

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

<b>Seznam obrázků</b>	<b>iv</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>iv</b>
<b>Úvod</b>	<b>1</b>
0.1 Cíl projektu . . . . .	1
0.2 Oficiální zadání . . . . .	1
0.3 Použité vybavení . . . . .	1
0.4 Parametry pro měření: . . . . .	3
<b>1 Empirický model</b>	<b>5</b>
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 . . . . .	8
1.3 Měření 2. - ulice Teronská . . . . .	10
1.3.1 Fotografie a záznamy hodnot z měření . . . . .	11
1.3.2 Grafy s výsledky druhého měření . . . . .	13
1.4 CO CHYBÍ V MĚŘENÍ-I . . . . .	15
<b>2 Úniky způsobené vícecestným šířením</b>	<b>17</b>
2.1 Měření bez zastínění . . . . .	17
2.2 Případ dynamického zastínění . . . . .	17
2.3 Případ úplného zastínění . . . . .	18
<b>Závěr</b>	<b>19</b>

# Seznam obrázků

1	Laserový dálkoměr Nikon Prostaff S 6x21 7.5 . . . . .	2
2	Přenosný přijímač Rohde & Schwarz PR100 s krytem v terénu . . . . .	2
3	Software pro vysílání běžící na notebooku v terénu . . . . .	2
4	SDR Adalm-Pluto . . . . .	3
5	Vysílací anténa upevněná na stojanu během měření . . . . .	3
1.1	Vysílací stanoviště na rohu ulic Jugoslávských partyzánů a Rooseveltova	6
1.2	Detail na umístění notebooku, včetně zapojení SDR . . . . .	6
1.3	Data o vzdálenosti z GPS v mobilní aplikaci včetně rychlosti a převýšní	7
1.4	Data o vzdálenosti z GPS v mobilní aplikaci včetně rychlosti a pře- výšní pro cestu k vysílací anténě . . . . .	7
1.5	Foto z průběhu měření v ulici Jugoslávských partyzánů . . . . .	8
1.6	Naměřená data a průběh emperického modelu . . . . .	8
1.7	Graf zobrazující emperickou CDF a odhadnutou CDF . . . . .	9
1.8	Naměřená data společně s predikovaným průběhem modelu . . . . .	9
1.9	Naměřené hodnoty síly signálu v závislosti na vzdálenosti . . . . .	10
1.10	Normálové rozdělání a jeho porovnání s rozdělením naměřených dat . .	10
1.11	Vysílací stanoviště v ulici Terronská s pohledem ve směru měření . .	11
1.12	Ulice Terronská směrem k vysílací anténě . . . . .	11
1.13	Data o vzdálenosti z GPS v mobilní aplikaci včetně rychlosti a převýšní	12
1.14	Data o vzdálenosti z GPS v mobilní aplikaci včetně rychlosti a pře- výšní pro cestu k vysílací anténě . . . . .	12
1.15	Satelitní snímek měřené trasy s hrubým poznačením vysílací antény .	13
1.16	Naměřená data a průběh emperického modelu . . . . .	13
1.17	Graf zobrazující emperickou CDF a odhadnutou CDF . . . . .	14
1.18	Naměřená data společně s predikovaným průběhem modelu . . . . .	14
1.19	Naměřené hodnoty síly signálu v závislosti na vzdálenosti . . . . .	15
1.20	Normálové rozdělání a jeho porovnání s rozdělením naměřených dat .	15

# Seznam tabulek

1.1	Přehled parametrů pro Měření I . . . . .	6
1.2	Přehled parametrů pro měření v ulici Terronská . . . . .	11

# 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:

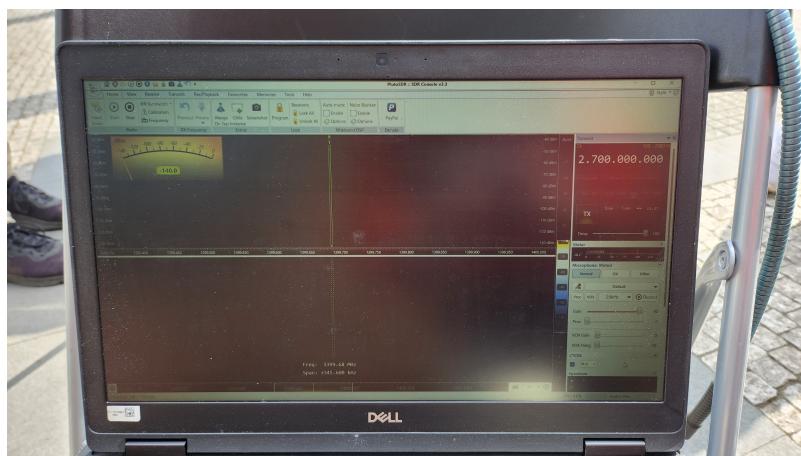
- USB SDR Adalm Pluto pro vysílání,
- Přenosný přijímač Rohde & Schwarz PR100,
- 2x všeobecná anténa se stojanem,
- Mobilní telefon pro dokumentaci měření,
- Laserový dálkoměr Nikon Prostaff S 6x21 7.5



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  $\sigma$  je odchylka naměřených dat, zatímco  $X_\sigma$  je útlum získaný z kumulativní distribuční funkce normálního rozdělení s daným  $\sigma$ .

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  $\lambda$  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. Zjištěné hodnoty parametru  $n$  odpovídají očekávaným hodnotám pro prostředí s hustou zástavbou.

	Měření při pohybu od antény	Měření při pohybu k anténě	Průměr
$L_1$	- dB	- dB	- dB
n	4,81	4,59	4,70
$\sigma$	- dB	- dB	- 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.

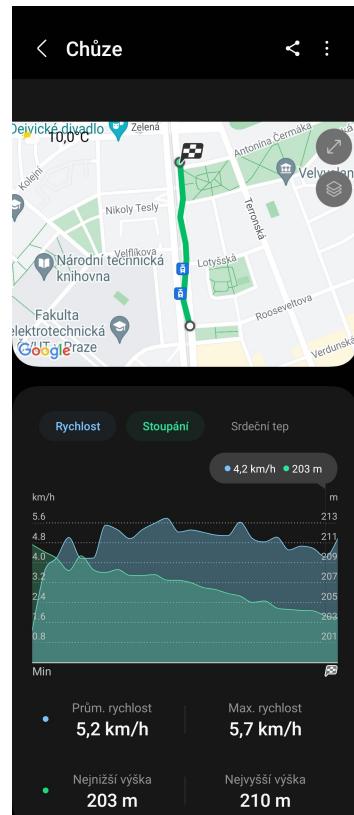
### 1.2.1 Fotografie a záznamy hodnot z měření



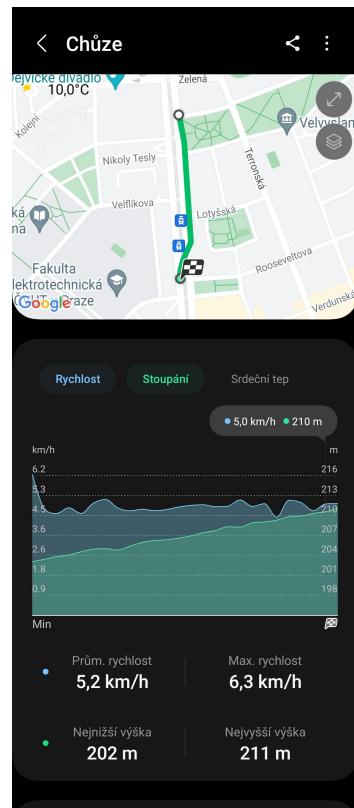
**Obrázek 1.1:** Vysílací stanoviště na rohu ulic Jugoslávských partyzánů a Roosveltova



**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



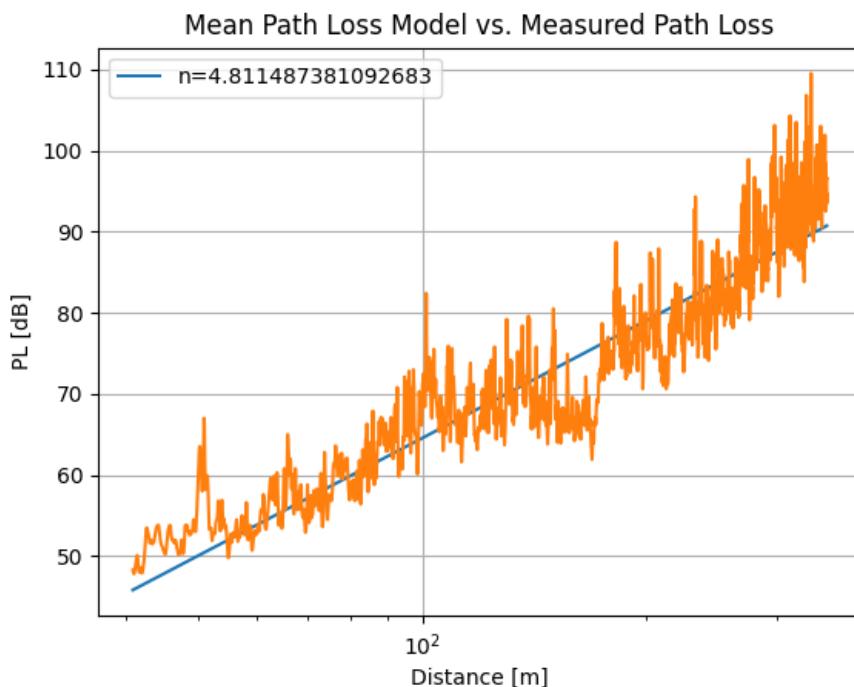
**Obrázek 1.4:** Data o vzdálenosti z GPS v mobilní aplikaci včetně rychlosti a převýšení pro cestu k vysílací anténě



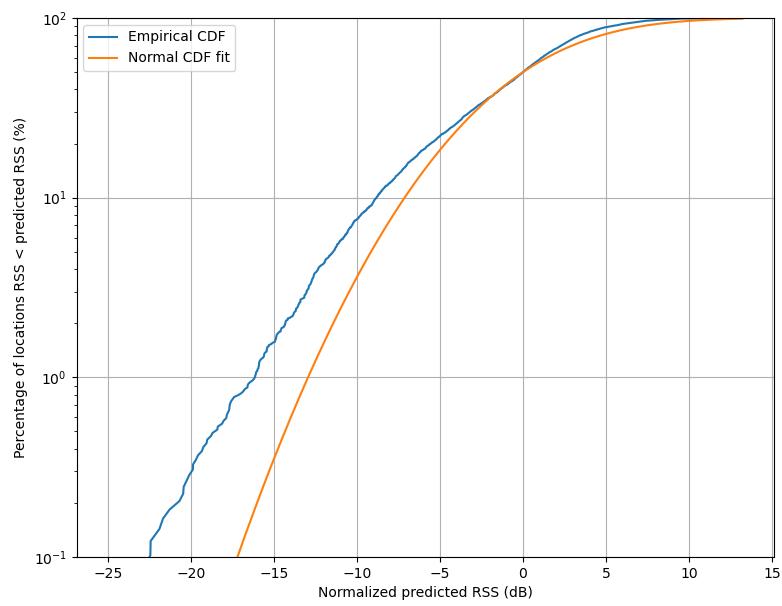
**Obrázek 1.5:** Foto z průběhu měření v ulici Jugoslávských partyzáňů

### 1.2.2 Grafy s výsledky prvního měření

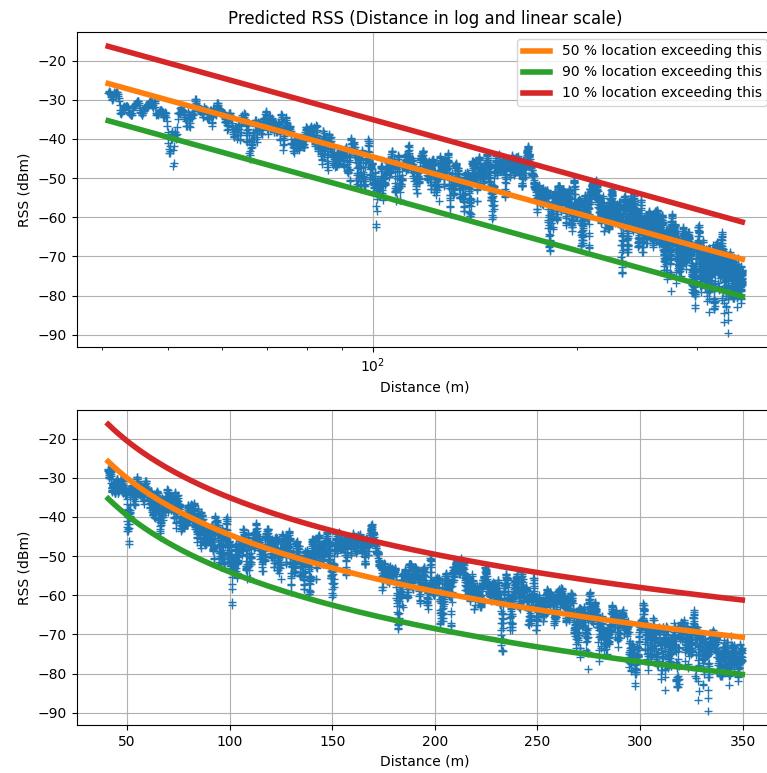
Pro přehlednost celé práce jsou zde uvedeny grafy pouze pro měření v jednom směru. Výsledné hodnoty modelu jsou pak zprůměrováním obou měření v dané lokalitě.



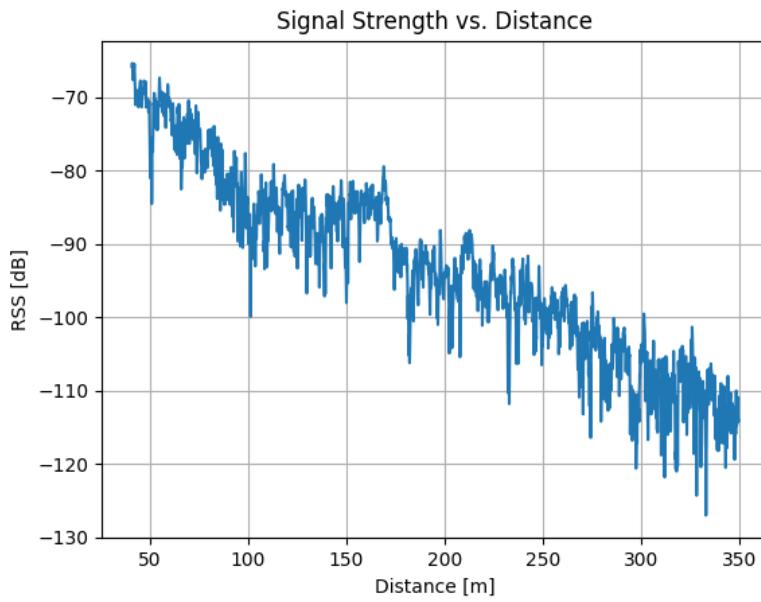
**Obrázek 1.6:** Naměřená data a průběh emperického modelu



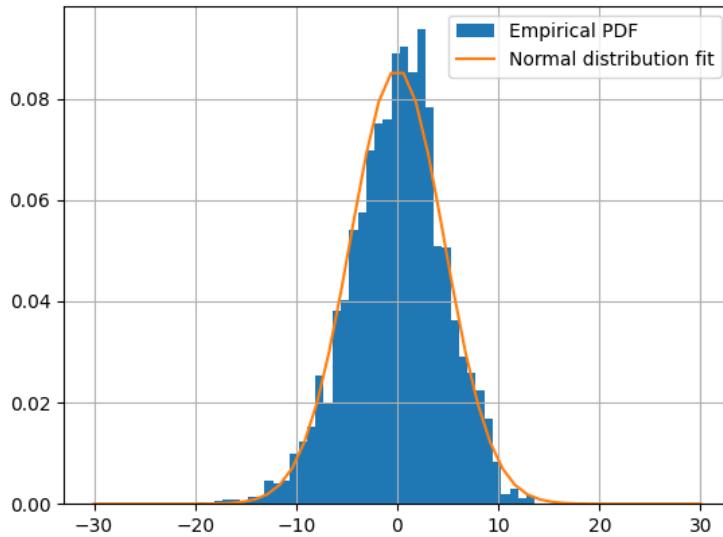
Obrázek 1.7: Graf zobrazující emperickou CDF a odhadnutou CDF



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. V prvním měření z důvodu rušnější ulice se občas stalo, že nebyla přímá viditelnost z důvodu pohybu chodců, což bohužel v daný okamžik nešlo ovlivnit. Měření v této

lokaci bylo provedeno dvakrát, jednou při pohybu od antény, podruhé při pohybu k anténě. Zjištěné hodnoty parametru  $n$  odpovídají očekávaným hodnotám pro prostředí s hustou zástavbou.

	Měření při pohybu od antény	Měření při pohybu k anténě	Průměr
$L_1$	- dB	- dB	- dB
n	4,08	3,53	3,81
$\sigma$	- dB	- dB	- 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.

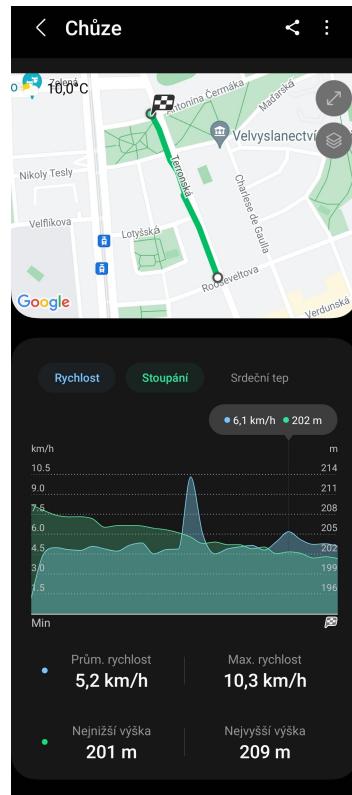
### 1.3.1 Fotografie a záznamy hodnot z měření



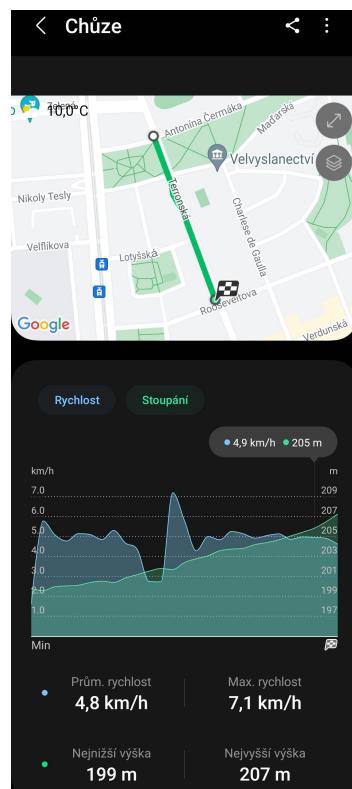
**Obrázek 1.11:** Vysílací stanoviště v ulici Terronská s pohledem ve směru měření



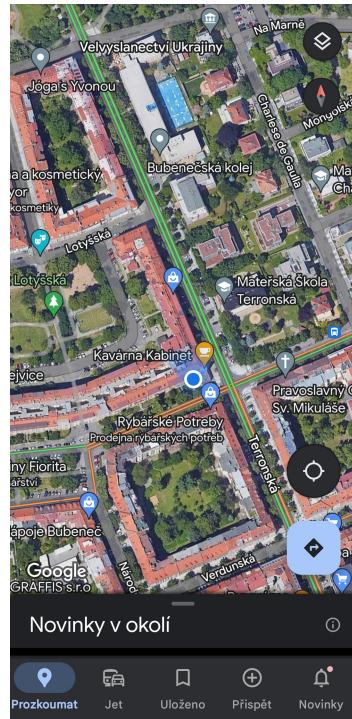
**Obrázek 1.12:** Ulice Terronská směrem k vysílací anténě



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



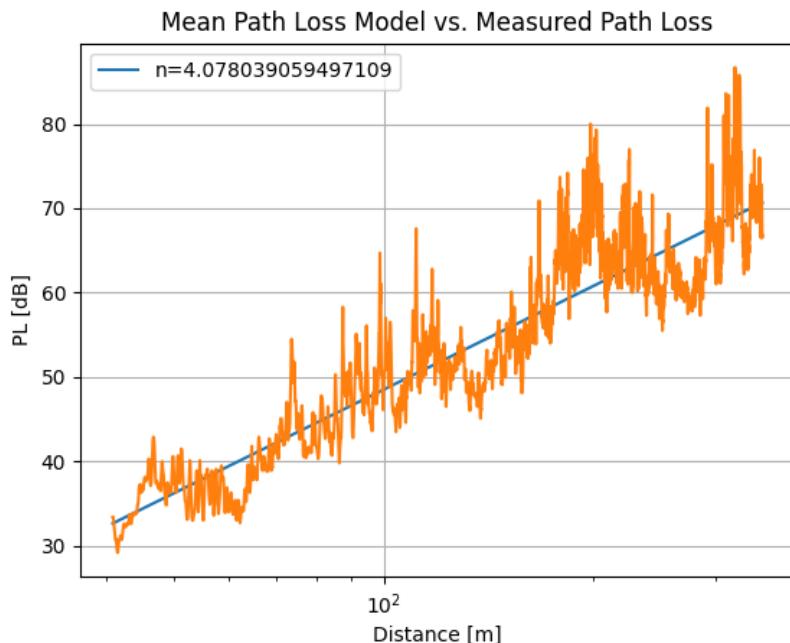
Obrázek 1.14: Data o vzdálenosti z GPS v mobilní aplikaci včetně rychlosti a převýšení pro cestu k vysílací anténě



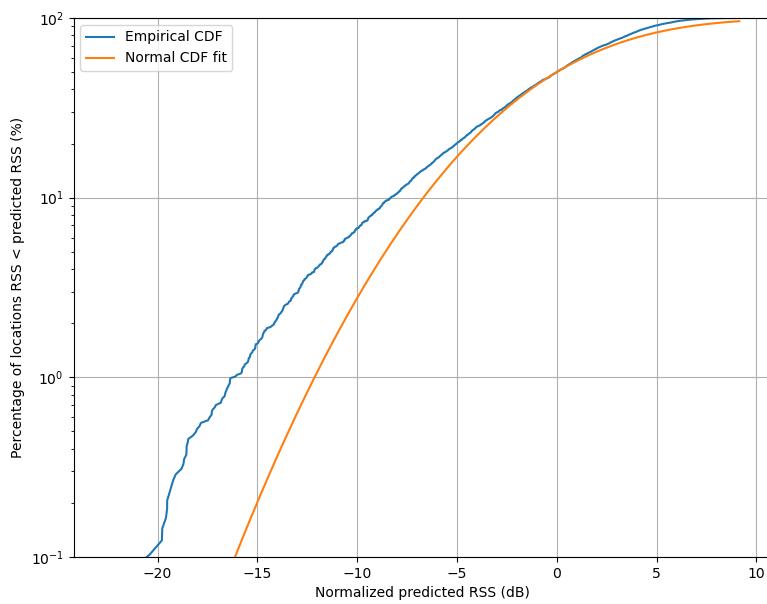
**Obrázek 1.15:** Satelitní snímek měřené trasy s hrubým poznačením vysílací antény

### 1.3.2 Grafy s výsledky druhého měření

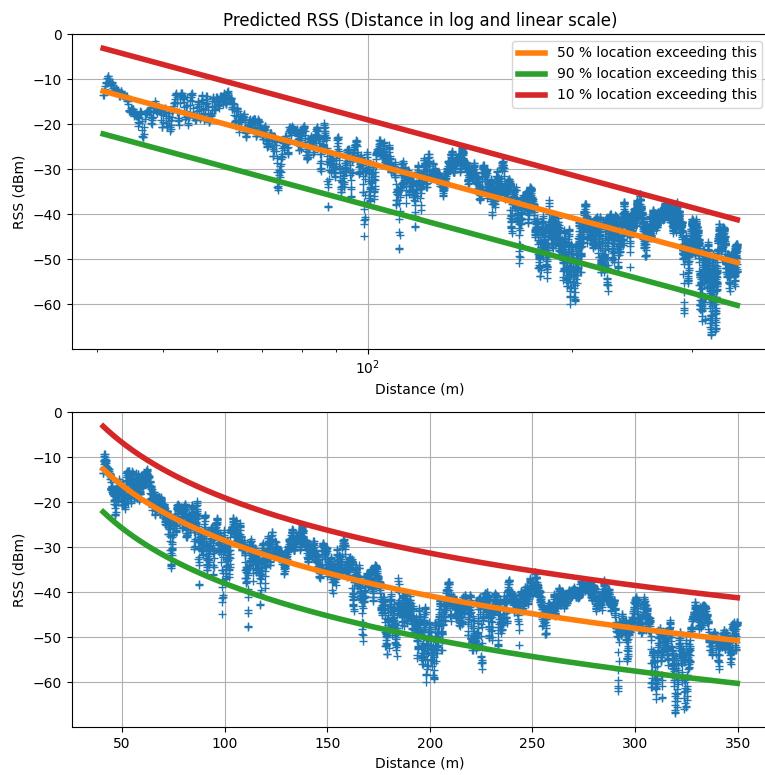
Pro přehlednost celé práce zde opět uvádíme pouze grafy vztažené k měření při pohybu přijímací antény směrem od vysílače (jako i pro měření v ulici Jugoslávských partyzánů). Výsledné hodnoty modelu jsou pak zprůměrováním obou měření v dané lokalitě.



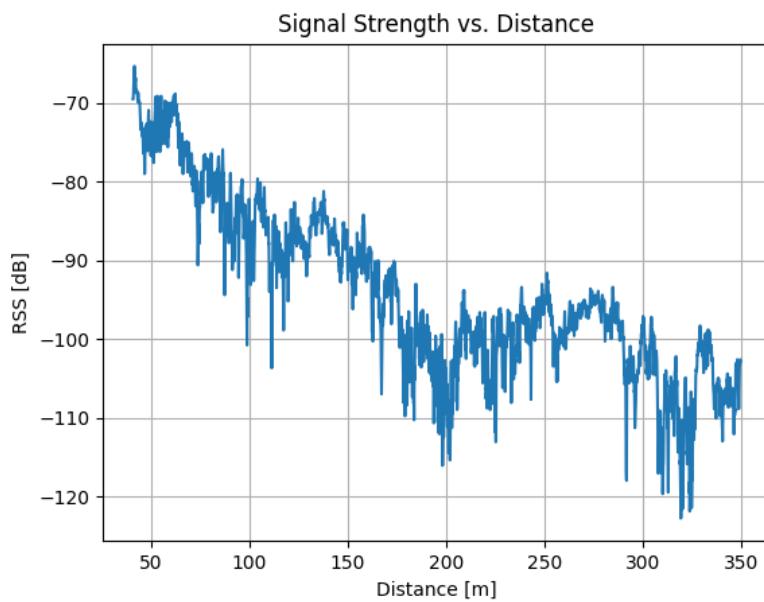
**Obrázek 1.16:** Naměřená data a průběh emperického modelu



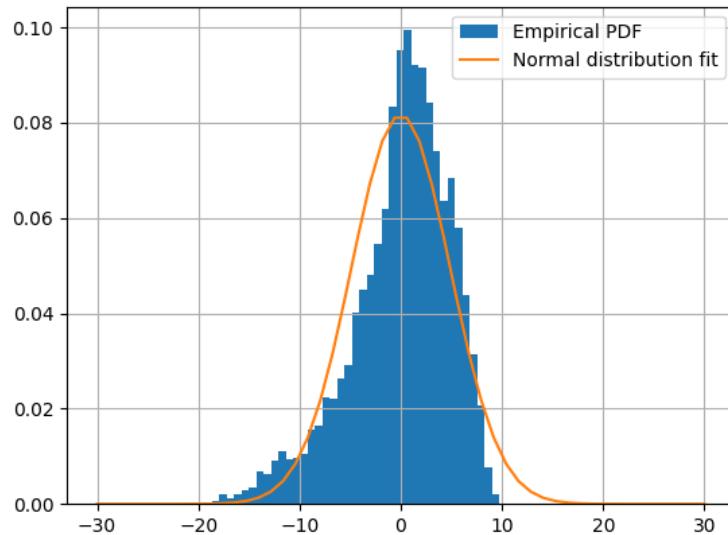
**Obrázek 1.17:** Graf zobrazující emperickou CDF a odhadnutou CDF



**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 CO CHYBÍ V MĚŘENÍ-I

1. Výkonová bilance
2. výsledný model u měření Terronská
3. výsledný model u měření Jugoslávská
4. Diskuse za celé toto měření I



# 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.

Obrazek anteny

Obrazek menzy - vchodu

### 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 tohoto důvodu jsme vybrali několik úseků z více měření, které splňovali toto kritérium a tyto úseky jsme následně spojili.

Tabulka

Tabulka

Obrazek - Distribuční funkce bez zastínění - DETAILNĚJŠÍ (druhou vymazat)

Obrazek - normalizované hodnoty v case

Obrazek - nenormalizovaný ????????????????????

### 2.2 Případ dynamického zastínění

Pro tento typ měření jsme záměrně volili intervaly, kdy se budou mezi anténami pohybovat v dostatečném počtu lidí. Takový interval nebylo těžké nalézt, a to ani dokonce v dostatečně dlouhém časovém intervalu, který jsme si na začátku měření stanovili.

Tabulka

Tabulka

Obrazek - Distribuční funkce bez zastínění - DETAILNĚJŠÍ (druhou vymazat)

A TU JEDNU NUTO OPRAVIT!!!

Obrazek - normalikovane hodnoty v case - VYSTREDIT VUCI STREDNI HODNOTE

Obrazek - nenormalizovaný ?????????????????? - STREDNI HODNOTA!!!

## 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 sebevíc. Proto jsme alespoň zkusili analyzovat následující krátký úsek měření, než tuto část úplně vynechat.

Tabulka

Tabulka

Obrazek - Distribuční funkce bez zastínění - DETAILNĚJŠÍ (druhou vymazat)  
A TU JEDNU NUTO OPRAVIT!!!

Obrazek - normalikovane hodnoty v case - VYSTREDIT VUCI STREDNI HODNOTE

Obrazek - nenormalizovaný ?????????????????? - STREDNI HODNOTA!!!

# 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 našem případě proběhlo měření tak, že byla pevně umístěná vysílací anténa a zaznamenávali 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 10 m do 350 m od vysílací antény za pomoci 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 ovlivňovány fast fadingem. To bylo způsobeno pohybem mnoha osob a vozidel v této rušné ulici. U průběhů naměřených v ulici Terronská je více patrný shadowing. U obou měření je ale dobré viditelný trend celkového útlumu. Data 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 3,81 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. Z vykreslení vzorků do grafu v čase můžeme dobré 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.

## VYSLEDNY GRAF PRO POROVNANÍ VŠECH PRIPADU

Z výsledků tohoto projektu jsme mohli dobré 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.