



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNologiÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

ŠÍŘENÍ SIGNÁLŮ MOBILNÍCH KOMUNIKAČNÍCH SYSTÉMŮ

SIGNAL PROPAGATION IN MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

PAVEL JULÍNEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. LUKÁŠ KLOZAR

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Pavel Julínek
Ročník: 3

ID: 136531
Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Šíření signálů mobilních komunikačních systémů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s modely šíření signálů mobilních komunikací. Zaměřte se na modely používané pro pokročilé systémy (UMTS, WiMAX, LTE...). Prostudujte charakteristiku šíření vně i uvnitř budov.

Simulujte šíření signálu pro různá prostředí a testujte vybrané modely. Porovnejte vlastnosti jednotlivých modelů podle prostředí šíření „indoor“ a „outdoor“.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ČERNOHORSKÝ, D., NOVÁČEK, Z. Navrhování radiových spojů. Skriptum. Brno: VUT v Brně, 1992.

[2] HATA, M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1980, vol. VT-29, no. 3, p.317-325.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 31.5.2013

Vedoucí práce: Ing. Lukáš Klozar

Konzultanti bakalářské práce:

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato práce popisuje základní princip funkce mobilních komunikačních systémů. Blíže jsou zde popsány systémy GSM, UMTS. Práce se zabývá zejména problematikou ztrát při šíření signálu, které nastávají mezi vysílačem a přijímačem. Popsány jsou situace, které mohou nastat při šíření signálu v různých prostředích. Dále jsou zde také uvedeny modely pro predikci ztrát šířením v prostředí indoor, outdoor, které jsou popsány a vysvětleny. Součástí této práce je také simulační program s grafickým uživatelským rozhraním, který podle vybraného modelu a vstupních parametrů vypočítá a graficky zobrazí hodnoty ztrát šířením.

KLÍČOVÁ SLOVA

mnohocestné šíření signálu, modely šíření signálu indoor, modely šíření signálu outdoor, únik, ztráty šířením

ABSTRACT

The aim of this thesis is to describe the basic principles and function of signal propagation in mobile communication systems. Closer look is taken at GSM and UMTS communication systems. The thesis deals especially with the problem of path losses, which occurs between transmitter and receiver. Possible propagation scenarios for cellular network are theoretically described. Also the propagation models for outdoor and indoor path loss prediction are described and simulated. The developed program estimates path loss and graphically represents the results of simulation for various model parameters, environments and scenarios.

KEYWORDS

fading, indoor propagation models, multipath, outdoor propagation models, path loss

JULÍNEK, P. *Šíření signálů mobilních komunikačních systémů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 59 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Lukáš Klozar.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Šíření signálů mobilních komunikačních systémů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 31. května 2013

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Klozarovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 31. května 2013

.....

(podpis autora)

OBSAH

Seznam obrázků	viii
Seznam tabulek	x
Úvod	1
1 MOBILNÍ KOMUNIKAČNÍ SYSTÉMY	2
1.1 Vývoj a rozdělení.....	2
1.2 GSM.....	2
1.2.1 Základní popis.....	2
1.2.2 Systém GPRS.....	5
1.2.3 Systém EDGE	5
1.3 UMTS	6
1.3.1 Základní popis.....	6
1.3.2 HSUPA	7
1.3.3 HSDPA	7
1.3.4 HSPA+	8
2 Mechanizmy šíření vln	8
2.1 Šíření vln v zástavbě	10
2.2 Fading (únik).....	12
2.2.1 Slow fading (pomalé úniky)	12
2.2.2 Fast fading (rychlé úniky).....	13
2.3 Modely přenosových kanálů.....	13
2.3.1 Gaussův kanál	13
2.3.2 Riceův kanál	13
2.3.3 Rayleighův kanál	14
2.3.4 Dopplerův posuv	15
3 Modely šíření signálu	16
3.1 Modely šíření signálu pro indoor.....	16
3.1.1 One-slope model	16
3.1.2 Multi-Wall model	17

3.2	Modely šíření signálu pro outdoor	19
3.2.1	Hatův model.....	19
3.2.2	Multislope	20
3.3	Modely dle doporučení ITU-R M.1225.....	21
3.3.1	Pedestrian.....	21
3.3.2	Vehicular.....	22
4	Simulace šíření signálu v prostředí Matlab	22
4.1	Uživatelské prostředí v programu Matlab	22
4.2	Indoor modely zpracované v prostředí Matlab	24
4.2.1	One-slope	24
4.2.2	Pedestrian.....	26
4.3	Obecné rozložení útlumu pro indoor prostředí	26
4.4	Srovnání indoor modelů.....	29
4.5	Outdoor modely zpracované v prostředí Matlab	29
4.5.1	COST231 Hata.....	29
4.5.2	Multislope	33
4.5.3	Pedestrian.....	37
4.5.4	Vehicular.....	40
4.6	Srovnání outdoor modelů.....	43
5	Simulace na CD	44
5.1	Obsah CD.....	44
5.2	Popis souborů v adresáři Modely šíření.....	44
6	Závěr	45
	Literatura	46
	Seznam symbolů, veličin a zkratek	48

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1:	Struktura systému GSM (převzato z [3])	4
Obr. 1.2:	Struktura systému UMTS (převzato z [1]).....	7
Obr. 2.1:	Mnohacestné šíření vln (převzato z [9])	10
Obr. 2.2:	Šíření vln v makrobuňkách (převzato z [8])	10
Obr. 2.3:	Šíření vln v mikrobuňce pomocí odrazů (převzato z [8]).....	11
Obr. 2.4:	Grafické rozdělení buněk (převzato z [8])	12
Obr. 2.5:	Přijímaný výkon signálu s Dopplerovým posunem 10 Hz (převzato z [12])	13
Obr. 2.6:	Přenosové kanály (převzato z [13])	14
Obr. 2.7:	Znázornění Dopplerova posunu (převzato z [14])	15
Obr. 3.1:	Příklad pokrytí pikobuňky One-slope modelem (převzato z [8])	17
Obr. 3.2:	Plošné rozložení výkonové úrovně Multi-Wall modelu (převzato z [8])	18
Obr. 3.3:	Závislost ztrát šířením na vzdálenosti pro Multislope (převzato z [17])	21
Obr. 4.1:	Dialogové okno po spuštění a vybrání modelu	23
Obr. 4.2:	Dialogové okno pro nastavení parametrů BTS	23
Obr. 4.3:	Dialogové okno pro obecné rozložení útlumu indoor prostředí	24
Obr. 4.4:	Nastavené parametry One-slope modelu (průchod více podlažími).....	25
Obr. 4.5:	Nastavené parametry One-slope modelu (otevřené prostory)	25
Obr. 4.6:	Nastavené parametry modelu Pedestrian (indoor model)	26
Obr. 4.7:	Hodnota útlumu pro indoor prostředí (nejnižší útlum zdí)	27
Obr. 4.8:	Hodnota útlumu pro indoor prostředí s fadingem (nejnižší útlum zdí)	27
Obr. 4.9:	Hodnota útlumu pro indoor prostředí (nejvyšší útlumu zdí)	28
Obr. 4.10:	Hodnota útlumu pro indoor prostředí s fadingem (nejvyšší útlum zdí).....	28
Obr. 4.11:	Grafické prostředí pro nastavení COST231 Hata modelu	30
Obr. 4.12:	Útlum modelu COST231 Hata pro Suburban (nejnižší výška antén)	30
Obr. 4.13:	Útlum modelu COST231 Hata pro Urban (nejnižší výška antén).....	31
Obr. 4.14:	Útlum modelu COST231 Hata pro Suburban (nejvyšší výška antén).....	31
Obr. 4.15:	Útlum modelu COST231 Hata pro Suburban (nejvyšší výška antén) s fadingem	32
Obr. 4.16:	Útlum modelu COST231 Hata pro Urban (nejvyšší výška antén)	32

Obr. 4.17: Útlum modelu COST231 Hata pro Urban (nejvyšší výška antén) s fadingem	33
Obr. 4.18: Grafické prostředí pro nastavení Multislope modelu (1)	34
Obr. 4.19: Grafické prostředí pro nastavení Multislope modelu (2)	34
Obr. 4.20: Grafické znázornění útlumu modelu Multislope pro Suburban (1).....	35
Obr. 4.21: Grafické znázornění útlumu modelu Multislope pro Suburban s fadingem (1)	36
Obr. 4.22: Grafické znázornění útlumu modelu Multislope pro Suburban (2).....	36
Obr. 4.23: Grafické znázornění útlumu modelu Multislope pro Suburban s fadingem (2)	37
Obr. 4.24: Grafické prostředí pro nastavení modelu Pedestrian	38
Obr. 4.25: Grafické znázornění útlumu modelu Pedestrian pro Suburban	38
Obr. 4.26: Grafické znázornění útlumu modelu Pedestrian pro Suburban s fadingem.	39
Obr. 4.27: Grafické znázornění útlumu modelu Pedestrian pro Urban.....	39
Obr. 4.28: Grafické znázornění útlumu modelu Pedestrian pro Urban s fadingem	40
Obr. 4.29: Grafické prostředí pro nastavení modelu Vehicular	41
Obr. 4.30: Grafické znázornění útlumu modelu Vehicular pro Suburban	41
Obr. 4.31: Grafické znázornění útlumu modelu Vehicular pro Suburban s fadingem..	42
Obr. 4.32: Grafické znázornění útlumu modelu Vehicular pro Urban.....	42
Obr. 4.33: Grafické znázornění útlumu modelu Vehicular pro Urban s fadingem	43

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1:	Přehled kmitočtových pásem GSM [1].....	3
Tab. 1.2:	Výkonové úrovně GSM [2]	4
Tab. 1.3:	Výkonové úrovně pro mikrobuňky a pikobuňky [2]	4
Tab. 1.4:	Kódovací schémata GPRS [1]	5
Tab. 1.5:	Modulační a kmitočtová schémata EDGE [1]	5
Tab. 1.6:	Frekvenční pásma systému UMTS [2]	6
Tab. 2.1:	Rozdělení rádiového spektra dle ITU [1].....	8
Tab. 2.2:	Rozdělení typu buněk podle poloměru buňky [10].....	11
Tab. 3.1:	Parametry pro One-slope model [8].....	16
Tab. 3.2:	Průměrné ztráty signálu způsobené průchodem přes daný materiál [14]	18
Tab. 3.3:	Spádové koeficienty pro Multislope [14]	20
Tab. 5.1:	Seznam souborů v adresáři Modely šíření	44

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá šířením signálů mobilních komunikačních systémů.

V první kapitole je nejprve uveden stručný vývoj mobilních komunikačních systémů. Následně jsou popsány systémy třetí generace GSM, UMTS.

V druhé kapitole jsou popsány druhy rádiových vln a jejich rozdělení. Dále je zde také vysvětleno šíření rádiových vln v zástavbě a rozdělení buněk systému mobilních komunikací, podle poloměru buňky a jejího využití. Práce přibližuje problematiku, poklesu úrovně signálu vlivem šíření v prostoru a faktory, kterými je signál ovlivněn. Podle způsobu šíření signálu jsou zde popsány jednotlivé přenosové kanály. Na závěr této kapitoly je vysvětlen Dopplerův kmitočtový posuv.

Třetí kapitola se zabývá modely šíření signálu pro prostředí indoor, outdoor a vysvětluje, co ovlivňuje ztráty šířením v tomto prostředí. U jednotlivých modelů jsou uvedeny podmínky správného efektivního fungování daného modelu.

Čtvrtá kapitola je věnována programu, který byl vytvořen v prostředí Matlab. Program obsahuje uživatelské prostředí, pomocí něhož můžeme modelovat ztráty šířením podle vybraného modelu šíření a zadaných vstupních parametrů. Rovněž obsahuje grafický výstup jak pro indoor, tak outdoor prostředí, kde program simuluje rozložení útlumu pro jednotlivé modely a nastavené parametry a uvádí jejich konkrétní výsledky.

Pátá kapitola popisuje obsah CD nosiče a popisuje význam jednotlivých složek a souborů umístěném na tomto kompaktním disku.

1 MOBILNÍ KOMUNIKAČNÍ SYSTÉMY

1.1 Vývoj a rozdělení

Jednadvacáté století je poznamenáno obrovským rozvojem radiokomunikačních sítí přinášejících uživatelům celou řadu služeb. Nejedná se jen o síť pevné, ale zejména mobilní, které od doby zavedení po současnost prošly prudkým vývojem.

Na počátku to byly analogové systémy 1. generace, následovaly digitální systémy 2. generace – a to v posledních letech 2. tisíciletí. Po té přichází dokonalejší systémy 2,5 generace, které jsou překonány systémy 3 G - zavádí se v současnosti. V mezinárodním měřítku se označují jako IMT-2000, byly vyrobeny podle požadavku Mezinárodní telekomunikační unie ITU (International Mobile Telecommunication for the Year 2000). Evropské systémy 3G mají označení UMTS. Nyní jsou již testovány systémy 4G. Vývoj jednotlivých řad se projevil zejména ve zvýšení rychlosti přenosu signálu – na počátku se rychlost šíření uváděla v kbit/s, nyní jsou jednotkou Mbit/s, u zmíněné 4. generace dokonce desítky Mbit/s. [1]

1.2 GSM

Systém GSM (Global System for Mobile Communications) se začal vyvíjet začátkem 80. let minulého století společnostmi Nordic Telecom. V roce 1990 bylo vydáno doporučení GSM Phase 1 společností ETSI (European Telecommunication Standards Institute) a o dva roky později došlo k prvnímu spuštění sítě GSM ve Finsku. V roce 1996 byl zahájen provoz systému GSM pro ČR. Původním záměrem bylo navrhnout tento systém pouze pro přenos hlasu, později byl však podle doporučení GSM Phase 2 doplněn o datový přenos. Následně do tohoto systému byly přidány standardy GPRS, HSCSD, EDGE. Systém GSM využívá fázovou modulaci GMSK.

1.2.1 Základní popis

GSM využívá kombinaci mnohonásobného přístupu s časovým (TDMA) a frekvenčním (FDMA) dělením. Princip mnohonásobného přístupu FDMA spočívá v tom, že každý účastník dostane přidělený jiný radiový kanál. U TDMA využívá více účastníků jeden kanál, ale každý z nich dostane jen krátký interval z TDMA rámce. Tento rámec se neustále opakuje.

Používá se také frekvenční duplex FDD, což znamená, že je přidělen jiný frekvenční rozsah jak pro downlink, tak uplink. O downlinku mluvíme, pokud mobilní stanice přijímá informace ze základnové stanice, přijímá-li základnová stanice data od mobilní stanice, jedná se o uplink.

Rozlišujeme několik druhů tohoto komunikačního systému, z nichž všechny jsou však odvozeny od primárního systému P-GSM neboli GSM900, který využívá frekvenční pásmo od 890 MHz do 960 MHz, Velikost rozteče duplexního páru je 45 MHz a lze jej vypočítat ze vztahu dle [2]:

$$f_{C_{DL}} - f_{C_{UL}} = 45\text{MHz}, \quad (1.1)$$

kde $f_{C_{DL}}$ je frekvence přenosového kanálu pro downlink, $f_{C_{UL}}$ je frekvence přenosového kanálu pro uplink

Pásmo 890 MHz do 960 MHz je rozděleno na část pro uplink a část pro downlink. Toto rozdělení kanálů je uvedeno níže podle [2], kde n představuje číslo rádiového kanálu (ARFCN).

- uplink

$$890 \div 915\text{MHz}, f_{C_{UL}} = 890 + 0,2n \quad n \in (1...124) \quad (1.2)$$

- downlink

$$935 \div 960\text{MHz}, f_{C_{DL}} = 935 + 0,2n \quad n \in (1...124) \quad (1.3)$$

Postupně bylo P-GSM rozšiřováno a vznikly systémy E-GSM, GSM 1800, GSM 1900. Jejich vlastnosti jsou přehledně spolu s P-GSM uvedeny v Tab. 1.1.

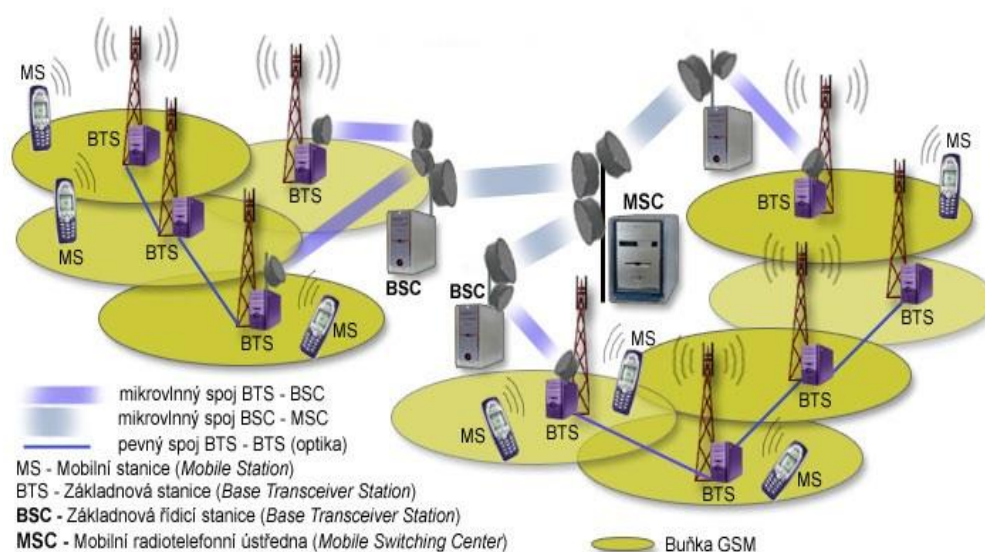
Tab. 1.1: Přehled kmitočtových pásem GSM [1]

Název pásma	Rozteč duplexního páru [MHz]	Uplink [MHz]	Downlink [MHz]	ARFCN
P-GSM	45	890 ÷ 915	935 ÷ 960	1...124
E-GSM	45	880 ÷ 890	925 ÷ 935	975...1024
GSM 1800	95	1710 ÷ 1785	1805 ÷ 1880	512...885
GSM 1900	80	1850 ÷ 1910	1930 ÷ 1990	512...810

Systém GSM využívá buňkovou strukturu. Jednotlivé buňky jsou pokryty signálem ze základnových stanic (BTS), které jsou řízeny základnovou řídicí stanicí (BSC). Všechny BSC jsou přes mikrovlnný spoj připojeny k mobilní radiotelefonní ústředně (MSC). Pro pokrytí velké plochy používá operátor několik radiotelefonních ústředen. Strukturu systému GSM je možné vidět na Obr 1.1. Pokud se pohybujeme mezi buňkami, vždy jsme přepnuti na danou BTS, která buňku pokrývá signálem. Tento proces se nazývá handover.

Podle toho, s jakými výkonovými úrovněmi pracuje mobilní stanice (MS) a základnová stanice (BTS), rozlišujeme několik výkonových tříd, které jsou blíže uvedeny v Tab. 1.2.

Nejmenší hodnota vysílacího výkonu MS je 20 mW. V doporučení GSM Phase 2 byly také blíže specifikovány výkonové úrovně BTS pro mikrobeuňky a pikobeuňky, které nalezneme v Tab. 1.3. V tomto doporučení je také udávána minimální hodnota vysílacího výkonu MS, která je 2,5 mW [2].



Obr. 1.1: Struktura systému GSM (převzato z [3])

Tab. 1.2: Výkonové úrovně GSM [2]

Třída	Maximální výkon MS		Maximální výkon BTS	
	dBm	W	dBm	W
1	43	20	55	320
2	39	8	52	160
3	37	5	49	80
4	33	2	46	40
5	29	0,8	43	20
6	-	-	40	10
7	-	-	37	5
8	-	-	34	2,5

Tab. 1.3: Výkonové úrovně pro mikrobuňky a pikobuňky [2]

Třída	Maximální výkon BTS	
	dBm	W
M1	24	0,25
M2	19	0,08
M3	14	0,03

1.2.2 Systém GPRS

GPRS (General Packet Radio Service) rozšiřuje systém GSM o datové služby, které jsou založeny na paketovém přenosu. U tohoto systému více účastníků využívá přenosový kanál v jeden okamžik. Tento kanál je využíván uživatelem jen tehdy, pokud se přenáší data. Teoreticky můžeme u tohoto systému při využití 8 timeslotů dosáhnout přenosovou rychlost až 171,2 kbit/s [1]. O počtu timeslotů, které uživateli budou přiděleny, rozhoduje operátor.

Pro kódování rádiového signálu jsou využita kódovací schémata. Rozdělení kódových schémat je uvedeno v Tab. 1.4. Pokud je zvoleno kódovací schéma CS-1 je kódování signálu nejbezpečnější, ale přenosová rychlost je nejmenší. Naopak pokud je uvažováno kódovací schéma CS-4 je přenosová rychlost nejvyšší, ale kódování je nejméně bezpečné.

Tab. 1.4: Kódovací schémata GPRS [1]

Kódovací schéma	Přenosová rychlost pro 1 TS [kbit/s]	Uživatelská rychlost pro 1 TS [kbit/s]
CS-1	9,1	6,7
CS-2	13,4	10,0
CS-3	15,6	12,0
CS-4	21,4	16,7

1.2.3 Systém EDGE

Systém EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution) stejně jako GPRS rozšiřuje systém GSM o datové služby, které jsou založeny na principu datového přenosu. Teoretická hodnota přenosové rychlosti pro 8 timeslotů je 473,6 kbit/s. Jeden timeslot má tedy přenosovou rychlost 59,2 kbit/s [1]. O tom kolik uživatel dostane přidělených timeslotů rozhoduje operátor. Systém EDGE využívá spolu s fázovou modulací GMSK i modulaci označovanou jako osmistavové fázové klíčování 8PSK. Pro kódování přenosu se používají modulační a kódovací schémata (Tab. 1.5), která jsou zvolena podle poměru C/I

Tab. 1.5: Modulační a kmitočtová schémata EDGE [1]

Modulační a kódovací schémata	Přenosová rychlost pro 1 TS [kbit/s]	Modulace
MCS-1	8,8	GMSK
MCS-2	11,2	GMSK
MCS-3	14,8	GMSK
MCS-4	17,6	GMSK
MCS-5	22,4	8-PSK
MCS-6	29,6	8-PSK
MCS-7	44,8	8-PSK
MCS-8	54,4	8-PSK
MCS-9	59,2	8-PSK

1.3 UMTS

Systém UMTS (Universal Mobile Telecommunication Systém) je systémem, který využívá mnohonásobného přístupu s kódovým dělením (CDMA). Princip tohoto přístupu je v tom, že v jednom kanále může být připojeno více účastníků, ale každý účastník dostane přidělený jiný pseudonáhodný kód, který ve vysílači rozprostře vysílaný signál na širokopásmový signál. V přijímači je následně tento signál převeden na signál úzkopásmový.

Princip rozprostírání spektra spočívá v tom, že exkluzivně sčítáme uživatelská data s bitovou rychlostí a rozprostírací posloupností, která má široké spektrum a čipovou rychlost. Výsledný signál má stejně široké spektrum jako rozprostírací posloupnost [2].

1.3.1 Základní popis

Přenosová rychlost tohoto systému závisí na rychlosti pohybu přijímače, se zvyšující se rychlostí pohybu přenosová rychlost klesá. Pokud je mobilní stanice (přijímač) v klidu, je přenosová rychlost kolem 2Mbit/s [1]. Pokud se pohybuje velmi malou rychlostí (např. rychlostí chůze), bude přenosová rychlost nejméně 384 kbit/s.

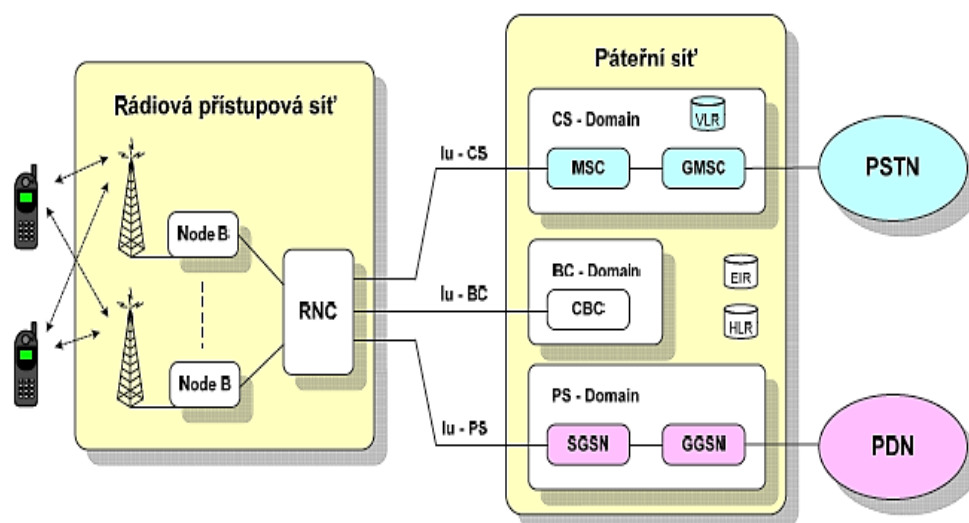
Systém UMTS používá frekvenční pásmo kolem 2,1 GHz pro downlink, pro uplink je frekvenční pásmo kolem 1,95 GHz. Šířka rádiového kanálu je 5 MHz [2]. Rozdělení frekvenčních pásem je uvedeno v Tab. 1.6.

Tab. 1.6: Frekvenční pásma systému UMTS [2]

Pásmo	Kmitočtový rozsah [MHz]	Šířka pásma [MHz]
-	1710 - 1885	175
1	1885 - 1990	15
2	1900 – 1920	20
3	1920 – 1980	60
4	1980 – 2010	30
5	2010 – 2025	15
6	2110 – 2170	60
7	2170 – 2200	30
-	2500 – 2690	190

Pásmo 1 je využito pro telefony DECT, pásmo 2 je vyhrazeno pro UMTS-TDD (časový duplex), pásmo 3 je pro UMTS-FDD (uplink) a pásmo 6 je pro UMTS-FDD (downlink), pásmo 4 a 7 je využito pro satelitní komunikaci. Pozemní rádiové sítě bývají označovány UTRA, UTRAN.

Základní strukturu systému UMTS tvoří rádiová přístupová síť a páteřní síť (Obr. 1.2). Rádiovou přístupovou síť tvoří základnová stanice (Node B) a rádiový kontrolér (RNC), který slouží k řízení základnových stanic.



Obr. 1.2: Struktura systému UMTS (převzato z [1])

1.3.2 HSUPA

Jedná se o vysokorychlostní přenos dat mezi uživatelem a mobilní základnovou stanicí (uplink). Teoreticky lze dosáhnout přenosovou rychlost 5,76 Mbit/s [4]. Tento nárůst přenosové rychlosti je způsoben rychlým plánováním spojení, mechanismem Hybrid ARQ a zmenšením odezvy. Kvůli zvýšení přenosové rychlosti musela být změněna struktura sítě, kdy základnová stanice musí plnit více funkcí (plánování spojení a HARQ). Šifrování a kontrolu přístupu dále zajišťuje RNC. V této technologii je přidán nový transportní kanál E-DCH, který obsahuje fyzické datové kanály (E-DPDCH). Počet těchto kanálů a činitel rozprostírání (spreading factor) závisí na přenosové rychlosti. HSUPA využívá soft handover, kdy je mobilní stanice připojena k více základnovým stanicím a stačí, aby poslaná data uživatelem byla přijata jednou stanicí.

1.3.3 HSDPA

Pomocí technologie HSDPA byla zvýšena přenosová rychlost směrem k mobilní stanici na 14,4 Mbit/s [5]. Abychom dosáhli této přenosové rychlosti, byly provedeny softwarové úpravy a muselo být vylepšeno hardwarové vybavení mobilní základnové stanice, RNC a mobilní stanice. Jako u HSUPA byly některé funkce přesunuty z RNC na základnovou stanici.

Je zde definován nový transportní kanál HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel), který má konstantní činitel rozprostírání $SF=16$, je tedy k dispozici 15 fyzických kanálů. Dále HSDPA používá mechanismus AMC (Adaptive Modulation and Coding), který ovlivňuje přenosovou rychlost a mění modulaci a použité kódovací schéma podle kvality kanálu CQI (Channel Quality Indication), kterou odesílá mobilní stanice. Každé 2 ms [5] o použitém kódovacím schématu a použité modulaci rozhoduje Node B.

Využívá se zde také mechanismu HARQ, který kombinuje metody FEC a ARQ. Tyto metody slouží k opravě přijímaných poškozených dat. HSDPA používá QPSK

modulaci (Quadrature Phase Shift Keying), která symbolem přenese 2 bity a 16-QAM modulaci (Quadrature Amplitude Modulation), která přenese 4bity na symbol.

1.3.4 HSPA+

HSPA+ využívá vlastností technologií HSUPA a HSDPA, které jsou na sobě nezávislé a mohou být implementovány do systému odděleně. Tato technologie používá účinnější modulace a techniky MIMO 2x2 (kde je použito několik vysílačích a přijímacích antén a signál se šíří různými cestami). V downlinku je použita modulace 64QAM, u které musí být splněna podmínka, aby S/N přenosového prostředí bylo minimálně 27 dB. Tato modulace se proto používá jen v blízkosti Node B, kde může být přenosová rychlost až 21,6 Mbit/s. V uplinku při použití modulace 16QAM lze dosáhnout přenosové rychlosti až 11,5 Mbit/s [19].

2 MECHANIZMY ŠÍŘENÍ VLN

Základní princip šíření elektromagnetických vln vychází z Maxwellových rovnic. Podrobněji jsou Maxwellovy rovnice popsány v [6]. Vlastnosti těchto vln určuje jejich frekvence (vlnová délka). Proto Mezinárodní telekomunikační unie ITU (International Telecommunication Union) rozdělila rádiové spektrum na 9 pásem. Toto rozdělení je uvedeno v Tab. 2.1.

Tato organizace také vydává doporučení ITU-R (International Telecommunication Union - Radiocommunication Sector). Ekvivalentní organizací k ITU je pro naši zemi Český telekomunikační úřad (ČTÚ).

Tab. 2.1: Rozdělení rádiového spektra dle ITU [1]

Číslo pásma N	Kmitočet	Délka vlny	Název pásma	Symboly	Český název
4	3 až 30 kHz	100 až 10 km	myriametrické	VLF	velmi dlouhé
5	30 až 300 kHz	10 až 1 km	kilometrické	LF	dlouhé
6	300 až 3000 kHz	1000 až 100 m	hektometrické	MF	střední
7	3 až 30 MHz	100 až 10 m	dekametrické	HF	krátké
8	30 až 300 MHz	10 až 1m	metrické	VHF	velmi krátké
9	300 až 3000 MHz	10 až 1 dm	decimetrické	UHF	ultra krátké
10	3 až 30 GHz	10 až 1cm	centimetrické	SHF	centimetrové
11	30 až 300 GHz	10 až 1 mm	milimetrické	EHF	milimetrové
12	300 až 3000 GHz	1 až 0,1 mm	decimilimetrické	-	-

Důležité je si uvědomit, že vlna je ovlivňována nejen zemským povrchem, ale i zemskou atmosférou. Podle toho, v jaké části atmosféry se vlna šíří, rozlišujeme tyto typy vln - troposférická, ionosférická, povrchová, prostorová. O tom, který typ vlny je dominantní, rozhoduje frekvence, druh a umístění antény atd.

- Troposférická vlna - využívá principu rozptylu vlny na nehomogenitách v troposféře. Spojení touto vlnou je možné v rozsahu od 100 MHz do několika GHz [7] na vzdálenost až 800 km. Při uvedeném spojení dochází k velkému útlumu.
- Ionosférickou vlna – spojení touto vlnou je možné provádět na kmitočtech od 2 MHz do 35 MHz [7]. Jedním odrazem od ionosféry můžeme realizovat spojení až do vzdálenosti 4000 km. V současné době komunikaci ionosférickou vlnou využívá např. mezinárodní rozhlas.
- Povrchová vlna – šíří se v blízkosti povrchu země, který ji po celou dobu šíření ovlivňuje. Přenos informací se provádí na nízkých kmitočtech až po jednotky MHz na vzdálenost až 200 km. V dnešní době se používá pro komunikaci s loděmi a pro vojenské účely.

V mobilních komunikacích se využívá vlna prostorová. Ta se skládá z přímé vlny (u které musí být zajištěná přímá viditelnost mezi přijímačem a vysílačem) a odražených vln, které mezi sebou interferují v místě přijímače. Pokud se vlny šíří popsaným způsobem, jedná se o mnohocestné šíření vln. U prostorové vlny se používá frekvence od 30 MHz do 5 GHz.

Pokud by měl být v daném místě určený výkon přijatý z vysílače (uvažuje se stav impedančního přizpůsobení), byl by použit následující vztah [8]:

$$P_p = P_v \cdot G_v \cdot G_p \cdot \left(\frac{\lambda}{4\pi \cdot d} \right)^2, \quad (2.1)$$

kde P_p je výkon přijatý přijímací anténou, P_v výkon na vstupu vysílací antény, G_v, G_p zisky antén, λ vlnová délka, d je vzdálenost od vysílací antény.

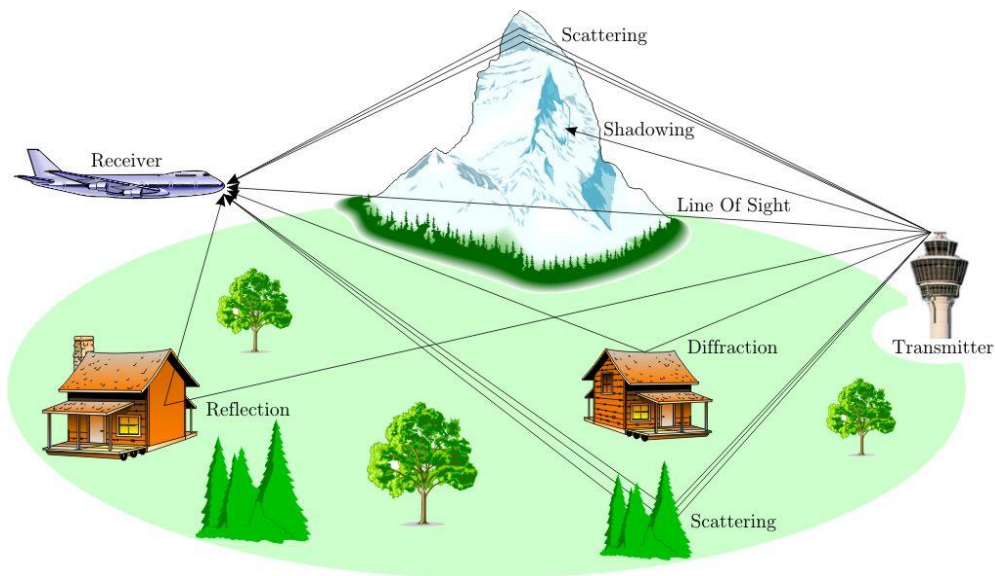
Mnohem častěji se však používá vyjádření v decibelech [8]:

$$P_p = P_v + G_v + G_p - FSL(d) - L, \quad (2.2)$$

kde L jsou ztráty šířením (dB) v daném prostředí, $FSL(d)$ jsou ztráty volným prostorem (dB) a jsou vyjádřeny vzorcem [8]:

$$FSL(d)_{dB} = 10 \log \left[\left(\frac{4\pi \cdot d}{\lambda} \right)^2 \right], \quad (2.3)$$

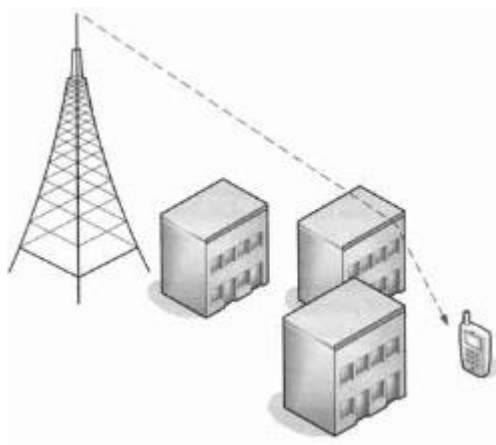
Pokud není šířící se signál utlumen terénem, překážkou popř. objektem, mluvíme o šíření signálu volným prostorem. Na Obr. 2.1 je zobrazeno mnohocestné šíření signálu (shadowing-zastínění přijímače, line of sight-přímá viditelnost, scattering-rozptyl, diffraction-difrakce, reflection-odraz) mezi vysílačem (Receiver) a přijímačem (Transmitter)



Obr. 2.1: Mnohacestné šíření vln (převzato z [9])

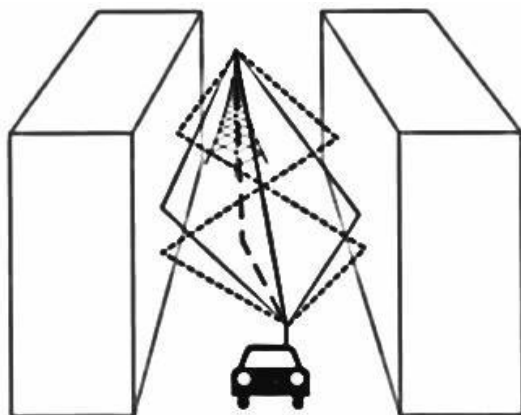
2.1 Šíření vln v zástavbě

Pokud se vlna šíří v zástavbě, je ovlivněna okolními objekty, které vlnu odráží, rozptylují popř. způsobují difrakci (rohy a hrany budov, střech). Jednotlivé mechanismy závisí na poloze vysílače a přijímače a také na daném prostředí, kterým se vlna šíří. V zástavbě se nejčastěji uplatňuje umístění základnové stanice (vysílače) nad úroveň okolních střech. Mezi mobilní stanicí a základnovou stanicí není přímá viditelnost a tak dominantním mechanismem šíření je difrakce a odraz od okolních objektů, které se nacházejí v blízkosti mobilní stanice. Tuto situaci můžeme vidět na Obr. 2.2. Zde se jedná o makrobuňku, která je používána tam, kde je malá koncentrace účastníků. Velikost buňky a pozice antény v makrobuňkách je uvedena v Tab. 2.2.



Obr. 2.2: Šíření vln v makrobuňkách (převzato z [8])

Může nastat také situace, kdy je základnová stanice umístěna pod úrovní okolních střech (Obr. 2.3), potom je dominantní šíření na přímou viditelnost a odrazy od okolních objektů. Tento případ je typický pro mikrobuňku. Typické využití mikrobuněk je v zastavěných oblastech. Více o parametrech této buňky je uvedeno v Tab. 2.2.



Obr. 2.3: Šíření vln v mikrobuňce pomocí odrazů (převzato z [8])

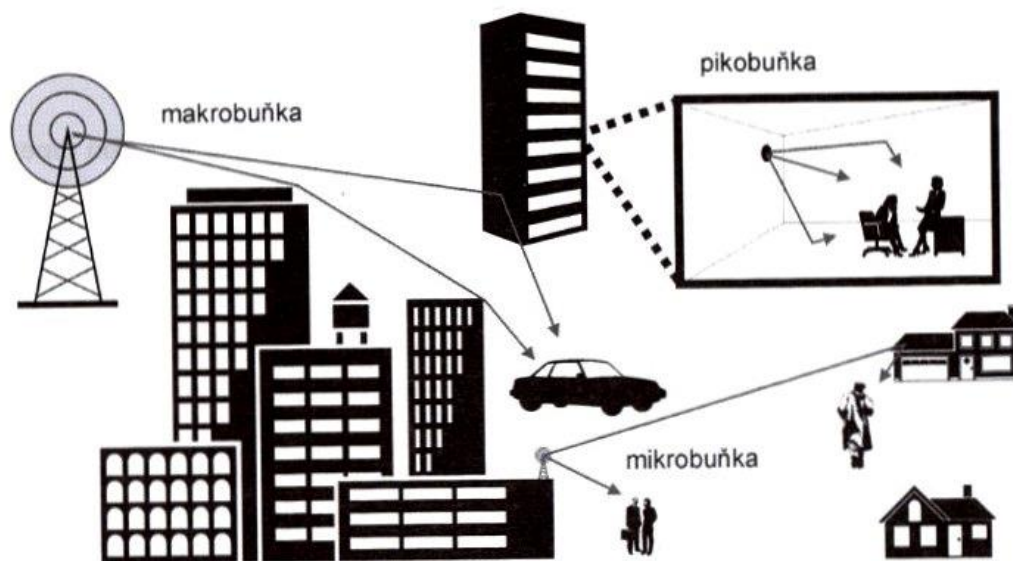
Další situace, která může nastat, je umístění vysílače a přijímače uvnitř budovy. V tomto případě mluvíme o šíření signálu v pikobuňkách. Podrobněji je tato problematika vysvětlena v kap. 3.1.

Podle rozlohy zástavby a umístění antény rozlišujeme tyto typy buněk (Tab. 2.2)

Tab. 2.2: Rozdělení typu buněk podle poloměru buňky [10]

Typ buňky	Poloměr buňky	Typická pozice antény základnové stanice
makrobuňka(macro-cell)	1km až 30 km	venkovní prostory; umístěna nad průměrnou výškou střech, výška všech budov pod úrovní antény základové stanice
malá makrobuňka(small marco-cell)	0,5 km až 3 km	venkovní prostory; umístěna nad průměrnou výškou střech, výška některých okolních budov je vyšší než anténa základové stanice
mikrobuňka (micro-cell)	do 1 km	venkovní prostory; umístěna pod průměrnou výškou střech
pikobuňka(pico-cell)	do 500 m	vnitřní nebo venkovní prostory (umístěna pod průměrnou výškou střech)
femtobuňka (femto-cell)	do 100 m	vnitřní prostory (obytné domy)

Graficky je toto rozdělení zobrazeno na Obr. 2.4.



Obr. 2.4: Grafické rozdělení buněk (převzato z [8])

Dále lze dělit buňky podle charakteru výpočtu (více uvedeno v [8]), ale tímto rozdělením se v této kapitole nebudeme zabývat.

2.2 Fading (únik)

Je jev, který popisuje pokles (únik) výkonové úrovně signálu, která je přijímána pohybující se mobilní stanicí. Tzn., že v rozdílných časech přijímáme odlišné úrovně vysílaného signálu.

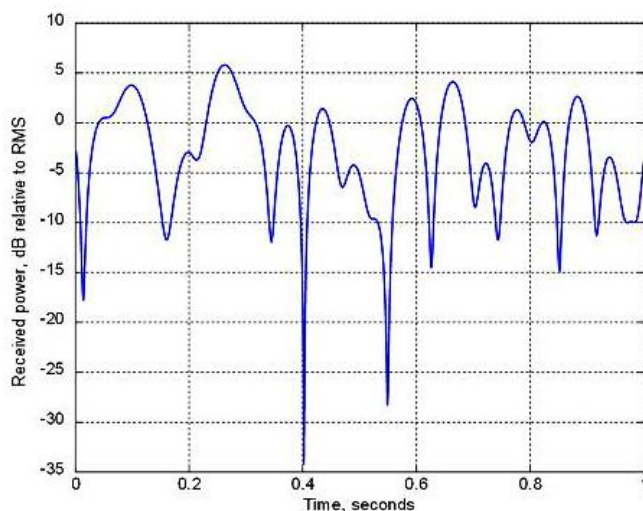
To, jakou úroveň signálu přijmeme, závisí na velikosti útlumu šíření daným prostředím. Tu tvoří: ztráty šířením, pomalé úniky, rychlé úniky. Ztráty šířením závisí na vzdálenosti a typu prostředí, kterým se signál šíří mezi vysílačem a přijímačem. Velikost těchto ztrát byla zjištěna z velkého počtu aproximací naměřených dat. Grafické znázornění ztrát je uvedeno v kapitole č. 4.2.1 Obr. 4.4. Pomalými a rychlými úniky se zabývá následující kapitola.

2.2.1 Slow fading (pomalé úniky)

Velikost pomalých úniků je ovlivňována typem prostředí, kterým se signál šíří. Městská zástavba, předměstí, kopcovitý terén, lidé. Toto jsou všechno faktory, které ovlivňují pomalý únik signálu. Pokles hodnoty přijímaného signálu vůči vysílanému může být až desítky dB, vždy záleží na konkrétní situaci. K pomalému úniku dochází tehdy, je-li přijímač zastíněn (nemá přímou viditelnost s vysílačem). Speciální případ pomalého úniku se nazývá shadowing. Jedná se o situaci, kdy je přijímač na krátký časový interval zastíněn určitým objektem.

2.2.2 Fast fading (rychlé úniky)

Jsou způsobeny Dopplerovým posunem a mnohacestným šířením vln, k němuž dochází odrazem vln od okolních objektů. Více je tato problematika popsána v kapitole č. 2. Tento typ úniku signálu má za následek rychlé a hluboké kolísání úrovně přijímaného signálu. Hodnota signálu se může měnit až o 30 dB [11]. Pokud je mobilní stanice zastíněna mluvíme o Rayleighův úniku. Jak může Rayleighův únik vypadat, je zobrazeno na Obr. 2.5. Nastane-li situace, že je mezi přijímačem a vysílačem kromě odrazů dominantní přímá viditelnost, jde o Riceův únik.



Obr. 2.5: Přijímaný výkon signálu s Dopplerovým posunem 10 Hz (převzato z [12])

2.3 Modely přenosových kanálů

2.3.1 Gaussův kanál

Nejúčelnějším případem je šíření signálu mezi vysílačem a přijímačem pouze přímou cestou, při níž nedochází k odrazu, tedy k úniku signálu. Tento případ řeší tzv. Gaussův kanál. Signál, který přijímáme, je utlumen a obsahuje určitou velikost šumu. Spektrální složení je totožné s aditivním bílým Gaussovským šumem (AWGN) generovaným přijímačem. Výkonová hodnota šumu je v celém spektru konstantní.

2.3.2 Riceův kanál

Řeší situaci, při níž dochází ke snížené kvalitě příjmu v důsledku mnohacestného šíření signálu, které vzniká odrazem signálů. Intenzita signálu kolísá, v závislosti na změně prostředí. Riceův kanál vychází z teorie Gaussova kanálu, který doplňuje odrazem signálů. Při mnohacestném šíření dochází ke kolísání úrovně signálu, což má za následek pomalý a rychlý únik. Brání-li šíření signálu překážka, dochází k pomalému úniku, rychlý únik je způsoben mnohacestným šířením vln. Pro vyrovnání vlivu odrazů je nutné zvýšit výkon vysílače. Lze aplikovat při odrazech signálu a přímé viditelnosti přijímače a vysílače.

Vliv Riceova kanálu vyjadřuje rovnice [13]:

$$y(t) = \frac{\rho_0 x(t) + \sum_{i=1}^{N_e} \rho_i e^{-j2\pi\theta_i} x(t - \tau_i)}{\sqrt{\sum_{i=0}^{N_e} \rho_i^2}}, \quad (2.4)$$

kde ρ_0 je útlum přímé cesty signálu, N_e udává počet odrazů, ρ_i útlum odražené cesty i , θ_i fázový posun způsobený cestou i a τ_i dobu zpoždění v cestě i .

Riceův faktor K udává poměr útlumu přímého signálu k součtu všech odražených signálů a matematicky jej lze vyjádřit [13]:

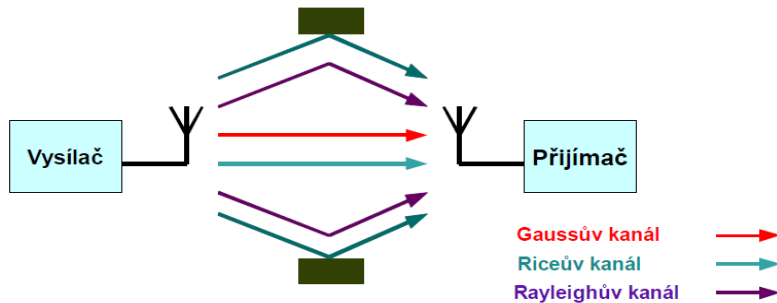
$$K = \frac{\rho_0^2}{\sum_{i=1}^{N_e} \rho_i^2}, \quad (2.5)$$

2.3.3 Rayleighův kanál

Představuje nejhorší podmínky pro příjem signálu. Šíření přímého signálu je potlačeno. Tento model zahrnuje pouze odražené signály, tzn. že není přímá viditelnost mezi vysílačem a přijímačem. U Rayleighova kanálu dochází pouze k rychlému úniku, který je způsoben mnohacestným šířením. Vliv Rayleighova kanálu je možno vyjádřit vzorcem [13]:

$$y(t) = \frac{\sum_{i=1}^{N_e} \rho_i e^{-j2\pi\theta_i} x(t - \tau_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_e} \rho_i^2}}, \quad (2.6)$$

Šíření signálu ve výše uvedených kanálech je graficky znázorněno na Obr. 2.6



Obr. 2.6: Přenosové kanály (převzato z [13])

2.3.4 Dopplerův posuv

Pokud se přijímač a vysílač pohybují, mění se frekvence přijímané vlny. Jestliže se přijímač a vysílač blíží k sobě, frekvence přijímané vlny se zvětšuje, pokud se navzájem vzdalují, frekvence se zmenšuje. Tento popsáný princip se nazývá Dopplerův posuv. Existuje několik různých možností rozmístění vysílače a přijímače. V mobilních komunikacích se nejčastěji využívá modelu, kdy se mobilní stanice (MS) pohybuje vzhledem k základnové stanici (BTS). Velikost frekvence Dopplerova posuvu lze vypočítat ze vzorce [14]:

$$f_d = \frac{v \cdot f}{c} \cdot \cos \theta, \quad (2.6)$$

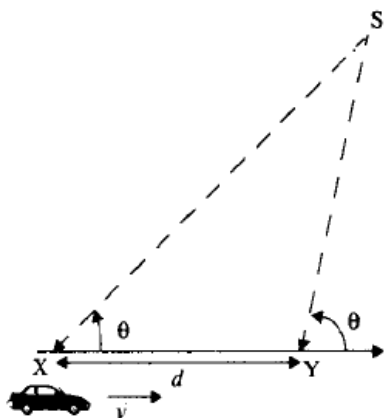
kde v je rychlost pohybu mobilní stanice (m/s), f je frekvence nosné vlny základové stanice (v Obr. 2.7 označeno jako S), c je rychlost světla, $\cos \theta$ se uvažuje v případě, pokud se mobilní stanice pohybuje např. mezi body X a Y (Obr. 2.7).

Když se přibližujeme k mobilní stanici, je celková frekvence [14]:

$$f_c = f + f_d, \quad (2.7)$$

Pokud se od mobilní stanice vzdalujeme, je celková frekvence rovna [14]:

$$f_c = f - f_d, \quad (2.8)$$



Obr. 2.7: Znázornění Dopplerova posuvu (převzato z [14])

3 MODELÝ ŠÍŘENÍ SIGNÁLU

3.1 Modely šíření signálu pro indoor

Při modelování pro prostředí indoor musí být zohledněno, jaký materiál byl použit na stavbu budovy, co tvoří vybavení budovy a z jakého materiálu bylo vyrobeno. Úroveň přijímaného signálu ovlivňuje rovněž pohyb osob, otevřené (zavřené) okno a dveře. Vzhledem k tomu, že v budovách nemusí být zaručena přímá viditelnost, výrazně se zde uplatňuje mnohocestné šíření signálu tzv. multipath. Negativní vliv na šíření může mít i posun přijímače nebo vysílače.

3.1.1 One-slope model

Jedná se o nejjednodušší model, pomocí něhož můžeme vypočítat ztráty šířením (path loss) v pikobuňkách. Používá se zejména kvůli jednoduchému a rychlému výpočtu. Hodnota ztrát šířením je v tomto případě funkcí vzdálenosti a je dána vzorcem [8]:

$$L(d) = L_1 + 10 \cdot n \cdot \log(d), \quad (3.1)$$

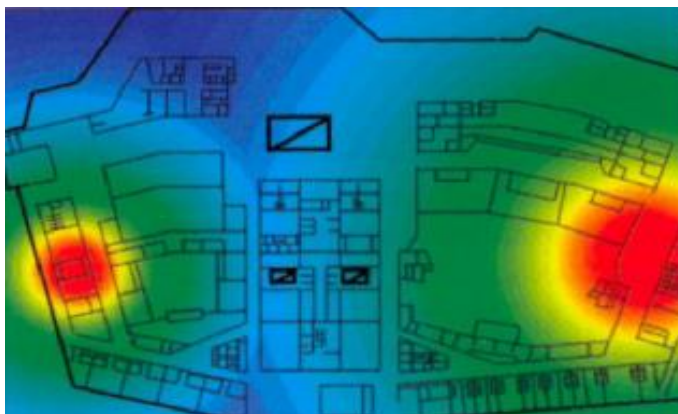
kde $L(d)$ udává hodnotu ztrát šířením (dB), d je vzdálenost (m) mezi základnovou stanicí a bodem pozorování ($d > 1\text{m}$), L_1 je referenční hodnota ztrát (dB) pro vzdálenost 1m, n je hodnota spádového koeficientu (path loss exponent), který udává strmost křivky.

Odchylka od skutečné hodnoty útlumu se pohybuje kolem 10 dB dle [8]. Referenční hodnotu ztrát a velikost spádového koeficientu lze pro kmitočet 1800 MHz odečíst z Tab. 3.1. Hodnoty těchto parametrů byly získány měřeními a následnou aproximací.

Protože se tento model příliš nezabývá členěním interiéru, může vypadat šíření signálu v pikobuňce jako na Obr. 3.1

Tab. 3.1: Parametry pro One-slope model [8]

Prostředí interiéru	L1 (dB)	n (-)
Hustě členité interiéry	33,3	4,0
v rámci jednoho podlaží	21,9	5,2
průchod jedním podlažím	44,9	5,4
průchod více podlažími		
Otevřené prostory	42,7	1,9
Velmi rozsáhlé prostory	37,5	2,0
Chodby	39,2	1,4



Obr. 3.1: Příklad pokrytí pikobuňky One-slope modelem (převzato z [8])

3.1.2 Multi-Wall model

Dalším modelem, který simuluje šíření signálu v pikobuňkách je Multi-Wall. Ten narozdíl od One-Slope modelu uvažuje rozložení interiéru. Odchylka od skutečné hodnoty útlumu se pohybuje kolem 5 dB [8]. Výpočet celkového útlumu je sice pracnější, ale dosahuje přesnějších výsledků. Ztráty šířením lze vypočítat ze vztahu [10]:

$$L(d) = 20 \cdot \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right) + \sum_{i=1}^I k_{wi} \cdot L_{wi} + k_f^{\left(\frac{k_f+2}{k_f+1} - b\right)} \cdot L_f, \quad (3.2)$$

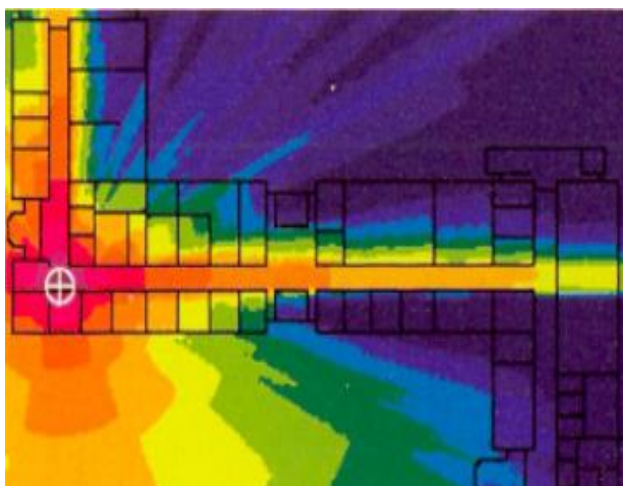
kde $L(d)$ vyjadřuje celkový útlum (dB), d vzdálenost (m), λ vlnová délka (m), k_{wi} počet příček typu i , které protíná spojnice vysílač-přijímač, L_{wi} činitel útlumu (dB) pro příčku typu i , k_f počet podlaží, které protíná spojnice vysílač-přijímač, I je počet příček, L_f činitel útlumu (dB) pro průchod podlažím, b konstanta nelinearity útlumu průchodem skrz více podlaží.

Pokud se signál šíří přes méně jak tři podlaží, můžeme u vztahu (3.2) vynechat exponent. V budovách rozlišujeme základní dělení typů příček na L_{w1} a L_{w2} . L_{w1} reprezentuje sádkartonové zdi, dřevotřísky a betonové zdi s tloušťkou menší než 10cm. L_{w2} tvoří nosné stěny, betonové (cihlové) zdi tlustší než 10 cm [10]. V Tab. 3.2 jsou uvedeny průměrné ztráty signálu, ke kterým dochází průchodem různými stavebními materiály objektů při daných frekvencích. Podrobnější přehled různých druhů materiálů je možno nalézt v [14].

Tab. 3.2: Průměrné ztráty signálu způsobené průchodem přes daný materiál [14]

Druh materiálu	Ztráty [dB]	Frekvence [MHz]
budova pouze z kovu	26	815
hliníkový obklad budovy	20,4	815
foliová izolace budovy	3,9	815
betonová zeď	13	1300
kovové schody	5	1300
nosník 40,6 – 50,8 cm	8-10	1300
kovové zásobovací regály 0,74 m ²	4-9	1300
prázdné lepenkové krabice	3-6	1300
stropní potrubí	1-8	1300
5 m regál naplněn velkými kusy kovu	20	1300
5m regál s papírem	2-4	1300
0,6 m ² železobetonový pilíř	12-14	1300
překližka 1,9 cm (1 příčka)	1	9600
mokrý překližka 1,9 cm (1 příčka)	19	9600

Šíření signálu, které znázorňuje tento model, si lze prohlédnout na Obr. 3.2. Nevýhodou tohoto modelu je, že nedokáže správně modelovat vlnovodný efekt. Na Obr. 3.2 na první pohled patrné, že výkonová úroveň signálu za rohem na konci chodby je podhodnocena.



Obr. 3.2: Plošné rozložení výkonové úrovně Multi-Wall modelu (převzato z [8])

3.2 Modely šíření signálu pro outdoor

Šíření rádiových signálů mezi vysílačem a přijímačem je závislé na prostředí. Odlišně se signál šíří v městských zastavěných oblastech, v prostředí s překážkami v podobě nerovnosti terénu, jinak ve volném prostředí s tzv. optickou viditelností. Zde se signál šíří přímo, v případě překážek se kromě přímého šíření uplatňují i vzniklé odrazy. Dochází tedy k mnohacestnému šíření, které je příčinou úniku signálu. Únik se projeví kolísáním úrovně přijímaného signálu, které je způsobeno tím, že na přijímací anténu přicházejí signály s různým časovým zpožděním, různou amplitudou a rozdílnou fází. Právě kvůli fázovému posunu se vlny sčítají nebo odečítají a způsobují fluktuaci úrovně signálu.

3.2.1 Hatův model

Tento model se používá pro zjištění ztrát šířením v makrobuňkách a je odvozen od základního modelu. V následujícím textu se budeme zabývat základním Hatovým modelem, jehož výslednou hodnotu ztrát šíření můžeme určit ze vztahu (3.3). Uvedený vztah platí, pokud je $150 \text{ MHz} < f < 1500 \text{ MHz}$ [15].

$$L(d) = 69,55 + 26,26 \cdot \log(f) - 13,82 \cdot \log(h_b) - \alpha(h_m) + (44,9 - 6,55 \log(h_b)) \cdot \log(R) \quad (3.3)$$

Pro rozšířený Hatův model ($1500 \text{ MHz} < f < 2000 \text{ MHz}$), který nese označení COST 231 Hata model, je hodnota ztrát dána vztahem [16]:

$$L(d) = 46,3 + 33,9 \cdot \log(f) - 13,82 \cdot \log(h_b) - \alpha(h_m) + (44,9 - 6,55 \log(h_b)) \cdot \log(R) + C_M \quad (3.3)$$

kde f je frekvence (MHz), h_b udává výšku pevné antény (m), h_m výška mobilní antény (m), R je vzdálenost (km), $\alpha(h_m)$ je korekční faktor pro h_m

$C_M = 0 \text{ dB}$ pro městskou zástavbu, předměstí

$C_M = 3 \text{ dB}$ hustou městskou zástavbu

Aby oba tyto vztahy platily, musí být splněny následující podmínky [15]:

$$1 \text{ km} < R < 20 \text{ km}$$

$$1 \text{ m} < h_m < 10 \text{ m}$$

$$30 \text{ m} < h_b < 200 \text{ m}$$

Aby se vypočtená hodnota útlumu co nejvíce přibližovala naměřené hodnotě, musí se správně zvolit korekční faktor $\alpha(h_m)$, který se mění podle typu prostředí (zástavby).

Pro předměstskou zástavbu [15]:

$$\alpha(h_m) = (1,1 \cdot \log(f) - 0,7) \cdot h_m - (1,56 \cdot \log(f) - 0,8) \quad (3.4)$$

Pro městskou zástavbu [15]:

$$\alpha(h_m) = 8,29 \cdot (\log(1,54 \cdot h_m))^2 - 1,1 \quad \text{pro } f < 200 \text{ MHz} \quad (3.5)$$

$$\alpha(h_m) = 3,2 \cdot (\log(11,75 \cdot h_m))^2 - 4,97 \quad \text{pro } f > 400 \text{ MHz} \quad (3.6)$$

3.2.2 Multislope

Jedná se o víceúrovňový útlumový model, který bere v úvahu jednotlivá prostředí, kterými signál projde až k přijímači. Hodnota spádového koeficientu n (Tab. 3.3) se mění podle toho, jakým způsobem signál prochází mezi jednotlivými prostředími.

Tab. 3.3: Spádové koeficienty pro Multislope [14]

Prostředí	n(-)
Free space (volný prostor)	1,5-2
Urban (městské)	2,7-3,5
Urban-shadowed (městské- hustá zástavba)	3-5
Indoor-line of sight (uvnitř-přímá viditelnost)	1,6-1,8
Indoor-obstructed (uvnitř-hustě členité)	4-6

Výsledná hodnota útlumu se dá zjistit z následujícího vztahu [17]:

$$L(d) = PL_{d_0} + 10 \cdot n_1 \cdot \log_{10} \left(\frac{h_1}{d_0} \right) + \sum_{i=2}^{n_{BP}} 10 \cdot n_i \cdot \log_{10} \left(\frac{h_i}{h_{i-1}} \right) + 10 \cdot n_{n_{BP}+1} \cdot \log_{10} \left(\frac{d}{h_{n_{BP}}} \right), \quad (3.7)$$

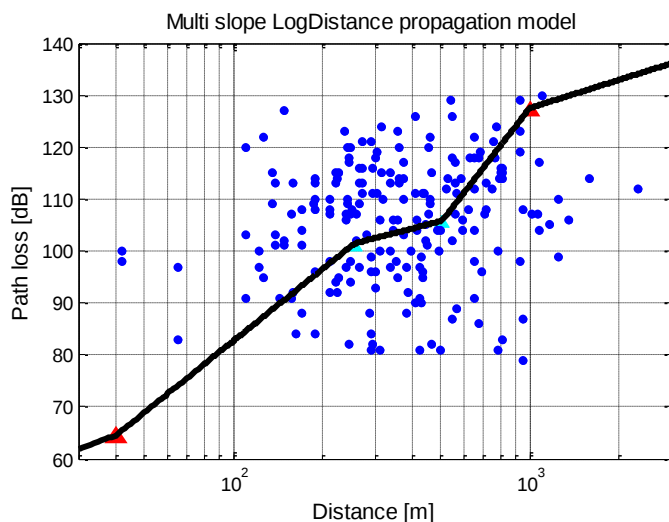
n_1 je hodnota spádového koeficientu pro volný prostor (free space), h_1 je vzdálenost prvního zlomového bodu od vysílače (m), d_0 referenční vzdálenost ($d_0 = 1$ m), suma ve vzorci udává součet ztrát mezi prvním a posledním zlomovým bodem (break point), n_{BP} udává celkový počet zlomových bodů, h_i vzdálenost i -tého zlomového bodu, d je vzdálenost od posledního zlomového bodu.

Z rovnice je patrné, že první člen ve vztahu (3.7) reprezentuje hodnotu útlumu ve volném prostoru a ten lze matematicky vyjádřit [17]:

$$PL_{d_0} = \left(\frac{4\pi \cdot d \cdot f}{c} \right), \quad (3.8)$$

kde d je referenční vzdálenost 1 m, f je frekvence signálu (MHz), c je rychlost světla.

Se změnou hodnoty spádového koeficientu se mění i strmost křivky, kterou můžeme vidět na Obr. 3.3. Zde se můžeme také všimnout rozmístění zlomových bodů (break point) a tvaru křivky, která byla sestrojena aproximací naměřených hodnot. Tento graf udává závislost útlumu prostředí (path loss) na vzdálenosti (distance). Jednotlivé pozice zlomových bodů (dále jen bp) jsou: bp0=[40 m; 64 dB], bp1=[253 m; 100 dB], bp2=[542 m; 104 dB], bp3=[1000 m; 127 dB].



Obr. 3.3: Závislost ztrát šířením na vzdálenosti pro Multislope (převzato z [17])

3.3 Modely dle doporučení ITU-R M.1225

3.3.1 Pedestrian

Model je platný pro nepřímou viditelnost. Buňky, které pokrývá signálem mobilní základnová stanice, jsou menších rozměrů. BTS se nacházejí venku, přijímače (chodci) se nacházejí na ulicích a uvnitř budov. Pro přímou viditelnost je hodnota ztrát šířením nepřímo úměrná R^{-2} vzdálenosti, do bodu Fresnelova zlomu. Za Fresnelovým zlomem je ztráta šířením nepřímo úměrná R^{-4} vzdálenosti, ale můžeme se setkat i s R^{-6} kvůli stromům a ostatním překážkám. Únik signálu se směrodatnou odchylkou je 10 dB pro venkovní prostředí a 12 dB uvnitř budov. Při penetraci budov činí únik signálu průměrně 12dB se standardní odchylkou 8dB [18]. Rayleighův únik je dán rychlostí chůze, ale je možný i rychlejší únik signálu kvůli odrazům od pohybujících se dopravních prostředků. Hodnotu ztrát šířením můžeme vypočítat z následujícího vztahu [18]:

$$L = 40 \cdot \log_{10}(R) + 30 \cdot \log_{10}(f) + 49, \quad (3.9)$$

kde R vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem (km) a f je frekvence.

3.3.2 Vehicular

Jedná se o model pro pohyblivé mobilní stanice a je aplikovatelný na situace v městských a příměstských oblastech, kde dochází k nepřímé viditelnosti a kde budovy mají téměř stejnou výšku. Je zde využita buňková struktura - větší buňky a vyšší přenesený výkon. U tohoto modelu je hodnota ztrát šířením nepřímo úměrná R^{-4} vzdálenosti. Směrodatná odchylka je 10dB pro městské a příměstské oblasti. V horských oblastech se pak ztráta šíření blíží R^{-2} [18]. Hodnota Rayleighova úniku je dána rychlostí dopravního prostředku. Vztah pro hodnotu ztrát šířením je tedy [18]:

$$L = 40 \cdot (1 - 4 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta h_b) \cdot \log_{10}(R) - 18 \cdot \log_{10}(\Delta h_b) + 21 \log_{10}(f) + 80, \quad (3.10)$$

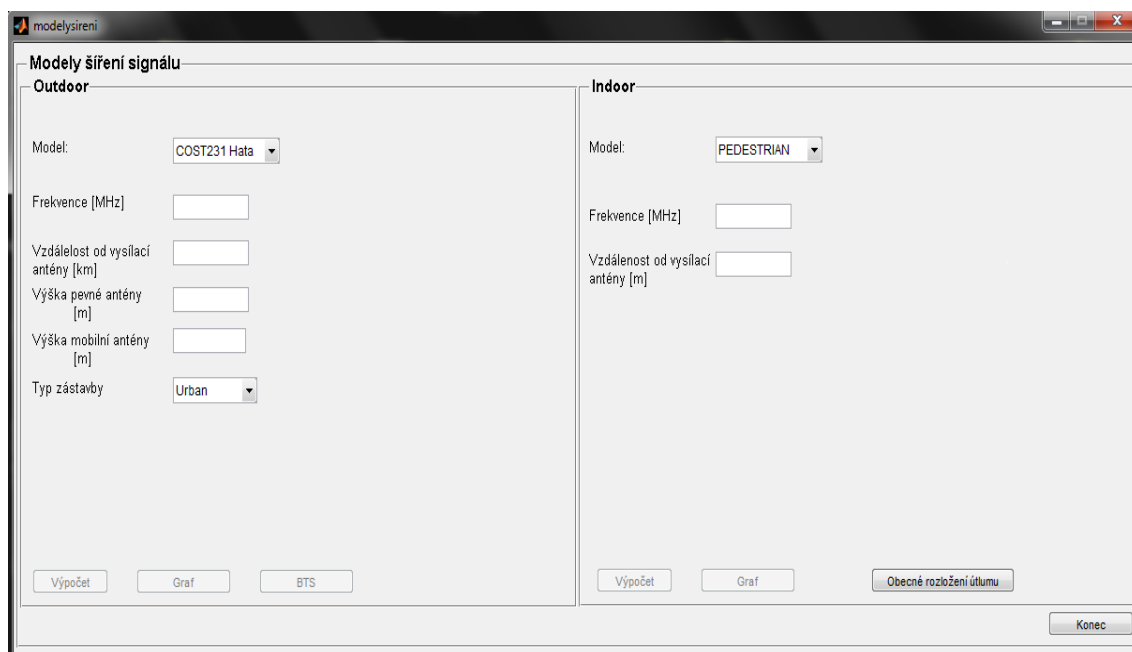
kde R vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem (km), f je frekvence, Δh_b výška základnové antény (m), která je měřená od průměrné výšky střech. Model je platný pokud Δh_b je v rozmezí od 0 do 50m.

4 SIMULACE ŠÍŘENÍ SIGNÁLU V PROSTŘEDÍ MATLAB

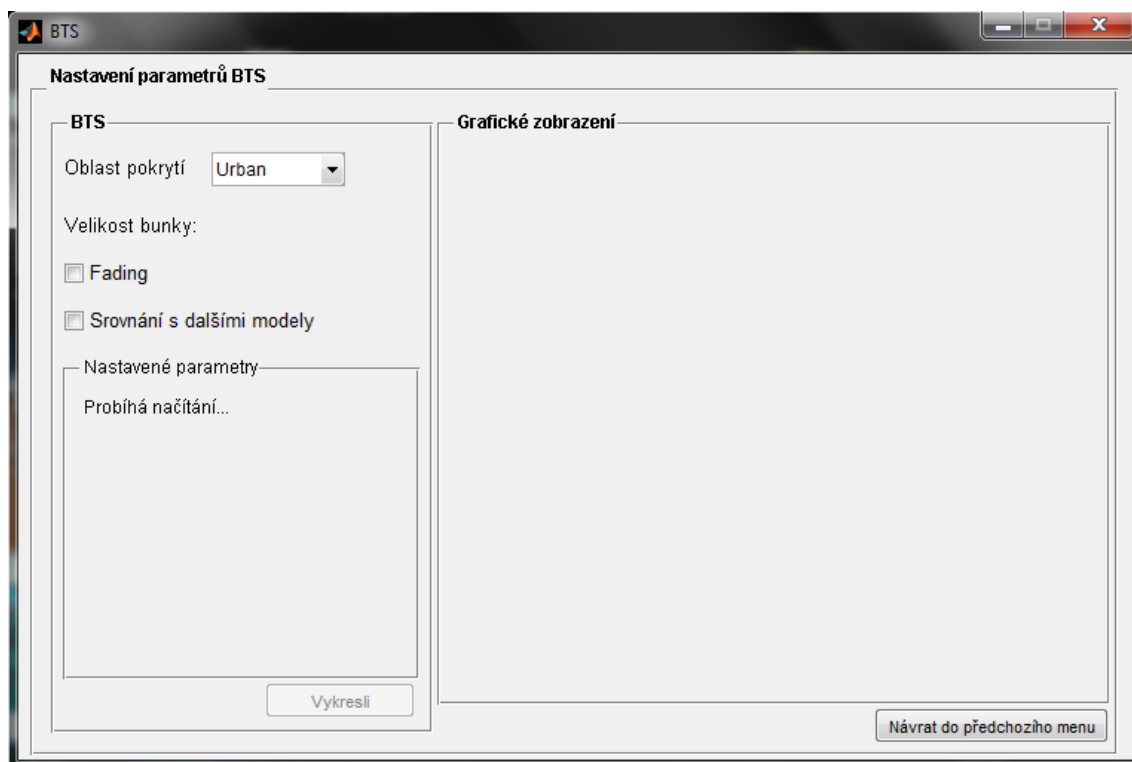
4.1 Uživatelské prostředí v programu Matlab

Spuštění programu se provádí pomocí souboru modelysireni.m. Z nabídky outdoor modelů lze vybrat COST231 Hata, Multislope, Pedestrian, Vehicular. U indoor modelů se nachází v nabídce model One-slope a Pedestrian. Dialogové okno po spuštění a vybrání modelu lze vidět na Obr. 4.1. U každého modelu zadáváme parametry specifické pro daný model. Po zadání parametrů tlačítkem **Výpočet** zobrazíme vypočtenou hodnotu útlumu v zadané vzdálenosti. Tlačítko **Graf** zobrazí graficky závislost útlumu na vzdálenosti.

U outdoor modelu je k dispozici i tlačítko **BTS**, které otevře dialogové okno pro nastavení parametrů BTS viz Obr. 4.2. Oblast pokrytí lze zvolit Urban (kde je poloměr buňky zvolen na 500 m) nebo Suburban (kde je poloměr buňky 1000 m). Můžeme také zvolit, zda má model uvažovat únik signálu, či nikoliv. K tomuto účelu je zde pole **Fading**. Při zaškrtnutí pole **Srovnání s dalšími modely** souhlasíme jednak s vykreslením grafického zobrazení do samostatného grafu, tak i do oblasti Grafické zobrazení. Pro vykreslení hodnoty útlumu podle nastavených parametrů slouží tlačítko **Vykresli**. Nastavené parametry modelu jsou zobrazeny v oblasti Nastavené parametry.

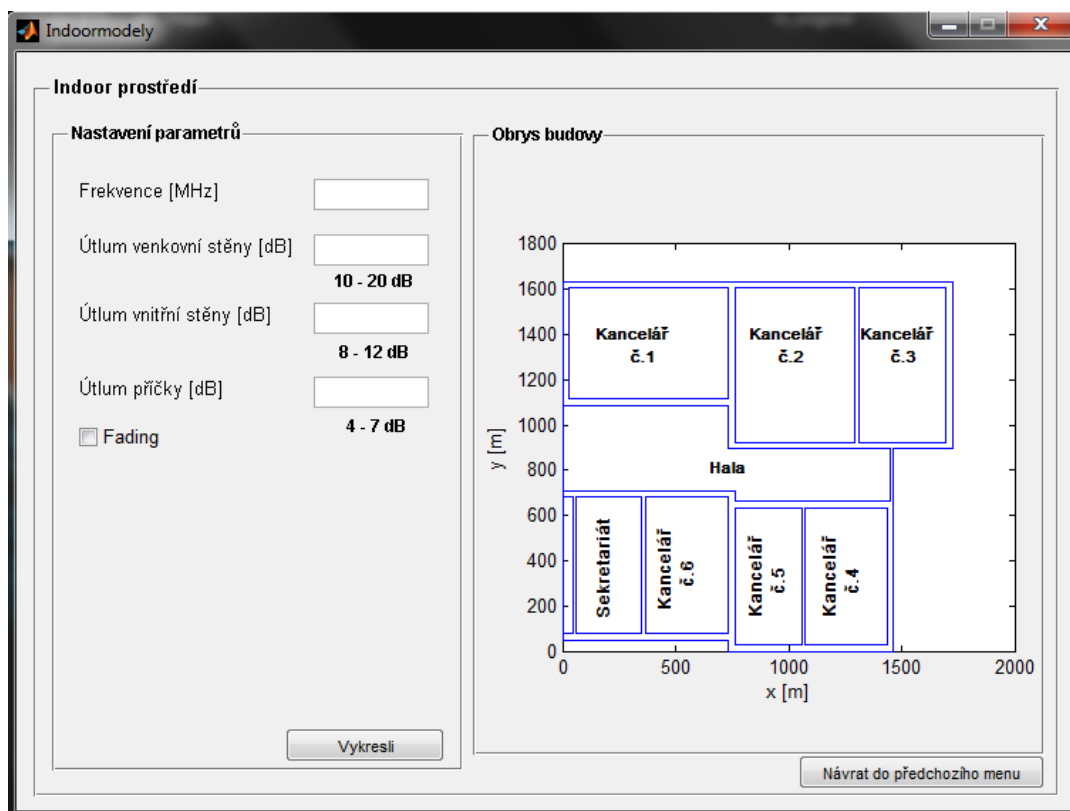


Obr. 4.1: Dialogové okno po spuštění a vybrání modelu



Obr. 4.2: Dialogové okno pro nastavení parametrů BTS

Pro indoor modely slouží tlačítko **Obecné rozložení útlumu**, které zobrazí dialogové okno, kde můžeme nastavit frekvenci, útlum jednotlivých zdí, více viz Obr. 4.3. Pole **Fading** a tlačítko **Vykresli**, plní stejnou funkci jako u outdoor modelů.



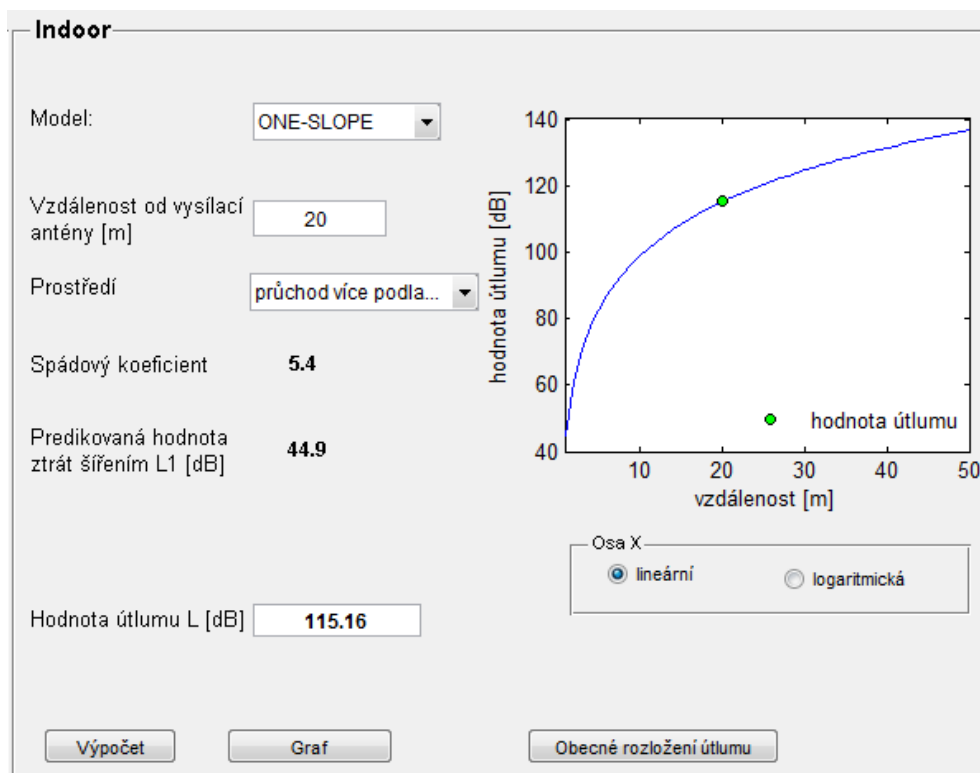
Obr. 4.3: Dialogové okno pro obecné rozložení útlumu indoor prostředí

Jak u indoor modelů, tak i u outdoor modelů jsou všechna pole ošetřena chybovými hláškami v případě zadání nesprávné hodnoty. Návrat do přechozího menu provedeme stejnojmenným tlačítkem. Konkrétní nastavení jednotlivých modelů a jejich grafický výstup je uveden v následujících kapitolách.

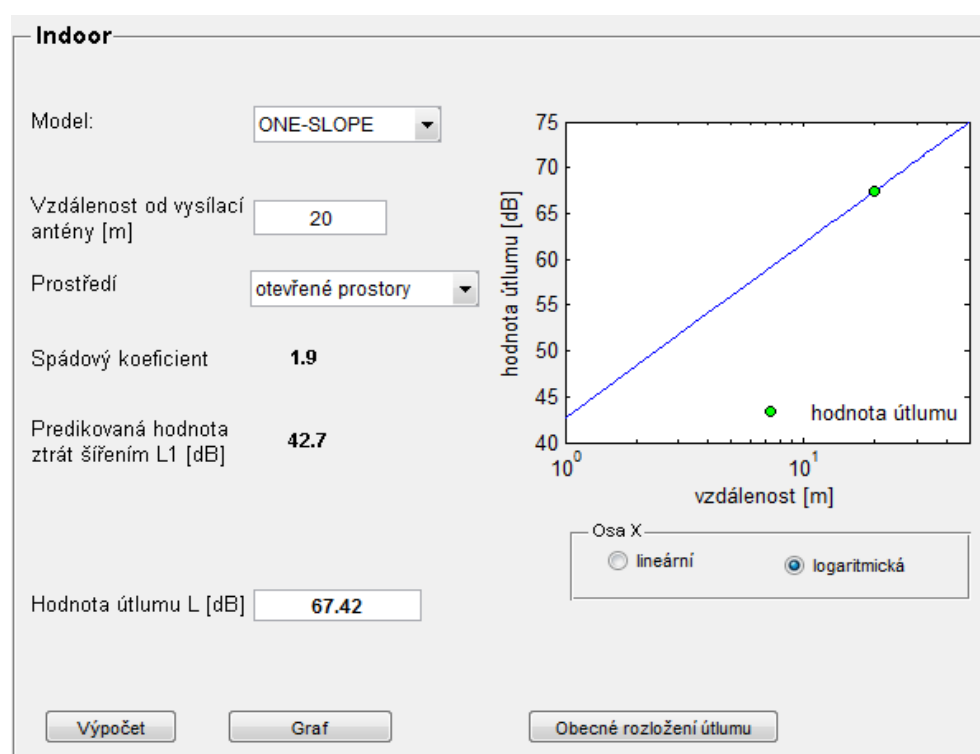
4.2 Indoor modely zpracované v prostředí Matlab

4.2.1 One-slope

Pro měření u modelu One-slope byla zvolena vzdálenost mezi přijímačem a vysílačem 10 m, jako prostředí byla vybrána varianta průchod více podlažími. Nabídka prostředí obsahuje více možností, více viz Tab. 3.1. Vypočtená hodnota útlumu ve vzdálenosti 20 m je 115,16 dB, osa x je v tomto případě lineární. Uvedený případ můžeme i s grafickým zobrazením vidět na Obr. 4.4. Pro volbu otevřené prostory je vypočtený útlum 67,42 dB. Zde je zvolena logaritmická osa x, více viz Obr. 4.5.



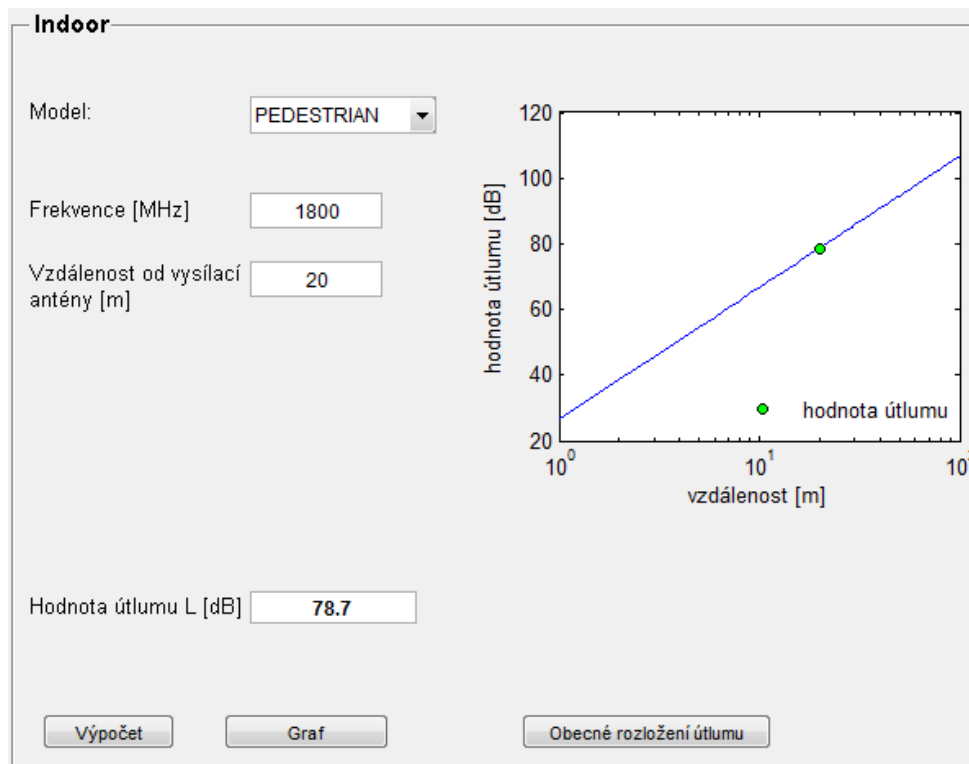
Obr. 4.4: Nastavené parametry One-slope modelu (průchod více podlažími)



Obr. 4.5: Nastavené parametry One-slope modelu (otevřené prostory)

4.2.2 Pedestrian

U tohoto modelu byla zadána hodnota frekvence 1800 MHz z důvodu srovnání s One-slope modelem, který má predikovanou hodnotu šíření danou Tab. 3.1. Vzdálenost od vysílací antény je zvolena na hodnotu 20 m. Výsledná hodnota útlumu je 78,7 dB. Tato situace je vyobrazena na Obr. 4.6.

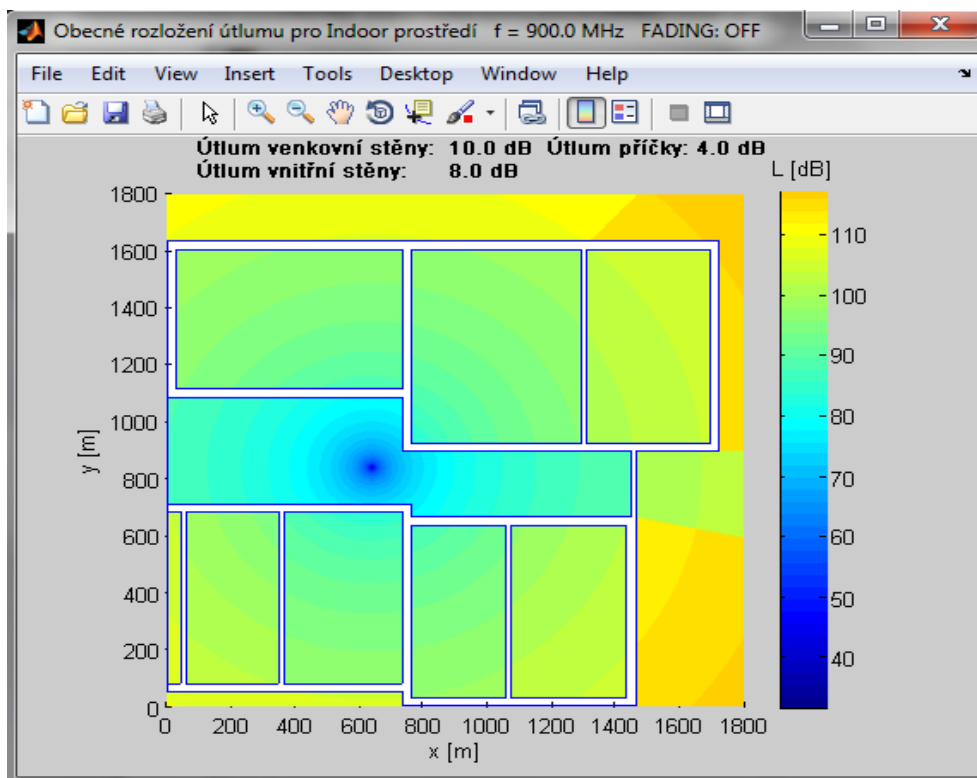


Obr. 4.6: Nastavené parametry modelu Pedestrian (indoor model)

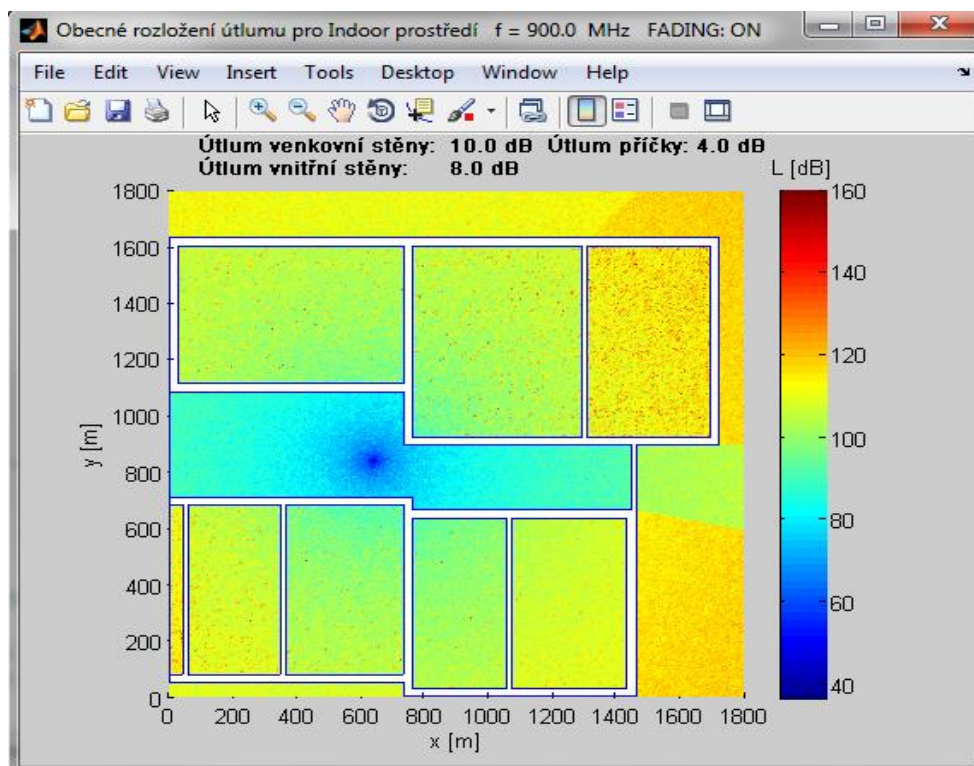
4.3 Obecné rozložení útlumu pro indoor prostředí

V obecném rozložení útlumu v indoor prostředí je hodnota útlumu v určitém místě stanovena tak, že k vypočtené hodnotě útlumu připočteme útlum jednotlivých zdí, kterými signál prochází. Pokud je brán v úvahu únik signálu, tak k celkové hodnotě útlumu připočteme vygenerovanou hodnotu fadingu se směrodatnou odchylkou, která je zjištěna z naměřených hodnot. Pro venkovní prostory a halu je zvoleno prostředí Free Space s normálním rozložením, pro jednotlivé místnosti je použito log-normal rozložení. Uvažujeme 3 druhy stěn (venkovní, vnitřní a příčky). Pro venkovní stěny lze nastavit útlum v rozmezí 10-20 dB, pro vnitřní stěny 8-12 dB a pro příčky mezi jednotlivými místnostmi 4-7 dB. Pro nastavenou frekvenci 900 MHz (tuto frekvenci využívá systém GSM) a nastavené parametry útlumu zdí, které byly zvoleny na nejnižší povolené hodnoty, je dosaženo maximální hodnoty útlumu přes 110 dB. Tato situace je zobrazena na Obr. 4.7. Bereme-li v úvahu únik signálu, tak je v některých místech budovy útlum kolem 140 dB a více, jak je uvedeno na Obr. 4.8. Pokud je zvolena stejná frekvence, ale parametry útlumu zdí jsou nastaveny na nejvyšší povolené hodnoty, potom je tedy hodnota útlumu více jak 130 dB, více viz Obr. 4.9. V případě úniku signálu je největší útlum v kanceláři č. 3, kde se útlum blíží k 160 dB. Naopak k

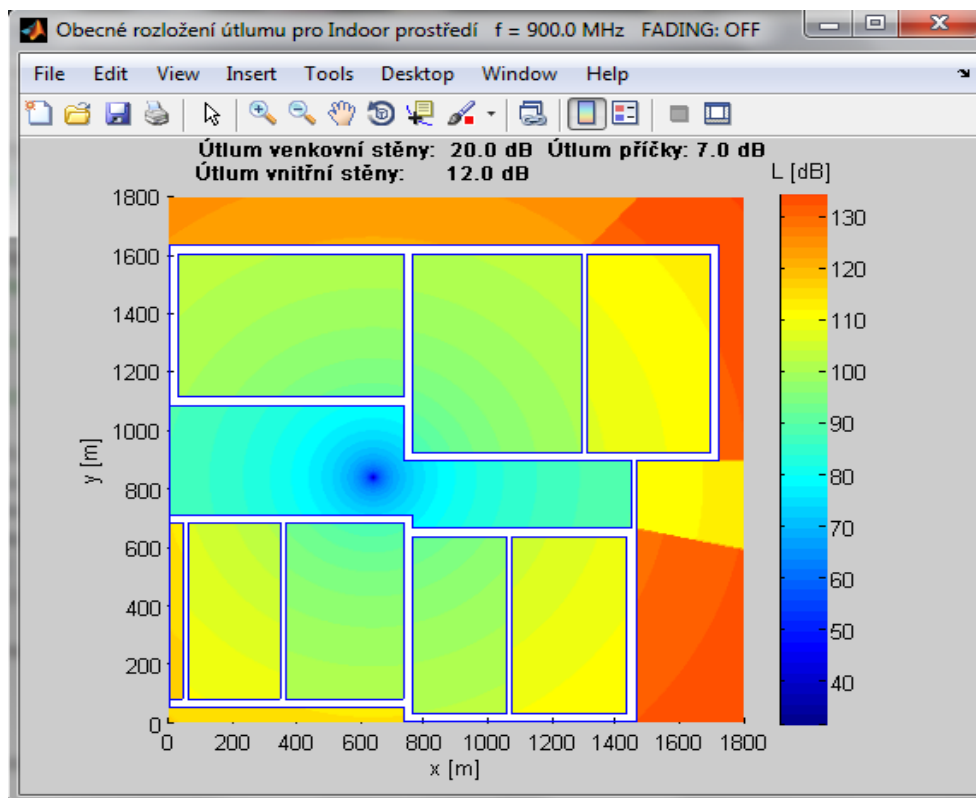
nejmenšímu útlumu signálu dochází v hale, kde se pohybujeme v rozmezí 40 až 90 dB, jak je patrné z Obr. 4.10.



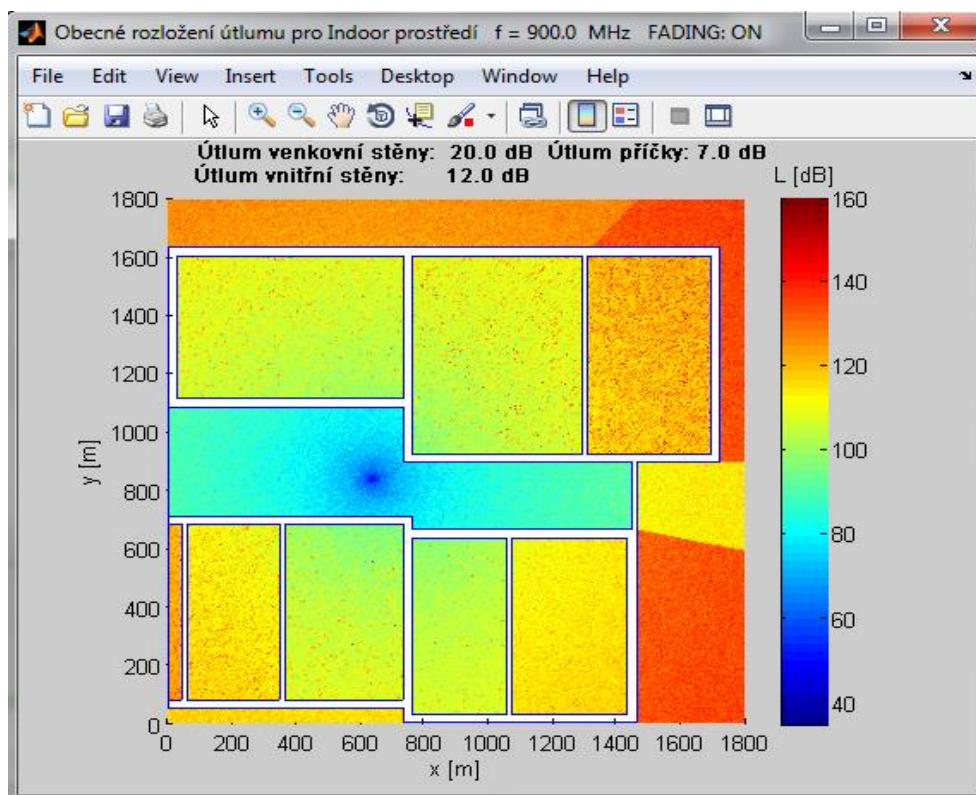
Obr. 4.7: Hodnota útlumu pro indoor prostředí (nejnižší útlum zdí)



Obr. 4.8: Hodnota útlumu pro indoor prostředí s fadingem (nejnižší útlum zdí)



Obr. 4.9: Hodnota útlumu pro indoor prostředí (nejvyšší útlumu zdí)



Obr. 4.10: Hodnota útlumu pro indoor prostředí s fadingem (nejvyšší útlum zdí)

4.4 Srovnání indoor modelů

Z výsledných simulací, které jsme provedli, vyplývá, že One-slope model bere v úvahu více typ indoor prostředí, avšak neuvažuje konkrétní rozmístění a útlum stěn dané budovy. U Pedestrian modelu není vůbec možné zadat typ prostředí, natož konkrétní rozmístění a útlum stěn budovy.

Pro vzdálenost 20 m od vysílací antény pro model One-slope byla vypočtena hodnota útlumu pro průchod více podlažími 115,16 dB a pro otevřené prostory 67,42 dB. Pro model Pedestrian byla pro stejnou vzdálenost zjištěna hodnota útlumu 78,7 dB. Více v kapitole č. 4.2.

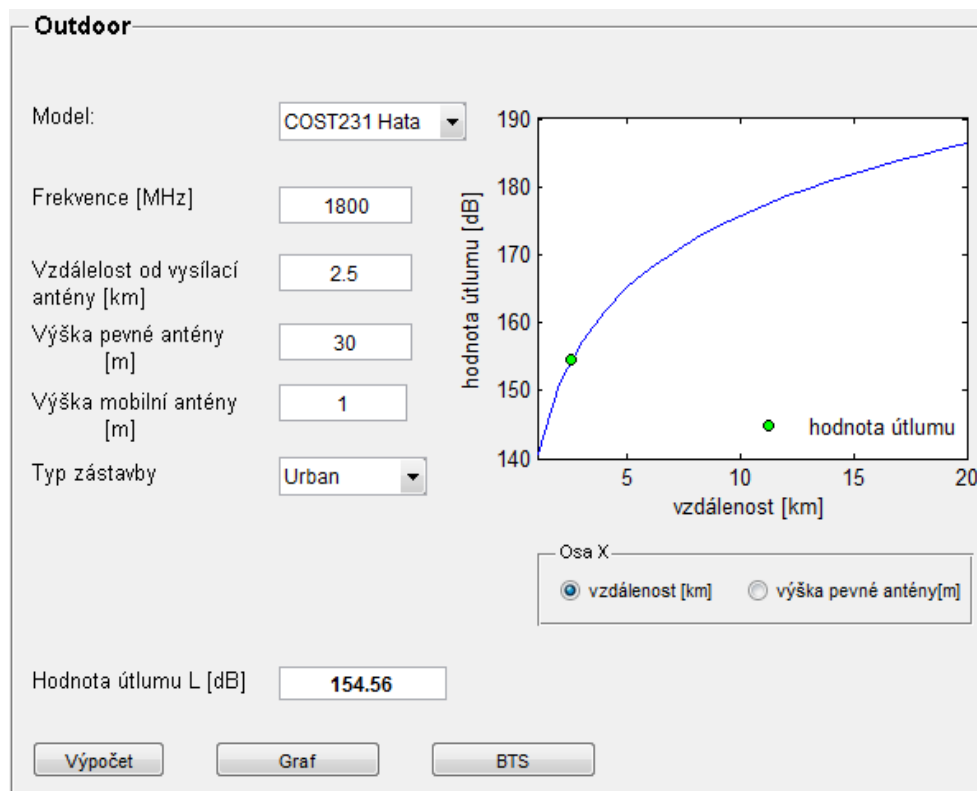
Z vypočtených hodnot vyplývá, že model Pedestrian je pro predikci útlumu signálu v indoor prostředí nevhodný, neboť jeho vypočtená hodnota útlumu se zcela liší od přesnější hodnoty vypočtené One-slope modelem. Pro zjištění orientační hodnoty útlumu v indoor prostředí je vhodné použít One-slope model. Pokud požadujeme co nejpřesnější hodnotu útlumu s odchylkou jednotek dB, je vhodné použít Muti-Wall model. Více o tomto modelu v kapitole č. 3.1.2.

4.5 Outdoor modely zpracované v prostředí Matlab

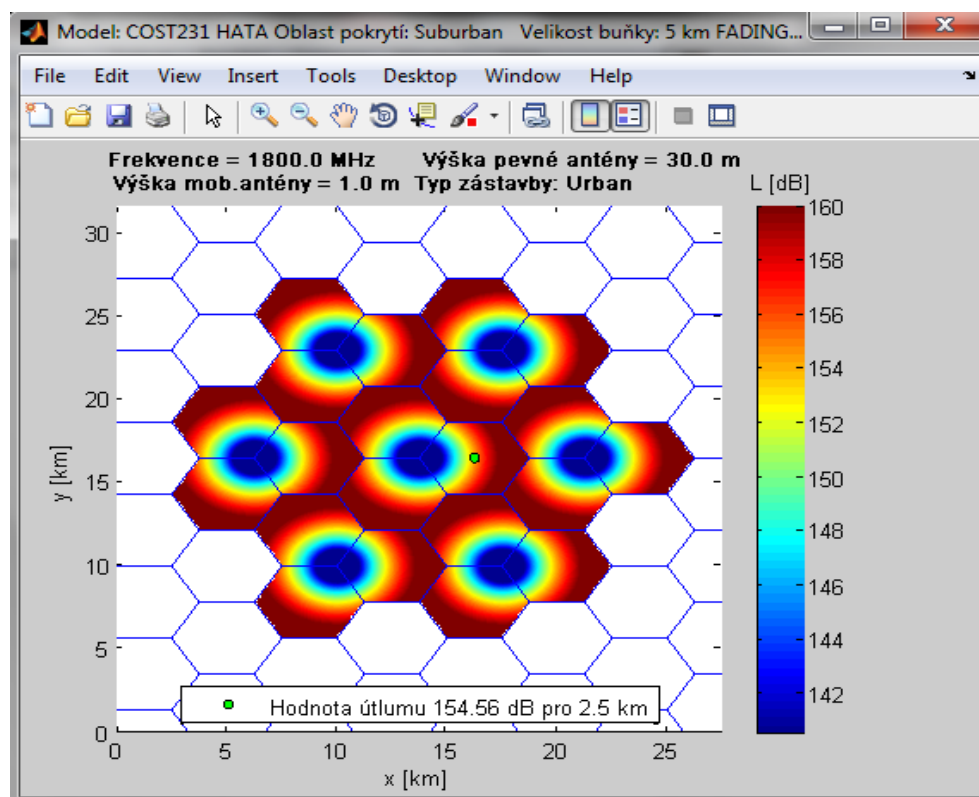
4.5.1 COST231 Hata

Pro model COST231 Hata byla zvolena frekvence 1800 MHz, aby splňovala podmínky funkčnosti tohoto modelu. Ke srovnání jsme zvolili dolní mezní hodnoty a horní mezní hodnoty jednotlivých parametrů (výška pevné antény, výška mobilní antény). Jako hustotu zástavby uvažujeme městskou zástavbu. Výška pevné antény byla zadána na 30 m, výška mobilní antény na 1 m. Jedná se o nejnižší povolené nastavitelné hodnoty antén. Hodnota útlumu pro tento scénář je 154,56 dB pro vzdálenost 2,5 km, jak je uvedeno na Obr. 4.11. Pro pokrytí předměstské oblasti je zvolena velikost buňky 5 km, rozložení útlumu je možné vidět na Obr. 4.12. Na první pohled je patrné, že hodnota útlumu signálu je od 3,5 km větší než 160 dB. Pokud bereme v úvahu pokrytí městské oblasti, je velikost buňky 3 km a hodnota útlumu se pro největší vzdálenost od vysílací antény pohybuje okolo 156 dB, viz Obr. 4.13. Pro tyto nejnižší nastavitelné parametry antén není zobrazen únik signálu, neboť by hodnota útlumu byla ve většině případů větší než 160 dB. Únik signálu bude zohledněn až v následujícím případě.

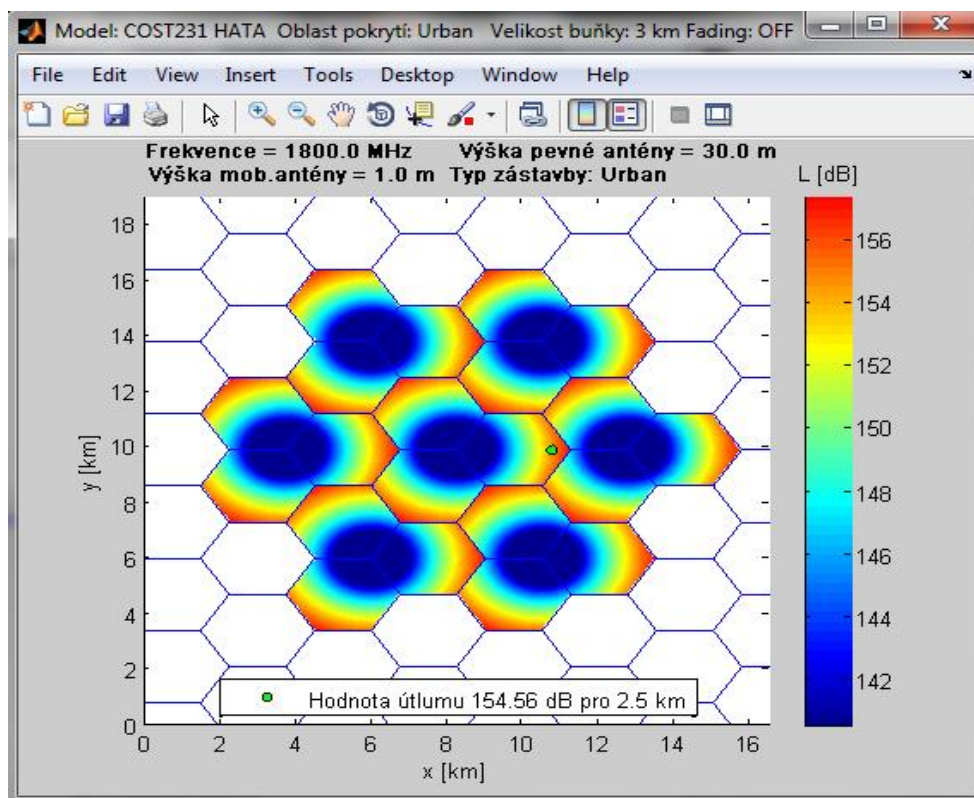
V této části se budeme zabývat situací, kdy uvažujeme maximální povolenou výšku pevné a mobilní antény. Výška pevné antény je tedy 200 m a výška mobilní antény 10 m. Vzdálenost od vysílací antény je ponechána stejná jako v předchozím případě 2,5 km. Vypočtená hodnota útlumu je 130,98 dB. Pro pokrytí městské popř. předměstské oblasti jsou velikosti buněk stejné jako v předchozím případě. Při pokrytí předměstské oblasti dosahuje útlum hodnoty 139 dB, při vzdálenosti od vysílací antény 5 km, viz Obr. 4.14. Při uvažování fadingu se směrodatnou odchylkou 6 dB, může být naměřen útlum blízký hodnotě 150 dB, viz Obr. 4.15. Pro pokrytí města je hodnota útlumu 133,34 dB, jak je vyobrazeno na Obr. 4.16. Pokud bereme v úvahu i únik signálu se směrodatnou odchylkou 8 dB, potom je útlum ve vzdálenosti 3 km 145 dB, v některých místech i více, viz Obr. 4.17.



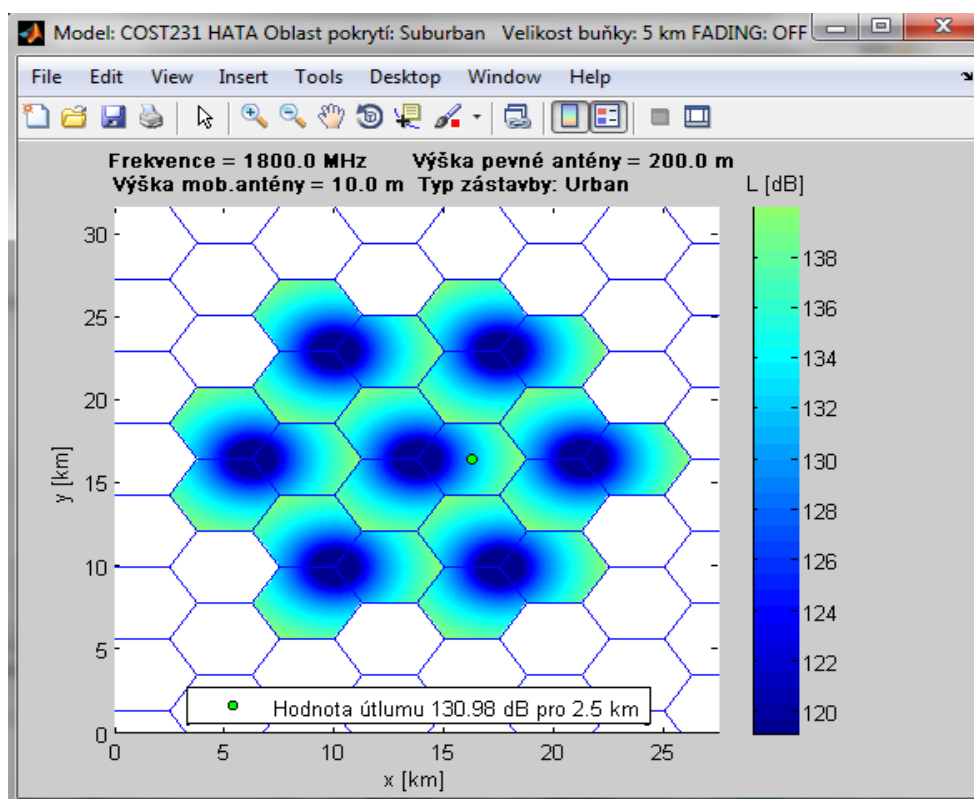
Obr. 4.11: Grafické prostředí pro nastavení COST231 Hata modelu



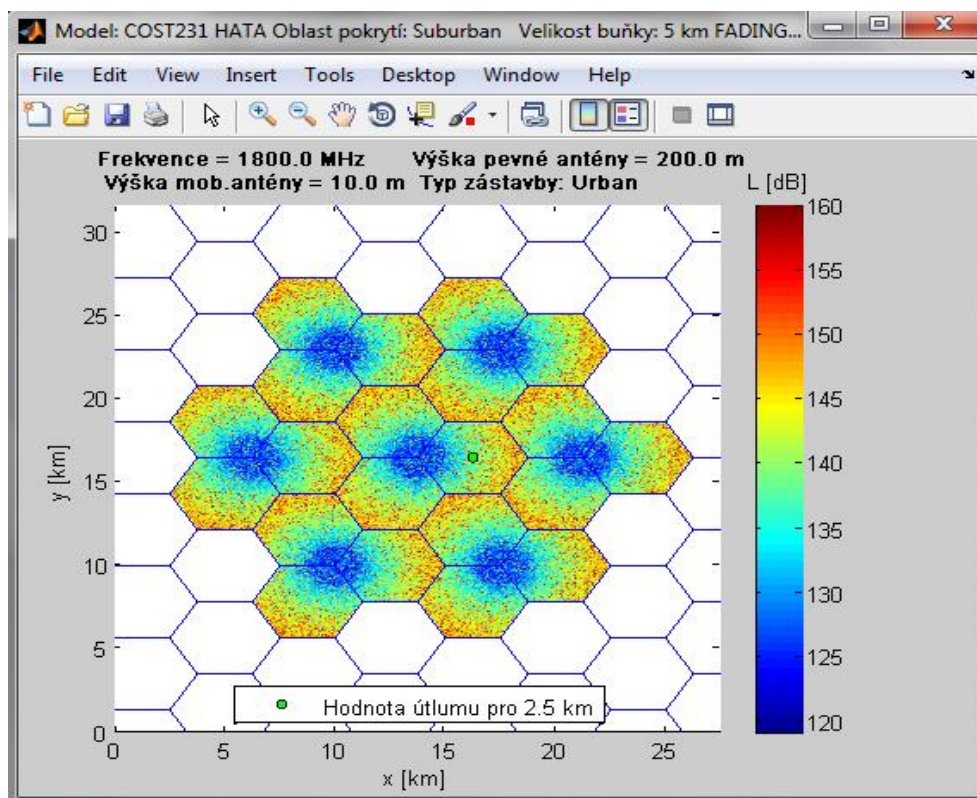
Obr. 4.12: Útlum modelu COST231 Hata pro Suburban (nejnižší výška antén)



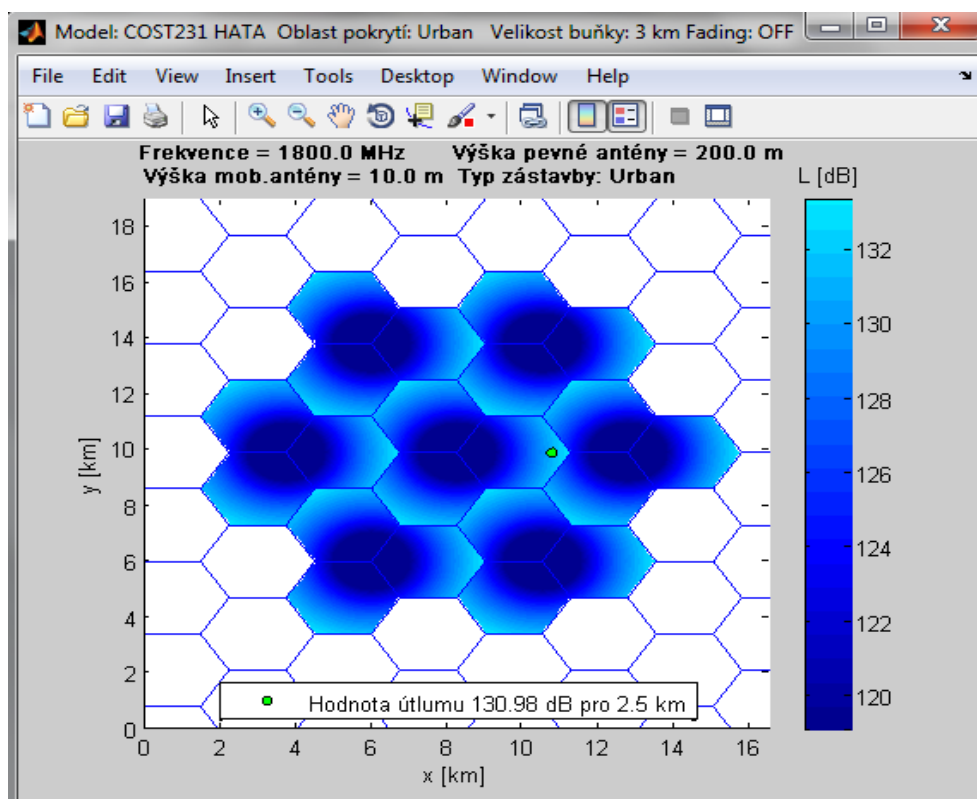
Obr. 4.13: Útlum modelu COST231 Hata pro Urban (nejnižší výška antén)



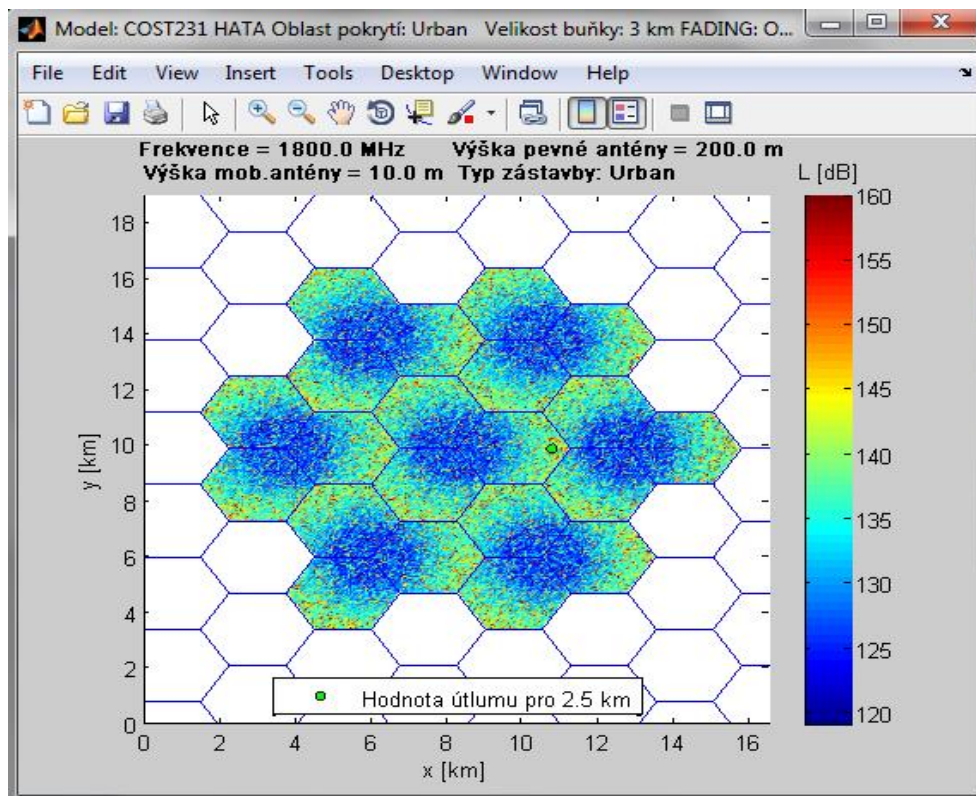
Obr. 4.14: Útlum modelu COST231 Hata pro Suburban (nejvyšší výška antén)



Obr. 4.15: Útlum modelu COST231 Hata pro Suburban (nejvyšší výška antén) s fadingem



Obr. 4.16: Útlum modelu COST231 Hata pro Urban (nejvyšší výška antén)

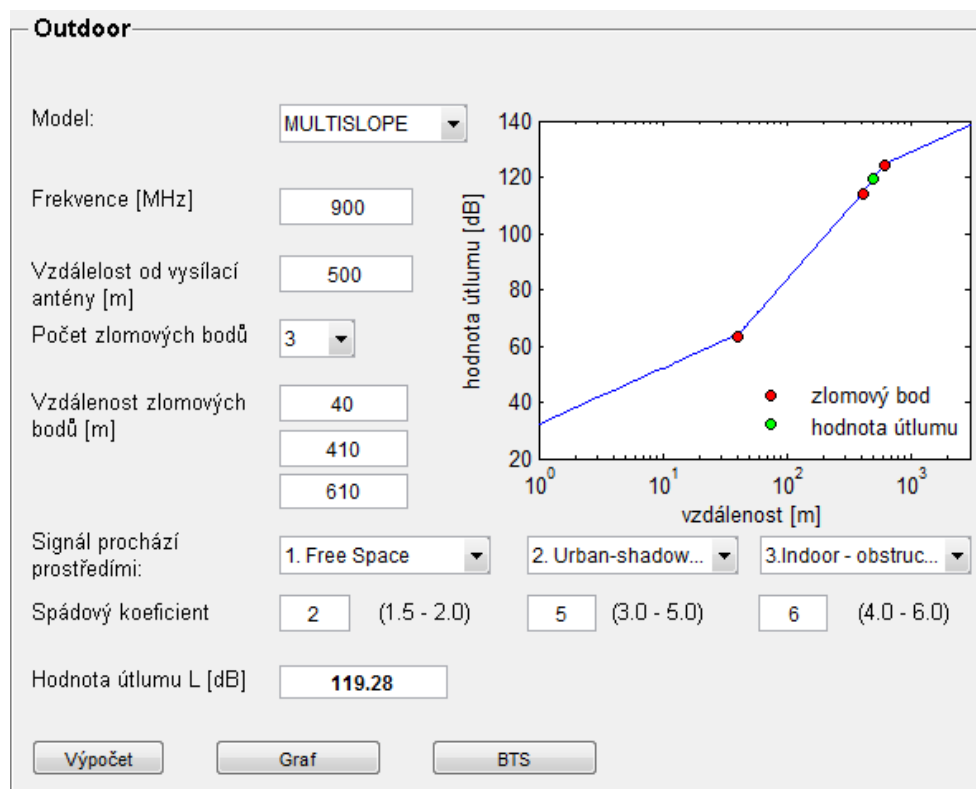


Obr. 4.17: Útlum modelu COST231 Hata pro Urban (nejvyšší výška antén) s fadingem

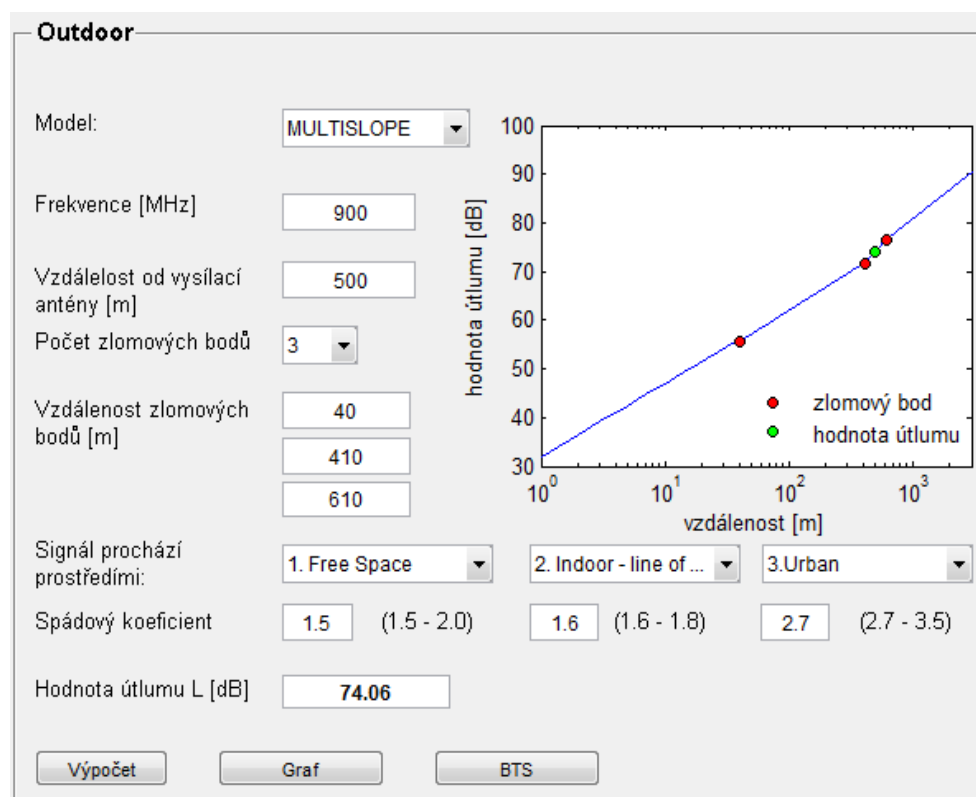
4.5.2 Multislope

Pro Multislope model byla zvolena frekvence 900 MHz a vzdálenost, ve které chceme zjistit hodnotu útlumu, 500 m. Zlomové body byly vybrány 3, ale je také možné vybrat 2 zlomové body. Vzdálenosti zlomových bodů jsou 40 m, 410 m, 610 m. Z nabídky prostředí jsou vybrány ty, které způsobují největší útlum signálu. Bylo zvoleno Free Space, Urban-shadowed, Indoor-obstructed. Vypočtená hodnota útlumu ve vzdálenosti 500 m je 119,28 dB. Strmost křivky (Obr. 4.18) ovlivňuje nárůst útlumu a je dána spádovým koeficientem, který je možno zadat, jehož hodnotu můžeme najít v Tab. 3.3. Zlomové body jsou v grafu vyznačeny červeně, hodnota útlumu zeleně.

Pro druhý případ jsou z nabídky prostředí vybrána taková prostředí, která způsobují nejmenší útlum signálu, těmito prostředím byla zadána nejmenší hodnota spádového koeficientu, kterou lze nalézt v Tab. 3.3. Byla zvolena tato prostředí: Free Space, Indoor-line of sight a Urban. Vzdálenosti zlomových bodů, frekvence a vzdálenost od vysílací antény zůstaly nezměněny. Výsledný útlum je pro tento případ 74,06 dB. Nastavení parametrů a výsledný útlum ukazuje Obr. 4.19.



Obr. 4.18: Grafické prostředí pro nastavení Multislope modelu (1)

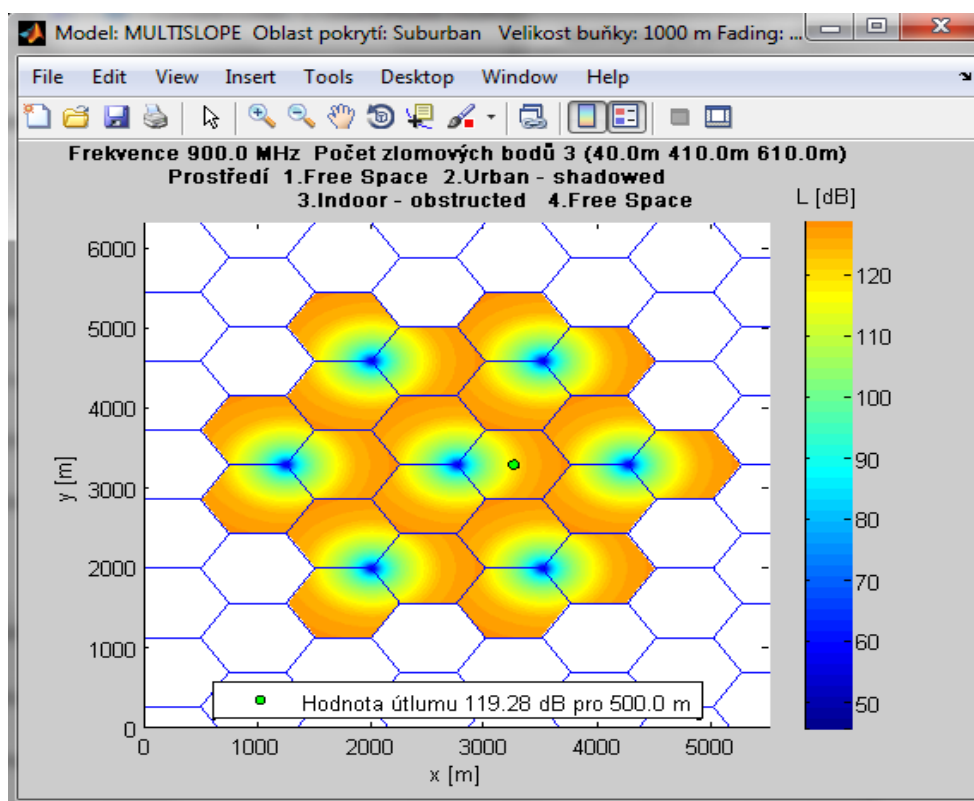


Obr. 4.19: Grafické prostředí pro nastavení Multislope modelu (2)

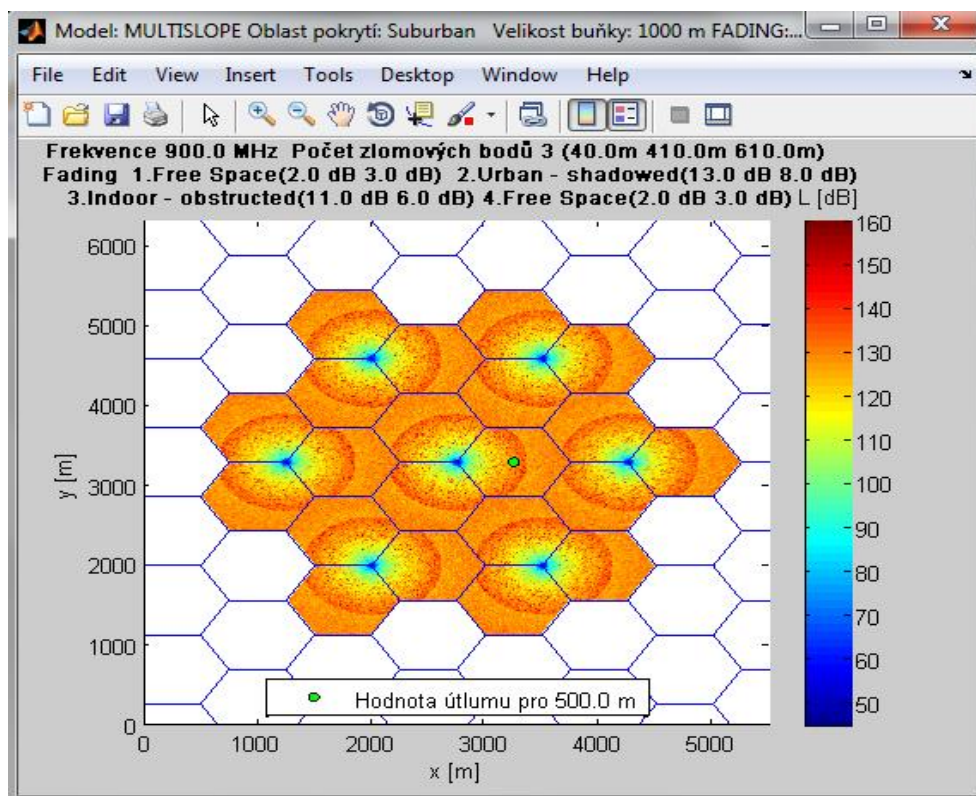
Pro pokrytí území budeme v tomto případě uvažovat jen předměstské oblasti, protože na nich lze lépe pozorovat změnu útlumu vlivem zlomových bodů (spádových koeficientů). Lze samozřejmě nastavit i pokrytí území pro městské oblasti. Pro předměstské oblasti je velikost buňky zvolena 1000 m.

Grafické zobrazení útlumu Multislope modelu pro nastavené parametry, které jsou uvedeny na Obr. 4.18, je zobrazeno na Obr. 4.20. Na první pohled je zřejmé, že útlum ve vzdálenosti 1000 m od BTS je blízký hodnotě 130 dB. Pokud bereme v úvahu i únik signálu, tak tato hodnota je ve stejné vzdálenosti kolem 135 dB, ale v oblasti, kde je zvoleno prostředí urban-shadowed, dosahuje hodnota útlumu 140 dB a více, viz Obr. 4.21.

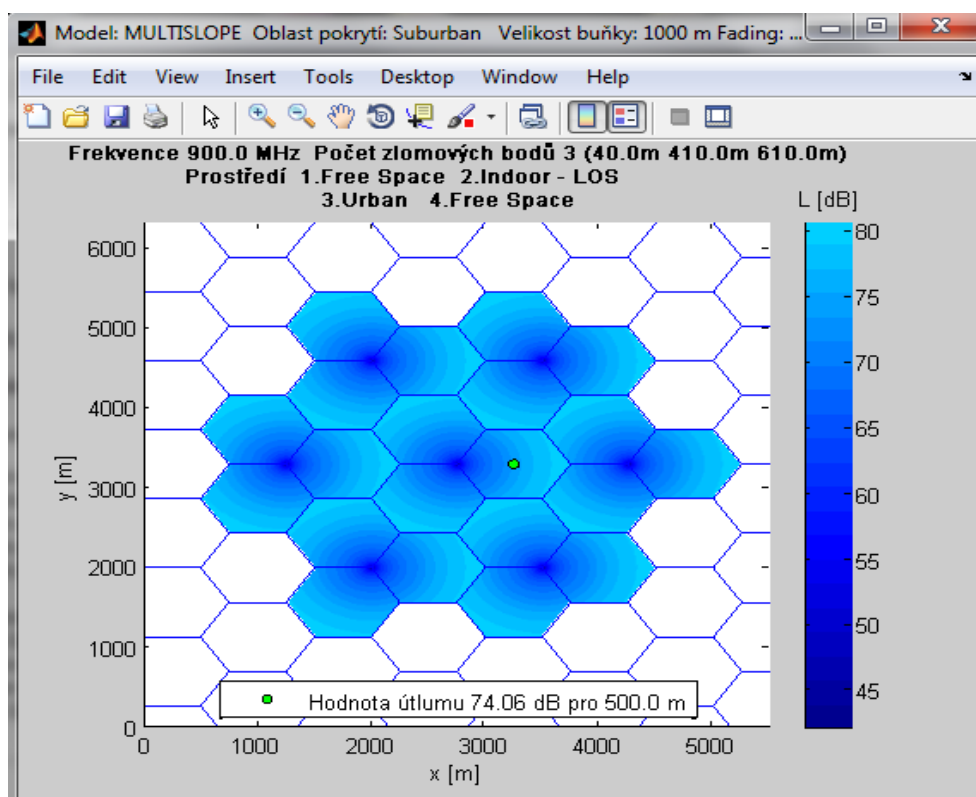
Pro druhou možnost nastavení parametrů, která je zvolena na Obr. 4.19, je grafické rozložení útlumu pro předměstské oblasti zobrazeno na Obr. 4.22. Útlum, který je ve vzdálenosti 1000 m od vysílací antény, je roven hodnotě 80,6 dB. Při úniku signálu je tato hodnota přes 80 dB. Nejvyšší hodnota útlumu vykazuje prostředí urban, kde dosahuje hodnoty více jak 90 dB. Tato situace je zobrazena na Obr. 4.23.



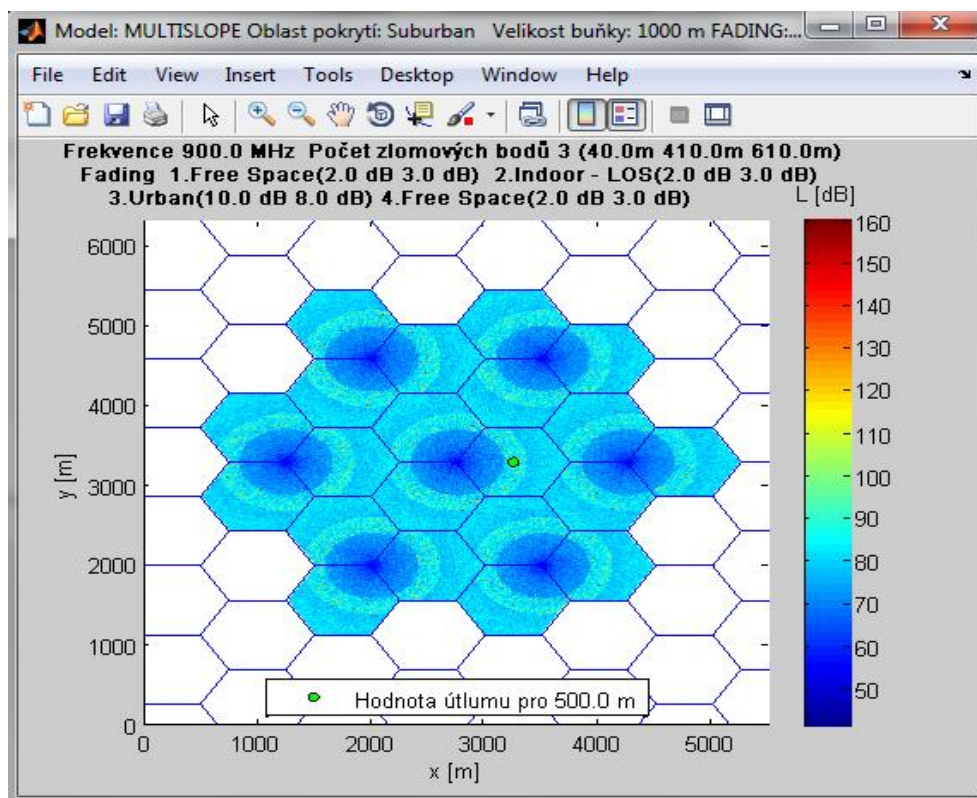
Obr. 4.20: Grafické znázornění útlumu modelu Multislope pro Suburban (1)



Obr. 4.21: Grafické znázornění útlumu modelu Multislope pro Suburban s fadingem (1)



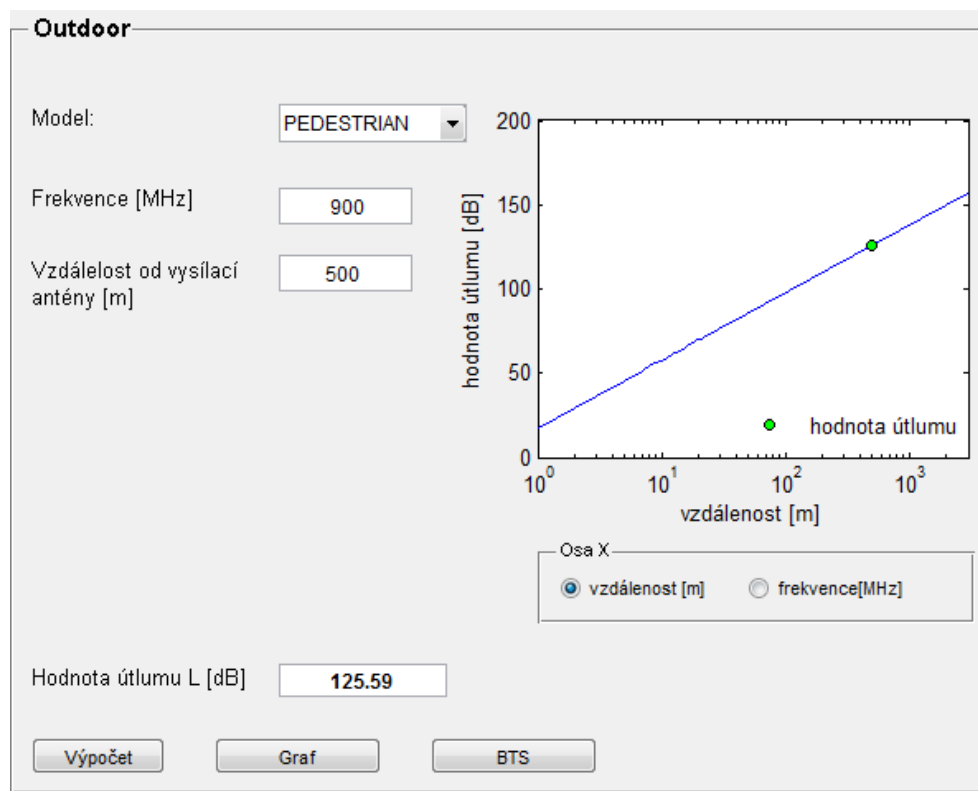
Obr. 4.22: Grafické znázornění útlumu modelu Multislope pro Suburban (2)



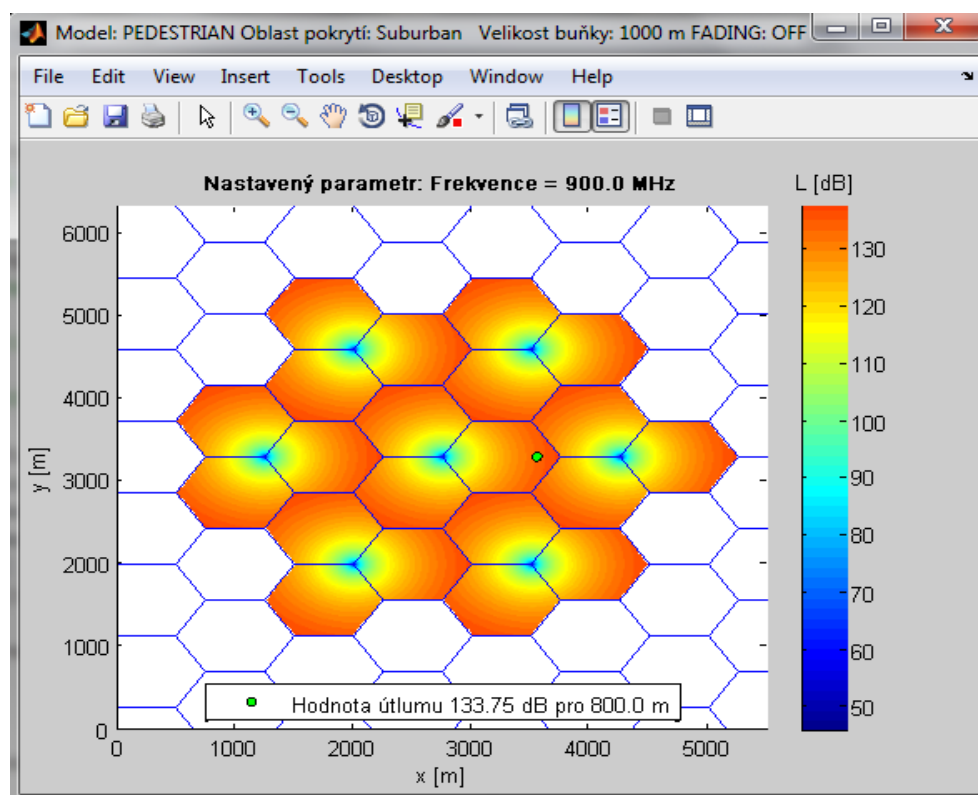
Obr. 4.23: Grafické znázornění útlumu modelu Multislope pro Suburban s fadingem (2)

4.5.3 Pedestrian

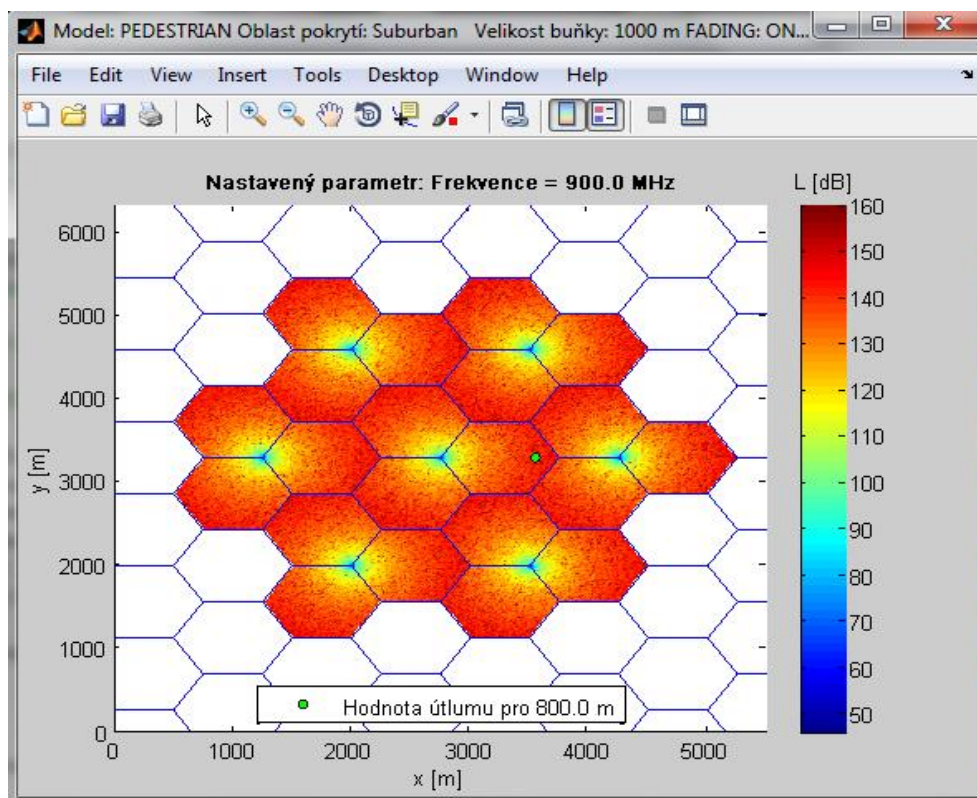
U tohoto modelu byla zadána hodnota frekvence 900 MHz (tuto frekvenci využívá systém GSM) a vzdálenost od vysílací antény 500 m (maximální velikost poloměru pikobuňky). Hodnota útlumu v této vzdálenosti je 125,59 dB. Vypočítaná hodnota útlumu pro stejnou frekvenci a vzdálenost 800 m je 133,75 dB. Graficky znázorněnou závislost hodnoty útlumu ve vzdálenosti 500 m můžeme vidět na Obr. 4.24. Na ose x můžeme zvolit vzdálenost v (m) nebo frekvence v (MHz). Pokud BTS pokrývá území Suburban, pro kterou byla zvolena velikost buňky 1000 m, může útlum dosáhnout hodnoty až 137 dB, jak je graficky znázorněno na Obr. 4.25. Pokud uvažujeme pro toto prostředí i únik signálu (směrodatná odchylka 6 dB), hodnota útlumu dosahuje v některých místech až 150 dB i více, viz Obr. 4.26. Pro oblast pokrytí Urban je zvolen poloměr buňky 500 m a grafické rozložení útlumu je na Obr. 4.27. S únikem signálu, kde je zvolena směrodatná odchylka 8dB, lze toto rozložení vidět na Obr. 4.28.



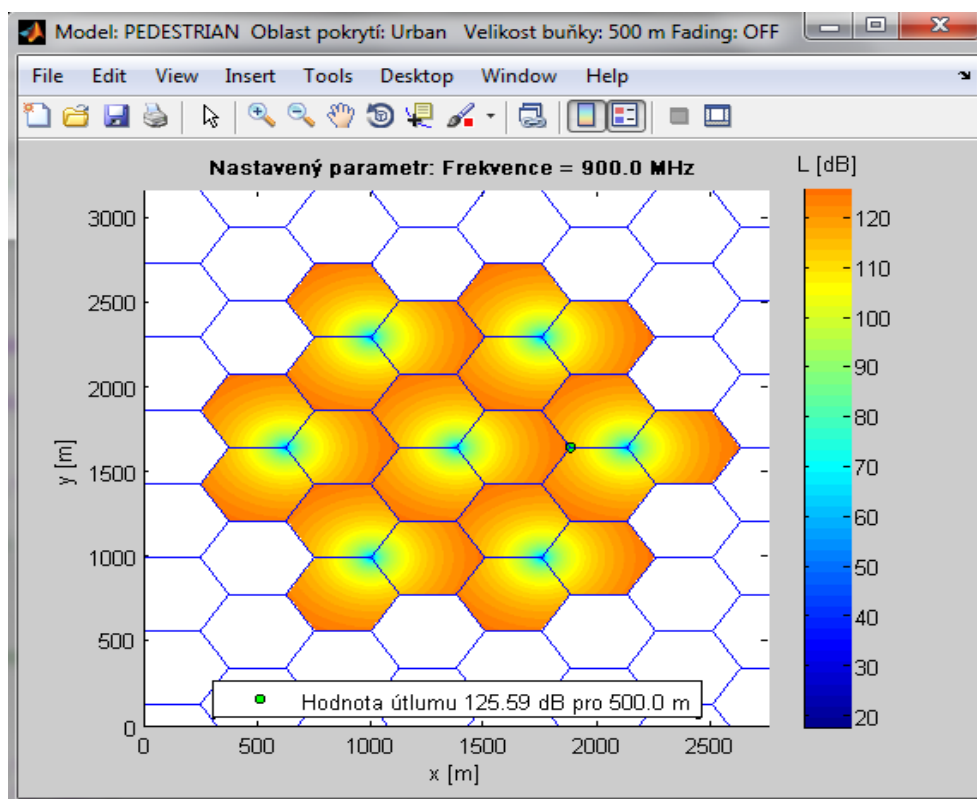
Obr. 4.24: Grafické prostředí pro nastavení modelu Pedestrian



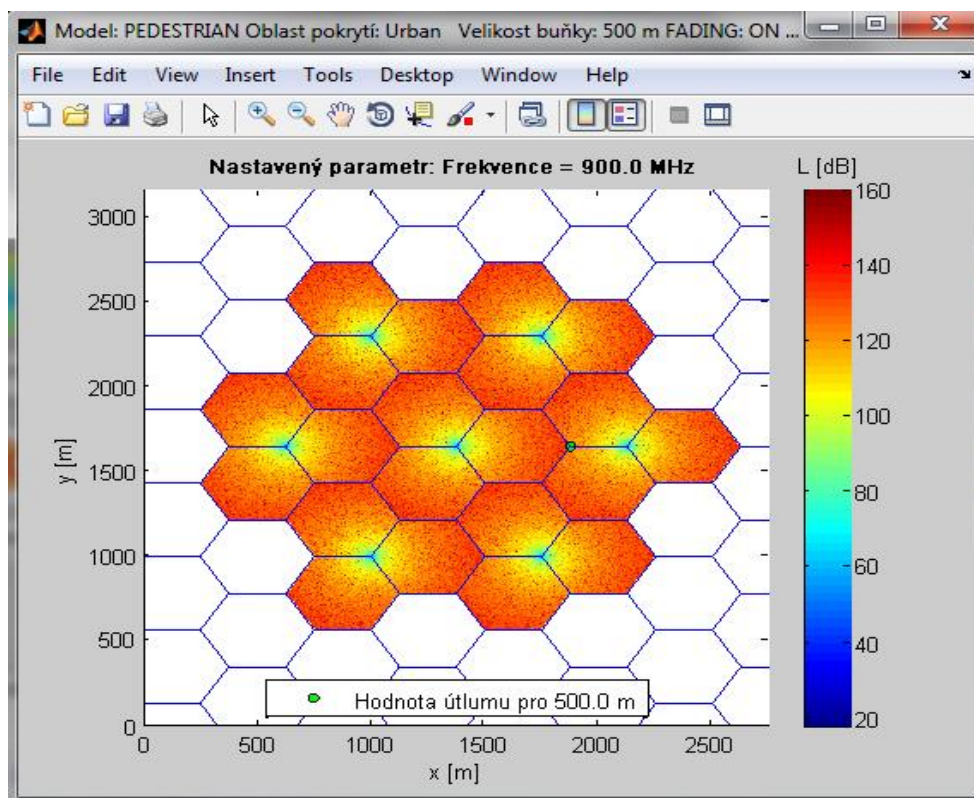
Obr. 4.25: Grafické znázornění útlumu modelu Pedestrian pro Suburban



Obr. 4.26: Grafické znázornění útlumu modelu Pedestrian pro Suburban s fadingem



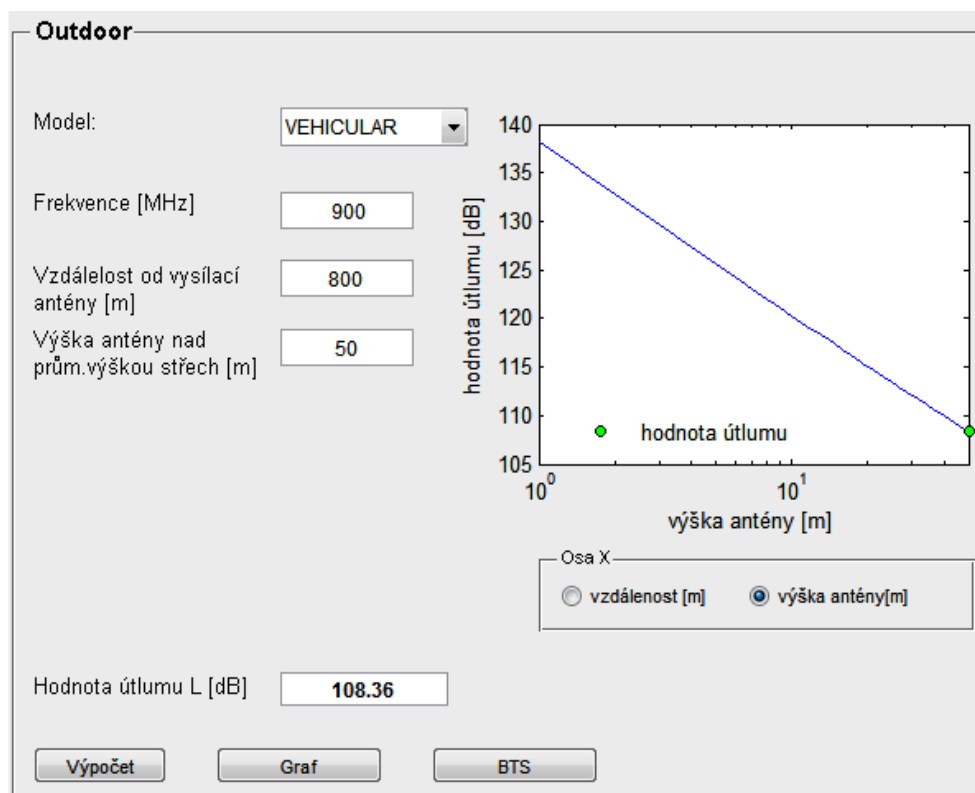
Obr. 4.27: Grafické znázornění útlumu modelu Pedestrian pro Urban



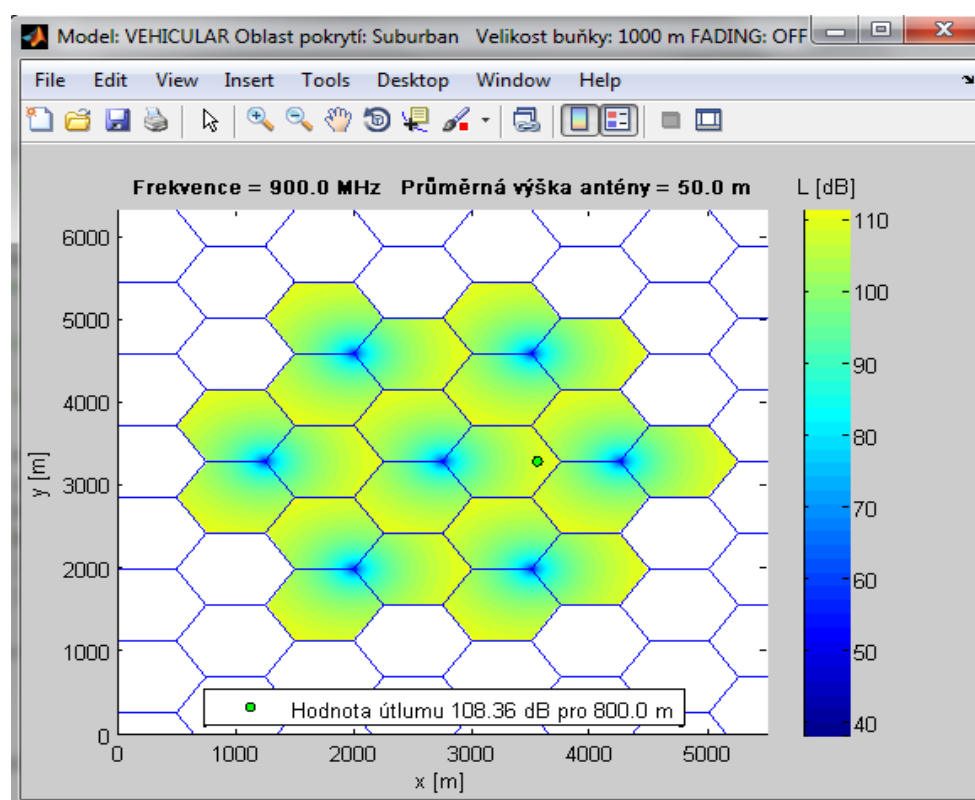
Obr. 4.28: Grafické znázornění útlumu modelu Pedestrian pro Urban s fadingem

4.5.4 Vehicular

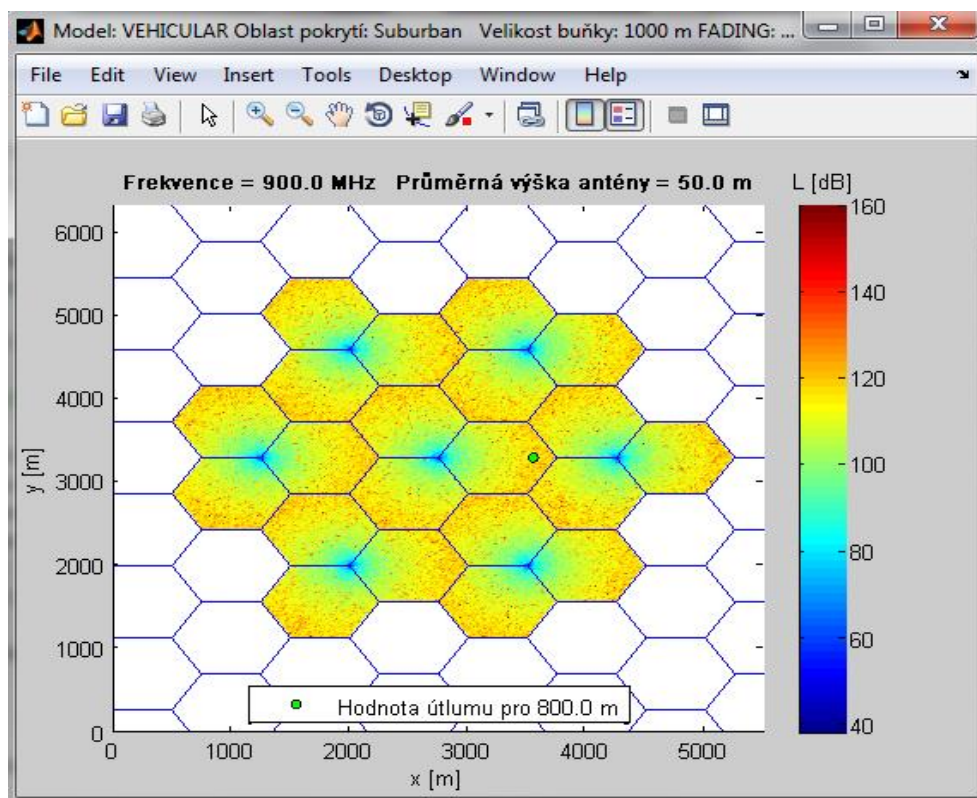
Následující simulace zobrazuje závislost útlumu signálu na výšce vysílací antény. Frekvence byla zvolena 900 MHz, vzdálenost, pro niž má být stanoven útlum, má hodnotu 800 m a výška antény, která je měřena od průměrné výšky střech, je 50 m. Vzhledem ke zvolené výšce antény může být tato situace typická pro metropolitní město. Útlum vykazuje hodnotu 108,36 dB. Graf závislosti hodnoty útlumu na vzdálenosti má stejný průběh jako Pedestrian model (Obr. 4.24), proto je na Obr. 4.29 zobrazena hodnota útlumu v závislosti na výšce antény (hodnota frekvence a vzdálenost od vysílací antény zůstávají stejné). Z grafu je tedy patrné zjištění, pokud snižujeme výšku antény, hodnota útlumu roste. Pokud zvolíme oblast pokrytí Suburban, tak je maximální hodnota útlumu více jak 110 dB. V grafickém zobrazení je také vyznačena hodnota útlumu pro 800 m, viz Obr. 4.30. Pokud je uvažován i fading (směrodatná odchylka je 6 dB), potom hodnota útlumu dosahuje ve vzdálenějších místech od BTS 140 dB a více, více viz Obr. 4.31. Pro Urban je zobrazena hodnota útlumu pro 500 m, která činí 101,82 dB. Výška antény je zachována stejná jako v předchozím případě, tedy 50 m. Grafické zobrazení tohoto nastavení je zobrazeno na Obr. 4.32. Pro únik signálu pro Urban je zvolena směrodatná odchylka 8 dB, tento scénář je na Obr. 4.33. Pro tento případ dosahuje útlum ve větších vzdálenostech od vysílací antény hodnoty 120-130 dB, v některých místech i více.



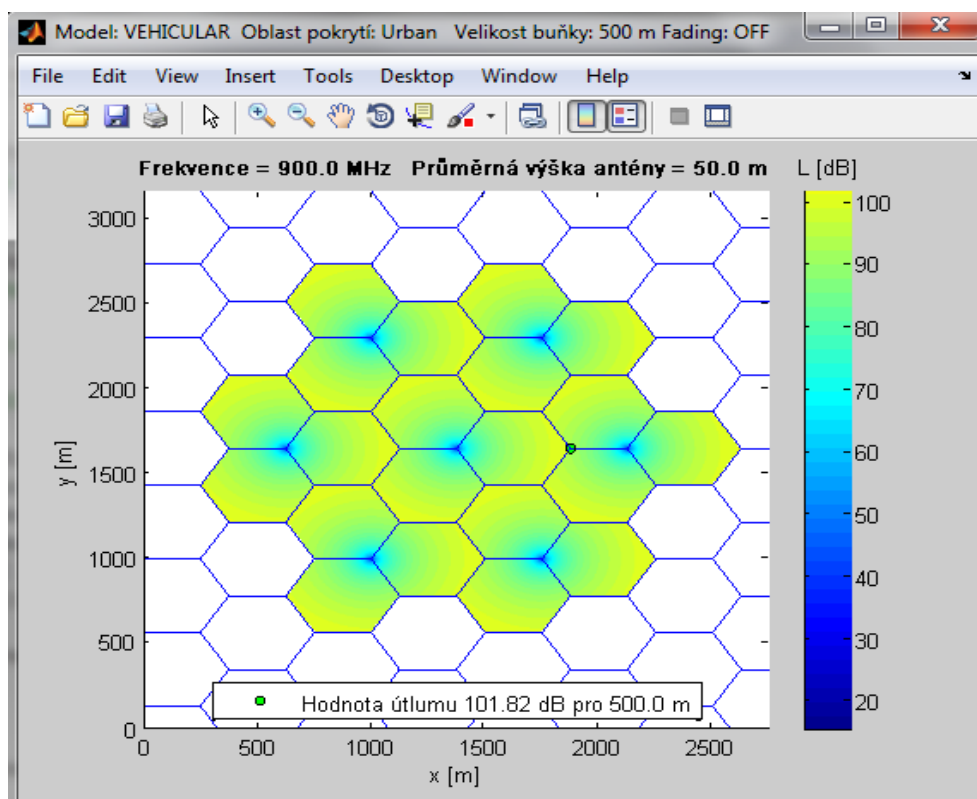
Obr. 4.29: Grafické prostředí pro nastavení modelu Vehicular



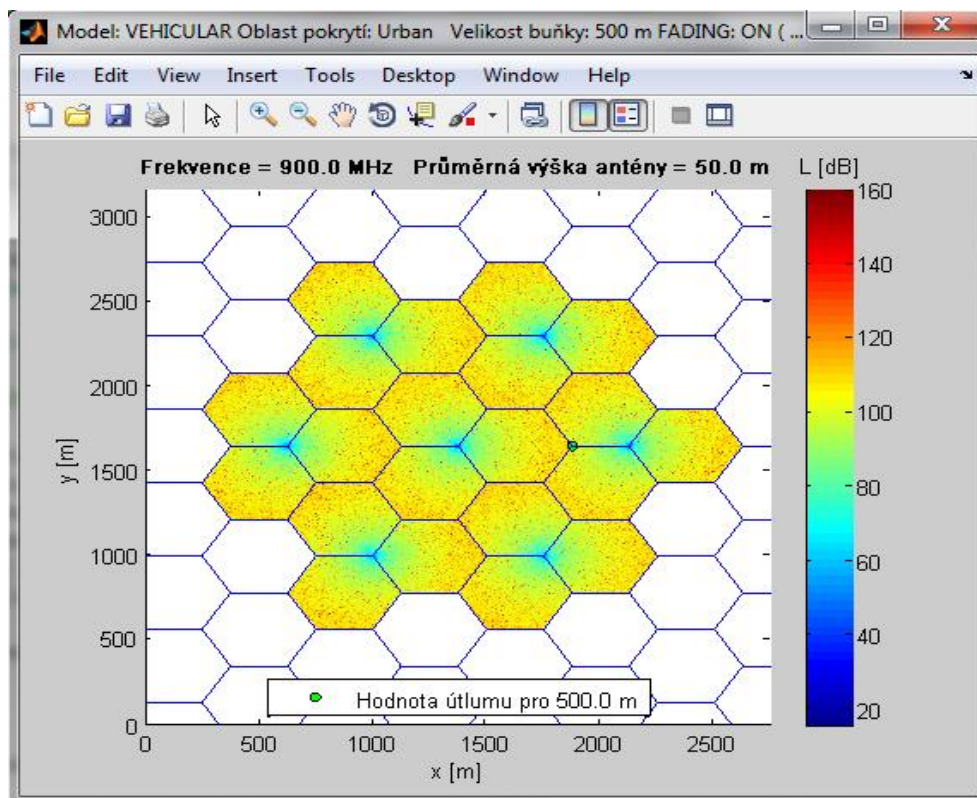
Obr. 4.30: Grafické znázornění útlumu modelu Vehicular pro Suburban



Obr. 4.31: Grafické znázornění útlumu modelu Vehicular pro Suburban s fadingem



Obr. 4.32: Grafické znázornění útlumu modelu Vehicular pro Urban



Obr. 4.33: Grafické znázornění útlumu modelu Vehicular pro Urban s fadingem

4.6 Srovnání outdoor modelů

Z výše uvedených simulací vyplývá, že pokud má být zjištěna predikovaná hodnota útlumu v dané vzdálenosti jen orientačně, je nejvhodnější použití modelu Pedestrian. U tohoto modelu jako u jediného nelze zadat žádný jiný parametr kromě frekvence. Z tohoto důvodu tento model slouží pro orientační zjištění hodnoty útlumu. Při srovnání modelu Pedestrian a Vehicular (nastavena výška antény 50 m) bylo zjištěno, že při pokrytí dané oblasti se hodnota útlumu ve vzdálenosti 1000 m liší přibližně o 25 dB, pro vzdálenost 500 m je tato odchylka blízká 20 dB. Samozřejmě takto velká odchylka je dána výškou antény u modelu Vehicular. Se snižováním výšky antény se bude rozdíl predikované hodnoty obou modelů lišit méně.

Pokud je známá konkrétní struktura terénu, je vhodné použít model Multislope. Ze simulace, kterou jsme provedli pro tento model, lze jednoznačně určit, do jaké míry jednotlivá prostředí ovlivňují hodnotu útlumu signálu. Např. pro nastavení na Obr. 4.18 jsou zadána prostředí, která značně zvyšují hodnotu útlumu. Útlum je v tomto případě ve vzdálenosti 500 m 119,28 dB. Prostředí, která méně ovlivňují hodnotu útlumu, jsou zobrazena na Obr. 4.19. Pro stejně nastavenou vzdálenost a frekvenci je ale útlum v tomto případě 74,06 dB. Rozdíl mezi těmito dvěma nastaveními je 45 dB, proto je nutné správně volit prostředí, kterými signál prochází, pokud chceme znát přibližnou hodnotu útlumu. Hlavní výhoda Multislope modelu spočívá v tom, že je možné vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem rozdělit na jednotlivé úseky, u nichž lze individuálně nastavovat parametry (např. spádový koeficient).

Pro pokrytí velkých měst signálem mobilní sítě je vhodné použít COST231 Hata model. Z grafického rozložení útlumu pro předměstské oblasti pro různé nastavení výšky antén vyplývá (Obr. 4.12 a Obr. 4.14), že rozdíl útlumu signálu mezi těmito dvěma nastaveními je přibližně 24 dB. Proto u tohoto modelu záleží na nastavení parametrů pevné a mobilní antény a také na hustotě zástavby.

5 SIMULACE NA CD

Na kompaktním disku se nachází simulační program vytvořený v grafickém prostředí programu Matlab. Je zde také umístěn text bakalářské práce ve formátu PDF a DOC. Více uvedeno v kapitole č. 5.1.

5.1 Obsah CD

Struktura CD je rozdělena do dvou adresářů:

Dokumenty – obsahuje text bakalářské práce ve formátu PDF a DOC

Modely šíření – obsahuje zdrojové kódy vytvořené v programu Matlab

Důležité – obsahuje informace o funkčnosti vytvořeného programu

5.2 Popis souborů v adresáři Modely šíření

Následující tabulka popisuje obsah adresáře Modely šíření a popis k jednotlivým souborům. Jelikož program neustále zapisuje do souboru VALUE.mat, je vhodné umístit adresář Modely šíření např. na pracovní plochu počítače, jinak nebude program plně funkční.

Tab. 5.1: Seznam souborů v adresáři Modely šíření

Název souboru	Popis
BTS.fig	formulář pro nastavení parametrů outdoor prostředí
BTS.m	nastavení grafických parametrů outdoor modelů
bts_cost231hata.m	výpočet ztrát šíření pro model COST231 Hata pro soubor BTS.m
bts_multislope.m	výpočet ztrát šíření pro model Multislope pro soubor BTS.m
bts_pedestrian.m	výpočet ztrát šíření pro model Pedestrian pro soubor BTS.m
bts_vehicular.m	výpočet ztrát šíření pro model Vehicular pro soubor BTS.m
hexagon_grid	generuje šestiúhelníkovou mřížku pro outdoor modely
hexagon_grid_hata	generuje šestiúhelníkovou mřížku jen pro model COST231 Hata
indoormodel.m	výpočet ztrát šíření pro indoor prostředí
Indoormodely.fig	formulář pro nastavení parametrů indoor prostředí
Indoormodely.m	nastavení grafických parametrů indoor modelů
modelysireni.fig	formulář pro nastavení parametrů jednotlivých modelů
modelysireni.m	výpočet ztrát šířením jednotlivých modelů
VALUE.mat	slouží k uložení hodnot zadaných v souboru modelysireni.m

6 ZÁVĚR

Bakalářská práce popisuje mobilní komunikační systémy GSM, UMTS. Byla prostudována problematika šíření vln v zástavbě i volném prostoru a byly popsány faktory působící na tuto vlnu. Byly popsány možné scénáře, které mohou nastat při šíření signálu mezi základnovou stanicí a mobilní stanicí. Z popsaných modelů šíření, které slouží pro predikci rozložení útlumu signálu na trase v různém prostředí (indoor/outdoor), je možné jednoznačně určit, jak parametry prostředí ovlivňují šíření signálu.

Teoretické poznatky získané touto prací je možné ověřit v programu, který byl vytvořen v grafickém prostředí programu Matlab a simuluje ztráty šířením podle vybraného modelu a podle zvoleného prostředí. Jsou zde také srovnány vlastnosti jednotlivých modelů podle výsledků provedené simulace. Z výsledků simulace je patrné, že útlum signálu je větší v zastavěných oblastech než v méně zastavěných. Nejméně je signál utlumen, pokud se šíří volným prostorem. Program je možné i nadále rozšiřovat. Pro outdoor prostředí např. o simulaci útlumu ve vybrané reálné oblasti (při použití mapových podkladů z OpenStreet map) a srovnání s naměřenými hodnotami. Pro indoor prostředí např. ze známé struktury zástavby a rozmístění objektů lze zjistit přesnější hodnotu útlumu. Toto rozšíření programu je ale nad rámec zadání této bakalářské práce.

LITERATURA

- [1] SLANINA, M.; LÁČÍK, J.; LUKEŠ, Z.; URBANEC, T.; PETRŽELA, J.; FRÝZA, T.; MARŠÁLEK, R.; HANUS, S.; DORDOVÁ, L.; KASAL, M.; KOLKA, Z.; KRATOCHVÍL, T.; DŘÍNOVSKÝ, J. *Moderní bezdrátová komunikace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. s. 1-170. ISBN: 978-80-214-4156- 9.
- [2] PROKOPEC, J. *Systémy mobilních komunikací: sítě pro mobilní datové služby*. Skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2012, ISBN 978-80-214-4498-0.
- [3] SNÁŠEL, J. Antény systému GSM. [online]. 2004 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <<http://www.elektrorevue.cz/clanky/04031/index.html#top>>
- [4] HLÍDEK, J a R BEŠŤÁK. Popis technologie mobilních sítí HSUPA. [online]. 2010 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2010030002>>
- [5] NERUDA, M. Technologie HSDPA. [online]. 2009 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <<http://access.feld.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009020003>>
- [6] ČERNOHORSKÝ, D., NOVÁČEK, Z., RAIDÁ, Z. *Elektromagnetické vlny a vedení*. 2. rozšířené a přepracované vydání. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 1999. ISBN 80-214-1261-5.
- [7] ČERNOHORSKÝ, D., NOVÁČEK, Z. *Navrhování rádiových spojů*. Skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 1992
- [8] PECHAČ, P. *Šíření vln v zástavbě*. Praha: BEN, 2005. ISBN 80-7300-186-1
- [9] HAAS, E. Multipath Propagation [online]. [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://www.kn-s.dlr.de/People/Haas/Welcome/Welcome_us.html>
- [10] DAMOSSO, E. Digital mobile radio towards future generation systems: COST action 231 [online]. Brussels: European Commission, 1999 [cit. 2012-12-12]. ISBN 92-828-5416-7. Dostupné z: <<http://www.scribd.com/doc/17124892/COST-231-Digital-Mobile-Radio-Towards-Future-Generation-Systems>>
- [11] Ghassemloooy, Z. Mobile Communications Part IV-Propagation. [online]. [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <<http://www.slidefinder.net/p/partiv-p2-v1/32123562>>
- [12] WIKIPEDIA. Rayleigh fading. [online]. 2009 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://en.wikipedia.org/wiki/Rayleigh_fading>
- [13] POLÁK, L. Simulace mnohacestného šíření vícestavových modulací. [online]. 2009 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <<http://www.elektrorevue.cz/cz/download/simulace-mnohacestneho-sireni-vicestavovych-modulaci>>
- [14] RAPPAPORT, Theodore S. *Wireless communications: principles and practice*. 2nd ed. Upper Saddle River, N. J.: Prentice Hall PTR, c2002, 707 p. ISBN 01-304-2232-0.
- [15] HATA, M. Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 1980, vol. VT-29, no. 3, p. 317-325
- [16] RAJ, J. Wireless Physical Layer Concepts: Part III. [online]. 2008 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z: <http://www1.cse.wustl.edu/~jain/cse574-08/ftp/j_5phy/sld001.htm>
- [17] KLOZAR, L.; PROKOPEC, J. Wireless Network Localization. In *Proceedings of the 7th International Conference on Digital Telecommunications, ICDT 2012*. Chamonix, France: IARIA, 2012. s. 45-49. ISBN: 978-1-61208-018- 5.

- [18] Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000, ITU-R, Recommendation ITU-R M. 1225. [online]. 1997 [cit. 2012-12-12]. Dostupné z:< http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/m/R-REC-M.1225-0-199702-I!!PDF-E.pdf>
- [19] HANUS, S. *Rádiové a mobilní komunikace III*. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2013

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

GSM	Global System for Mobile Communications
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
IMT-2000	International Mobile Telephone year 2000
ITU	Mezinárodní telekomunikační unie
3G	Třetí generace
4G	Čtvrtá generace
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
GPRS	General Packet Radio Service
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
GMSK	Gaussian Minimum Shift Keying
TDMA	Time Domain Multiple Access
FDMA	Frequency Domain Multiple Access
FDD	Frequency Domain Duplex
PGSM	Primary GSM
ARFCN	Číslo rádiového kanálu
E-GSM	Extended GSM
BTS	Základnová stanice
BSC	Základnová řídicí jednotka
MSC	Mobilní rádiová ústředna
C/I	Carrier to Interference
CDMA	Mnohonásobný přístup s kódovým dělením
RNC	Rádiový kontrolér
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
HARQ	Hybrid Automatic Repeat reQuest
E-DCH	Transportní kanál
E-DPDCH	Fyzické datové kanály
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HS-DSCH	High Speed Downlink Shared Channel
SF	Činitel rozprostírání

AMC	Adaptive Modulation and Coding
CQI	Channel Quality Indication
S/N	Signal to noise ratio
FEC	Forward Error Correction
ARQ	Automatic Repeat reQuest
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
16-QAM	Sixteen Quadrature amplitude modulation
ITU-R	International Telecommunication Union Radiocommunication Sector
FSL	Ztráty volným prostorem
AWGN	Bílý Gaussovský šum