

Návrh mobilního bezdrátového spoje

SBS – Projekt 2



Martin Šimák, Antonín Semerád, Marek Hulec, Marek Jína

2023

1 Zadání a cíle

Pro zadaný scénář “Venkovní prostředí uvnitř husté městské zástavby”:

- Realizovat měření v terénu za účelem lepšího porozumění podstatě úniků mobilního spoje v pásmu UHF (2,7 GHz) v různých prostředích.
- Využít měřená data pro odvození empirického modelu závislosti ztrát na vzdálenosti.
- Na základě výsledků měření statisticky analyzovat úniky způsobené vícecestným šířením.

2 Experimentální vybavení

- Přenosný UHF generátor
- Přenosný přijímač Rohde & Schwarz PR100
- 2x všesměrová anténa se stojanem
- Pásmo na měření vzdálenosti, výšky antén apod.
- Fotoaparát či mobilní telefon pro dokumentaci měření

3 Empirický model

3.1 Popis měření

Měření útlumu trasy probíhalo na ulicích Jugoslávských partyzánů a Terronská. Měření v obou případech probíhalo stejným způsobem. Vysílací anténa byla postavena na stojan a připojena na vysílací modul. Přijímací anténu, která byla připojena k přenosnému přijímači držel jeden z členů skupiny v ruce a následně se členové skupiny s anténou vzdalovali od vysílače přibližně neměnnou rychlostí. Měření provedlo analogicky pro zpětný směr - k anténě, tedy pro obě ulice vznikly dvě měření.

3.2 Popis zpracování výsledků

Naměřená data obsahovaly hodnoty výkonových spekter v daném okamžiku. Z každého spektra potřebovali jenom hodnotu výkonu na naší frekvenci, proto prvním krokem byl výběr nejvyšší hodnoty ze všech spekter. Na základě délky trasy a počtu naměřených hodnot jsme každé hodnotě výkonu přiřadili vzdálenost od antény (nenastanou chyby jenom pokud jsme se skutečně s anténou pohybovali rovnoměrně). Dalším krokem bylo spojení dat z cesty směrem od antény a směrem k anténě dohromady aby jsme tak dosáhli určitého průměrování hodnot. Výsledkem tohoto snažení je graf naměřeného výkonu v závislosti na vzdálenosti od antény. Jestli se chceme posunout k hodnotám absolutního útlumu potřebujeme určit referenční hodnotu útlumu pro prvé měření, tu získáme rozbořem výkonové bilance níže.

3.3 Výkonová bilance

K extrakci absolutního útlumu trasy z naměřených hodnot přijatého výkonu je třeba vypočítat výkonovou bilanci spoje:

- Zisk vysílací antény: 7 dBi
- Zisk přijímací antény: 5 dBi
- Vysílaný výkon: 0 dBm

$$P_{R_X} = P_{T_X} + G_{T_X} - L \quad (1)$$

$$L = P_{T_X} + G_{T_X} G_{R_X} + P_{R_X} \quad (2)$$

Dosazením hodnoty $P_{R_X} = -48$ dBm z měření asi v vzdálenosti 2 m od vysílací antény vychází útlum $L_{2m, VYK} = 36$ dB.

Pro tak malou vzdálenost uvažujeme jenom útlum volným prostorem který vypočítáme následovně:

Ve výpočtu útlumu ve vzdálenosti 1 m uvažujeme jen útlum volným prostorem:

$$L_{2m,FSL} = FSL_{2m} = 20 \log_{10}(8\pi f/c) = 47,1 \text{ dB} \quad (3)$$

Pro extrakci absolutního útlumu trasy použijeme hodnotu, která je větší, tedy hodnotu vypočtenou ze vzorce FSL: $L_{2m,FSL} = 47,1 \text{ dB}$

3.4 Fresnelův zlom

Pro měření nad rovinou země, jako to naše, se používá dvou-paprskový model šíření. V tomto modelu uvažujeme že se jeden paprsek odráží od země a druhý je šíří přímo. Následkem rozdílné délky trasy paprsků dochází opakovaně k postupné změně od destruktivní až ke konstruktivní interferenci a zpátky. Tenhle jev snižuje rychlost útlumu na dané trase až po Fresnelův zlom, který určuje konec vlivu tohoto jevu.

Vzdálenost Fresnelova zlomu je dána:

$$d_0 = \frac{4h_1h_2}{\lambda} \quad (4)$$

Vlnová délka pro náš případ ($f = 2,7 \text{ GHz}$):

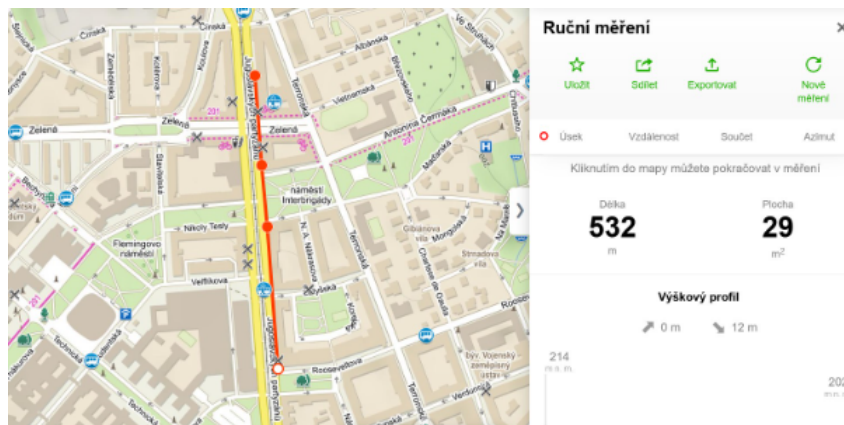
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{299792458}{2,7 \cdot 10^9} = 0,111 \text{ m} \quad (5)$$

Doplněním výšek antén postupně 1,6 a 1,8 m:

$$d_0 = \frac{4h_1h_2}{\lambda} = \frac{4 \cdot 1,6 \cdot 1,8}{0,111} = 105 \text{ m} \quad (6)$$

4 Jugoslávských partyzánů

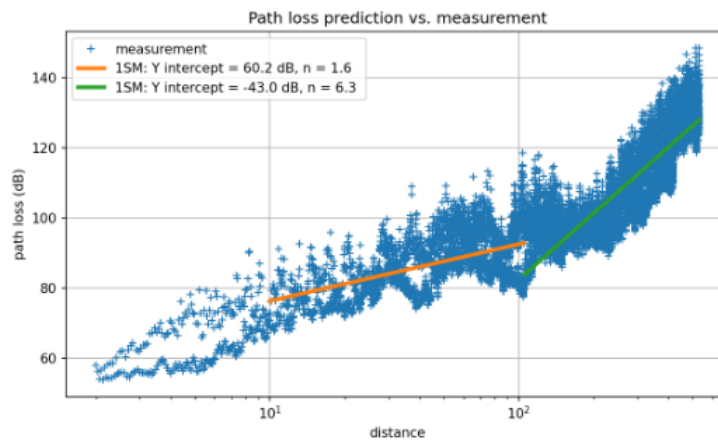
První měření probíhalo v ulici Jugoslávských partyzánů. Jde o rušnou ulici s množstvím chodců, aut a dalších pohyblivých objektů. Vzhledem k faktu, že měření probíhalo na chodníku v blízkosti fasády domů, 2-paprskový model by bylo vhodné zaměnit za 3-paprskový.



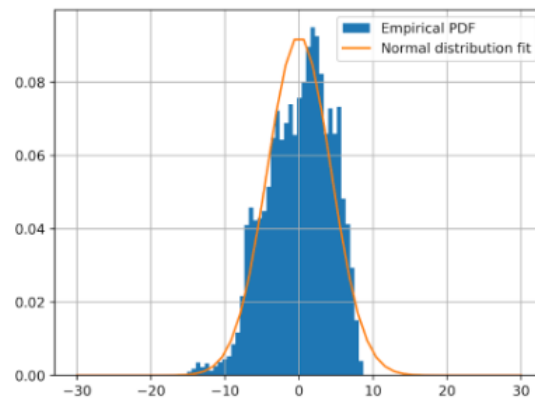
Obrázek 1: Jugoslávských Partyzánů - Trasa

| | |
|------------|-----------|
| $L_1(d_1)$ | 49.3 [dB] |
| n | 1.6 |
| σ | 3.2 [dB] |
| Mean Error | 2.7 [dB] |

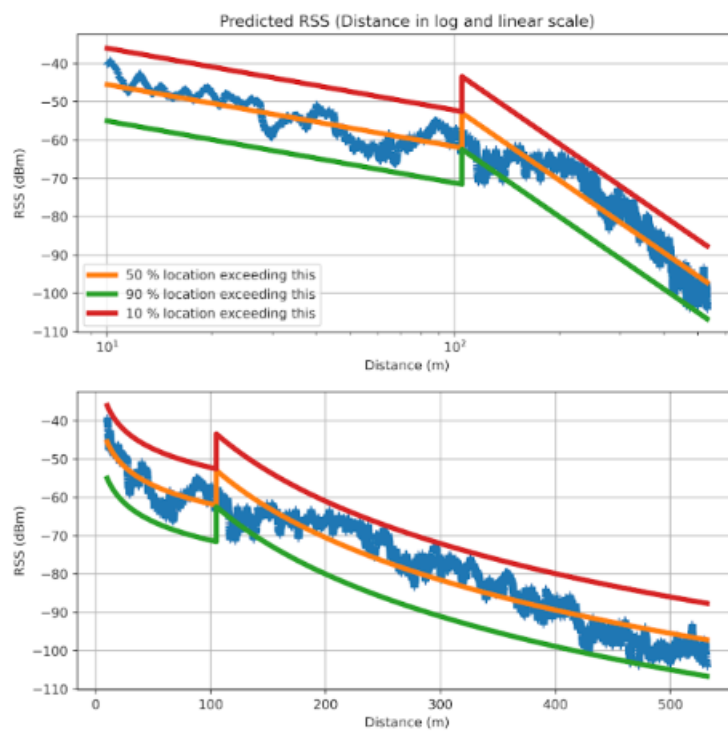
Tabulka 1: Jugoslávských Partyzánů



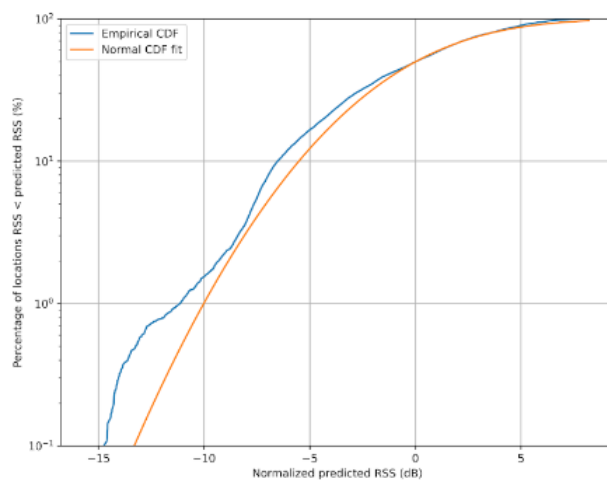
Obrázek 2: Jugoslávských Partyzánů - útlum v závislosti na vzdálenosti antén na intervalu od 10 do 105 m a empirický model



Obrázek 3: Jugoslávských Partyzánů - Rozložení pravděpodobnosti po proložení empirickým modelem na intervalu od 10 do 105 m



Obrázek 4: Jugoslávských Partyzánů - RSS po proložení empirickým modelem



Obrázek 5: Jugoslávských Partyzánů - Kumulativní distribuční funkce po proložení spojeným empirickým modelem

5 Terronská

Na ulici Terronská proběhlo měření pouze na vzdálenosti 257 m. Na mapce níže je měřený úsek vyznačen:

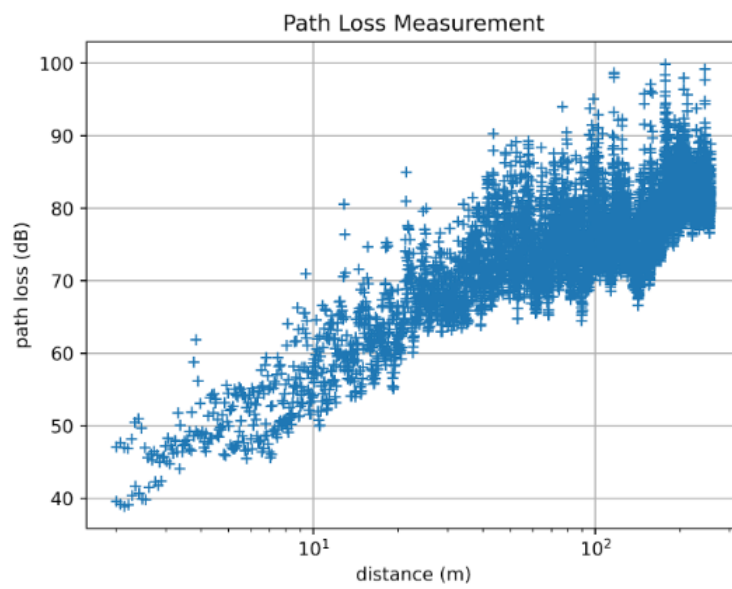


Obrázek 6: Terronská - Trasa

Ulice Terronská a Jugoslávských Partyzánů jsou osově souměrné a mohlo by se zdát, že jsou si v mnohém podobné. Ale jsou tu významné rozdíly, které ovlivnili měření byl počet chodců na ulici vliv cestní přemávky na naměřené hodnoty. Na ulici Terronská bylo během měření zanedbatelný počet chodců a během měření jsme nekřížovaly frekventovanou cestu.



Obrázek 7: Terronská - Statický vysílač

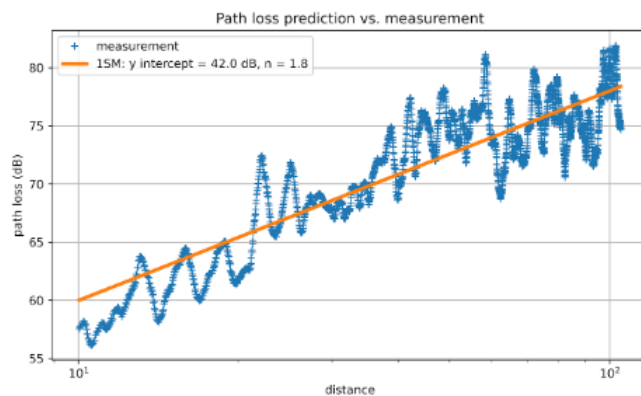


Obrázek 8: Terronská - útlum v závislosti na vzdálenosti antén

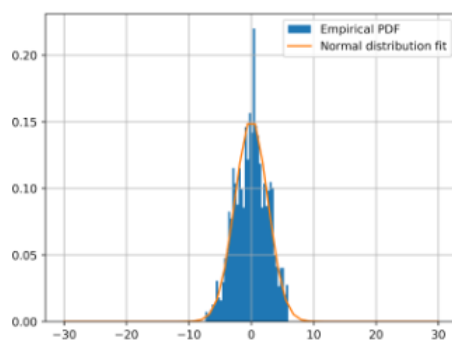
5.1 Do 1. Fresnelovy zóny

| | |
|------------|-----------|
| $L_1(d_1)$ | 42.0 [dB] |
| n | 1.8 |
| σ | 2.6 [dB] |
| Mean Error | 2.1 [dB] |

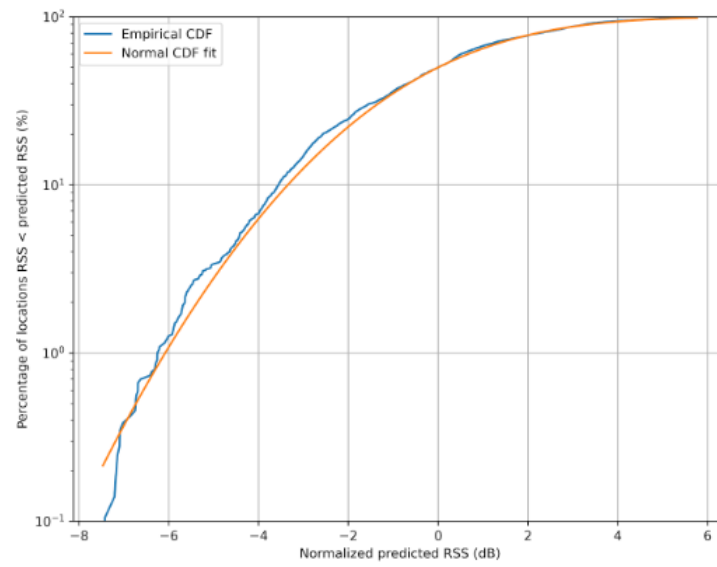
Tabulka 2: Terronská - Do Fresnelova zlomu ve vzdálenosti 105 m



Obrázek 9: Terronská - útlum v závislosti na vzdálenosti antén na intervalu od 10 do 105 m a empirický model



Obrázek 10: Terronská - Rozložení pravděpodobnosti po proložení empirickým modelem na intervalu od 10 do 105 m

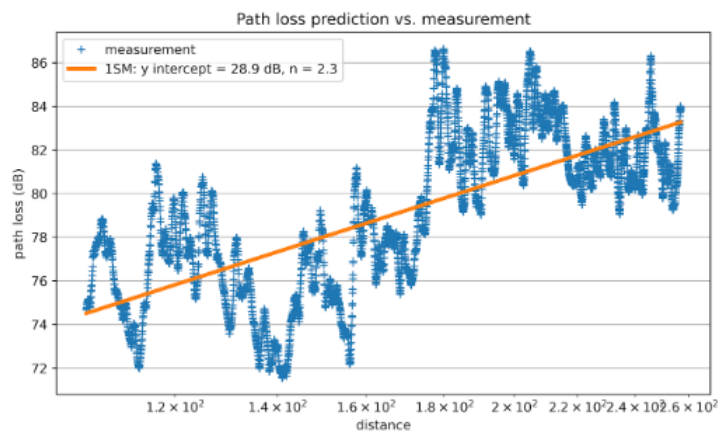


Obrázek 11: Terronská - Kumulativní distribuční funkce po proložení empirickým modelem na intervalu od 10 do 105 m

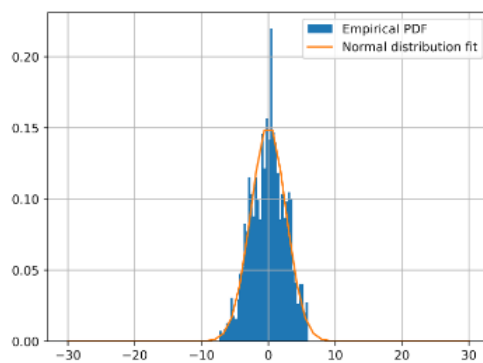
5.2 Za Fresnelovým zlomem

| | |
|------------|-----------|
| $L_1(d_1)$ | 28.9 [dB] |
| n | 2.3 |
| σ | 2.5 [dB] |
| Mean Error | 2.1 [dB] |

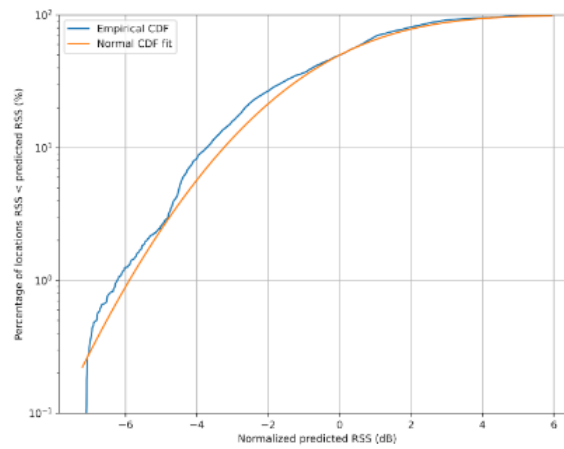
Tabulka 3: Terronská - Za Fresnelovým zlomem 105 až 257 m



Obrázek 12: Terronská - útlum v závislosti na vzdálenosti antén na intervalu od 105 do 257 m a empirický model



Obrázek 13: Terronská - Rozložení pravděpodobnosti po proložení empirickým modelem na intervalu od 105 do 257 m

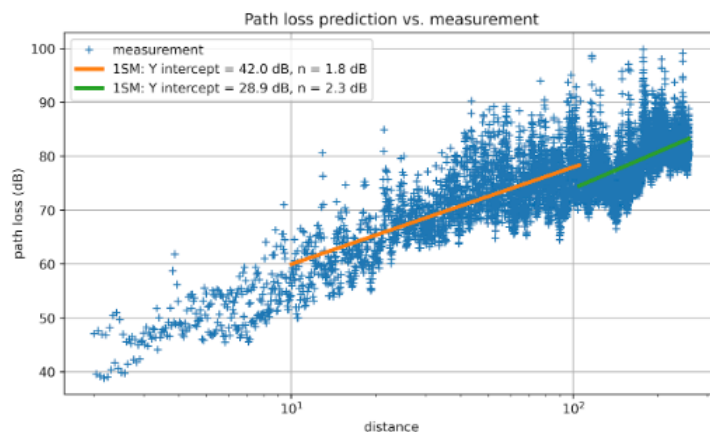


Obrázek 14: Terronská - Kumulativní distribuční funkce po proložení empirickým modelem na intervalu od 105 do 257 m

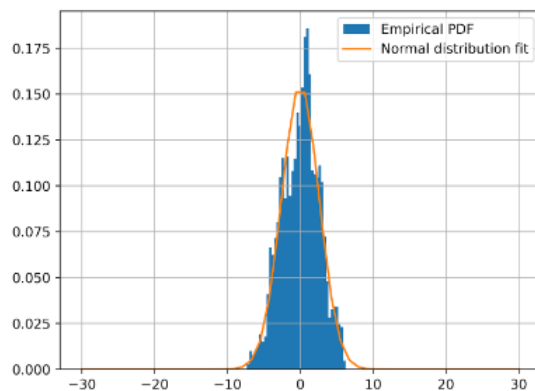
5.3 Spojení dílčích proložení

| | |
|------------|----------|
| σ | 2.6 [dB] |
| Mean Error | 2.1 [dB] |

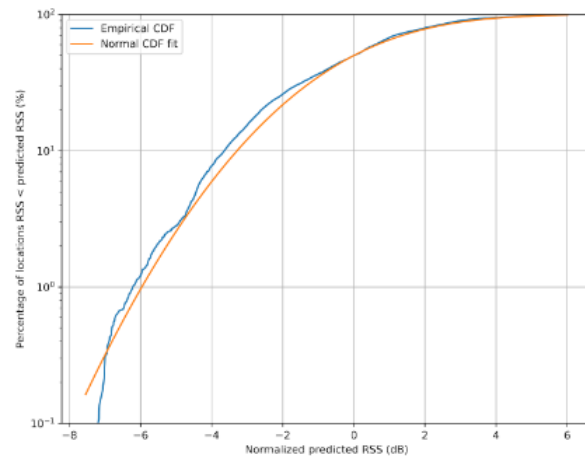
Tabulka 4: Terronská - Spojení dílčích proložení



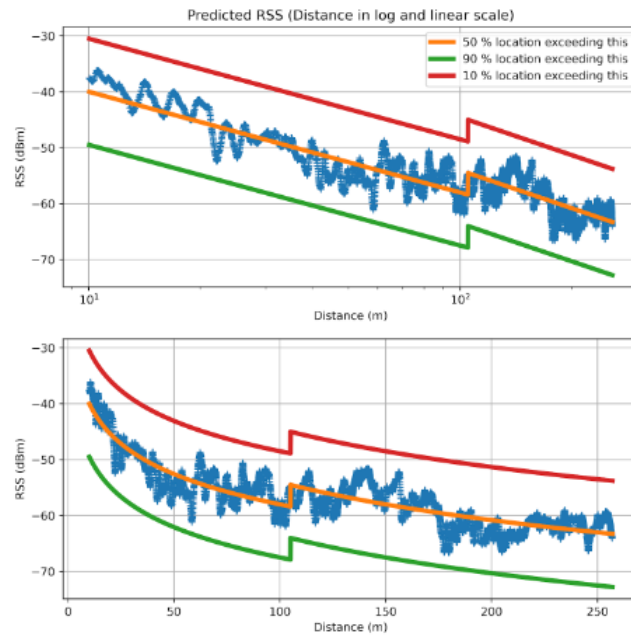
Obrázek 15: Terronská - útlum v závislosti na vzdálenosti antén na intervalu od 10 do 257 m a výsledný empirický model



Obrázek 16: Terronská - Rozložení pravděpodobnosti po proložení spojeným empirickým modelem



Obrázek 17: Terronská - Kumulativní distribuční funkce po proložení spojeným empirickým modelem



Obrázek 18: Terronská - RSS po proložení spojeným empirickým modelem

5.4 Terronská - Shrnutí výsledků

| — | 10 až 105 m | 105 až 257 m | Spojené proložení |
|---------------|-------------|--------------|-------------------|
| $L_1[dB]$ | 42 | 28.9 | — |
| n | 1.8 | 2.3 | — |
| stdev [dB] | 2.9 | 2.5 | 2.6 |
| Mean err [dB] | 2.1 | 2.1 | 2.1 |

Tabulka 5: Terronská - Shrnutí výsledků

6 Úniky způsobené vícecestným šířením

Cílem druhé části měření bylo vytvoření statistiky úniků způsobených vícecestným šířením. Pro tuto statistiku jsme provedli celkem tři měření pro tři různé scénáře:

- nezastíněné měření (S přímou viditelností)
- dynamicky zastíněné měření fluktuacemi překážek
- trvale zastíněné měření

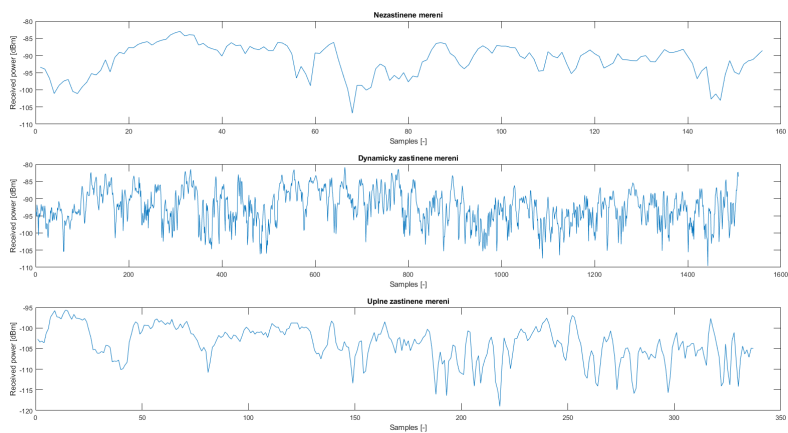
Pro tato měření jsme se rozhodli využít prostoru před vchodem do Technické menzy na ulici Jugoslávských partyzánů. Jak je vidět z naměřených průběhů, nebyla to zcela dobrá volba lokality pro případ přímé viditelnosti. Toto měření jsme dokonce zopakovali několikrát a následně jsme pro zpracování vybrali nejdelší úsek jednoho z měření, během kterého nám mezi anténami nikdo neprošel.



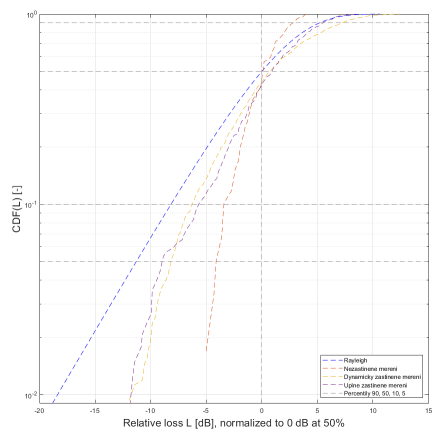
Obrázek 19: Statický vysílač - Technická menza

| — | Přímá viditelnost | Dynamické zastínění | Úplné zastínění |
|---------------|-------------------|---------------------|-----------------|
| Minimum [dBm] | -95,3 | -109,6 | -119 |
| Maximum [dBm] | -86,3 | -86,3 | -95,7 |
| Medián [dBm] | -90,1 | -90,1 | -103,3 |

Tabulka 6: Vícecestné šíření



Obrázek 20: Vícecestné šíření - signály



Obrázek 21: Vícecestné šíření - Rayleigh

7 Závěr

V tomto projektu bylo cílem změřit charakteristiky mobilního spoje v městské zástavbě a proložit je vhodným modelem. Dále pak změřit průběh signálu v případě vícecestného šíření.

Měření probíhalo v okolí kampusu Dejvice, Konkrétně v ulici Jugoslávských partyzánů a Terronské. V případě empirického modelu jsme předpokládali dvoupaprskový model nad rovinnou zemí, nicméně výsledné n bylo nižší, než očekávané 2. Tento rozdíl připisujeme fasádě domů, která změnila geometrii měřeného úseku a vhodnější by bylo předpokládat model 3 paprskový.

Pro měření měření úniků způsobených vícecestným šířením byla zvolena opět ulice Jugoslávských partyzánů, konkrétně před vchodem do Technické menzy. Tato lokalita se zdála jako vhodná volba, neboť jsme předpokládali, že se nám jednoduše podaří navodit v různých časech podmínky spojení na přímou viditelnost, dynamického zastínění i zastínění úplného. Bohužel, jak je vidět z výsledků, tento předpoklad se zcela nenaplnil. Měření na přímou viditelnost se přes několikanásobné měření navodit nepodařilo, neboť zrovna v čas měření byla ulice v okolí Technické menzy příliš vytížena provozem kolemjdoucích, což je vidět i na obrázku 21, kde dané měření nepředstavuje příliš volný kanál. Krom této chyby jsou mírně zkreslené i výsledky pro obě zastíněná měření vlivem odrazů od fasád domů, což se opět promítlo do výsledného grafu. Přes tyto nedostatky se nám podařilo data korektně zpracovat a dosáhnout alespoň rámcově výsledku odpovídajícího očekáváním z teorie.