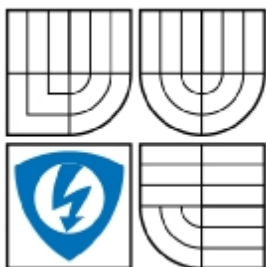


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

OPTIMALIZACE RÁDIOVÝCH PRÍSTUPOVÝCH  
SÍTÍ UMTS V PROSTŘEDÍ OPNET MODELER  
UMTS RADIO ACCESS NETWORK OPTIMIZATION IN OPNET MODELER ENVIRONMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

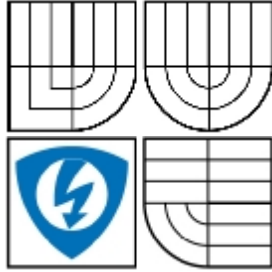
AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. PETR TOMAN

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

DOC. ING. VÍT NOVOTNÝ, PH.D.

BRNO 2008



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav telekomunikací**

## **Diplomová práce**

magisterský navazující studijní obor  
**Telekomunikační a informační technika**

**Student:** Toman Petr Bc.  
**Ročník:** 2

**ID:** 89183  
**Akademický rok:** 2007/2008

### **NÁZEV TÉMATU:**

**Optimalizace rádiových přístupových sítí UMTS v prostředí Opnet Modeler**

### **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Prostudujte problematiku mobilních sítí UMTS jednotlivých verzí (R99, R4, R5, R6, R7). Zaměřte se na architekturu přístupové části sítě a na problematiku jejího plánování a optimalizace. Posuďte vliv základních parametrů přístupové sítě na její výkonnost a proveďte simulace v prostředí Opnet s různými nastaveními parametrů. Výsledky zhodnoťte a navrhnete doporučení pro návrh přístupové sítě.

### **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

- [1] P-Romero, J., Sallent, O., Agustí, R., D-Guerra, M.A. Radio Resource Management Strategies in UMTS. John Wiley & Sons, Ltd., ISBN 0-470-02277-9, England, 2005
- [2] CASTRO, J.P. All IP in 3G CDMA Networks. John Wiley & Sons, ISBN 0-470-85322-0, UK, 2004
- [3] Opnet Technologies Opnet Modeler documentation. [www.opnet.com](http://www.opnet.com), 2007

**Termín zadání:** 11.2.2008

**Termín odevzdání:** 28.5.2008

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Vít Novotný, Ph.D.

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**  
*předseda oborové rady*

### **UPOZORNĚNÍ:**

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

# LICENČNÍ SMLOUVA POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

## 1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Petr Toman  
Bytem: Mezi Mlaty 1106/3, 69701, Kyjov  
Narozen/a (datum a místo): 5.12.1983, Kyjov

(dále jen „autor“)

a

## 2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií  
se sídlem Údolní 244/53, 602 00, Brno  
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

.....  
(dále jen „nabyvatel“)

## Čl. 1 Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

- disertační práce
- diplomová práce
- bakalářská práce
- jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

.....

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP:	Optimalizace rádiových přístupových sítí UMTS v prostředí Opnet Modeler
Vedoucí/ školitel VŠKP:	doc. Ing Vít Novotný, Ph.D.
Ústav:	Ústav telekomunikací
Datum obhajoby VŠKP:	

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v \* :

- tištěné formě – počet exemplářů .....
- elektronické formě – počet exemplářů .....

\_\_\_\_\_  
\* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

## **Článek 2**

### **Udělení licenčního oprávnění**

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
  - ihned po uzavření této smlouvy
  - 1 rok po uzavření této smlouvy
  - 3 roky po uzavření této smlouvy
  - 5 let po uzavření této smlouvy
  - 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

## **Článek 3**

### **Závěrečná ustanovení**

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: .....

.....

Nabyvatel

.....

Autor

## **ABSTRAKT**

Rozdíly mezi sítěmi jednotlivých mobilních operátorů mohou být v jejich architektuře a v optimalizaci sítě. Architektura je standardizována, což znamená, že výkyvy budou pouze v ochotě investic operátorů do novějších prvků sítě. Zásadnější je však optimalizace sítě. Ta totiž není striktně dána a závisí na operátorovi jak si s ní poradí. Nejdůležitější vlastností v optimalizaci je vyváženost. Operátoři se snaží dosáhnout vyvážení mezi třemi důležitými parametry. Těmi jsou kapacita, pokrytí a dodržení QoS. Optimalizace závisí na RRM algoritmech. Algoritmy zahrnují různé funkce jako je řízení přístupu do sítě, ochrana před zahlcením, řízení handoverů, řízení výkonu, atd. Nejen že tyto prvky ovlivňují optimalizaci, ale také ovlivňují sebe navzájem, protože navzájem spolupracují. Například při špatném nastavení řízení přístupu do sítě dochází buď k častým přetížáním sítě z důvodu velkého množství účastníků v síti (účastníci jsou nespokojeni se službami jež operátor nabízí) nebo k nevyužívání kapacity sítě z důvodu příliš malého počtu účastníků v síti (operátor je nespokojen, protože zbytečně dochází o možné zisky). Ani jedna z možností není pro mobilního operátora dobrá, proto je důležité, aby řízení přístupu do sítě bylo vyvážené.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Optimalizace, UMTS, RRM, handover, OPNET Modeler

## **ABSTRACT**

The differences between networks of mobile operators can be in their achitecture or the optimization of each network. The architecture is standardized which means there will only be differences in the willingness of mobile operators to invest in newer network elements. Network optimization is more important. The way of optimization isn't strictly given and depends on how the operator deals with it. The most important attribute in optimization is balance. The operators try to achieve balance among three important parameters. Those are capacity, coverage and maintaining QoS. Optimization depends on RRM algorithms. The algorithms include various functions such as admission control, congestion control, handover control, power control, etc. These elements don't only affect the optimization but also affect each other, because they cooperate with each other. For example, an incorrect admission control of the network leads either to frequent network congestion because of a large number of participants in the network (participants are dissatisfied with the services offered by the operator) or to low utilization of the network because of too few participants in the network (the operator is dissatisfied because he is losing the possible earnings). Neither of these possibilities is good for the mobile operator, therefore it is important that the admission control is well balanced.

## **KEYWORDS**

Optimisation, UMTS, RRM, handover, OPNET Modeler

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Optimalizace rádiových přístupových sítí UMTS v prostředí Opnet Modeler jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce 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 .....

.....  
(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Vítu Novotnému, Ph.D., členovi vědecké rady, za velmi užitečnou metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

OBSAH .....	6
Seznam obrázků: .....	7
ÚVOD .....	10
1 Přehled sítí podle generací.....	11
1.1 Sítě 1. generace.....	11
1.2 Sítě 2. generace.....	11
1.3 Sítě 2,5. generace.....	12
1.4 Sítě 3. generace.....	12
1.5 Sítě 3,5. generace.....	13
1.6 Sítě 3,75. generace.....	13
2 UMTS .....	14
2.1 Architektura sítě .....	14
2.2 UMTS Releases .....	17
2.3 Třídy QoS (Quality of Service – kvalita služeb) v UMTS .....	18
3 Proces optimalizace rádiové sítě .....	20
3.1 Úvod do optimalizačních požadavků rádiové sítě.....	20
3.2 Radio Resource Management RRM (Řízení rádiových zdrojů) .....	23
3.2.1 Funkce RRM.....	25
3.2.2 Řízení přístupu do sítě.....	26
3.2.3 Ochrana proti přetížení sítě .....	28
3.2.4 Management kódů.....	29
3.2.5 Handover .....	31
3.2.6 UE-MAC a plánování paketů .....	31
3.2.7 Řízení výkonu .....	32
3.3 Makrodiverzita .....	32
3.4 Přijímač RAKE.....	33
3.5 Procedury při handoveru .....	34
3.6 Dýchání buňky .....	35
3.7 Řízení výkonu.....	36
4 Síť UMTS v OPNETu .....	38
4.1 Základní popis modelu UMTS sítě v OPNETu.....	38
4.2 Simulace v OPNETu – trvání soft handoveru .....	39
4.3 Vlastnosti handoveru v závislosti na vysílacím výkonu Node B .....	43
4.4 Kapacita a pokrytí.....	47
ZÁVĚR.....	51
POUŽITÁ LITERATURA: .....	52
SEZNAM ZKRATEK.....	53



## Seznam obrázků:

Obr. 1: Architektura UMTS sítě .....	14
Obr. 2: Uzly a zapojení v UTRAN .....	16
Obr. 3: Hierarchie optimalizačních smyček v buňkových sítích .....	21
Obr. 4: Graf kompromisu pokrytí – kapacity – kvality linky .....	22
Obr. 5: Cíle RRM algoritmů .....	25
Obr. 6: Zprávy a protokoly při řízení přístupu do sítě .....	28
Obr. 7: Ochrana proti přetížení sítě .....	29
Obr. 8: Příklad blokování kódu .....	30
Obr. 9: Příklad přidělování kódu s prevencí blokování .....	30
Obr. 10: RRM strategie fungující v krátkém čase s NRT zatížením .....	32
Obr. 11: Makrodiverzita v uplinku .....	33
Obr. 12: Popis funkce přijímače RAKE .....	34
Obr. 13: Dýchání buňky .....	36
Obr. 14: Přehled architektury paketové části .....	38
Obr. 15: Simulace v OPNET modeleru .....	40
Obr. 16: Trvání soft handoveru .....	41
Obr. 17: Porovnání výkonu přenosu v uplinku při soft handoveru s mezní hod. makrodiverzity 2dB a hard handoverem .....	41
Obr. 18: Porovnání výkonu přenosu v uplinku při soft handoveru s mezní hod. makrodiverzity 10dB a hard handoverem .....	42
Obr. 19: Scénář simulace .....	43
Obr. 20: Vysílací výkon CPICH1 < CPICH2 .....	44
Obr. 21: Vysílací výkon CPICH1 = CPICH2 .....	44
Obr. 22: Vysílací výkon CPICH1 > CPICH2 .....	45
Obr. 23: Porovnání vysílacího výkonu u hard handoverů .....	45
Obr. 24: Porovnání vysílacího výkonu u soft handoverů .....	46
Obr. 25: Nastavení scénáře pro 2 a 10 uživatelů .....	47
Obr. 26: Grafický popis výpočtu hodnoty $L_{PMax}$ .....	48
Obr. 27: Závislost $L_{PMax}$ na datovém zatížení sítě .....	49
Obr. 28: Závislost poloměru Node_B_1 na datovém zatížení sítě .....	50

# ÚVOD

Telefonie se stala jedním z hlavních druhů nepřímé komunikace mezi lidmi. Být s lidmi v kontaktu je také nezbytnou součástí obchodu. Proto se rozvinula mobilní komunikace, kterou můžeme rozdělit do časových období. V 80 letech minulého století byly zavedeny sítě 1. generace, v 90. letech se rozběhly sítě 2. generace. Od roku 2004 v České republice fungují také sítě 3. generace (3G). Hlavní podmínkou spuštění bylo, že sítě 3. generace budou fungovat současně se sítěmi 2. generace.

Síť 3G není nijak revoluční, jde spíše o evoluci. Neustále populárnější využívání Internetu a dalších komunikačních služeb (např.: videotelefone, atd.) náročných na přenosovou rychlost, kladou čím dál tím větší požadavky na šířku pásma. U technologií 3G by teoreticky měla přenosová rychlost dosáhnout rychlosti 2Mb/s. Tato rychlost je spíše teoretická, daná metodami kódování.

Úkolem tohoto semestrálního projektu je prostudovat problematiku mobilních sítí UMTS, seznámit se s jednotlivými verzemi (R99, R4, R5, R6, R7) a jejich inovacemi. Dále zaměření se na architekturu přístupové sítě a problematiku plánování a optimalizace. V závěru práce se budu přímo zabývat simulací v prostředí OPNET Modeler.

# 1 Přehled sítí podle generací

## 1.1 Sítě 1. generace

**Sítě 1. generace tvoří analogové systémy, např.: NMT (Nordic Mobile Telephone), AMPS (Advanced Mobile Phone System), TACS (Total Access Communication System).**

1. generace mobilních sítí byla určena jen pro přenos hlasu a využívá frekvenčního multiplexu (FDMA - Frequency Division Multiple Access)

NMT450 (Nordic Mobile Telephone) je mobilní telefonní síť, vyvinutá telekomunikačními správami Finska, Dánska, Norska a Švédska, pro zajištění kompatibilního radiotelefonního systému ve všech těchto státech. Využití frekvenčního pásma je v Tab. 1.

**Tab. 1: Kmitočtová pásma u sítí 1. generace**

Systém	Typ přenosu	Frekvenční pásmo [MHz]	Poznámka
NMT 450	uplink	453 – 457,5	počet kanálů 180, šířka pásma jednoho kanálu 25kHz
	downlink	463 – 467,5	

## 1.2 Sítě 2. generace

**Sítě 2. generace tvoří digitální systémy, např.: GSM (Global System for Mobile communications), D-AMPS (Digital AMPS), PCS (Personal Communications Service).**

Sítě 2. generace byly určeny pro přenos hlasu a později i pro přenos dat.

Mezinárodní telekomunikační konfederace (ITU - International Telecommunication Union) určuje přiřčení rádiového spektra pro mobilní telefony. Předělení pásem u sítí 2. generace lze vidět v Tab. 2.

**Tab. 2: Kmitočtová pásma u sítí 2. generace.**

Systém	Typ přenosu	Frekvenční pásmo [MHz]	Poznámka
GSM 900	uplink	890 – 915	počet kanálů 124, šířka pásma kanálu 200kHz
	downlink	935 – 960	
GSM 1800	uplink	1710 – 1785	počet kanálů 374, šířka pásma kanálu 200kHz
	downlink	1805 – 1880	
GSM 1900	uplink	1850 – 1910	počet kanálů 299, šířka pásma kanálu 200kHz
	downlink	1930 – 1990	

U sítí 2. generace je využito časového multiplexu TDMA (Time Division Multiple Access). Přenosový kanál je rozdělen v čase na 8 částí (slotů). Velikost jednoho slotu je 0,577 ms. Celkem na jednom kanálu může probíhat 8 hovorů. Pokud dojde k hovoru, je účastníkům přiřazen jeden z 8. slotů a komunikace během hovoru pak probíhá právě na tomto slotu. Po uplynutí 0,577 ms dojde k přepnutí na další slot. Po vystřídání všech slotů se pokračuje zase od začátku.

### 1.3 Sítě 2,5. generace

Sítě 2,5. generace jsou digitální systémy. Vznikly z požadavku zákazníků na přenášení dat v paketovém formátu. Jedná se vlastně o překlenovací most mezi sítěmi 2G (více hlasové služby) a 3G (více datové služby). Nejde o nové systémy, ale zlepšení modulačních technik a technická zdokonalení, jež jsou implementovány do sítě 2G. Operátoři tak mohli zákazníkům nabídnout vyšší přenosové rychlosti bez nutnosti budování nové sítě.

#### **GPRS (General Packet Radio Services)**

GPRS je paketově orientovaný přenos dat. Nepotřebuje souvisle obsazený kanál pro přenos a přijímání dat, ale vysílá a přijímá data v paketech. Tím dochází k účelnému využití volného rádiového spektra a uživatelé mohou platit pouze za objem odeslaných a přijatých dat. Teoretická maximální rychlost při využití 8 kanálů a nejlepším modulačním schématu je  $21,4 \text{ kbit/s} \times 8 \text{ slotů} = 171,2 \text{ kbit/s}$ . Prakticky se pro přenos využívá GPRS třída 10, což znamená počet slotů 4/2 (download/upload), současně však pouze maximálně 5 slotů. Max. rychlost pro download při využití 4 slotů je 85,6 kbit/s. Paketově orientovaná část je základem i pro 3G sítě. [1]

#### **EDGE (Enhanced Data For GSM Evolution)**

Hlavní vlastností EDGE jsou zlepšené modulační techniky 8-PSK, které umožní operátorům GSM poskytnout svým zákazníkům vysokorychlostní přenos. Teoretická maximální rychlost při využití 8 kanálů a nejlepším modulačním schématu je  $59,2 \text{ kbit/s} \times 8 \text{ slotů} = 473,6 \text{ kbit/s}$ . Pro download se využívají max. 4 sloty což znamená rychlost 236,8 kbit/s. [1]

#### **HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)**

HSCSD v překladu znamená vysokorychlostně okruhově spojovaná data. Teoretická maximální rychlost při využití 8 kanálů a nejlepším modulačním schématu je  $14,4 \text{ kbit/s} \times 8 \text{ slotů} = 115,2 \text{ kbit/s}$ . (ECSD – Zdokonalená verze HSCSD, kombinace s EDGE). Pro využití 4 slotů je přenosová rychlost 57,6 kbit/s. [1]

### 1.4 Sítě 3. generace

**Sítě 3. generace tvoří digitální systémy, např.: W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000), TD-CDMA/TD-SCDMA (Time Division – Code Division Multiple Access / Time Division – Synchronous Code Division Multiple Access)**

Tyto technologie jsou navrhovány jak pro přenos hlasu, tak i na přenos dat (hlavním tahákem měli být videohovory).

Spektrum kmitočtových pásem, které jsou v UMTS využity lze vidět v Tab. 3[2]. Nepárové pásma 2 a 5 využívají technologie TD-WCDMA. Párová pásma 3 a 6 využívají technologii FD-WCDMA. Pásmo 2 je rezervováno pro systém DECT. Pásmo 4 a 7 jsou předurčena pro družicovou komunikaci systému UMTS. Neoznačená pásma byly přidány v roce 2000.

**Tab. 3: Kmitočtová pásma v systému UMTS**

Pásmo	Kmitočtový rozsah [MHz]	Šířka pásma [MHz]
-	1710-1885	175
1	1885-1900	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

Párové pásmo – uplink od mobilního telefonu (MT) k základové stanici a downlink od základové stanici k mobilnímu telefonu (MT), jsou frekvenčně oddělené a na jeden obousměrný komunikační kanál je potřebná šířka pásma 10Mhz.

Nepárové pásmo - uplink a downlink jsou přenášeny na stejné frekvenci ale v různém čase, to vyžaduje šířku kanálu jen 5Mhz.

Sítě třetí generace využívají technologii CDMA (Code Division Multiple Access – kódový multiplex), tzn., že je využito celé frekvenční pásmo, které je k dispozici, ale obsah vysílání vzniká zakódováním několika přenosů. Příjemce si po té dekoduje jen to co je určeno pro něj, jiné data dekodovat nedokáže. V UMTS je využita varianta WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access), širokopásmová kódová přístupová metoda.

### **1.5 Sítě 3,5. generace**

#### **HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access)**

Jedná se o technologii, která podstatně zvyšuje přenosovou rychlost pro downlink. Objevila se v 5. vydání standardu UMTS 3GPP. Hlavní vylepšení spočívá v inovacích architektury sítě, které vedou ke snížení zpoždění, rychlejší reakce na změnu kvality kanálu a zpracování H-ARQ (Hybrid automatic repeat request) - hybridní automatický požadavek na opakování přenosu. Teoretická maximální rychlost pro jednu buňku je 14,4Mbit/s. Očekávaná přenosová rychlost však je 1,8Mbit/s. [1]

### **1.6 Sítě 3,75. generace**

#### **HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access)**

Je to technologie, která zvyšuje přenosovou rychlost v uplinku. Objevila se v 6. vydání standardu UMTS 3GPP. Vylepšení spočívá ve snížení zpoždění, rychlejší reakce na změnu kvality kanálu a zpracování H-ARQ (Hybrid automatic repeat request) - hybridní automatický požadavek na opakování přenosu. Maximální přenosová rychlost 5,76Mbit/s. V 7. vydání standardu UMTS 3GPP je maximální přenosová rychlost 11,5Mbit/s. [1]

## 2 UMTS

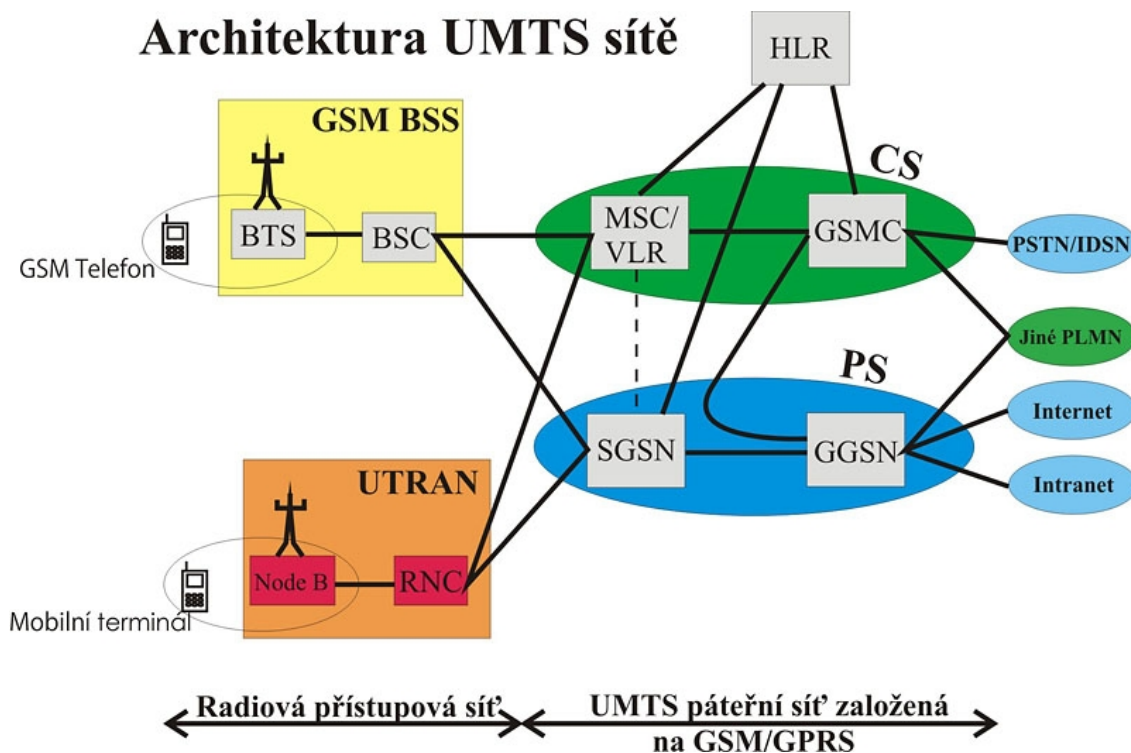
### 2.1 Architektura sítě

Architektura sítě UMTS, musí podporovat zároveň sítě 2G a 3G.

Skládá se z: - RAN (Radio Access Network – rádiová přístupová síť)  
- CN (Core Network – páteřní síť)

CN se dále dělí na CS – síťovou doménu se spojováním okruhů (hlasová komunikace) a PS – síťovou doménu se spojováním paketů (datová komunikace).

Struktura UMTS sítě je zobrazena na Obr. 1.



Obr. 1: Architektura UMTS sítě

#### RAN - 2G komponenty:

##### **BTS (Base Transceiver Station) – základnová stanice**

Komunikuje s mobilními terminály (MT), které se nachází uvnitř obsluhované buňky.

##### **BSC (Base Station Controller) – řídicí jednotka BTS**

Propojuje a řídí jednu nebo několik základnových stanic (BTS) a komunikuje přímo s MSC.

#### RAN - 3G komponenty:

##### **Node B – základnová stanice**

Název Node B zůstal z doby, kdy byla architektura UMTS definována (UE bylo označeno jako Node A, základnová stanice jako Node B, kontroler jako Node C). Node B je umístěna na hranici mezi radiovou fyzickou vrstvou a RNC (Radio Network

Controller – řídicí jednotka Node B). Komunikuje s účastnickým zařízením (UE – user equipment), které se nachází uvnitř obsluhované buňky.

### ***RNC (Radio Network Controller) – řídicí jednotka Node B***

Propojuje a řídí jednu nebo několik základnových stanic (Node B) a komunikuje přes transkodér s MSC. Z hlavních funkcí jsou např. řízení náhodného přístupu kvůli zamezení kolizím, řízení handoveru, řízení výkonu kvůli minimálním interferencím, atd.

### **CN - 2G/3G komponenty:**

#### ***MSC (Mobile Services Switching Centre) – centrální ústředna***

Funkce: – slouží ke směrování jednotlivých hovorů k jejich příjemcům,  
– řídí rozhraní mezi GSM sítí a PSTN,  
– ukládá údaje pro fakturaci hovorů.

#### ***HLR (Home Location Register) – registr HLR***

Je databáze účastnických parametrů – jako např.: různé identifikační čísla a adresy nebo také autentifikační (ověřovací) parametry. Údaje do databáze ukládá poskytovatel provozující síť.

#### ***VLR (Visitor Location Register) – registr VLR***

Obsahuje kopie většiny informací uložených v HLR pro cizí mobilní telefony, které se právě nachází v dané síti. Další funkce – dohled nad stavem MT (obsazeno/dostupný/nedostupný),

- zjištění polohy MT,
- změna čísla TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity dočasné identifikační číslo) – musí být pravidelně měněno, aby bylo těžší odposlouchávání hovorů.

#### ***EIR (Equipment Identity Register) – registr EIR***

Obsahuje databázi pro potvrzení IMEI (International Mobile Equipment Identity – mezinárodní identifikace mobilního telefonu) čísel. IMEI je číslo, které je pevně uloženo v MT. Díky tomuto číslu se MT přihlašuje do sítě.

Databázi dělíme na:

***White List - Bílý seznam*** – obsahuje IMEI čísla patřící MT, které jsou platné,

***Black List - Černý seznam*** – obsahuje IMEI čísla patřící nahlášeným kradeným MT nebo jsou odmítnuta z jiného důvodu,

***Grey List - Šedý seznam*** – obsahuje IMEI čísla patřící MT, které jsou porouchané (např. problémy se softwarem).

#### ***AuC (Authentication Centre) – autentifikační centrum***

Je to procesorový systém, který vykonává autentifikaci (ověření pravosti) uživatele (SIM karty). Spolupracuje s HLR.

#### ***Serving GPRS Support Node – SGSN***

Umožňuje směrování paketů, včetně správy mobility, ověřování a šifrování směrem od a ke všem uživatelům GPRS, kteří se nacházejí v oblasti dosahu SGSN. Uživatel GPRS může být obsluhován jakoukoli SGSN v síti v závislosti na poloze.

Provoz je směřován z SGSN do BSC/RNC a skrz BTS/Node B pak do mobilního telefonu.

### **Gateway GPRS Support Node – GGSN**

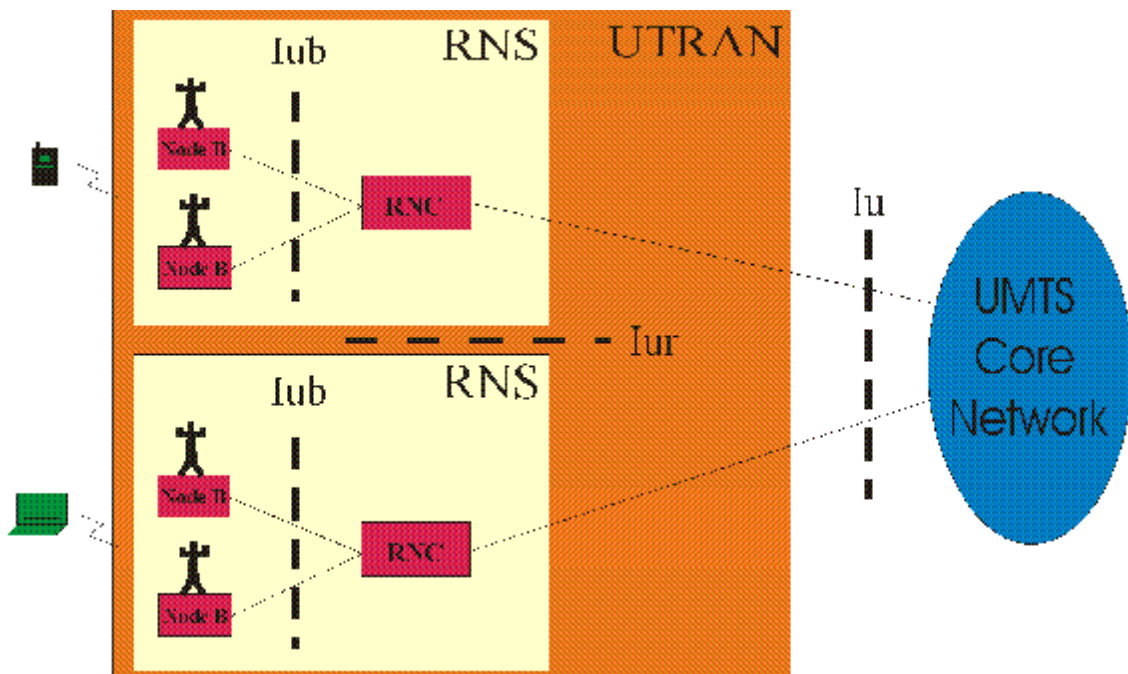
Představuje bránu k externím sítím poskytovatelů připojení k Internetu (ISP – Internet Service provider), ovládá zabezpečení a funkci evidence účtů, stejně tak jako dynamickou alokaci IP adres pro mobilní terminál, který je právě obsluhován. Z pohledu externích sítí IP je GGSN hostitel vlastníci všechny IP adresy všech uživatelů, jež jsou obsluhováni.

Funkce SGSN a GGSN mohou být kombinovány ve společném fyzickém zařízení nebo odloučeně, ale mohou taktéž každá patřit do jiné mobilní sítě.

### **UTRAN - UMTS Terrestrial Radio Access Network**

UMTS Terrestrial Radio Access Network - síť rádiového přístupu pro UMTS. Podporuje plný roaming s rozvinutými sítěmi GSM. UTRAN má za úkol poskytovat spojení mezi CN (Core network – páteřní síť) a UE (mobilním telefonem nebo jiným koncovým zařízením), zobrazeno na Obr. 2.

UTRAN se skládá ze sady několika RNS (Radio Network Subsystem – rádiový síťový podsystém), jež jsou připojena k CN (Core Network – páteřní síť) přes rozhraní Iu. RNS se skládá z RNC (Radio Network Controller – řídicí jednotka Node B) a jednoho či více NodeB. Uzel NodeB je k RNC připojen přes rozhraní Iub. Iur propojuje jednotlivé RNC. Iu, Iub a Iur jsou logická rozhraní.



**Obr. 2: Uzly a zapojení v UTRAN**

Pro každé spojení mezi UE a UTRAN je jedna RNS použita jako Serving RNS a ostatní fungují jako Drift RNS. Serving RNS je zodpovědná za rádiové spojení mezi UE a UTRAN. Pro každý UE, který je připojen k UTRAN, existuje vždy jedna Serving RNS. Serving RNS taktéž ovládá rozhraní Iu. Úkolem Drift RNS je podpora pro



Serving RNS tím, že dodává rádiové zdroje v době, kdy spojení mezi UTRAN a UE vyžaduje použití buněk kontrolovaných touto Drift RNS[3].

## 2.2 UMTS Releases

Požadavky na síť 3. generace a standard IMT-2000 stanovila ITU (International Telecommunication Union). Organizace 3GPP (3rd Generation Partnership Project) pokračovala v definování mobilního systému, splňuje IMT-2000 standard a ten se nazývá Universal Mobile Telecommunications System (UMTS). Další vývoj systému je vytvářen pomocí releases. Každý release představuje nové vlastnosti implementované do systému UMTS. Příklady nových vlastností jsou zobrazeny v Tab. 4 Přehled UMTS Releases[1,5].

**Tab. 4 Přehled UMTS Releases**

Release	Vlastnosti
<b>Release '99</b>	– UTRAN – WCDMA 5 MHz
	– zjištění pozice (MT zjistí svoji pozici a může vyžádat např. bankomaty ve svém okolí)
	– služby volání kompatibilní s GSM založené na USIM (Universal Subscriber Identity Module)
<b>Release 4</b>	– MMS (multimedia messaging service) – MMSky - posílání obrázků, hudby, klipů...
	– oddělení signalizačních a spojovacích prvků páteří sítě UMTS (softswitch/media gateway)
	– vylepšení zjištění pozice uživatele
<b>Release 5</b>	– IMS (IP Multimedia Subsystem)
	– řešení all-IP
	– vylepšení v GERAN a MExE
	– HSDPA
<b>Release 6</b>	– integrace UMTS s Wireless LAN sítěmi
	– HSUPA
	– MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service)
	– vylepšení IMS pomocí Push to Talk over Cellular (PoC)
	– vylepšení GAN (Generic Access Network) – dovoluje bezešvý roaming a handover mezi LAN a WAN při využití duálního telefonu
<b>Release 7</b>	– zaměřuje se na snižování zpoždění pomocí zlepšení QoS v real-time aplikací jako např. VoIP
	– zaměření na HSPA+ (High Speed Packet Access Evolution)
	– SIM high-speed protocol a bezkontaktní čelní rozhraní (umožňující operátorům doručení bezdotykových služeb jako třeba platba pomocí mobilního telefonu)
	– EDGE Evolution – snížení TTI (Transmission Time Interval) z 20ms na 10ms (rychlost vzrostla na špičkovou hodnotu 1Mbit/s, modulace 16QAM nebo 32QAM, signál mohl být zlepšen pomocí příjmu díky duální anténě)
<b>Release 8</b>	– základní specifikace UMTS LTE (Long Term Evolution) – OFDMA, 64 QAM, MIMO - ve fázi přípravy

## 2.3 Třídy QoS (Quality of Service – kvalita služeb) v UMTS

Když definujeme třídy služeb v UMTS musíme je uvádět jako provozní třídy. Omezení a limity dané rádiovým rozhraním (vzduchem) musíme také brát v potaz. Není rozumné definovat komplexní mechanismus, který byl v kabelových sítích, ale musíme očekávat jiné chybové charakteristiky rádiového rozhraní. QoS mechanismus provozovaný v buňkové síti musí být schopný poskytnout přiměřených výsledků QoS.

### Základní třídy QoS v UMTS:

1. konverzační třída
2. třída distribučních datových toků
3. interaktivní třída
4. třída služeb na pozadí

Hlavní rozdíl mezi těmito třídami je ten, že jsou jinak citlivé na zpoždění. Nejvíce citlivá na zpoždění je konverzační třída a nejméně citlivá je třída služeb na pozadí.

Třídy konverzační a streamovací jsou určeny hlavně na přenášení datových toků v reálném čase. Konverzační třída je mnohem citlivější na zpoždění, z důvodu provádění videotelefonie, než streamovací třída, která přenáší data pouze jedním směrem.

Interaktivní třída bývá využívána na interaktivní aplikace, jako např. odesílání emailů a surfování po internetu, zatímco třída služeb na pozadí bývá využívána pro aplikace na pozadí, jako stahování dat nebo stahování emailů, přijímání SMS zpráv. Větší citlivost na interaktivní aplikace je zajištěna oddělením interaktivních aplikací od aplikací služeb na pozadí. Tok v interaktivní třídě má větší prioritu než třída služeb na pozadí, proto aplikace na pozadí využívají zdroj přenosu pouze když jej nepotřebují interaktivní aplikace. To je velmi důležité v bezdrátovém prostředí, kde je šířka pásma těžko srovnatelná s kabelovými sítěmi.

### 1. Konverzační třída

Nejnámějším představitelem konverzační třídy je telefonní hovor. S příchodem internetu a multimedií se počet nových aplikací zvyšuje např. voice over IP (IP telefonie) nebo videokonference. Konverzace v reálném čase je vždy mezi živými uživateli (skupinou uživatelů), proto jsou charakteristické požadavky dané lidským vnímáním.

Na konverzaci v reálném čase je charakteristické, že doba přenosu musí být malá 100 až 200 ms, z důvodu konverzační povahy této služby. Největší zpoždění musí být dáno lidským vnímáním při audio nebo video rozhovoru, proto je limit akceptovatelného přenosového zpoždění velmi přísný. Selhání obsluhy nedostačující přenosovou rychlostí bude vyhodnoceno jako nedostačující kvalita. Požadavek přenosového zpoždění je proto významně nižší a mnohem přísnější, než zpoždění odbavení dotazu v interaktivní třídě.

## **2. Třída distribučních datových toků**

Třída distribučních dat. toků se uplatňuje, když uživatel sleduje video / poslouchá hudbu v reálném čase. Je to jednosměrný přenos dat.

Tato třída je novinkou v datových službách, je příkladem vzrůstajících požadavků na telekomunikační a datové služby. Je charakteristická tím, že časové vazby mezi informačními entitami (pakety) při přenosu musí být zachovány, ačkoliv nemá žádné požadavky při malém přenosovém zpoždění. Kolísání zpoždění (jiter) u koncového uživatele je limitováno zachováním časových vazeb mezi informačními entitami streamu. Protože vyrovnávání jitrů provádí přijímač, největší tolerovaná hodnota jitrů bude dána vlastnostmi vyrovnávací funkce přijímací aplikace. Přijatelné kolísání zpoždění je vlastně omezeno limity lidského vnímání.

## **3. Interaktivní třída**

Tato třída se uplatňuje, když koncový uživatel, ať už člověk nebo nějaký přístroj (počítač), vyžaduje data ze vzdáleného zařízení (server). Příkladem vyžádání dat člověkem od vzdáleného zařízení může být surfování na internetu, správa databází, přístup k serveru, atd. Příkladem vyžádání dat přístrojů od vzdáleného zařízení je vyvolání zápisu měření, automatické databázové dotazy apod.

Interaktivní přenos je klasickou datovou službou, s charakteristickým principem požadavek-odpověď. Entita očekává zprávu (odpověď) v určitém čase. Zpoždění při vybavení dotazu je jednou z klíčových vlastností této třídy. Další důležitou vlastností je chybovost paketů, které budou přeneseny transparentně (s nízkou chybovostí).

## **4. Třída služeb na pozadí**

Tato třída je využívána, když koncový uživatel, kterým je typicky počítač, posílá nebo přijímá data na pozadí. Příkladem jsou doručky emailů nebo SMS, stahování z databází nebo příjem záznamů měření.

Přenos na pozadí je klasickou datovou službou, která je charakterizována tím, že neočekává doručení v daném čase, tj. nezáleží na čase doručení. Další důležitou vlastností je požadavek na nízkou chybovost paketů [5].

## 3 Proces optimalizace rádiové sítě

### 3.1 Úvod do optimalizačních požadavků rádiové sítě

Sítě třetí generace (3G) jsou již komerčně spuštěny a přechod od hlasu k datovým službám se stal skutečností. Zájem operátorů se změnil z dlouhodobých vizí, jako je vybudování nových sítí, na krátkodobé s možností získávání zpět svých investic. Proto se klade důraz na efektivní využití existujících GPRS (General Packet Radio Service) sítí a zároveň vyladění zavedených sítí 3G k možnosti masového využití. Po nalezení atraktivních obchodních příležitostí dochází k pečlivému plánování systémového uspořádání, ke zlepšení infrastruktury sítě a to jak pro rádiovou přístupovou síť, tak i pro pátevní síť. Proces plánování musí umožňovat modelování chování systému pro očekávané provozní zatížení. Pro správnou funkci síťových operací je důležité přesné měření pomocí zpětných smyček. Pro operační efektivitu je podstatný rychlý přechod od predikce, založené na odhadu výkonu sítě, k měření hodnot sítě a výkonu služeb.

Systém WCDMA sítí 3G obsahuje dvě důležité oblasti a to - zaprvé provozní třídy a uživatelské priority v UMTS a zadruhé samotné rádiové přístupové techniky. Operátoři sítí 3G musí řešit kompromis mezi kapacitou a pokrytím s odpovídající kvalitou služeb. NMS (Network Management System - systém managementu sítě) by měl identifikovat nedostatek kapacity v aktuální síti a zároveň rozpoznat potenciální zavedení datových služeb tam kde zavedeny nejsou.

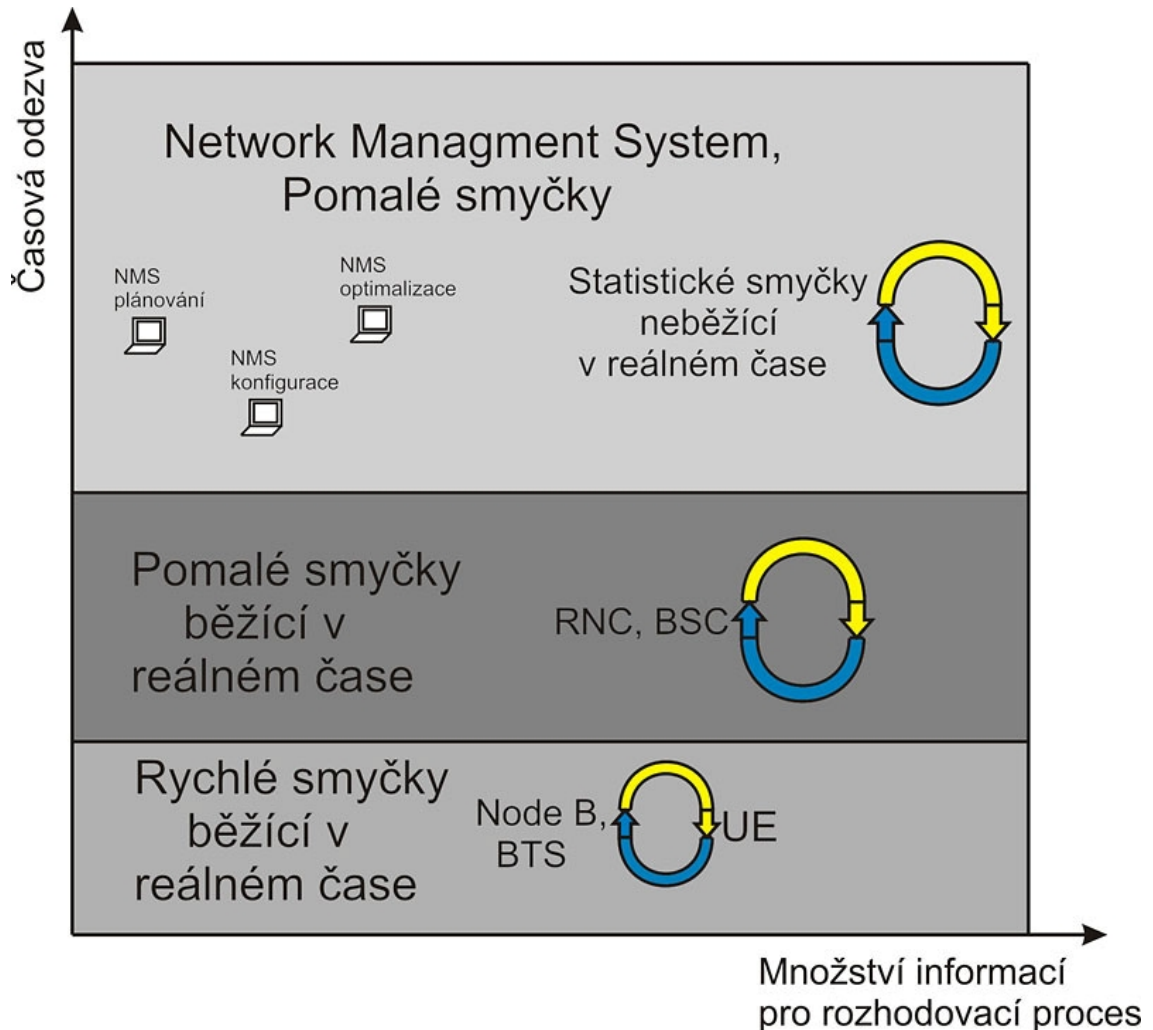
Výpis několika problémů týkajících se plánování a managementu sítí 3G:

- zavedení mnohonásobných služeb,
- požadavky na QoS,
- modelování rozdělení zátěže,
- plánování vlivu mobility účastníků,
- hierarchická struktura buněk a jejich další specifické typy,
- slučování sítí,
- vzrůstající úloha NMS.

Zajištění 3G sítí a služeb v přístupové části se skládá ze tří vrstev viz Obr. 3. Nejvyšší řídicí vrstva je statistická optimalizace neběžící v reálném čase (NRT – Non-Real Time). Nastavení rádiové přístupové sítě je založeno na měření dat na síťových prvcích. Vložením měřených hodnot do cenové funkce, získáme optimalizovanou cenovou funkci. Optimalizace je realizována nastavením konfiguračních parametrů. Automatizovaná podpora je potřebná pro proces optimalizace cenové funkce, stejně jako pro konfiguraci a výběr měřených dat. Je to realizováno v NMS. Tato smyčka statisticky řídí chování nižších vrstev kontrolních smyček na úrovni síťových prvků. Dále smyčka umožňuje automatizované řešení problému procesu za podmínky, že poruchy výkonu mohou být opraveny rychlým doručením informace ze signalizace nebo pomocí zpráv do optimalizačního procesu a konfiguračního managementu mezi NMS moduly. Poruchy a data sledování výkonu mohou být předány "optimalizátoru" k další analýze, ověření a řešení problému. Konfigurační data jsou dostupná v "konfiguratoru", který poskytuje také prostředky pro změnu implementace a predikce. Celý proces může být automatizován přidáním centralizovaného řízení úloh. Operátor definuje a dohlíží na cíle, schvaluje výsledky a plánuje implementace.

Optimalizací lze dosáhnout lepšího využití rádiových zdrojů nebo měnit pracovní bod v grafu kompromisu mezi kapacitou, pokrytím a cenou sítě. Optimalizace

je také zapojena operátorem z důvodu potřeby rozšíření sítě v rámci nových lokalit nebo služeb (ať už ve změně stávajících nebo zavádění nových).



**Obr. 3: Hierarchie optimalizačních smyček v buňkových sítích**

Optimalizace je prováděna manuálně nebo automatizovaně za účelem zvýšení výkonu sítě. Úkolem optimalizace je porozumění a převedení vztahů mezi měřenou výkonností sítě a stanovenou QoS. Optimalizační smyčka vrstvy NMS tvoří rozhraní mezi konfigurací sítě a měřenými daty. "Skladiště dat" (Data warehouse) reprezentuje rozhraní, ve kterém jsou uloženy všechny naměřené hodnoty ze všech síťových prvků. CM (Configuration Management) představuje databázi, ve které jsou soustředěny všechny konfigurační parametry, které řídí síť.

Dodatečně může být vytvořena vrstva pro inicializační mód (pre-operational mode). Tato smyčka může být ve stejné úrovni jako smyčka statistické optimalizační síťové vrstvy. Inicializační mód se dělí na dvě fáze:

- počáteční plánování,
- detailní plánování rádiové sítě.

Inicializační mód plánuje poskytování prvotních hodnot pro vykonání iterací dokončených statistickou optimalizační smyčkou.

V buňkovém systému, kde je využíváno společné rádiové rozhraní, počet současných uživatelů přímo ovlivňuje mez šumu na přijímači. Proto ve fázi plánování UMTS sítě nelze oddělit pokrytí od kapacity. Ve sítích 2G začali datové služby hrát důležitou roli. Z důvodu různorodosti služeb se od optimalizačního procesu vyžaduje překonání sady modifikací. Jedna ze souvisejících modifikací je požadavek na QoS. Při

specifikování pokrytí hovorových služeb v sítích 2G byla dána určitá hranice, ale musí být brán ohled na nárůst používání uvnitř budov a v autech. V případě UMTS je tento problém složitější. Každá služba má stanovenou určitou hranici QoS. V praxi to znamená, že je dán požadavek na hraniční hustotu uživatelů, stejně jako hodnoty vymezující pokrytí a jiné hodnoty pro reálný provoz. Dále musí být stanoveny kritéria pro paketové služby QoS. Provoz QoS v NRT souvisí s přijatelným zpožděním a propustností. Odhad zpoždění ve fázi plánování sítě vyžaduje dobrou znalost uživatelského chování a pochopení paketových služeb.

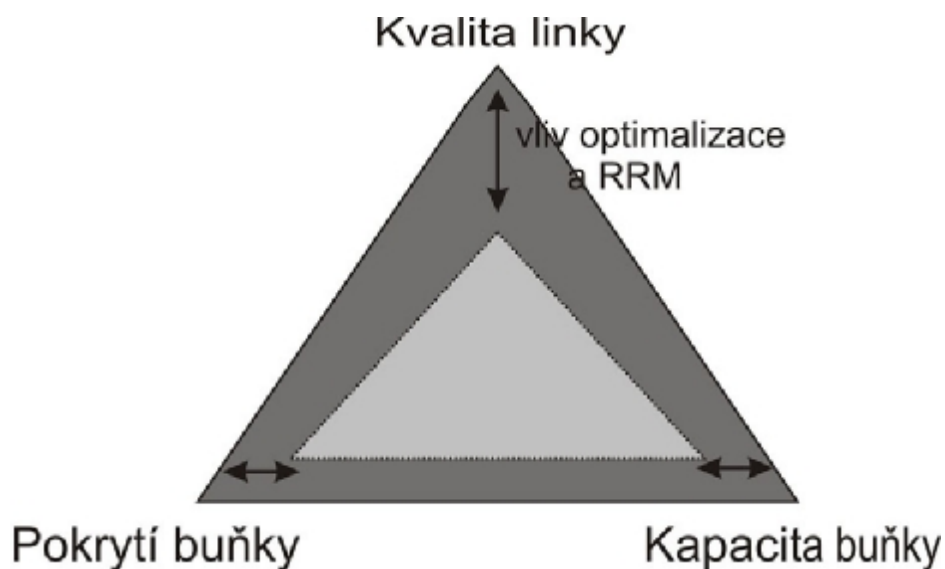
Obě nižší vrstvy na Obr. 3 se skládají ze smyček odezvy v reálném čase a uplatňují se v základnových stanicích (BTS/Node B) a kontrolerech (BSC/RNC). Jejich hlavní rozdíl je v čase potřebném k rozhodování:

1) pomalá optimalizační smyčka v reálném čase (RT) disponuje dynamickou kontrolou mezisystémové komunikace a autoregulací parametrů radiové sítě (např.: hranice zatížení atd.). V závislosti na funkčním rozdělení řízení sítě může být tato smyčka umístěna v aktuálním síťovém prvku nebo v NMS. Hlavní výhodou použití této smyčky v NMS je možnost využití statistických dat z celé síťové oblasti (network area),

2) rychlá řídicí smyčka v reálném čase souvisí s rychlou regulací výkonu, rychlou ochranou před zahlcením, přizpůsobením linky a přidělováním kanálů. Další důležitou vlastností této smyčky je dopad na proces plánování rádiových sítí v rámci modelování regulace výkonu a způsoby handoveru, atd.

Smyčky běžící v reálném čase se nazývají RRM (Radio Resource Management) algoritmy. RRM obsahuje sadu algoritmů pro řízení přístupu, řízení výkonu, řízení handoveru atd., a celkově odpovídá za funkční chod sítě. Toho je dosaženo poskytováním standardních sad parametrů pro řízení sítě pomocí pracovního bodu v rámci kompromisu mezi kapacitou - pokrytím - cenou - kapitálovými nebo investičními náklady. Ve zkratce to znamená, že operátor musí provést ekonomické rozhodnutí v rámci QoS. Například jestli nabídne službu s vysokou kvalitou a sníží tím kapacitu, nebo vybuduje drahou infrastrukturu sítě a získá tím velké pokrytí i pro uživatele s vysokou přenosovou rychlostí. Smyčka s rychlou odezvou v prvcích radiové přístupové sítě můžeme považovat za adaptivní RRM.

Smyčky statistické optimalizace jsou zapotřebí ke změně hranic řízením RRM a to tak, aby pracovní bod sítě byl optimální v rámci kapacity a kvality. Graf kompromisu pokrytí – kapacity – kvality, vliv optimalizace a RRM je na Obr. 4[6].



Obr. 4: Graf kompromisu pokrytí – kapacity – kvality linky

## 3.2 Radio Resource Management RRM (Řízení rádiových zdrojů)

Jako Radio Resource Unit (RRU) jsou definovány základní fyzické přenosové parametry nezbytné pro přenos základních služeb koncovým účastníkům.

Například v:

- FDMA je RRU – šířka pásma kanálu nosné. Pro TACS je šířka jednoho kanálu 25 kHz v pásmu 900MHz.
- TDMA je RRU – šířka pásma kanálu nosné a timeslot. V GSM je délka timeslotu 0,577ms a šířka kanálu je 200kHz.
- CDMA je RRU – šířka pásma kanálu nosné, kódová sekvence a úroveň výkonu. V UTRAN FDD šířka kanálu 5MHz, skramblovací kódy jsou identifikovány danou službou a úroveň výkonu je proměnná dle interferencí a zatížení sítě atd.

Mobilní komunikace má dynamický charakter. Dynamika vyvstává z rozmanitých vlastností sítě jako je generování provozu, interference atd. Proměnné vlastnosti si žádají dynamické řízení rádiových zdrojů, které je uskutečněno pomocí RRM mechanismů s velký počtem parametrů, které musí být měřeny, analyzovány a optimalizovány. RRM mechanismy mohou do jisté míry pomoci vyřešit problémy při plánování a výstavbě radiové sítě, která by jinak zabránila operátorovi pružně reagovat na krátkodobé zvýšení datového provozu.

Řízení rádiových zdrojů a QoS jsou velmi důležitou součástí 3G systémů, protože systém spoléhá na garanci služeb pomocí QoS. Udržení plánovaného pokrytí nabízí vysokou kapacitu, tyto cíle jsou však protichůdné (např. zvětšení kapacity na úkor snížení pokrytí; zvýšení kapacity na úkor QoS). Plánování radiové sítě poskytuje hrubé nastavení těchto parametrů, zatímco RRM poskytnou jemné doladovací mechanismy, které provedou finální přizpůsobení.

V případě WCDMA více uživatelů vysílá ve stejném čase a na stejné frekvenci prostřednictvím různě rozprostřených sekvencí, které nejsou většinou dokonale ortogonální. Následkem je přirozená spojitost mezi různými uživateli. Vlastnosti spojení jsou závislé na chování dalších účastníků, kteří sdílí radiové prostředí ve srovnání s dalšími mnohonásobnými přístupovými technikami jako je FDMA nebo TDMA. V této souvislosti jsou RRM funkce rozhodující ve WCDMA, protože není stanovena konstantní hodnota maximální kapacity, ta je závislá na množství interferencí v radiovém rozhraní. Účinný RRM nemusí mít výhody pro poměrně malé zatížení, pokud se však počet uživatelů v systému zvýší ke kritickým hodnotám, potom je dobrý RRM absolutně nezbytný.

RRM funkce mohou být implementovány v mnoha různých algoritmech, což má dopad na celkovou účinnost systému a na cenu operátorovi infrastruktury. Proto budou strategie RRM bezpochyby hrát důležitou roli v rozvinutějších UMTS sítích. Strategie RRM nejsou standardizovány, proto různé odlišnosti mohou být spornou otázkou mezi výrobcí a operátory.

Všeobecně vzato služby běžící v reálném čase (real time – RT) mají striktnější požadavky na QoS ve srovnání se službami, které nebudou běžet v reálném čase (non real time – NRT). Proto jejich vytvoření bude vyžadovat větší investice operátorů. Pokud bude množství rádiových zdrojů příliš nízké, potom uživatelé NRT služeb mohou pocítit neuspokojivé spojení, kvůli jejich nadměrnému zpoždění. V tomto případě bude nutné, aby operátor změnil cílové hodnoty QoS, aby fungovaly i NRT služby.

QoS parametry mohou být klasifikovány do dvou úrovní:

- a) síťová úroveň (např. pravděpodobnost blokování nebo ukončení služby atd.)

- b) spojovací úroveň (např. BER – Bit Error Rate – bitová chybovost, maximální přenosová rychlost, atd.

BER (viz vzorec 3.2) představuje QoS parametr na spojovací úrovni, který je dán jako funkce  $E_b/N_o$  (bit energy over noise power spectral density – energie bitu na spektrální hustotu výkonu šumu) tedy:

$$BER = f\left(\frac{E_b}{N_o}\right) \quad (3.2)$$

kde  $f$  je monotónně klesající funkce závislá na parametrech fyzické vrstvy, jako je kanálové kódování, prokládací schéma, kanálová odezva na jednotkový impuls atd. Požadavek na cílovou BER může přímo souviset s cílovou  $E_b/N_o$  funkcí. Další parametry které hrají důležitou roli pro kvalitní spojení a pro RRM funkce jsou např.:

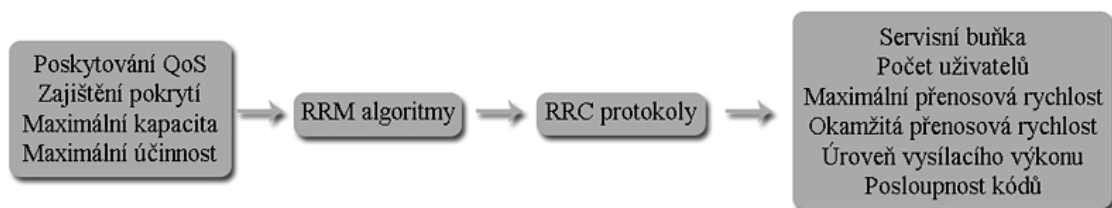
- Počet současně vysílajících uživatelů. Úroveň interferencí závisí na počtu uživatelů  $n$ , kteří sdílí rádiové rozhraní. Počet současně vysílajících uživatelů je náhodný a vychází z počtu vyskytujících se uživatelů a aktivních uživatelů. V systému je několik mechanismů, které mohou řídit tento parametr. Z dlouhodobého hlediska pomocí přijmutí / odmítnutí nových volání / služeb. Z krátkodobého hlediska pomocí povolení / zadržení uživatelského vysílání na rádiovém rozhraní na základě vysílání rámce po rámci.
- Bitová rychlost. Přenosová bitová rychlost závisí na chování zdroje dat, který může poskytovat proměnné množství bitů za časovou periodu a následkem je nepředvídatelná položka pro mnoho aplikací. V systému je však několik mechanismů, které dokáží řídit tento parametr a tak ustavují další identifikovatelnou RRM funkci. Změny přenosové rychlosti se uskutečňují v řádu rámců (tj. řádově desítky milisekund pro UTRAN), zatímco v daném rámci bude přenosová rychlost konstantní pro daný zdroj.
- Úroveň výkonu. Počet současně vysílajících uživatelů  $n$  a jejich přenosové rychlosti  $R_{b,i}$  jsou konstantní pro daný rámec, podmínky šíření  $L_{i(t)}$  se projevují jako krátkodobé proměnné např. Rayleigh fading (únik). Jediný přenosový parametr, který dokáže reagovat na tak rychlé změny je úroveň vysílacího výkonu  $P_{T,i(t)}$ . Řízení výkonu v RRM je funkce, která dokáže takto rychle reagovat. Za povšimnutí stojí také úroveň interferencí více uživatelů. Je to rostoucí funkce, která závisí na počtu přenášejících uživatelů v daný moment. Požadovaný přenosový výkon  $i$ -tého uživatele roste s celkovým nárůstem vysílajících uživatelů, což odráží existující spojitost mezi jednotlivými současně vysílajícími uživateli ve WCDMA rádiovém rozhraní. Vzrůstající výkonová úroveň více uživatelů může být překonána rostoucí přenosovou úrovní výkonu k udržení konstantního  $E_b/N_o$  a rovnající se cílové hodnotě.

RRM algoritmy mohou být centralizované (tzn. umístěné v síťovém prvku jako je např. RNC) nebo distribuované (tzn. umístěny v každém UE). Centralizované řešení může být výkonnější v porovnání s distribuovaným řešením, protože více relevantních informací pro RRM o všech uživateli je dostupných v RNC. Nicméně v uplinku je potřeba většího množství řídicí signalizace k vytvoření rozhodnutí centralizovanými RRM algoritmy pro každý UE. Střední cesta mezi centralizovaným a distribuovaným



řešením je dána pro uplink vyplývající z 3GPP. A to tak, že okamžitá přenosová rychlost je vybrána v UE pomocí distribuovaném řešení a je dána maximální povolenou přenosovou rychlostí, která je v síti nastavená centralizovaným řešením.

Obr. 5 ilustruje roli RRM strategií jako je náplň jejich činností. Cílem RRM mechanismů je poskytování požadované úrovně QoS a zabezpečení cílového pokrytí při maximalizaci kapacity rádiové sítě a její efektivita, což znamená, že obstarávají celkovou optimalizaci. Za tímto účelem RRM techniky řídí sadu rádiových parametrů jako je obsluha buňky, maximální přenosová rychlost, okamžitá přenosová rychlost, výkon přenosu atd. Jejich účelem je přidělit nezbytné RRUs v síti k dosažení těchto cílů. K nastavení všech těchto parametrů slouží Radio Resource Control protocol (RRC protokoly – protokoly pro řízení rádiových zdrojů). Pomocí RRC protokolů je síť (tj. RNC) schopna koordinovat a řídit RRU pro každý UE.[10]



**Obr. 5: Cíle RRM algoritmů**

### 3.2.1 Funkce RRM

Je nutné brát v úvahu omezení dané rádiovým rozhraním. RRM funkce jsou zodpovědné za vznik rozhodnutí, které se týkají nastavení různých parametrů, které mají vliv na chování rádiového prostředí. Existuje několik základních parametrů:

1. Počet aktivních uživatelů  $N$ .
2. Počet současně vysílajících uživatelů  $n$ .
3. Odpovídající přenosová rychlost  $R_{b,i}$  pro každého uživatele.
4. Úroveň přenášeného výkonu odpovídající každému uživateli.

V buňkovém systému mají výše zmíněné parametry dopad na sousední buňky, a to ve formě úrovně interferencí mezi buňkami. Počet řízených parametrů stejně jako jejich různé vlastnosti potřebují sadu několika RRM funkcí, jejichž spojením můžeme dojít k celkové optimalizaci rádiové přístupové sítě. Je potřeba aby RRM funkce byly stejné pro uplink i downlink, ačkoli rozdílná povaha těchto spojení představuje různé přístupy. Rádiová přístupová síť je dynamická. V síti je mnoho zdrojů této dynamiky s ohledem na časové měřítko. Jejich příklady:

1. Počet vyskytujících se uživatelů  $M$  se mění nejen následkem růstu servisních aktualizací, které jsou znatelné z dlouhodobého hlediska (např. měsíce), ale také následkem proměnlivosti provozu (např. zvýšení  $M$  v obchodních prostorách během pracovní doby).
2. Počet aktivních uživatelů  $N$  se mění jako  $M$ , s rozdílem v generování volání/služeb a odlišných vlastností těchto služeb jež uživatelé využívají.

3. Počet současně vysílajících uživatelů  $n$  se mění dokud se mění  $i$   $N$  nebo  $M$ . Navíc změny v  $n$  závisí na generování provozu, který je různý vzhledem ke službám, které uživatelé využívají (např. video streaming představuje mnohem vyšší faktor aktivity než surfování po internetu). Např. pro CBR (Constant Bit Rate – konstantní bitová rychlost) služby jejich datové zdroje generují trvalý datový tok, zatímco pro VBR (Variable Bit Rate – proměnná bitová rychlost) služby jim datové zdroje nabízí různé rychlosti toku proměnné v čase.
4. Všichni tito  $n$ ,  $N$  a  $M$  uživatelé se pohybují v sítích, takže podmínky šíření se mění v čase. Změny v podmínkách šíření související s časem: path loss souvisí s měnící se vzdáleností UE od Node B; slow fading (shadowing) souvisí s překážkami při šíření signálu; fast fading souvisí s blízkým prostředím. Rychlost pohybu UE také ovlivňuje vlastnosti rádiové sítě.

I když všechny zmíněné problémy byly v referenční buňce konstantní, tak dokud se změny vyskytují v sousedních buňkách, referenční buňka by ovlivňovala dynamiku způsobenou změnami hladiny interferencí mezi buňkami.

Různé RRM funkce se vyznačují odlišnými parametry a jejich efektem na rádiové rozhraní. RRM funkce mohou být klasifikovány podle časového měřítka jako aktivní nebo již vykonané. Krátkodobé a dlouhodobé časové měřítka jsou příbuzné, preferovaný přístup je přiřadit typické časové měřítka aktivací periody s RRM funkcemi. Tab. 5 zachycuje seznam RRM funkcí s typicky odpovídajícím časovým měřítkem (tj. čas mezi tím kdy je akce uskutečněna pomocí specifického RRM algoritmu a časem který stejný algoritmus potřebuje k řízení).[10]

**Tab. 5: Časové měřítka aktivace RRM algoritmů**

Typický čas aktivace algoritmu	RRM funkce
1 slot	Vnitřní smyčka řízení výkonu
1 rámeček	UE-MAC
	Rozvržení paketů
10 - 1000 rámečků	Řízení přístupu
	Handover
	Management kódů
	Řízení přetížení
	Vnější smyčka řízení výkonu

### 3.2.2 Řízení přístupu do sítě

Řízení přístupu do sítě rozhoduje jestli žádost o nové přidělení či opětovné přidělení rádiové nosné frekvence bude přijata nebo odmítnuta. Žádost o přijetí by měla být schválena v případě, že požadavky na QoS budou dodrženy a zároveň požadavky na QoS již přijatých spojení nebudou ovlivněny novou žádostí. Řízení přístupu je ve WCDMA velmi důležité, protože zde není žádný pevně daný limit maximální kapacity. Návrh řízení přístupu je v UMTS mnohem důležitější než v GSM, kde bylo pevně stanoveno množství dostupných kanálů a uživatelé byli přijímáni dokud nedošlo k vyčerpání kanálů.

Maximální kapacita buňky má spojitost s interferencemi v buňce a úrovní zatížení buňky. Využitím algoritmu pro řízení přístupu je založeno na měřeních a odhadech aktuálního zatížení sítě a také odhadu zvýšení zatížení, které způsobí žádost o

přijetí. Rozhodnutí o přístupu je dáno vlastnostmi v daném okamžiku, ale také v minulosti. Rozhodnutím však nelze předvídat budoucí výkon sítě, a tak jsou nezbytné další RRM funkce, aby zvládaly proměnné vlastnosti sítě a udržely požadavky na QoS pod kontrolou.

Nepředvídatelnost rádiového prostředí (např. pohyblivost, provoz, kapacita atd.) umožňuje řízení přístupu hrát důležitou roli v nastavení RRM. Pokud jsou rozhodnutí příliš benevolentní, pak je přijato příliš mnoho uživatelů a dochází k přetížení sítě, po té jsou aktivovány RRM mechanismy pro jejich korekci. Pokud je však rozhodnutí příliš přísné, pak je přijato pouze málo uživatelů a operátor ztrácí možnost finančních příjmů, v tomto případě je nutné další ladění algoritmu pro řízení přístupu.

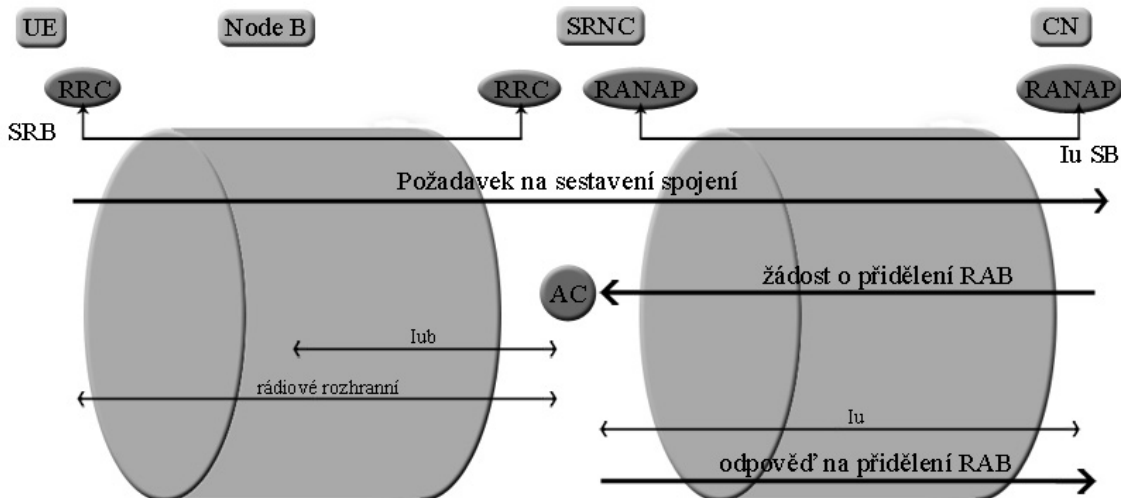
Algoritmy pro řízení přístupu jsou oddělené pro uplink a downlink, kvůli odlišné problematice jednotlivých směrů. Žádost o spojení může být schválena pouze pokud to povolí algoritmy odpovídajícího směru. Ve směru downlink je tvrdě limitujícím faktorem dostupnost OVFS kódování.

Protikladem 2G, kde o přístup žádali uživatelé s hlasovou službou s vyrovnanými požadavky na QoS, je 3G kde ve WCDMA jsou očekávány pro multimediální služby (např. videotelefonie, streaming videa, surfování po internetu, atd.) různé požadavky na QoS. Proto pro algoritmy pro řízení přístupu musíme vzít v úvahu, že se mění množství rádiových zdrojů pro každou žádost o spojení. Stejně jako požadavky na QoS v rámci přenosu dat v RT nebo NRT mohou být považovány za účinný algoritmus pro řízení přístupu. Podmínky přístupu pro NRT provoz mohou být volnější, avšak za předpokladu, že dodatečné mechanismy RRM doplňují řízení přístupu a budou schopny omezit NRT přenos pokud nadměrně vzrostně zatížení v rádiové síti.

Navíc žádost o sestavení spojení může být spouštěna procedurou handover, transportním kanálem pro komutované spojení, atd., a takto další RRM funkce souvisí s řízením přístupu.

Procedury související s řízením přístupu z hlediska signalizace jsou na Obr. 6. Žádost o sestavení spojení v UMTS je vždy spouštěna ze strany UE, protože UE inicializuje spojení se sítí, a také protože odpovídá na vyvolávací zprávy. Před procedurou sestavení spojení posílá UE signalizaci směrem k CN, které je sestaví v případě, že UTRAN provede pomocí RRC spojení a RANAP (Radio Access Network Application Part – aplikační část rádiové přístupové sítě) protokolu, který se stará o UTRAN-CN interakce.

Za pomoci RRC a RANAP protokolů se žádost o sestavení spojení dostává do CN. Proto vždy CN spouští RAB (Radio Access Bearer – nosná rádiového přístupu) pravidlo s RAB pověřovací zprávou posílanou z CN do SRNC. S příchodem této zprávy se vykoná algoritmus pro řízení přístupu (AC – admission control). Pokud je spojení schváleno, pak SRNC stanoví rádiové zdroje a Iub rozhraní. Dále se pro požadované spojení stanoví rozhraní Iu. Pokud tato procedura uspěje, tak je poslána kladná RAB odpověď do CN a RAB nakonec sestaví spojení.[10]



Obr. 6: Zprávy a protokoly při řízení přístupu do sítě

### 3.2.3 Ochrana proti přetížení sítě

Ochrana proti přetížení sítě je také nazývána kontrola zatížení. Čelí situacím, ve kterých je garantovaná QoS ohrožena kvůli dynamice systému (z hlediska pohyblivosti, zvýšení interferencí, proměnlivosti provozu, atd.). Například při pohybu několika uživatelů daleko od Node B může nastat situace, kdy nebude dostatečný výkon pro splnění kvalitativních požadavků na spojení. I přes přísné řízení přístupu se může stát, že nastanou situace kdy dojde k přetížení. Následkem tohoto musí být mechanismy ochrany proti přetížení sítě zahrnuty do sady RRM funkcí.

Přetížení je následkem nadměrných interferencí v rádiovém rozhraní. Algoritmy na ochranu proti přetížení musí neustále monitorovat síť, aby dokázaly zabránit přetížení, kdyby hrozilo. Monitoring je založen na síťových měřeních jako je výkon přenosu v downlinku, faktor zatížení buňky v uplinku atd., které je zapotřebí vhodně průměrovat, aby nedošlo k falešným detekcím přetížení (tj. spuštění mechanismů rozlišujících přetížení, když rádiové rozhraní není přetížené) nebo naopak nedetekování přetížení (tj. nespuštění mechanismů rozlišujících přetížení, když je rádiové rozhraní opravdu přetížené). K tomu je zapotřebí, aby tento algoritmus dokázal rychle reagovat při přetížení, aby mohl zabránit snížení kvality spojení.

Podobně jako algoritmus pro řízení přístupu do sítě, tak i algoritmus ochrany proti přetížení sítě souvisí s dalšími RRM funkcemi. Algoritmus ochrany proti přetížení sítě spolupracuje s řízením přístupu do sítě (např. odmítání nových spojení při přetížení sítě) nebo při handoverech (např. převedení spojení z přeplněné buňky do sousedních buněk). Činnosti, které mají být uskutečněny závisí na situaci, počátku přetížení a službě. Z Obr. 7 je vidět, že maximální úroveň zatížení je pro síť pevně stanovena. Aktuální zatížení je dáno součtem RT a NRT vysílaných služeb. Pokud je RT provozní zatížení pod plánovanou hodnotu je možné přetížení řešit změnou vlastností přenosu pro NRT uživatele Obr. 7a. Přetížení zmírníme snížením přenosové rychlosti NRT uživatelů. V mezní situaci pozastavením všech NRT vysílání v buňce. Pokud to nestačí, pomoci mohou sousední buňky, a to snížením NRT mezibuňkových interferencí. Pokud to však nebude stačit (Obr. 7b), je nezbytná redukce RT zatížení. V případě konverzačních služeb to může být uskutečněno pomocí ukončení několika hovorů.



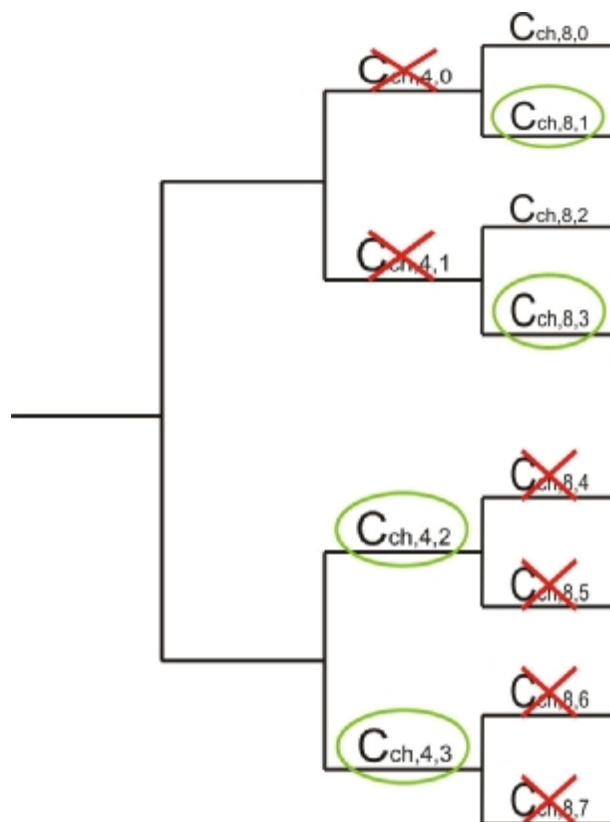
**Obr. 7: Ochrana proti přetížení sítě**

Algoritmus ochrany proti přetížení sítě nebo také algoritmus kontroly zatížení je umístěn v síťové části (tj. RNC) a je založen na měřeních, které slouží jako vstupy algoritmu (např. faktor zatížení buňky v uplinku, výkon přenosu v downlinku, atd.). Když dochází k přetížení sítě, tak je spuštěna akce pro rozlišení přetížení, která je implementována v RRC protokolu. Například při redukci přenosové rychlosti je pomocí RRC protokolu indikována tato skutečnost (tj. vytvořena zpráva o rekonfiguraci transportního kanálu) a poslána do UE. Při příchodu RRC zprávy do UE je tato událost převzata a UE překonfiguruje nižší vrstvy.[10]

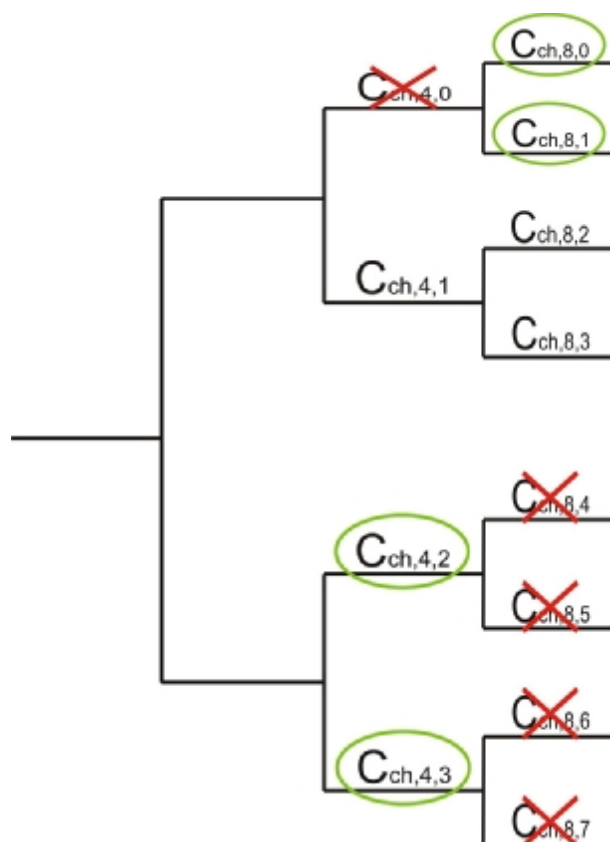
### 3.2.4 Management kódů

Management kódů je věnován řízení OVFSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) stromových kódů v downlinku používaného pro přidělení fyzického kanálu, který je ortogonální pro jednotlivé účastníky. Výhoda OVFSF kódů používaných v UTRAN pro downlink je, že jsou dokonale ortogonální. Nevýhodou je omezený počet dostupných kódů. Proto je důležité aby bylo možné přidělit / opětovně přidělit kanálové kódy v downlinku účinnou metodou, aby se předešlo blokování kódu. Blokování kódu představuje situace, kdy nový hovor mohl být přijatý na základě analýzy interferencí a také na základě volné kapacity stromového kódu, ale kvůli neúčinnému kódovému přiřazení tato volná kapacita není dostupná pro nové hovory, které jsou kvůli tomu blokovány. To je zobrazeno na Obr. 8, kde jsou dvě vysílání se  $SF = 4$  a dvě vysílání se  $SF = 8$ , předpokládáme, že kódy byly přiřazeny v tomto pořadí  $C_{ch,4,2}$ ,  $C_{ch,4,3}$ ,  $C_{ch,8,1}$  a  $C_{ch,8,3}$ , které zabraňuje použití kódů označených křížkem. Je jasné, že s tímto OVFSF stromovým kódem při vzniku nové žádosti o spojení pro  $SF = 4$  by došlo k blokování kódu, protože žádný kód není k dispozici. Naopak při přidělení kódu podle Obr.9 je možné kód přidělit dvěma uživatelům se  $SF = 4$  a dvěma se  $SF = 8$  a dále je možné povolit požadavek na nové vysílání se  $SF = 4$  s kódem  $C_{ch,4,1}$ .

Všeobecně vzato je strategie pro přidělování kódu namířena na minimalizaci fragmentování stromových kódů a umožnění maximálnímu počtu kódů rychlý přenos a eliminaci blokování kódování. Nicméně účel strategie přidělování / opětovné přidělování kódů je předejít blokování kódů. K tomu je nutný handover kódu, to nastává když uživatel při volání využívá přidělený kód a je nucen změnit kód patřící do stejné vrstvy.[10]



Obr. 8: Příklad blokování kódu



Obr. 9: Příklad přidělování kódu s prevencí blokování

### 3.2.5 Handover

Účelem této strategie je optimalizovat buňku nebo několik buněk, ke kterým je mobil připojen. Ačkoli je handover základní funkcí buňkového systému, v případě WCDMA je lepší, když je mobilní terminál připojen současně k více než jedné buňce, tedy za předpokladu pokud buňky vysílají na stejné frekvenci. V tom je rozdíl mezi měkkým (soft) a tvrdým (hard) handoverem.

Bez ohledu na typ handoveru je mechanismus handoveru ve WCDMA řízený sítí s pomocí posílání měření od UE. Handover zahrnuje 3 základní kroky: měření, rozhodnutí a provedení.

Měření provedená mobilním terminálem mohou být do sítě posílány buď pravidelně nebo po spuštění nějaké události. Pravidelné zasílání zpráv může zbytečně snižovat výkonnost rádiových zdrojů pokud mezi periodami měření nejsou pozorovány změny na rádiovém rozhraní.

Měření, která jsou velmi přesně specifikována a mohou být různých kategorií: intra-frequency (pro stejnou nosnou v UTRAN), inter-frequency (pro různé nosné v UTRAN) nebo inter-RAT (pro různé přístupové technologie jiné než UTRAN).

Intra-frequency měření se využívá pro měření sousedních buněk ve stejné hierarchické vrstvě, protože buňky patřící do jiné vrstvy (mikrobuňky, makrobuňky, atd.) vysílají na jiných frekvencích. Inter-frequency měření se provádí na stejné hierarchické vrstvě, když je více nosných přiděleno dané buňce z důvodu zvýšení kapacity nebo když je hierarchická struktura buněk přidělena síťovým operátorem. Inter-RAT (RAT – Radio Access Technology – technologie rádiového přístupu) měření se provádí, když je více než jeden RAT umístěn v uvažované oblasti dosahu.

Rozhodnutí o provedení handoveru se uskuteční prostřednictvím handover algoritmu, který je standardizován. Příklady tohoto algoritmu jsou obsaženy ve 3GPP specifikacích [9], kde je rozhodnutí vytvořeno v důsledku srovnání CPICH měření. Řídící kanál hraje důležitou roli pro vytvoření rozhodnutí o handoveru, zvýšení nebo snížení výkonové úrovně přenosu může pro většinu uživatelů znamenat odpojení nebo připojení k buňce.

Ačkoliv je koncept handoveru jednoduchý, jeho praktická realizace je složitá, protože je to mnohdimenzionální problém s velkým množstvím parametrů. Rozhodnutí o handoveru a jeho čas má velký dopad na celkovou výkonnost rádiové přístupové sítě, proto je handover rozhodující procedura.[10]. Další podrobnosti o handoverech jsou zmíněny v kapitole 3.5.

### 3.2.6 UE-MAC a plánování paketů

Tyto algoritmy jsou věnované rozhodnutí o vhodnosti parametrů rádiového vysílání pro každé spojení v krátkém časovém měřítku při velké dynamice. Fungují rámeček po rámečku (nebo TTI) na základě využití krátkodobých změn na úrovni interferencí. Jsou zobrazeny na Obr. 10. Na Obr. 10a zobrazují situaci ve které je aktuální zatížení včetně RT i NRT uživatelů pod plánovanou úroveň zatížení a ještě je v buňce rezervní kapacita. Obr. 10b je rezervní kapacita vyplněna zatížením NRT uživatelů, což dovoluje vysílat uživatelům, kteří nebyli zahrnuti v Obr. 10a nebo zvýšení přenosové rychlosti dalších uživatelů, kteří již zahrnutí v Obr. 10a byli.



**Obr. 10: RRM strategie fungující v krátkém čase s NRT zatížením**

Pro směr uplink je tato funkce decentralizovaná a vykonává ji MAC vrstva každého UE, která se nazývá UE-MAC algoritmus a slouží k výběru okamžité přenosové rychlosti. V downlinku je tato funkce centralizovaná a vykonává algoritmus pro plánování paketů. [10]

### 3.2.7 Řízení výkonu

Účelem této funkce je optimalizovat výkon přenosu UE (v uplinku) a výkon přenosu Node B (v downlinku). Uzavřená smyčka řízení výkonu je odpovědná za nastavení rychlé změny (tj. každý slot uvnitř UTRAN FDD 10ms rámce) výkonu přenosu k dosažení požadovaného poměru  $E_b/N_o$  na přijímači. Vnější smyčka řízení výkonu je zodpovědná za výběr vhodného poměru  $E_b/N_o$  v závislosti na vhodné BLER (Block Error Rate – chybovost bloku) nebo BER (Bit Error Rate – bitová chybovost). Pracuje mnohem pomaleji než uzavřená smyčka řízení výkonu a přizpůsobuje řízení výkonu změně prostředí [10]. Popis jednotlivých smyček a jejich vlastností je v kapitole 3.7.

### 3.3 Makrodiverzita

Jde vlastně o případ kdy signál vysílaný jedním zdrojem, prochází dvěma nebo více různými přenosovými cestami k různým přijímačům. Signál získaný z těchto přijímačů je sloučen a tím se získá kvalitnější signál ve srovnání se signálem pouze jednoho přijímače.

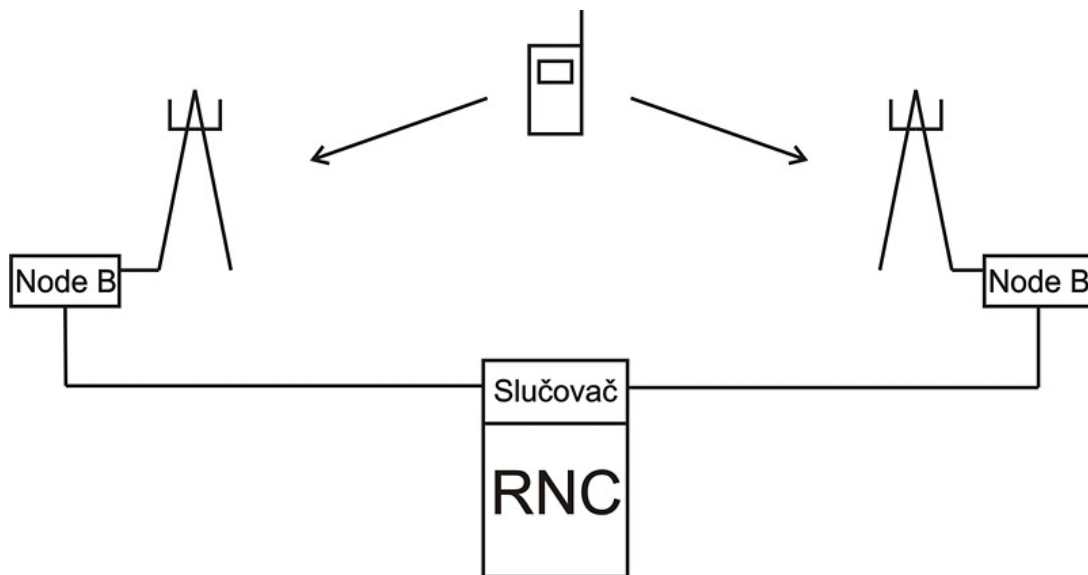
Makrodiverzitu rozlišujeme v:

- downlinku
- uplinku



Markodiverzita v downliku – přenos dat do UE z několika Node B, přitom všechny Node B vysílají signál na stejném kmitočtu nosné. Signály vysílané z několika Node B k jednomu UE způsobují zvýšení interferencí v buňce, protože ostatní UE tyto signály považují za rušivé. Čím více přenosových cest bude vytvořeno pro jeden UE, tím vyšší bude úroveň interferencí v buňce.

Makrodiverzita v uplinku (viz Obr. 11) – přenos dat směrem z UE do několika Node B. Tady ke zvyšování interferencí nedochází, protože vysílá pouze UE. Větší počet přenosových cest k různým Node B naopak zvyšuje pravděpodobnost úspěšného přijetí signálu. Sloučení signálů přijatých různými Node B umožňuje snížení vysílaného výkonu UE, což se projeví snížením příkonu UE a nižším požadavkem na napájecí zdroj.



**Obr. 11: Makrodiverzita v uplinku**

Sloučení signálů z několika přenosových cest může být provedeno různými způsoby, např. v přijímači RAKE, v dekodéru kanálu, po kanálovém dekodování nebo po zdrojovém dekodování. Nejvyššího zisku lze dosáhnout použitím přijímače RAKE, za podmínky dokonalé synchronizace základnových stanic. V uplinku se signály slučují v RNC a synchronizace s Node B není požadována. Proces slučování signálů v RNC by měl být kompromisem mezi dosažitelným ziskem a kapacitou spojení mezi RNC a Node B[2].

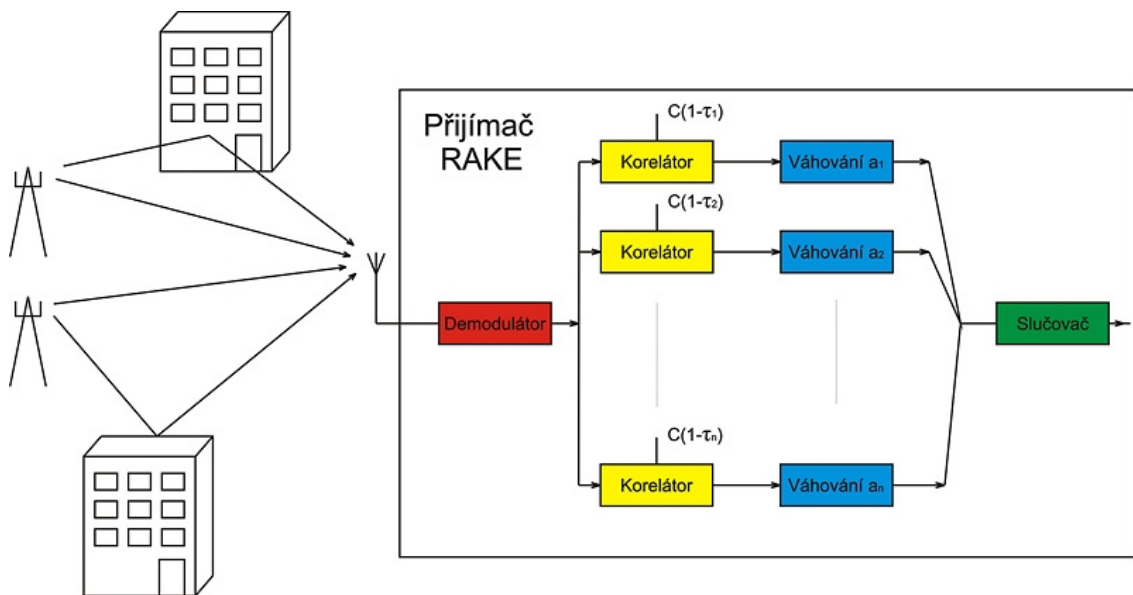
### **3.4 Přijímač RAKE**

Je to přijímač, který zpracovává stejné signály lišící se pouze zpožděním a úrovní, což je způsobeno překonáváním různých překážek ve směru šíření. Zpoždění jednotlivých signálů musí být menší než jedna chipová perioda, aby jej RAKE přijímač dokázal bezchybně zpracovat a vytvořit výsledný signál. V UMTS se počítá s chipovou rychlostí signálu 3,84Mchip/s, což odpovídá periodě 0,26 $\mu$ s. Zpoždění jednotlivých signálů může být maximálně 0,26 $\mu$ s, což odpovídá rozdílu vzdáleností signálů 78m, aby byl schopen přijímač RAKE tyto signály zpracovat. V GSM nelze přijímač RAKE použít, kvůli jeho neúčinnosti z důvodu uvažované bitové rychlosti signálu v rádiovém

kanálu 270,833kbit/s (perioda signálu 3,7  $\mu$ s), což odpovídá rozdílu drah signálů asi 1108m.

### Popis funkce přijímače RAKE

Blokové schéma a zpracování signálů v RAKE přijímači je na Obr. 12. Nejprve jsou vstupní vysokofrekvenční signály zpracovány běžným způsobem, poté demodulovány, dále dochází k jejich rozdělení do několika větví (většinou 3-6). V každé z nich je korelátor a váhovací obvod a zpracovává se jeden ze vstupních signálů. V korelátoru se zajišťuje synchronizace všech signálů a to korelací signálu rozprostíracím kódem, který je časově posunut podle zpoždění signálu. Po té je signál váhován, tzn. zesilován v závislosti na jeho útlumu na přenosové cestě. Po váhování jsou všechny signály sloučeny.



Obr. 12: Popis funkce přijímače RAKE

Pohybem UE v rádiovém prostředí se mění podmínky šíření signálů, z důvodu různých odrazů, a proto se bude průběžně měnit zpoždění jednotlivých signálů a útlumy na přenosové cestě. Správná funkce přijímače RAKE je nezbytná, aby se parametry jednotlivých postupně upravovaly přibližně po desítkách milisekund. Pokud jsou uvažovány i změny způsobené rychlým únikem, musí být parametry upravovány rychleji (1ms a méně). Přijímač RAKE musí rozpoznat nejsilnější signály, které tvoří hlavní složky celkového vícecestného signálu a odhadnout jejich jednotlivá zpoždění a velikost. Pro stanovení správných parametrů se mohou do vysílaných signálů periodicky vkládat vzorky nemodulovaného signálu nebo se vysílá pilotní signál. Přijímací strana využívá fázových závěsů, které vytvoří zpoždění rozprostíracích kódů v každé větvi jako mají přijímané signály[2].

### 3.5 Procedury při handoveru

Z důvodu opakovaného použití jednoho kmitočtu nosné ve všech buňkách a vzájemné funkčnosti mobilních systémů bylo využito rozličných procedur při handoveru.

**Měkký handover** (soft handover) využívá při přepínacím procesu makrodiverzitu, při které má UE spojení současně s několika Nody B. Při pohybu UE po daném území se v důsledku slabého signálu (např. zastínění základnové stanice) jednotlivá spojení ruší a jiná naopak vznikají. UE bude mít větší signál v místech překrývání buněk na hranicích mezi buňkami ve srovnání s připojením pouze k jedné základnové stanici. Bez použití měkkého handoveru by musela základnová stanice pro udržení spojení s UE vysílat signál s větším výkonem, což by vedlo k zvýšení celkové úrovně interferencí v buňce.

**Mekkčí handover** (softer handover) se využívá v případě, kdy se UE pohybuje na rozhraní dvou oblastí, které přísluší dvěma sousedním sektorům stejné základnové stanice. Přenos signalizačních a provozních dat ze systému (RNC) se zjednoduší a celá procedura bude rychlejší, když dojde ke sloučení signálu z jednoho UE, které jsou přijímány dvěma různými anténními systémy, což je provedeno přímo v základnové stanici.

**Handover mezi kmitočty** (interfrequency handover) se využívá za stanovených provozních podmínek a to, kdy se UE nachází v tzv. hierarchické buňkové struktuře, která používá v základních buňkách jiný kmitočet a jiný kmitočet v buňce deštníkového typu (umbrella cell). V tomto případě využije UE tvrdý handover (hard handover) ke změně kmitočtu.

**Handover mezi systémy** (intersystem handover) je složitější než handover uvnitř systému a jeho využití má smysl pouze u dvoumódových UE. Během tohoto handoveru musí být řešeny současně některé problémy, jako např. přepnutí ze systému UMTS do GSM, kdy musí být připravena větší časová prodleva pro kmitočtovou, časovou i rámcovou synchronizaci. Následně je přerušen přenos v systému UMTS a navazuje přenos v GSM. Je zde požadavek na bezešvý handover a přidělení duplexního páru kmitočtů. Dále je nutné sesynchronizovat přenosové rychlosti signálů obou systémů.

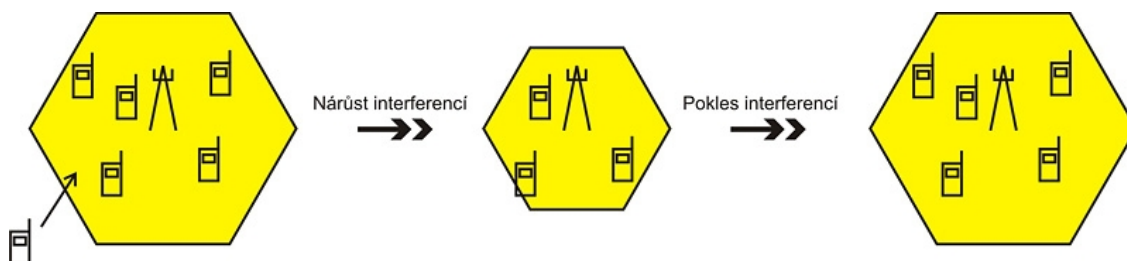
Posledním druhem handoveru je **handover mezi módy** (intermode handover), který vyžaduje dvoumódový UE. Tento handover zahrnuje specifický způsob přepnutí UE mezi módy FDD a TDD[2].

### 3.6 Dýchání buňky

V případě, že používají v jedné buňce všechny UE stejný nosný kmitočet pro spojení s Node B, se z pohledu jednoho UE jeví ostatní UE jako rušivé a jeho přenos znehodnocují. Spojení nejvzdálenějšího UE od základnové stanice se přeruší v případě, kdy se v uvažované buňce zvýší úroveň interferencí nad hraniční hodnotu, což je způsobeno připojováním nových UE.

Signály vysílané v downlinku z jednoho Node B jsou ortogonální a neměli by vzájemně interferovat, avšak v důsledku odrazů se stávají neortogonální a způsobují vznik nežádoucích interferencí. To způsobuje, že se zmenšuje efektivní plocha buňky, což vede ke snížení počtu UE v buňce, a následně ke snížení úrovně interferencí. Tato změna příjmových podmínek v buňce umožňuje vzdáleným UE navázat opětné spojení se základnovou stanicí. Tento proces, při kterém se cyklicky mění úroveň interferencí a tím i příjmové podmínky pro UE a z toho vyplývající efektivní změna buňky se nazývá

dýchání buňky viz Obr. 13. U systému UMTS není celkový počet uživatelů fixní, ale je omezen interferencí v buňce, z toho důvodu je nutné využívat pro řízení výkonu UE vysoce účinné algoritmy. Tyto algoritmy zajistí nastavení aktuálního vysílaného výkonu každého UE na nezbytné minimum[2].



Obr. 13: Dýchání buňky

### 3.7 Řízení výkonu

Řízení výkonu zaručuje, že každý uživatel v síti přijímá a vysílá jen takové množství energie, které je zapotřebí k přenosu informace a zároveň, aby docházelo k minimální interferenci s ostatními uživateli. Je to rozhodující pro kapacitu sítě. Sekundárním důvodem řízení výkonu je minimalizace spotřeby baterie. Ve standardu WCDMA se regulace výkonu využívá pro uplink i downlink. Řízení výkonu je prováděno třemi způsoby:

- 1) Řízení výkonu otevřenou smyčkou (Open-loop power control) - vysílaný výkon mobilní stanice je nastaven na základě přijatého výkonu společného řídicího signálu. Tato metoda je velmi nepřesná díky velké nesouvislosti mezi rychlými úniky v uplinku a downlinku způsobené užíváním rozdílných frekvencí pro uplink a downlink. Řízení výkonu s otevřenou smyčkou je využíváno k hrubému počátečnímu nastavení vysílacího výkonu při sestavení spojení.
- 2) Řízení výkonu uzavřenou smyčkou (Closed-loop power control) - změny v mnohocestném kanále mohou znamenat, že fixní hodnota SIR (poměr signálu k interferenci) nemůže vždy garantovat dostačující cílenou kvalitu služby. V uplinku řízení výkonu s uzavřenou smyčkou základnová stanice pravidelně provádí odhady SIR a výsledky porovná s cíleným SIR. Jestliže naměřená hodnota SIR je větší než cílená, základnová stanice přikáže mobilní snížit vysílaný výkon, pokud je SIR menší, přikáže naopak výkon zvýšit. Cyklus měření je vykonáván rychlostí 1500krát za vteřinu (1,5 kHz) pro každou mobilní stanici, a proto pracuje rychleji než možné změny ztrát šířením a rozhodně rychleji než rychlé Rayleighovy úniky pro nízké rychlosti pohybu mobilních stanic.

Ta samá technika řízení výkonu s uzavřenou smyčkou je užívaná v downlinku. Všechny signály uvnitř buňky se šíří od jedné základnové stanice směrem k UE. Jakmile UE na okraji buňky zaznamená zvýšení interference, pak se zvýší množství přidavného výkonu. Dále je v downlinku tato metoda z důvodu zvýšení úrovně slabého signálu přidavným výkonem nutná z důvodu Rayleighových úniků v případě, že jiné metody korekce chyb založené na prokládání a korekčních kódech již nefungují efektivně.

- 3) Řízení výkonu s vnější smyčkou (Outer-loop power control) - je založena na porovnávání změřené SIR cílovou SIR. Řízení výkonu s vnější smyčkou přizpůsobuje cílenou hodnotu SIR v základnové stanici, která odpovídá požadavkům individuálních rádiových spojení a usiluje o konstantní kvalitu, obvykle definovanou jako určitá cílená bitová chyba BER nebo chyba rámce FER. Hodnota SIR není konstantní, ale přizpůsobuje se měnícím parametrům šíření, a to zejména v závislosti na rychlosti pohybu mobilní stanice. S rostoucí rychlosti mobilní stanice je v zájmu zachování kvality služeb nutné zvyšovat cílenou hodnotu SIR [7].

## 4 Síť UMTS v OPNETu

### 4.1 Základní popis modelu UMTS sítě v OPNETu

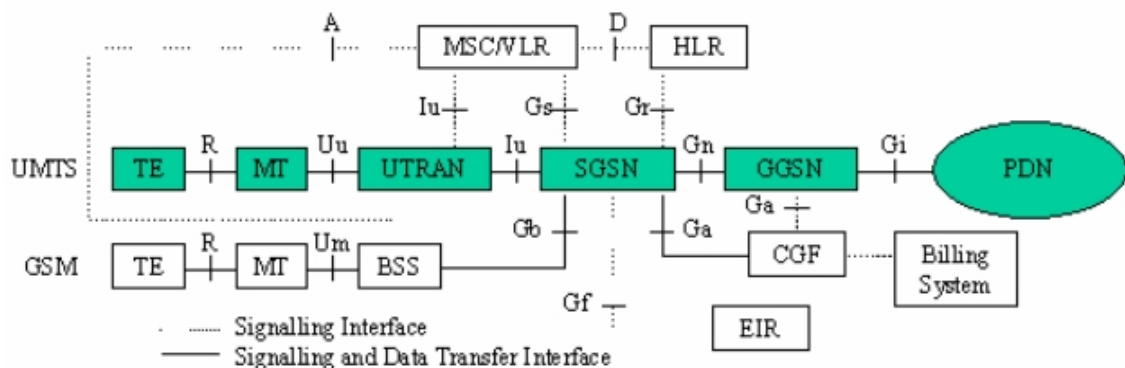
Jedná se o model UMTS sítě, který je obsažen v programu OPNET. Tento popis je vytvořen pro verzi programu OPNET 14.0.A.

Může taky simulovat kombinaci tříd služeb dané požadavky QoS. Model UMTS využívaný v simulačním prostředí je vytvořený dle standardů 3rd Generation Partnership Project (3GPP) Release 4. Tento model se dá použít jako specializovaný model knihovny OPNETu.

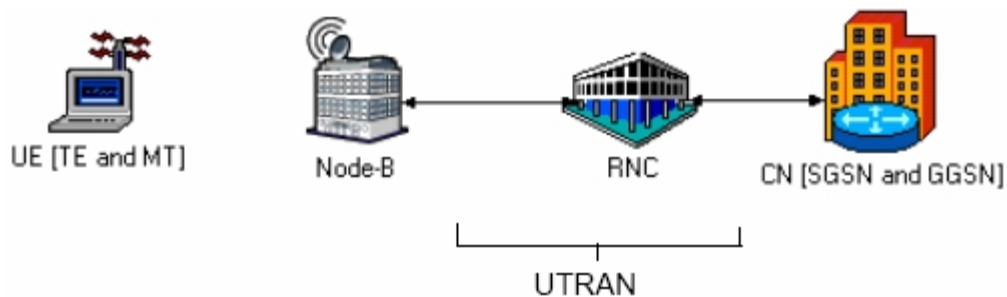
Architektura se rozděluje na 2 části (viz. Obr. 14):

- 1) Radio access network (RAN – radiová přístupová síť)
- 2) Core network (CN – páteřní síť)

**Standardní zobrazení:**



**Zobrazení v OPNETU:**



Obr. 14: Přehled architektury paketové části

**ad 1) Radio access network(RAN – radiová přístupová síť)**

**RAN se skládá z:**

- User Equipment (UE – účastnické zařízení), které zahrnuje Terminal Equipment (TE – pevný terminál např. notebook) a Mobile Terminal (MT – mobilní terminál např. mobilní telefon),
- UMTS Terrestrial Radio Access Network (UTRAN – pozemní síť rádiového přístupu pro UMTS), která zahrnuje Node-B (základnová stanice) a Radio Network Controller (RNC – řídicí jednotka Node B)

UMTS používá Wideband Code Division Multiple Access (W-CDMA) přístupové schéma.

Tato verze W-CDMA používá přímé šíření s chip rate 3,84Mcps a nominální šířkou pásma 5MHz. Model podporuje jeden ze dvou W-CDMA módů a to FDD mód, využívající jinou frekvenci pro uplink a downlink. Radiový rámeček (kanál) má délku 10ms a je rozdělen na 15 slotů.

#### ad 2) Core network (CN – páteřní síť):

**Paketová část** v Core network obsahuje 2 síťové uzly (Obr. 14):

1) Serving GPRS support node (SGSN) - obsluha GPRS

Monitoruje pozici uživatelů, vykonává bezpečnostní funkce a přístupovou kontrolu.

2) Gateway GPRS support node (GGSN) - odchozí GPRS brána

Obsahuje směrovací informace pro paketově spínané (PS – packet switched) připojení uživatelů a provádí komunikaci propojených systémů s externí PS sítí jako je paketová datová síť (PDN – packet data network).

GPRS support nodes obsahují všechny GPRS funkce potřebné k podpoře GSM a UMTS paketovým službám. Model CN obsahuje funkce obou SGSN i GGSN.

**Okruhově spínaná část** (CS – circuit switched) Core Network, není v této verzi namodelována.

## 4.2 Simulace v OPNETu – trvání soft handoveru

Tento scénář se zabývá soft handoverem (SHO). Zkoumá trvání SHO v závislosti na mezní hodnotě macrodiverzity. Pro plánování sítě je důležité, vědět s jakou pravděpodobností bude UE využívat 2 nebo více síťových zdrojů, z důvodu zatížení sítě a vzniku interferencí v downlinku. Trvání handoveru můžeme vypočítat dvěma způsoby. První způsob výpočtu je jako poměr počtu UE ve stavu SHO ke všem UE. Druhý způsob, který využijí při této simulaci je, že vypočítám poměr doby strávené v SHO k době trvání simulace viz vzorec (4.2)

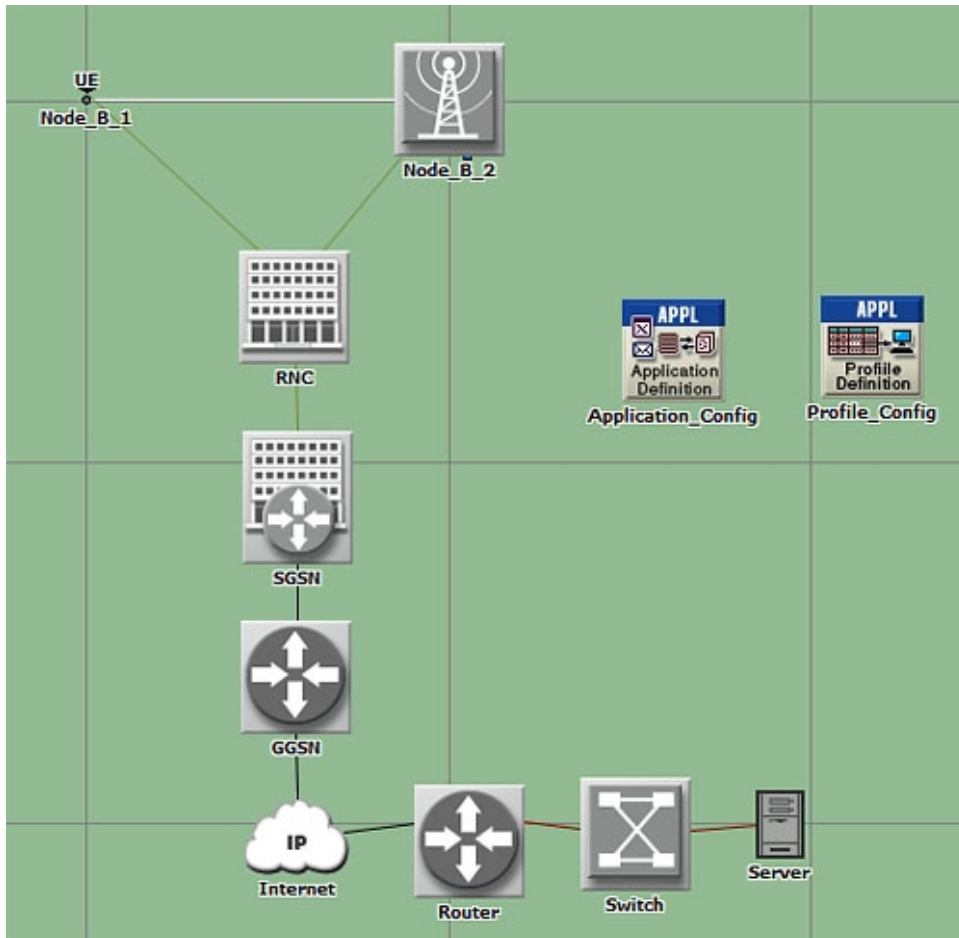
$$\text{Trvání SHO} = \Delta t_{SHO} / \Delta t_{\text{celková}} \quad (4.2)$$

### Popis simulace

V programu OPNET Modeler jsem si vytvořil scénář pro simulaci této situace viz Obr. 15. Důležitá nastavení pro simulaci jsou uvedeny v Tab.6. Základnové stanice (Node B) byly od sebe vzdáleny 1km. UE bylo umístěno u Node\_B\_1 a pohybovalo se rychlostí 1m/s k základnové stanici Node\_B\_2. Celková doba simulace byla 1000s.

**Tab. 6: Nastavení hodnot pro simulaci v OPNET modeleru**

Úroveň výkonu Node B (UMTS CPICH Transmission Power)	Node_B_1 = 1W, Node_B_2 = 1W
Mezní hodnota macrodiverzity (Macro Diversity Threshold)	1 - 10 dB, krok po 1 dB
Hystereze macrodiverzity (Macro Diversity Hysteresis)	0,5 dB
Rychlost pohybu UE	v = 1m/s
Délka trvání simulace	t = 1000 s
Kvalita služby	QoS 3, FTP provoz, 8kbps



Obr. 15: Simulace v OPNET modeleru

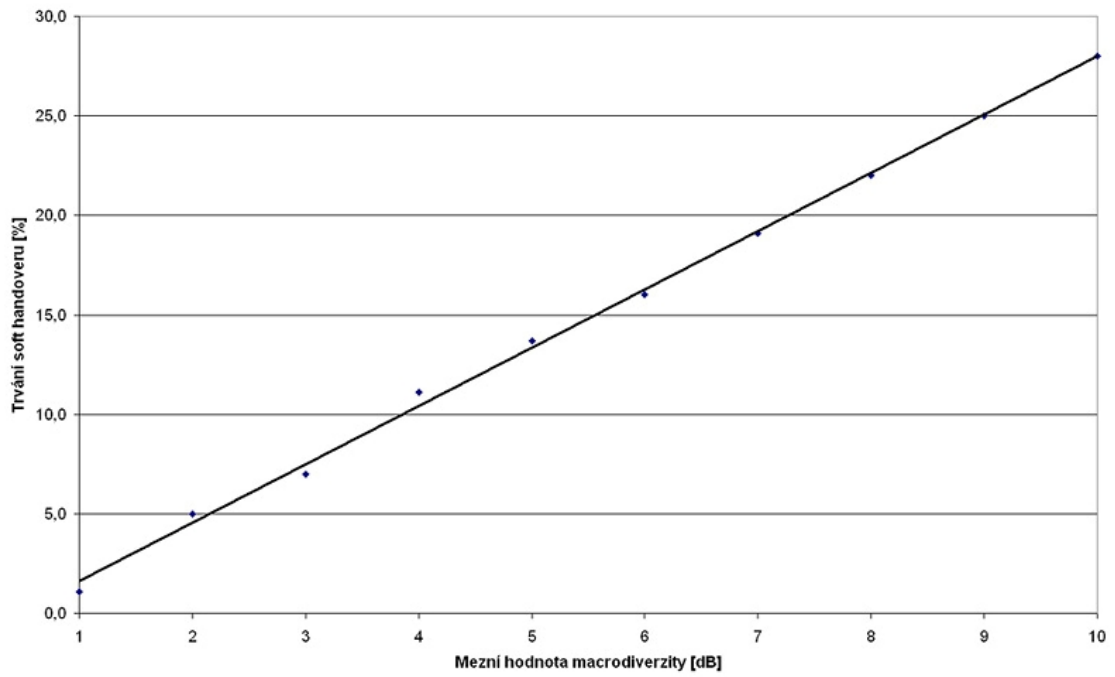
### Výsledky simulace

V této simulaci jsem zkoumal, jak se mění doba trvání SHO při změně mezní hodnoty macrodiverzity. Pomocí vzorce (4.2) jsem vypočítal dobu trvání SHO pro mezní hodnoty makrodiverzity od 1 do 10 dB. Hodnoty trvání SHO jsou v Tab.7, z nich jsem vytvořil graf trvání SHO viz Obr. 16. Z Obr.16 lze pozorovat, že při zvyšující se mezní hodnotě makrodiverzity, vzrůstá doba trvání SHO téměř přímo úměrou.

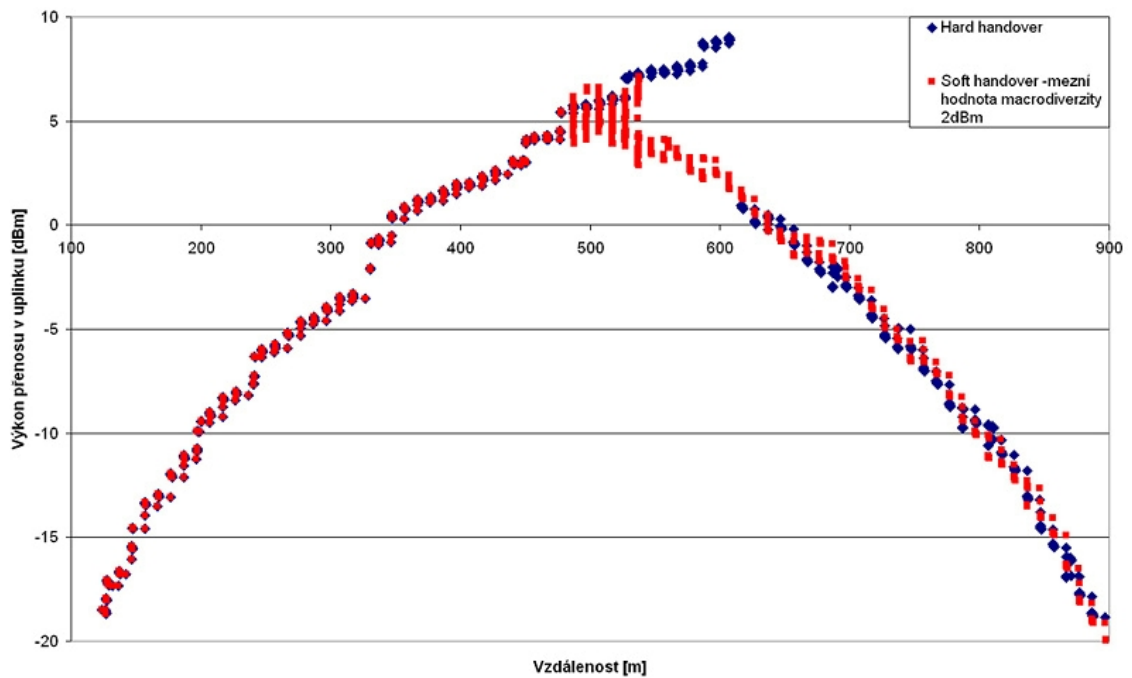
Tab. 7: Pravděpodobnost SHO

Mezní hodnota macrodiverzity [dB]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Trvání soft handoveru [%]	1,1	5,0	7,0	11,1	13,6	15,9	19,0	21,9	25,0	28,0

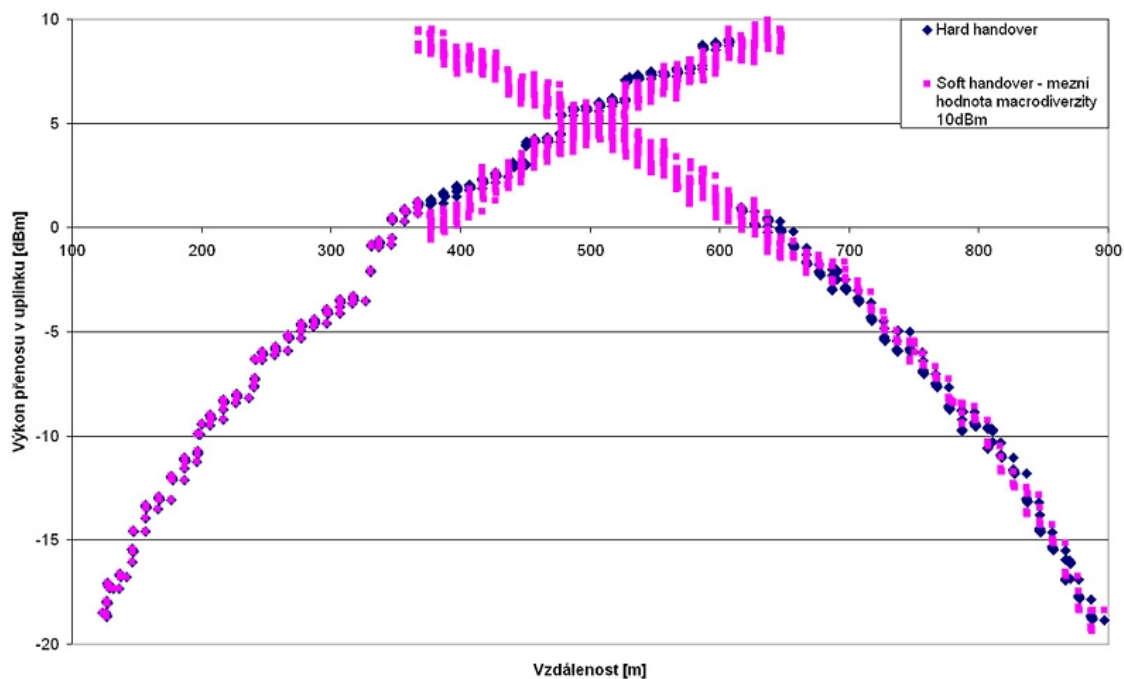




Obr. 16: Trvání soft handoveru



Obr. 17: Porovnání výkonu přenosu v uplinku při soft handoveru s mezní hod. makrodiverzity 2dB a hard handoverem



**Obr. 18: Porovnání výkonu přenosu v uplinku při soft handoveru s mezní hod. makrodiverzity 10dB a hard handoverem**

Na Obr. 17 je porovnání výkonu přenosu v uplinku mezi HHO a SHO s mezní hodnotou makrodiverzity 2dBm. Pro HHO platí, že se vzrůstající vzdáleností od Node\_B\_1 narůstá i výkon v uplinku, až do vzdálenosti cca 617m. V tomto okamžiku dochází k HHO, účastnické zařízení (user equipment – UE) naváže spojení s Node\_B\_2 a jeho vysílací výkon klesá. K SHO dochází ve vzdálenosti 487m a končí ve vzdálenosti 538m od Node\_B\_1. Jedná se o SHO s nastavenou mezní hodnotou makrodiverzity 2dB.

Na Obr. 18 je zobrazen SHO s nastavenou mezní hodnotou makrodiverzity 10dB, dochází k němu když UE dosáhne vzdálenosti cca 367m a končí ve vzdálenosti cca 648m od Node\_B\_1.

Z Obr. 18 je patrné, že při nevhodně zvolené mezní hodnotě makrodiverzity (10dB) je SHO výkonově náročnější než HHO. Při SHO a mezní hodnotě makrodiverzity 10dB je výkon UE v uplinku cca 10,3 dBm v maximální hodnotě, při HHO je výkon UE v uplinku cca 9 dBm v maximální hodnotě. Při správném nastavení mezní hodnoty makrodiverzity (v tomto modelu) 2 dB, je výkon UE v uplinku 7,1dBm v maximální hodnotě.

### 4.3 Vlastnosti handoveru v závislosti na vysílacím výkonu Node B

V tomto projektu se budu věnovat vlastnosti nazývané vysílací výkon buňky (Node B). Vysílací výkon ovlivňuje pokrytí buňky. Budu zde zkoumat vlastnosti handoveru a to jak SHO (soft handoveru), tak i HHO (hard handoveru).

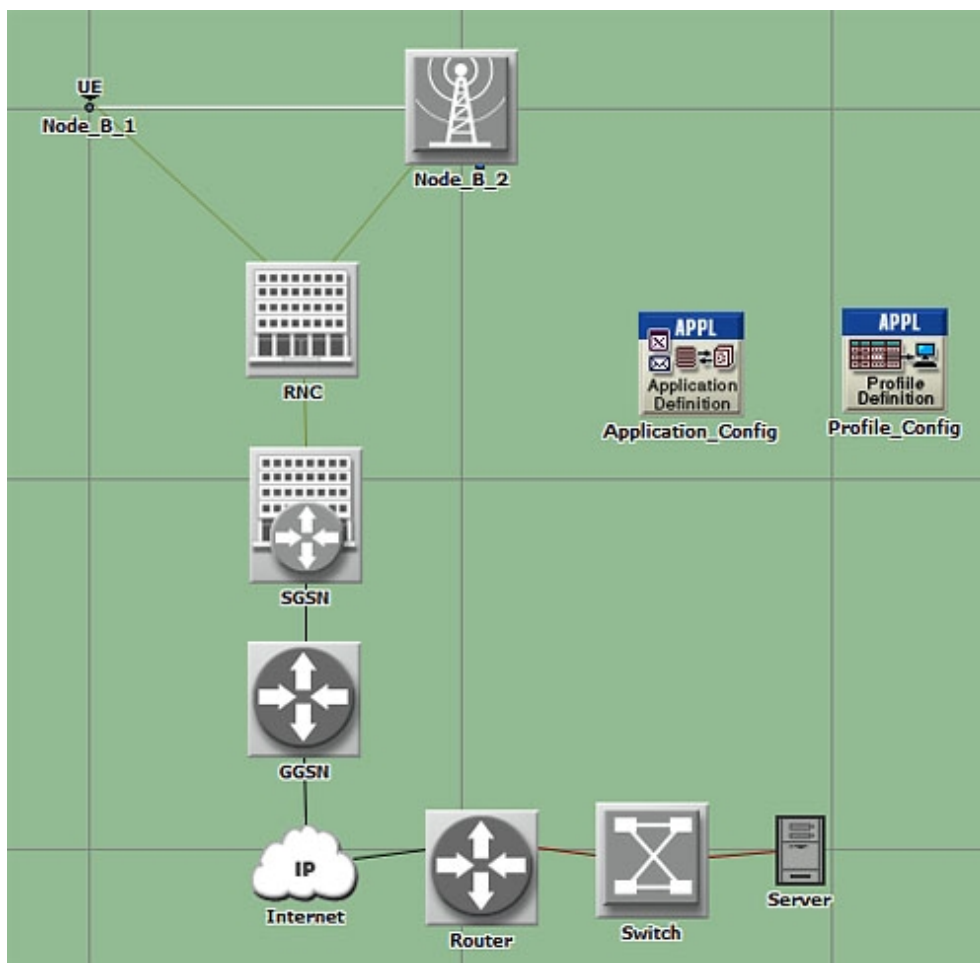
#### Popis simulace

Tento projekt (viz Obr. 19) obsahuje 2 Node B, které jsou od sebe vzdáleny 1000m. UE (user equipment) se pohybuje rychlostí 1m/s od Node\_B\_1 k Node\_B\_2. Nastavení scénáře je v Tab. 8. Jednotlivé scénáře tohoto projektu se liší pouze nastavením vysílacího výkonu jednotlivých Node B:

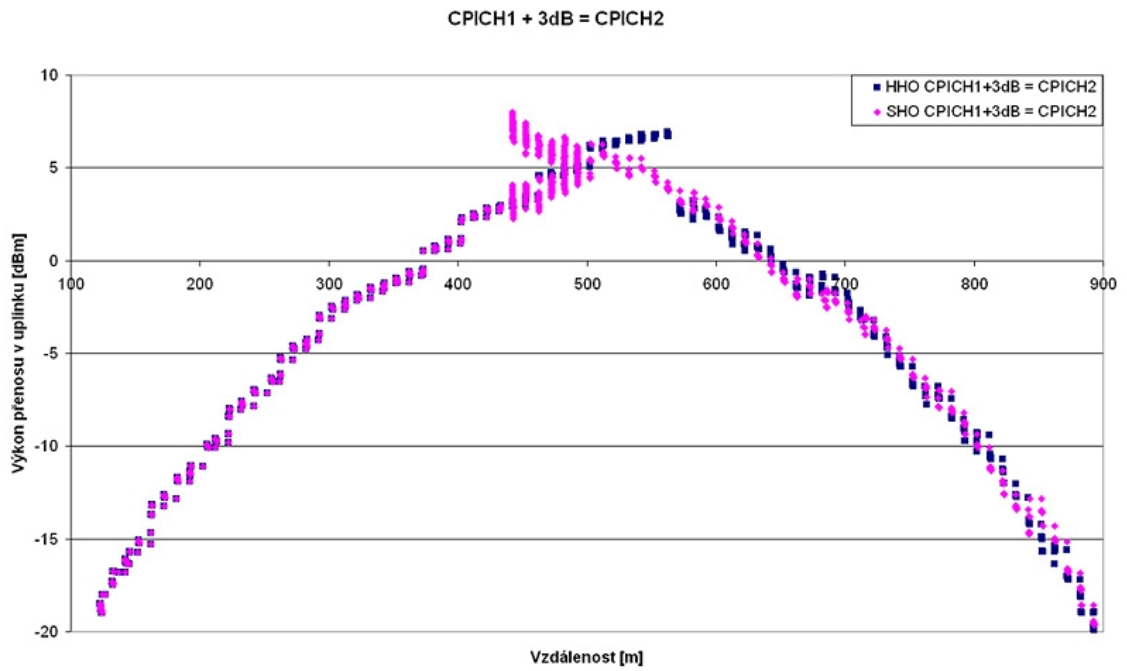
- Ø CPICH1 + 3dB = CPICH2
- Ø CPICH1 = CPICH2
- Ø CPICH1 - 3dB = CPICH2

Tab. 8: Nastavení hodnot pro simulaci v OPNET modeleru

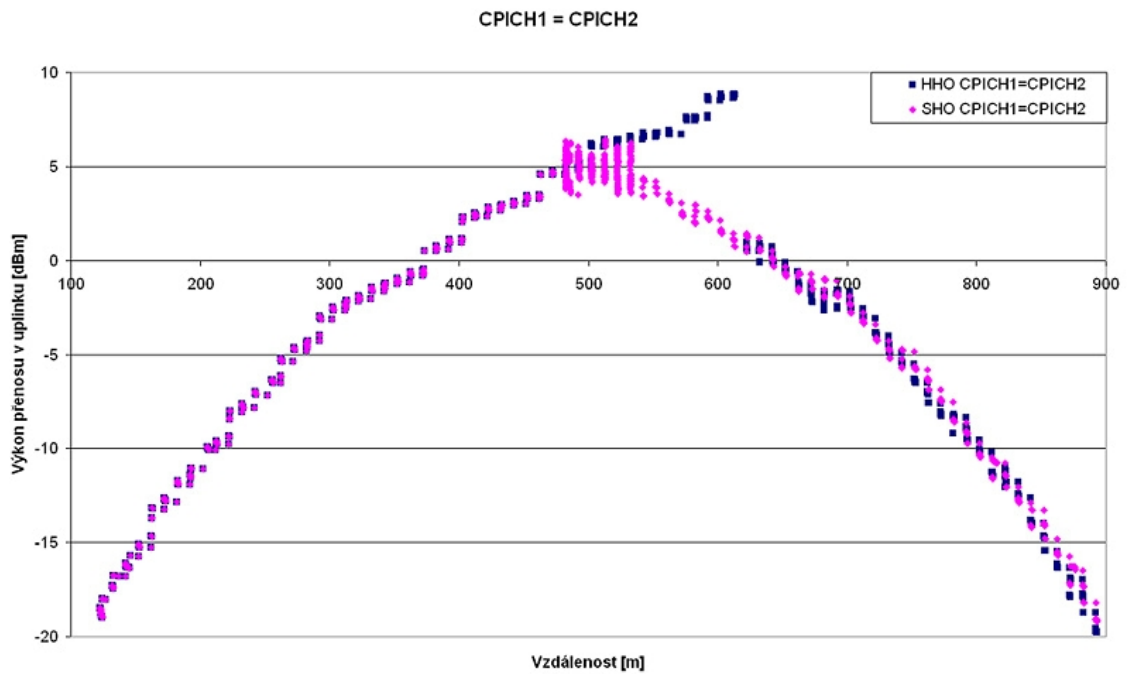
Rychlost pohybu UE	v = 1m/s
Délka trvání simulace	t = 1000 s
Kvalita služby	QoS 3, FTP provoz, 8kbps



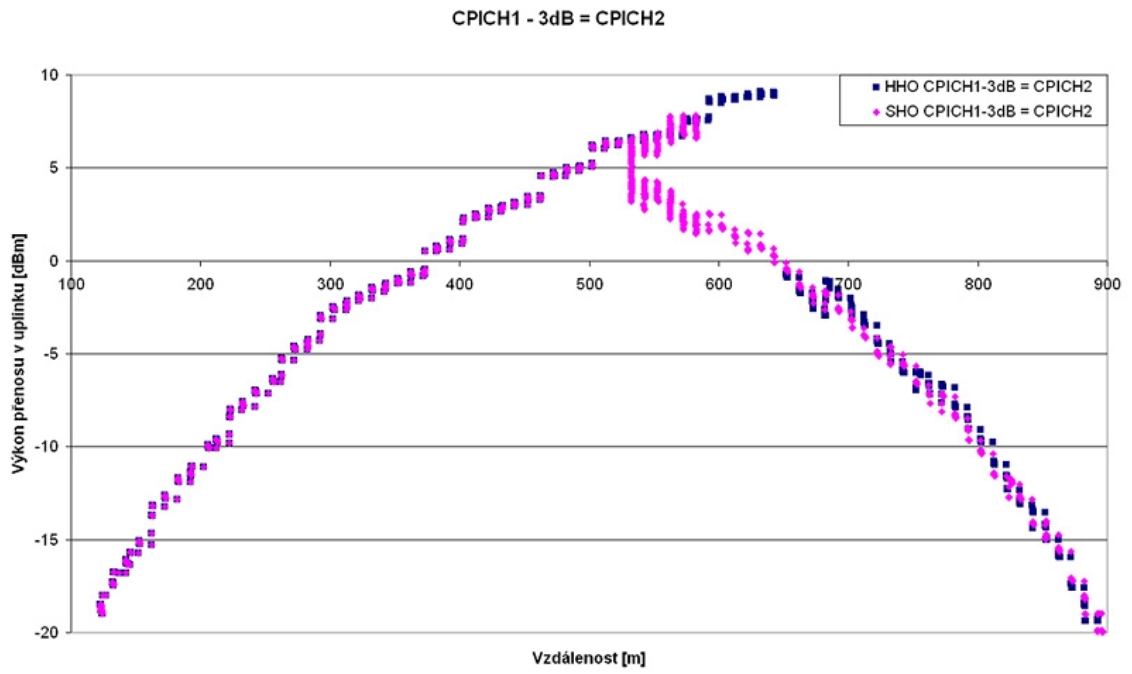
Obr. 19: Scénář simulace



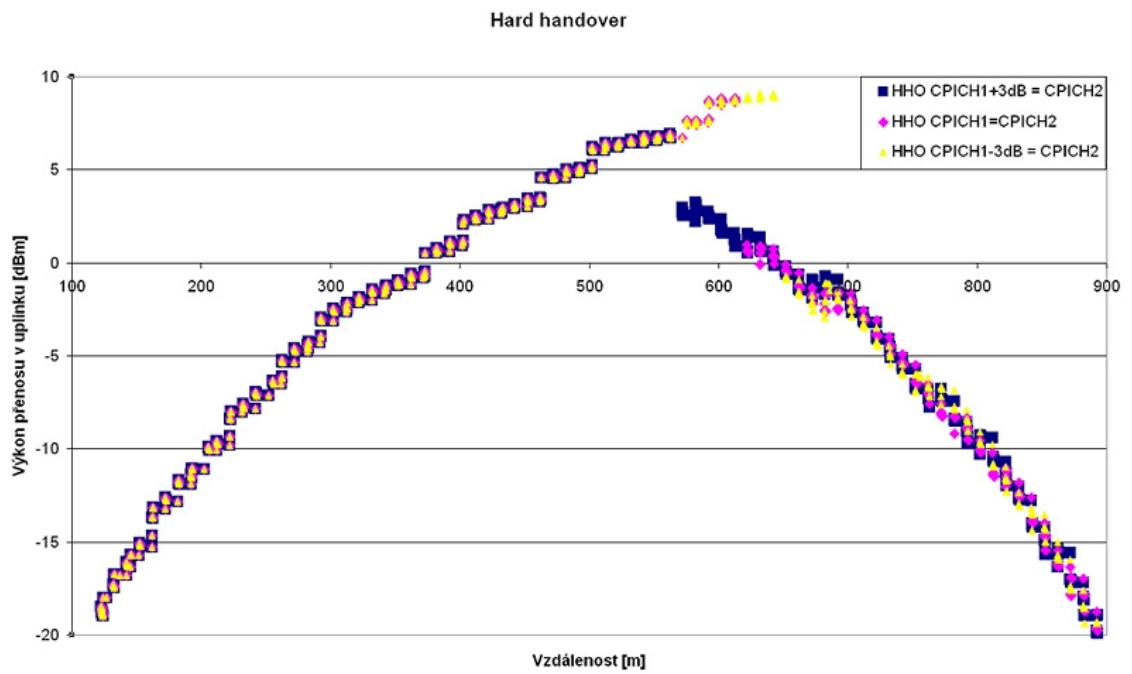
Obr. 20: Vysílací výkon CPICH1 < CPICH2



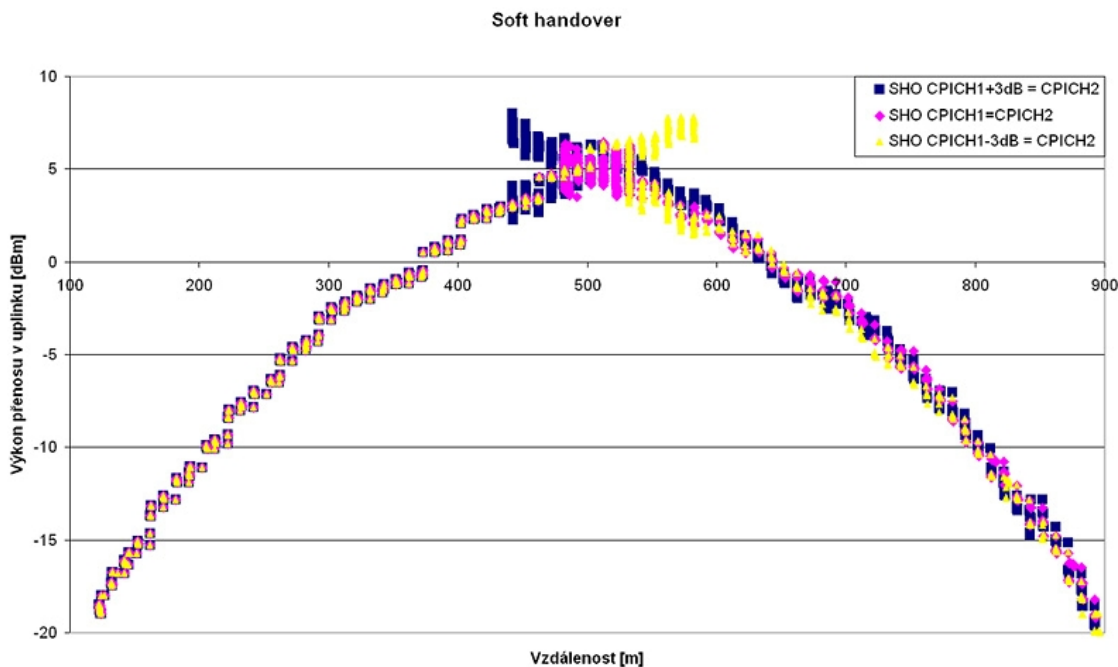
Obr. 21: Vysílací výkon CPICH1 = CPICH2



Obr. 22: Vysílací výkon CPICH1 > CPICH2



Obr. 23: Porovnání vysílacího výkonu u hard handoverů



Obr. 24: Porovnání vysílacího výkonu u soft handoverů

### Výsledky simulace

Při nastavení  $CPICH1 < CPICH2$  (viz Obr. 20) dochází k SHO při 442m a končí při 492m, HHO nastává při vzdálenosti 563m od Node\_B\_1. Maximální hodnota vysílacího výkonu při SHO je 8,0dBm, při HHO je to 6,9dBm. Z toho plyne že při nastavení  $CPICH1 < CPICH2$  je SHO výkonově náročnější než HHO.

Při nastavení  $CPICH1 = CPICH2$  (viz Obr. 21) dochází k SHO při 482m a končí při 533m, HHO nastává při vzdálenosti 613m od Node\_B\_1. Maximální hodnota vysílacího výkonu při SHO je 6,4dBm, při HHO je to 8,8dBm. Z toho plyne že při nastavení  $CPICH1 = CPICH2$  je SHO výkonově méně náročnější než HHO.

Při nastavení  $CPICH1 > CPICH2$  (viz Obr. 22) dochází k SHO při 532m a končí při 583m, HHO nastává při vzdálenosti 643m od Node\_B\_1. Maximální hodnota vysílacího výkonu při SHO je 7,8dBm, při HHO je to 9,1dBm. Z toho plyne že při nastavení  $CPICH1 > CPICH2$  je SHO výkonově méně náročnější než HHO.

Při porovnání HHO pro dané nastavení je z Obr. 23 vidět, že výkonově nejméně náročný HHO je pro nastavení  $CPICH1 < CPICH2$ . Naopak nejvíce výkonově náročný HHO je při nastavení  $CPICH1 > CPICH2$ .

Při porovnání SHO pro dané nastavení je z Obr. 24 vidět, že výkonově nejméně náročný SHO je pro nastavení  $CPICH1 = CPICH2$ . Naopak nejvíce výkonově náročný HHO je při nastavení  $CPICH1 < CPICH2$ .

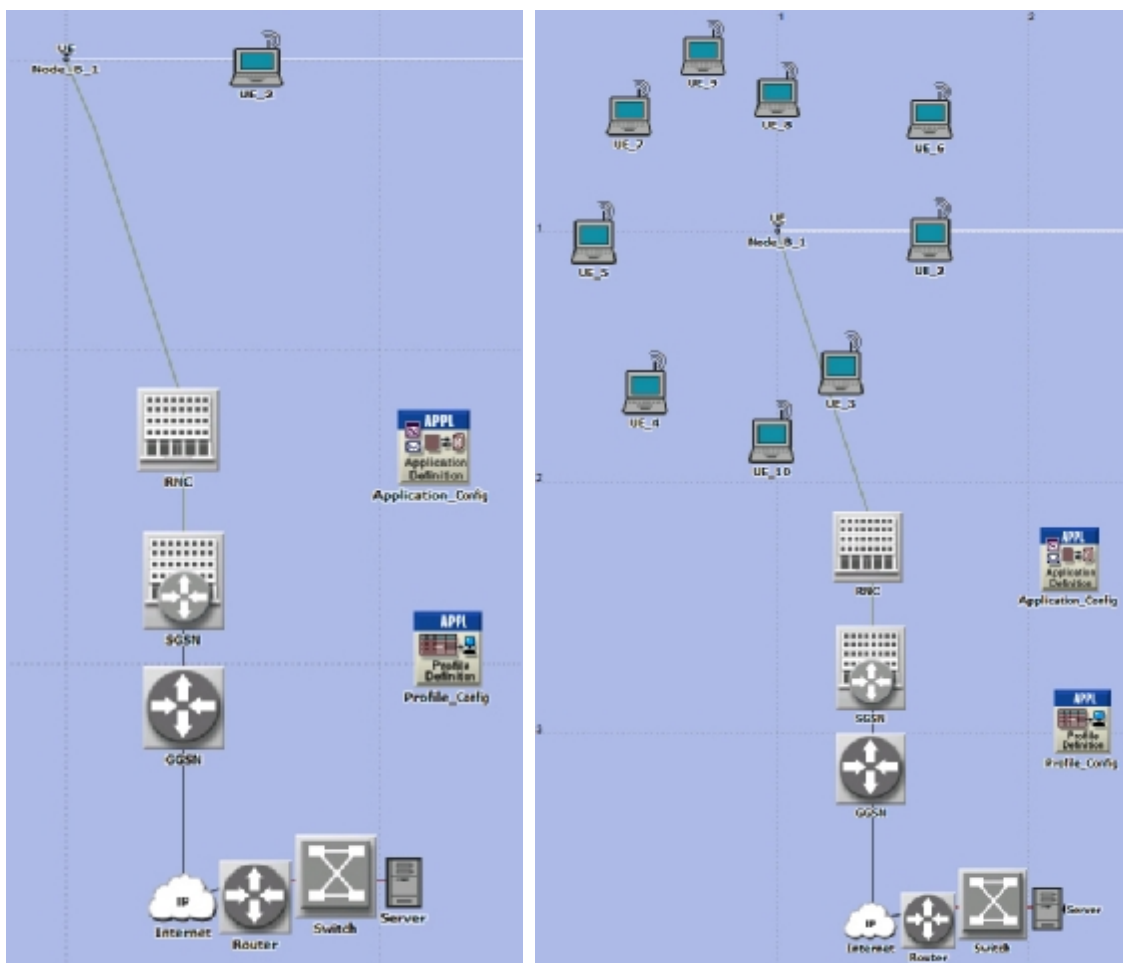
Z těchto výsledků plyne, že pro SHO probíhající mezi dvěma Node B je výkonově nejvýhodnější nastavení  $CPICH1 = CPICH2$ . Pro HHO je to nastavení  $CPICH1 < CPICH2$ .

## 4.4 Kapacita a pokrytí

Tento scénář se zabývá nejdůležitějšími vlastnostmi při návrhu sítí, tj. kapacitou a pokrytím sítí a vzájemným vlivem těchto neoddělitelných oblastí. Při zvyšování počtu účastníků (UE – user equipment) v síti dochází také k navýšení datového toku, což přispívá ke zvýšení interferencí v síti. Kvůli interferencím dochází ke zvýšení vysílacího výkonu také blízkých účastníků (změnu vysílacího výkonu obstarává algoritmus řízení výkonu). Vzdálenější účastníci jsou donuceni zvýšit vysílací úroveň až na maximum a dále už nemají kam zvyšovat jejich výkon, to vede k ukončení spojení nejvzdálenějších účastníků. Dochází tak ke zmenšení pokrytí buňkou daného Node B za účelem zvýšení její kapacity.

### Popis simulace

Tento scénář (viz Obr. 25) obsahuje 1 mobilní UE a 1 – 9 statických UE. Mobilní UE se pohybuje rychlostí 60km/h od Node\_B\_1 po trajektorii dlouhé 15km. Všechna UE provozují službu VoIP. Pozoruj zde změny vlastností modelu sítě při nárůstu počtu UE. Podrobnější nastavení je v Tab. 9.



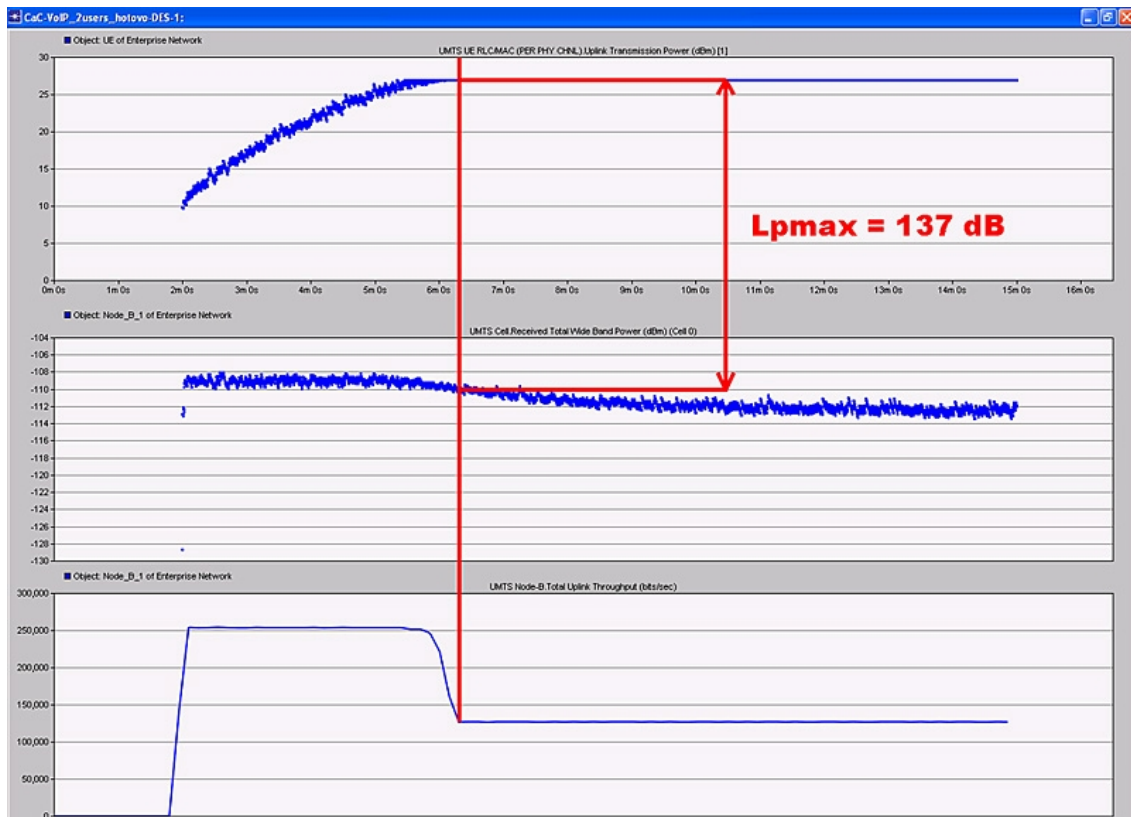
Obr. 25: Nastavení scénáře pro 2 a 10 uživatelů

**Tab. 9: Nastavení hodnot pro simulaci kapacita a pokrytí**

Úroveň výkonu Node B (UMTS CPICH Transmission Power)	Node_B_1 = 1W
Počet UE	2-10 UE, krok po 2 UE
Path loss model	Vehicular Environment
Rychlost pohybu UE	v = 60 km/h
Délka trvání simulace	t = 15 min
Kvalita služby	QoS 1, VoIP - 128kbps

### Výsledky simulace:

Při zkoumání kapacity a pokrytí je důležitá závislost mezi maximální path loss ( $L_{PMax}$ ) a datovým zatížením sítě. Maximální path loss získáme při ukončení spojení UE a Node B na okraji buňky, tedy v okamžiku kdy už není dále možné provozovat spojení z důvodu nedostatečného pokrytí buňky Node B. Hodnotu získáme, když odečteme výkon přijímaný v Node B od výkonu vysílaného UE v okamžiku přerušeni spojení viz Obr. 26.



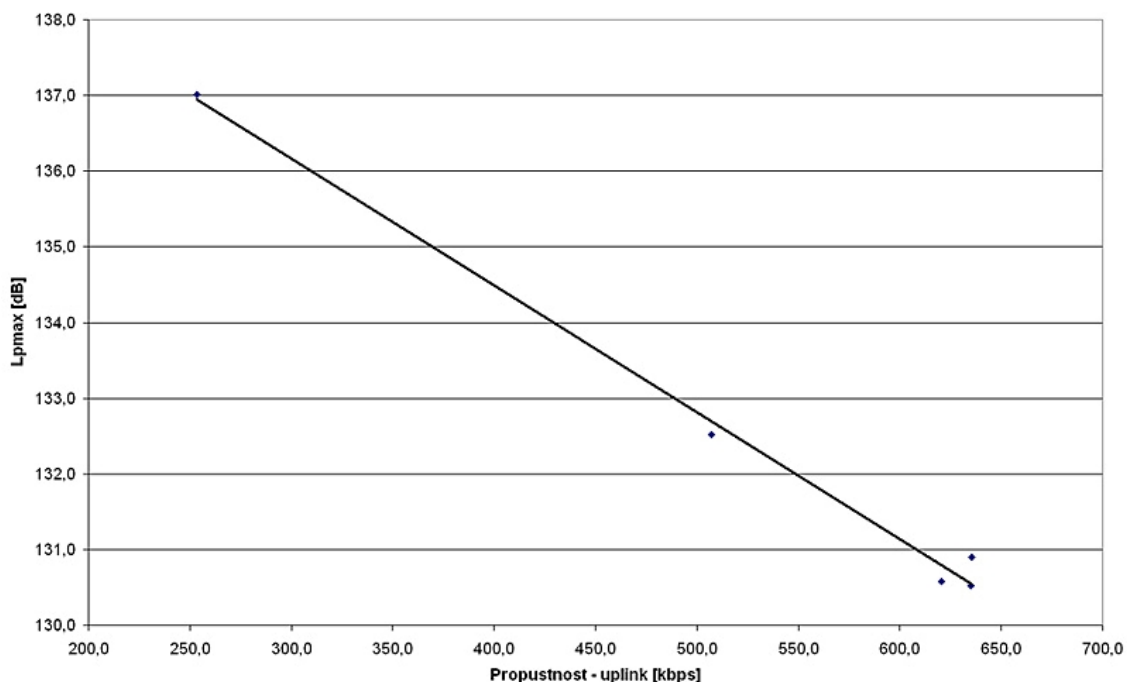
**Obr. 26: Grafický popis výpočtu hodnoty  $L_{PMax}$**

Při zvyšování počtu UE se zvyšuje zatížení sítě daty (sleduji ve směru uplink) v Node\_B\_1 a klesá  $L_{PMax}$  viz Obr. 27. Zároveň klesá čas ukončení spojení mezi Node\_B\_1 a UE, potažmo poloměr Node\_B\_1 (lze vypočítat pomocí  $R = v * \text{čas ukončení}$ ) viz Obr. 28. Získané hodnoty lze vidět v Tab. 10.



Tab. 10: Získané hodnoty ze simulace kapacita a pokrytí

UE	Propustnost Node_B_1 - uplink [kbps]	Čas ukončení spojení [s]	Poloměr R dosahu Node_B_1 [m]	L <sub>PMax</sub> [dB]
2,0	253,5	378,0	6312,6	137,0
4,0	507,0	369,0	6162,3	132,5
6,0	620,5	269,0	4492,3	130,6
8,0	635,0	252,0	4208,4	130,5
10,0	635,5	215,0	3590,5	130,9



Obr. 27: Závislost L<sub>PMax</sub> na datovém zatížení sítě

Mezi Lpmax a R existuje spojitost. Pro path loss vehicular model je to vzorec (4.4) [8], který platí pro městské a příměstské venkovní oblasti.

$$L_{PMax} = 40 \cdot (1 - 4 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta h_B) \cdot \log_{10} R - 18 \cdot \log_{10} \Delta h_B + 21 \cdot \log_{10} f + 80 \quad [\text{dB}] \quad (4.4)$$

kde:

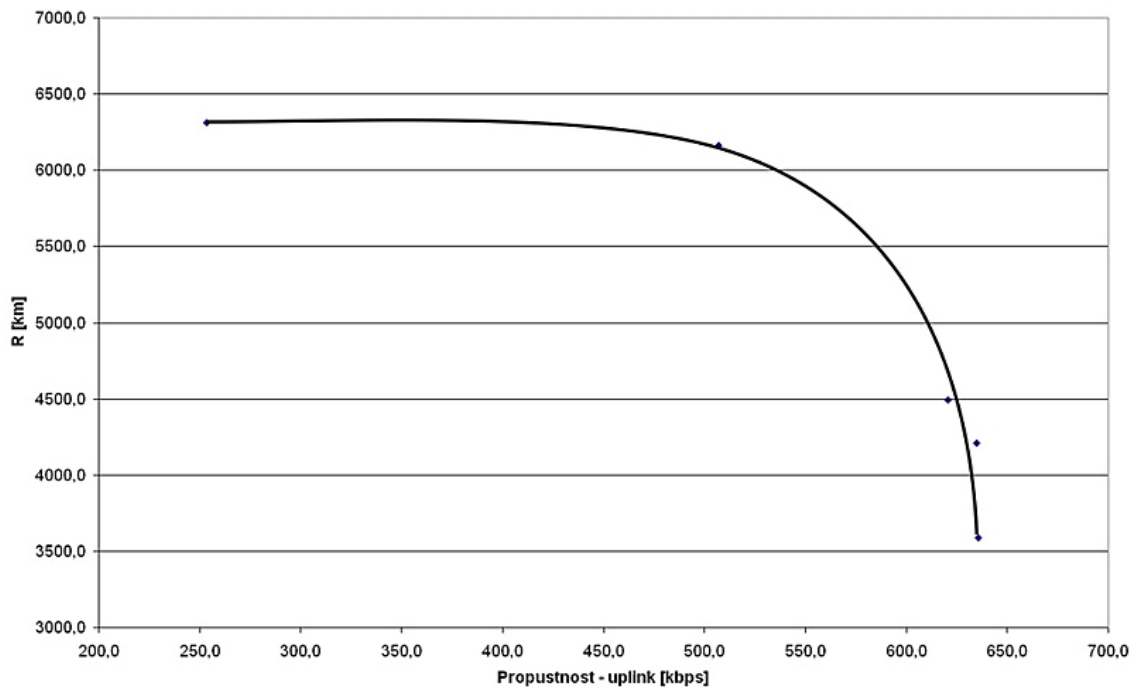
R : poloměr pokrytí (vzdálenost mezi Node B a UE) [km]

f : nosná frekvence pro tento případ 1940MHz

$\Delta h_b$  : výška antény Node B (m), measured měřená od úrovně střechy.

Nastavení položky shadow fading má být 10dB a  $\Delta h_b$  má být v rozsahu 0 až 50m

Kdybych znal hodnotu  $\Delta h_b$  mohl bych porovnat rozdíl mezi vypočítanou teoretickou hodnotou poloměru a nasimulovanou hodnotou. Bohužel ve specifikacích OPNET Modeleru jsem tento údaj nenalezl.



**Obr. 28: Závislost poloměru Node\_B\_1 na datovém zatížení sítě**

Na Obr. 28 pozorujeme, že při zvyšování datového toku klesá pokrytí buňky. Toho se využívá při navrhování sítí k určení teoretického dosahu sítě. Dimenzujeme síť na určitý datový provoz a získáme její dosah.

Z obrázku Obr. 28 lze vidět, že maximální zatížení sítě je okolo 635 kbps, což neodpovídá teoretické hodnotě 2Mbps pro UMTS sítě. Důvodem je, že OPNET Modeler využívá pouze jednoho transceiver (kombinace vysílače a přijímače) páru. Jeden transceiver pár přenáší datový tok v rozsahu 400 – 700 kbps. V reálu má tedy Node B několik transceiver párů, které umožňují dosáhnout vyššího datového toku (teoreticky 2Mbps).

# ZÁVĚR

V této diplomové práci jsem se věnoval UMTS sítím a jejich optimalizacím. V první kapitole jsou rozebrány jednotlivé generace mobilní sítí. A to od analogových sítí první generace až po digitální síť 3. generace a její další vylepšení v podobě HSDPA a HSUPA. V druhé kapitole jsem podrobněji probral samotnou síť 3. generace, popis architektury UMTS a jednotlivých komponentů, ze který se síť skládá. Seznámil se ve zkratce s jednotlivými inovacemi v podobě Release (R99, R4, R5, R6, R7, R8). Třetí kapitola byla věnována RRM funkcím, díky nimž mohou být síť 3. generace optimalizovány. Ve čtvrté kapitole jsem se věnoval simulačnímu prostředí OPNET Modeler a simulacím v něm.

Při špatném nastavení RRM funkcí k optimalizaci vůbec nemusí dojít. Naopak můžeme vlastnosti UMTS sítí ještě zhoršit. Tuto myšlenku podporuje hned v první simulaci nesprávné nastavení makrodiverzitního zisku.

## První simulace

SHO se využívají z důvodu výkonové výhodnosti oproti HHO. SHO využívá dva Node B, čímž více zatěžuje síť a zvyšují úroveň interferencí v buňce (platí pro downlink). V uplinku je využití dvou Node B výhodné z důvodu snížení vysílacího výkonu UE. To je umožněno sloučením signálu ve slučovači v RNC, což vyplývá z makrodiverzity (viz Obr. 11). To jestli je ve skutečnosti vysílací výkon nižší závisí na správném nastavení sítě. Např. při nastavení mezní hodnoty makrodiverzitního zisku 10dBm (viz Obr. 18) lze vidět, že to neplatí a SHO je výkonově náročnější než HHO. Naproti tomu při nastavení hodnoty makrodiverzitního zisku na 2dBm (viz Obr. 17) má SHO nižší vysílací výkon než HHO. Z Obr. 17 lze vidět, že čím je větší hodnota makrodiverzitního zisku, tím delší trvání SHO, což přispívá k zatěžování sítě a narůstání vysílacího výkonu UE.

## Druhá simulace

Při pozorování Obr. 24 je vidět, že nejnižší vysílací výkon UE pro SHO je při stejném vysílacím výkonu obou Node B ( $CPICH1 = CPICH2$ ). Z Obr. 23 můžeme vyvozovat, že nejnižší vysílací výkon UE pro HHO nastává při  $CPICH1 < CPICH2$ . I když po přepojení na Node\_B\_2 má ze začátku vyšší vysílací výkon než při jiných poměrech CPICH, výhodou však je že, se nikdy nedostane na vyšší vysílací výkon u Node\_B\_1, jako je to u jiných poměrů CPICH. Při porovnání jednotlivých druhů handoverů může HHO konkurovat SHO jen pro případ  $CPICH1 < CPICH2$ , v jiných případech je SHO vždy výkonově výhodnější.

## Třetí simulace

V této simulaci jsme si ověřili teoretický předpoklad, že při zvyšování počtu účastníků se zvyšuje datový tok v síti a klesá její pokrytí (viz Obr. 28). Maximální poloměr dosahu buňky byl 6,3km a to při datovém toku 253,5kbps. Tento poloměr se snižoval s přibývajícím počtem UE, respektive se zvyšujícím se datovým tokem. Minimální poloměr byl 3,6km při datovém toku 635,5kbps.

## POUŽITÁ LITERATURA:

- [1] *Www.wikipedia.com* [online]. 2001 , 8. 10. 2007 v 21:08 [cit. 2007-12-08]. Dostupný z WWW: [www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com) a [www.wikipedia.cz](http://www.wikipedia.cz).
- [2] DOC. ING. HANUS, Stanislav CSc., ING. FENCL, Josef, ING. ŠTENCEL, Vít. *Bezdrátové a mobilní komunikace II.* [s.l.] : [s.n.], 2005. 173 s. ISBN 80-214-2817-1.
- [3] VARRALL, Goeff; Belcher, Roger. *3GHandset And Network.* Indianapolis : Wiley Publishing, 2003. ISBN 0-471-22936-9.
- [4] Opnet Technologies Opnet Modeler documentation. 2007 [cit. 2007-12-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.opnet.com/>>.
- [5] 3GPP [online].[cit.2005-05-02] Dostupné z WWW:<<http://www.3gpp.org/>>.
- [6] LAIHO, Jaana, WACKER, Achim, NOVOSAD, Tomáš. *Radio Network Planning.* England : John Wiley & Sons Ltd., 2006. 629 s. ISBN ISBN-13 978-0-470.
- [7] *Www.umtsworld.com* [online]. 2003 , únor. 2007 v 21:08 [cit. 2007-12-08]. Dostupný z WWW: <http://www.umtsworld.com/>.
- [8] GUIDELINES FOR EVALUATION OF RADIO TRANSMISSION : RECOMMENDATION ITU-R M.1225. *Www.itu.int* [online]. 1997, no. Question ITU-R 39/8 [cit. 2008-05-20]. Dostupný z WWW: <<http://www.itu.int/ITU-R/study-groups/docs/R-REC-M.1225-0-199702-I!!MSW-E.doc>>.
- [9] Radio resource management strategies. *3GPP* [online]. 2004 [cit. 2008-05-24]. Dostupný z WWW: <<http://www.3gpp.org/>>.
- [10] PÉREZ-ROMERO, Jordi, et al. *RADIO RESOURCE MANAGEMENT STRATEGIES IN UMTS.* West Sussex PO19 8SQ, England : John Wiley & Sons Ltd, 2005. 344 s. ISBN ISBN-13 978-0-470.

## SEZNAM ZKRATEK

1G	1st generation
2G	2nd generation
3G	3rd generation
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AuC	Authentication Centre
BER	Bit Error Rate
BLER	Block Error Rate
BSC	Base Station Controller
BTS	Base Transceiver Station
CBR	Constant Bit Rate
CDMA	Code Division Multiple Access
CN	Core Network
CS	Circuit Switched
D-AMPS	Digital AMPS
$E_b/N_o$	bit energy over noise power spectral density
EDGE	Enhanced Data For GSM Evolution
EIR	Equipment Identity Register
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GGSN	Gateway GPRS Support Node
GPRS	General Packet Radio Services
GSM	Global System for Mobile Communication
H-ARQ	Hybrid automatic repeat request
HLR	Home Location Register
HSCSD	High Speed Circuit Switched Data
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
ISP	Internet Service provider
ITU	International Telecommunication Union
MSC	Mobile Services Switching Centre
MT	Mobile Terminal
NMT	Nordic Mobile Telephone
NRT	Non Real Time
PCS	Personal Communications Service
PDP	Packet Data Protocol
PDU	Protocol Data Units
PS	Packet Switched
QoS	Quality of Service
RAB	Radio Access Bearer
RAN	Radio Access Network
RANAP	Radio Access Network Application Part
RNC	Radio Network Controller
RNS	Radio Network Subsystem

RRC procotocol	Radio Resource Control protocol
RRM	Radio Resource Management
RRU	Radio Resource Unit
RT	Real Time
SGSN	Serving GPRS Support Node
TACS	Total Access Communication System
TDMA	Time Division Multiple Access
UE	User Equipment
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UTRAN	UMTS Terrestrial Radio Access Network
VBR	Variable Bit Rate
VLR	Visitor Location Register
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WLAN	Wireless Local Area Network