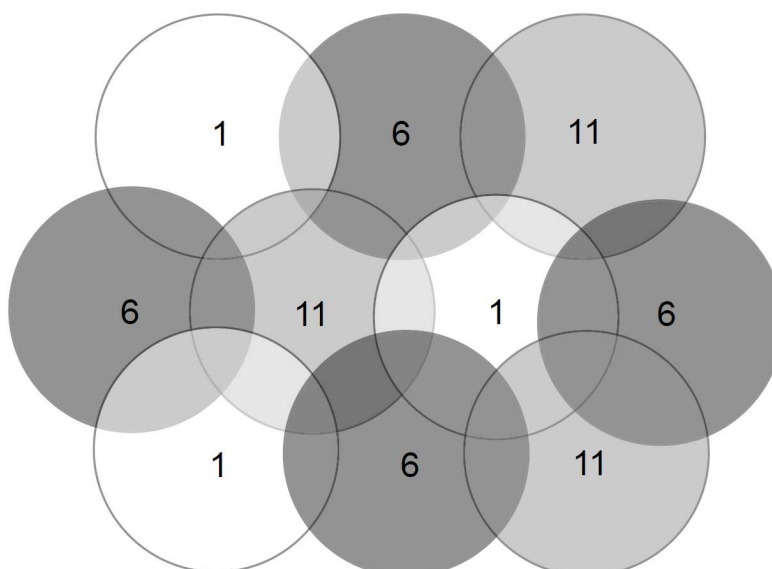
kanál	f (GHz)	kanál	f (GHz)
1	2.412	8	2.447
2	2.417	9	2.452
3	2.422	10	2.457
4	2.427	11	2.462
5	2.432	12	2.467
6	2.437	13	2.472
7	2.442		

Jak je vidět frekvenční odstup kanálů je 5 MHz. Bohužel při použití metody rozprostřeného spektra je šířka kanálů 22 MHz, to znamená rušení sousedních čtyřech kanálů. Graficky je zobrazeno překrývání kanálů na následujícím obrázku.



Obrázek 1.1 - Překrývání kanálů 802.11g

Zde je vidět, že pouze 3 kanály ze 13 se nepřekrývají a tudíž se navzájem neruší. S touto nepříjemností je nutné počítat při navrhování a následné stavbě bezdrátové sítě. Pokud má být infrastruktura využita pro účely určování polohy, je nutné, aby v místech určování polohy byly dostupné signály z co nejvíce přístupových bodů. Tady může nastat problém právě s rušením. Efektivní rozložení bezdrátových kanálů z pohledu rušení je na obrázku 1.2 [2].



Obrázek 1.2 - Efektivní rozložení bezdrátových kanálů

1.2 IEEE 802.11a

Jedná se o jednu z nejstarších specifikací WLAN. Vývoj začal dříve než na 802.11b. Využívá bezlicenční pásmo 5 GHz. To je méně vytíženo a dovoluje využít více kanálů bez vzájemného rušení. Dále zde není rušení od Bluetooth, bezdrátových telefonů a dalších zařízení jako u 802.11 b, g. Používané frekvence jsou od 5,1 GHz do 5,3 GHz a od 5,725 GHz do 5,825 GHz. Lze využít celkem 8 nezávislých nepřekrývajících se kanálů. To je obrovská výhoda pro systémy určování polohy [2].

1.3 IEEE 802.11 n

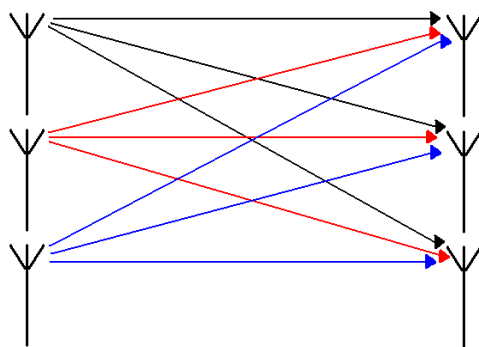
Nejnověji využívaný standard je 802.11n. Cílem vývoje bylo vyrovnat se tehdejšímu Ethernetu a dosáhnout tak přenosové rychlosti alespoň 100 Mbit/s. Pracuje v pásmu jak 2,4 GHz, tak i 5 GHz. Je zpětně plně kompatibilní s původními normami stávající bezdrátové sítě 802.11a/b/g, díky tomu je možné nová zařízení propojit se stávajícími, ale za cenu nižší datové propustnosti. Teoretická maximální rychlost přenosu je 600 Mbit/s na fyzické vrstvě, avšak v současnosti reálná rychlost přenosu je 130 Mbit/s. Ztráta je způsobena součtem režii podvrstev a pracovním režimem WiFi sítě. Zvýšení přenosové rychlosti se u této specifikace dosahuje pomocí třech metod. MIMO technologie (Multiple-Input Multiple-Output), 40MHz kanál na fyzické vrstvě a shlukování rámců na podvrstvě MAC [2] [3] [4].

Využití 40 MHz kanálu

Jde o metodu, která zdvojnásobuje přenosovou rychlost na fyzické vrstvě. Tato technologie umožňuje současné využití dvou oddělených nepřekrývajících se kanálů pro přenos dat. Používají se 2 sousední 20MHz kanály. Některé zařízení „n“ specifikace umožňují volbu přidruženého kanálu na nejbližší vyšší nebo nejbližší nižší. [3] [4]

MIMO technologie

MIMO technologie využívá vícero vysílacích a přijímacích antén. Kapacita přenosu se tak zvyšuje díky použití více radiových kanálů, které se však vejdou do šířky jediného kanálu. Propustnost roste s počtem použitých antén. Princip MIMO technologie je na následujícím obrázku. Hlavní výhodou tohoto systému je, že využívá vícecestné šíření signálu. Hodí se proto do vnitřních prostor budov, kde se odrazy dají předpokládat ve velké míře. U předchozích standardů tato skutečnost vedla k interferencím a následné degradaci přenášené informace. Zde však více cest a algoritmy založené na korelaci posilují rekonstrukci přijatého signálu z antén [3] [4].



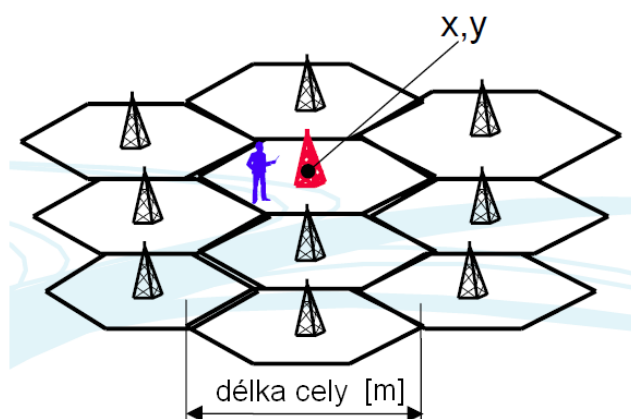
Obrázek 1.3 - MIMO technologie

2 Metody určování polohy

V této kapitole je stručný přehled o metodách, které se dají využít při určování polohy v budovách.

2.1 Identifikace buňky (Cell ID)

Lze využít tam, kde je systém tvořen strukturou buněk obrázek 2.1. Každý vysílač má svůj omezený dosah. Na základě přijatého signálu jsou identifikovány dostupné vysílače. Ze znalosti dosahu a polohy vysílačů lze určit polohu přijímače. Přesnost je přímo závislá na velikosti buňky a počtu dostupných signálů od vysílačů. V případě standardu 802.11g je dosah přístupového bodu ve vnitřních prostorách budov maximálně 30m. Za předpokladu zachycení signálu pouze od jednoho přístupového bodu je tedy přesnost 30m. Za podmínky, že se jednotlivé buňky budou překrývat, je dosažitelná přesnost výrazně lepší. Výhoda této metody spočívá v jednoduchosti, naopak nevýhoda je menší přesnost. Pro svou jednoduchost je možné ji použít jako doplněk pro více přesné metody [5] [6].



Obrázek 2.1 – Celulární systém [6]

2.2 Měření času příchodu signálů ToA (Time of Arrival)

Tato metoda je založena na skutečnosti, že rychlost šíření elektromagnetického signálu je přibližně konstantní. Měřením času příchodu signálu lze určit vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem podle vztahu (2.1):

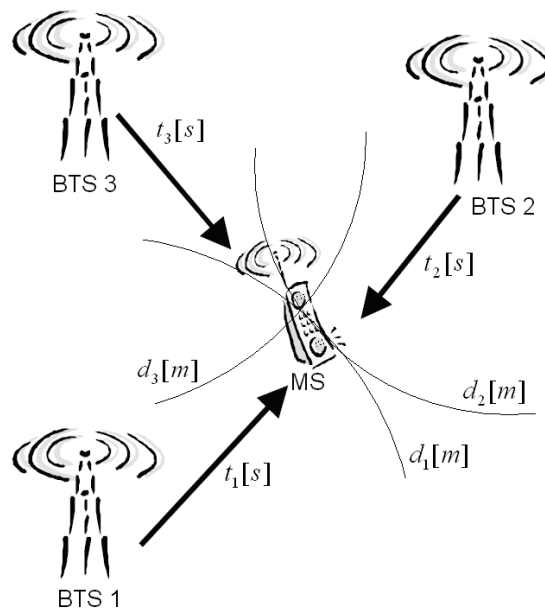
$$d = \frac{c}{t}, \quad (2.1)$$

kde d [m] je vzdálenost mezi vysílací a přijímací anténou,

c [m/s] je rychlost šíření elektromagnetického záření vakuu,
 $3 \cdot 10^8$ m/s ,

t [s] je tranzitní čas signálu.

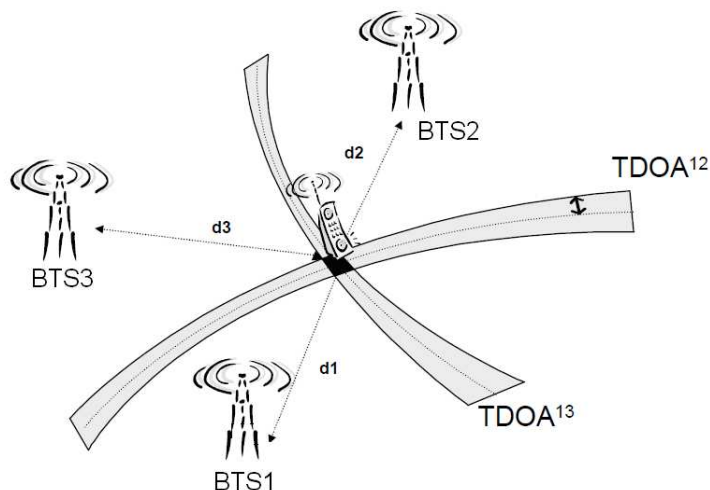
Pro přesný výsledek je potřeba stanovit v rovině tři a v prostoru čtyři vzdálenosti. Příklad určení polohy je na obrázku 2.2. Nevýhodou této metody je nutnost synchronizace času na přijímači a vysílači, což má obrovský vliv na přesnost [5] [6].



Obrázek 2.2 – Měření tranzitního času signálu [6]

2.3 Měření rozdílů v časech příchodů signálů TDoA (Time Difrerece of Arrival)

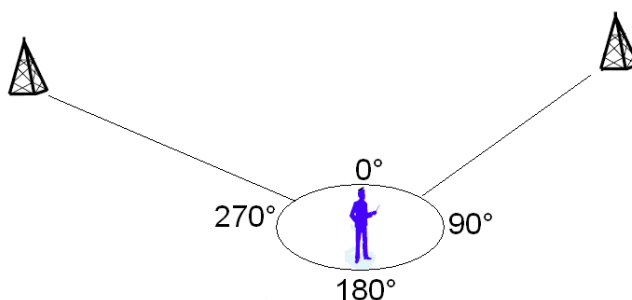
Zde je nevýhoda předchozí metody odstraněna. Vychází se nikoli z absolutních hodnot času, ale z rozdílů mezi sousedními vysílači. Příklad je na obrázku 2.3. Tato metoda je používána v GPS. Obecně metody pracující s časem jsou vhodné pro venkovní prostory, kde je přímá viditelnost vysílače a přijímače s minimem odrazů [5] [6].



Obrázek 2.3 – Měření rozdílů tranzitního času [6]

2.4 Měření úhlu dopadu AOA (Angle of Arrival)

Hlavní částí tohoto systému je anténa, která je schopna rozpoznat směr příchozího signálu. Každému vysílanému signálu odpovídá jedna přímka k přijímači jak je vidět na obrázku 2.4. Pokud jsou dostupné alespoň dva vysílače, lze zjistit v průsečíku přímek hledaný bod, ve kterém je umístěn přijímač. Metoda selhává, pokud není mezi vysílačem a přijímačem přímá viditelnost. Odražený signál pak zkresluje výsledek. Dosažená přesnost u GSM je 300m [5] [6].



Obrázek 2.4 – Měření úhlu dopadu

2.5 Měření síly signálu RSSI (Received Signal Strength Indication)

Tato metoda je založena na fyzikálním principu, že přijatý výkon na přijímací anténě klesá se vzdáleností od vysílací antény podle vztahu (2.2):

$$L(d) = 10n \log(d), \quad (2.2)$$

kde $L(d)$ [dB] jsou ztráty šířením,
 d [m] je vzdálenost od vysílací antény,
 n [-] je spádový koeficient (koeficient útlumu) [13].

Odhad polohy se provádí tak, že přijímač měří v libovolném místě daného prostředí intenzitu signálu. Výsledek je porovnáván s uloženou mapou pokrytí měřeného prostředí. Nalezení nejpravděpodobnější polohy přijímače zajišťuje vhodný algoritmus. Pro dosažení nejlepších výsledků přesnosti určení polohy je zapotřebí získat co nejvěrohodnější popis úrovně signálů v definovaných místech daného prostředí [5] [6].

Signálové mapy prostředí je možné získat dvěma způsoby. První je metoda korelace prostředí, druhá je metoda modelování.

2.5.1 Metoda korelace prostředí

Dělí se na režim mimo provozní (offline Phase) a režim v reálném čase (Real time Phase). V průběhu offline režimu jsou změřeny síly dostupných signálů v předem zvolených bodech. Souřadnice těchto bodů spolu s úrovní signálů od dostupných vysílačů jsou uloženy v databázi. Doporučuje se měřit body v různých směrech z důvodu možného stínění (člověk, který provádí samotné měření) nebo rušení např. lidmi, kteří se pohybují v měřeném prostoru. Lepších výsledků se dosahuje, když v daném prostoru nejsou žádní lidé, kteří by mohli svou činností ovlivnit velikost přijímaného signálu. Příkladem je třeba otevření dveří v místnosti, kde je vysílač. Úroveň přijímaného signálu by mohla být v takovém případě vyšší. Tuto podmínku však nelze splnit vždy. Výsledkem offline fáze je signálová mapa pokrytí daného prostředí se známými souřadnicemi měřených bodů [5].

Druhý režim pracuje v reálném čase a slouží k určení konkrétní polohy. Přesnost určení polohy závisí na použitém typu signálu. Příkladem může být standard IEEE 802.11 b, g, kde udávaná přesnost je 1-3 m. Signály typu Ultra Wideband (UWB) dokonce pracují s přesností v řádech desítek centimetrů [5].

Ze získávání signálové mapy pokrytí prostředí je zřejmá obrovská nevýhoda této metody. Testovací měření je časově i finančně náročné. Při jakékoli změně pozice vysílačů nebo změně prostředí, jako jsou třeba stavební úpravy, musí být provedeno měření znovu.

2.5.2 Metoda modelování

Obchází největší nevýhodu metody korelace prostředí. Zde není potřeba měřit úroveň signálu v každém bodě prostředí. Mapa pokrytí prostředí signálem se vypočítá pomocí modelů šíření vln. Pokles signálu v závislosti na vzdálenosti popisují nejjednodušší empirické modely. Ty lze však použít jen v omezené míře, protože např. v členitém

prostředí uvnitř budov nedokáže útlum signálu kvalitně popsat. Geometrické uspořádání prostoru se hůře popisuje čistě matematickým vyjádřením a při výpočtu úrovně signálu je zapotřebí zahrnout i optické vlastnosti daného prostředí pomocí deterministických modelů. To však výrazně komplikuje výpočet a tím i požadovanou přesnost signálové mapy pokrytí [5].

Pro obě metody platí, že dosah závisí pouze na ploše osazené vysílači a údajích v databázi, kterou lze libovolně rozšířit [5].

3 Systémy určování polohy v budovách

Systémy pro určování polohy lze podle používaných signálů rozdělit do třech základních skupin na systémy využívající infračervený, ultrazvukový a rádiový signál. V této kapitole jsou popsány principy funkce systémů, které využívají pouze rádiový signál. Na úvod je uvedena definice rádiového signálu.

3.1 Rádiový signál

Rádiové vlny patří do části elektromagnetického spektra přibližně od 300 Hz do 10 GHz. Jsou využívány jako nosné vlny pro bezdrátový přenos informací. Mezi nejznámější systémy využívající rádiové signály patří např. IEEE 802.11 WIFI standard, mobilní sítě, rozhlas, GPS a mnoho dalších. Jejich vlastností z hlediska určování polohy ve vnitřních prostorech je lepší prostupnost zdmi než např. u infračervených paprsků. Vyplývá z toho větší pokryté prostředí interiéru budov pomocí jednoho vysílače [5].

3.2 Systémy využívající rádiový signál

3.2.1 Locata

Locata je Australská firma, která vyvinula systém určování polohy v budovách. Využívá podobný signál jako GPS. Vysílán je z pseudosatelitů, které jsou rozmístěny v budově. Zjištění polohy funguje jako u systému RTK GPS [5].

RTK (Real Time Kinematic) - Měřicí stanice je umístěna na předem známém místě. Na základě přijatých dat a skutečné pozice spočítá tato stanice odchylku ve fázi nosného GNSS signálu a v reálném čase tyto informace zašle přijímači (uživateli). Dochází ke zpřesnění určení polohy [5].

3.2.2 SpotON

SpotON je další systém, který určuje polohu za pomoci rádiového signálu. Systém obsahuje prvky typu vysílač a přijímač. Vysílač je určen jako přenosné zařízení pro sledované objekty, které mají být lokalizovány. Přijímače jsou rozmístěny v budově. Ze změřené síly signálu od několika přijímačů je poté odvozena poloha vysílače [5].

3.2.3 Ekahau

Systémy jako Radar z produkce Microsoft, systém německé firmy IMST, systém Ekahau stejnojmenné finské firmy a systém americké firmy WhereNet opět používají rádiový signál k určení polohy. Metoda stanovení polohy je založena na měření síly

signálu (RSSI). Tato metoda je detailně popsána v kapitole 2. Pro svou činnost tyto systémy mohou využít jak speciální jednoúčelovou bezdrátovou infrastrukturu, tak i již existující bezdrátové sítě např. IEEE 802.11 b, g WI-FI standard. Wifi sítě jsou v současnosti velice rozšířené. Jejich vybudování zabere velmi málo času a cena je také relativně nízká [5].

3.2.4 Systémy využívající UWB signál

Ultra Widenband (UWB) jsou signály s vysokou přenosovou rychlostí. Výhodou je, že při přenosu nejsou signály systému poškozovány. Metoda stanovení polohy je za pomoci měření tranzitního času nebo měření rozdílů tranzitního času. Při testování systému byla poloha určena s přesností 20 cm v 67% případů [5].

3.2.5 Systémy využívající Bluetooth standard

Bluetooth je uvedený jako poslední systém, který lze využít k určování polohy v budovách. Původně byl vyvinut pro bezdrátové připojení periférií. Příkladem může být spojení notebooků, mobilních telefonů, handsfree. Pracuje s rádiovými signály v pásmu 2,40-2,48 MHz. Toto volně přístupné frekvenční pásmo je často přetížené a dochází k rušení signálu. Proto systém Bluetooth mění frekvenci 1600 krát za sekundu. Pomocí datového balíku je dána tato informace o změně frekvence každému uživateli. Zabrání se tím ztrátě dat při přetížení sítě. Měníče frekvence sice zvyšují spolehlivost přenosu, ale je obtížné signály zachytit. Udávaný využitelný dosah je 10 m. Každý přístroj má jedinečnou adresu, která slouží k jeho identifikaci. Hlavní předpoklad pro funkci určování polohy je více stacionárních přístrojů. Příkladem je více stolních počítačů v jedné místnosti, které jsou vybaveny systémem Bluetooth. Pokrytí prostoru při 10m dosahu systému je pak dostačující. Plán rozmístění spolu s jedinečnou adresou je nutno uložit do databáze. Ta je propojená se serverem, interní sítí nebo internetem. Spojení se serverem je možné navázat mezi stacionárními i pohyblivými přístroji formou dotazu po síti přímo na server. Tím je současně určena pozice mobilního přístroje. Pokud je v dosahu jediný systém Bluetooth, přesnost je na 10 m. Pokud je v dosahu více systémů přesnost pozice se zvyšuje. Při testovacím měření bylo dosaženo přesnosti 1,7 m, za podmínek pomalého pohybu a spojení postupně s pěti přístroji [5].

4 Pasivní RFID technologie

RFID je zkratka pro Radio Frequency Identification (rádio-frekvenční identifikace). Vývoj na této technologii byl zahájen z důvodu požadavku největší maloobchodní firmy WalMart, která před několika desetiletími stála u zrodu také čárového kódu. Základem byla myšlenka vyvinout takovou technologii, která dokáže identifikovat objekt na větší vzdálenost, bez přímé viditelnosti tak, aby v reálném čase bylo možno zpracovat více objektů současně [8] [9].

RFID je tedy systém bezdotykové identifikace, který získává data o objektech pomocí elektromagnetických vln. Informace jsou v elektronické podobě ukládány do malých čipů (tagů), následně lze tyto informace načítat a opakovaně přepisovat pomocí rádiových vln. Základem tohoto systému je tedy pasivní RFID tag [8] [9].

4.1 Pasivní tag

Umisťuje se na plastovou podložku spojenou se spirálovou anténou, pomocí které tag komunikuje se snímačem. Každý pasivní tag obsahuje EPC kód (Electronic Product Code). Jedná se o jednoznačné sériové číslo tagu. Struktura kódu je popsána v následující tabulce [8] [9].

Tabulka 4.1 - Struktura EPC kódu [8] [9]

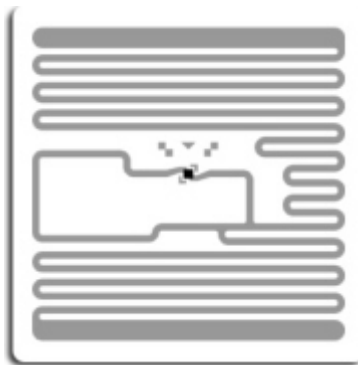
8 bit	hlavička, EPC číslo verze
28 bitů	informace o firmě, 268 milionů firem
24 bitů	třída výrobku, 16 milionů tříd
36 bitů	unikátní číslo produktu, 68 miliard čísel

Pomocí vln vyzářených z čtecího zařízení dojde k nabití chipu a následně se informace uložená v chipu (EPC kód) bezdrátově přeneše zpět do čtecího zařízení. Z toho vyplývá používaná metoda RTF (Reader Talk First). Tagy pracující na nejvyšší frekvenci UHF mají dosah od 3 do 10m. Přidělená frekvenční pásma popisuje následující tabulka. [8]

Tabulka 4.2 - Přidělená frekvenční pásma pro UHF tagy [8] [9]

Region 1	865 - 869 MHz Evropa a Afrika
Region 2	902 - 928 MHz USA, Kanada a Mexiko
Region 3	950 - 956 MHz Japonsko a Asie

Tagy s nejnižší frekvencí 125 kHz mají dosah 0,5m. Velikost vnitřní paměti je 64 - 256 bitů, pracovní teplota od -40°C do 70°C a lze provést až 10.000 programovacích cyklů. Příklad pasivního tagu je na následujícím obrázku. [8]



Obrázek 4.1 - RFID pasivní tag (Alien ALN-9629 Square) [9]

Výhodou tohoto systému je, že načítání a následné zpracování informace není třeba provádět jednotlivě, ale může se provést hromadně. Čtecí zařízení dokážou najednou načíst a zpracovat několik set tagů za minutu. Toto je obrovská výhoda oproti čárovým kódům. Používá se všude tam, kde je kladen důraz na co nejrychlejší a přesné načtení informací s okamžitým přenosem těchto dat k následnému zpracování. Technologie RFID je považována za přímého nástupce čárových kódů. Ty však mají určité výhody, proto se nepředpokládá úplné nahrazení touto technologií. Další možností je kombinace obou systémů. Existují tiskárny, které dokáží potisknout RFID tag informacemi v čárovém kódu a zároveň zapsat data pomocí elektromagnetických vln [8] [9].

4.2 Porovnání RFID a čárových kódů

Čárový kód je již dnes naprosto běžná technologie, která se využívá i v mnoha dalších oblastech než kam byla původně určena. Avšak RFID tagy mají oproti štítkům s čárovým kódem několik zásadních výhod. Čárový kód musí být umístěn na dostupném místě pro optické čtecí zařízení. Vyplývá z toho určitá nevýhoda a to možné poškození kódu při manipulaci jako např. odtržení, teplotní vlivy, povětrností vlivy. Naproti tomu RFID tagy lze umístit do identifikovaného objektu tak, aby byl ochráněn před těmito vlivy. Tím je několikanásobně odolnější. V současné době někteří výrobci umísťují RFID tagy do svých výrobků, palet, kontejnerů přímo ve výrobě. Zásadní výhody RFID tagů oproti čárovým kódům jsou však v možnostech čtecího zařízení. Jednak umí načíst najednou velké množství tagů na větší vzdálenost např. průjezd paletového vozíku čtecím portálem v reálném čase. A dále umí přepsat poskytované informace tagu aniž by bylo zapotřebí fyzicky manipulovat se samotným tagem [8].

4.3 Rozdělení tagů dle použití

RFID tagy jsou vyráběny v několika variantách. Záleží na velikosti a materiálu, s tím souvisí použití na tagy produktové, kartónové, paletové, malé tagy na láhve. Podle způsobu připevnění je možné tagy dělit na nalepovací přímo na objekt "Inlays", u kterých je možnost dalšího použití. Dále tagy pro výrobce, které jsou přímo zabudované do produktů a zapouzdřené. Příkladem jsou plastové tagy, mají větší odolnost a používají se i v případě umístění na kovový materiál, kde zajišťují oddálení chipu a antény od rušivého podkladního materiálu kovu [8] [9].

5 Aktivní RFID – RTLS

RTLS (Real Time Locating System) je systém pro sledování polohy předmětů, majetku, zboží, osob v reálném čase pomocí malých elektronických zařízení, které se nazývají aktivní RTLS tagy. Tento systém byl navrhnout k určování polohy objektů hlavně uvnitř budov popřípadě v rámci areálů. Poloha RTLS tagu je určována s různou přesností, která záleží na použitém signálu a pohybuje se v řádu několika metrů u technologie Wi-Fi, až po několik centimetrů u UWB systémů. Z technologického hlediska se jedná o aktivní RFID technologii [7] [8] [9].

5.1 Aktivní tagy

Vysílají samy své údaje do okolí (TTF Tag Talks First). Je to umožněno vlastní miniaturní baterií umístěnou v chipu. Udávaná životnost baterie je 1-5 let. Nevýhodou je právě potřebná baterie, která snižuje odolnost vůči teplotě. Dále je nutné provádět výměnu baterie. Tyto tagy mohou být využity pro sledování osob, vozového a technologického parku, sledování zvířat. Vzdálenost čtení je až 100m. Velikost paměti tagu může dosahovat až 100Kb. Příklad aktivního tagu je na následujícím obrázku [7] [8] [9].



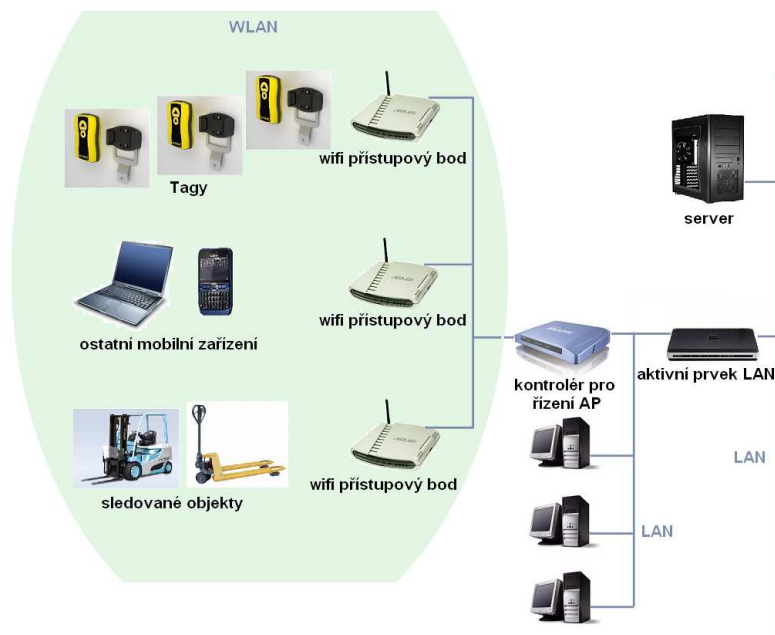
Obrázek 5.1 - Aktivní tag

5.2 Topologie systému

Každý RTLS systém ke své činnosti potřebuje radiovou bezdrátovou infrastrukturu. Systém RTLS je pak dostupný všude tam, kde je zajištěno pokrytí tímto signálem. Aktivní Tagy pomocí této bezdrátové infrastruktury vysílají požadované informace na server, který z přijatých dat určí aktuální polohu tagu. Takto získaná poloha je dále poskytnuta aplikacím, které mohou využívat tyto informace o poloze sledovaných objektů v reálném čase [10].

5.2.1 Topologie centralizovaného řešení

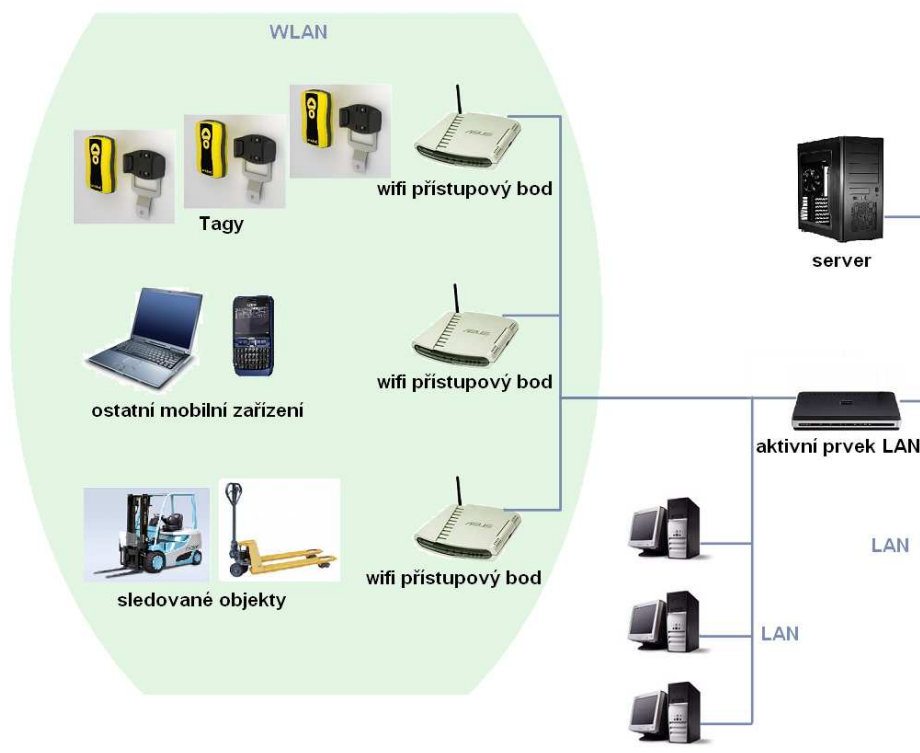
Centralizované řešení jak z názvu vyplývá, je založeno na centrálním kontroléru. Ten řídí jak rádiovou část (vysílací výkon nebo kanály), tak i datovou část (objem a rychlost). Samotné přístupové body jsou tedy řízeny tímto kontrolérem. Výhodou řešení je snadná správa a velmi rychlý provoz. Naopak nevýhoda je nefunkčnost celého systému v důsledku výpadku centrálního prvku a vyšší cena. Používá se tedy v těch případech, kde je zapotřebí spravovat mnoho přístupových bodů u nichž se často mění nastavení nebo se dynamicky mění podmínky provozu. Princip je graficky znázorněn na následujícím obrázku [10].



Obrázek 5.2 – Topologie centralizovaného řešení [10]

5.2.2 Topologie řešení se samostatnými přístupovými body

Toto řešení popisuje obrázek 5.3. Je založené na přístupových bodech, které jsou schopny pracovat bez centrálního řídicího prvku. Každý přístupový bod funguje samostatně, bez ohledu na ostatních. Výhody tohoto řešení jsou nižší cena a nezávislost na výpadku centrálního prvku sítě. Nevýhodou je však špatná spolupráce mezi jednotlivými přístupovými body, proto je systém vhodný v případech, kde jich není mnoho a kde není třeba často měnit nastavení sítě [10].



Obrázek 5.3 – Topologie řešení se samostatnými přístupovými body [10]

5.3 Rozdělení RTLS dle používané infrastruktury

Trh nabízí řadu RTLS systémů, které je možné rozdělit podle používané bezdrátové infrastruktury na proprietální systémy a systémy používající standardizované sítě.

5.3.1 Proprietální systémy

Pro svou činnost využívají speciální jednoúčelové bezdrátové sítě, které pracují na kmitočtech 433 MHz, 860 / 900 MHz a 2,4 GHz. Plynou z toho zásadní nevýhody takovéto infrastruktury, tou je právě jednoúčelová síť, která se nehodí pro jiné využití. Je zapotřebí vybudovat a v budoucnu udržovat infrastrukturu, která slouží pouze jediné aplikaci – RTLS [8].

5.3.2 Systémy používající standardizované sítě

- ZigBee (2,4GHz)
- UWB (Ultra Wide Band)
- WiFi (802.11 b/g/n) (2,4GHz)

Výhodou využití standardizovaných bezdrátových infrastruktur je univerzálnost. Prvky těchto systému jsou dostupné a levné, to samé platí i o množství dostupných aplikací, které podporují dané infrastruktury. Navíc tyto sítě umožňují bezpečnost na potřebné úrovni [8].

6 Popis Wi-Fi RTLS systému

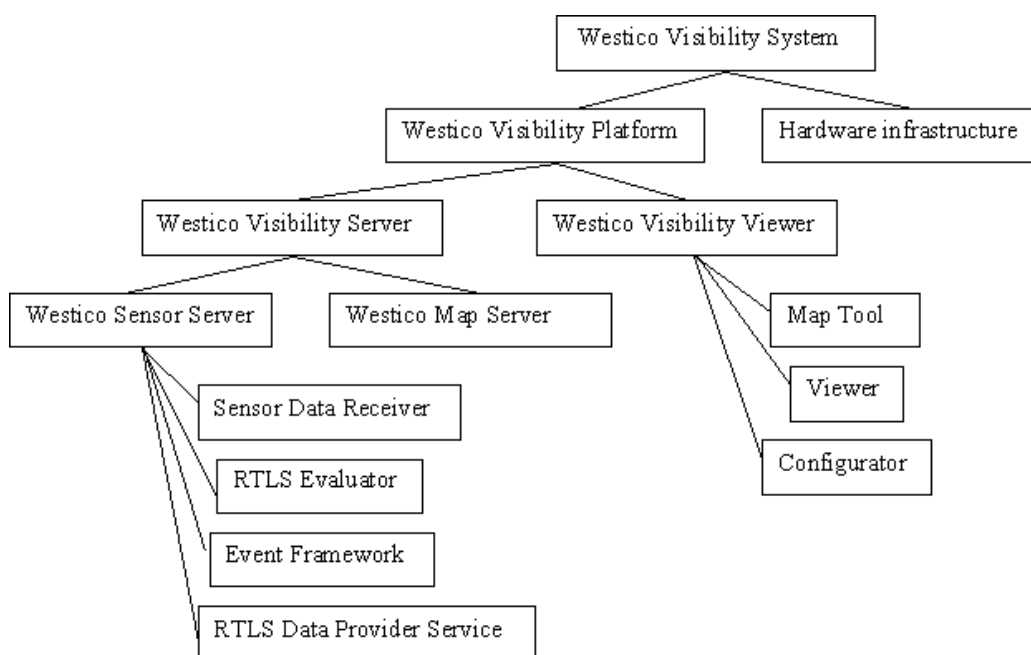
V této části kapitoly je popsán RTLS od společnosti Westico Technologies s komerčním názvem **Westico Visibility System**.

6.1 Princip systému

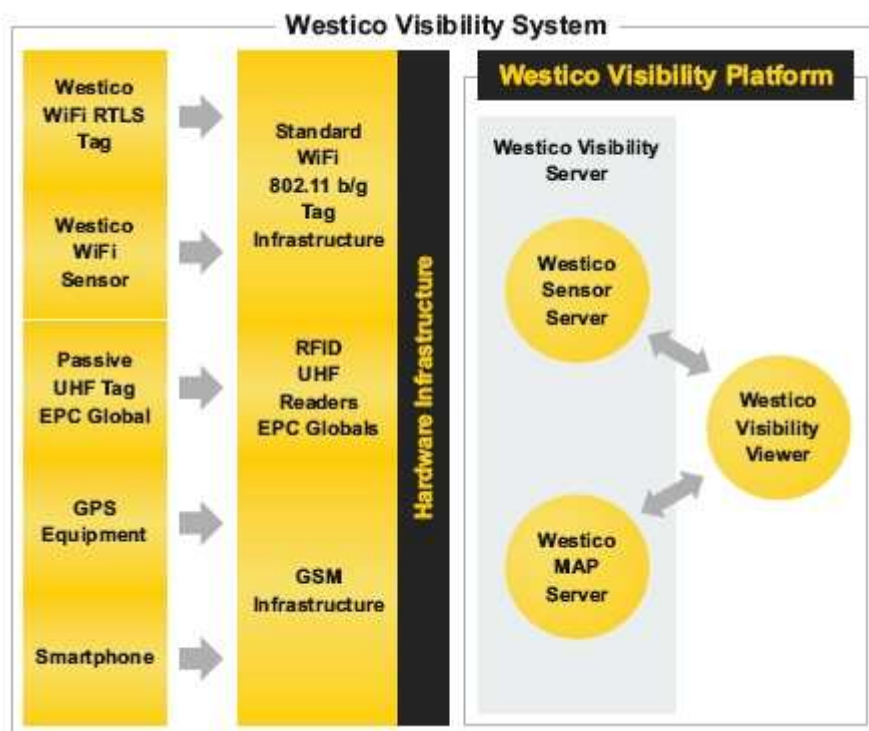
Pro stanovení polohy systém využívá metodu měření síly signálu (RSSI). Spočívá v měření síly signálu všech dostupných Wi-Fi přístupových bodů. Pro správnou funkci přesné lokalizace tagů musí být splněna podmínka, že v každém místě sledovaného prostoru je dostupný signál alespoň od tří přístupových bodů bezdrátové sítě. Tagy mají za úkol pravidelně provádět skenování prostoru a získaná data posílat pomocí bezdrátové sítě na server, který z těchto dat stanoví polohu tagu. Poloha je následně uložena na SQL server, odkud je pomocí datového rozhraní a aplikace přístupná pro uživatele [7].

6.2 Topologie systému

Obrázky 6.1 a 6.2 charakterizují topologii systému. Je zde vidět základní dělení na hardwarové komponenty a softwarovou platformu. Mezi základní hardwarové komponenty patří bateriově napájené wifi tagy a wifi síť ve standardu 802.11b,g. Dále systém umí využít i existující infrastruktury jako je GSM nebo pasivní RFID. Popis softwarové platformy a wifi tagu je uveden dále [7].



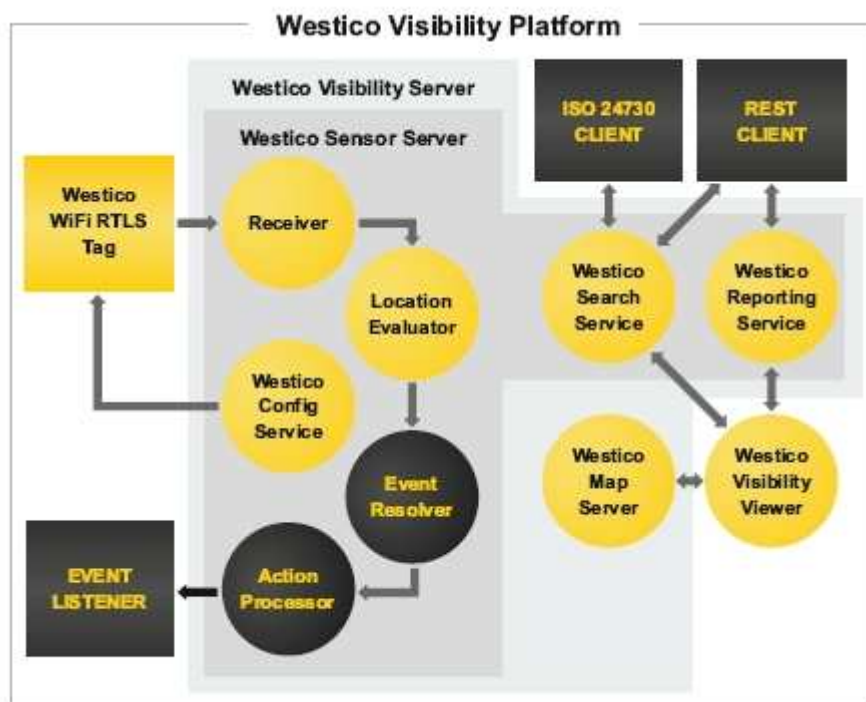
Obrázek 6.1 - Součásti Westico Visibility Systemu



Obrázek 6.2 - Topologie Westico Visibility Systému [7]

6.3 Westico Visibility Platform

Westico Visibility Platform je univerzální softwarová platforma. Topologie platformy je na obrázku 6.3. Za pomoci tagů pracujících v prostředí WiFi sítě nebo pasivních RFID tagů nebo i GPS zařízení zajišťuje sledování označených objektů v reálném čase. Platforma také podporuje sběr dat ze senzorů, kterými jsou tagy osazeny. Umožňuje tak mimo určování polohy tagů snadno a levně vytvářet rozsáhlé sítě bezdrátových senzorů pro sběr údajů o teplotě, vlhkosti, tlaku, průtoku, radiaci a dalších telemetrických dat. Všechna data jsou zobrazována na mapových podkladech, ať už interní mapy nebo s pohledem přes Google Maps. V další části kapitoly jsou popsány nejdůležitější komponenty této platformy, ze kterých vyplývají vlastnosti systému [7].



Obrázek 6.3 - Topologie Westico Visibility Platform [7]

6.3.1 Westico Sensor Server

Tato součást Westico Visibility Serveru se stará o sběr dat z tagů a senzorů, dále vypočítává polohu sledovaných tagů a ukládá data do databáze. Spravuje také sledované (definované) události na které systém dále reaguje předem určenou odezvou. Prostřednictvím datového rozhraní Westico Sensor API poskytuje data aplikacím [7].

Definované události

Jak již bylo zmíněno, součást Westico Sensor Server umožňuje **definovat události**, na které bude systém předem určeným způsobem reagovat. Příkladem sledovaných událostí může být např. tag mimo definovanou oblast, dále pak hodnoty senzorů jako třeba zvýšení či pokles teploty nad stanovenou mez, pokus o násilné odstranění tagu ze sledovaného objektu, nehybnost tagu po stanovenou dobu, náraz určité intenzity. Další sledované události mohou být vazby dvou či více tagů jako např. vzdálenost mezi sebou nebo počet tagů v daném prostoru. Příklady reakcí na tyto události jsou třeba emailová zpráva, SMS, volání webové služby a dále spínání externích zařízení, jako je relé, siréna, signalizační světlo [7].

6.3.2 Westico Map Server

Poskytuje interní mapové podklady, ve kterých jsou zobrazovány sledované objekty prostřednictvím webové aplikace Westico Visibility Viewer. Výhodou tohoto systému je, že pracuje se zeměpisnými souřadnicemi. Interní mapy jsou zobrazeny v reálném zeměpisném umístění. Sledované objekty tedy lze lokalizovat jednak za pomoci externí mapy Google Maps, kde je pokryto libovolně rozsáhlým územím. Dále pak pomocí interní mapy, kde lze sledovat objekty v nejvyšším rozlišení až na úrovni místností a jejich vybavení [7].

6.3.3 Westico Visibility Viewer

Je webová aplikace. Uživatelé poskytují a zobrazují data, která získal a zpracoval Westico Sensor Server. Úkolem této součásti je přehledně poskytnout data o aktuální či historické pozici hledaného objektu. K vyhledávání je použito jednoduché Google-like ovládání. Stačí zadat neúplný název hledaného objektu, výsledkem je seznam všech monitorovaných objektů, které odpovídají neúplnému názvu. Pro práci s **Westico Visibility Viewer** potřebuje uživatel jen webový prohlížeč. Komponenty jako Viewer, Configurator, Map Tool jsou administrátorské konfigurační nástroje pro správu celého systému a map [7].

6.4 Westico W100 tag

Bateriové zařízení W100 obrázek 6.4 je aktivní RTLS tag pracující ve standardu 802.11 b/g. Životnost baterie je prodlužována pomocí sleep režimu, kdy tag neodebírá téměř žádnou energii. Tento režim je aktivní pokud není zaznamenán pohyb tagu pomocí integrovaného pohybového čidla. Udávaná životnost baterie je až 5 let [7].



Obrázek 6.4 - Westico W100 tag [7]

Dále jsou k dispozici dvě programovatelná tlačítka, kterým lze přiřadit libovolný aplikační význam. Příkladem může být nouzové volání.

Součástí tagu je také možnost využít identifikace v pásmu UHF v systému EPCglobal. EPC kód lze centrálně měnit správcovským konfiguračním nástrojem.

Mezi standardní vybavení tagu patří také tři senzory. Již zmiňovaný senzor pohybu slouží pro power management. Detektor sabotáže (tamper) zamezuje oddělení tagu od sledovaného objektu a čidlo teploty. Volitelný je pak senzor nárazu a čidlo vzdušné vlhkosti. Udávaný dosah ve volném prostoru je až 200m. Pokud je tag mimo dosah, dokáže data z čidel ukládat. Po opětovném navázání spojení s Wi-Fi sítí přepoše data na server. Technické data jsou v následující tabulce [7].

Tabulka 6.1 - Technické údaje tagu [7]

Vnější dosah	200 m
Vnitřní dosah	40 m
Radio	802.11 b/g
Max.vysílací výkon	+20 dBm / 100mW
Bezpečnost	WEP, WPA1 & WPA2 Personal, EAP-TLS pro WPA1 & WPA2 Enterprise
UHF RFID tag	
Frekvence	866 - 868 MHz (Evropa) 902 - 928 MHz (US)
Senzory	
Teplota	-30°C až + 70°C / přesnost ± 2°C
Vlhkost	0 až 100%, přesnost ± 3% RH
Provozní podmínky	
Provozní teplota	-30°C až + 70°C
Vlhkost	0 až 100%, kondenzující
Napájení	
	3,6 V primární lithiová baterie
Životnost baterie	1 až 5 let v závislosti na četnosti vysílání

6.5 Vlastnosti systému

- **Zatížení WiFi**

Základní režim tagu je spánek. V tomto stavu není tag aktivní a nekomunikuje s žádným přístupovým bodem. Do sítě se připojí pouze při přenosu dat, který je velmi krátký (jeden datový paket). Z toho vyplývá, že zatížení WiFi sítě je minimální i v případě komunikace se stovkami tagů v síti [7].

- **Service provider funkcionalita**

Tento systém je možné provozovat jako RTLS službu. Zákazník má nainstalovanou pouze bezdrátovou WiFi síť. Westico Sensor Server je pak nainstalován na vzdáleném serveru [7].

- **Ochrana soukromí**

Ochranu soukromí lze nastavovat pomocí funkcí Westico Visibility Platformy. Příkladem je definice privátních zón. V tomto prostoru nejsou poskytovány informace o poloze. Samozřejmostí je i databáze uživatelů, kteří mají přístup pouze k informacím, které jsou povoleny [7].

- **Integrace - Enterprise architektura**

Westico Visibility Platform je založena na J2EE technologii. Splňuje požadavky standardu ISO 24730-1. Vplývá z toho nezávislost softwaru na platformě. Instalace může být provedena do libovolného serverového prostředí jako Windows, Unix, Linux. Jsou podporovány databázové servery jako Oracle, MS SQL, DB2, MySQL, Sybase, PostgreSQL. Výhodou je tedy obrovská univerzálnost integrace [7].

6.6 Použití Westico RTLS systému

Z výše uvedených schopností systému vyplývají také tři směry možného použití.

6.6.1 Sledování mobilních zařízení, osob, zboží a manipulační techniky

Mobilní zařízení jako např. drahé nemocniční přístroje, mohou být efektivněji využívány. Není třeba tyto přístroje hledat po areálu a tím předimenzovávat počet. Finanční úspora je v nákupu nižšího počtu takových zařízení [7].

Další využití tento systém nalézá při zajišťování bezpečnosti osob. Příkladem může být ochrana zaměstnanců v hornickém průmyslu. Při havarii lze zjistit počet pracovníků a identifikovat aktuální nebo alespoň poslední známou polohu. Přínosem je urychlení záchrannářských prací [7].

Uplatnění se bezesporu nalezne také v logistických firmách, kde je velký pohyb zboží a manipulační techniky. Pomocí označení těchto objektů je umožněno efektivní řízení [7].

6.6.2 Sběr dat ze senzorů

Další možné využití je při monitorování přepravních podmínek. Sensory zjišťují aktuální data o teplotě, vlhkosti, nárazu a pohybu při přepravě. Změřená data jsou ukládána v přesném čase. Po připojení tagu do podnikové nebo i otevřené cizí wifi sítě, jsou data přeposílána na server [7].

Tagy mohou být využity jako statické měřicí body s bezdrátovým přenosem dat. Při překročení nastavené meze např. teploty, na to Westico systém adekvátně zareaguje. Využití může být v potravinářství, zdravotnictví, farmaceutickém průmyslu [7].

6.6.3 Funkční tlačítka

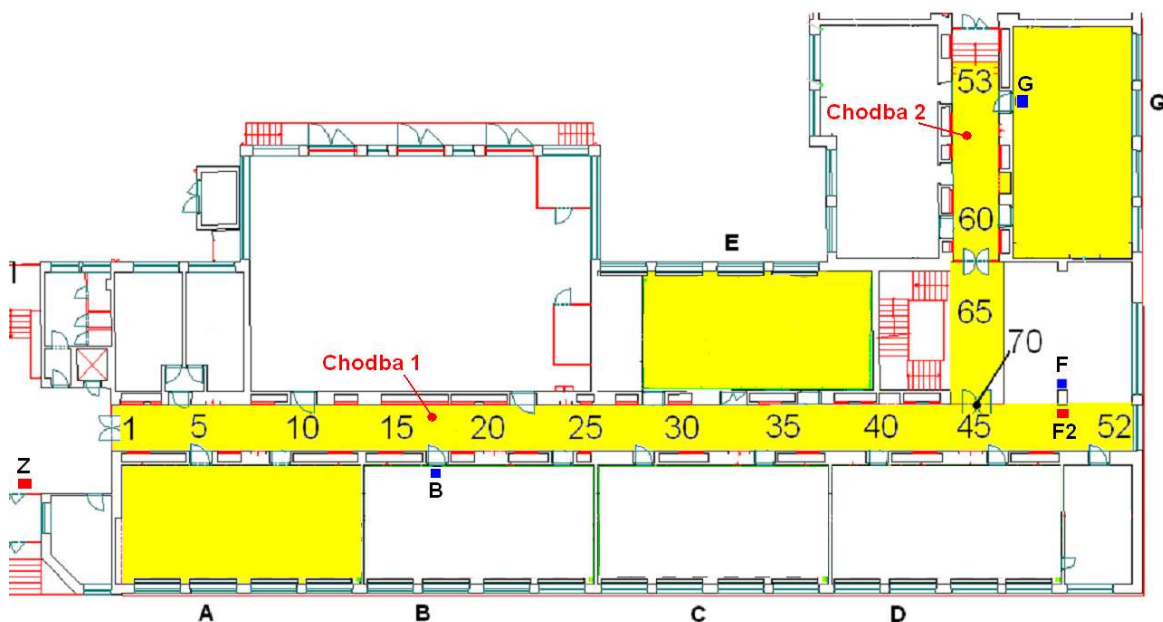
Tag je vybaven dvěma tlačítky s libovolným aplikačním významem. Použity mohou být např. pro přivolání pomoci nebo vyslání požadavku na doplnění materiálu pro dané pracoviště [7].

7 Návrh systému určování polohy v budovách

V praktické části této práce je popsán ucelený postup návrhu funkčního systému určování polohy, který je založený na principech výše popsaného komerčního RTLS systému. Zvolená metoda určení polohy je RSSI (měření síly signálu). Měřené úrovně signálu jsou získány z již existující infrastruktury založené na standardu IEEE 802.11 g ve známém prostředí prvního podlaží budovy Fakulty elektrotechniky a informatiky Univerzity Pardubice.

7.1 Testovací prostředí

Rozvržení testovacího prostředí je na obrázku 7.1. Měření bylo provedeno ve žlutě zvýrazněných prostorách chodeb a místností. Označeny jsou jako Chodba1, Chodba2 a místnosti A, E, G. Prostory chodby byly měřeny v jejím středu po vzdálenosti 1m. Očíslování bodů na chodbách tedy odpovídá vzdálenosti v metrech. Chodba1 má 52 změřených bodů tedy 52 metrů. Chodba2 má 17 metrů. Místnosti mají šířku 5m a délku 10m. Data byla měřena na krajích laboratorních stolů se známou polohou. Vzdálenost je dána šířkou, délkou a rozmístěním lavic. Místnost G je rozdělena na 18 bodů, E na 26 bodů. V místnosti A bylo změřeno nejdříve 49 bodů a následně jemnější dělení na 75 změřených bodů.



Obrázek 7.1 - Měřené prostředí s rozmístěním přístupových bodů 1.NP

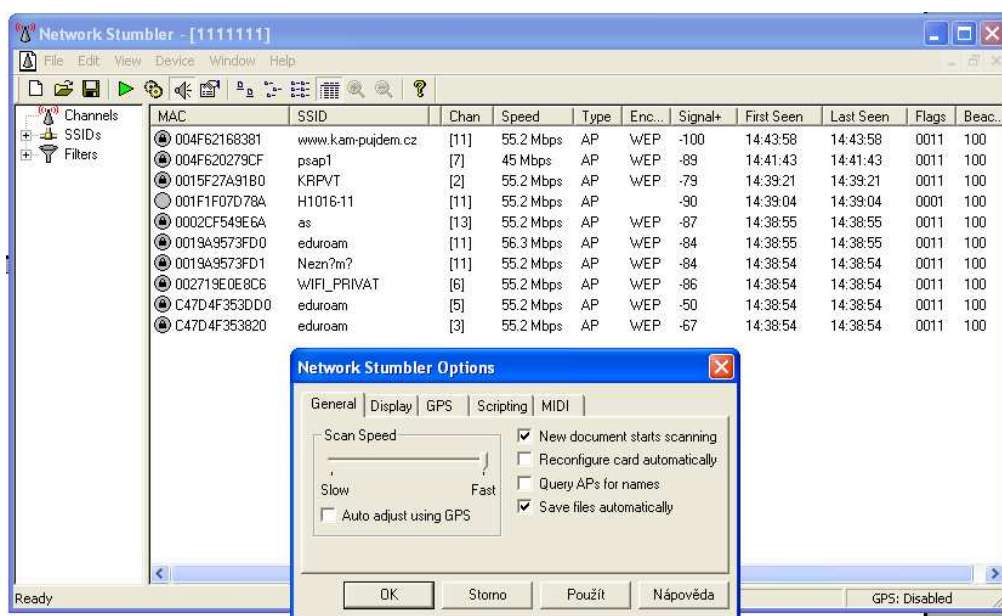
7.2 Rozmístění AP

Na obrázku 7.1 jsou modře zakresleny tři přístupové body (AP), které mělo smysl brát do úvahy pro měření přijímaných úrovní signálů. Označení přístupových bodů se shoduje s označením místností B, F, G. Ve zvýrazněných prostorech bylo detekováno mnoho jiných sítí, kde jejich přijímaný výkon byl buď velmi nízký a tím pro potřeby navrhovaného systému nepoužitelný, nebo nebylo možné identifikovat zdroj, tzn. polohu přístupového bodu. Uvedené prostředí se nachází v 1. podlaží budovy. Ve druhém podlaží jsou umístěny další dva přístupové body, jejichž výkonové charakteristiky se dají použít pro zpřesnění lokalizačního systému. Označeny jsou červeně Z a F2.

8 Měřící sestava (software a hardware)

Na obrázku 8.1 je prostředí softwaru Network Stumbler. Program umožňuje získat data o dostupných přístupových bodech. Zejména MAC adresu a přijímaný výkon v dBm přístupového bodu. Dostupné jsou i další informace jako název AP, přenosová rychlost, kanál vysílání, zabezpečení, čas začátku a konce skenování. Umožňuje také nastavit čas vzorkování od 0,5s do 1,5s. Získaná data lze vyexportovat do textového souboru, který se dále zpracuje v tabulkovém procesoru.

Jako měřící hardware byla vybrána USB Wifi karta **Edimax EW – 7711USn**. Podporuje standardy IEEE 802.11g, IEEE 802.11b, IEEE 802.11n. Zisk antény je 3dBi. Měřící pracoviště je na obrázku 8.2.



Obrázek 8.1 - Měření pomocí Network Stumbleru

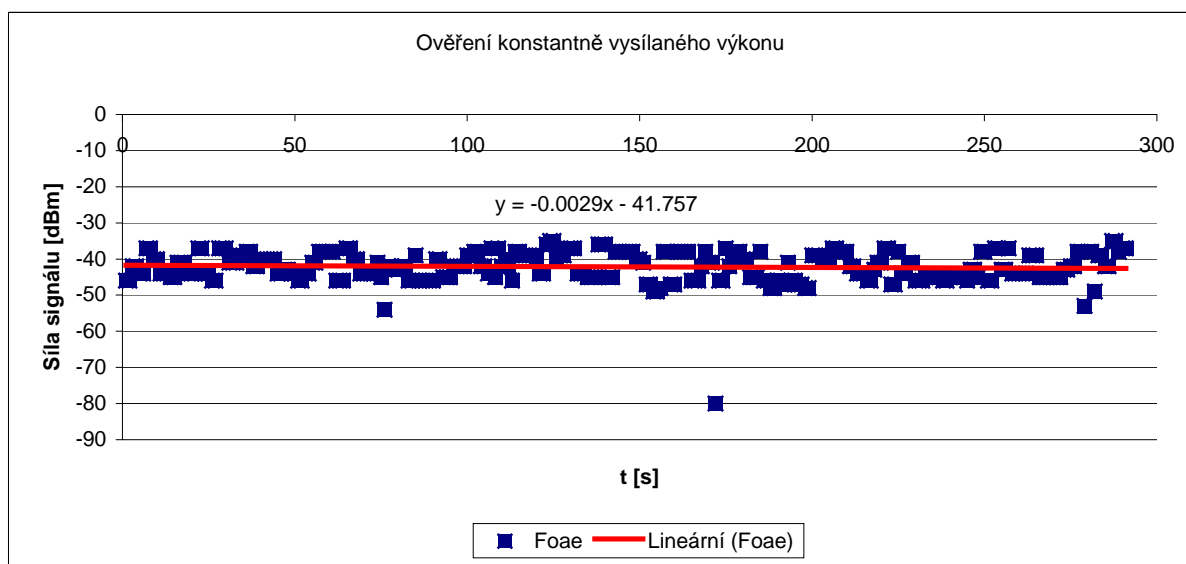


Obrázek 8.2 - Měřící pracoviště

9 Ověření konstantně vysílaného výkonu

Na počátku proměření sledovaného prostředí je nutné zjistit, zda vysílaný výkon z AP není dynamicky řízen. Řízení vybraných AP je v prostředí univerzity běžné a technický personál nedokázal poskytnout přesné informace o konkrétních řízených přístupových bodech. Ze statistického pohledu je potřeba prozkoumat data a odhalit případný výskyt trendu, který by v tomto případě ukazoval na nekonstantnost vysílacího výkonu. K ověření této skutečnosti bylo provedeno několik měření v prostoru respiria na AP F. Mezi anténami Wi-Fi přijímače a AP byla přímá viditelnost a vzdálenost zhruba 5m. Měření probíhalo za plného provozu. V okolí měřeného AP bylo nejméně 15 uživatelů.

Vybraný soubor naměřených dat je zachycen na následujícím obrázku. Obsahuje 291 hodnot ekvidistantně vzorkovaných po 1s. Měření tedy probíhalo po dobu přibližně 5 minut.



Obrázek 9.1 - Ověření konstantně vysílaného výkonu

O změřených datech lze říci, že nevykazují dynamiku, naopak data jsou rovnoměrně rozložena kolem konstantní hodnoty -41.8 dBm. Dále je zde spočítána regresní přímka, která má strmost (směrnici) -0.0029 a na první pohled je tedy přibližně rovnoběžná s osou X. To napovídá, že v datech trend není. Zjištěný předpoklad výskytu trendu je však potřeba ověřit pomocí statistického testu ve statistickém softwaru. V tomto případě je použit software QC-Expert, který rozhoduje o výskytu trendu podle Studentova T - testu významnosti směrnice regresní přímky. Testuje hypotézu $H_0: B=0$ proti $H_1: B \neq 0$. Dále je uvedeno testační kritérium:

$$T = \frac{B}{s} = \frac{-0.00289}{0.00294} = -0.983, \quad (9.1)$$

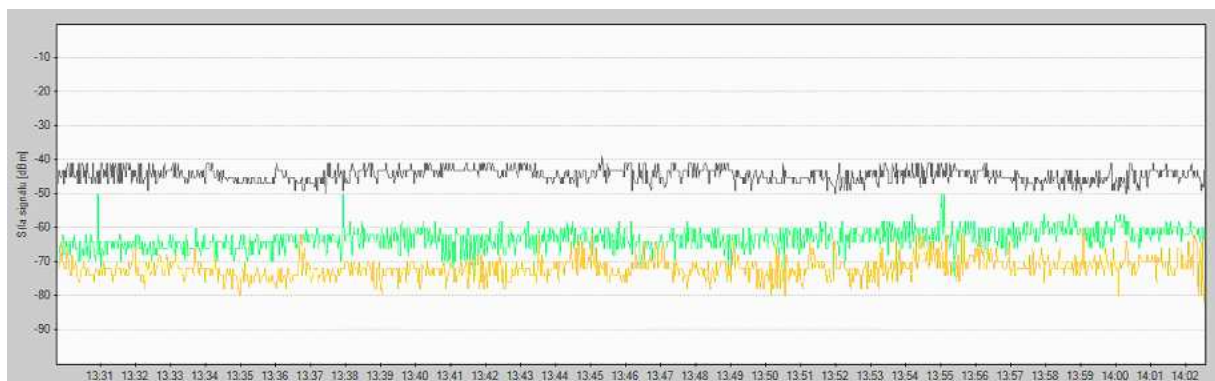
kritická oblast

$$W = \{T : |T| > t_{\alpha, n-2}\}, \quad (9.2)$$

kde	T	je Studentův test významnosti směrnice regresní přímky,
	B	je směrnice regresní přímky,
	s	je směrodatná odchylka směrnice,
	W	je kritická oblast,
	$t_{\alpha, n-2}$	je tabulkový kvantil studentova rozdělení [12].

Tabulkový kvantil Studentova rozdělení pro $t_{0,95,289} = 1,968$ je větší než t-kriterium Studentova testu, proto je hypotéza H_0 akceptována. Zde je potvrzen předchozí předpoklad. V datech není trend.

Další měření bylo provedeno za pomoci programu INSSIDER. Výstupem tohoto programu je následující obrázek. Měření proběhlo za stejných podmínek po dobu 30 minut. Signál od AP F má největší úroveň.



Obrázek 9.2 - Měření úrovně wifi signálu AP F, 30 minut

Závěr z ověření konstantně vysílaného výkonu

Z dostupného měření a provedené analýzy dat je zřejmé, že v datech z žádného měření není trend. Tím je ověřena správnost měření přijímaného signálu, nedochází ke změnám při měření např. při zahřívání měřícího zařízení nebo změně podmínek měření např. změna polohy přijímače nebo zastínění mezi anténami, a zároveň se ověřuje nutný předpoklad pro další práci na systému určení polohy, kterým je konstantně vysílaný výkon z přístupových bodů.

10 Statistická analýza naměřených dat

Pro další zpracování naměřených dat je zapotřebí určit jejich základní statistické parametry a vlastnosti. Mezi základní zkoumané vlastnosti dat patří **nezávislost prvků výběru, normalita rozdělení dat, homogenita výběru a výskyt trendu**. Dále je nutné vybrat správné vyčíslení polohy dat. Rozhodnout, zda stačí vyčíslení aritmetickým průměrem, mediánem nebo je nutné využít Box-Coxovu a Mocninnou transformaci. Pro správné určení těchto parametrů je použit ověřený postup analýzy dat.

10.1 Postup analýzy dat

1) Průzkumová analýza dat (EDA)

Analýza spočívá v získání základního přehledu o vlastnostech dat a odhaluje statistické zvláštnosti výběru pomocí 22 diagnostických grafů. Tyto grafy dokáží odhalit odlehle hodnoty, které se z výběru musejí odstranit. Dále diagnostikují případnou nesymetrii, trend a lokální koncentraci dat [12].

2) Ověření předpokladů výběru dat

Tato část analýzy využívá statistické testy, které ověřují základní předpoklady dat získané pomocí EDA. Testuje se *nezávislost prvků výběru, normalita rozdělení dat, homogenita výběru a výskyt trendu*. Vztahy pro tyto testy jsou uvedeny níže [12].

Von Neumanův test nezávislosti prvků

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} (x_{i+1} - x_i)^2}{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}, \quad (10.1)$$

kritická oblast

$$|T| > t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n+1), \quad (10.2)$$

kde x_i je i – tý prvek výběru,
 \bar{x} je aritmetický průměr výběru,
T je test autokorelace,

$t_{1-\frac{\alpha}{2}}(n+1)$ je tabulkový kvantil Studentova rozdělení [12].

Test normality rozdělení, kombinace šikmosti a špičatosti

$$C_1 = \frac{g_1^2}{D(g_1)} + \frac{[g_2 - E(g_2)]^2}{D(g_2)}, \quad (10.3)$$

kde g_1 je šikmost výběru,
 g_2 je špičatost výběru,
 $D(g_1)$ je rozptyl šikmosti,
 $D(g_2)$ je rozptyl špičatosti,
 $E(g_2)$ je střední hodnota špičatosti,

kritická oblast

$$C_1 > \chi_{1-\alpha}^2(2), \quad (10.4)$$

kde $\chi_{1-\alpha}^2(2)$ je tabulkový kvantil Piersovnova χ^2 rozdělení o 2 stupních volnosti,
 C_1 je test normality [12].

Test homogenity rozdělení, metodou modifikovaných vnitřních hradeb

$$B_D = x_{0,25} - k \cdot (x_{0,75} - x_{0,25}), \quad (10.5)$$

$$B_H = x_{0,75} + k \cdot (x_{0,75} - x_{0,25}), \quad (10.6)$$

$$k \approx 2,25 - \frac{3,6}{n}, \quad (10.7)$$

kde B_D je dolní vnitřní hradba,

B_H	je horní vnitřní hrádka,
k	je konstanta výběru,
$x_{0,25}$	je kvantil s pravděpodobností 0,25,
$x_{0,75}$	je kvantil s pravděpodobností 0,75,
n	je počet hodnot výběru [12].

3) Transformace dat

Dalším krokem analýzy je na základě dosud zjištěných informací o datech rozhodnout, zda je zapotřebí využít Box-Coxovu nebo Mocninnou transformaci dat. Tyto transformace je nutné použít, pokud data vykazují nesymetrické rozdělení nebo nekonstantní rozptyl. Pro jistotu správného vyčíslení polohy dat je možné transformace použít vždy [12].

4) Parametry polohy, rozptýlení a tvaru

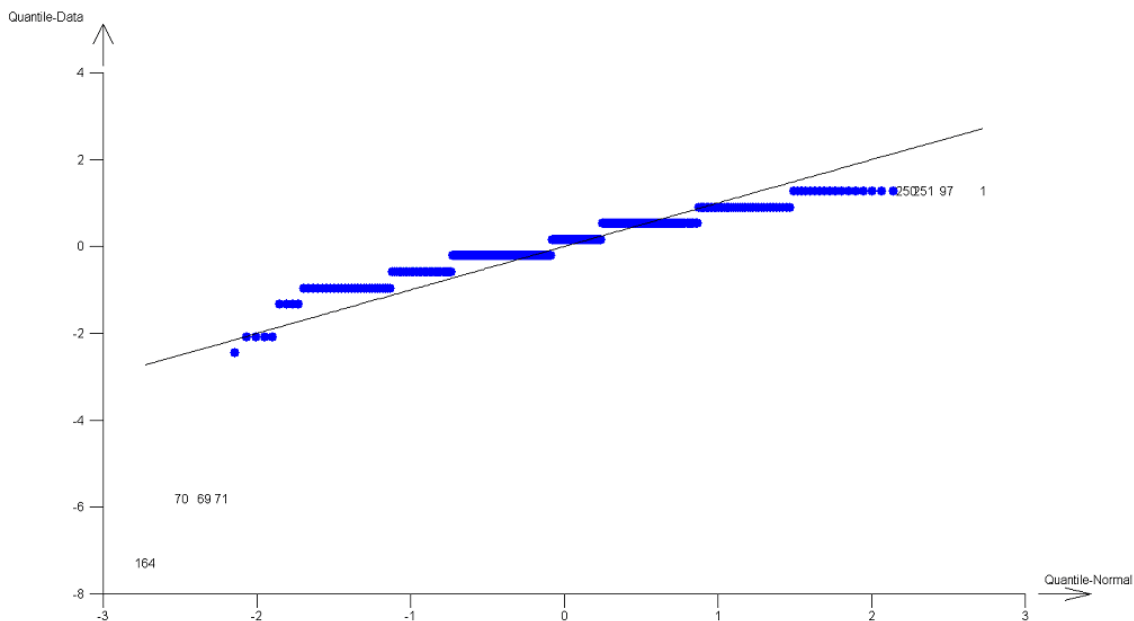
Posledními kroky analýzy dat jsou výběr správného vyčíslení polohy dat a stanovení jeho rozptylu. Ze získaných informací je třeba rozhodnout, zda polohu dat vyčíslit aritmetickým průměrem, mediánem nebo pomocí Box-Coxovi a Mocninné transformace.

10.2 Analýza naměřených dat v jednom bodě polohy

Vybraná data pro analýzu jsou z měření v místnosti A, od přístupového bodu B, v bodě polohy 5. Analýza je provedena pomocí statistického softwaru QC-Expert.

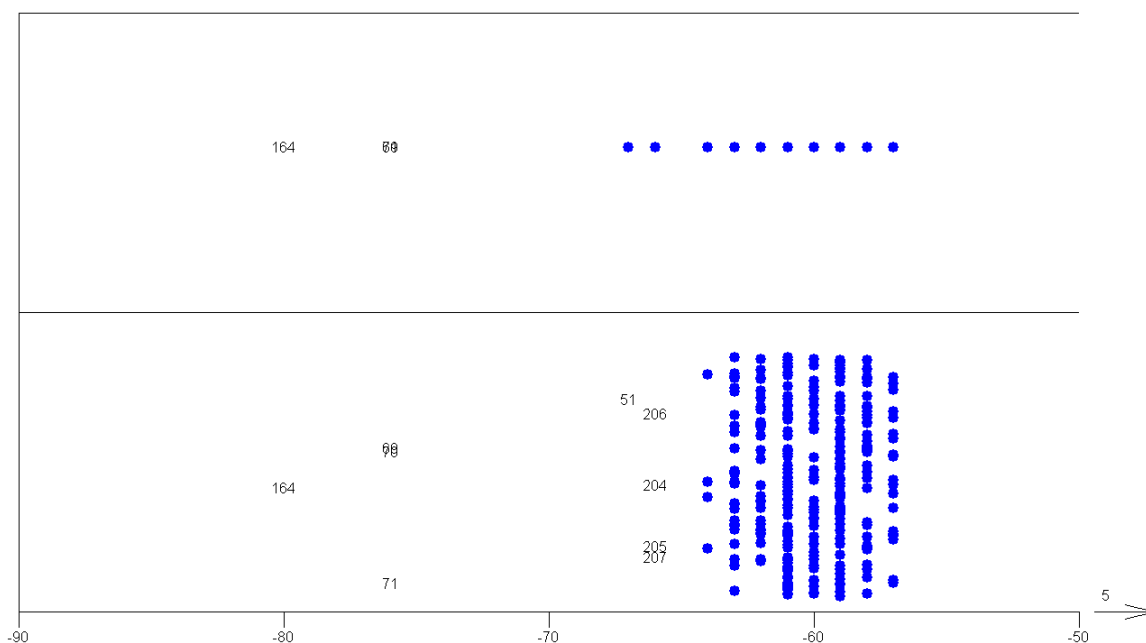
10.2.1 Průzkumová analýza dat (EDA)

EDA spočívá ve vyhodnocení 22 diagnostických grafů. Zde je uvedeno jen 8 typů těchto grafů, které však stačí k získání základních předpokladů. Nejdříve je třeba nalézt odlehlé hodnoty v naměřených datech. Jako první je uveden Q-Q graf na obrázku 10.1.

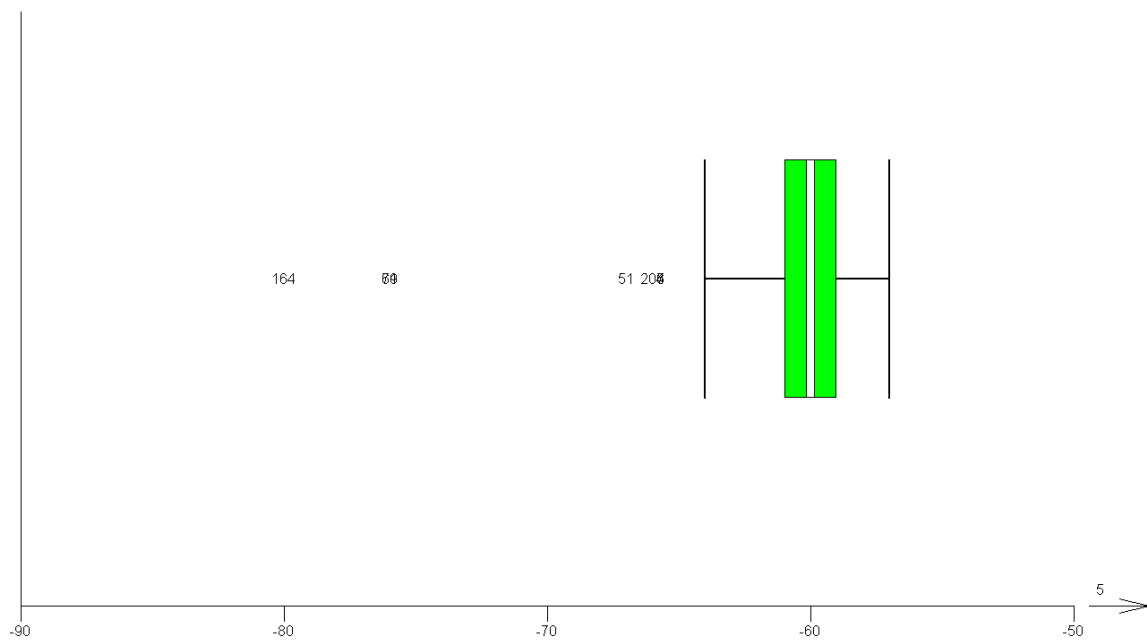


Obrázek 10.1 - Q-Q graf

Tento graf ukazuje na normální rozdělení se 7 odlehlými hodnotami. Jsou to body 69, 70, 71, 164, 97, 1 a 251. Na dalším obrázku je diagram rozptýlení, kde je celkem 9 odlehlých hodnot. Body 51, 69, 70, 71, 164, 204, 205, 206, 207.

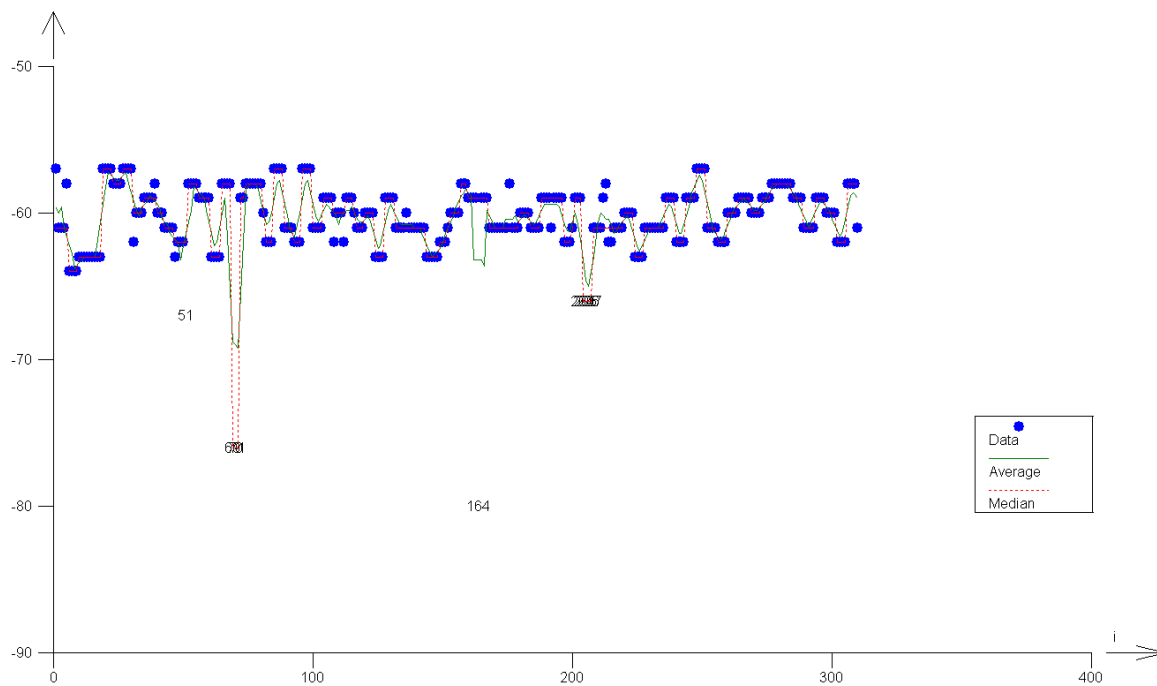


Obrázek 10.2 - Diagram rozptýlení

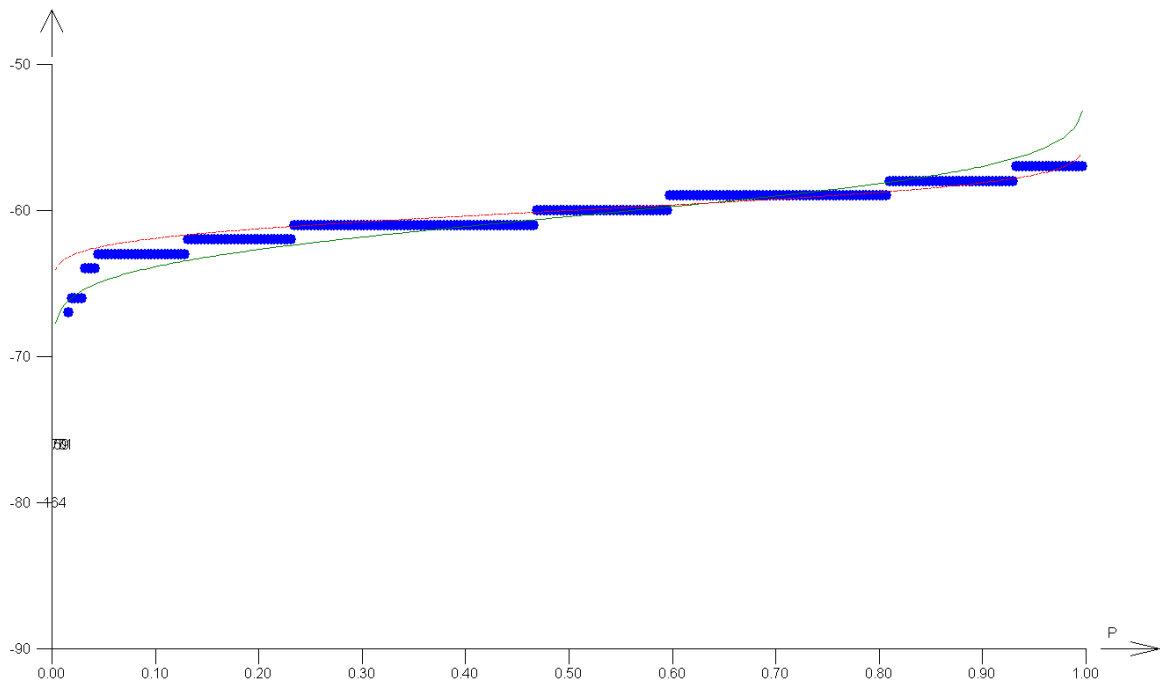


Obrázek 10.3 - Krabicový graf

Krabicový graf (obrázek 10.3) označuje opět 9 odlehlých bodů 51, 69, 70, 71, 164, 204, 205, 206, 207. Dále napovídá, že půjde o symetrické rozdělení, pokud se tyto hodnoty odstraní. Graf trendu (obrázek 10.4) znovu vyznačuje 9 odlehlých hodnot.

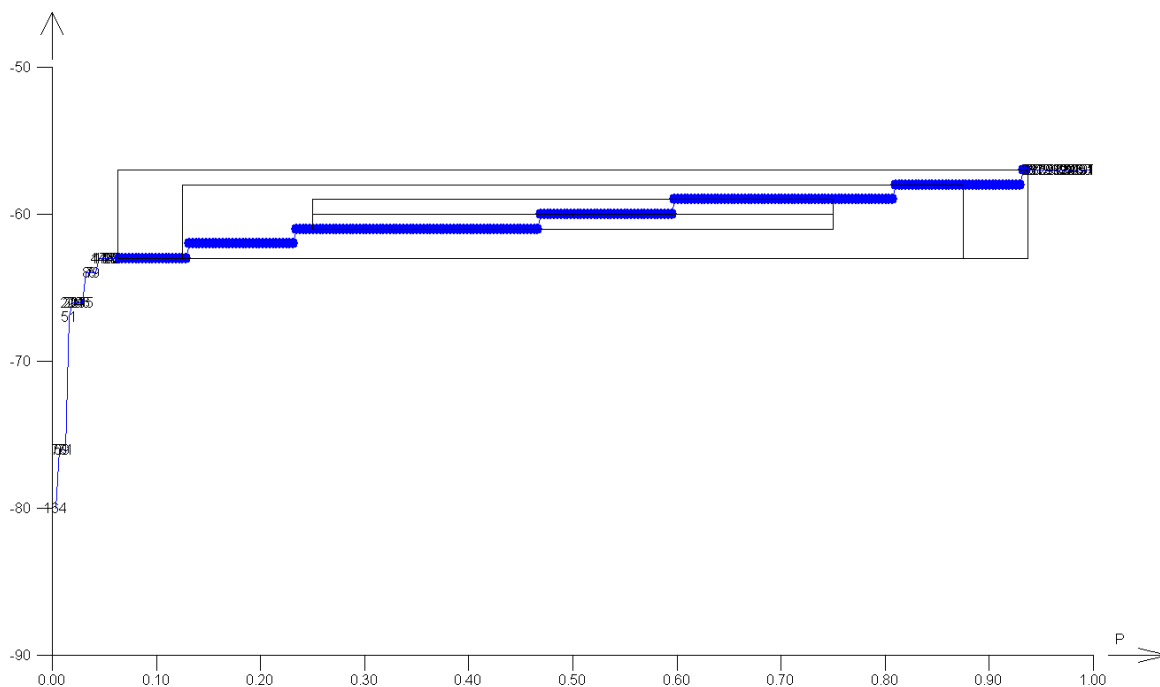


Obrázek 10.4 - Graf trendu



Obrázek 10.5 - Kvantilový graf

Kvantilový graf (obrázek 10.5) spolu s grafem rozptýlení s kvantily obrázek 10.6 se v odlehých bodech shodují s výše uvedenými grafy.

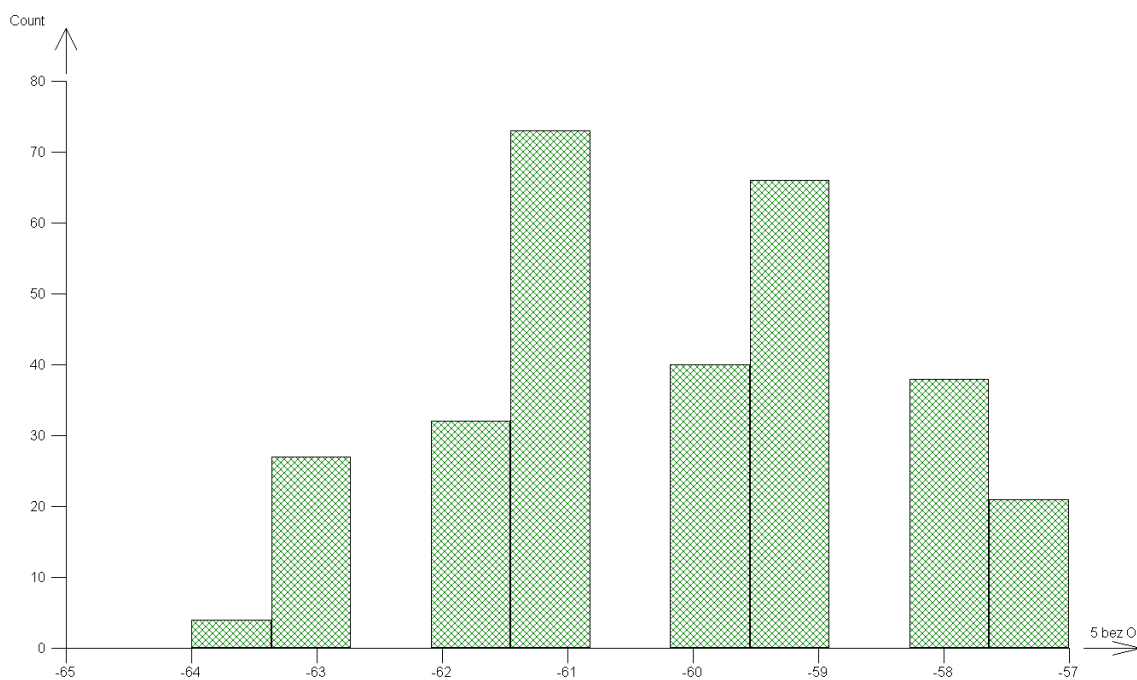


Obrázek 10.6 - Graf rozptýlení s kvantily

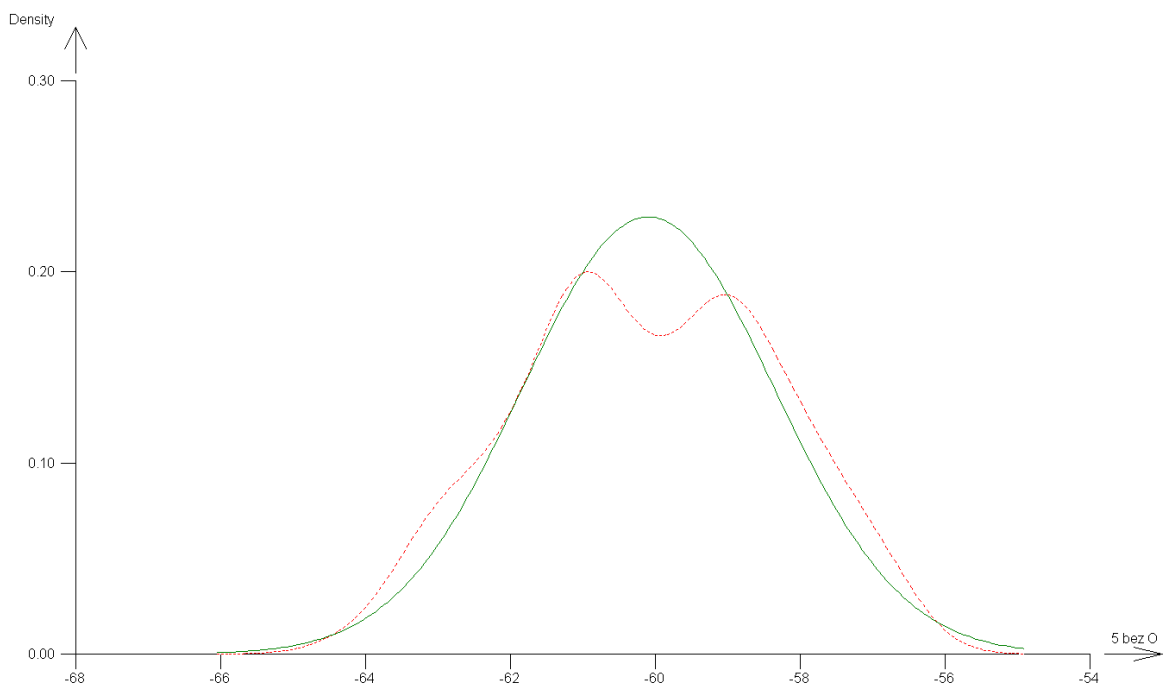
Závěr z odhalování odlehlých hodnot:

Z uvedených grafů vyplývá, že data obsahují devět odlehlých bodů a to 51, 69, 70, 71, 164, 204, 205, 206, 207. Dalším krokem je odstranění těchto hodnot z dat a uvedení grafů, které rozhodnou o normalitě rozdělení, což je důležité pro výběr správného určení polohy dat.

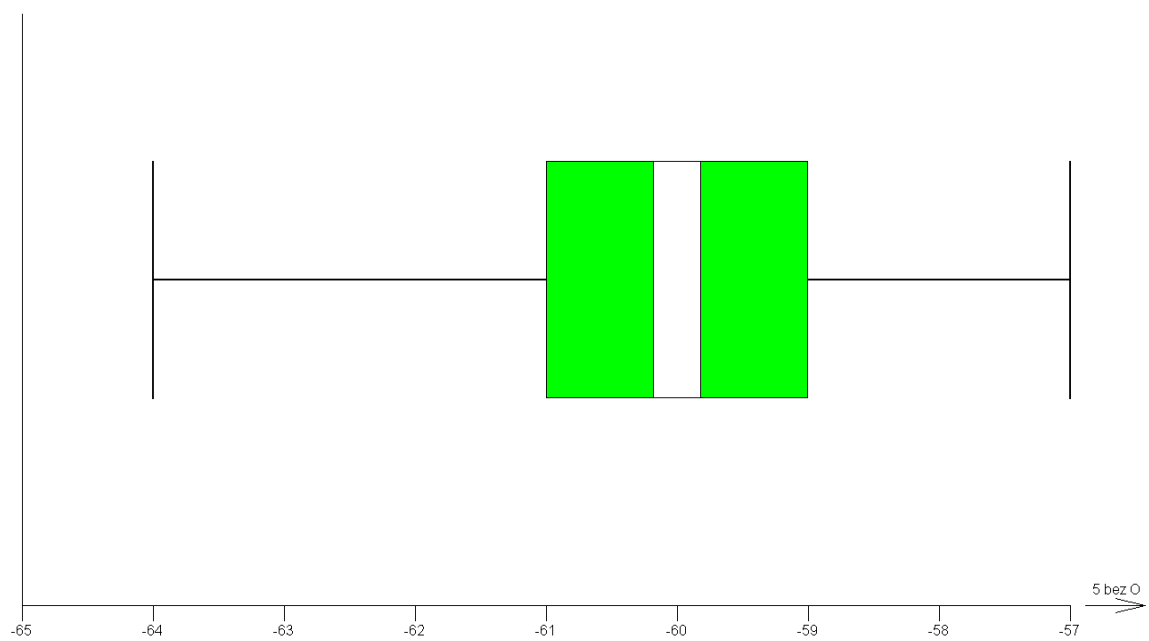
Po odstranění odlehlých hodnot je na následujícím obrázku Histogram, který naznačuje symetrické, normální Gaussovo rozdělení. Toto potvrzují i grafy odhadu hustoty (obrázek 10.8), krabicový graf (obrázek 10.9) i kruhový graf (obrázek 10.11). Graf trendu (obrázek 10.10) opět potvrzuje správnost měření. V datech není trend.



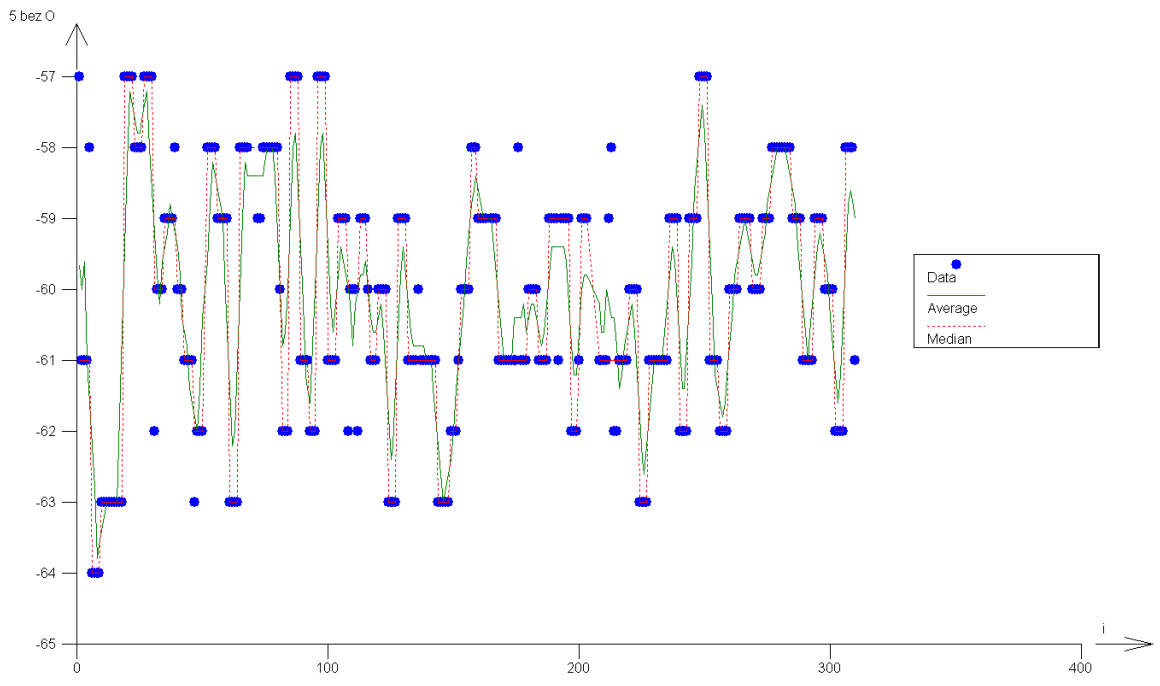
Obrázek 10.7 - Histogram po vynechání odlehlých hodnot



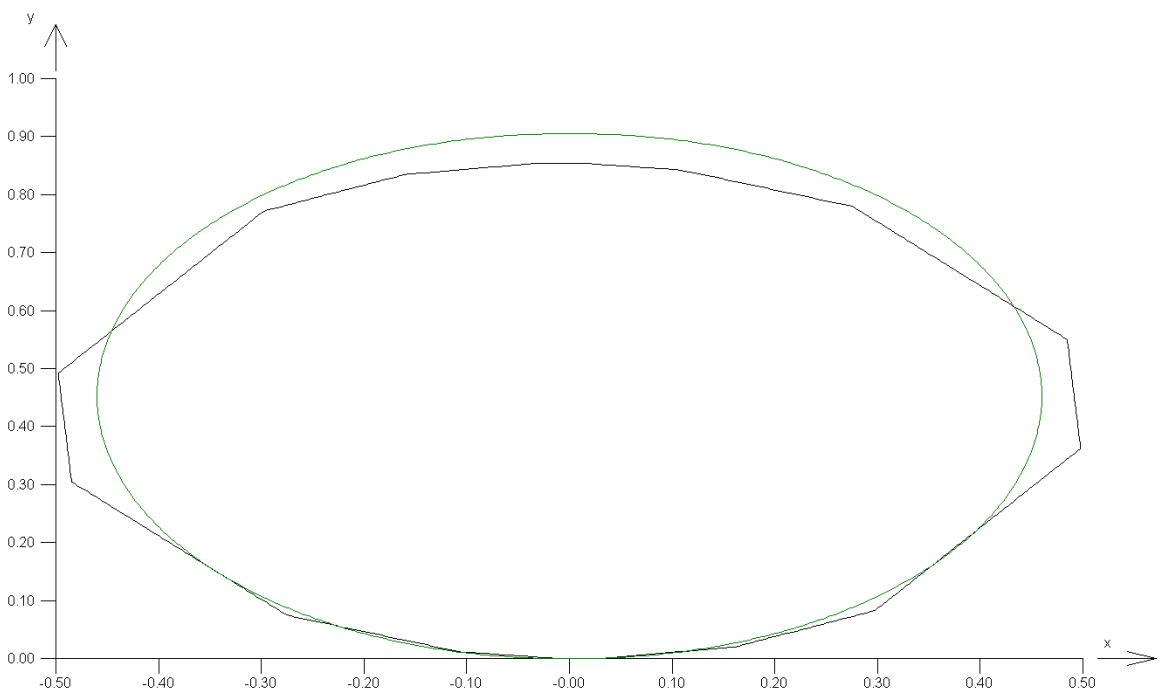
Obrázek 10.8 - Odhad hustoty po vynechání odlehlých hodnot



Obrázek 10.9 - Krabicový graf po vynechání odlehlých hodnot

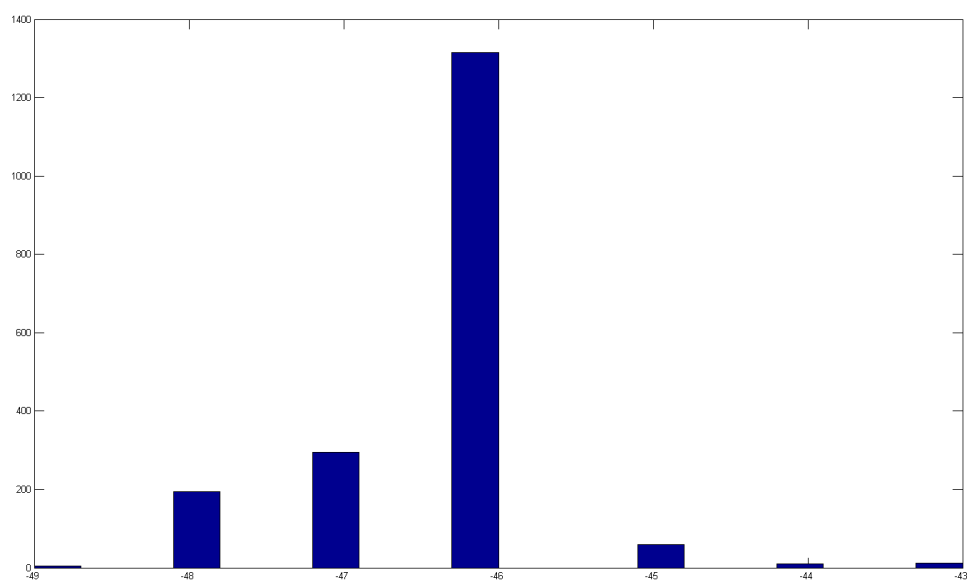


Obrázek 10.10 - Graf trendu po vynechání odlehlých hodnot

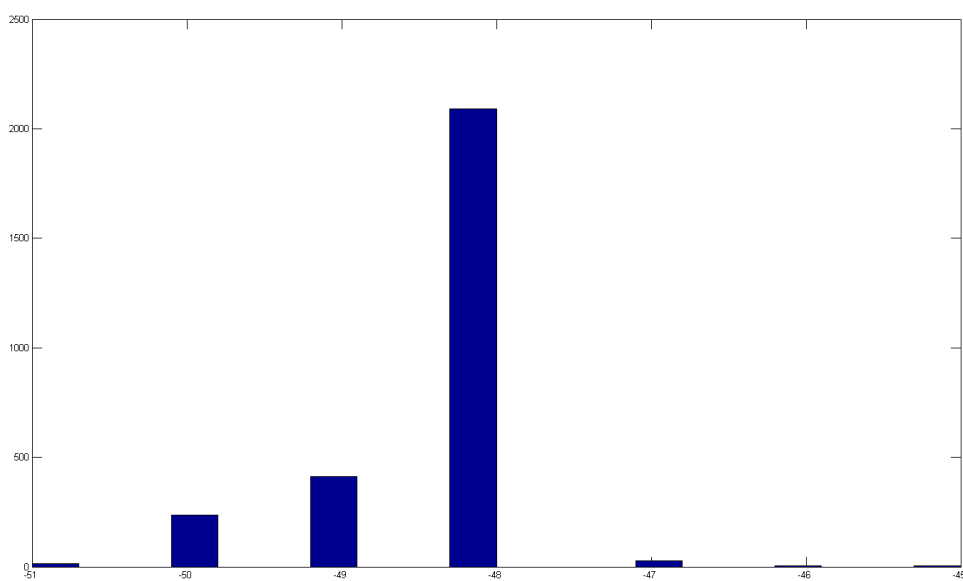


Obrázek 10.11 - Kruhový graf po vynechání odlehlých hodnot

Na následujících dvou obrázcích jsou dále uvedeny histogramy dalších měření, která opět dokazují normální rozdělení naměřených dat.



Obrázek 10.12 – Histogram normálního rozdělení z druhého měření



Obrázek 10.13 - Histogram normálního rozdělení ze třetího měření

10.2.2 Ověření předpokladů výběru dat

Dalším krokem v analýze dat je ověření základních předpokladů. K tomu slouží výsledky statistických testů, které popisuje následující tabulka. Zde jsou uvedeny jak výsledky pro data s odlehlými hodnotami, tak i pro data bez odlehlých hodnot.

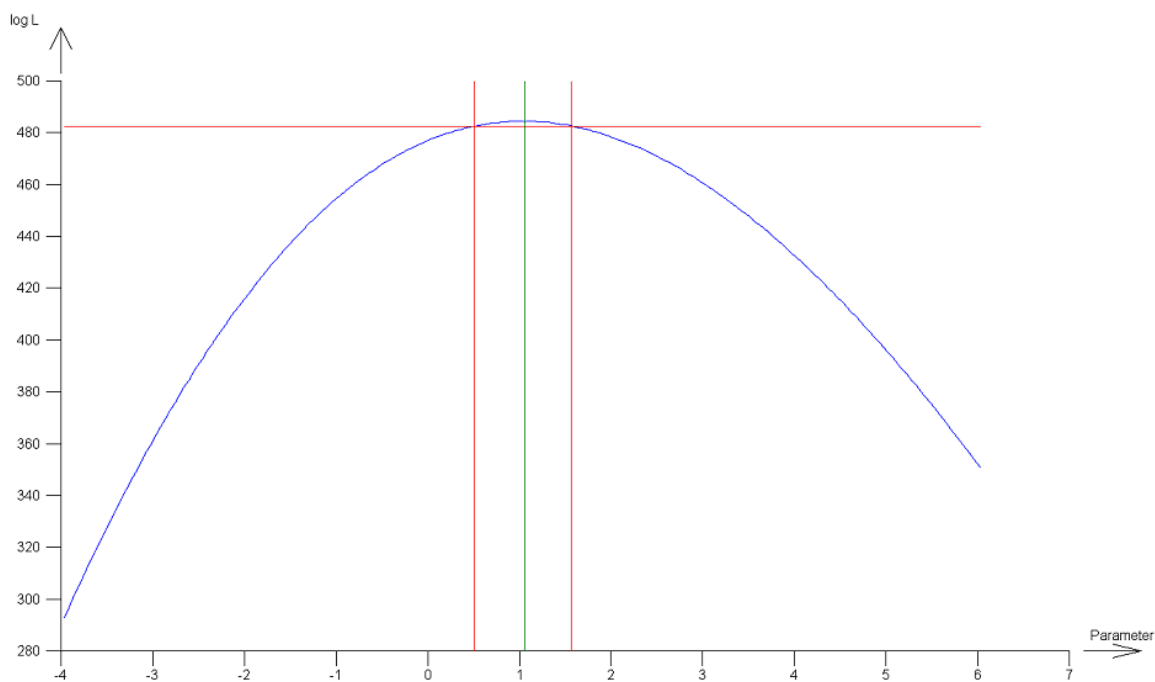
Tabulka 10.1 - Tabulka statistických parametrů pro změřený soubor dat

Column name :	5	5 bez O	Column name :	5	5 bez O
No of valid data :	310	301			
Significance level :	0.05	0.05			
			Normality test:		
Classical parameters :			Skewness	-3.207586	-0.07120181
Average :	-60.4129032	-60.0963455	Kurtosis :	21.108768	2.198066744
Variance :	7.194654974	3.0406866	Normality :	Rejected	Accepted
Modus :	-59.1795042	-59.8085851			
			Outliers :		
Robust parameters :			Homogeneity :	Rejected	Accepted
Median :	-60	-60	Number of outliers found :	9	0
CI lower bound :	-60.5019661	-60.5020253	Lower limit for outlier :	-65.47677	-65.4760797
CI upper bound :	-59.4980339	-59.4979747	Upper limit for outlier :	-54.52323	-54.5239203
Median variance :	0.065079442	0.06507944			
			Test for linear trend :		
Runs Test :			Slope :	0.0021929	0.000817033
Conclusion :	Data Are Independent	Data Are Independent	Significance :	Insignificant	Insignificant

Nejdůležitější parametry dat jsou zvýrazněny červeně. Vychází se z 310 naměřených hodnot. Nalezeno je 9 odlehlých hodnot, což potvrzuje základní předpoklad získaný z diagnostických grafů. Pracuje se s 95% jistotou pravděpodobnosti. *Důležitý parametr je medián, který je v obou případech stejný a má hodnotu -60 dBm a rozptyl 0,065 dBm.* Zde je důkaz, že medián není ovlivněn odlehlými body. Dále je potvrzeno normální Gaussovo rozdělení, nezávislost, homogenita dat a nepřítomnost trendu.

10.2.3 Transformace dat

Transformace se používá k zesymetričtění rozdělení dat a ke stabilizaci rozptylu. Pro rozhodnutí, zda je zapotřebí využít transformace, se používá graf odhadu optimálního λ , který je na následujícím obrázku. Hranice intervalu spolehlivosti λ obsahuje hodnotu 1. Transformace tedy není nutná. Potvrzuje to závěr z EDA a ze základních předpokladů, že data mají normální Gaussovo rozdělení.



Obrázek 10.14 - Box-Coxova transformace, odhad optimálního λ

10.2.4 Závěr ze statistické analýzy dat

Z výsledku provedené analýzy vyplývá, že po vynechání odlehlých hodnot jsou splněny všechny předpoklady pro použití aritmetického průměru. Ovšem v počtu měřených souborů dat nelze tuto analýzu provádět a tím je znemožněna identifikace a následné odstranění odlehlých hodnot. Proto je nutné použít pro vyčíslení správné polohy dat Medián, který je robustní vůči odlehlým hodnotám i vůči případné nesymetrii v datech. To potvrzuje i tabulka (10.1), kde je hodnota mediánu stejná jak pro data s odlehlými hodnotami, tak i pro data bez odlehlých hodnot.

11 Výsledky měření

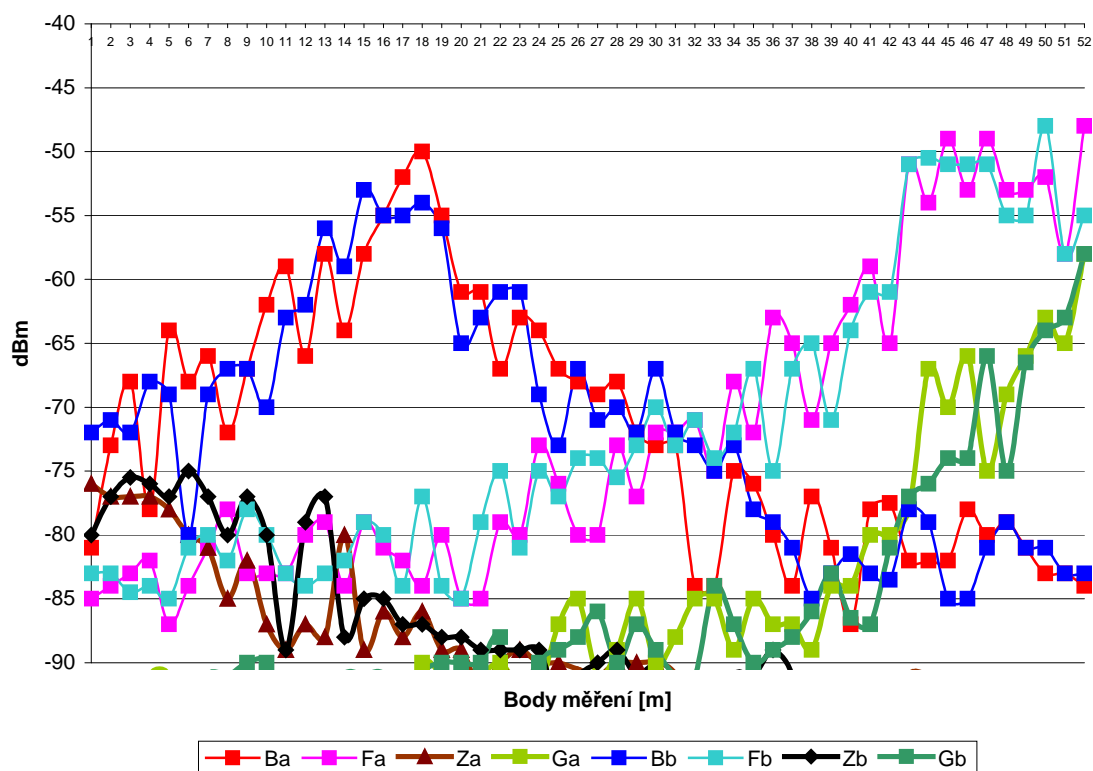
11.1 Podmínky měření

Měření bodů ve výše uvedeném prostředí se provádělo v době, kdy v budově bylo co nejméně lidí, kteří by mohli ovlivňovat výsledek. Příkladem může být otevírání dveří místností B, G, Z a tím i změna přijímaného výkonu během měření. Docházelo by ke zkreslení (znehodnocení) výsledku. Jedná se o opačný případ než při zkoumání konstantně vysílaného výkonu, kde bylo zapotřebí zatížit AP a posoudit změnu přijímaného výkonu. Po celou dobu měření byly oboje dveře do Chodby1 otevřeny. Dveře místností naopak zavřeny. Umístění AP (vysílací antény) je ve výšce přibližně 2m, u měřící (přijímací) antény je 1,1 m. Nejkratší možná doba vzorkování 0,5s je zvolena s důvodu urychlení měření. Pro správné určení střední hodnoty výběru dat platí - čím víc vzorků, tím přesnější získaná hodnota. Minimální počet byl stanoven na 60 vzorků. Odpovídá tomu měření každého bodu po dobu 30 s, což je ještě z pohledu proměření prostředí zvládnutelné. Prostory Chodba1, Chodba2 a místnosti A, E, G jsou rozděleny do 164 měřících bodů. Tyto prostory byly změřeny 2x, pokaždé v jiném čase. Z toho vyplývá, že se potřebný čas na referenční proměření prostředí počítá v řádu jednotek hodin.

11.2 Naměřené hodnoty

V této části kapitoly je uvedeno 8 grafů, které charakterizují rozložení přijímaného výkonu z AP v testovaném prostředí. Vykresleny jsou vždy obě nezávislá měření do jednoho grafu, jsou tak dobře vidět rozdíly mezi jednotlivými měřeními prováděnými v různých časech.

První měřené prostředí označené jako Chodba1 je rozděleno na 52 bodů a je uvedeno obrázku 11.1.

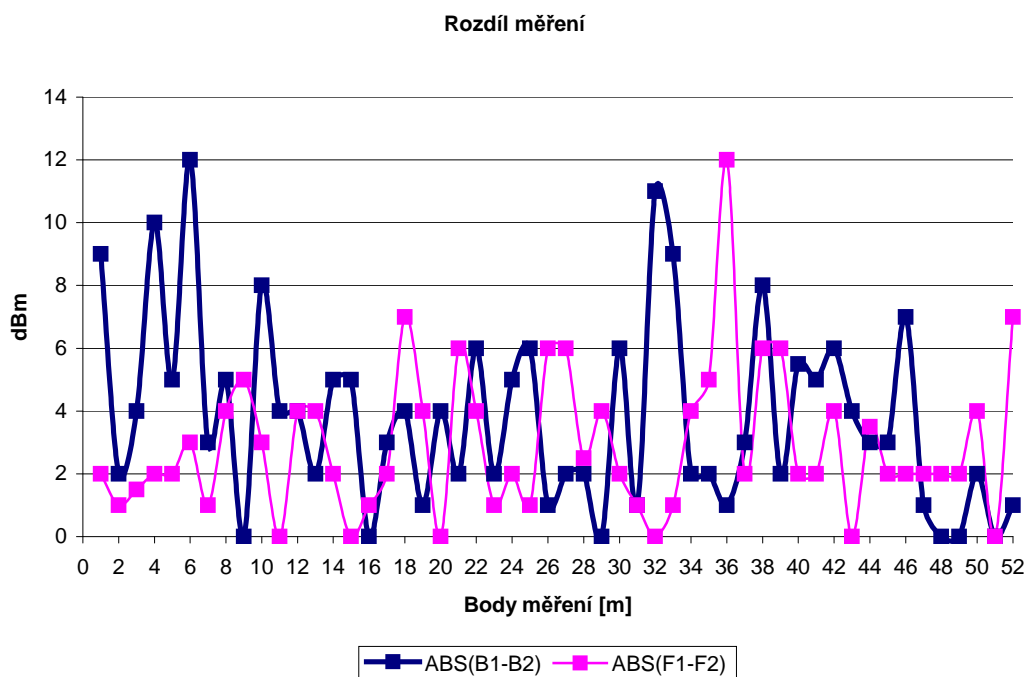


Obrázek 11.1 - Úrovně wifi signálů v prostředí Chodba1

Jak již bylo řečeno vzdálenost mezi body měření je 1 m. Do úvahy se berou celkem čtyři AP označené jako B, F, Z, G. V grafu je vidět strmost křivek přibližně 20dBm na 10m. Dále jsou vidět odchylky měření. U některých částí křivek je možné si všimnout tvarového posunu o +-1m, který může být způsobený odchylkou polohy snímání úrovní signálů v řádu decimetrů mezi prvním a druhým měřením. Těsnost křivek obou měření je určena korelačním koeficientem v tabulce 11.1.

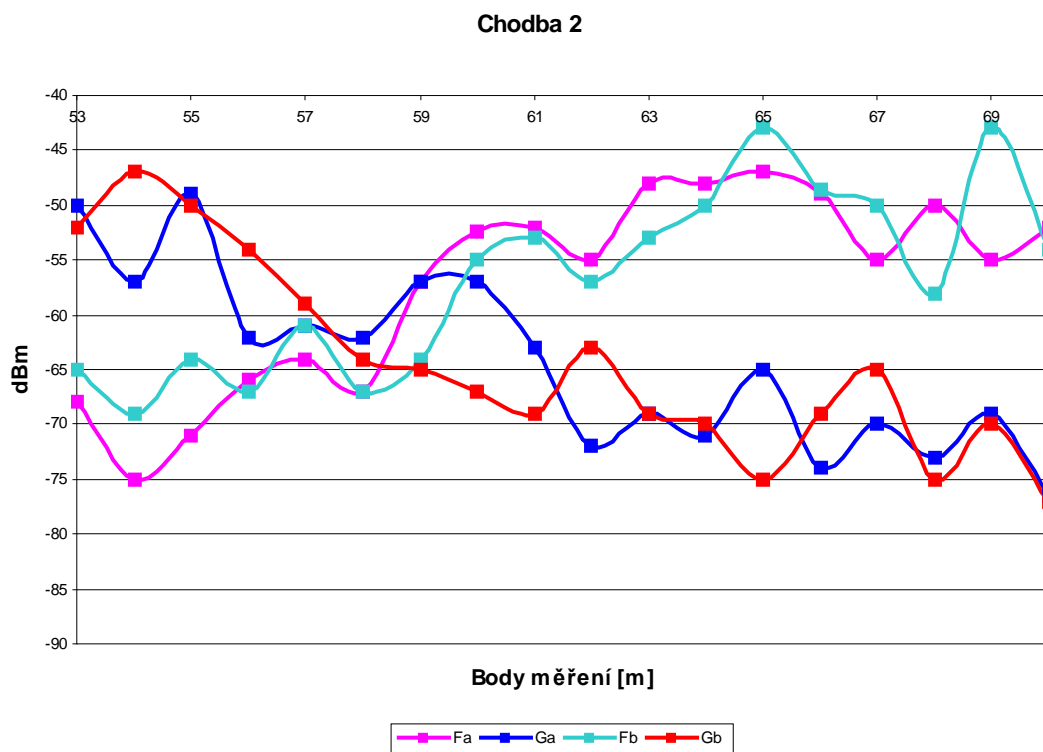
Tabulka 11.1 - Korelační koeficienty mezi měřeními Chodby 1

Chodba1				
AP	B	F	Z	G
cor.coef	0.87	0.95	0.64	0.90



Obrázek 11.2 - Absolutní hodnotu rozdílů obou měření pro přístupové body B a F

Obrázek 11.2 vykresluje absolutní hodnotu rozdílů obou měření u signálů z přístupových bodů B a F. U obou je maximální rozdíl 12 dBm, avšak pouze 8 bodů převyšuje rozdíl 6 dBm u přístupového bodu B a 3 body u F.



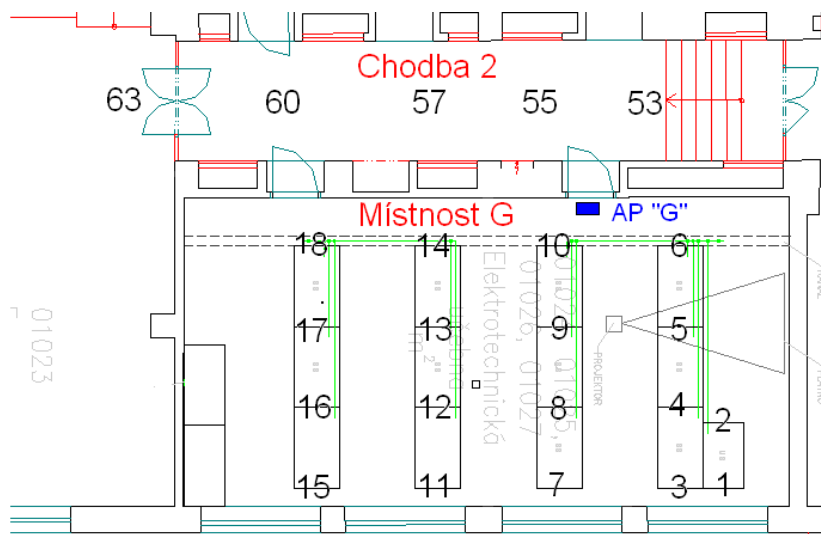
Obrázek 11.3 - Úrovně Wi-Fi signálů v prostředí Chodba2

Druhé měření proběhlo v prostoru označeném jako Chodba 2. Zde mělo smysl brát do úvahy pouze signál z přístupových bodů F a G. Naměřeno je 17 bodů a hodnoty jsou zakresleny v obrázku 11.3. V tabulce 11.2 jsou korelační koeficienty pro tyto dva přístupové body.

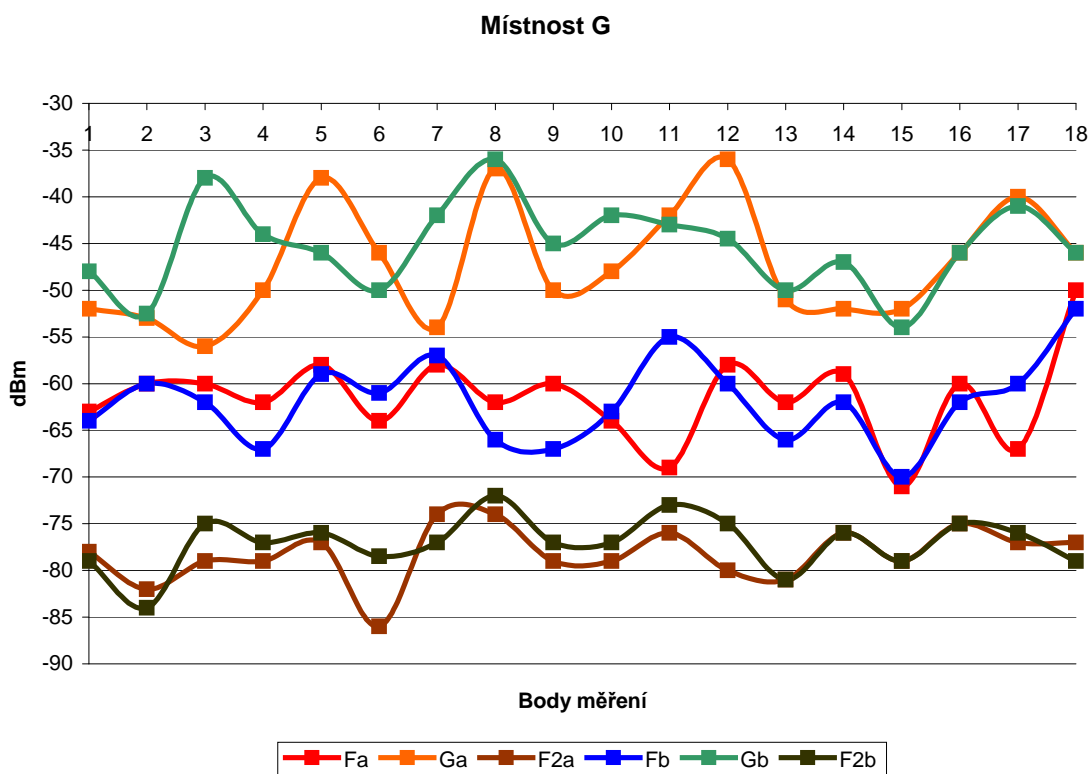
Tabulka 11.2 - Korelační koeficienty mezi měřeními Chodby 2

Chodba2		
AP	F	G
cor.coef	0.82	0.75

Další měření se týká prostoru učeben. Zde neplatí ekvidistantní dělení měřících bodů. Níže jsou uvedeny pouze místnosti A a G. Na obrázcích 11.4 a 11.6 je zakresleno rozložení měřících bodů, tomu odpovídají hodnoty měření v dBm zaznamenané v grafech 11.5 a 11.7.



Obrázek 11.4 - Rozložení měřících bodů Místnosti G



Obrázek 11.5 - Úrovně Wi-Fi signálů v prostředí Místnost G

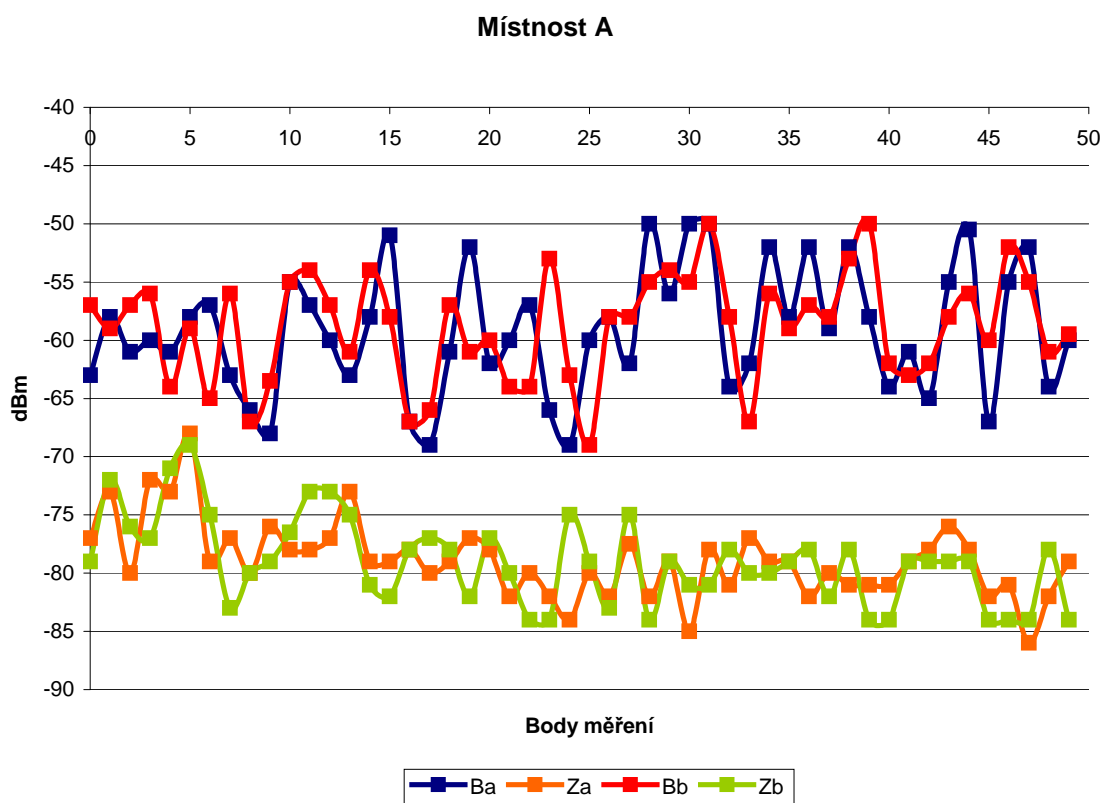
Tabulka 11.3 - Tabulka korelačních koeficientů mezi měřeními Chodba2

Místnost G			
AP	F	G	F2
cor.coef	0.46	0.33	0.59

Pro zobrazení velikosti přijímaných výkonů v měřených bodech byl zvolen opět jednoduchý 2D bodový graf s hladkými spojnicemi, i když takovéto vyjádření je na první pohled chybné. Lze však jednoduše vykreslit více křivek přijímaných výkonů do jednoho grafu. Slouží tak pouze pro základní přehled o úrovních signálů a rozdílech měření. Tento přehled doplňují tabulky 11.2 a 11.3 s korelačními koeficienty. Paradoxně u měřeného AP G, kde je přímá viditelnost antén a zároveň nejkratší vzájemná vzdálenost, je korelační koeficient nejmenší 0,33.



Obrázek 11.6 - Rozložení měřících bodů Místnosti A

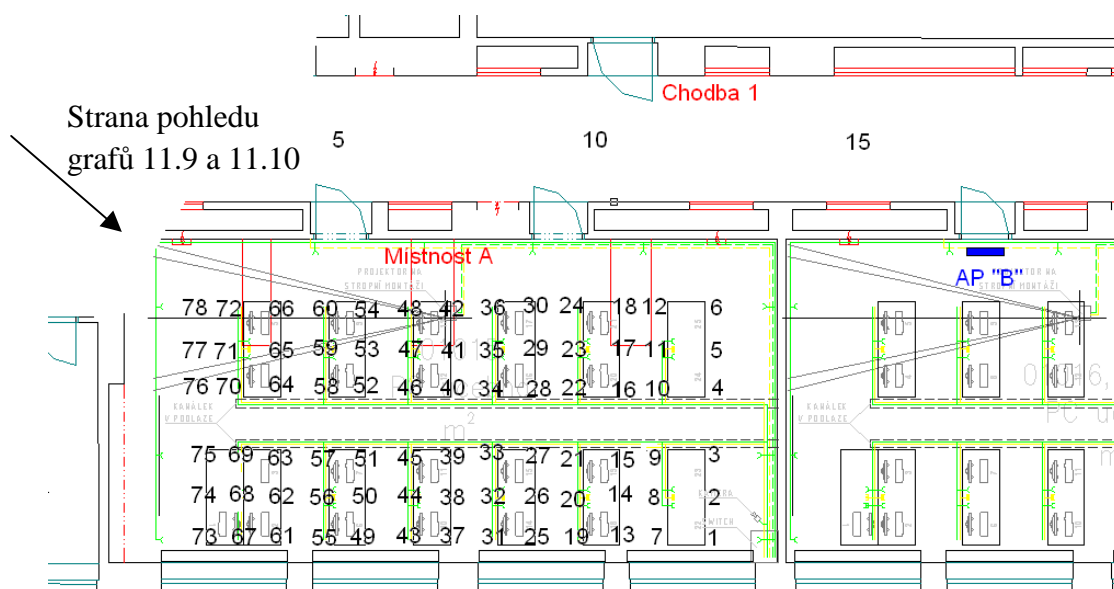


Obrázek 11.7 - Úrovně Wi-Fi signálů v prostředí Místnost A (50 bodů)

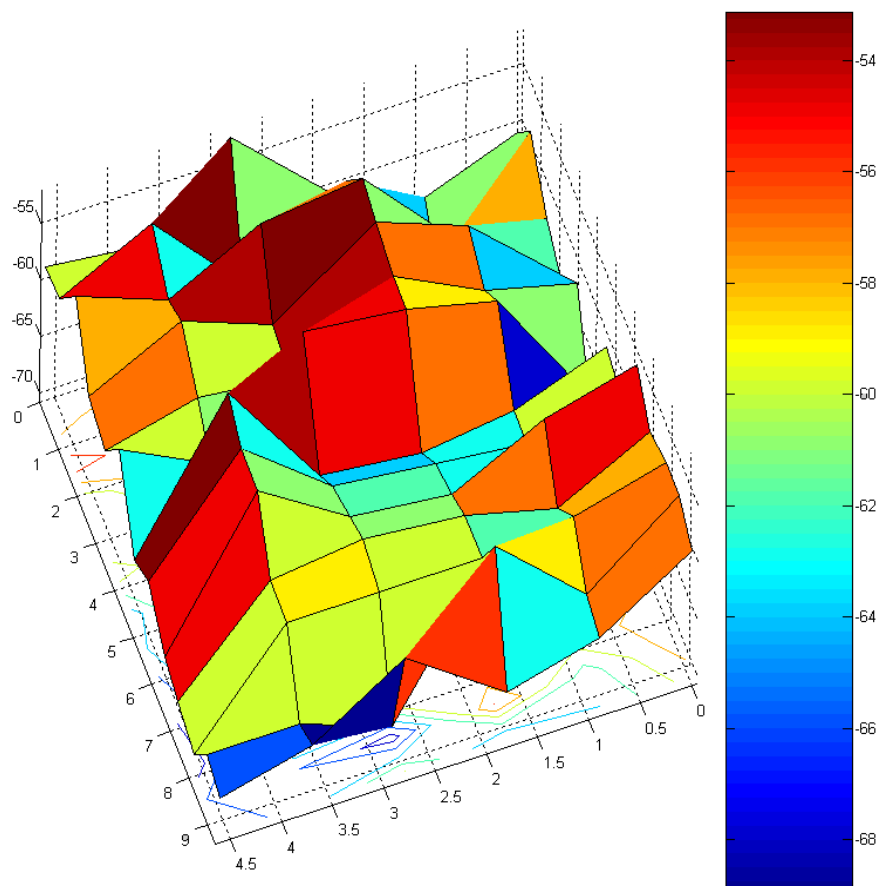
Tabulka 11.4 - Korelační koeficienty mezi měřeními Chodby 2

Místnost A		
AP	B	Z
cor.coef	0.54	0.60

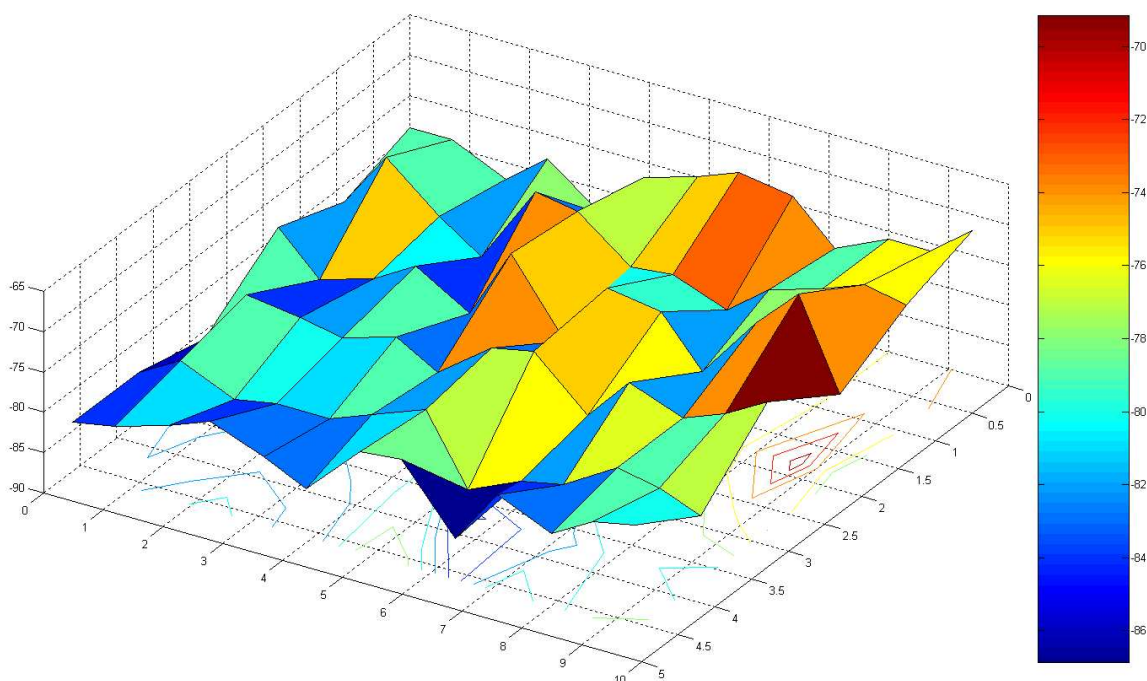
Jako poslední v této kapitole je zde uvedeno měření místnosti A s nejjemnějším dělením na 78 měřících bodů. Rozvržení měřících bodů je na obrázku 11.8. Detailnější proměření prostředí má prokázat nebo vyvrátit možnost dosažení vyšší přesnosti lokalizačního systému.



Obrázek 11.8 - Rozvržení měřících bodů Místnosti A (78 bodů)



Obrázek 11.9 - 3D pokrytí Místnost A Wi-Fi signálem z AP B (78 bodů)



Obrázek 11.10 - 3D pokrytí Místnost A Wi-Fi signálem z AP Z (78 bodů)

Výsledky měření jsou zobrazeny v 3D grafu 11.9 a 11.10. Natočení grafů je z nejpřehlednějšího úhlu pohledu. Současně je pohled označen na obrázku 11.8. Osa x označuje šířku místnosti [m], osa y délku místnosti [m] a na ose z jsou vyneseny změřené úrovně Wi-Fi signálu [dBm]. Měřené hodnoty z AP B se pohybují od -53 dBm až do -69 dBm. Rozdíl nejmenší a největší úrovně signálu je tedy 16 dB. V grafu jsou vidět maxima uprostřed místnosti a v prostoru vchodových dveří. Měřené hodnoty z AP Z se pohybují od -86 dBm až do -70 dBm. Rozdíl nejmenší a největší úrovně signálu je tedy opět 16 dB.

Veškeré měření (celkem 164 proměřených bodů), které bylo provedeno, je uvedeno jako celek v příloze A. Rozdělení je následující. Chodbě 1 odpovídají měřené body 1 až 52, Chodbě 2 body 53 až 70, Místnosti G body 71 až 96, Místnosti body E 97 až 114, Místnosti A body 115 až 164.

11.3 Závěr z měření signálu

Z dostupných grafů lze určit rozdíl obou měření v bodech snímání úrovně signálů. Maximální rozdíl hodnot se pohybuje těsně nad hranicí 10 dB. Ve většině měření je však rozdíl menší než 5 dB. Korelační koeficienty jsou obecně větší u měření chodeb, kde dosahují hodnot až 0,95 u AP F Chodby 1. Naopak menší korelace vychází u měření

místností, kde nejvyšší dosažená hodnota je 0,6 v místnosti A u AP Z a nejmenší 0,33 v místnosti G u AP G. U chodeb je možná chyba měření způsobena odchylkou umístění měřicí antény 2x do stejného bodu. Nepřesnost je v řádu jednotek decimetrů. To je vyloučeno u místností, kde je poloha měření přesně na hranách nebo v rozích lavic. Avšak rozdíly přijímaného signálu v místnostech mezi jednotlivými měřeními jsou větší, což je dáno charakterem rozložení nábytku, odrazy od zdí a průchody signálů zdmi.

V 3D grafu 11.9 můžeme pozorovat vliv prostředí na úroveň signálu v měřených bodech. U vchodu do místnosti je velikost přijímaného signálu z přístupového bodu B ze sousední místnosti vyšší. Dřevěné dveře mají menší útlum průchodu signálu než 50cm široká zeď.

V příloze A je uveden graf, který shrnuje veškerá měření, která byla provedena. Je vidět, že v jednom bodě měření jsou vždy nejméně dvě použitelné úrovně signálů z okolních AP. Toto se týká místnosti A, Chodby 2 a části středu Chodby 1. V ostatních případech jsou dostupné tři hodnoty. To je pro systém určování polohy velmi důležité zjištění. Čím více použitelných signálů je v jednom bodě měření, tím přesnější určení polohy lze očekávat. Za použitelnou minimální úroveň signálu je stanovena hodnota -89dBm, nižší úrovně jsou brány jako šum.

12 Modely šíření

V této kapitole je popisováno prokládání naměřené křivky úrovně přijímaného signálu vhodným matematickým modelem. Při výběru modelu je potřeba klasifikovat testované prostředí a na základě toho vybrat vhodný model. Klasifikaci podle typu prostředí nejlépe odpovídá pikobuňka. Podle charakteru výpočtu byly v této práci voleny hlavně modely empirické. Tam, kde tyto modely selhávaly, byl zvolen model deterministický. Dále je třeba rozhodnout, zda uvažovat v modelech Fresnelův zlom.

12.1 Vliv Fresnelova zlomu

Přístupové body mohou vysílat na 13 kanálech s kmitočty od 2,412 (1.kanál) do 2,472 (13. kanál). Tomu odpovídá nejdelší vlnová délka λ (pro 1. kanál):

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{2,412 \cdot 10^9} = 12,4 \text{ cm}, \quad (12.1)$$

kde	c [m/s]	je rychlost šíření světla ve vakuu,
	f [Hz]	je kmitočet, na kterém vysílá AP,
	λ [m]	je vlnová délka.

Vztah pro výpočet vzdálenosti Fresnelova zlomu pak vypadá takto:

$$d_0 = \frac{4h_1h_2}{\lambda} = \frac{4 \cdot 1,5 \cdot 2}{0,124} = 97 \text{ m}, \quad (12.2)$$

kde	d_0 [m]	je vzdálenost Fresnelova zlomu,
	h_1, h_2 [m]	jsou výšky antén spoje,
	λ [m]	je vlnová délka pro 1. kanál 802.11g. [13]

Z měření Chodby1, konkrétně signálu z AP F je vidět přibližně dosah přístupového bodu, který je okolo 50 m. Z toho vyplývá, že s rezervou není potřeba uvažovat Fresnelův

zlom v modelech, protože v nejhorším případě, když přístupový bod vysílá na 1. kanálu, je vzdálenost Fresnelova zlomu 97 m.

12.2 Použité modely

Nejprve byly zkoumány dva základní empirické modely One-Slope Model, ITU-R p.1238 Model a jeden semi-empirický Multi-Wall Model. Důvod, proč se vůbec zabývat modely šíření, je úspora času. Místo měření úrovní signálů všech bodů je hlavní myšlenka ve výpočtu modelu, který se zpřesní jen minimálním počtem bodů měření.

Z této myšlenky vyplývá, že model musí být jednoduchý. Nelze nastavovat více parametrů modelu současně, pokud je zapotřebí dosáhnout určité přesnosti. Během porovnávání, který z výše uvedených modelů nejlépe vyhoví naměřeným křivkám, jsem došel k názoru, že nejlepší výsledky a také matematicky nejjednodušší je One-Slope model:

$$L(d) = L_1 + 10 \cdot n \cdot \log(d), \quad (12.3)$$

kde	$L(d)$ [dB]	je predikovaná hodnota ztrát šířením,
	d [m]	je vzdálenost mezi vysílačem a bodem pozorování ($d > 1\text{m}$),
	L_1 [dB]	je referenční hodnota ztrát pro vzdálenost 1m,
	n [-]	je spádový koeficient [13].

Hodnotu parametru modelu L_1 je možné získat z tabulky v literatuře [13] nebo ho lze také spočítat podle vztahu (12.4) pro výpočet ztrát volným prostorem, kde proměnná d se zvolí 1 m. Tato druhá varianta se ukázala jako nejlépe vyhovující.

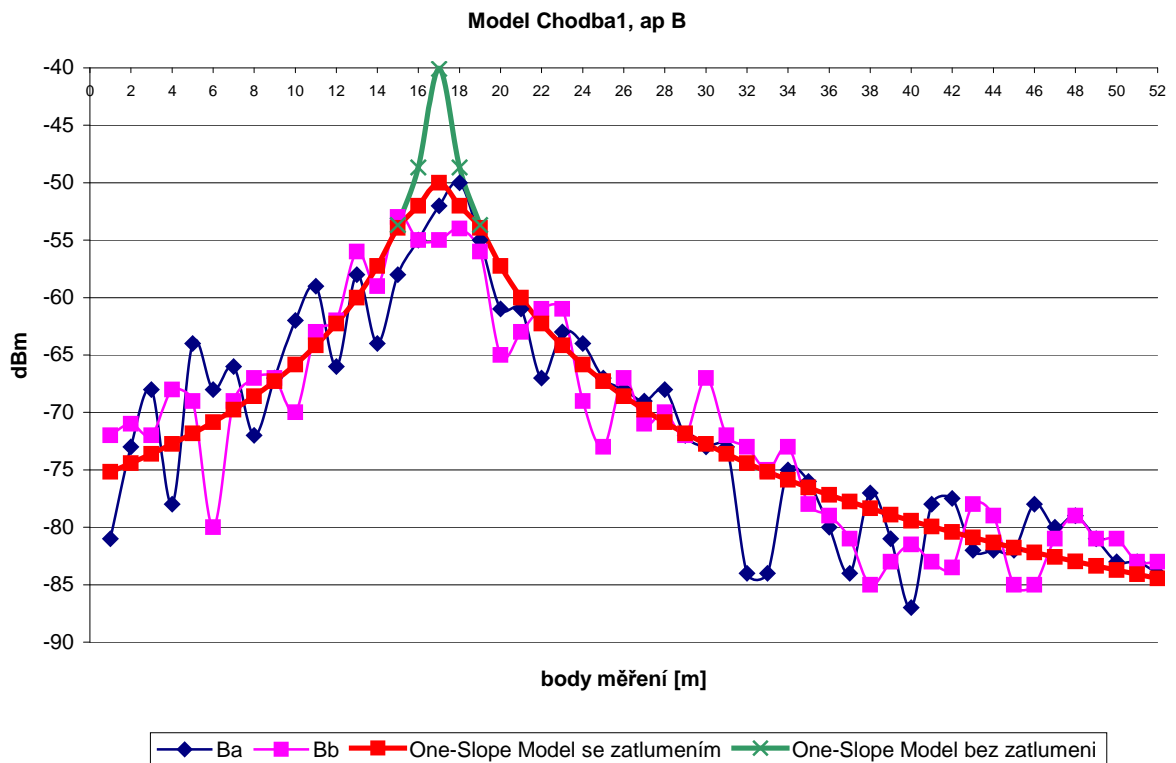
$$FSL(d) = 10 \log \left[\left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \right] = 10 \log \left[\left(\frac{4\pi \cdot 1}{0,124} \right)^2 \right] = 40,2, \quad (12.4)$$

kde $FSL(d)$ [dB] jsou ztráty volným prostorem,
 d [m] je referenční vzdálenost.
 λ [m] je vlnová délka pro 1. kanál 802.11g [13].

V modelu tak zbývají poslední dva parametry. Vzdálenost mezi základnovou stanicí a bodem pozorování, která se získá okótováním vzdáleností v AutoCADu. Druhý parametr spádový koeficient n , se získá experimentálně. Zvolí se tak, aby nalezený model nejlépe prokládal naměřené hodnoty. Jako parametr kvality proložení poslouží korelační koeficient.

12.3 Modely šíření signálu pro Chodby

V další části kapitoly jsou uvedeny 4 grafy, které modelují prostředí Chodby 1. V každém grafu jsou současně obě měření a nalezený model. První obrázek 12.1 popisuje One-Slope model z přístupového bodu B. Toto AP je umístěno v místnosti B nad vchodovými dveřmi, kde tomuto umístění odpovídá poloha 17 na Chodbě 1.



Obrázek 12.1 - Nalezený model pro AP B Chodby 1

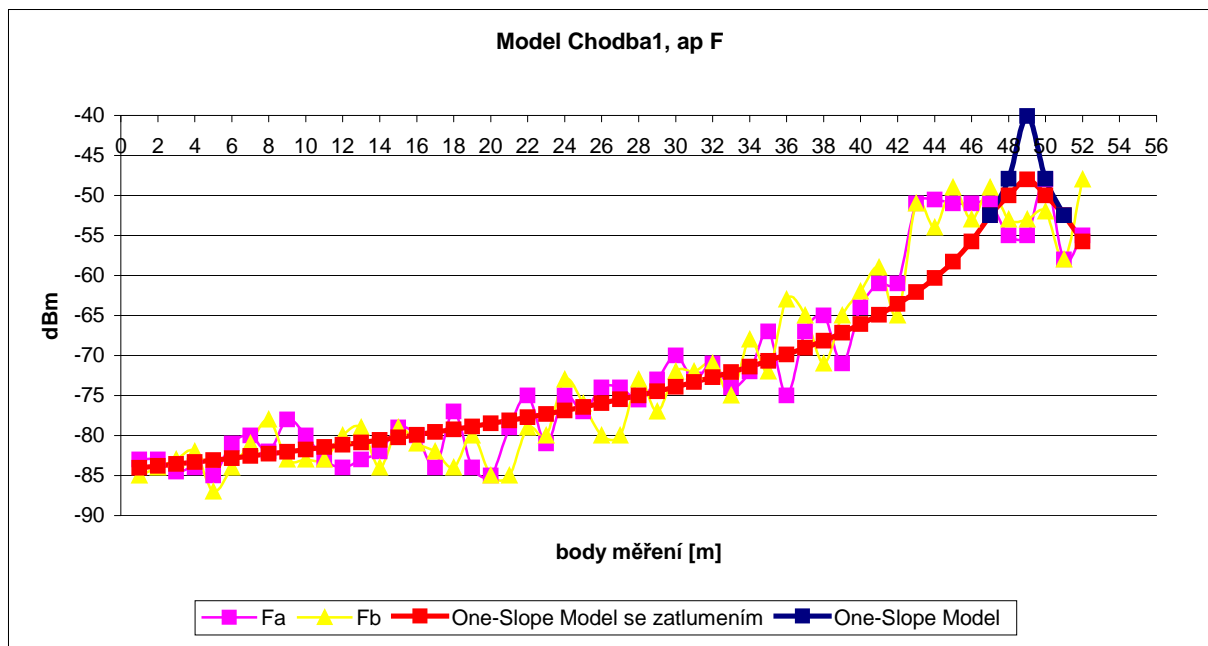
Nalezený model je dále třeba upravit v maximu, kde teoretický předpoklad neodpovídá skutečnosti. Jedná se o tři body modelu, které se ztlumí. Kvalita modelu spolu s parametrem n jsou v tabulce 12.1.

Zde je možné si všimnout, že korelační koeficienty mezi modelem a měřením jsou větší než u korelace mezi měřeními. Parametr modelu spádový koeficient n je v tomto případě 2.85.

Tabulka 12.1 - Korelační koeficienty pro Chodbu 1 AP B

Chodba 1 AP B			
kor.koef mezi	měření a x b	model x a	model x b
kor.koef	0.87	0.92	0.94
parametr n	2.85		

Další obrázek 12.2 popisuje signál z přístupového bodu F. Umístění AP je v bodě 49. Opět je potřeba nalezený model zpřesnit ztlumením 3 bodů v maximu. Je vidět, že od bodu 42 až do bodu 47 model neodpovídá. Je to způsobeno charakterem prostředí. Přístupový bod je umístěn na sloupu. Okolo sloupu není, žádný materiál, který by signál tlumil, jak předpokládá model. Výsledek nebyl lepší ani při použití Multi-WALL modelu, který uvažuje prostředí do výpočtu.



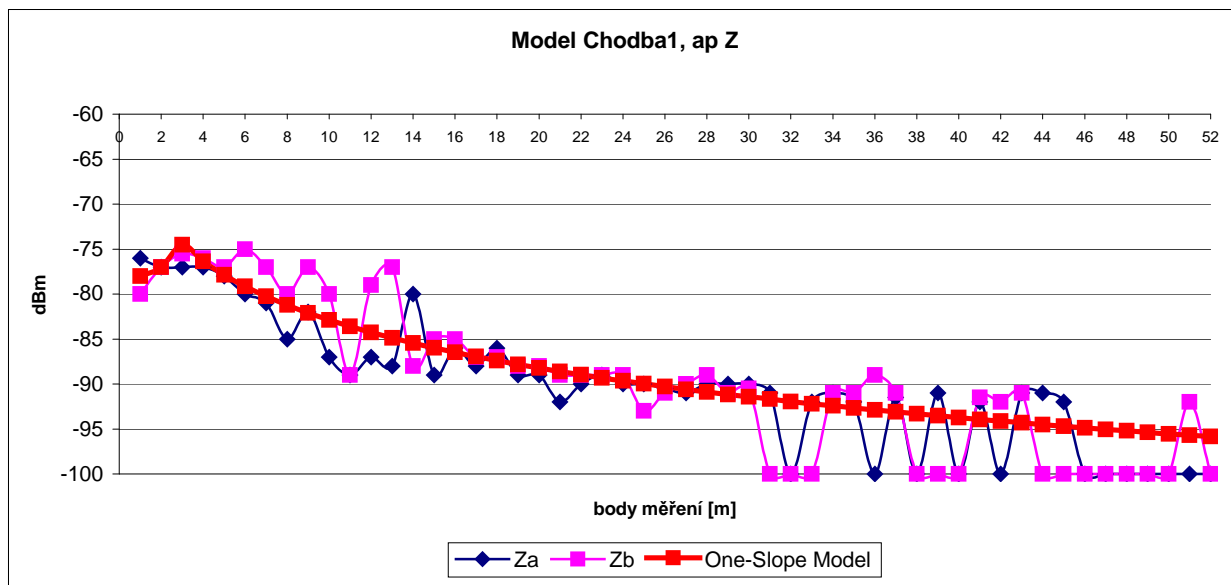
Obrázek 12.2 - Nalezený model pro AP F Chodby 1

V tabulce 12.2 jsou vidět opět vysoké hodnoty korelačního koeficientu. Spádový koeficient je v tomto případě 2,6. Je nižší než v předchozím případě. Důvodem je nezastínění přístupového bodu příčkou jako u AP B.

Tabulka 12.2 - Tabulka korelačních koeficientu pro Chodbu 1 AP F

Chodba 1 AP F			
kor.koef mezi	měření a x b	model x a	model x b
kor.koef	0.948	0.947	0.946
parametr n	2.6		

Další obrázek 12.3 popisuje model signálu z přístupového bodu Z. V tomto případě se berou do úvahy pouze body polohy od 1 do 20. V ostatních bodech jsou naměřené i vypočítané úrovně signálu pod úrovní šumu. Přístupový bod Z je sice v místnosti v patře, ale v důsledku otevřených dveří do Chodby 1 se pravděpodobně šíří signál nejlépe tudy. Proto je zdroj signálu umístěn u vchodu do Chodby 1 v bodě 0. Při použití Multi-WALL modelu nebylo dosaženo lepších výsledků. Dva body v maximum modelu se opět ztlumí. Výsledné parametry modelu jsou v tabulce 12.3.

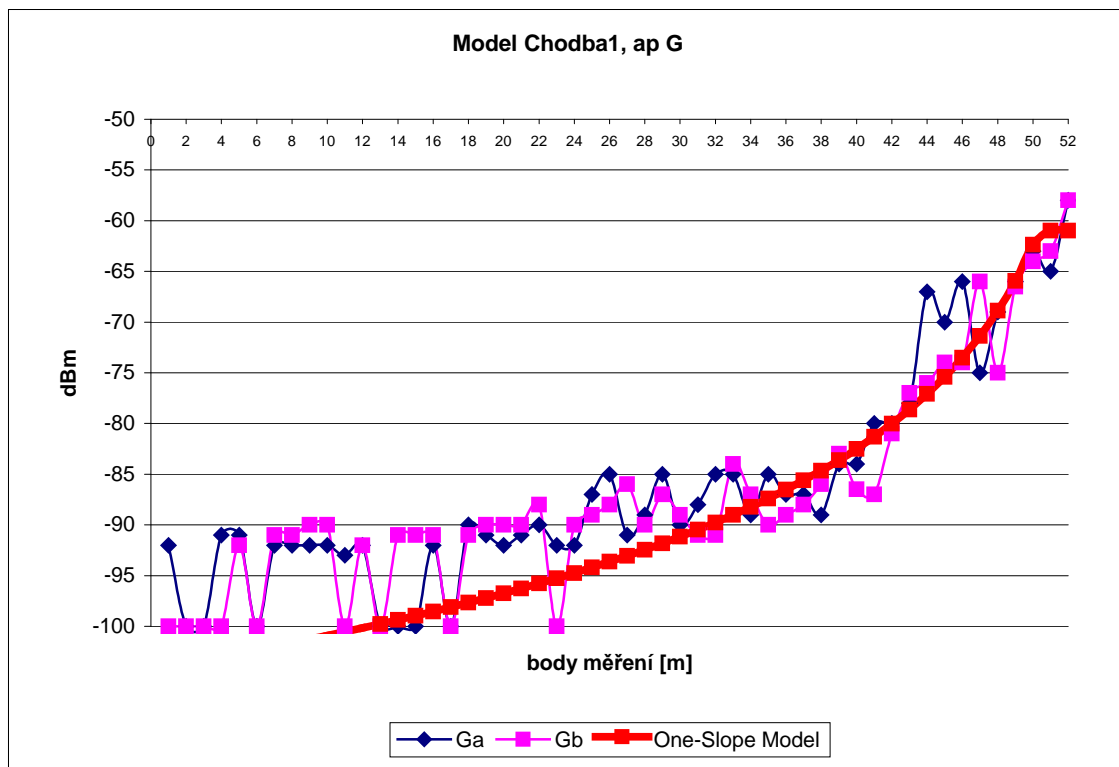


Obrázek 12.3 - Nalezený model pro AP Z Chodby 1

Tabulka 12.3 - Korelační koeficienty pro Chodbu 1 AP Z

Chodba 1 AP Z			
kor.koef mezi	měření a x b	model x a	model x b
kor.koef	0.6426	0.865	0.806
parametr n	1.9		

Poslední obrázek 12.4 popisující Chodbu 1 je pro AP G. V důsledku šumu se berou do úvahy pouze body polohy od 30 do 52. Poloha zdroje šíření v bodě 53 opět neodpovídá skutečnosti. Pravděpodobně dochází k průchodu signálu přes okna místnosti G. Signál se poté odráží od přilehlé budovy a nakonec prochází skrz okna Chodby 1, kde je určen zdroj pro model.



Obrázek 12.4 - Nalezený model pro AP G Chodby 1

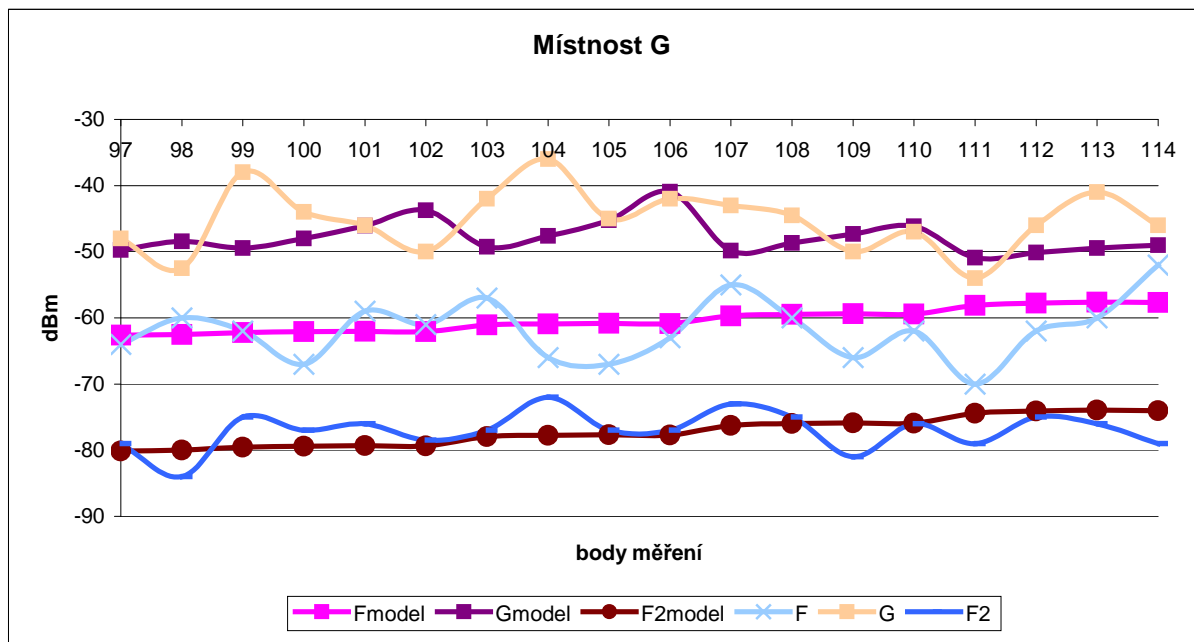
V tabulce 12.4 jsou znovu vysoké korelační koeficienty, které potvrzují kvalitu proložení měření modelem.

Tabulka 12.4 - Korelační koeficienty pro Chodbu 1 AP G

Chodba 1 AP G			
kor.koef mezi	měření a x b	model x a	model x b
kor.koef	0.9	0.94	0.96
parametr n	3.7		

12.4 Modely šíření signálu pro místnosti

Další část kapitoly se týká návržení modelů pro místnosti. Na obrázku 12.5 jsou nalezené One-Slope modely pro místnost G. Je vidět, že modely neodpovídají naměřeným hodnotám, což potvrzují i korelační koeficienty v tabulce 12.5.

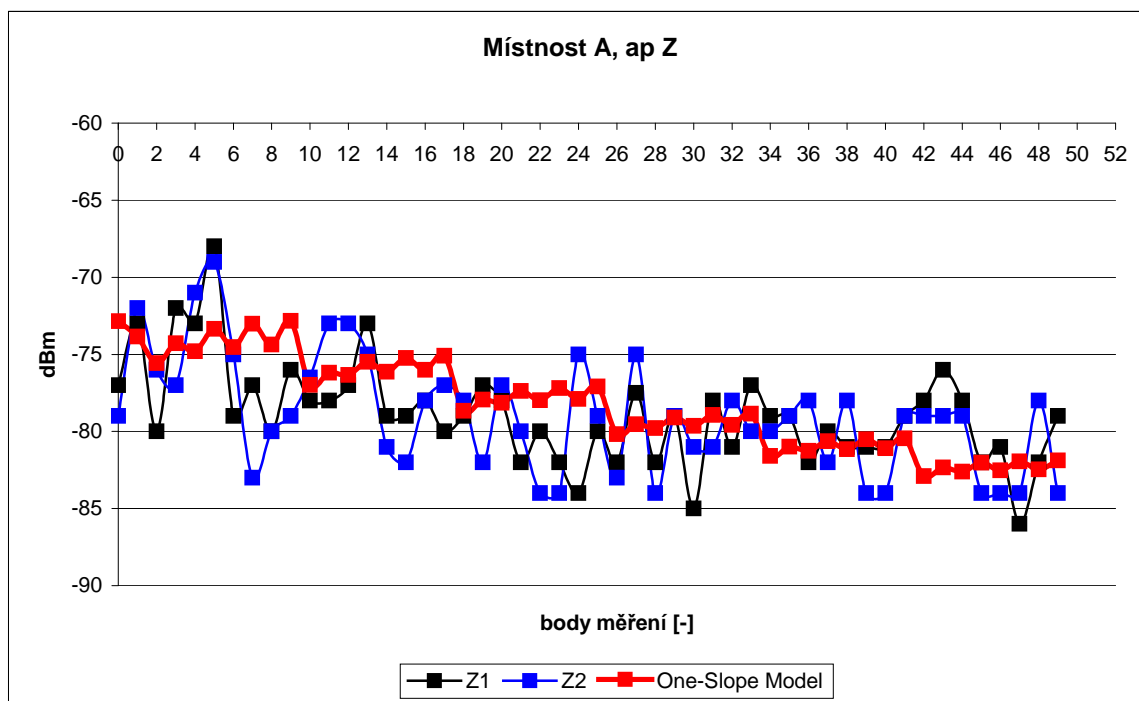


Obrázek 12.5 - Nalezené modely pro místnost G

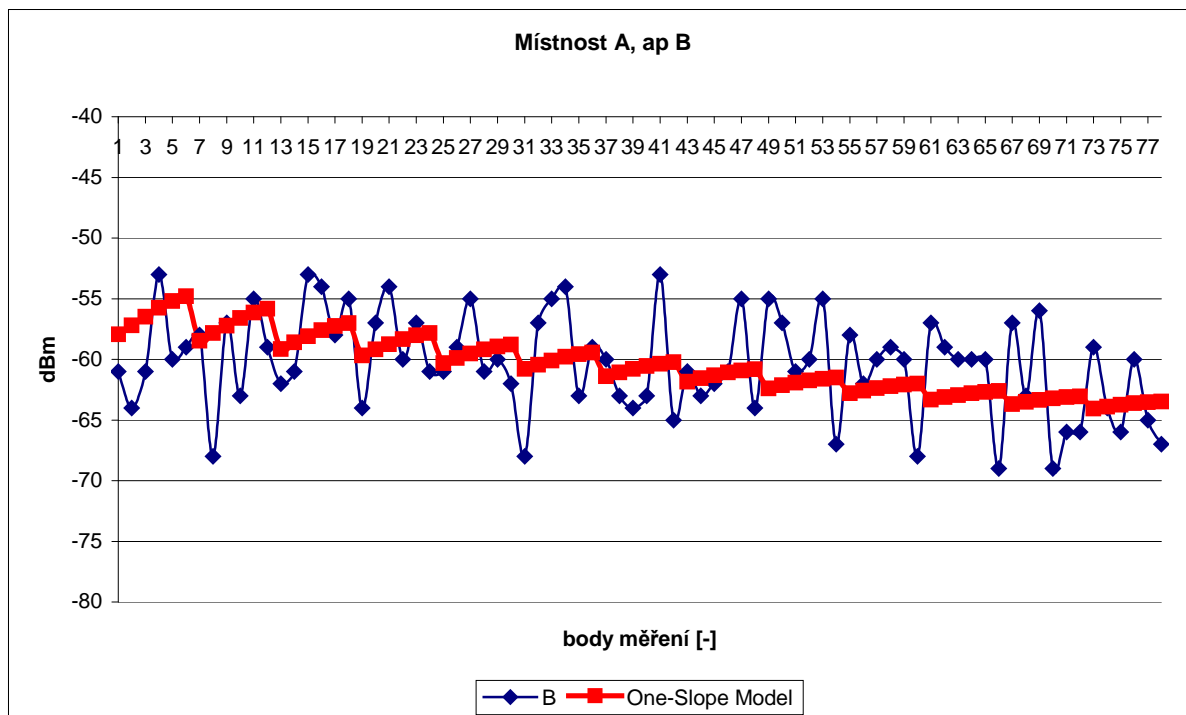
Tabulka 12.5 - Korelační koeficienty pro místnost G

Místnost G			
AP	F	G	F2
kor.koef měření a x b	0.46	0.33	0.59
kor.koef model x a	-0.05	0.06	0.34
kor.koef model x b	0.15	0.05	0.18
parametr n	1.8	1.2	3.1

Pro modely v Místnosti A platí následující dva grafy (obrázky 12.6 a 12.7). Navržené modely opět nevyhovují skutečně změřeným hodnotám, jak je vidět v tabulce 12.6. Velikost korelačních koeficientů je velmi malá. Prakticky to dokazuje, že jsou modely nepoužitelné.



Obrázek 12.6 - Nalezený model pro AP Z místnosti A



Obrázek 12.7 - Nalezený model pro AP B místnosti A

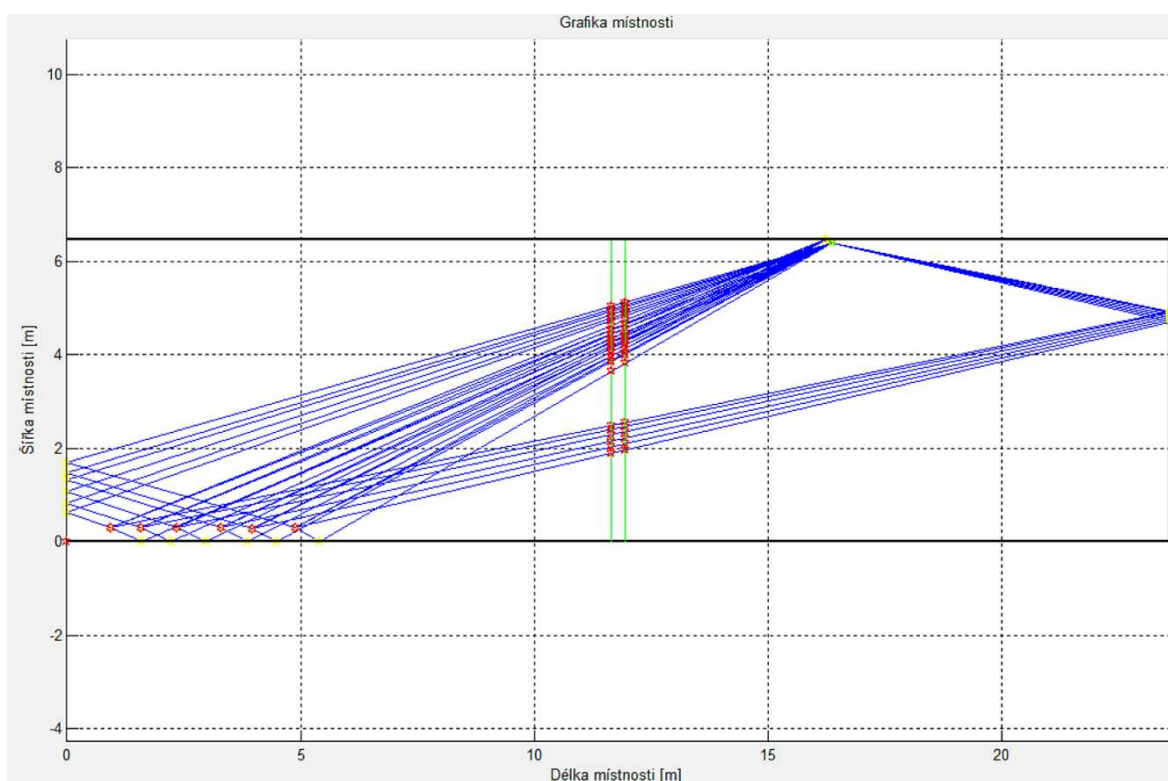
Tabulka 12.6 - Tabulka korelačních koeficientu pro místnost A

Místnost A		
AP	B	Z
kor.koef mezi měření a x b	0.54	0.6
kor.koef mezi model x a	-0.14	0.34
kor.koef mezi model x b	-0.28	-0.1
parametr n	1.75	3.4

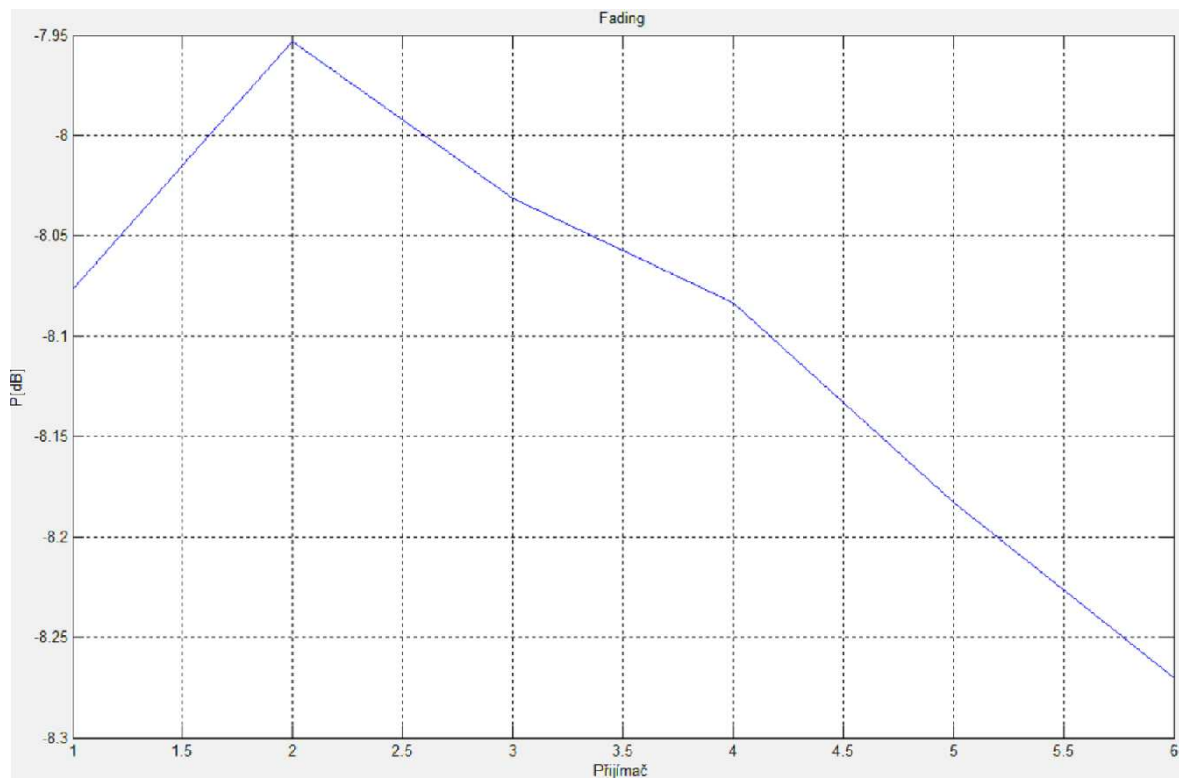
Z dostupných výpočtů empirického One-Slope modelu vyplývá, že kvalitně nepopisují skutečně naměřený signál. Proto se nabízí využít software vyvinutý na FEI, který pracuje na principu deterministického Ray Tracing modelu.

12.5 Ray Tracing model

Nejprve je třeba namodelovat testované prostředí. V tomto případě Místnost A s přístupovým bodem B. Ukázka namodelovaného prostředí je na následujícím obrázku. Je vidět, že modelované prostředí je velmi zjednodušené. Obsahuje pouze místnosti A a B. Software neumožňuje vložit vodorovnou příčku. Tím je znemožněno zahrnout do úvahy Chodbu 1. Dále je vidět přesné umístění vysílacích a přijímacích antén. Výpočty probíhaly ve 12 částech, v každé části je vypočítáno 6 resp. 7 úrovní (obrázek 12.9), celkem se jedná o 78 výpočtů hodnot modelu. Výsledek modelování 3D graf Ray Tracing modelu je v následující podkapitole.



Obrázek 12.8 - Ukázka Ray-Tracing modelování pro 6 měřících bodů



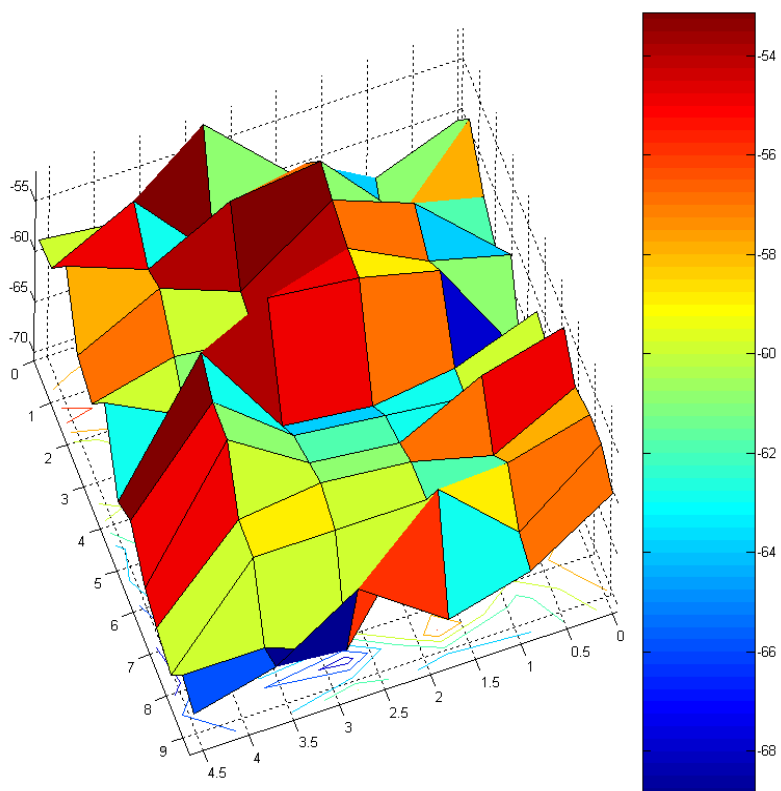
Obrázek 12.9 - Nalezené úrovně signálu Ray-Tracing modelu pro 6 měřících bodů

12.6 Porovnání měření s nalezenými modely

Zde je uvedeno grafické porovnání skutečného měření signálu z přístupového bodu B jednak s empirickým One-Slope modelem a také se získaným deterministickým Ray Tracing modelem. Testované prostředí je na následujícím obrázku, kde je vyznačena strana pohledu natočení grafů.



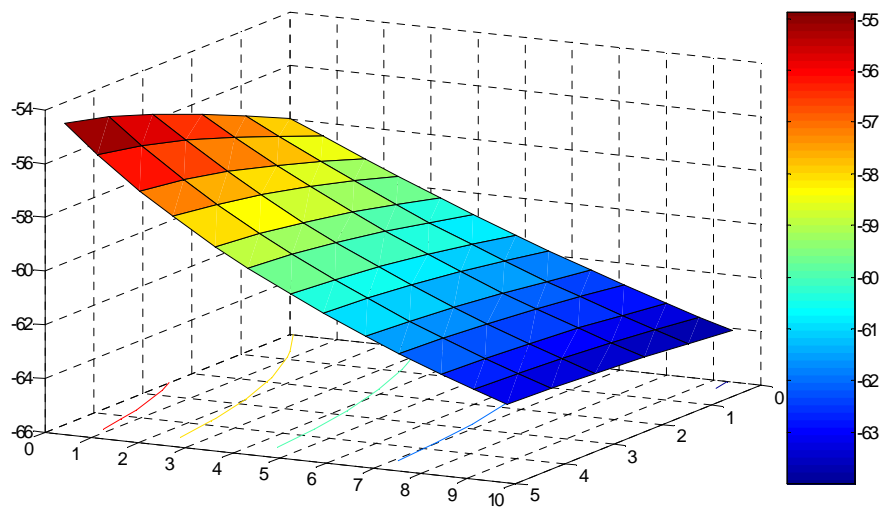
Obrázek 12.10 - Měřené prostředí s rozmístěním přístupových bodů 1.NP



Obrázek 12.11 - 3D pokrytí Místnost A Wi-Fi signálem z AP B, 78 bodů

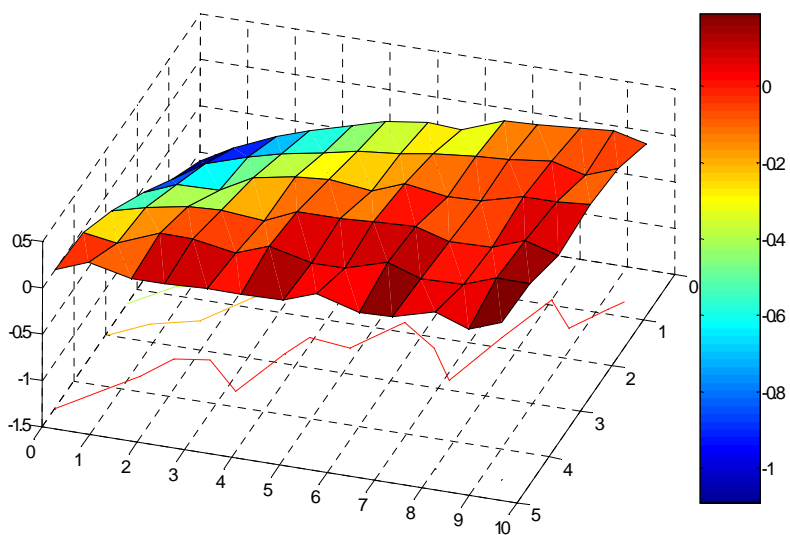
3D graf skutečně naměřených hodnot (Obrázek 12.11) byl již uveden v kapitole měření. Osa x je šířka místnosti [m], osa y délka místnosti [m] a na ose z jsou úrovně

Wi-Fi signálu [dBm]. Toto platí i pro další dva 3D grafy. Ve druhém obrázku 12.12 je spočítaný One-Slope model.



Obrázek 12.12 - 3D pokrytí Místnost A One-Slope modelem signálu z AP B, 78 bodů

Poslední uvedený 3D graf je na obrázku 12.13 a je výsledkem Ray Tracing modelování. Natočení všech tří grafů je ze stejného úhlu pohledu.



Obrázek 12.13 - 3D pokrytí Místnost A Ray-Tracing modelem signálu z AP B, 78 bodů

V příloze B je graf, který porovnává křivky jednoho měření spolu s nalezenými modely pro celé měřené prostředí. U místnosti E, které odpovídají body od 71 do 96, nebyly modely počítány, důvodem je pracnost získání každé hodnoty modelu a také fakt, že spočítané modely se jeví jako nepoužitelné.

12.7 Závěr z modelování signálu

Z výše uvedených grafů a korelačních koeficientů pro Chodbu 1 vyplývá úspěšnost navržených modelů. Dokonce se dá tvrdit, že modely popisují sledovaný prostor lépe než změřené křivky. Korelační koeficienty mezi modely a měřeními dosahují vyšších hodnot než pro křivky jednotlivých měření mezi sebou. To je dáno jednoduchostí prostoru chodby, kde se sledují měřené hodnoty pouze v jedné linii.

Úspěšnost použití modelů bohužel neplatí pro místnosti, kde prakticky nedochází k žádné shodě mezi modely a měřeními. Nic na tom nemění ani vytvořený deterministický Ray Tracing model. Bohužel software pro výpočet tohoto modelu je velmi zjednodušený. Například nezahrnuje ztráty volným prostorem a především vliv rozestavění nábytku v podobě laboratorních stolů apod. Dále nelze přesně vytvořit testované prostředí, protože neumožňuje vložit vodorovnou příčku.

13 Algoritmy určení polohy

Z výše uvedeného měření a modelování jsou získány tři mapy pokrytí prostředí Wi-Fi signálem. Tyto matice mají označení „měření a“, „měření b“ a „modely“ s rozměry 5 Ap x 164 bodů měření. Navržený systém nebude pracovat v reálném čase, proto je nutné využít jednu změřenou mapu jako offline data. Z této mapy se při výpočtu polohy vezme vždy jeden sloupcový vektor s pěti prvky, což je vzorek pokrytí prostředí signálem skutečné polohy. Tím je simulováno měření v místě, kde se nachází uživatel v reálném čase. Výhodou offline běhu programu je softwarový výběr libovolné polohy uživatele, což umožňuje jednoduše určit chyby vypočítané polohy v celém testovacím prostředí. Jako offline mapa byla zvolena matice „měření a“. Vybraný sloupcový vektor je dále porovnáván se všemi sloupcovými vektory mapy měření b nebo mapy modelu. V místě, kde je největší shoda s offline vektorem, je výsledná hledaná poloha. Jako parametr shody vektorů slouží buď korelační koeficient, nebo velikost součtu rozdílů prvků vektorů.

13.1 Úprava map pro výpočty

Před samotným výpočtem shody vektorů je nutné stanovit velikost šumu. Jeho hodnota nesmí být příliš velká, aby se zbytečně neztratily informace z měřených dat anebo naopak příliš malá, kde se v datech projevují výpadky sítě. Postupným prověřováním hraničních úrovní byl stanoven šum signálu na hodnotu menší nebo rovnu -89 dBm. Úroveň signálu ve všech třech mapách, které splní podmínku šumu, mají konstantní hodnotu -95 dBm. Toto nastavení vedlo k nejlepším výsledkům odhadu polohy.

13.2 Určení odhadu polohy metodou největšího korelačního koeficientu

Velikost korelačního koeficientu v tomto případě udává míru vzájemné shody mezi porovnávanými vektory. Korelační koeficient je definován vztahem (13.1):

$$r_{x,y} = \frac{\overline{\text{cov}(x,y)}}{\sqrt{\overline{\text{var}(x)} \cdot \overline{\text{var}(y)}}}, \quad (13.1)$$

$$\overline{\text{cov}(x,y)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n) \cdot (y_i - \bar{y}_n), \quad (13.2)$$

$$\overline{\text{var}(x)} = \overline{\text{cov}(x,x)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^2, \quad (13.3)$$

kde $r_{x,y}$ [-] je korelační koeficient,

- $\overline{\text{cov}}(x, y)$ je výběrová kovariance,
- $\overline{\text{var}}(x)$ je výběrová variance,
- $n [-]$ je počet prvků sloupcového vektoru, v tomto případě 5,
- $x_i [dBm], y_i [dBm]$ je prvek vektoru offline mapy, uložené mapy,
- $\bar{x}_n [dBm], \bar{y}_n [dBm]$ je aritmetický průměr prvků vektoru offline mapy, uložená mapy.

V tabulce 13.1 je ukázka určení polohy pomocí největšího korelačního koeficientu. Názvy Ba, Fa, Za, Ga, F2a označují přístupové body a první provedené měření. Hodnoty pro Bb, Fb, Zb, Gb, F2b odpovídají druhému měření uvedených přístupových bodů. Hodnoty Bm, Fm, Zm, Gm, F2m jsou výsledkem modelování signálu. V horní části je zvolen žlutý sloupcový vektor polohy 9. Ten se po dobu odhadování polohy nemění.

Tabulka 13.1 - Tabulka korelací sloupcových vektorů

		Body měření											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	...
Měření a	Ba	-81	-73	-68	-78	-64	-68	-66	-72	-67	-62	-59	...
	Fa	-85	-84	-83	-82	-87	-84	-81	-78	-83	-83	-83	...
	Za	-76	-77	-77	-77	-78	-80	-81	-85	-82	-87	-95	...
	Ga	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	...
	F2a	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	...

Měření b	Bb	-72	-71	-72	-68	-69	-80	-69	-67	-67	-70	-63	...
	Fb	-83	-83	-84.5	-84	-85	-81	-80	-82	-78	-80	-83	...
	Zb	-80	-77	-75.5	-76	-77	-75	-77	-80	-77	-80	-95	...
	Gb	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	...
	F2b	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	...
Korelace mezi		[9:1]	[9:2]	[9:3]	[9:4]	[9:5]	[9:6]	[9:7]	[9:8]	[9:9]	[9:10]	[9:11]	...
Kor. koef		0.9815	0.9617	0.9328	0.9685	0.9700	0.769	0.9711	0.9972	0.9754	0.9810	0.8873	...

Model	Bm	-75	-74	-74	-73	-72	-71	-70	-69	-67	-66	-64	...
	Fm	-84	-84	-84	-83	-83	-83	-83	-82	-82	-82	-81	...
	Zm	-78	-77	-75	-76	-78	-79	-80	-81	-82	-83	-84	...
	Gm	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	...
	F2m	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	...
Corelace mezi		[9:1]	[9:2]	[9:3]	[9:4]	[9:5]	[9:6]	[9:7]	[9:8]	[9:9]	[9:10]	[9:11]	...
Kor. Koef		0.93246	0.9281	0.9016	0.9385	0.9648	0.9813	0.9921	0.9974	0.9991	0.9977	0.9945	...

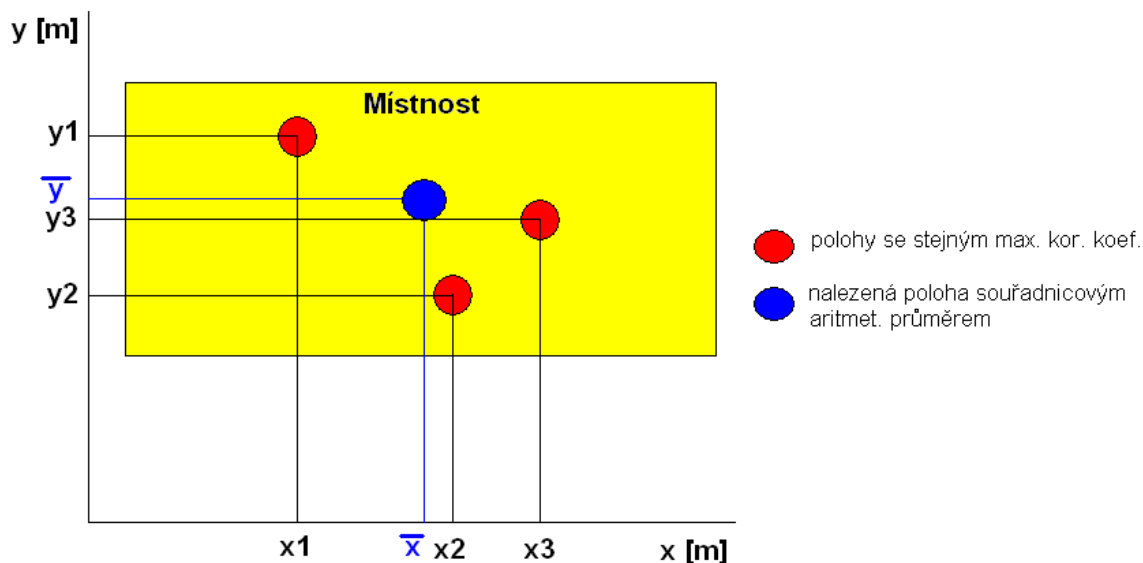
V další části tabulky jsou spočítány korelační koeficienty mezi vybraným bodem 9 (skutečná poloha) a ostatními body Měření b a Modelem. Korelační koeficient s nejvyšší hodnotou určuje nalezenou polohu. V případě změřené mapy je nalezená poloha 8. Chyba určení polohy je tedy 1m. U mapy modelu je nalezená poloha totožná se skutečnou polohou.

Velikosti vypočítaných korelačních koeficientů mezi offline vektorem polohy 9 a všemi vektory mapy „Měření a“ je na následujícím obrázku. Zde je vidět, že od polohy 1 do polohy 20 mají mezi sebou hodnoty velmi malé rozdíly.



Obrázek 13.1 – Velikost korelačních koeficientů pro hledání jedné polohy

Může tedy nastat případ, kdy při hledání největšího prvku v poli 164 korelačních koeficientů bude maximální korelační koeficient stejný ve dvou či více výpočtech. V takovém případě se spočítá souřadnicový aritmetický průměr nalezených poloh. Příklad této situace je na následujícím obrázku. Pro další zpřesnění polohy by bylo vhodné sledovat trajektorii pohybu, nejlepším řešením by byla optimalizace rozmístění alespoň vybraných přístupových bodů podle požadavků lokalizačního systému.



Obrázek 13.2 - Maximální korelační koeficient stejný ve třech výpočtech

13.3 Určení odhadu polohy metodou nejmenšího rozdílu

Další možností jak vypočítat polohu je vzájemně odečítat jednotlivé prvky porovnávaných vektorů. Těchto pět rozdílů se v dalším kroku sečte podle vztahu (13.4):

$$d_{x,y} = \sum_{i=1}^n \text{abs}(x_i - y_i), \quad (13.4)$$

kde	$d_{x,y} [dBm]$	je suma rozdílů prvků vektoru,
	$x [dBm]$	je sloupcový vektor „Měření a“ (offline mapa),
	$y [dBm]$	je sloupcový vektor „Měření b“ nebo Modelu (uložené mapy pokrytí prostředí),
	$n [-]$	je počet prvků sloupcového vektoru, v tomto případě 5.

Tento postup se použije pro všech 164 vektorů změřené mapy resp. mapy modelů. V takto získaném poli součtu rozdílů se hledá minimum. V tabulce 13.2 je ukázka určení polohy pomocí nejmenšího součtu rozdílů vektorů. Názvy Ba, Fa, Za, Ga, F2a označují přístupové body a první provedené měření. Hodnoty pro Bb, Fb, Zb, Gb, F2b odpovídají druhému měření uvedených přístupových bodů. Hodnoty Bm, Fm, Zm, Gm, F2m jsou výsledkem modelování signálu. Offline poloha je opět vybrána v bodě 9. V další části tabulky jsou spočítány sumy rozdílů. Výsledky jsou stejné jako u metody korelačních

koeficientů. V případě změřené mapy je nalezená poloha 8. Chyba polohy je 1m. U mapy modelu je nalezená poloha stejná se skutečnou polohou.

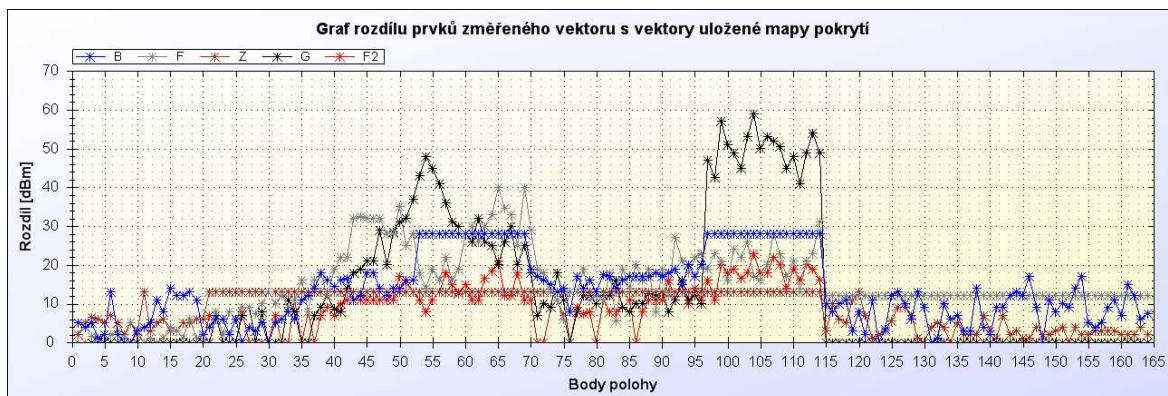
Tabulka 13.2 - Tabulka sumy rozdílů prvků sloupcových vektorů

		Body měření											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	...
Měření a	Ba	-81	-73	-68	-78	-64	-68	-66	-72	-67	-62	-59	...
	Fa	-85	-84	-83	-82	-87	-84	-81	-78	-83	-83	-83	...
	Za	-76	-77	-77	-77	-78	-80	-81	-85	-82	-87	-95	...
	Ga	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	...
	F2a	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	...

Měření b	Bb	-72	-71	-72	-68	-69	-80	-69	-67	-67	-70	-63	...
	Fb	-83	-83	-84.5	-84	-85	-81	-80	-82	-78	-80	-83	...
	Zb	-80	-77	-75.5	-76	-77	-75	-77	-80	-77	-80	-95	...
	Gb	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	...
	F2b	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	...
Rozdíl mezi	[9:1]	[9:2]	[9:3]	[9:4]	[9:5]	[9:6]	[9:7]	[9:8]	[9:9]	[9:10]	[9:11]	...	
Suma rozdílů	7	9	13	8	9	22	10	3	10	8	17	...	

Model	Bm	-75	-74	-74	-73	-72	-71	-70	-69	-67	-66	-64	...
	Fm	-84	-84	-84	-83	-83	-83	-83	-82	-82	-82	-81	...
	Zm	-78	-77	-75	-76	-78	-79	-80	-81	-82	-83	-84	...
	Gm	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	...
	F2m	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	-95	...
Rozdíl mezi	[9:1]	[9:2]	[9:3]	[9:4]	[9:5]	[9:6]	[9:7]	[9:8]	[9:9]	[9:10]	[9:11]	...	
Suma rozdílů	13.2	13.2	14.7	11.7	9	6.9	4.9	3.1	1.4	3.4	5.9	...	

Na obrázku 13.3 je ukázka pěti vypočtených křivek. Jsou to výsledky rozdílů jednotlivých prvků offline vektoru bodu 9 s ostatními vektory celé mapy „měření b“. Na dalším obrázku 13.4 je součet těchto rozdílů v bodech polohy. Nejmenší součet odpovídá nalezené poloze. Z obou grafů lze zjistit příčiny chyb určení polohy. Opět může nastat situace, kdy nejmenší součet rozdílů nebude pouze jeden v poli hledané polohy. V takovém případě je postup určení výsledné polohy znovu souřadnicový aritmetický průměr všech nalezených poloh. Vhodným doplňkem by opět bylo sledování trajektorie, nejednoznačnost určení polohy není u této metody vysoká. Při značném rozdílu dvou nebo více bodů v jejich poloze by bylo vhodné setrvat v předchozím bodě polohy a analyzovat další měřená data pro zpřesnění výsledku.



Obrázek 13.3 - Rozdíly jednotlivých prvků porovnávaných vektorů



Obrázek 13.4 - Suma rozdílu jednotlivých prvků porovnávaných vektorů

13.4 Váhování rozdílu

U výpočtu pomocí metody rozdílu je dále popsáno zpřesnění odhadu polohy pomocí váhování rozdílu. Účelem této metody je zmenšit vliv signálů s nízkou úrovní na celkové určení polohy. Zvolí se tedy mez signálu od které se vypočítaný rozdíl bude násobit číslem od 0 do 1. Princip této metody popisuje následující zdrojový kód v jazyce C#.

```
for (int n = 0; n <= delkaMapy - 1; n++) //délka mapy 164
{
for (int i = 0; i <= delkaVektoru - 1; i++) //délka vektoru 5
{
rozdil = Math.Abs(offlineVektor[i] - zmerVektor[i]);

double pomocProm;
if (offlineVektor[i] >= zmerVektor[i])
{
```

```

        prom = offlineVektor[i];
    }
    else
    {
        pomocProm = zmerVektor[i];
    }

    if (pomocProm < mezSignalu)
    {
        rozdil = rozdil * vaha;
    }
    soucetRozdilu[n] = soucetRozdilu[n]+ rozdil;
}
}

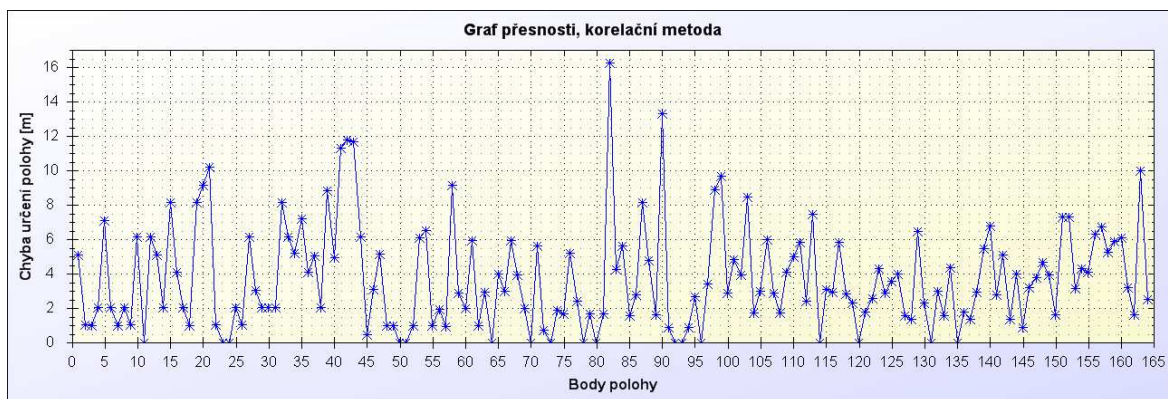
```

14 Přesnost určení polohy

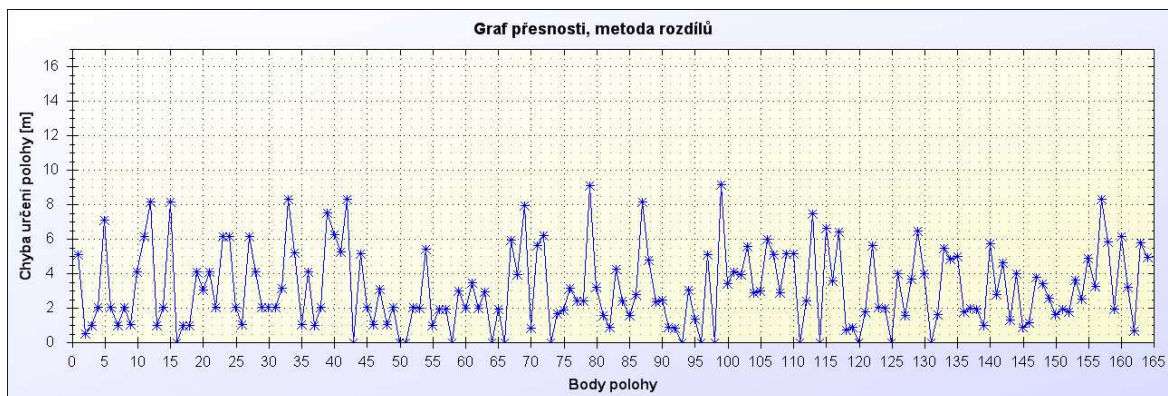
Tato kapitola analyzuje kvalitu navržených algoritmů. Jsou zde uvedeny grafy přesnosti určení polohy pro změřenou i namodelovanou mapu pokrytí testovacího prostředí. Pro další přehled jsou sestaveny tabulky popisující pravděpodobnost úspěšného určení polohy se zvolenou přesností.

14.1 Změřená mapa pokrytí prostředí

Na obrázku 14.1 jsou chyby určení polohy v celém testovaném prostředí pro metodu největšího korelačního koeficientu. Maximální chyba 16,2 m je v bodě polohy 82. Obrázek 14.2 popisuje chybu určení polohy pro metodu rozdílů. Maximální chyba je zde 9,2 m v bodě polohy 99. Porovnáním obou grafů lze konstatovat lepší úspěšnost určení polohy u metody rozdílů.



Obrázek 14.1 - Graf přesnosti korelační metody pro změřenou mapu pokrytí



Obrázek 14.2 - Graf přesnosti metody rozdílů pro změřenou mapu pokrytí

Další přehled o přesnosti určení polohy udávají tři tabulky. Zde je popsána procentuelně úspěšnost určení polohy se zvolenou přesností. K tomu lze využít vztah:

$$pst = i / n * 100, \quad (14.1)$$

- kde
- pst [%] je pst úspěšného určení polohy se zvolenou přesností,
 - i [-] je počet bodů polohy, které vyhovují dané přesnosti,
 - n [-] je počet všech bodů polohy.

Tabulky jsou rozděleny na prostředí chodby tabulka 14.1, místností tabulka 14.2 a nakonec celého testovaného prostoru tabulka 14.3.

Tabulka 14.1 – Přesnost pro chodbu

Pst určení polohy se zvolenou přesností		
Maximální chyba polohy	kor. metoda	rozdíl metoda
0 m	23 %	19 %
1 m	34 %	39 %
2 m	51 %	60 %
3 m	59 %	63 %
4 m	61 %	73 %
5 m	70 %	79 %
6 m	80 %	86 %
7 m	84 %	93 %
8 m	89 %	97 %
9 m	93 %	100 %
10 m	96 %	100 %

Uvedená data v tabulkách potvrzují grafické vyjádření chyby. Opět lze tvrdit, že u metody rozdílů je lepší úspěšnost určení polohy než u metody korelačních koeficientů.

Tabulka 14.2 – Přesnost pro místnosti

Pst určení polohy se zvolenou přesností		
Maximální chyba polohy	kor. metoda	rozdíl metoda
0 m	11 %	10 %
1 m	15 %	17 %
2 m	33 %	37 %
3 m	51 %	52 %
4 m	63 %	68 %
5 m	73 %	77 %
6 m	83 %	88 %
7 m	89 %	95 %
8 m	93 %	96 %
9 m	96 %	98 %
10 m	97 %	100 %
Maximální chyba	16,2 m	9,2 m

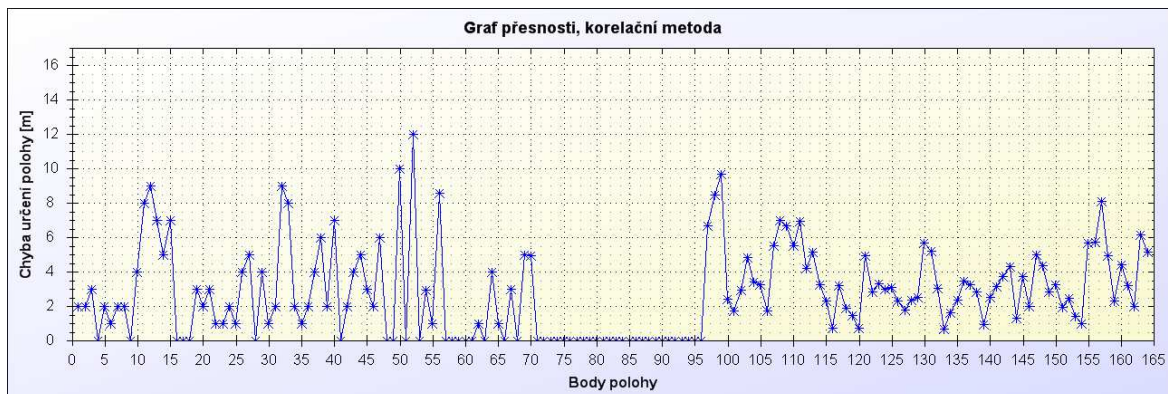
Tabulka 14.3 – Přesnost pro celé prostředí

Pst určení polohy se zvolenou přesností		
Maximální chyba polohy	kor. metoda	rozdíl metoda
0 m	16 %	13 %
1 m	23 %	26 %
2 m	41 %	47 %
3 m	54 %	57 %
4 m	62 %	70 %
5 m	72 %	77 %
6 m	82 %	87 %
7 m	87 %	94 %
8 m	91 %	96 %
9 m	95 %	99 %
10 m	96 %	100 %
Maximální chyba	16,2 m	9,2 m

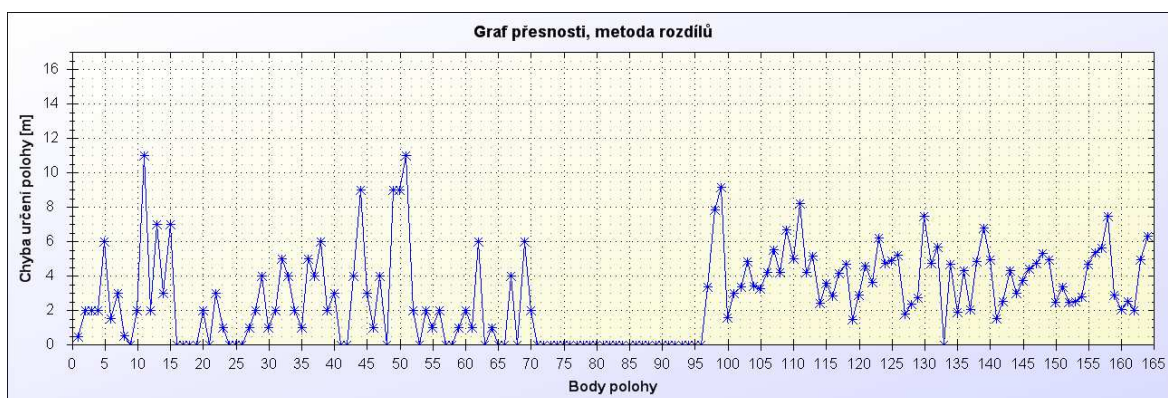
14.2 Namodelovaná mapa pokrytí prostředí

Zde uvádím výsledky pro druhou mapu pokrytí prostředí vytvořenou pomocí modelování signálu. Na obrázku 14.3 a 14.4 jsou přehledně vidět chyby určení polohy v celém zkoumaném prostředí. V místnosti E nebyly modely vytvořeny. Odpovídá tomu část grafu mezi body polohy 71 až 96. Zde skutečná chyba není známa a je tedy nastavena na konstantní nulovou hodnotu. Z grafů je možné odečíst maximální chyby určení polohy.

Pro korelační metodu je maximální chyba 12 metrů, u metody rozdílů má hodnotu 11 metrů.



Obrázek 14.3 - Graf přesnosti korelační metody pro mapu modelů



Obrázek 14.4 - Graf přesnosti metody rozdílů pro mapu modelů

Opět jsou uvedeny tři tabulky 14.4, 14.5, 14.6, které popisují dosaženou přesnost pro zvolené prostředí. Při zhodnocení výsledků z těchto tabulek lze tvrdit, že na chodbách je o jednotky procent lepší úspěšnost určení polohy než v místnostech.

Tabulka 14.4 – Přesnost pro chodbu

Pst určení polohy se zvolenou přesností		
Maximální chyba polohy	kor. metoda	rozdíl metoda
0 m	27 %	27 %
1 m	40 %	43 %
2 m	59 %	66 %
3 m	67 %	73 %
4 m	76 %	81 %
5 m	83 %	84 %
6 m	86 %	90 %
7 m	90 %	93 %
8 m	93 %	93 %
9 m	97 %	97 %
10 m	99 %	97 %
Maximální chyba	12 m	11 m

Tabulka 14.5 – Přesnost pro místnosti

Pst určení polohy se zvolenou přesností		
Maximální chyba polohy	kor. metoda	rozdíl metoda
0 m	1 %	3 %
1 m	9 %	3 %
2 m	23 %	10 %
3 m	45 %	33 %
4 m	65 %	46 %
5 m	77 %	77 %
6 m	88 %	87 %
7 m	96 %	93 %
8 m	96 %	97 %
9 m	99 %	99 %
10 m	100 %	100 %
Maximální chyba	9,7 m	9,2 m

Tabulka 14.6 – Přesnost pro celé prostředí

Pst určení polohy se zvolenou přesností		
Maximální chyba polohy	kor. metoda	rozdíl metoda
0 m	14 %	15 %
1 m	25 %	23 %
2 m	41 %	38 %
3 m	56 %	53 %
4 m	71 %	64 %
5 m	80 %	81 %
6 m	87 %	89 %
7 m	93 %	93 %
8 m	94 %	95 %
9 m	98 %	98 %
10 m	99 %	99 %
Maximální chyba	12 m	11 m

14.3 Závěr analýzy přesnosti určení polohy

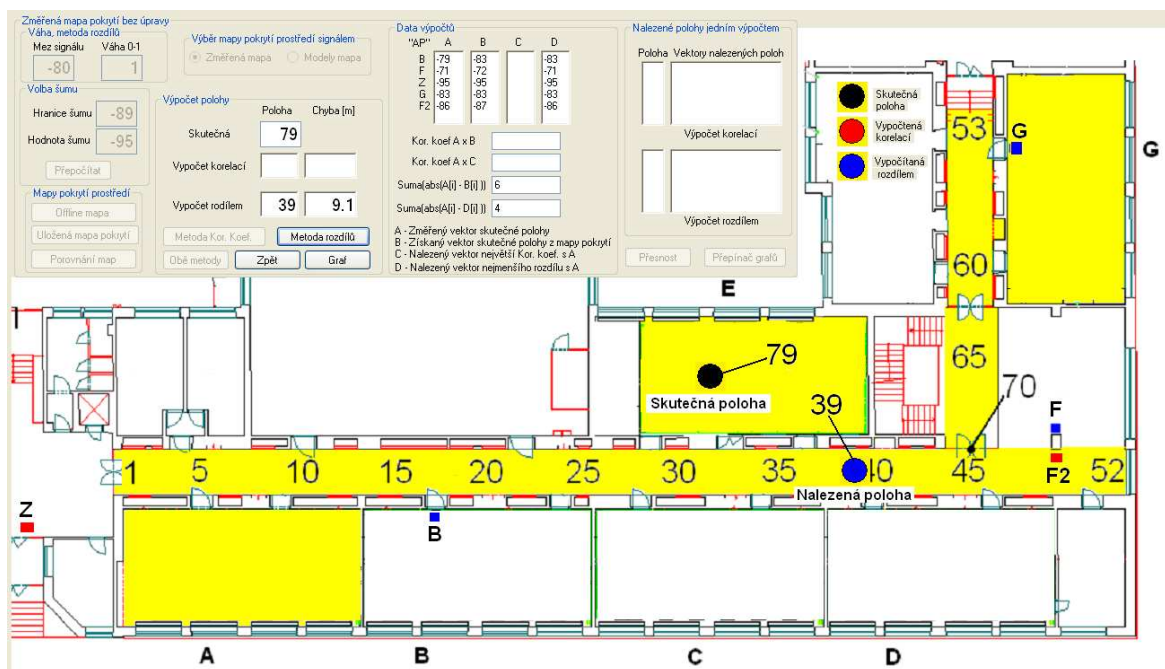
Z pohledu maximální chyby určení polohy je výhodnější použít změřenou mapu pokrytí prostředí spolu s metodou nejmenších rozdílů. Maximální chyba je 9,2 m. Naopak nejhoršího výsledku dosahuje metoda korelačních koeficientů při použití změřené mapy pokrytí prostředí, kde je maximální chyba 16,2 m.

Z pohledu velikosti všech chyb pro prostředí chodeb dosahuje nejlepších výsledků rozdílová metoda s modelovanou mapou pokrytí prostředí, kde v 90 % je dosaženo přesnosti 6 m. Naopak nejhorší výsledek je u korelační metody se změřenou mapou pokrytí, kde přesnost 6m je dosažena v 80 % případů. Výsledky v prostředí místností jsou o jednotky procent horší než u chodeb. Při rozměrech místnosti 5 x 10 m je však dosažená přesnost malá. Lze tedy konstatovat, že navržený systém je schopný rozlišit, zda se objekt nachází na chodbě, kde v 90% je chyba polohy maximálně 6 m nebo v místnosti, kde chybu nemá smysl určovat, protože se blíží rozměrům místnosti.

15 Analýza chyb

15.1 Příčina největší chyby metody rozdílů

Na obrázku 15.1 je jedna z největších chyb určení polohy pro metodu rozdílů. V bodě 79 je chyba 9,1 m. Při zkoumání příčin této chyby je zapotřebí porovnat sloupcové vektory, které jsou dostupné v části programu nazvaném **Data výpočtů**. Zde je vidět, že hodnoty prvků offline vektoru se liší jen velmi málo v porovnání s vektory skutečné polohy a nalezené polohy změřené mapy. Rozdíly jsou v řádu jednotek dBm. Z toho lze učinit závěr, že chyba je způsobena nevhodným rozmístěním přístupových bodů pro účely určování polohy. To potvrzuje i obrázek 15.2, kde je minimum ve dvou oblastech zkoumaného prostředí. Tato chyba tedy není způsobena navrženým algoritmem.



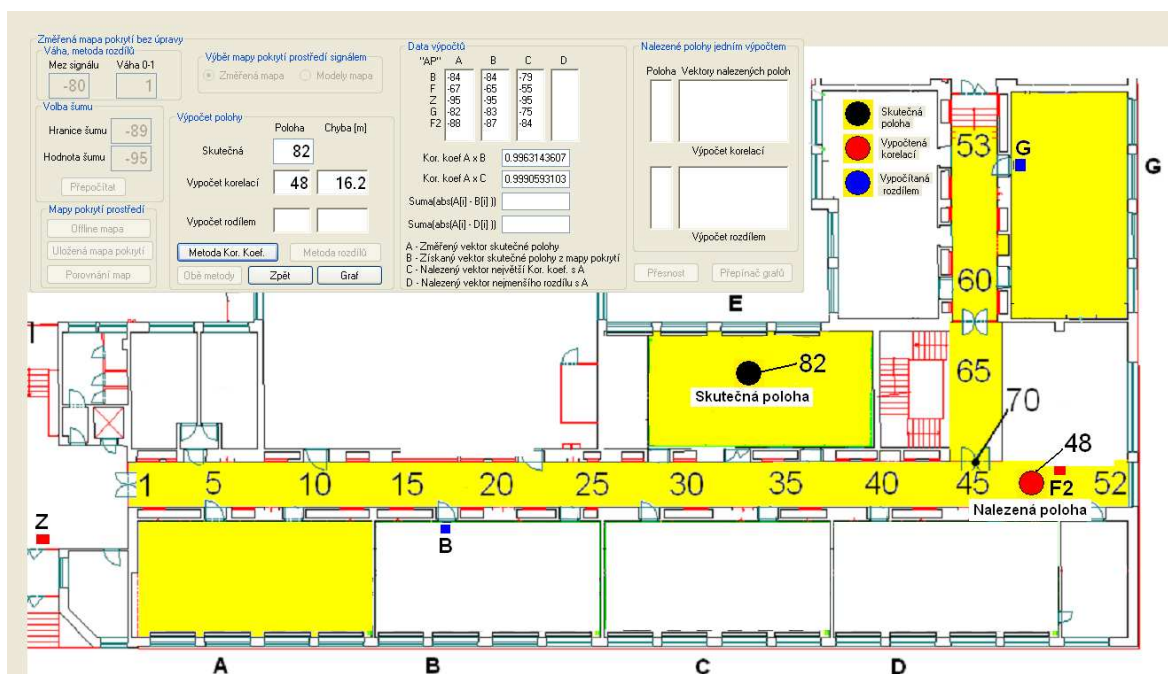
Obrázek 15.1 - Největší chyba určení polohy pro metodu rozdílů



Obrázek 15.2 - Příčina největší chyby metody rozdílů

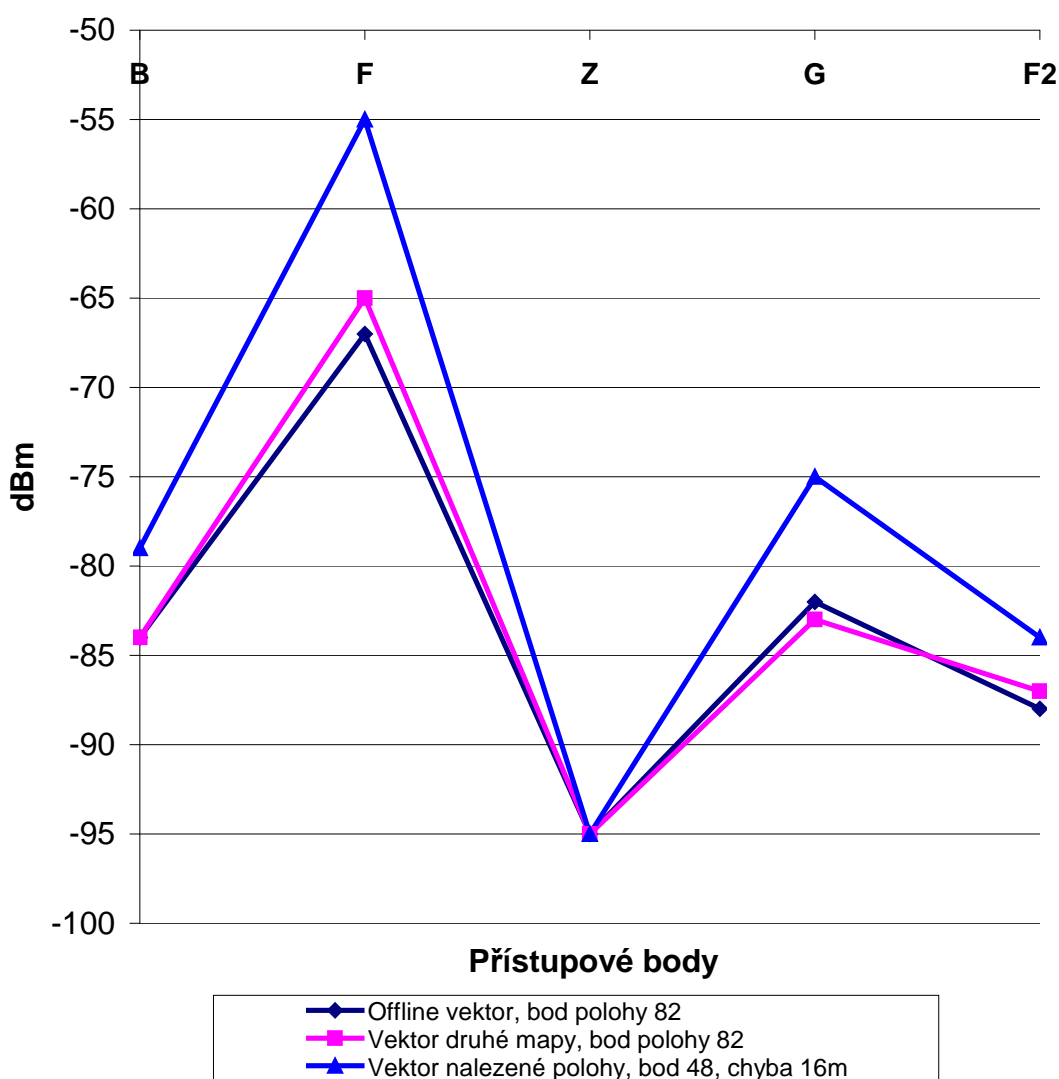
15.2 Příčina největší chyby metody korelačního koeficientu

Největší chyba pro korelační metodu je uvedena na obrázku 15.3. V poloze 82 je chyba 16,2 m. Zde se projevuje vlastnost korelačního koeficientu, který vyhodnocuje tvarovou shodu porovnávaných křivek, ale do výpočtu nezahrnuje jejich vzájemnou úroveň.



Obrázek 15.3 - Největší chyba určení polohy pro korelační metodu

Na obrázku 15.4 je grafické porovnání offline vektoru v bodě polohy 82 s vektory druhé mapy v bodě 82 a nalezené polohy v bodě 48. Korelační koeficient nalezené polohy je 0.999, ve skutečné poloze je 0.996. Tato vlastnost korelačního koeficientu by se dala s výhodou využít. Při splnění podmínky, že v každém bodě polohy bude vektor měřených hodnot přijímaných signálů jiný, by bylo možné zanedbat vliv rozdílných hodnot zisku přijímacích Wi-Fi antén. V tomto případě však podmínka není splněna, proto jsou chyby určení polohy v tomto případě až 16,2 m. Pro přesnější odhady poloh by bylo opět potřeba změnit rozmístění přístupových bodů.



Obrázek 15.4 - Příčina největší chyby korelační metody

15.3 Metody zpřesňující hledanou polohu

Zde uvádím návrhy metod, které by mohly vést ke zpřesnění hledané polohy zařízení.

15.3.1 Hardwarové zpřesnění polohy

- Rozmístění přístupových bodů

Z výše uvedených informací vyplývá, že hlavní vliv na přesnost celého systému má rozmístění přístupových bodů. V teoretické části je popsán systém Westico Visibility, kde pro přesnost do 3 m je zapotřebí mít v každém bodě polohy použitelné úrovně signálů nejméně od třech přístupových bodů. Za použitelnou úroveň se považují signály, které se neblíží šumu. To v případě prostředí používaném pro diplomovou práci není splněno. Pro dosažení lepších výsledků by bylo zapotřebí přidat do zkoumaného prostředí další přístupové body, které by však mohly negativně ovlivňovat komunikaci datových zařízení v síti.

15.3.2 Softwarové zpřesnění polohy

- Zpřesnění měření

Pokud je vyřešena problematika s rozmístěním přístupových bodů, je nutné zajistit co nejpřesnější měření pokrytí prostředí signálem. V tomto případě se maximální rozdíl mezi offline a uloženou změřenou mapou pohybuje okolo 10 dBm. U modelované mapy je tento rozdíl ještě větší. Rozdíl 10 dBm pak může způsobit chybu 5m, protože strmost signálu je 20 dBm na 10 m. Pro zmenšení této chyby by bylo nutné měření v bodech polohy prodloužit. To však v online režimu není možné, proto je potřeba využít jiné metody pro zpřesnění odhadu polohy.

- Stabilizace rozptylu hledané polohy

Další metodou, která by mohla vést k přesnějším odhadům je stabilizace rozptylu hledané polohy. V principu jde o maximální posun bodu o zvolenou vzdálenost, tzn. sledování trajektorie pohybu. Pro offline metodu by tato maximální vzdálenost byla pro každý krok výpočtu. Pro online verzi by maximum posunu bodu bylo vázáno na čas. Zvolení těchto parametrů může být provedeno s ohledem na rychlost chůze člověka, která může být maximálně cca 5,5 km/h. Tomu odpovídá 1,5 m/s. Nalezená poloha by se pak vůči předchozí měnila pouze do 1,5m/s.

- Průměr okolí s vysokými korelačními koeficienty

Na obrázku 15.5 je graf korelačních koeficientů. Je to výsledek jednoho hledání polohy. V blízkosti maximálního korelačního koeficientu jsou další body polohy, které

vykazují vysokou korelaci. Průměr nebo medián z těchto poloh by mohl opět zlepšit přesnost systému.



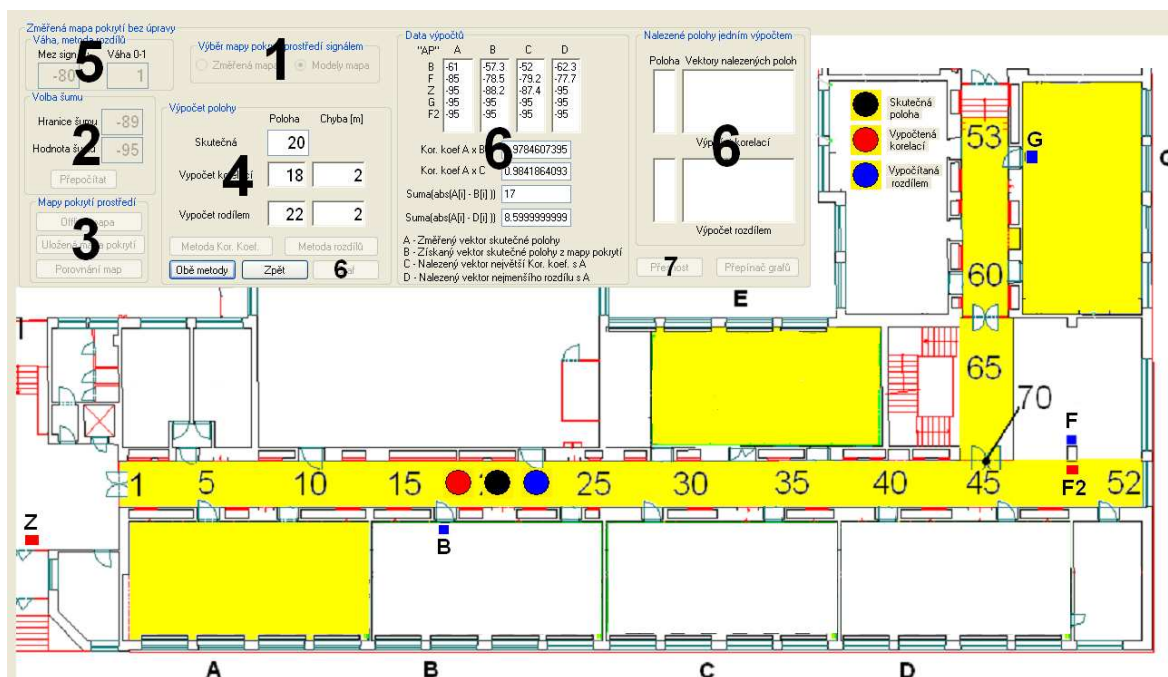
Obrázek 15.5 – Hranice s vysokými korelačními koeficienty

- Algoritmus určení polohy

Poslední uvedenou možností, jak zlepšit přesnost lokalizace, je použít jiný algoritmus pro výpočet určení odhadu polohy. Byly zde popsány nevýhody korelační metody i metody rozdílů. Vytvořením algoritmu, který bude obsahovat obě metody výpočtu, by opět mohl vést k lepším výsledkům.

16 Software pro určení polohy

V této kapitole je popis funkcí vytvořeného programu. Jsou zde popsány možnosti nastavení a výstupy programu. Na obrázku 16.1 je grafické menu programu.



Obrázek 16.1 - Grafické prostředí softwaru pro určení polohy

Funkce programu

- 1) **Výběr mapy pokrytí prostředí signálem.** Změřená mapa je výsledkem měření pokrytí signálem, které je popsáno v kapitole 11. Mapa modelů pokrytí je představena v kapitole 12. Jako výchozí stav je nastavena změřená mapa.
- 2) **Výběr hranice a hodnoty šumu.** Zde má uživatel možnost nastavit hranici a hodnotu šumu. Výchozí úrovně byly vybrány postupným testováním úrovní s ohledem na nejmenší chyby odhadnuté polohy. Všechny prvky map, které jsou menší nebo rovny hraniční úrovni šumu se přepíší na hodnotu šumu. Algoritmus je popsán v kapitole 13.1.
- 3) **Grafické zobrazení map pokrytí prostředí signálem s možností vizuálního porovnání.** Získané mapy pokrytí jsou použity jako vstup pro výpočet. Dostupné grafy mohou sloužit pro zjištění velikosti rozdílu porovnávaných map v dané poloze. Tím je možné zjistit příčinu případných chyb v určení polohy.
- 4) **Určení polohy metodou korelačního koeficientu a metodou rozdílů. Výpočet chyby určení polohy.** Jedná se o základní funkci, pro kterou byl program vytvořen.

Popis algoritmu korelační metody je v kapitole 13.2. Nalezená poloha touto metodou je graficky zobrazena červeným bodem v testovaném prostředí. Popis metody rozdílů je v kapitole 13.3 a v testovaném prostředí je zakreslena jako modrý bod.

- 5) ***Možnost ovlivnění výpočtu metody rozdílů pomocí váhování.*** Tato funkce umožňuje zpřesnění odhadu polohy pomocí váhování rozdílů. Popis algoritmu je v kapitole 13.4. Výchozí nastavení neprovádí ve výpočtu žádné váhování.

- 6) ***Možnost analýzy chyby určení polohy na základě porovnání číselných i graficky zobrazených vstupních a výstupních dat výpočtu polohy.*** V části programu označeném jako “Data výpočtů” jsou uvedeny sloupcové vektory. První má označení A, je to vzorek skutečné polohy z offline mapy. Druhý vektor B charakterizuje skutečnou polohu vybrané mapy pokrytí prostředí z bodu *I*. Vektor C resp. D odpovídá nalezené poloze metodou korelace resp. metodou rozdílů. Dále jsou uvedeny korelační koeficienty mezi A x B, A x C a také sumy rozdílů mezi A x B, A x D. V případě, kdy se maximální korelační koeficient vyskytuje ve více bodech polohy, jsou vektory těchto poloh zobrazeny v části programu “Nalezené polohy jedním výpočtem”. To samé platí pro metodu rozdílů. Další pomůcka, která slouží pro analýzu případných chyb jsou grafy korelačních koeficientů a rozdílů, které jsou dostupné při každém výpočtu polohy.

- 7) ***Grafické zobrazení přesnosti určení polohy v celém měřeném prostředí.*** V této části program projde celé zkoumané prostředí a pomocí obou metod výpočtu polohy zjistí chyby v určení poloh, dále z těchto dat vytvoří přehledný graf.

Závěr

Diplomová práce analyzuje možnosti určování polohy Wi-Fi zařízení za pomoci signálů z přístupových bodů systému standardu 802.11g. Pro navrhovaný systém je zvolena metoda určování polohy RSSI (měření výkonové úrovně signálů). Ze statistických analýz měřených signálů vyplývá, že vysílaný výkon z přístupových bodů je stabilní, tzn. že v testovaném prostředí není řízen nadstavbovým systémem a lze ho prohlásit za konstantní. To je nezbytná podmínka, která musí být splněna pro navrhovanou metodu určování polohy.

Ze statistické analýzy je stanoveno odhadnutí polohy zařízení z naměřených dat v jednom bodě polohy pomocí mediánu. Ze získaných proměření pokrytí prostředí signálem vyplývá, že v každém bodě testovaného prostředí jsou k dispozici signály z minimálně dvou přístupových bodů. Nalezené One-Slope modely pak vyhovují v prostředí chodeb, dokazují to vypočítané vysoké korelační koeficienty mezi modelem šíření a měřenými údaji. V testovaných místnostech (učebnách) je však situace jiná, korelační koeficienty jsou velmi nízké. One-Slope model tedy v tomto případě není použitelný pro místnosti. Nic na tom nemění ani vytvořený deterministický Ray Tracing model, který nepřinesl lepší výsledky.

V práci dále uvádím návrh dvou metod určování polohy. První je metoda rozdílů, druhá je korelační metoda. Z pohledu maximální chyby určení polohy je výhodnější použít změřenou mapu pokrytí prostředí spolu s metodou nejmenších rozdílů. Maximální chyba je 9,2 m. Naopak nejhoršího výsledku dosahuje metoda korelačních koeficientů při použití změřené mapy pokrytí prostředí, kde je maximální chyba až 16,2 m. Při analýze těchto chyb je dokázáno, že rozmístění Wi-Fi přístupových bodů sice pokrývá testované prostředí signálem, ale bohužel není vhodné pro navržený systém určování polohy. Příčina je v podobných úrovních pokrytí lokalizovaného bodu signály ve dvou odlišných oblastech testovaného prostředí. Tato chyba tedy není způsobena navrženým algoritmem.

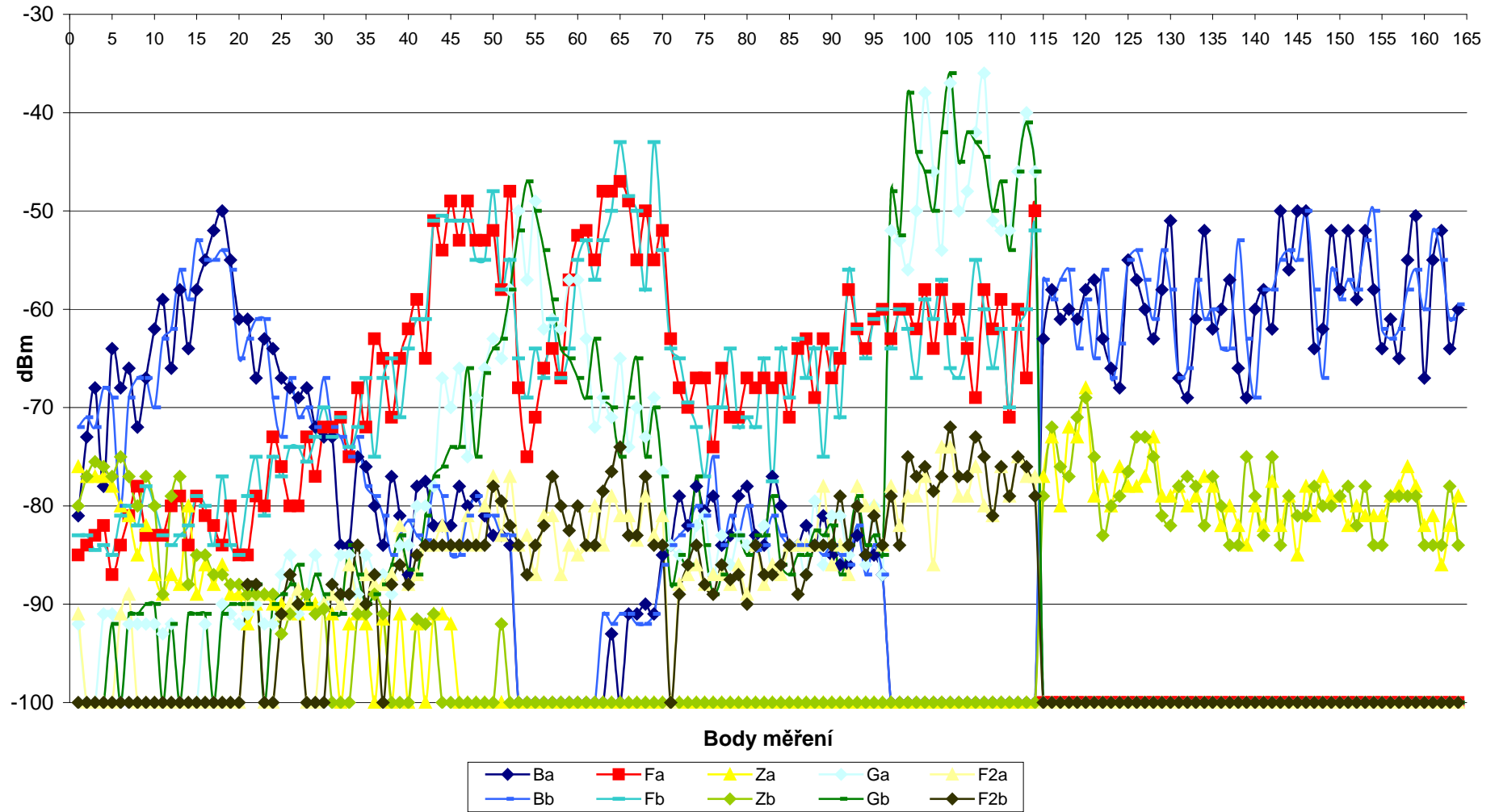
Zajímavá vlastnost se objevuje u korelační metody. Korelační koeficient testuje tvarovou shodu porovnávaných křivek výkonů, ale do výpočtu nezahrnuje jejich vzájemnou úroveň. Porovnávané křivky jsou v tomto případě pětivrškové vektory, které charakterizují pokrytí jednoho bodu polohy signálem. Tato vlastnost by se dala s výhodou využít. Při splnění podmínky, že v každém bodě polohy bude vektor měřených hodnot přijímaných signálů jiný, by bylo možné zanedbat vliv rozdílných hodnot zisku přijímacích Wi-Fi antén. V praxi by to znamenalo, že použití libovolného Wi-Fi přijímače by nemělo vliv na nalezenou polohu, což u použití metody určení polohy za pomoci měření přijatého výkonu je zajímavé zjištění.

Pro ověření všech zmíněných výsledků byl vytvořen softwarový program. Základní funkcí je graficky zobrazovat skutečnou a odhadovanou polohu pomocí obou metod určení polohy. Umí však přehledně zobrazit vstupní data výpočtu i interní mezivýsledky, pomocí kterých se dají analyzovat případné chyby nalezené polohy.

Použitá literatura

- [1] **Wikipedie** [online]. 2010 [cit. 2010-7-19]. WiFi. Dostupné z WWW:
< <http://cs.wikipedia.org/wiki/Wifi> >.
- [2] **Pužmanová Rita**. Moderní komunikační sítě. 2. vyd. Nakladatelství Computer Press, a.s., 2006. ISBN 80-251-1278-0
- [3] **Intelekt** [online]. 2009 [cit. 2010-7-19]. Zrychlete a rozšiřte svou bezdrátovou síť. Dostupné z WWW:
<http://www.intelek.cz/art_doc-5C56A0147621A13AC12575510053AE3E.html>.
- [4] **IT-Koko** [online]. 2010 [cit. 2010-7-19]. Základy wifi sítí. Dostupné z WWW:
< <http://koko.over.cz/tag/wi-fi/>>.
- [5] **Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický** [online]. 2006 [cit. 2010-7-19]. Porovnání systémů určení polohy a navigace v budovách. Dostupné z WWW:
< <http://www.vugtk.cz/nzk/c3-06/retscher.htm> >.
- [6] **Access server** [online]. 2006 [cit. 2010-7-19]. Základní lokalizační metody v GSM. Dostupné z WWW:
<<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2006022801>>.
- [7] **Westico** [online]. 2009 [cit. 2010-7-19]. Westico Visibility System. Dostupné z WWW:
<<http://www.westico.cz/pages/products/visibility-system.html>>.
- [8] **RFID portál** [online]. 2009 [cit. 2010-7-19]. Základní informace o technologii RFID. Dostupné z WWW:
< http://www.rfidportal.cz/index.php?page=rfid_obecne >.
- [9] **Barco** [online]. 2008-2010 [cit. 2010-7-19]. Technologie a produkty. Dostupné z WWW:
<<http://www.barco.cz/?id=produkty&sel=15>>.
- [10] **Gaben** [online]. 2008-2010 [cit. 2010-7-19]. Topologie centralizovaného řešení. Dostupné z WWW:
< http://www.gaben.cz/katalog_datasheet.asp?mlevel=10&i=25&si=182>.
- [11] **Kubanová Jana**. Statistické metody pro ekonomickou a technickou praxi. 2. vyd. Nakladatelství STATIS, 2004. ISBN 80-85659-37-9
- [12] **Milan Meloun** [online]. 2008 [cit. 2010-7-19]. Kompendium statistického zpracování dat. Dostupné z WWW:
<http://meloun.upce.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=4&Itemid=11>.
- [13] **Pechač Pavel**. Šíření vln v zástavbě. 1. vyd. Nakladatelství BEN, 2005. ISBN 80-7300-186-1

Příloha A – Pokrytí celého měřeného prostředí Wi-Fi signálem



Příloha B – Pokrytí celého prostředí modelem signálu

