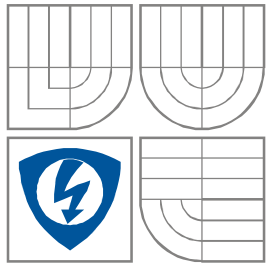


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

FEMTO BUŇKY V MOBILNÍCH SÍTÍCH NOVÝCH GENERACÍ

FEMTO CELLS IN NEXT GENERATION MOBILE NETWORKS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Jan Bernkopf

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. Stanislav Hanus, CSc.

BRNO, 2010

ABSTRAKT

Tato práce se zabývá teoretickým rozbohem LTE sítí a Femto buněk. Rozebírá jejich modulační a přenosové techniky, jejich výkon a v neposlední řadě implementaci Femto buněk do LTE makrovrstvy. Dále popisuje riziko interferencí mezi LTE sítí a Femto buňkami a možný způsob jak interference řešit a modelovat. V neposlední řadě uvádí simulaci a rozbor modelových situací.

KLÍČOVÁ SLOVA

Femto buňka, LTE, Wimax, MIMO, CDMA

ABSTRACT

This paper provides theoretical analysis of LTE network and Femto cells. It presents their modulation and transition techniques, their performance and of course implementation of Femto cells into LTE macro-layer. It also describes potential risk of interference between LTE macro-layer and Femto cells and provides the way how to solve and simulate interference. Finally it states simulation and analysis of model situations.

KEYWORDS

Femto cell, LTE, Wimax, MIMO, CDMA

BERNKOPF, J. *Femto buňky v mobilních sítích nových generací: semestrální projekt*. Brno: FEKT VUT v Brně, 2010. 33 s.

Prohlášení

Prohlašuji, že svůj semestrální projekt na téma Femto buňky v mobilních sítích nových generací jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu 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 uvedeného semestrálního projektu dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením tohoto projektu jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne 18. května 2011

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrálního projektu prof. Ing. Stanislav Hanus, CSc. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mého semestrálního projektu.

V Brně dne 18. května 2011

.....
podpis autora

Obsah:

SEZNAM OBRÁZKŮ:	2
SEZNAM TABULEK:	3
SEZNAM ROVNIC:	4
1 ÚVOD	5
1.1 Síť LTE	5
1.1.1 Požadavky na LTE síť	6
1.1.2 Výkon	7
1.1.3 MIMO (Multiple Input Multiple Output)	8
1.1.4 Modulace	9
1.1.5 FDD a TDD duplex	12
1.1.6 Mnohonásobný přístup	13
1.2 Femto buňky	13
1.2.1 Krátká historie	14
1.2.2 Release 8	15
1.2.3 Femto buňky a Wimax	15
1.3 Interference	15
2 SIMULACE	17
2.1 Základní parametry a předpoklady	17
2.2 Požadavky na úroveň signálu	17
2.3 Modely šíření signálu	18
2.3.1 Model ITU-R P.1238	18
2.3.2 Model Hata	19
2.3.3 Model COST 231 LOS	20
2.3.4 Model COST 231 NLOS	22
2.3.5 Realizace modelů a simulace v programu matlabu	23
2.4 Výsledky simulací v programu MATLAB	24
2.4.1 Výsledky simulace pro Femto vrstvu	24
2.4.2 Výsledky simulace pro Makro vrstvu.....	27
2.5 Doporučení pro použití Femto buněk	29
3 SIMULACE NA CD	29
3.1 Struktura CD	29
3.2 Popis souborů v adresáři Matlab	30
4 ZÁVĚR	31
SEZNAM ZKRATEK	32
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	33

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obr. 1.1	Vývoj mobilních technologií.....	6
Obr. 1.2	Princip OFDM.....	9
Obr. 1.3	Princip SC-FDMA.....	11
Obr. 1.4	LTE symbol [1].....	11
Obr. 1.5	Uplink, downlink – dvousměrná komunikace.....	12
Obr. 1.6	FDD – Frekvenčně dělený duplex.....	12
Obr. 1.7	TDD – Časově dělený duplex.....	13
Obr. 1.8	Přidělování subnosných v čase [1].....	13
Obr. 1.9	Femto buňka blokově [1].....	14
Obr. 2.1	COST231 LOS model – základní geometrie (půdorys).....	21
Obr. 2.2	COST231 NLOS Model – základní geometrie (bokorys).....	22
Obr. 2.3	Simulační mapa.....	24
Obr. 2.4	Kompozitní pokrytí Femto vrstvy.....	25
Obr. 2.5	Poměr signálu k interferenci pro druhou Femto buňku.....	26
Obr. 2.6	Poměr signálu k interferenci pro šestou Femto buňku.....	26
Obr. 2.7	Kompozitní pokrytí Makro vrstvy.....	27
Obr. 2.8	Poměr signálu k interferenci pro třetí makro přístupový bod.....	28
Obr. 2.9	Poměr signálu k interferenci pro čtvrtý makro přístupový bod.....	28

SEZNAM TABULEK:

Tab. 1.1	Maximální přenosové rychlosti při ideálních podmínkách	7
Tab. 1.2	Maximální přenosové rychlosti při reálných podmínkách	7
Tab. 2.1	Srovnání přenosových rychlostí, citlivostí a S/N pro modulace Wimax.....	17
Tab. 2.2	Hodnoty pro parametr n (-).....	19
Tab. 2.3	Hodnoty pro parametr $L_f(k_f)$	19
Tab. 2.4	COST231 LOS model – doporučené parametry.....	22
Tab. 2.5	COST231 NLOS model – doporučené parametry.....	23
Tab. 2.6	Realizace modelů šíření v matlabu	23
Tab. 3.1	Seznam použitých zdrojových souborů pro matlab.....	30

SEZNAM ROVNIC:

Rovnice 2.1	Vzorec pro výpočet S/I.....	18
Rovnice 2.2	Střední hodnota útlumu šířením pro model ITU-R P.1238	18
Rovnice 2.3	Střední hodnota útlumu šířením pro model COST231 Hata	19
Rovnice 2.4	Střední hodnota útlumu šířením pro model COST 231 LOS	21
Rovnice 2.5	Střední hodnota útlumu šířením pro model COST 231 NLOS	22
Rovnice 2.6	Útlum vlivem šíření volným prostorem.....	23

1 ÚVOD

Jak je patrné z názvu, tato diplomová práce se zabývá Femto buňkami. Konkrétně implementací Femto buněk v sítích LTE (Long Term Evolution) jako je například Wimax. Využití tohoto nového standartu v mobilních komunikacích se očekává po roce 2010 a postupně, spolu se stávající 3G sítí, se předpokládá že úplně nahradí dosud nejvyužívanější síť GSM.

Ačkoli stávající 3G síť, UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), nabízí menší přenosovou rychlost (v porovnání s LTE) v obou směrech, i menší flexibilitu použití, očekává se její budoucí součinnost se sítěmi LTE. Femto buňky i síť LTE si blíže popíšeme v následujících kapitolách.

V diplomové práci jsem se zaměřil na teoretický rozbor a simulaci problematiky týkající se Femto buněk, Makro vrstvy, jejich vzájemným vztahům a koexistence. Výsledky simulací a doporučení pro využití Femto buněk jsou uvedeny v poslední části této práce.

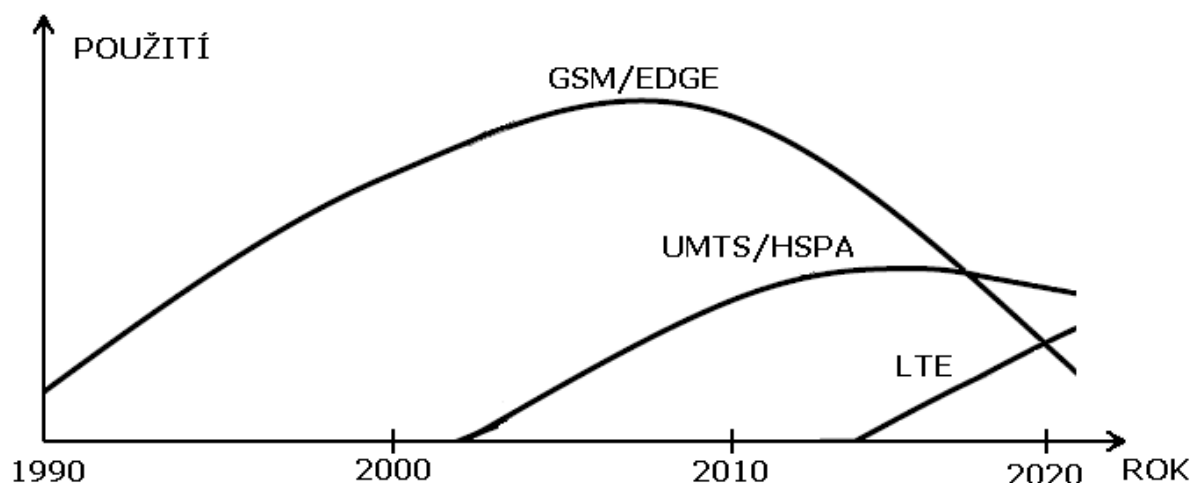
V oblasti elektroniky a komunikací je hlavním dorozumívacím jazykem angličtina. Ve své diplomové práci se tohoto faktu držím a v případě pojmů, pro které neexistuje zažitý český výraz, nechávám tyto pojmy v původním znění.

1.1 Síť LTE

Díky současným požadavkům na stále vyšší přenosové rychlosti v obou směrech, jejich širokopásmovosti a práci na bázi IP jsou výrobci a operátoři nuceni své technologie neustále vylepšovat. LTE představuje další významný krok ve vývoji sítí třetí generace, který má svůj počátek u standardu UMTS. Tento standard byl vyvinutý na základě zvyšujícího se požadavku na kapacitu sítě a jejího levného zefektivnění.

Další stupeň vývoje bylo vylepšení UMTS na HSDPA (Hight Speed Downlink Packet Access) a HSUPA (Hight Speed Upnlink Packet Access), zkráceně HSPA (Hight Speed Packet Access). Dalším krokem k zvyšování kapacity a propustnosti sítě je vylepšení HSPA na LTE.

LTE koncept předpokládá dlouhý vývoj, jak nám prozrazuje název „long term evolution“, který vede až k sítím čtvrté generace (Wimax). Relativní zavádění technologií v horizontu desetiletí je vidět na následujícím obrázku.



Obr. 1.1 Vývoj mobilních technologií

1.1.1 Požadavky na LTE síť¹

Výsledné požadavky na LTE definované v Release 8 jsou následující:

Propustnost:

- Maximální rychlost downlinku (rychlost stahování) je 356 Mb/s při šířce pásma 20 MHz, 3 až 4 krát větší než u HSDPA (release 6).
- Maximální rychlost uplinku (rychlost odesílání) je 86.4 Mb/s při šířce pásma 20 MHz, 2 až 3 krát větší než v Enhanced Uplink (Release 6).

Spektrální účinnost:

- Downlink: ve vytižené síti je cíl pro spektrální účinnost (bit/sec/Hz) 3 až 4 krát větší než u HSDPA (release 6).
- Uplink: ve vytižené síti je cíl pro spektrální účinnost 2 až 3 krát větší než u Enhanced Uplink (Release 6).

Čekací doba (Control-plane latency):

- Přechod z neaktivního do aktivního stavu za méně než 100 ms.
- Odezva menší než 5 ms při odesílání malého IP paketu.

Mobilita:

- E-UTRAN by měl být optimalizován pro nízké rychlosti 0 – 15 km/h
- Větší vozidlové rychlosti mezi 15 – 120 km/h budou podporovány vysokými přenosovými rychlostmi.
- Mobilita napříč buňkami by měla být dostupná při rychlostech 120 – 350 km/h (nebo i do 500 km/h, záleží na zvolené šířce pásma)

Pokrytí:

- Cíle propustnosti, spektrální účinnosti a mobility uvedené výše by měly být splněny

¹ V této kapitole vycházím z dokumentu *Overview of 3GPP Release 8 V0.0.6 (2009-04)*

pro buňky s dosahem 5 km a s mírnou degradací pro rádius 30 km. Buňky o velikosti 100 km nejsou vyloučeny.

Spektrální flexibilita :

- Měnitelnou šířkou pásma dle potřeby a možností prostředí 1.25, 1.6, 2.5, 5, 10, 15, a 20 MHz i jiné. S odstupem subnosných 15 kHz.
- Schopnost operovat na obou módech FDD (Frequency Division Duplex) i TDD (Time Division Duplex).

Kapacita:

- Kapacita nejméně 200 uživatelů na jednu buňku v aktivním stavu při uvažování 5 MHz spektra vyhrazenému jednomu uživateli.

Komplexnost:

- Minimalizovat počet možností nastavení.
- Žádné nadbytečné, povinné vybavení.

1.1.2 Výkon

V zájmu výkonu si LTE klade za cíl zvýšit spektrální účinnost (účinnost přenosu dat na určité frekvenční pásmo) oproti HSPA 3-4x v downlinku a 2-3x v uplinku. Dále snižuje dobu čekání (tzv. Latency) při přechodu z neaktivního režimu do aktivního na méně než 100 ms a efektivní dobu přenosu malého paketu na méně než 5 ms.

Spektrální efektivita úzce souvisí s maximální špičkovou přenosovou rychlostí, ať už jde o downlink nebo uplink. Skutečný výkon hodně závisí na podmínkách prostředí, ve kterých je LTE síť zrealizována. Uvažujeme-li ideální prostředí pro šíření signálu a použitou šířku pásma 20 MHz, jsme teoreticky schopni zajistit tyto přenosové rychlosti:

Tab. 1.1 Maximální přenosové rychlosti při ideálních podmínkách

Maximální downlink			
Konfigurace antény	SISO	MIMO 2x2	MIMO 4x4
Maximální přenosová rychlost [Mb/s]	100	172,8	326,4
Maximální uplink			
Modulace	QPSK	16QAM	64QAM
Maximální přenosová rychlost [Mb/s]	50	57,6	86,4

Ve skutečnosti však budou přenosové rychlosti znatelně nižší, následující tabulka ukazuje, jak by to mohlo být:

Tab. 1.2 Maximální přenosové rychlosti při reálných podmínkách

Konfigurace antény		MIMO 2x2	MIMO 4x2	MIMO 4x4
DL	Spektrální účinnost [bit/s/Hz]	1,6	1,9	2,8
	Maximální přenosová rychlost [Mb/s]	32	28	56
UL	Spektrální účinnost [bit/s/Hz]	0,8	0,9	1,3
	Maximální přenosová rychlost [Mb/s]	16	18	26

1.1.3 MIMO (Multiple Input Multiple Output)²

Během posledních let se začíná výrazně používat MIMO technologie v oblasti rádiové komunikace. Technika MIMO (2x2 nebo 4x4) je součástí sítí LTE. Její největší výhodou je významný nárůst datové propustnosti a dosahu při zachování šířky pásma a celkového výdeje vyzařovací energie. Obecně MIMO technologie zefektivňuje spektrální využití rádiových systémů. MIMO v rádiové komunikaci využívá fenoménu vícecestného šíření k zvýšení propustnosti a dosahu nebo k snížení počtu přenosových bitových chyb, místo snahy o eliminaci efektu vícecestného šíření, o kterou se snaží tradiční SISO (Single Input Single Output). MIMO technologie bývá používána ve spojení s OFDM.

MIMO můžeme rozdělit do tří kategorií: precoding, spatial multiplexing a diversity coding.

Precoding (před-kódování)

Je proces vícevrstvého tvarování signálu za účelem maximalizace přijímaného výkonu. Pro vysvětlení, jednovrstvé před-kódování znamená vysílání stejného signálu z každé antény s příslušnou fází (signál může být i zesílený) tak, aby se maximalizoval výkon na vstupu přijímače.

Jednovrstvé tvarování signálu však nemůže současně maximalizovat výkon na všech přijímacích anténách. Proto se používá vícevrstvého před-kódování, aby bylo dosaženo maximální propustnosti kanálu.

Spatial multiplexing (prostorové multiplexování)

Požaduje úpravu antén. V prostorovém multiplexování je posloupnost signálu rozdělena do více pomalejších posloupností. Každá tato posloupnost je vysílána z jiné antény, avšak na stejném frekvenčním kanálu. Pokud tyto signály dorazí z přijímací antény s dostatečným rozdílem (prostorovým kódem), přijímač je schopen oddělit tyto posloupnosti a vytvořit tak paralelní kanály pro každou z nich. Prostorové multiplexování je velice účinná technika pro zvýšení přenosové kapacity kanálu za předpokladu většího SNR (Signal to Noise Ratio). Maximální počet prostorových proudů je vždy menší než počet antén na přijímači či vysílači.

Diversity coding (Diversitní kódování)

Tato technika je používána pokud neznáme přenosový kanál. Princip spočívá ve vysílání jednoho signálu kódovaného tak zvaným space-time coding (časo-prostorové kódování). Diversitní kódování využívá nezávislého úniku při vysílání z více antén.

Prostorové kódování může být kombinováno s před-kódováním, pokud je znám přenosový kanál, nebo může být kombinováno s diversitním kódováním pokud je důležitá spolehlivost dekódování.

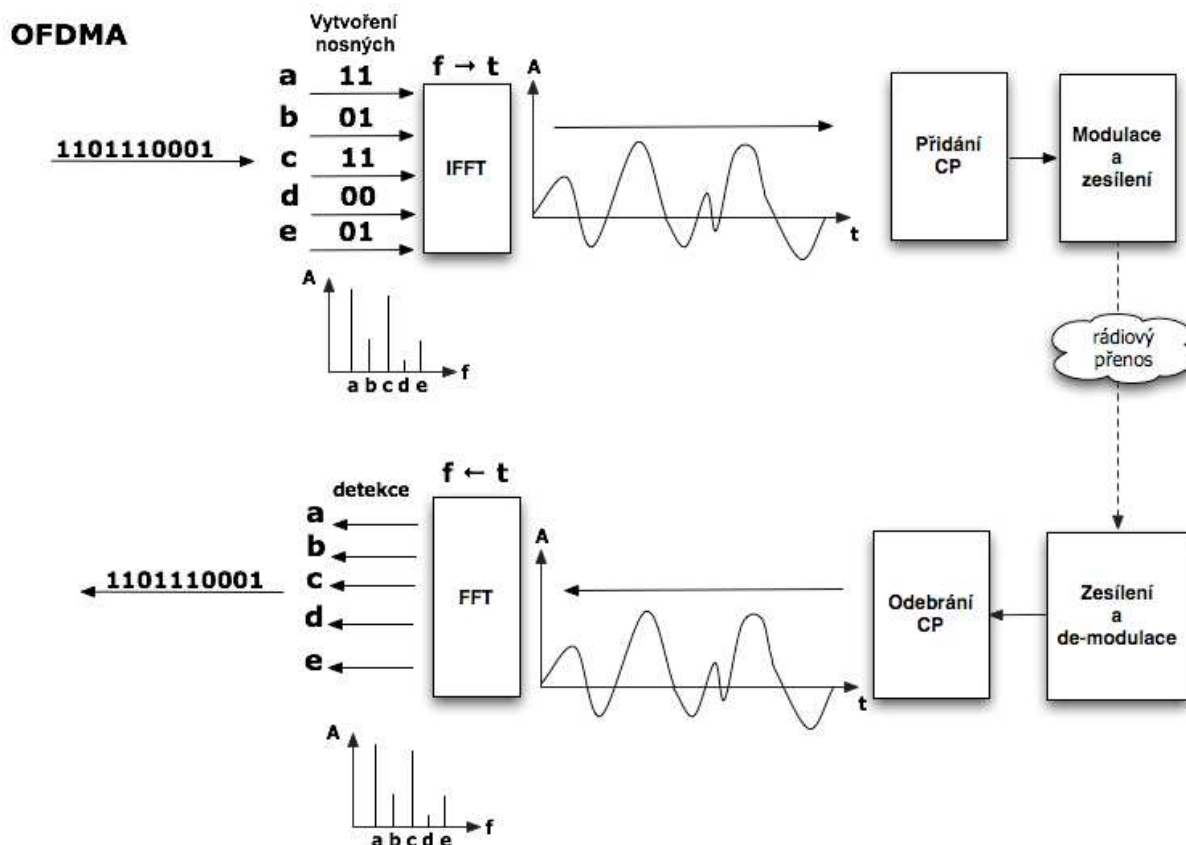
² V této kapitole vycházím z < <http://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>>

1.1.4 Modulace³

LTE používají pro downlink OFDM, ortogonální frekvenčně dělený multiplex, pro uplink se standardizační skupina 3GPP rozhodla pro SC-FDMA, (Single Carrier Frequency Division Multiple Access) - frekvenčně dělený vícenásobný přístup na jedné nosné. Označení SC-FDMA je částečně zavádějící, protože podobně jako u OFDM je i zde využíváno více subnosných.

OFDMA - Downlink

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) přenáší data využitím více nosných najednou, například 512, 1024 nebo ještě více v závislosti na použité popřípadě dostupné šířce pásma pro konkrétní kanál (tedy 5, 10, 15 či 20 MHz). Neboť je více bitů přenášeno současně, je také přenosová rychlost na každé nosné výrazně nižší, než výsledná rychlost dat. To je důležité z hlediska praktického použití v rádiovém prostředí, jelikož se snižuje vliv vícecestného šíření. Vícecestné šíření je způsobeno odrazem signálu od překážek. Tyto signály pak dorazí na přijímací antény v různých časech, což může způsobit zkreslení přijetí znaku, nebo i jeho úplnou ztrátu.



Obr. 1.2 Princip OFDM

Přenášená posloupnost bitů je rozdělena do velkého počtu paralelních větví. Každá paralelní větev je zvlášť mapována (např. 16QAM). Teoreticky by měl každou nosnou zpracovávat samostatný vysílač, ale protože je nosných opravdu hodně, není to zrovna praktické řešení. Místo toho použijeme matematickou transformaci, která převede frekvenční

³ V této kapitole vycházím z <<http://www.lupa.cz/clanky/budoucnost-rychlych-mobilnich-dat-hspa-a-lte/>>

oblast do oblasti časové. Jedná se konkrétně o Fourierovu transformaci. Můžeme si to představit následovně: Každá nosná je vysílána na jiné frekvenci, vytvoříme si tedy křivku, kde na osu X vynášíme frekvence a na osu Y amplituda každé nosné. Následně na takovýto průběh o pevné délce aplikujeme inverzní rychlou Fourierovu transformaci (IFFT). Tímto způsobem získáme z frekvenčních vzorků časové průběhy nazývané symboly. Ještě jsou přidány hlavičky CP (cyclic prefix, viz níže) před každý symbol, které zamezují rušení v rámci bloku symbolů a zvyšují odolnost proti vícecestnému šíření signálu. Signál je následně modulován na hlavní nosnou, patřičně zesílen a odvysílán.

Na straně přijímače (spodní část nákresu) je signál nejdříve demodulován a zesílen. Výsledný signál je pak přeměněn rychlou Fourierovou transformací (FFT) inverzně k předešle uvedenému postupu, čas opět nahradí frekvence. Tím dostáváme frekvenčně amplitudový diagram vytvořený původně na vysílači. Na frekvenci každé nosné jsou pak detekční funkcí generovány bity, které zde byly původně zakódovány.

Výhody OFDM

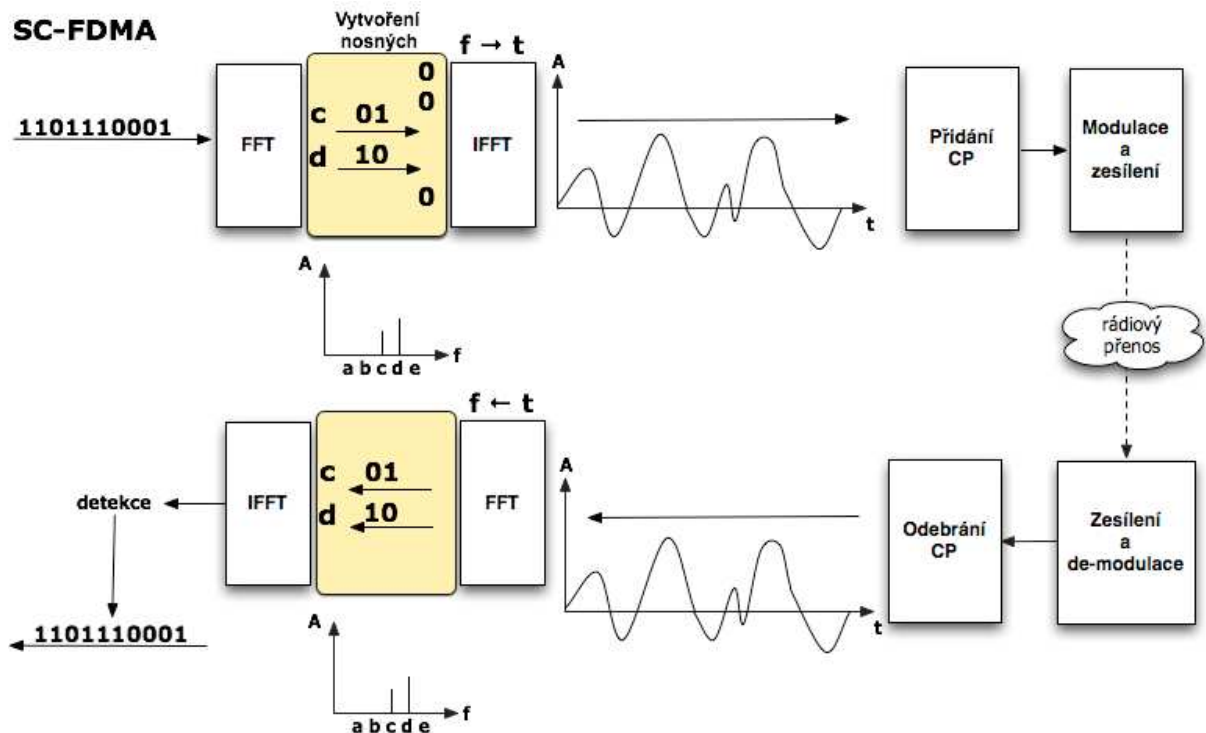
- Široký přenosový kanál je více odolný proti úniku a ekvalizace je mnohem jednodušší než u CDMA.
- OFDM je odolné proti vícecestnému šíření signálu díky dlouhé délce symbolu.
- OFDM je ideální pro implementaci MIMO systémů, kvůli jednoduchému párování vysílaných signálů do nekorelovaných vysokofrekvenčních kanálů.

Nevýhody OFDM

- Citlivý na chybu frekvence a fázový šum kvůli malému odstupu subnosných.
- Choulostivý vůči Dopplerovu jevu, který způsobuje interference mezi nosnými
- OFDM signál má vysoký PAPR (Peak to Average Power Ratio), tedy poměr špičkového a průměrného výkonu, proto je použit pouze pro downlink kde si můžeme dovolit vyšší odběr energie. Pro uplink je použito SC-FDMA, jelikož OFDM má díky vysokému PAPR i vysoké nároky na kapacitu baterii.

SC-FDMA - Uplink

SC-FDMA i přes svůj název (frekvenčně dělený vícenásobný přístup na jedné nosné) také přenáší data na více nosných, pouze přidává do celého výše uvedeného procesu další kroky.

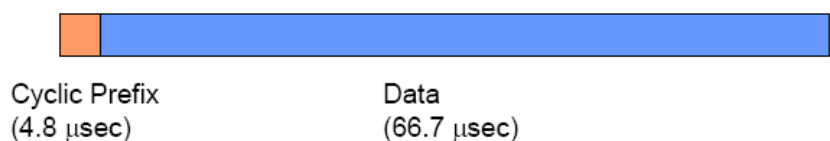


Obr. 1.3 Princip SC-FDMA

Místo toho, aby byly čtyři bity použity k vytvoření signálu pro subnosné, jako je tomu u OFDM, rozprostřou se informace přes všechny subnosné. To se zajistí tak, že určitý počet bitů (například 4 při 16QAM modulaci) se seskupí dohromady. U OFDM by tato skupina bitů prošla FFT, v případě SC-FDMA je na ní aplikována rychlá Fourierova transformace (FFT). Výsledkem tohoto postupu je báze dat, která je použita pro vytvoření subnosných. Ty jsou už jako v případě OFDM převedeny pomocí IFFT z frekvencí na čas. Ne všechny subnosné jsou použity a v diagramu jsou udávány jako nula. Tyto podnosné mohou být použity jinými účastníky. Dále se stejně jako u OFDM přidá CP před každý symbol, signál je modulován, zesílen a odvílán.

Na straně přijímače je signál demodulován, zesílen, je odebrán CP a výsledek projde rychlou Fourierovou transformací (FFT) tak jako u OFDM. Výsledný amplitudový diagram ovšem není analyzován přímo, aby z něj byla získána přenášená data, ale je na něj aplikována inverzní rychlá Fourierova transformace (IFFT). Výsledkem je signál orientovaný časově, ten projde blokem detektoru, jenž z něj obnoví přenášená data. Tímto je použit pouze jeden detektor na jedné nosné, místo toho, aby byly detekovány bity na více subnosných. Z tohoto vychází zkratka SC-FDMA.

Odstup subnosných je 15kHz a je konstantní bez ohledu na šířku pásma kanálu, aby se zabezpečila činnost v různých spektrech. Šířka pásma přenosového kanálu je proto určena počtem subnosných. Před každý symbol je přidán CP jako ochranná doba v případě vícecestného šíření a mezisymbolovou interferencí.



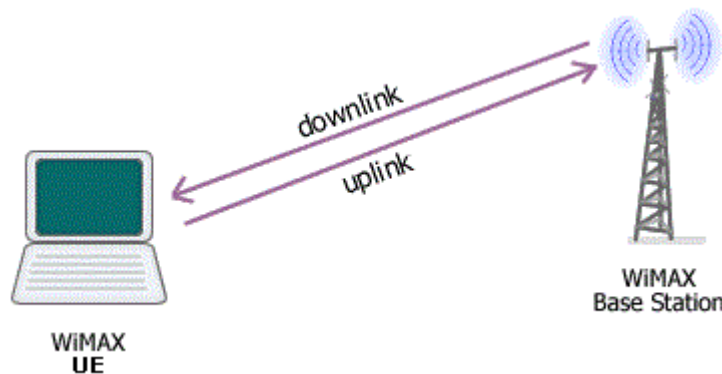
Obr. 1.4 LTE symbol [1]

Rozdíl mezi OFDM a SC-FDMA

OFDM zpracovává skupinu vstupních bitů, z nich jsou vytvořeny subnosné a ty jsou zpracovány IFFT tak, aby z nich vznikl časový signál. SC-FDMA oproti tomu nejprve provede FFT na skupině vstupních bitů, aby je rozprostřela mezi všechny subnosné, a pak použije výsledek pomocí IDFT k vytvoření časového signálu. Kvůli této odlišnosti se někdy také SC-FDMA označuje jako DFT-spread nebo DFT-precoded OFDM, tedy rozprostření pomocí diskretní Fourierovi transformace.

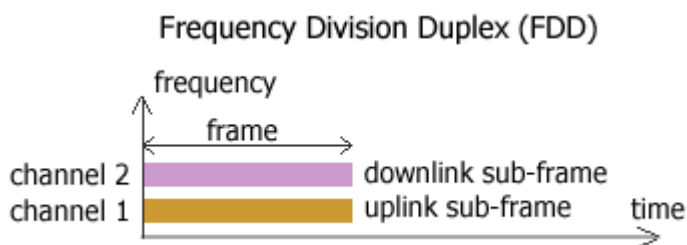
Vidíme zřetelně, že toto rozprostírání přidává další nároky jak na straně vysílače, tak přijímače. Otázka je, proč toto řešení bylo zvoleno v LTE. Důvod je jednoduchý: snížení PAPR. Tento poměr je u samotného OFDM příliš vysoký, což znamená nejenom vyšší nároky na baterie telefonu, ale také riziko zarušení vlastní sítě zbytečně vysokým vysílacím výkonem. Právě použitím SC-FDMA se poměr PAPR významně snižuje, čímž dochází k úspoře baterií, avšak také ke snížení přenosové rychlosti na uplinku.

1.1.5 FDD a TDD duplex

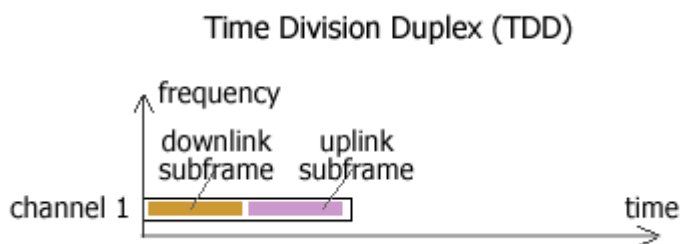


Obr. 1.5 Uplink, downlink – dvousměrná komunikace

Obecně FDD a TDD popisuje způsob obousměrného nezávislého přenosu dat tzv. Duplex. Jedná se možnost přístupu pomocí odlišných frekvencí pro uplink a downlink nebo pro přístup na jednu frekvenci v různém čase. Pro metodu TDD potřebuje operátor pouze jednu frekvenci, kterou dále dělí v čase. Na časové ose se mění časové intervaly (time slots) pro uplink a downlink. Tato metoda umožňuje libovolně nastavit poměr pro uplink a downlink. Na tomto principu je založena starší síť GSM. Metoda FDD využívá 2 frekvencí pro odlišné směry komunikace, používá frekvenci v páru.



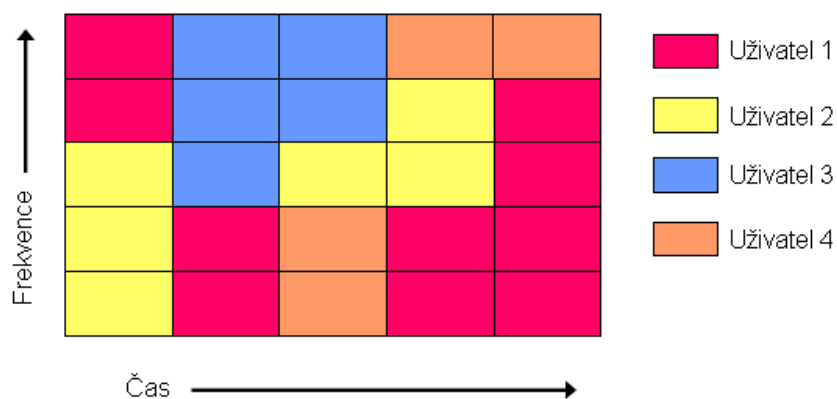
Obr. 1.6 FDD – Frekvenčně dělený duplex



Obr. 1.7 TDD – Časově dělený duplex

1.1.6 Mnohonásobný přístup

Je celkem logické, že celé pásmo 20 MHz nemůže být přiděleno jedinému uživateli po dobu kdy využívá síť, proto je nezbytné koordinovat přístup a pásmo i čas rozdělit mezi všechny uživatele. Mnohonásobný přístup OFDMA je založen na přidělování odlišných nosných různým uživatelům. Toto přidělování probíhá v přesně stanovených časových intervalech. Způsob, jakým by mohly být subnosné distribuovány, je na obrázku číslo 1.5.



Obr. 1.8 Přidělování subnosných v čase [1]

Minimální blok, který může systém přiřadit uživateli, se skládá z dvanácti subnosných a deseti symbolů, což odpovídá zhruba jedné milisekundě.

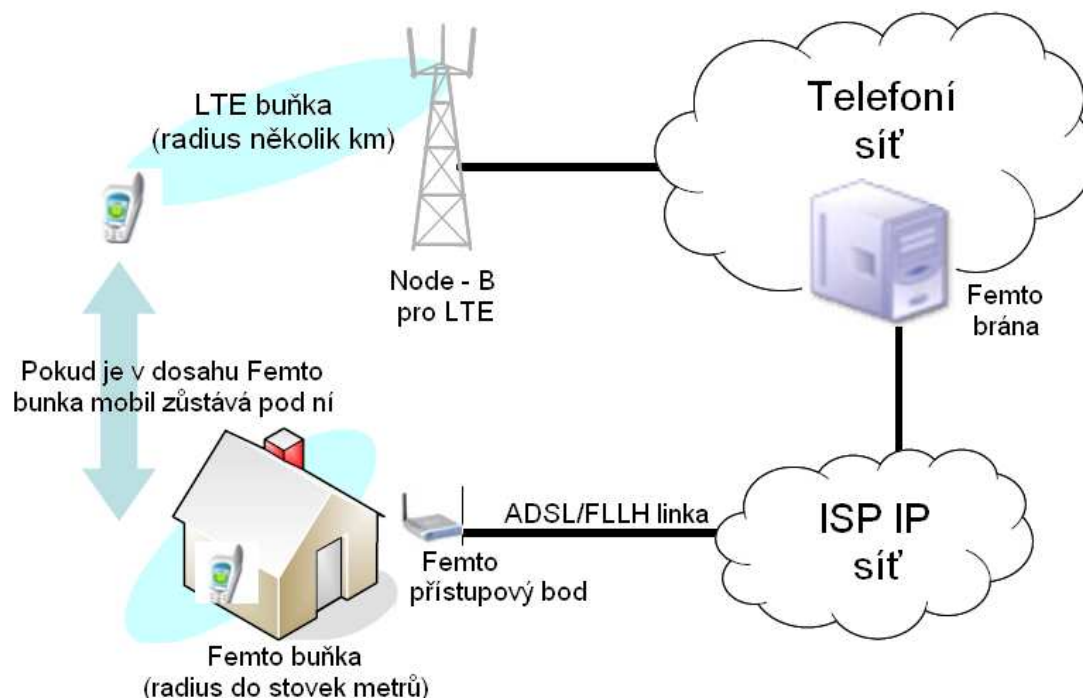
1.2 Femto buňky

Femto buňky je možné chápat jako „domácí základové stanice“. Jsou to přístupové body (dále AP – Access Point), které zajišťují spojení mobilních přístrojů se sítí operátora prostřednictvím kabelového připojení.

Hlavním cílem Femto buněk je poskytování kvalitních a rychlých mobilních služeb, které budou schopné koexistovat se sítěmi starších generací. Uvedení Femto buněk do mobilního průmyslu přinese velké změny jak pro zákazníky tak pro operátory, kteří síť staví a projektují. Výhody pro obě strany, ať už pro zákazníka, nebo pro operátora, jsou značné. Avšak s novou technologií přichází i určité překážky a problémy, které je před samotným zavedením nutné vyřešit.

Způsob přenosu, modulace a přístupu bude u Femto buněk řešen stejně jako u LTE sítí. Uživatelský terminál (UE – User Equipment) bude jednodušší, jelikož nemusí podporovat dva způsoby přenosu. V tom případě může být levnější, menší a lehčí.

Vzhledem k tomu, že UE by měli podporovat i sítě starších generací, jako například GSM, další způsob přístupu a zpracování signálu by mohl přístroj velmi zkomplikovat. Nevýhodou ovšem zůstává fakt, že může docházet k interferencím nejen mezi Femto buňkami, ale i mezi Femto buňkami a LTE makrovrstvou.



Obr. 1.9 Femto buňka blokově [1]

Femto buňky budou v síti LTE fungovat jako její podvrstva. Pro názornost si můžeme LTE představit jako dnešní GSM, která pokrývá veškerý prostor. Všichni účastníci se mohou připojit k této makrovrstvě odkudkoli. Femto buňky budou nainstalovány v domácnostech a na nejvytíženějších místech. Jakmile se účastník ocitne pod svojí soukromou Femto buňkou, nebo pod veřejnou, přepne jeho zařízení (UE) pod tuto Femto buňku, kde bude mít garantovanou přenosovou rychlost a levnější tarif. Tímto se do značné míry odlehčí zátěži makrovrstvy LTE a zvýší se její propustnost.

1.2.1 Krátká historie

První společnost, která se zabývala konceptem „domácích základových stanic“ byla Alcatel-Lucent v roce 1999. V roce 2002 společnost Motorola uvedla první produkt (domácí základovou stanicí) využívající princip mobilních sítí třetí generace (3G), nicméně až v roce 2005 vešel tento koncept do širšího podvědomí. V roce 2006 byl zformován pojem Femto buňka. V únoru 2007 na mezinárodním kongresu (3GSM World Congress) v Barceloně předvedlo velké množství firem koncept Femto buněk a oznámilo jejich budoucí testy. V červnu 2007 prof. Simon Saunders založil Femto Fórum aby zajistil standardizaci a další rozšiřování tohoto konceptu po celém světě.

V současné době obsahuje fórum přes 70 hardwarových a softwarových výrobců a mobilních operátorů. Femto buňky se staly věhlasnou technologií v letech 2007-2008. Podle nedávného průzkumu trhu, provedeného firmou ABI Research, by do roku 2011 mělo být prodáno na 32 miliónů Femto buněk.

Rozvinutí sítí LTE pravděpodobně přijde spíše z interiéru právě díky Femto buňkám než z venkovních Makro buňek. Femto buňky jsou také velmi slibnou technologií pro využití nejen v domácnostech ale i ve firmách.

1.2.2 Release 8

Je dokument zabývající se dalším vývojem HSPA s využitím MIMO technologií a použití modulace 64 QAM. Specifikuje LTE používající OFDMA přístup definovaný 3GPP.

3GPP je partnerský projekt třetí generace. Cílem 3GPP bylo vyvinout síť třetí generace (3G) mobilních telefonů.

V Release 8 definovala 3GPP celý nový základ sítě nazvaný ESP (Evolved Packet System). Klíčové vlastnosti a charakteristiky ESP jsou:

- Redukce doby čekání, vyšší propustnost a výkon a jednodušší architektura.
- Spolupráce a komunikace s GSM/UMTS sítí.
- Schopnost integrovat sítě, které nejsou součástí 3GPP jako například WiMAX.
- Všechny služby budou zajišťovány přes IP.

1.2.3 Femto buňky a Wimax

Předpokládá se, že Femto AP a Wimax základové stanice budou používat stejnou frekvenci.

Obecně všechny venkovní základové stanice mají problém s penetrací do budov kvůli vysokým ztrátám při průchodu zdí. Jelikož výkon základové stanice nelze zvyšovat bez omezení, přichází na řadu Femto buňka.

Existující příklad Femto buňky je Wifi AP (pokrytí okolo 100 m v poloměru). Úspěch WiFi inspiroval operátory, kteří začali vyvíjet levné Femto AP pro pokrytí malých oblastí. V ideálním případě by Femto AP měl být levné a jednoduché zařízení typu plug-and-play (připoj a užívej)

Femto AP má mnoho výhod oproti ostatním technologiím:

- jsou cenově výhodnější pro použití v budovách, jelikož budou instalovány na místech, kde je jich nejvíce potřeba
- mobilní operátoři sníží náklady na zajišťování dostatečné propustnosti v makro vrstvě, protože Femto buňky jsou do sítě připojeny pomocí kabelového poskytovatele internetu.
- zákazník může počítat s větší přenosovou rychlostí, kvalitou spojení a větší výdrž baterie UE protože není nucen se připojovat k venkovní makro základové stanici.
- uživatel nebude potřebovat více zařízení pro různé typy spojení ale postačí pouze jeden UE

v budoucnosti bude možnost zavést nové služby jako je třeba určování polohy v budově apod.

1.3 Interference

Přístupové body pro Femto buňky budou instalovány v domovech zákazníků a v dalších nekontrolovaných prostředích, proto je důležité brát v úvahu potenciální interference, který

mohou nastat. AP mohou používat stejné přenosové pásmo jako makrovrstva nebo odlišné přenosové pásmo. Oba způsoby mají své výhody a nevýhody, avšak sdílí jeden stejný problém a to interferenci.

Existují dva hlavní scénáře pro interferenci:

- Pokud budeme přidávat do LTE makrovrstvy Femto buňky, bude se zvyšovat propustnost. Protože však spojení může být zajišťováno ve stejném frekvenčním pásmu a stejnými technikami přístupu, bude se při zvyšujícím počtu Femto buněk zvyšovat také interference, až bude interference natolik velká, že již další přidávání Femto buněk nebude zvyšovat propustnost, ba naopak ji může snížit. Proto je nutné zvolit jistou hranici, kdy ještě Femto buňky pomůžou LTE vrstvě a kdy již ne.
- Další problém by mohla být interference mezi samotnými Femto buňkami. Nasazení Femto buněk se totiž předpokládá pro domácí uživatele, takže rozmístění buněk bude záviset na soukromé osobě. Femto buňky se mezi sebou mohou rušit. V takovém případě je nutné implementovat do Femto ústředěn mechanismus, který při zjištění zvýšené interference provede určité vyhrazení subnosných, a to v obou buňkách. Například oba Femto AP náhodně vyčlení některé subnosné.

Femto buňky jsou slibná technologie, která rozšíří pokrytí v domácnostech a jiných uzavřených prostorách. Avšak jsou tu jisté záležitosti ohledně interferencí, které je nutno opatrně vyřešit.

2 SIMULACE

Celá simulační analýza je provedena v programu Matlab. Pro simulaci jsem si vytvořil vlastní rozložení budov, Femto buněk a Makro buněk tak, abych postihl co nejvíce možných scénářů. Do simulačního programu jsem nezapočítával okna v budovách ani jiné zeslabené části budov.

2.1 Základní parametry a předpoklady

- Makro vrstva i femto vrstva budou používat stejné kmitočtové pásmo. Půjde tedy o rušení na stejném kanálu.
- Použitá frekvence bude 2,1 GHz.
- Použité propagační modely budou:

Indoor to Indoor	ITU P.1238
Outdoor to Outdoor	Hata
Outdoor to Indoor	COST231 NLOS
Indoor to Outdoor	COST231 LOS
- Nutno počítat, že 10% výkonu připadne na pilotní signál a signalizaci. Zbytek jsou provozní kanály.

Makro buňka

- Přídavný útlum proniknutí 20 dB
- Rozlišení simulace (rastr) 9 m
- Maximální výkon $P_{wMax} = 43$ dBm

Femto buňka

- Útlum venkovních stěn 15 dB
- Rozlišení simulace (rastr) 9 m
- Maximální výkon $P_{wMax} = 23$ dBm

2.2 Požadavky na úroveň signálu

Níže v tabulce jsou uvedeny minimální výkony pro Wimax při dané paketové chybovosti $PER = 10^{-2}$ a modulaci. Je zde také uvedeno, jaké přenosové rychlosti jsme schopni dosáhnout při dané šířce přenášeného pásma. Poměr uvedený za názvem modulace označuje poměr pro kanálové kódování FEC.

S tabulky můžeme vyčíst minimální citlivost potřebnou pro zajištění spojení, která je -103 dBm. Optimální úroveň signálu je zhruba od -80 dBm a výš, kdy jsme schopni použít modulaci, která nám zajišťuje vysokou propustnost spoje.

Tab. 2.1 Srovnání přenosových rychlostí, citlivostí a S/N pro modulace Wimax

Modulace	Pro šířku pásma B = 3 MHz			Pro šířku pásma B = 1,75 MHz		
	Přenosová rychlost	Citlivost [dBm]	S/I [dB]	Přenosová rychlost	Citlivost [dBm]	S/I [dB]
BPSK $\frac{1}{2}$	1,41 Mb/s	-100	5	0,71 Mb/s	-103	5
BPSK $\frac{3}{4}$	2,12 Mb/s	-98	7	1,06 Mb/s	-101	6
QPSK $\frac{1}{2}$	2,82 Mb/s	-97	9	1,41 Mb/s	-100	8
QPSK $\frac{3}{4}$	4,23 Mb/s	-94	11	2,12 Mb/s	-97	9
QAM 16 $\frac{1}{2}$	5,64 Mb/s	-91	15	2,82 Mb/s	-94	12
QAM 16 $\frac{3}{4}$	8,47 Mb/s	-88	17	4,24 Mb/s	-91	16
QAM 64 $\frac{2}{3}$	11,29 Mb/s	-83	21	5,65 Mb/s	-86	19
QAM 64 $\frac{3}{4}$	12,71 Mb/s	-82	23	6,35 Mb/s	-85	20

Poměr S/I budeme počítat podle následující rovnice

Rovnice 2.1 Vzorec pro výpočet S/I

$$S/I = 10 \log \frac{P_R}{P_I}$$

kde S/I je poměr signálu k interferenci (dB)

P_R střední hodnota užitečného výkonu (dBm)

P_I střední hodnota interferenčního výkonu (dBm)

2.3 Modely šíření signálu⁴

V této kapitole jsou popsány a rozebrány propagační modely použité při simulaci. Ve své práci se zabývám výhradně šířením signálu v zástavbě. Útlum šířením je dán v zásadě třemi složkami:

- Ztráty šířením – časově neproměnná složka závislá zejména na délce spoje a typu prostředí. Právě tato složka je popsána pomocí propagačních modelů.
- Pomalé úniky – při pohybující se mobilní stanici časově proměnná složka. Útlum je způsobený zastíněním spoje například terénem.
- Rychlé úniky – jsou silně proměnné v čase. To je způsobeno především vícecestným šířením signálu a dopplerovským posuvem potažmo pohybem uživatele a neustále se měnícím přenosovým prostředím.

2.3.1 Model ITU-R P.1238

Tento model šíření se používá pro výpočet ztrát šířením v interiéru (Indoor to Indoor). Střední hodnota útlumu při šíření ve Femto buňce pro vzdálenost menší než Fresnelův zlom je dána:

Rovnice 2.2 Střední hodnota útlumu šířením pro model ITU-R P.1238

$$L(d) = 20 \log f + 10n \log d + L_f(k_f) - 28$$

⁴ V této kapitole vycházím z knihy *Modely šíření vln v zástavbě*.

- kde $L(d)$ je predikovaná hodnota ztrát šířením (dB)
 d vzdálenost (m) mezi základovou stanicí a bodem pozorování ($d > 1$ m)
 f kmitočet (MHz)
 L_f činitel útlumu pro průchod skrz podlaží (dB)
 k_f počet podlaží mezi pevnou a mobilní anténou

Tab. 2.2 Hodnoty pro parametr n (-)

Frekvence	Obytné interiéry	Kanceláře	Komerční interiéry
900 MHz	-	3,3	2,0
1,2-1,3 GHz	-	3,2	2,2
1,8-2,0 GHz	2,8	3,0	2,2
4,0 GHz	-	2,8	2,2
5,2 GHz	-	3,1	-

Tab. 2.3 Hodnoty pro parametr $L_f(k_f)$

Frekvence	Obytné interiéry	Kanceláře	Komerční interiéry
900 MHz	-	9 (1 patro) 19 (2 patra) 24 (3 patra)	-
1,8-2,0 GHz	$4 k_f$	$15 + 4 (k_f - 1)$	2,2
5,2 GHz	-	16 (1 patro)	-

2.3.2 Model Hata

Je jeden z nejstarších modelů šíření odvozen z rozsáhlých měření v Tokyu a mnohokrát upravován pro konkrétní podmínky. Zde je uvedena úprava nejčastěji nazývána jako COST231 Hata Model. Model se používá pro simulaci šíření mimo budovy (Outdoor to Outdoor)

Rovnice 2.3 Střední hodnota útlumu šířením pro model COST231 Hata

$$L(d) = L_1 + 10n \log d$$

kde empirické parametry jsou

$$L_1 = C_1 + C_2 \log f - 13,82 \log h_b - a(h_m) + C_0$$

$$n = \frac{4,49 - 6,55 \log h_b}{10}$$

a kde $L(d)$ je predikovaná hodnota ztrát šířením (dB)

- d vzdálenost (km)
 f kmitočet (MHz)
 h_b výška pevné antény (m)
 h_m výška mobilní antény (m)
 $C_0 = 0$ pro městskou zástavbu

$$\begin{aligned}
&= 3 && \text{pro hustou městskou zástavbu} \\
&= -2 \left(\log \frac{f}{28} \right)^2 - 5,4 && \text{pro předměstskou zástavbu} \\
&= -4,78(\log f)^2 + 18,33 \log f - 40,94 && \text{pro otevřená prostranství} \\
C_1 &= 69,5 && \text{pro } 150 \text{ MHz} < f < 1000 \text{ MHz} \\
&= 46,3 && \text{pro } 1500 \text{ MHz} < f < 2000 \text{ MHz} \\
C_2 &= 26,16 && \text{pro } 150 \text{ MHz} < f < 1000 \text{ MHz} \\
&= 33,9 && \text{pro } 1500 \text{ MHz} < f < 2000 \text{ MHz} \\
a(h_m) &= h_m (1,1 \log f - 0,7) - (1,56 \log f - 0,8) && \text{pro předměstskou zástavbu} \\
&= 8,29 [\log(1,54 h_m)]^2 - 1,1 && \text{pro } f < 200 \text{ MHz} \\
&= 3,2 [\log(17,75 h_m)]^2 - 4,97 && \text{pro městskou zástavbu } f < 400 \text{ MHz}
\end{aligned}$$

Kromě podmínky pro makrobuňku, tj. výška pevné antény musí být vyšší než okolní zástavba, jsou limity použitelnosti modelu následující:

$$150 \text{ MHz} < f < 2000 \text{ MHz}$$

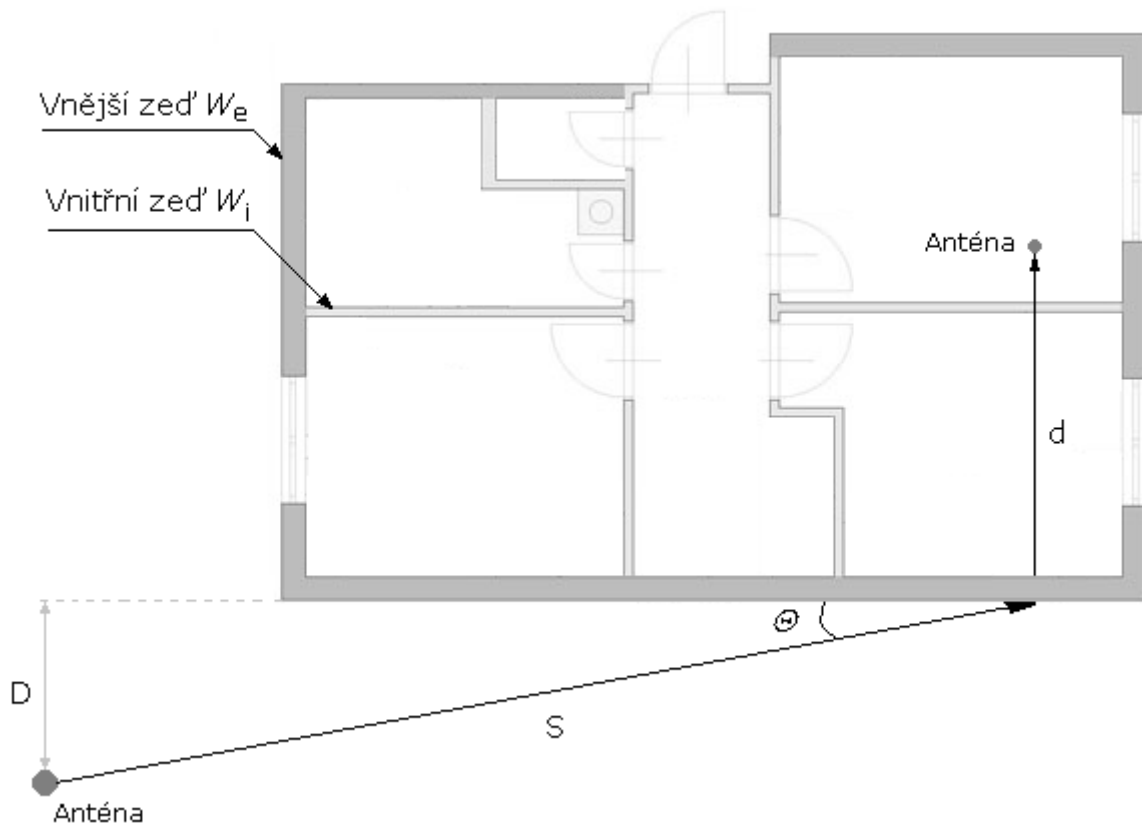
$$30 \text{ m} < h_b < 200 \text{ m}$$

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

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

2.3.3 Model COST 231 LOS

Je jeden ze semi-empirických modelů vyvinutý v rámci evropského projektu COST231 a slouží pro predikci šíření signálu uvnitř budovy i při pronikání signálu z okolí do budovy (Indoor to Outdoor, Outdoor to Indoor). Zkratka LOS (Line Of Sight) v názvu modelu znamená, že model se používá pro přímou viditelnost.



Obr. 2.1 COST231 LOS model – základní geometrie (půdorys)

Rovnice 2.4 Sřední hodnota útlumu šířením pro model COST 231 LOS

$$L = 32,4 + 20 \log f + 20 \log(S + d) + W_e + WG_e + \left(1 - \frac{D}{S}\right)^2 + \max(\Gamma_1, \Gamma_2)$$

$$\Gamma_1 = W_i p$$

$$\Gamma_2 = \alpha(d - 2) \left(1 - \frac{D}{S}\right)^2$$

kde L je predikovaná hodnota ztrát šířením (dB)

D, d jsou vzdálenosti (m) od obou antén k obvodové stěně budovy podle Obr. 2.1

S je skutečná vzdálenost (m) od vnější antény ke stěně budovy v příslušném patře podle Obr. 2.1

f frekvence (GHz)

W_e činitel útlumu (dB) obvodové stěny budovy pro $\theta = 90^\circ$ (kolmý dopad)

WG_e činitel útlumu (dB) obvodové stěny budovy pro $\theta = 0^\circ$

W_i činitel útlumu (dB) vnitřní příčky

p počet příček (-) mezi obvodovou stěnou a mobilní anténou (podél d)

α specifický útlum (dB/m) při šíření nezastíněném příčkou uvnitř budovy podél d

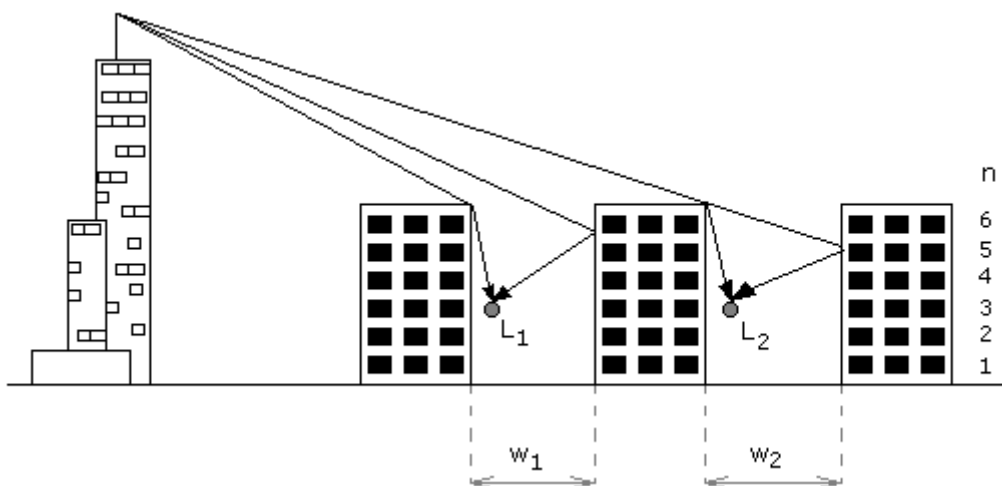
Model je kalibrován měřeními pro frekvence 900 – 1800 MHz a vzdálenost $S < 500$ m. Mimo tento rozsah je tak platnost modelu omezená. Doporučené parametry udává Tab. 2.4. Směrodatná odchylka variací signálu způsobených pomalými úniky je 5-15 dB.

Tab. 2.4 COST231 LOS model – doporučené parametry

Parametr	Hodnota	Poznámka
W_e, W_i	4 dB	dřevěné sádkartonové stěny
W_e, W_i	7 dB	zdi s normálními okny
W_e, W_i	4-10 dB	běžné zdi a stěny
W_e, W_i	10-20 dB	zdi bez oken nebo s metalizovanými okny
WG_e	20 dB	-
α	0,6 dB/m	-

2.3.4 Model COST 231 NLOS

Je další semi-empirický model pro simulaci šíření signálu z místa ležící mimo budovu do budovy (Outdoor to Indoor). Zkratka NLOS (Non-Line Of Sight) v názvu modelu znamená, že model se používá pro přímou viditelnost.



Obr. 2.2 COST231 NLOS Model – základní geometrie (bokorys)

Výpočet vychází z referenční hodnoty ztrát šířením vedle dané obvodové stěny vyšetřované budovy. Tu je nejprve nutné získat jiným modelem pro šíření v makrobuňce, který se používá pro predikci mimo budovu. Celkové ztráty šířením do místa budovy pak jsou

Rovnice 2.5 Sřední hodnota útlumu šířením pro model COST 231 NLOS

$$L = L_{OUT} + W_e + W_{ge} + \max(\Gamma_1, \Gamma_3) - G_{FH}$$

$$\Gamma_3 = \alpha d$$

$$G_{FH} = nG_n$$

$$= hG_h$$

kde L je predikovaná hodnota ztrát šířením (dB)

W_{ge} korekce (dB) pro činitel útlumu obvodové stěny

- G_{FH} výškový zisk (dB) s dvěma alternativami výpočtu podle vstupních dat
 n číslo patra (-) poloha mobilní antény podle Obr. 2.2
 G_n výškový zisk (dB/patro) na patro
 h výška (m) mobilní antény nad zemí
 G_h výškový zisk (dB/m) na jednotku výšky
 W_e, α, d a Γ mají stejný význam jako v Rovnici 2.4

Tab. 2.5 COST231 NLOS model – doporučené parametry

Parametr	Hodnota	Poznámka
W_{ge}	3-5 dB	pásmo 900 MHz
W_{ge}	5-7 dB	pásmo 1800 MHz
G_n	1,5-2,0 dB/patro	-
G_n	4-7 dB/patro	budovy s vysokými stropy (4-7 m)
G_h	1,0-1,6 dB/m	-

Výškový zisk G_n , resp. G_h postihuje fakt, že úroveň signálu s výškou obvykle stoupá zejména v městských makrobuňkách. Souvisí to s geometrií mobilního spoje, kdy se s výškou zlepšují poměry z hlediska zastínění. Doporučené hodnoty výškového zisku jsou platné pro rozteče w_1 a w_2 na Obr. 2.2 v rozmezí 10-50 m. Při menších hodnotách výškový zisk klesá.

2.3.5 Realizace modelů a simulace v programu matlabu

Modely šíření a jejich realizaci v matlabu jsou uvedeny v Tab. 2.6. Pro zjednodušení výpočtu využívám vzorec pro ztráty šířením volným prostorem:

Rovnice 2.6 Útlum vlivem šíření volným prostorem

$$L = 20 \log \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d}{\lambda} \right)$$

- kde L je predikovaná hodnota ztrát šířením (dB)
 d vzdálenost od antény (m)
 λ vlnová délka (m)

Tab. 2.6 Realizace modelů šíření v matlabu

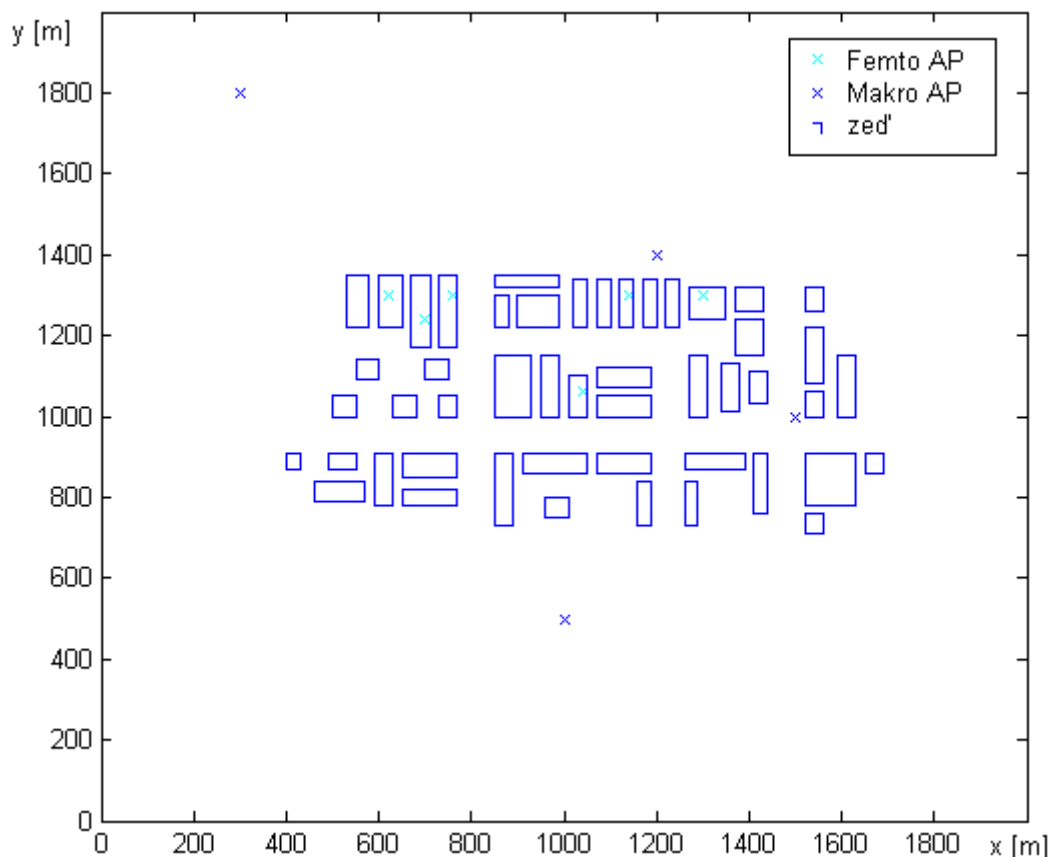
Model šíření	Realizace v matlabu (m-soubor)
ITU-R P.1238	In2In.m
Hata	Out2Out.m
COST 231 LOS	In2Out.m
COST 231 NLOS	Out2In.m
Šíření volným prostorem	FreeS.m

Všechny použité m-soubory jsou na příloženém CD.

2.4 Výsledky simulací v programu MATLAB

Simulační mapa je zobrazena na Obr. 2.3. Simulační prostor jsem nezaplnil celý z důvodů hardwarové náročnosti simulace. Také Femto a Makro přístupových bodů jsem nerozmisťoval zbytečně mnoho, protože prodlužují délku simulace. Pro každý AP jsou počítány všechny body na simulační mapě, v tomto případě je to 223 x 223 bodů.

Jelikož jsem příliš neuvažoval vliv oken, dveří a několikanásobných odrazů na šíření, bude pronikání signálu do okolí menší, než je zde uvedeno. Pokud bude vyšší pronikání signálu do budov i z nich, musí být logicky i větší pokrytí a také interference, než je uvedeno v tomto dokumentu.



Obr. 2.3 Simulační mapa

Legenda uvedená v Obr. 2.3 platí pro všechny další výsledky simulace.

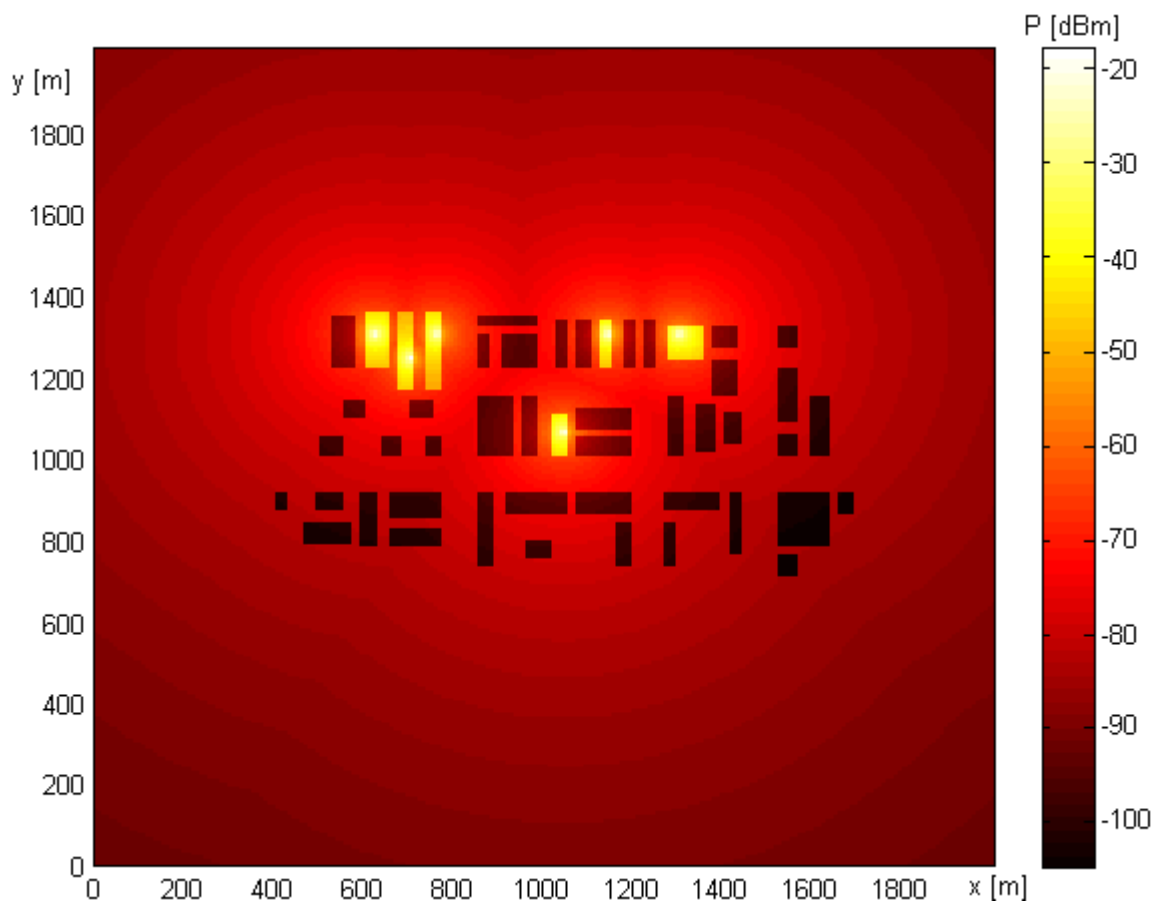
2.4.1 Výsledky simulace pro Femto vrstvu

Následující obrázky ukazují kompozitní pokrytí femto vrstvy a poměr signálu k interferenci pro vybrané Femto buňky.

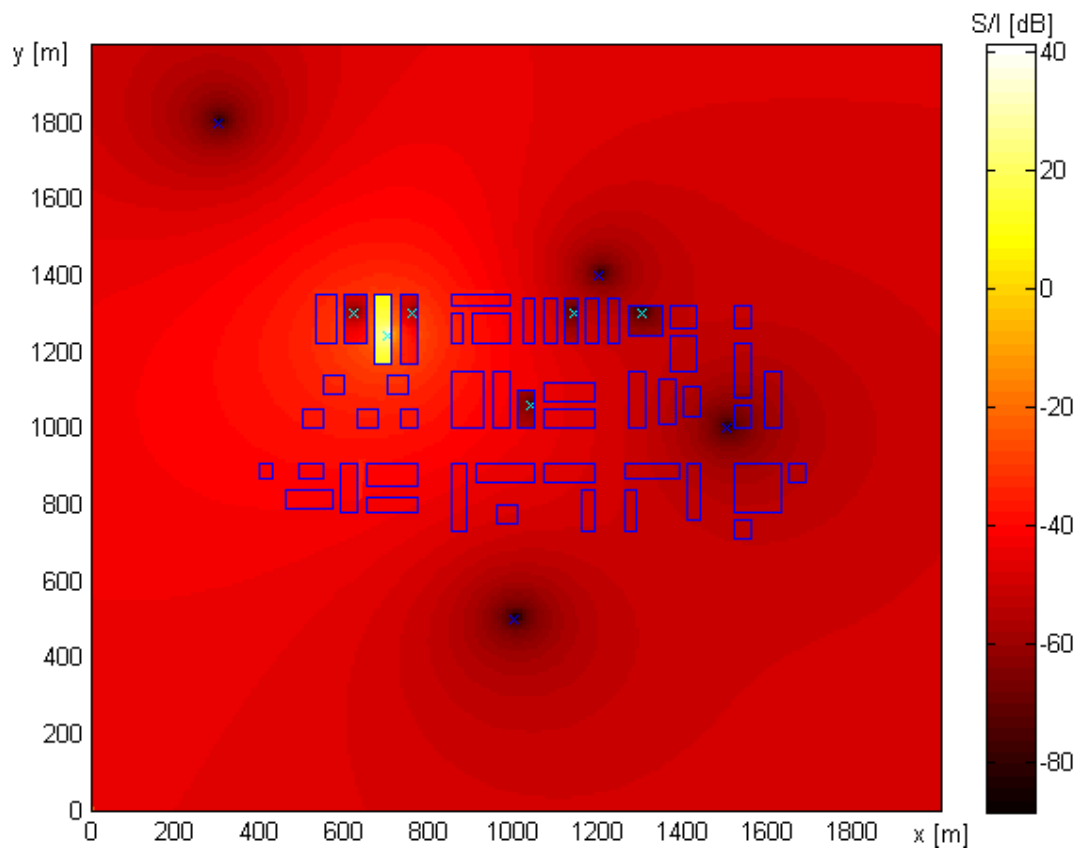
Obr. 2.4 nám ukazuje jak by vypadalo pokrytí v budovách i mimo ně v případě, že by Femto AP byly veřejné pro všechny uživatele. Je vidět, že budovy vlevo nahoře, které mají Femto AP, pokrývají signálem vnitřek budov i jejich blízké okolí. Avšak s nasazováním veřejných Femto buněk se až na výjimky příliš nepočítá.

Kdybychom přece jen chtěli počítat s kompozitním pokrytím, musíme výsledky srovnat s interferencemi například na obrázku Obr. 2.5 nebo Obr. 2.6, kde lze vidět, že úroveň interferencí mezi budovami je příliš vysoká na to, aby zde jakýkoliv přenos mohl být

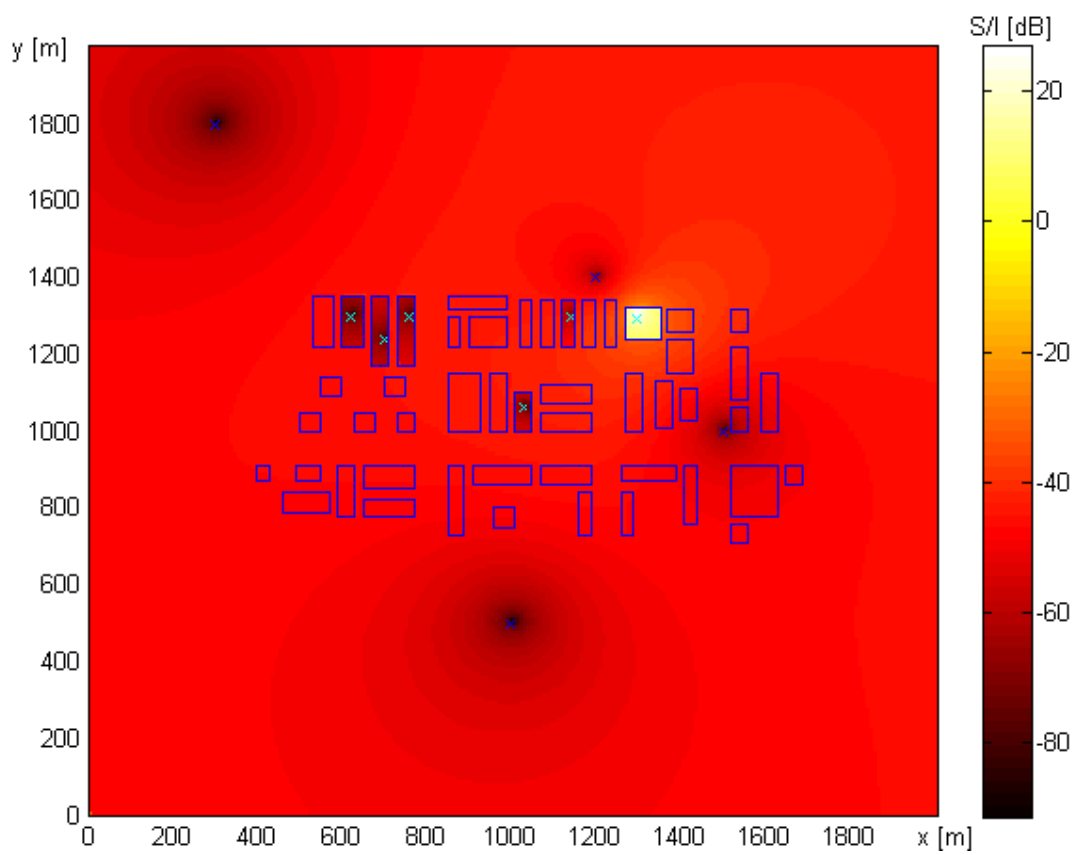
uskutečněn.



Obr. 2.4 Kompozitní pokrytí Femto vrstvy



Obr. 2.5 Poměr signálu k interferenci pro druhou Femto buňku



Obr. 2.6 Poměr signálu k interferenci pro šestou Femto buňku

Na Obr. 2.6 máme další mapu pro poměr signálu k šumu. Na rozdíl od Obr. 2.5 je zde dostatečný odstup signálu od interferencí i v blízkém okolí budovy.

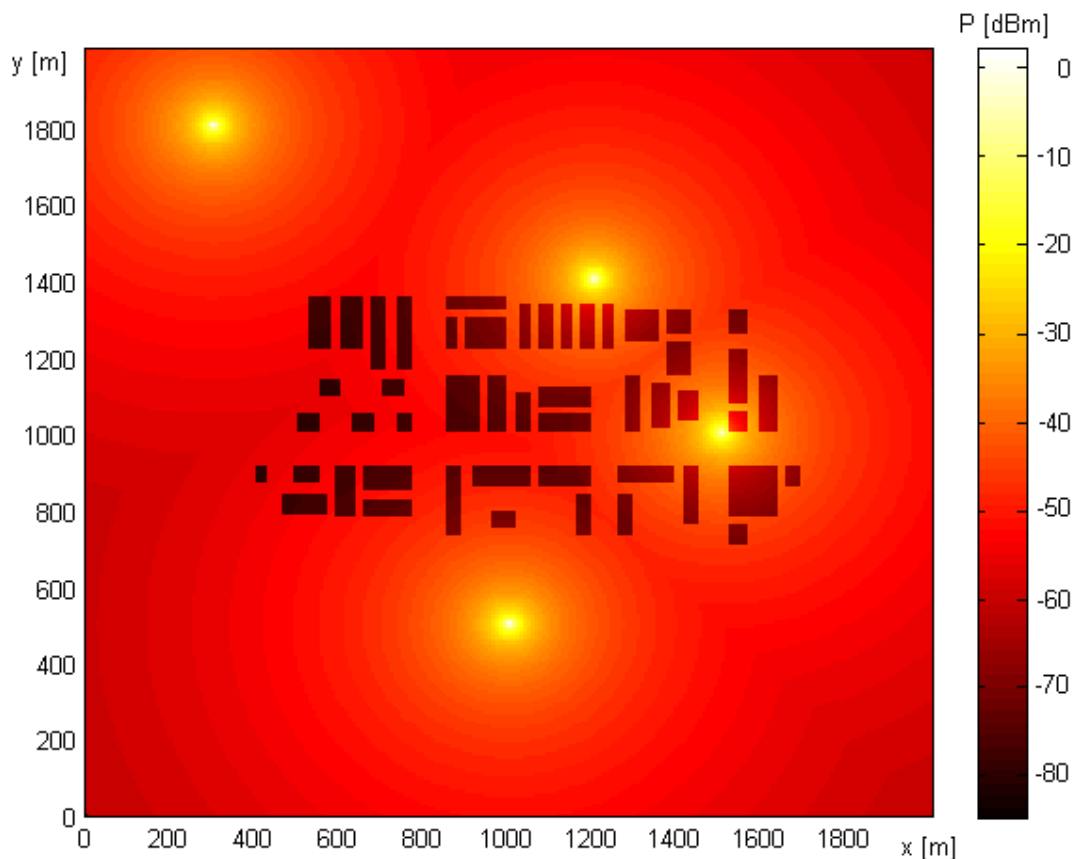
2.4.2 Výsledky simulace pro Makro vrstvu

Následující obrázky ukazují kompozitní pokrytí Makro vrstvy a poměr signálu k interferenci pro vybrané Makro AP.

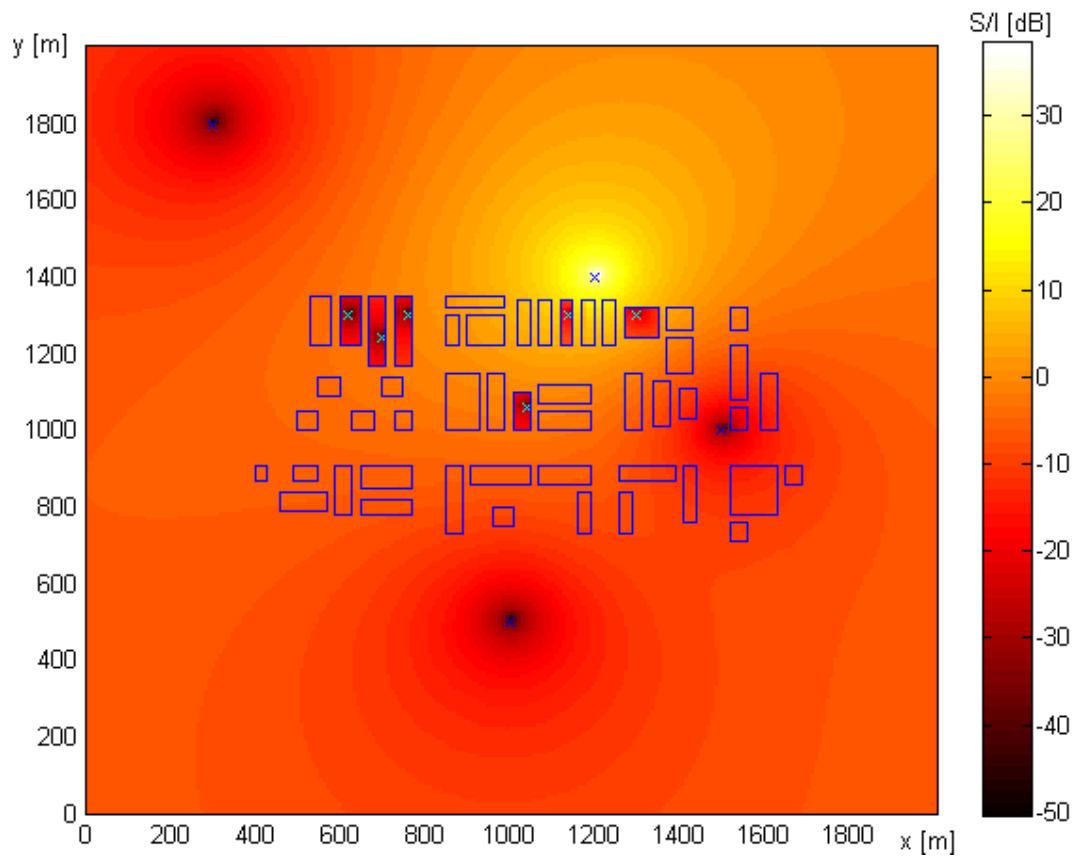
Na Obr. 2.7 je zobrazeno kompozitní pokrytí pro Makro vrstvu. Pokud bychom uvažovali pouze o použití Makro vrstvy, pokrytí námi simulovaného prostoru by bylo zajištěno bez obtíží. V budovách nalevo je sice nízká úroveň signálu, ale pokud se podíváme do Tab. 2.1 tak zjistíme, že při použití robustní modulace, jako je například BPSK, jsme schopni zajistit spojení i pro úroveň signálu -103 dBm.

Pokud se podíváme na obrázky Obr. 2.8 a Obr. 2.9 vidíme, že úroveň interference v budovách s Femto AP je příliš velká na to aby bylo možné spojení.

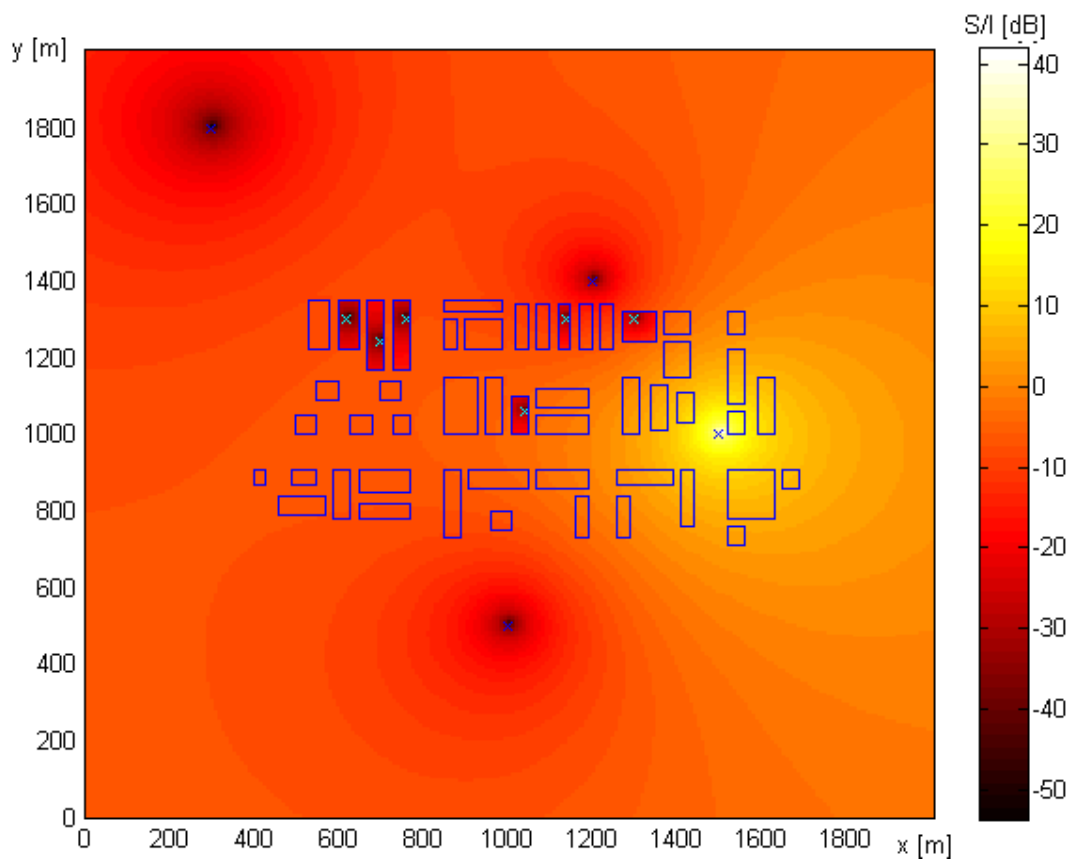
Uvažujeme-li, že Femto buňky nejsou veřejné, může se stát, že v blízkosti budov, kde se používá Femto AP, se vyskytne tzv. mrtvá zóna. To znamená, že uživatel, který prochází kolem budovy s Femto AP, nebo se v ní přímo vyskytuje, ztratí spojení kvůli vysoké interferenci mezi Makro vrstvou a Femto vrstvou.



Obr. 2.7 Kompozitní pokrytí Makro vrstvy



Obr. 2.8 Poměr signálu k interferenci pro třetí makro přístupový bod



Obr. 2.9 Poměr signálu k interferenci pro čtvrtý makro přístupový bod

2.5 Doporučení pro použití Femto buněk

Používání Femto buněk je dle mého názoru jistá budoucnost. Již teď má většina domácností nainstalován Wifi AP. Je tedy jen otázkou času kdy se do těchto AP implementují služby a standardy, které jsou známé pro Femto buňky.

Vysílat maximálním výkonem, všesměrově a v celém přenosovém pásmu jednoduše možné nebude. Důvod je jednoduchý. Už při nízkém počtu AP by vzájemná interference nedovolila navázání jakéhokoli spojení mezi uživateli a přístupovými body.

Problém s interferencemi v makrovrstvě (tím je nyní myšleno mezi jednotlivými Makro AP) nebude velký. Rozmístění Makro AP je totiž možné velmi dobře naplánovat stejně tak jako směrovosti antén základových stanic a jejich výkonové poměry. U Femto buněk je ovšem problém s interferencemi neodmyslitelný. Jak už bylo řečeno, použití Femto buněk je plánováno pro domácnosti a zde jakékoli plánování bohužel není možné. Uživatel se sám rozhodne kam si Femto přístupový bod umístí, ať už k oknu, na půdu nebo do sklepa. Interference mezi jednotlivými Femto buňkami a mezi Femto a Makro vrstvou musí být proto vyřešena pomocí způsobů přenosu dat a jejich řízení.

Možnosti omezení interferencí:

- rozdělení přenosového pásma na kanály, které budou přiřazeny jednotlivým uživatelům nebo přístupovým bodům
- rozdělení přenosového kanálu na časové úseky, které se budou přiřazeny jednotlivým uživatelům nebo přístupovým bodům
- rychlá úprava vysílacích výkonů pro uplink i downlink,
- přizpůsobení směrovosti antén přístupových bodů, ať už Femto nebo Makro, podle výskytu uživatelského terminálu.

První tři možnosti vyžadují výměnu informací mezi stanicí a uživatelem pro zajištění chodu tzv. režijní komunikace. Poslední možnost je dle mého názoru nejefektivnější, kdy vysíláme výkon pouze do směru kde je potřeba.

Úprava vysílacích výkonů stanic podle aktuální potřeby je klíčová pro potlačení interferencí. Změna směrovosti antény je zatím ve vývoji, ale v budoucnosti má jistě své místo.

3 SIMULACE NA CD

Na přiloženém kompaktním disku je umístěn simulační model vytvořený v prostředí programu Matlab. CD také obsahuje text diplomové práce v PDF.

3.1 Struktura CD

Obsah CD je rozdělen do tří adresářů:

Dokumenty - Obsahuje počítačové verze textu ve formátu PDF a DOC.

Matlab - Obsahuje všechny zdrojové soubory pro simulace v programu Matlab.

Simulace - Obsahuje výsledky některých simulací, které byly i nebyly uvedeny v tomto textu.

3.2 Popis souborů v adresáři Matlab

Tyto soubory jsou umístěny v adresáři Matlab. Každý zdrojový kód je bohatě komentován.

Tab. 3.1 Seznam použitých zdrojových souborů pro matlab

m-soubor	popis
In2In.m	výpočet ztrát při šíření v interiéru
Out2Out.m	výpočet ztrát při šíření v exteriéru
In2Out.m	výpočet ztrát při šíření z interiéru do exteriéru
Out2In.m	výpočet ztrát při šíření z exteriéru do interiéru
FreeS.m	výpočet ztrát pro šíření volným prostorem
Map.m	návrh mapy před simulací
Simulation.m	samotná simulace

4 ZÁVĚR

Tato diplomová práce obsahuje výtah se získaných materiálů pojednávajících o LTE sítích a Femto buňkách. Poskytuje teoretický základ k LTE sítím a Femto buňkám, který rozebírá modulační, přenosové a přístupové techniky. Dále obsahuje simulační pokusy útlumu šíření, interferenci a pokrytí Femto buněk a Makro buněk. Teoretické poznatky a simulační pokusy zde popsané, jsou důležité pro další rozebírání tohoto tématu a modelování různých situací pro sítě čtvrtých generací. Dále jsou nezbytné pro definování obecných doporučení pro využívání Femto buněk implementovaných nejen do domácností právě pod LTE makrovrstvou.

Ve své práci jsem dále vytvořil simulační program v prostředí matlab, který je plně automatizován. Bez dalších úprav zdrojových souborů je možno libovolně měnit rozmístění Femto a Makro přístupových bodů, rozmístění a velikost budov, proporce simulační mapy, přenosovou frekvenci i přesnost (rastr) simulace.

V tomto textu jsem popsal, simuloval a zhodnotil Femto buňky obecně. Provedené simulace je samozřejmě možné dále zpřesňovat a vylepšovat, až bude schopná plně simulovat 3D mapu města se započítáním struktury budov (okna, dveře, vnitřní příčky, materiál stěn, podlah a stropů), s odrazy a rozptyly šíření vln. Toto je ovšem nad rámec možností jednotlivce a hardwaru, na kterém jsem tuto práci vypracovával.

SEZNAM ZKRATEK

AP	Access point
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CP	Cyclic Prefix
DFT	Discrete Fourier Transformation
DL	Downlink
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
ESP	Evolved Packet System
FDD	Frequency Division Duplex
FEC	Forward Error Correction
FFT	Fast Fourier Transformation
GSM	Global System for Mobile communication
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access
HSPA	High Speed Packet Access
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access
IFFT	Inverse Fast Fourier Transformation
LOS	Line Of Sight
LTE	Long Term Evolution
MIMO	Multiple Input Multiple Output
NLOS	Non Line Of Sight
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplex
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PAPR	Peak to Average Power Ratio
PER	Packet Error Rate
PL	Uplink
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QPSK	Quadrature Phase Shift Keying
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access
SISO	Single Input Single Output
SNR	Signal to Noise Ratio
TDD	Time Division Duplex
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] RYSAVY, P. RESEARCH AND 3G AMERICAS. *EDGE, HSPA, LTE: The Mobile Broadband Advantage*. Rysavy research and 3G Americas: <http://www.rysavy.com/papers.html>, září 2007
- [2] RYSAVY, P. RESEARCH AND 3G AMERICAS. *EDGE, HSPA, LTE: Broadband Innovation*. Rysavy research and 3G Americas: <http://www.rysavy.com/papers.html>, září 2008
- [3] SHU-PING YEH. *WiMAX Femtocells: A Perspective on Network Architecture, Capacity, and Coverage*. IEEE Communications Magazine, říjen 2008
- [4] MPIRICAL. *LTE system Engineering*. www.mpirical.com. 2008
- [5] GSMA FEMTOCELLS PROJECT. *GSMA Femtocell White Paper*. 13. listopad 2008
- [6] 3GPP. *Overview of 3GPP Release 8 V0.0.6*. <http://www.3gpp.org/article/release-8>. duben 2009
- [8] MIMO systém. <<http://en.wikipedia.org/wiki/MIMO>>
- [9] Modulace v LTE a Femto buňkách. <<http://www.lupa.cz/clanky/budoucnost-rychlych-mobilnich-dat-hspa-a-lte/>>
- [10] A. Neskovic, N. Neskovic, and G. Paunovic. *Modern approaches in modeling of mobile radio systems propagation environment*. IEEEcommunication surveys, <http://www.comsoc.org/pubs/surveys>, pp. 2-12, October 2000.
- [11] G. Wolfle, R. Wahl, P. Wildbolz, and P. Wertz. *Dominant path prediction model for indoor and urban scenarios*, in 11th COST 273, Germany, September 2004.
- [12] M. Hassan Ali and K. Pahlavan. *A new statistical model for site specific indoor radio propagation prediction based on geometric optics and geometric probability*. IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 1, no. 1, pp. 112-124, January 2002.
- [13] FemtoForum Report: *Interference Management in UMTS Femtocells*. Dec. 2008.

- [14] SHELLHAMMER, S. *IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks*. Sep 2000.
- [15] PECHÁČ, P. *Modeli šíření vln v zástavbě*. BEN – technická literatura, Praha 2005, 1. vydání