

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra elektromagnetického pole



Měření úniků mobilního spoje

SEMESTRÁLNÍ PROJEKT II

Vypracovali: A. Nikolov, J. Sobotka, R. Šimeček, J. Zejda
Rok: 2023

Obsah

| | |
|---|-----------|
| Seznam obrázků | iv |
| Seznam tabulek | v |
| Úvod | 1 |
| 0.1 Cíl projektu | 1 |
| 0.2 Oficiální zadání | 1 |
| 0.3 Použité vybavení | 1 |
| 0.4 Parametry pro měření: | 3 |
| 1 Empirický model | 5 |
| 1.1 Teoretické okénko | 5 |
| 1.2 Měření 1. - ulice Jugoslávských partyzáňů | 5 |
| 1.2.1 Fotografie a záznamy hodnot z měření | 6 |
| 1.2.2 Grafy s výsledky prvního měření | 9 |
| 1.3 Měření 2. - ulice Teronská | 11 |
| 1.3.1 Fotografie a záznamy hodnot z měření | 12 |
| 1.3.2 Grafy s výsledky druhého měření | 14 |
| 1.4 Shrnutí měření | 16 |
| 2 Úniky způsobené vícecestným šířením | 17 |
| 2.1 Měření bez zastínění | 18 |
| 2.2 Případ dynamického zastínění | 20 |
| 2.3 Případ úplného zastínění | 23 |
| 2.4 Shrnutí měření | 25 |
| Závěr | 27 |

Seznam obrázků

| | | | |
|------|---|-----|----|
| 1 | Laserový dálkoměr Nikon Prostaff S 6x21 | 7.5 | 2 |
| 2 | Přenosný přijímač Rohde & Schwarz PR100 s krytem v terénu | 2 | 2 |
| 3 | Software pro vysílání běžící na notebooku v terénu | 2 | 2 |
| 4 | SDR Adalm-Pluto | 3 | 3 |
| 5 | Vysílací anténa upevněná na stojanu během měření | 3 | 3 |
| 1.1 | Vysílací stanoviště na rohu ulic Jugoslávských partyzánů a Rooseveltova | 6 | 6 |
| 1.2 | Detail na umístění notebooku, včetně zapojení SDR | 7 | 7 |
| 1.3 | Data o vzdálenosti z GPS v mobilní aplikaci včetně rychlosti a převýšní | 7 | 7 |
| 1.4 | Data o vzdálenosti z GPS v mobilní aplikaci včetně rychlosti a převýšní pro cestu k vysílací anténě | 8 | 8 |
| 1.5 | Foto z průběhu měření v ulici Jugoslávských partyzánů | 8 | 8 |
| 1.6 | Naměřená data a průběh emperického modelu | 9 | 9 |
| 1.7 | Graf zobrazující emperickou CDF a odhadnutou CDF | 9 | 9 |
| 1.8 | Naměřená data společně s predikovaným průběhem modelu | 10 | 10 |
| 1.9 | Naměřené hodnoty síly signálu v závislosti na vzdálenosti | 10 | 10 |
| 1.10 | Normálové rozdělí a jeho porovnání s rozdělením naměřených dat | 11 | 11 |
| 1.11 | Vysílací stanoviště v ulici Terronská s pohledem ve směru měření | 12 | 12 |
| 1.12 | Ulice Terronská směrem k vysílací anténě | 12 | 12 |
| 1.13 | Data o vzdálenosti z GPS v mobilní aplikaci včetně rychlosti a převýšní | 13 | 13 |
| 1.14 | Data o vzdálenosti z GPS v mobilní aplikaci včetně rychlosti a převýšní pro cestu k vysílací anténě | 13 | 13 |
| 1.15 | Satelitní snímek měřené trasy s hrubým poznačením vysílací antény | 14 | 14 |
| 1.16 | Naměřená data a průběh emperického modelu | 14 | 14 |
| 1.17 | Graf zobrazující emperickou CDF a odhadnutou CDF | 15 | 15 |
| 1.18 | Naměřená data společně s predikovaným průběhem modelu | 15 | 15 |
| 1.19 | Naměřené hodnoty síly signálu v závislosti na vzdálenosti | 16 | 16 |
| 1.20 | Normálové rozdělí a jeho porovnání s rozdělením naměřených dat | 16 | 16 |
| 2.1 | Vysílací anténa umístěná vedle Technické Menzy bez zastínění | 17 | 17 |
| 2.2 | Fotka probíhajícího měření před Technickou menzou bez zastínění | 18 | 18 |
| 2.3 | Distribuční funkce naměřených hodnot bez zastínění | 19 | 19 |
| 2.4 | Naměřené hodnoty v čase bez zastínění, normalizované | 19 | 19 |
| 2.5 | Naměřené hodnoty v čase | 20 | 20 |
| 2.6 | Distribuční funkce naměřených hodnot s dynamickým zastíněním | 21 | 21 |
| 2.7 | Naměřené hodnoty v čase s dynamickým zastíněním, normalizované | 22 | 22 |
| 2.8 | Naměřené hodnoty v čase s dynamickým zastíněním | 22 | 22 |
| 2.9 | Distribuční funkce naměřených hodnot s dynamickým zastíněním | 24 | 24 |
| 2.10 | Naměřené hodnoty v čase, normalizované | 24 | 24 |
| 2.11 | Naměřené hodnoty v čase(nechat?) | 25 | 25 |
| 2.12 | Srovnání jednotlivých scénářů při měření úniků. | 28 | 28 |

Seznam tabulek

| | | |
|-----|--|----|
| 1.1 | Přehled parametrů pro Měření I | 6 |
| 1.2 | Přehled parametrů pro měření v ulici Terronská | 11 |
| 2.1 | Tabulka maximální hodnoty, minimální hodnoty a medianu naměřených před Technickou menzou bez zastínění | 18 |
| 2.2 | Tabulka percentilů z dat naměřených před Technickou menzou bez zastínění | 18 |
| 2.3 | Tabulka maximální hodnoty, minimální hodnoty a medianu naměřených před Technickou menzou s dynamickým zastíněním | 20 |
| 2.4 | Tabulka percentilů z dat naměřených před Technickou menzou s dynamickým zastíněním | 21 |
| 2.5 | Tabulka maximální hodnoty, minimální hodnoty a medianu naměřených před Technickou menzou | 23 |
| 2.6 | Tabulka percentilů z dat naměřených před Technickou menzou | 23 |

Úvod

0.1 Cíl projektu

Cílem projektu je realizovat dva typy měření:

První měření se zabývá empirickým modelem. Jedna anténa je pevně umístěna na stojanu, zatímco druhá simuluje mobilní terminál. Cílem je získat závislost ztrát na poloze obou antén ve statickém prostředí pro úzkopásmový přenos. Nejjednodušší způsob je zaznamenávat úroveň při pohybu terminálu konstantní rychlostí po přímce směrem k/od pevné antény.

Druhé měření se zabývá měřením úniků způsobených vícecestným šířením. Obě antény jsou pevně umístěny na stojanech v dostatečné vzdálenosti (pro dané prostředí) na přímou viditelnost. Časový průběh přijímané úrovně úzkopásmového signálu je zaznamenán po dobu cca jedné minuty pro minimálně tři případy: v prvním neovlivňujte okolní prostředí (resp. spoj), ve druhém se naopak pokuste co nejvíce dynamicky spoj narušovat (např. pohybem členů týmu zastínějícím přímou viditelnost mezi antény) a ve třetím se pokuste dynamiku změn ještě zvýšit a zároveň dosáhnout trvalého zastínění spoje (za tím účelem můžete i změnit polohu antén).

0.2 Oficiální zadání

1. Realizovat měření v terénu za účelem lepšího porozumění podstatě úniků mobilního spoje v pásmu UHF (300 MHz - 3 GHz) v různých prostředích.
2. Využít měřená data pro odvození empirického modelu závislosti ztrát na vzdálenosti.
3. Na základě výsledků měření statisticky analyzovat úniky způsobené vícecestným šířením.

0.3 Použité vybavení

Během měření bylo použito následující vybavení:

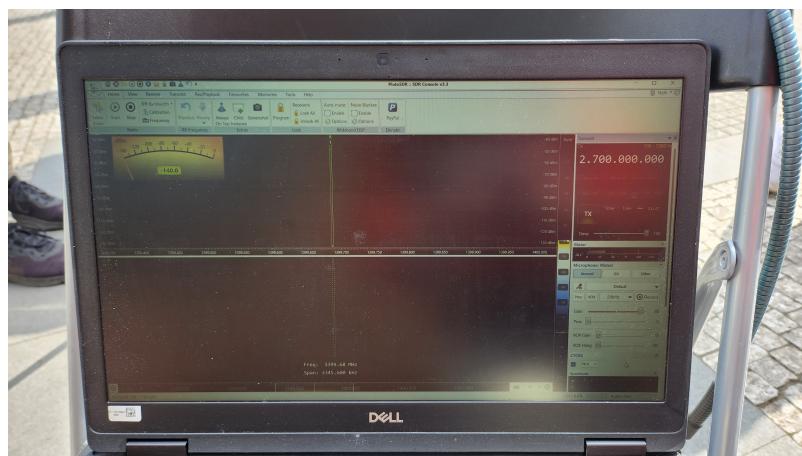
- USB SDR Adalm Pluto pro vysílání,
- Přenosný přijímač Rohde & Schwarz PR100,
- 2x všeobecná anténa se stojanem,
- Mobilní telefon pro dokumentaci měření,
- Laserový dálkoměr Nikon Prostaff S 6x21 7.5



Obrázek 1: Laserový dálkoměr Nikon Prostaff S 6x21 7.5



Obrázek 2: Přenosný přijímač Rohde & Schwarz PR100 s krytem v terénu



Obrázek 3: Software pro vysílání běžící na notebooku v terénu



Obrázek 4: SDR Adalm-Pluto



Obrázek 5: Vysílací anténa upevněná na stojanu během měření

0.4 Parametry pro měření:

- Frekvence: 1 GHz
- Výška, ve které byly umístěny antény během měření úniků způsobených vícecestným šířením: 1,4 m
- Výška, ve které byly umístěny antény při měření I (emperický model): 1,7 m
- Polarizace: Vertikální

Kapitola 1

Empirický model

1.1 Teoretické okénko

První ze dvou měření mělo za cíl změřit závislost útlumu na vzdálenosti v husté městské zástavbě. Pro toto měření a následné modelování a realizaci v dlouhých, rovných ulicích v blízkosti FEL ČVUT, jsme použili One Slope Model, který je daný rovnicí

$$\overline{L(d)} = \overline{L_1(d_1)} + 10n \log\left(\frac{d}{d_1}\right), \quad (1.1)$$

kde $\overline{L_1(d_1)}$ je útlum v referenční vzdálenosti d_1 v metrech a n představuje parametr modelu závislý na typu prostředí.

Dále jsme zjišťovali standardní odchylku dat od průměrné hodnoty, neboli Log-Normal Shadowing. Výsledný model tak odpovídal vztahu

$$L(d) = \overline{L(d)} + X_\sigma = \overline{L_1(d_1)} + 10n \log\left(\frac{d}{d_1}\right) + X_\sigma, \quad (1.2)$$

kde σ je odchylka naměřených dat, zatímco X_σ je útlum získaný z kumulativní distribuční funkce normálního rozdělení s daným σ .

Dále je třeba se zabývat i analýzou Fresnelova zlomu. Ten je dán vztahem

$$d_0 = 4 \frac{h_1 h_2}{\lambda}, \quad (1.3)$$

kde h_1 , respektive h_2 jsou výšky antén a λ je vlnová délka. Pokud se všechny veličiny dosadí v metrech, dostaneme výsledek také v metrech.

1.2 Měření 1. - ulice Jugoslávských partyzánů

Naše skupina si vybrala měření ve venkovním prostředí uvnitř husté městské zástavby. První měření probíhalo v ulici Jugoslávských partyzánů. Začátek byl na rohu s ulicí Rooseveltova, tam ostatně také byla umístěna vysílací anténa. Konec měření byl na konci náměstí Interbrigády. Celková trasa činila 370 metrů.

Přijímací anténa s přístrojem byla přenášena v rámci trasy rychlostí asi 5 km/h -tedy poměrně klidnou lidskou chůzí. Obě antény byly umístěny ve výšce 170 cm nad zemí. Vysílací anténa byla umístěna na stativu, druhou bylo hýbáno po přímce. Měření probíhalo v čase, kdy bylo na ulici poměrně rušno, tudíž bylo prakticky nemožné udržet s anténou po celou dobu přímou viditelnost. Celé měření pak trvalo

asi 4 minuty. Měření v této lokaci bylo provedeno dvakrát, jednou při pohybu od antény, podruhé při pohybu k anténě. Grafy níže zachycují průběh jednoho měření, protože rozdíl od druhého měření nebyl tak velký. Výsledný model s parametry L_1 , σ a n je tedy průměrem z jednotlivých výsledků měření. Zjištěné hodnoty parametru n odpovídají očekávaným hodnotám pro prostředí s hustou zástavbou.

| | Měření při pohybu od antény | Měření při pohybu k anténě | Průměr-Výsledný model |
|----------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| L_1 | 47,53 dB | 42,36 dB | 44,94 dB |
| n | 4,81 | 4,59 | 4,70 |
| σ | 4.64 dB | 4.35 dB | 4,49 dB |

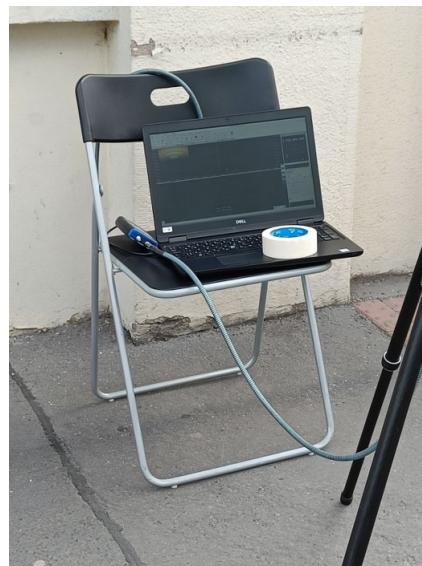
Tabulka 1.1: Přehled parametrů pro Měření I

Vyjdeme-li z rovnice 1.3, tak zjistíme, že pro náš případ s uvedenými výškami antén a frekvencí vychází, že vzdálenost Fresnelova zlomu je 38,5 metru. Proto budeme brát naměřené hodnoty až za touto vzdáleností.

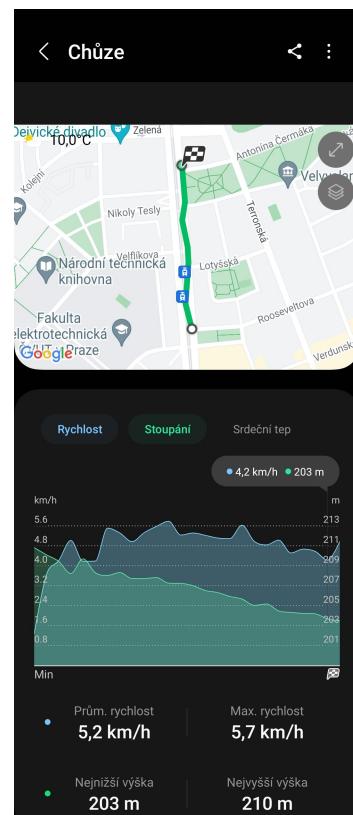
1.2.1 Fotografie a záznamy hodnot z měření



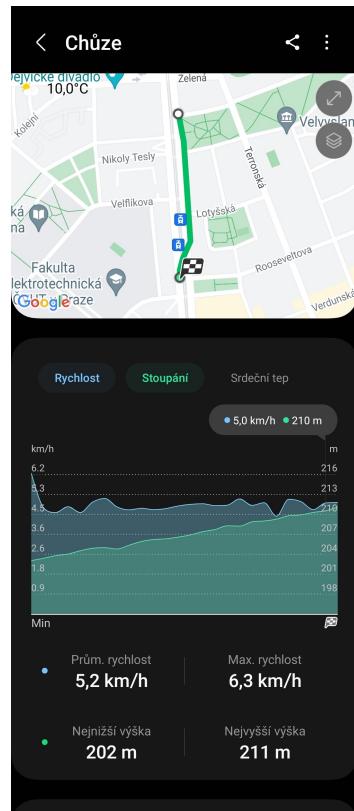
Obrázek 1.1: Vysílací stanoviště na rohu ulic Jugoslávských partyzánů a Rooseveltova



Obrázek 1.2: Detail na umístění notebooku, včetně zapojení SDR



Obrázek 1.3: Data o vzdálenosti z GPS v mobilní aplikaci včetně rychlosti a převýšení



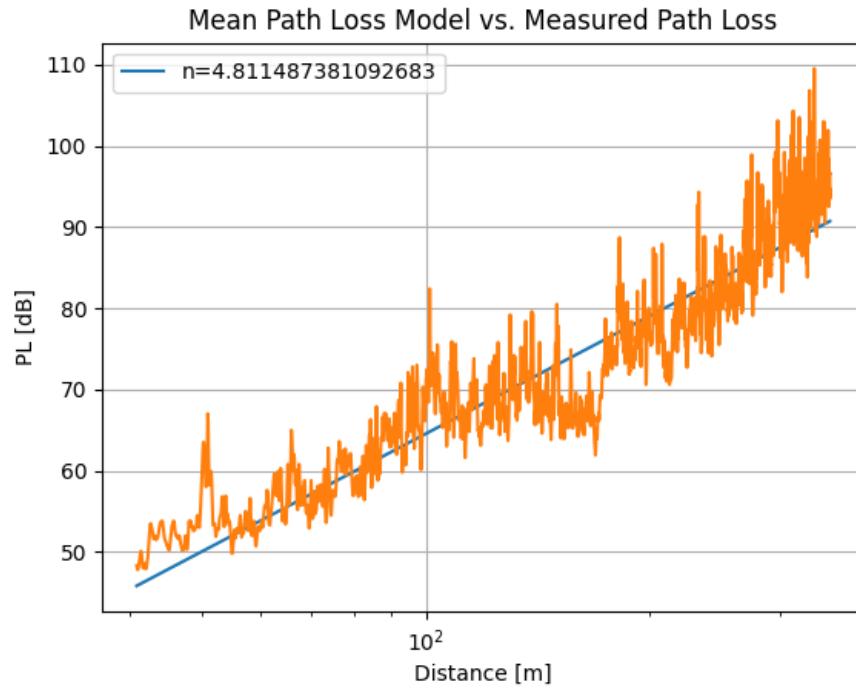
Obrázek 1.4: Data o vzdálenosti z GPS v mobilní aplikaci včetně rychlosti a převýšení pro cestu k vysílací anténě



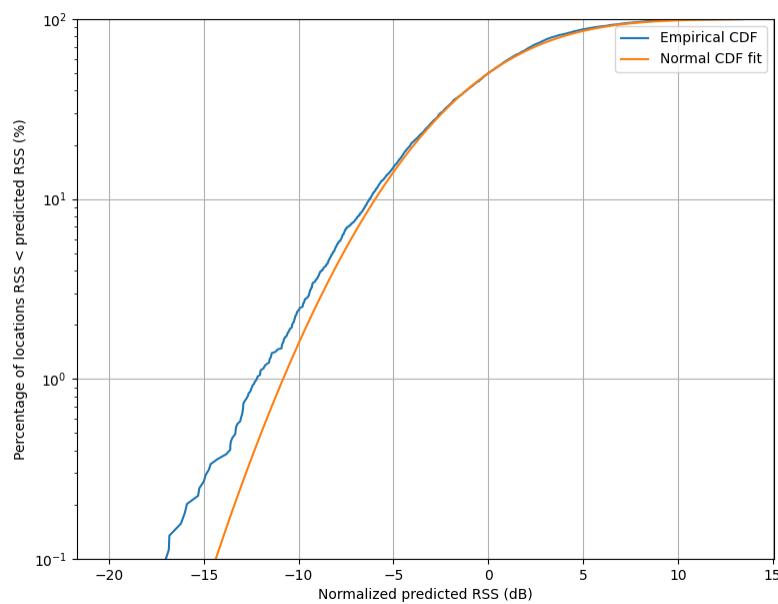
Obrázek 1.5: Foto z průběhu měření v ulici Jugoslávských partyzánů

1.2.2 Grafy s výsledky prvního měření

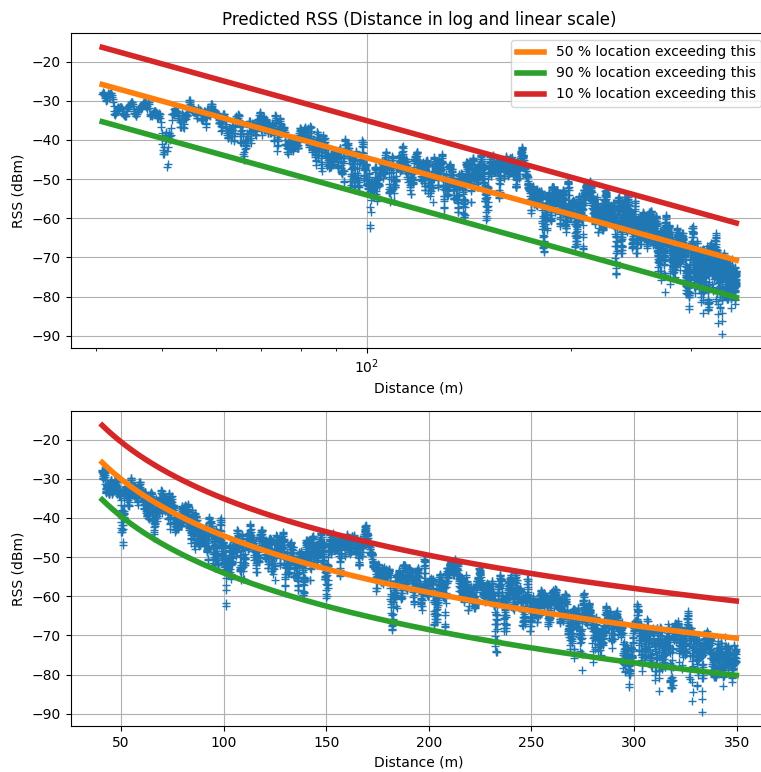
Pro přehlednost celé práce jsou zde uvedeny grafy pouze pro měření v jednom směru. Výsledné hodnoty modelu jsou pak zprůměrováním obou měření v dané lokalitě.



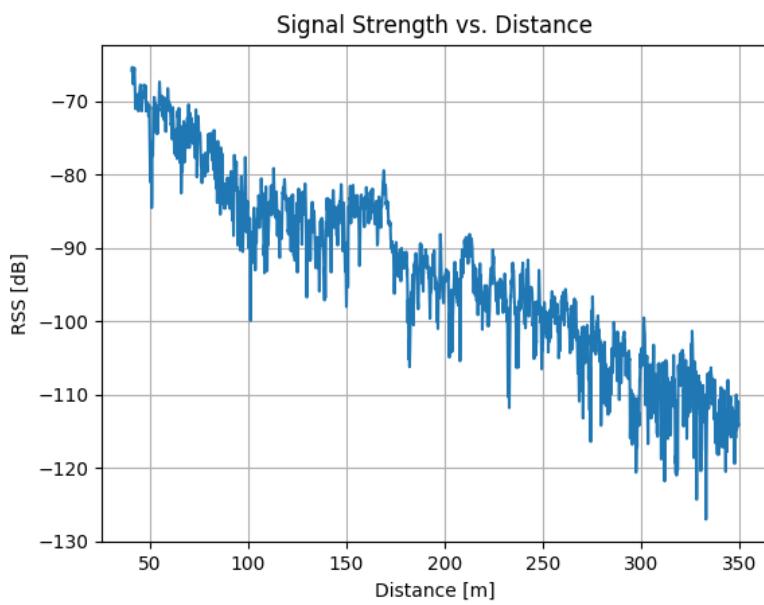
Obrázek 1.6: Naměřená data a průběh emperického modelu



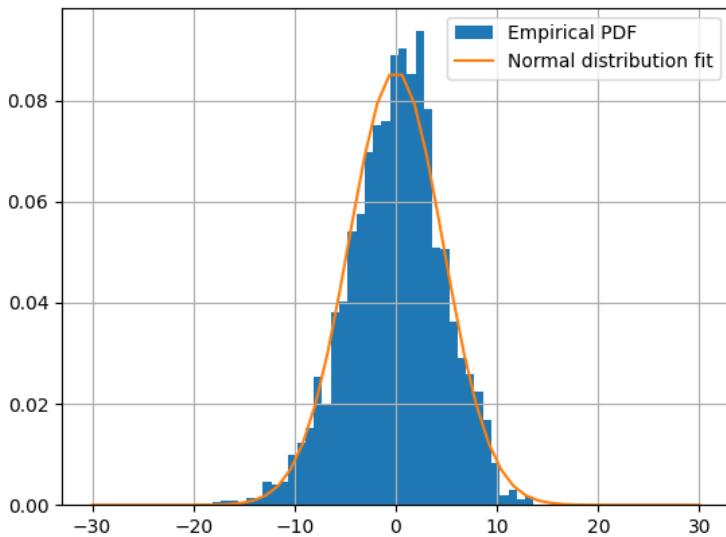
Obrázek 1.7: Graf zobrazující emperickou CDF a odhadnutou CDF



Obrázek 1.8: Naměřená data společně s predikovaným průběhem modelu



Obrázek 1.9: Naměřené hodnoty síly signálu v závislosti na vzdálenosti



Obrázek 1.10: Normálové rozdělí a jeho porovnání s rozdělením naměřených dat

1.3 Měření 2. - ulice Teronská

Druhé měření bylo také provedeno uvnitř husté zástavby, tentokrát v ulici Terronská. Měření bylo usutečněno od rohu ulice Rooseveltova na roh ulice Antonína Čermáka, kde celková trasa má 370 metrů. Výšky antén byly umístěny ve stejné výšce jako v prvním měření, tedy 170 cm nad zemí. Metodika měření byla stejná jako v 1. měření. Tato trasa se jeví jako lepší z důvodu menší rušnosti. Prakticky po celou dobu měření byla přímá viditelnost mezi jednotlivými anténami. Měření v této lokaci bylo provedeno dvakrát, jednou při pohybu od antény, podruhé při pohybu k anténě. V záznamu trasy dle GPS je celková délka 370 metrů. Protože je ale celková trasa mírně z kopce a na posledních několika desítkách metrech už převýšení není, navíc se tam nachází park, jsme se rozhodli posledních asi 170 metrů při zpracování měření vyřadit, tak aby měření odpovídalo měření v husté městské zástavbě a nebylo ovlivněno terénem. Z toho důvodu následují grafy končí se vzdáleností 200 metrů. Grafy níže zachycují průběh jednoho měření, protože rozdíl od druhého měření nebyl tak velký. Výsledný model s parametry L_1 , σ a n je tedy průměrem z jednotlivých výsledků měření. Zjištěné hodnoty parametru n odpovídají očekávaným hodnotám pro prostředí s hustou zástavbou.

| | Měření při pohybu od antény | Měření při pohybu k anténě | Průměr-Výsledný model |
|----------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| L_1 | 44,72 dB | 31,06 dB | 37,89 dB |
| n | 4,62 | 4,06 | 4,34 |
| σ | 4,39 dB | 4,34 dB | 4,36 dB |

Tabulka 1.2: Přehled parametrů pro měření v ulici Terronská

Vyjdeme-li z rovnice 1.3, tak zjistíme, že pro náš případ s uvedenými výškami antén a frekvencí vychází, že vzdálenost Fresnelova zlomu je opět 38,5 metru., protože jsme vysílali na stálé stejné frekvenci a ani výška antén se zde neměnila.

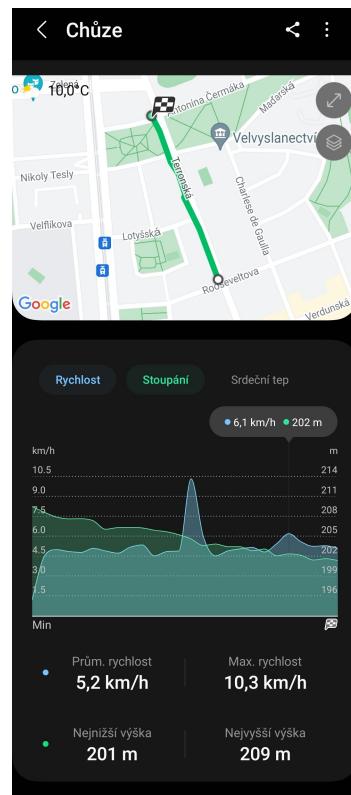
1.3.1 Fotografie a záznamy hodnot z měření



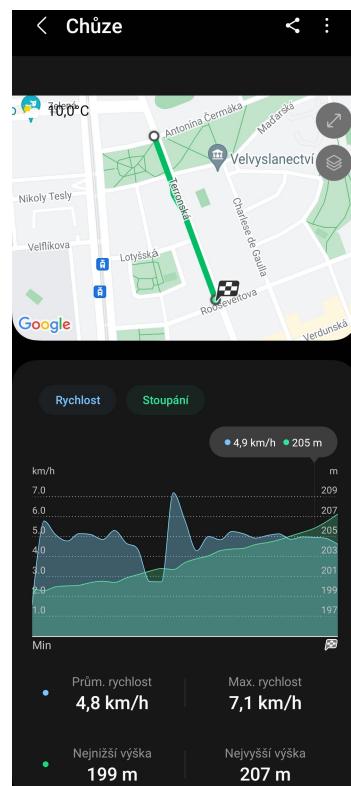
Obrázek 1.11: Vysílací stanoviště v ulici Terronská s pohledem ve směru měření



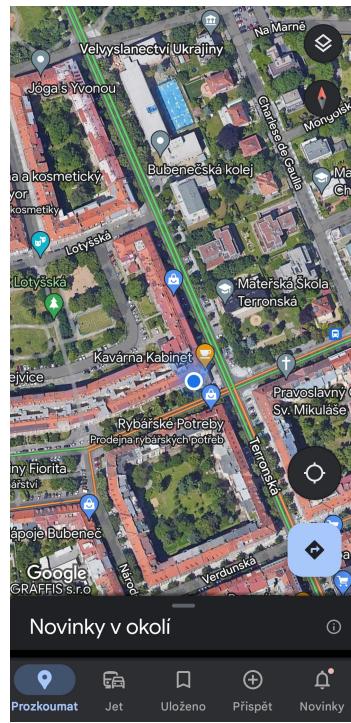
Obrázek 1.12: Ulice Terronská směrem k vysílací anténě



Obrázek 1.13: Data o vzdálenosti z GPS v mobilní aplikaci včetně rychlosti a převýšení



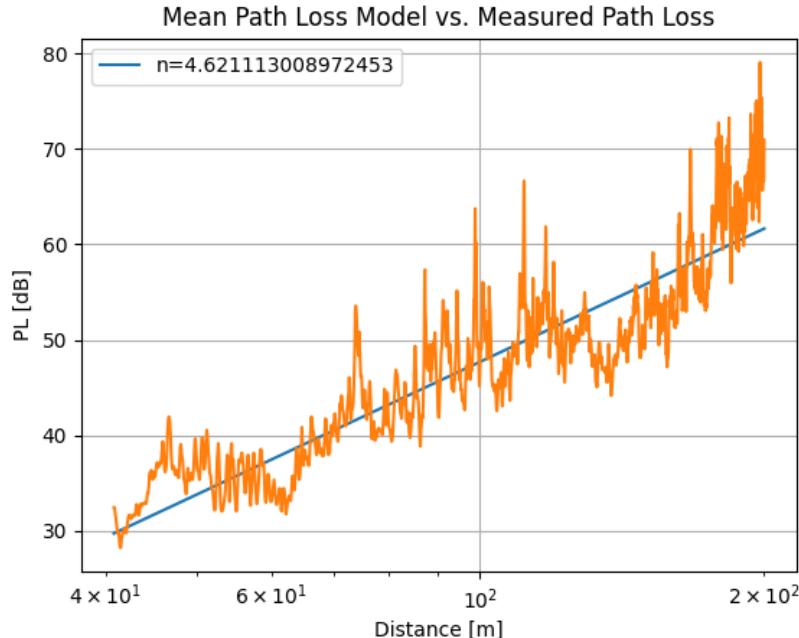
Obrázek 1.14: Data o vzdálenosti z GPS v mobilní aplikaci včetně rychlosti a převýšení pro cestu k vysílací anténě



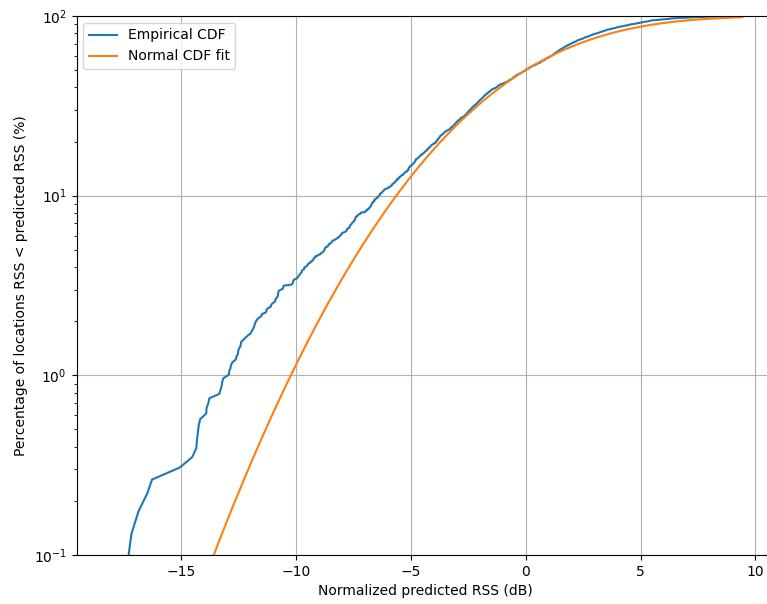
Obrázek 1.15: Satelitní snímek měřené trasy s hrubým poznačením vysílací antény

1.3.2 Grafy s výsledky druhého měření

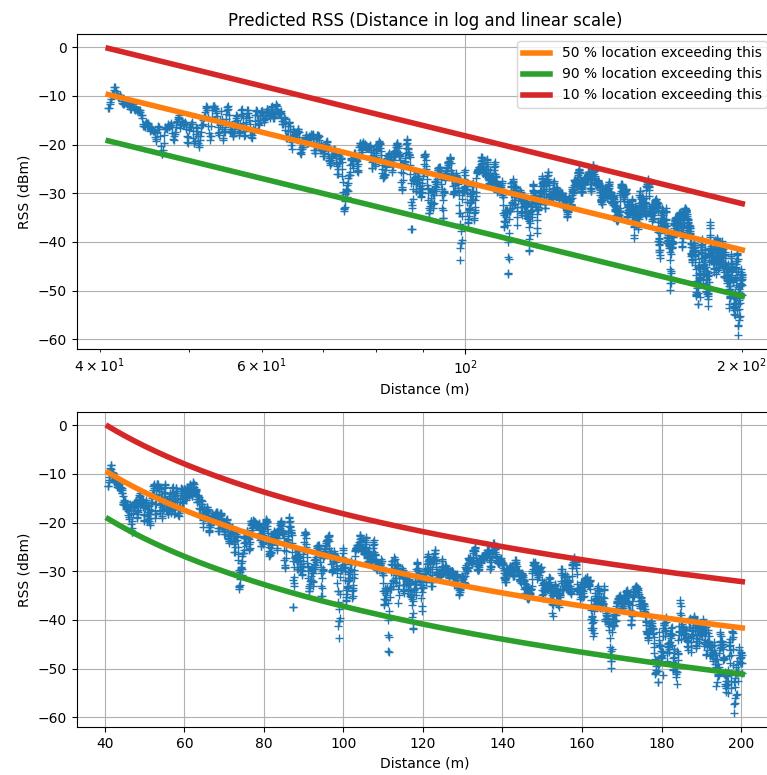
Pro přehlednost celé práce zde opět uvádíme pouze grafy vztažené k měření při pohybu přijímací antény směrem od vysílače (jako i pro měření v ulici Jugoslávských partyzánů). Výsledné hodnoty modelu jsou pak zprůměrováním obou měření v dané lokalitě.



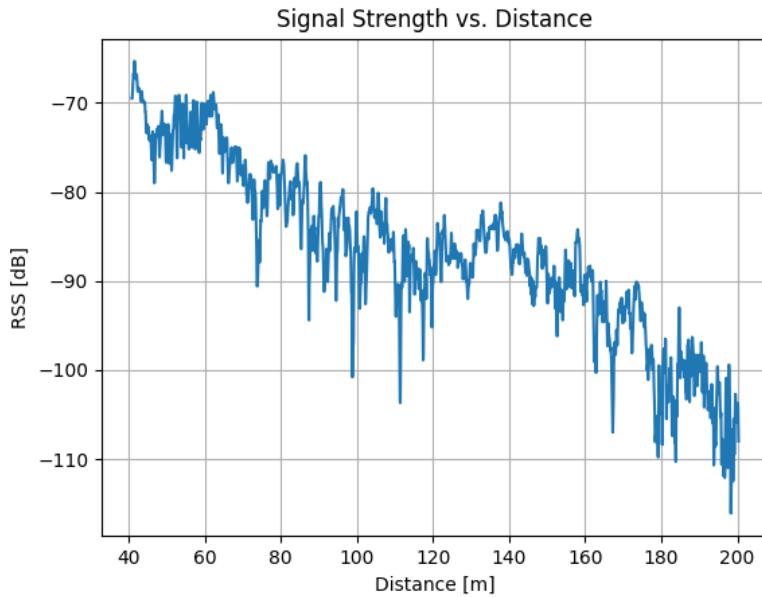
Obrázek 1.16: Naměřená data a průběh emperického modelu



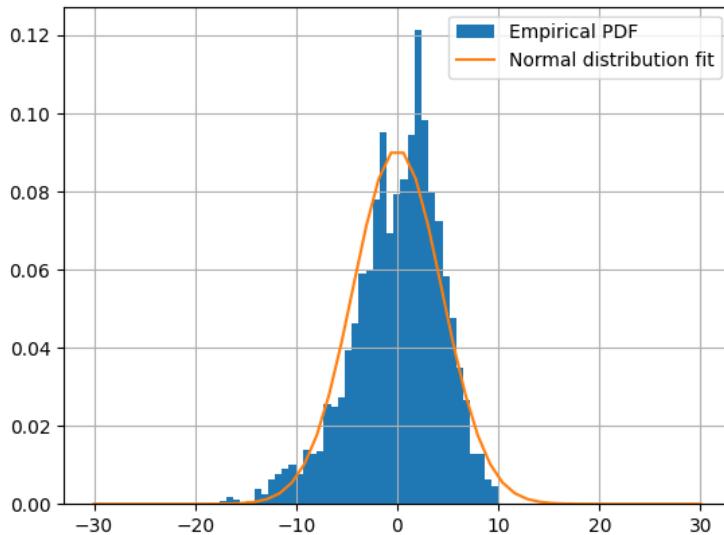
Obrázek 1.17: Graf zobrazující emperickou CDF a odhadnutou CDF



Obrázek 1.18: Naměřená data společně s predikovaným průběhem modelu



Obrázek 1.19: Naměřené hodnoty síly signálu v závislosti na vzdálenosti



Obrázek 1.20: Normálové rozdělí a jeho porovnání s rozdělením naměřených dat

1.4 Shrnutí měření

Při tomto měření jsme zjistili jak vzdálenost přijímače od vysílací antény ovlivňuje sílu signálu, která s rostoucí vzdáleností klesá. Změřené výsledky jsme byly dobře schopni proložit trendem a sestavit tak empirický model husté zástavby. Získané hodnoty parametru n odpovídají teoretickým hodnotám pro městskou hustou zástavbu.

Kapitola 2

Úniky způsobené vícecestným šířením

Pro tento typ měření jsme potřebovali lokaci, kde bude velký pohyb chodců. Nejlépe takovou, aby docházelo k zastínění, ale také, aby zde ve vhodnou chvíli pohyb nebyl žádný nebo jen minimální. Nakonec jsme se rozhodli provést měření před vchodem do Technické menzy v Dejvicích. Čas měření nám velice vyhovoval, jelikož v tuto dobu - kolem 12. hodiny - je zde největší hustota lidí. Vzdálenost mezi anténami byla při měření 24 metrů a jednotlivé antény byly umístěny ve výšce 1,4 metru.



Obrázek 2.1: Vysílací anténa umístěná vedle Technické Menzy bez zastínění



Obrázek 2.2: Fotka probíhajícího měření před Technickou menzou bez zastínění

2.1 Měření bez zastínění

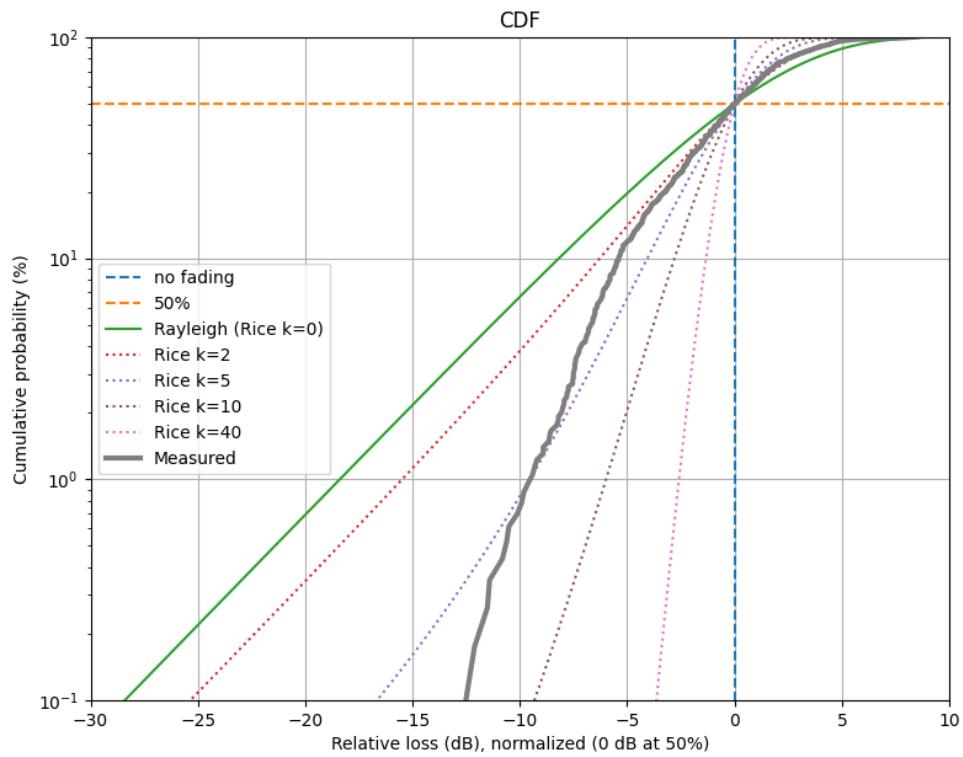
Pro tento typ měření jsme se snažili najít vhodnou chvíli, kdy se mezi anténami nebude nikdo pohybovat. Bohužel se nám nepodařilo najít delší úsek, alespoň minutový, kdy by byly ideální podmínky. Z toho důvodu jsme si vybrali několik různých časových úseků z delšího měření, které jsme poté spojili. Výsledné měření odpovídá očekávání, tedy celkový medián -64.5 dB. Po převedení dat na relativní úroveň vůči mediánu a vykreslení distribuční funkce, je při srovnání s teoretickou Rayleighho distribucí normovanou vůči mediánu je vidět, že tyto křivky se nekopírují, protože nedocházelo k zastínění.

| | RSS |
|--------|------------|
| Min | -77.06 dBm |
| Max | -56.19 dBm |
| Median | -64.5 dBm |

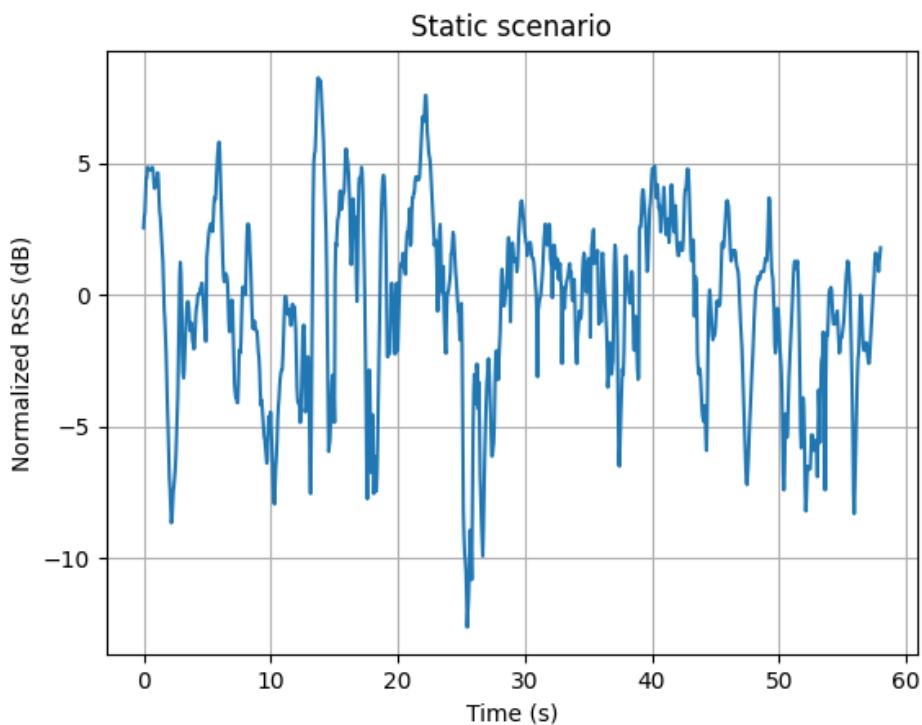
Tabulka 2.1: Tabulka maximální hodnoty, minimální hodnoty a medianu naměřených před Technickou menzou bez zastínění

| Percentil | |
|-----------|----------|
| 1 % | -9.41 dB |
| 10 % | -5.39 dB |
| 50 % | 0 dB |
| 90 % | 3.9 dB |

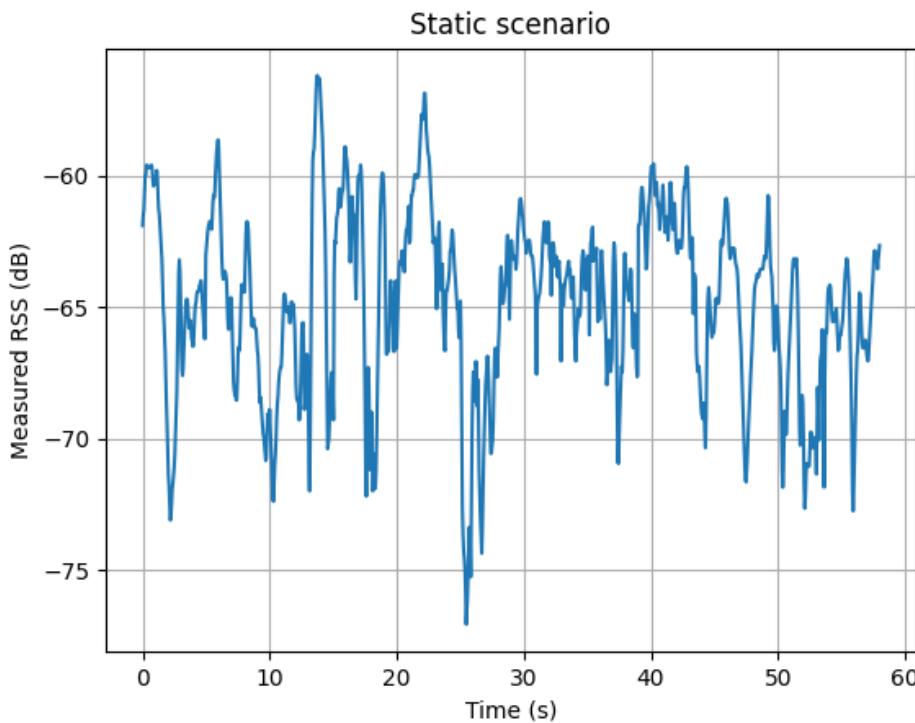
Tabulka 2.2: Tabulka percentilů z dat naměřených před Technickou menzou bez zastínění



Obrázek 2.3: Distribuční funkce naměřených hodnot bez zastínění



Obrázek 2.4: Naměřené hodnoty v čase bez zastínění, normalizované



Obrázek 2.5: Naměřené hodnoty v čase

2.2 Případ dynamického zastínění

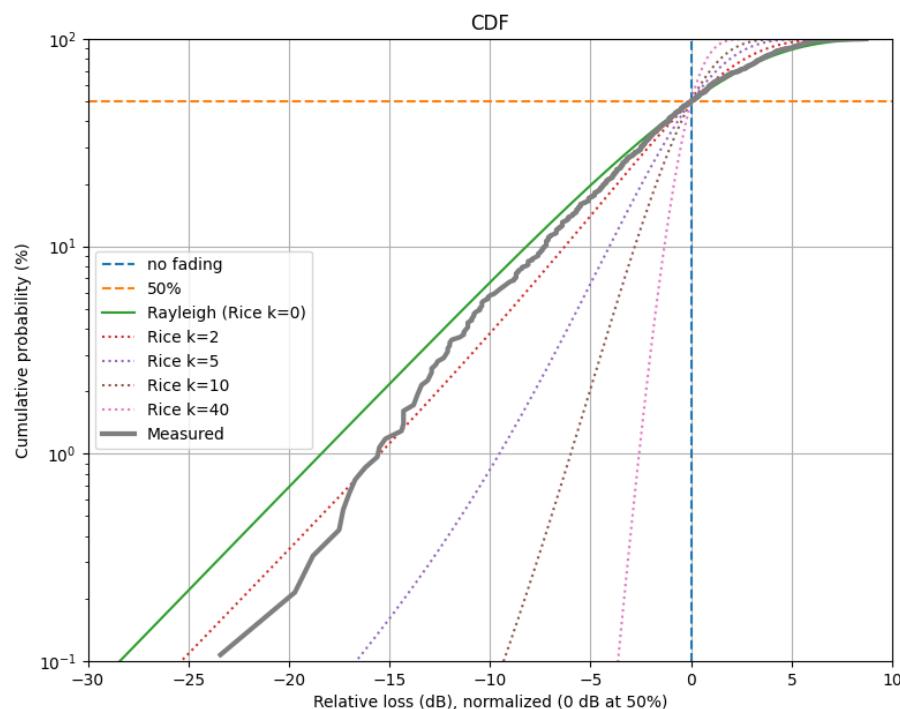
Pro tento typ měření jsme záměrně volili intervaly, kdy se budou mezi anténami pohybovat v dostatečném počtu lidé. Takový interval nebylo těžké nalézt, a to ani dokonce v dostatečně dlouhém časovém intervalu, který jsme si na začátku měření stanovili. Celkový medián je -69.7 dB, útlum je tedy větší než v případě bez zastínění. Po převedení dat na relativní úroveň vůči mediánu a vykreslení distribuční funkce, je při srovnání s teoretickou Rayleighho distribucí normovanou vůči mediánu je vidět, že tyto dvě křivky už kopírují stejný trend, avšak ne dokonale, protože nedochází k úplnému zastínění po celou dobu měření.

| | RSS |
|--------|-----------|
| Min | -93.1 dBm |
| Max | -61.0 dBm |
| Median | -69.7 dBm |

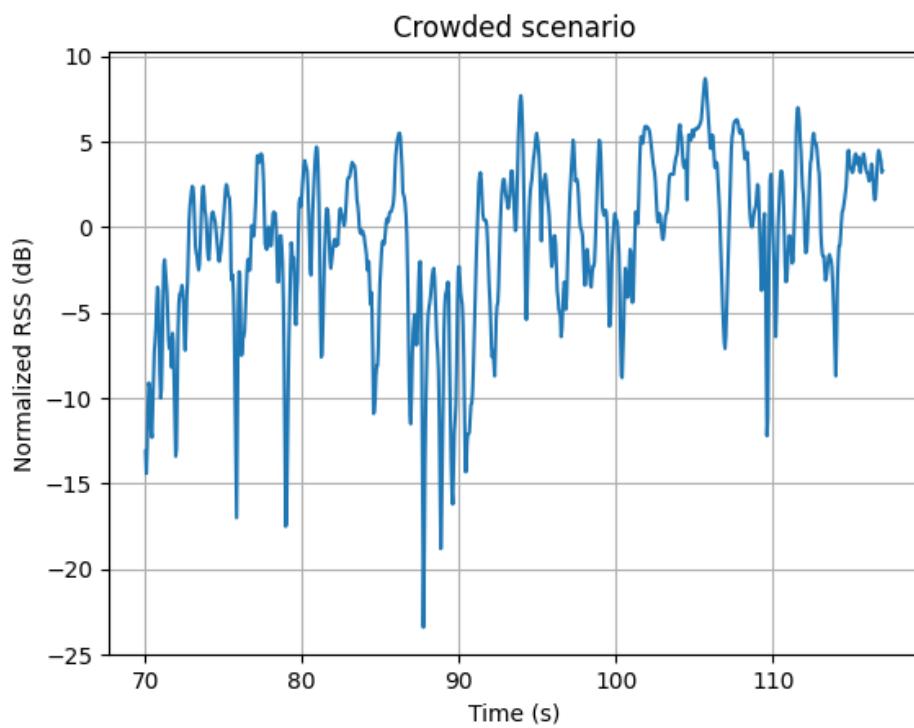
Tabulka 2.3: Tabulka maximální hodnoty, minimální hodnoty a medianu naměřených před Technickou menzou s dynamickým zastíněním

| Percentil | |
|-----------|----------|
| 1 % | -15.5 dB |
| 10 % | -7.2 dB |
| 50 % | 0 dB |
| 90 % | 4.8 dB |

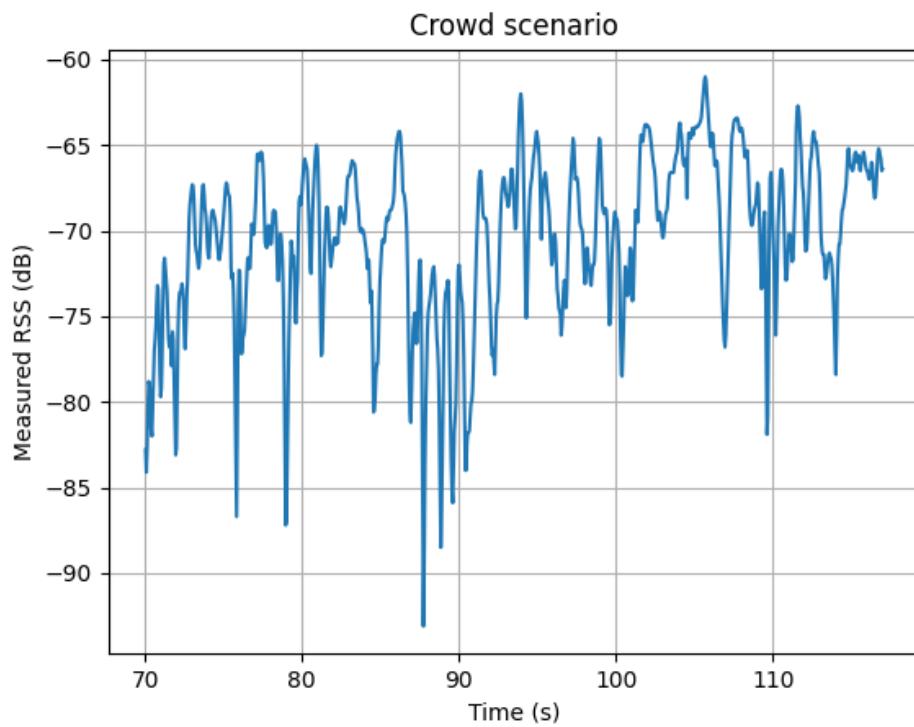
Tabulka 2.4: Tabulka percentilů z dat naměřených před Technickou menzou s dynamickým zastíněním



Obrázek 2.6: Distribuční funkce naměřených hodnot s dynamickým zastíněním



Obrázek 2.7: Naměřené hodnoty v čase s dynamickým zastíněním, normalizované



Obrázek 2.8: Naměřené hodnoty v čase s dynamickým zastíněním

2.3 Případ úplného zastínění

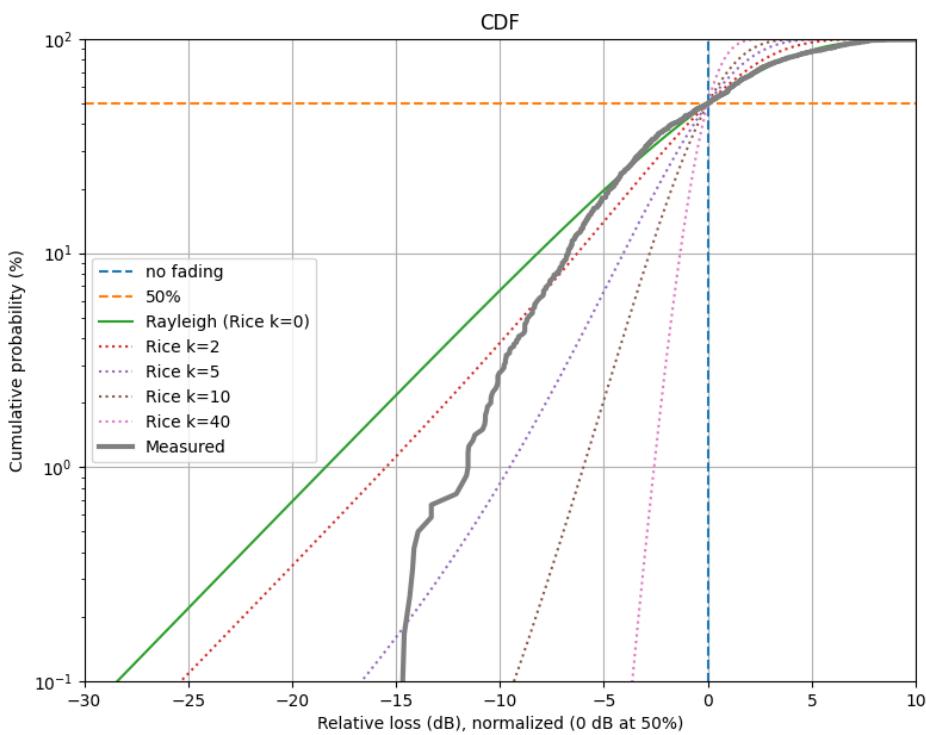
Při tomto scénáři jsme se snažili najít takový okamžik, kdy bylo co největší zastínění mezi anténami. Největší zastínění se nám podařilo získat, když většina osob procházela dveřmi do menzy. Navíc, my jako členové týmu jsme se pohybovali mezi anténami pro zvýšení efektu. Bohužel se nám nepodařilo zachytit dostatečně dlouhý úsek, kdy by došlo k úplnému zastínění. Z toho důvodu jsme vybrali z měření kratší úsek, který byl pro další analýzu vložen vícekrát za sebe. Tím dojde alespoň k vyhlazení křivky. Kolega, který nás měl na starost, nám sám řekl, že v tomto scénáři je úplné zastínění velice těžko proveditelné, ač jsme se snažili sebevícce. Proto jsme alespoň zkusili analyzovat následující krátký úsek měření, než tuto část úplně vynechat. Celkový medián je -78.4 dB. Po převedení dat na relativní úroveň vůči mediánu a vykreslení distribuční funkce, je při srovnání s teoretickou Rayleigho distribucí normovanou vůči mediánu vidět že křivka nekopíruje Rayleigho distribuční funkci, protože nedocházelo k úplnému zastínění.

| | RSS |
|--------|-----------|
| Min | -93.1 dBm |
| Max | -65.5 dBm |
| Median | -78.4 dBm |

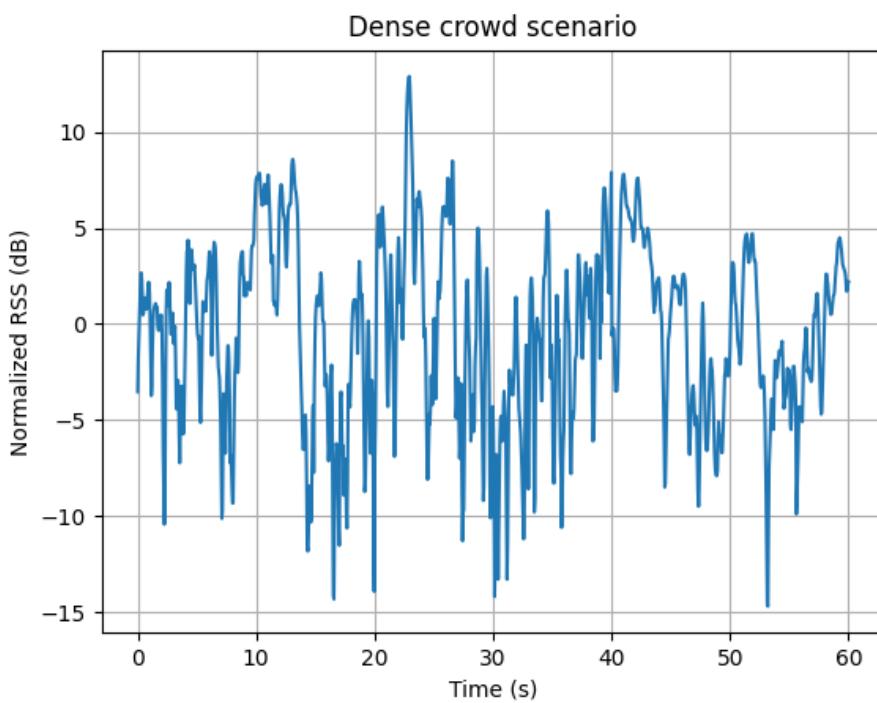
Tabulka 2.5: Tabulka maximální hodnoty, minimální hodnoty a medianu naměřených před Technickou menzou

| Percentil | |
|-----------|----------|
| 1 % | -11.5 dB |
| 10 % | -6.7 dB |
| 50 % | 0 dB |
| 1 90 % | 5.6 dB |

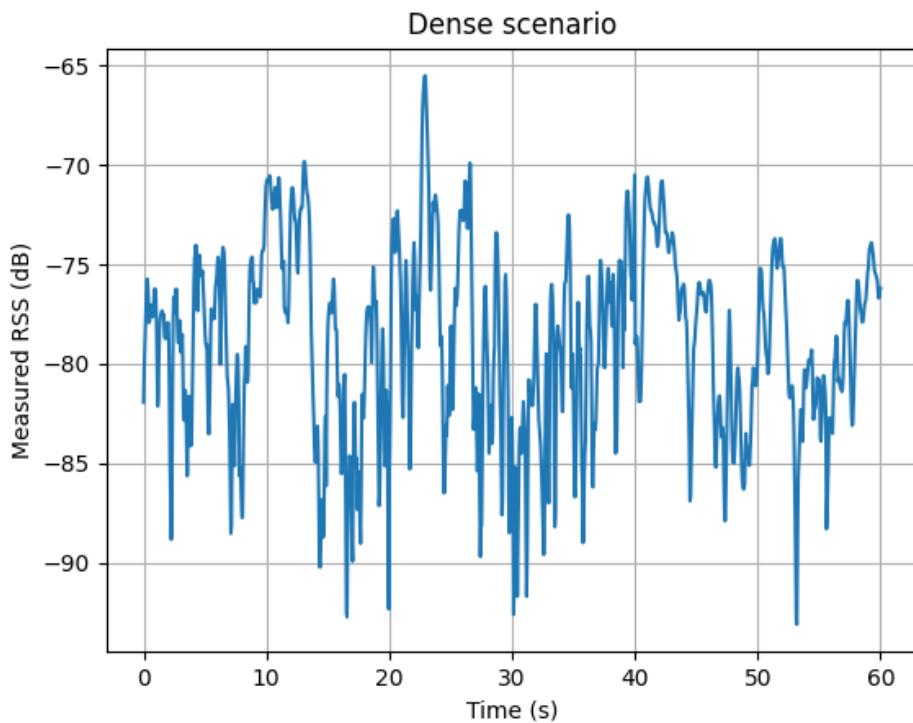
Tabulka 2.6: Tabulka percentilů z dat naměřených před Technickou menzou



Obrázek 2.9: Distribuční funkce naměřených hodnot s dynamickým zastíněním



Obrázek 2.10: Naměřené hodnoty v čase, normalizované



Obrázek 2.11: Naměřené hodnoty v čase(nechat?)

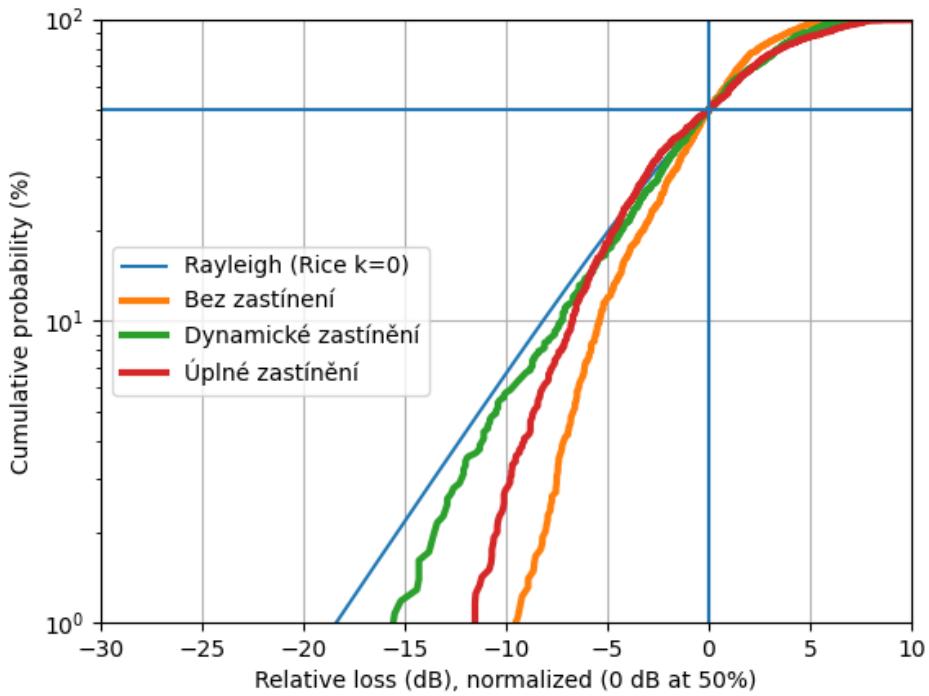
2.4 Shrnutí měření

Při měření úniků jsme se snažili zachytit tři různé scénáře zastínění, konkrétně: bez zastínění, dynamické zastínění a úplné zastínění. Při srovnání jednotlivých typů vůči Rayleigho distribuci je vidět, že pokus zachycení o úplného zastínění nevyšel, protože nekopíruje Rayleigho distribuci tak jak bychom čekali. V rámci měření dynamického a ne-zastínění lze pozorovat očekávaný trend.

Závěr

V rámci projektu jsme provedli dvě měření. Při prvním měření bylo za cíl získat závislost ztrát na poloze dvou antén ve statickém prostředí pro úzkopásmový přenos v husté zástavbě. V našem případě proběhlo měření tak, že byla pevně umístěna vysílací anténa a zaznamenávaly jsme hodnoty síly signálu v závislosti na vzdálenosti od vysílací antény. Jako lokaci měření jsme si zvolili městskou zástavbu a to konkrétně ulice Jugoslávských partyzánů a ulici Terronskou. Měření jsme tedy provedli dvakrát abychom měli lepší představu o problematice měření a mohli porovnat naměřené výsledky a diskutovat faktory, které výsledky mohly ovlivnit. Hodnoty útlumu byly měřeny od 10m do 350m v obou ulicích. Hodnoty použité pro výpočty ale byly od 40 m do 350 m v ulici Jugoslávských partyzánů a od 40m do 200m v ulici Terronská. Minimální hodnotu úseku jsme zvolili za fresnelovým zlomem a v ulici Terronská jsme horní hranici použili z důvodu změny prostředí. Měření síly signálu proběhlo volnou chůzí od vysílací antény za pomocí přenosného spektrálního analyzátoru. Vysílací anténa byla monopólová a uchycena na trojnožku. Měření probíhalo na frekvenci 1 GHz. Z dat vynesených do grafů lze vidět, že hodnoty naměřené v ulici Jugoslávských partyzánů jsou více dynamicky proměnlivé. To bylo způsobeno pohybem mnoha osob a vozidel v této rušné ulici. U průběhů naměřených v ulici Terronská jsou více patrné odrazy od statických okolních objektů v ulici. U obou měření je ale dobře viditelný trend celkového útlumu. Z dat jsme sestavili model a výsledky odpovídají predikcím empirického modelu jak v grafu distribuční funkce, tak i v grafu normálového rozdělení hodnot. Vypočtený koeficient n v prvním případě byl 4,70 a 4,34 v druhém případě. Tyto hodnoty dle tabulky odpovídají husté zástavbě.

Při druhém měření byl cíl zaznamenat časový průběh útlumu při statickém umístění obou antén ve třech případech a to při neovlivnění spoje, dynamické zastínění spoje a úplné zastínění spoje. Jako místo měření jsme zvolili vchod Technické menzy, kde se v době měření pohybovalo velké množství lidí. Antény byly umístěny na chodníku ve vzdálenosti 24 m a výšce 1,4 m pro vyšší pravděpodobnost zastínění. Díky umístění a času měření jsme však nebyli pořádně schopni změřit delší úsek dat pro nezastíněný spoj. A tedy pro účel analýzy jsme spojili několik segmentů vzorků za sebe. Měření dynamického zastínění proběhlo bez problému. Měření úplného zastínění se ukázalo jako obtížnější, proto jsme se zapojili i my a pohybovali se mezi anténami. Z důvodu delší analýzy dat jsme v tomto případě vložili segment několikrát za sebe. Bohužel se nám ani tak nepodařilo dosáhnout úplného zastínění, proto křivka nekopíruje Rayleighova distribuční funkci. V rámci ne-zastínění a dynamického zastínění lze pozorovat očekávaný trend, který je vidět v grafu níže. Z vykreslení vzorků do grafu v čase můžeme dobře vidět jak se od sebe liší situace nezastíněného a dynamicky zastíněného spoje. U dynamicky zastíněného spoje je vidět mnohem více časových změn od pohybujících se osob a útlum je mnohem nižší.



Obrázek 2.12: Srovnání jednotlivých scénářů při měření úniků.

Z výsledků tohoto projektu jsme mohli dobře vidět, jak se síla přijímaného signálu mění v čase v závislosti na dynamičnosti okolí, a také jak je jeho útlum závislý na celkovém prostředí a vzdálenosti od vysílače. Také jsme se přesvědčili, jaké děje ovlivňují kvalitu spojení tak jako je tomu například u spoje mobilního telefonu s pozemním vysílačem ve městě.