

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Tietotekniikan koulutusohjelma
Tietoliikennetekniikka

Opinnäytetyö

Juha Repo

WCDMA-JÄRJESTELMÄN KAPASITEETTI

Ohjaava opettaja:
Tampere 2009

Jorma Punju

Tekijä	Juha Repo
Työn nimi	WCDMA-järjestelmän kapasiteetti
Sivumäärä	39
Päivämäärä	Joulukuu 2009
Ohjaava opettaja	Jorma Punju

TIIVISTELMÄ

Tämän työn selvityksen aiheena on WCDMA-tekniikkaan pohjautuvan 3G-matkaviestinjärjestelmän kapasiteetti. WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) on kolmannen sukupolven matkaviestinverkkoihin käytetty laajakaistainen koodijakokanavointitekniikka, jolla järjestelmän käyttäjät erotellaan toisistaan. WCDMA-verkon vakaasta toiminnasta huolehtivat radioresurssien hallinta-algoritmit, jotka esitellään tässä työssä.

WCDMA:n kapasiteetti voidaan määrittellä usealla eri tavalla, joista kaikkein käytetyin on ehkä määrittely, jossa tutkitaan kuinka monta samanaikaista käyttäjää järjestelmä pystyy palvelemaan. Käyttäjien määrään perustuvan kapasiteetin määrittämisestä tekee haasteellisempaa se, että tilaajien käyttämät palvelut käyttävät eri tiedonsiirtonopeutta. Aiempiin matkaviestinjärjestelmiin verrattuna suuri kapasiteetti on pääsyy siihen, miksi WCDMA on ylipäätään suunniteltu ja miksi operaattorit eri puolilla maailmaa ovat ottaneet sen käyttöön. Kasvatettu kapasiteetti mahdollistaa suuremman määrän alhaisen siirtonopeuden käyttäjiä sekä suuremman tiedonsiirtonopeuden kuin aiemmat järjestelmät.

Avainsanat WCDMA, kapasiteetti, 3G, tiedonsiirtonopeus

Author	Juha Repo
Work label	Capacity in WCDMA
Sivumäärä	39
Date	December 2009
Thesis supervisor	Jorma Punju

ABSTRACT

The main focus in this paper is the capacity in Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA). Third generation air interface WCDMA is a wideband technique that distinguishes users from each other with individual codes. Radio Resource Management (RRM) algorithms – which are presented in this paper – are responsible for the stable functioning of networks based on WCDMA.

The capacity of WCDMA can be defined in various ways, of which the definition that examines the number of simultaneous users is probably the most commonly used. The fact that users of third generation wireless networks (such as WCDMA) are using services that utilize different bit rates makes it more challenging to define the capacity of WCDMA by the number of users. Compared to previous wireless communications systems, the increased size in capacity is the main reason why WCDMA has been designed and deployed by several operators worldwide. The capacity of WCDMA makes it possible to have a larger number of simultaneous users with low bit rates and a higher bit rate than before in earlier wireless communications systems.

Keywords WCDMA, capacity, 3G, bit rate

ALKUSANAT

Tutkintotyön aiheeksi valitsin tietoliikenteen laboriokurssilla saamani projektityön aiheen. Haluan kiittää yliopettaja Jorma Punjua työn tarkastuksesta sekä tutkintotyöhöni saamistani neuvoista. Lisäksi haluan kiittää vaimoani, joka tuki ja kannusti työn eri vaiheissa sekä auttoi työn oikolukemisessa.

Tampereella 11. joulukuuta 2009

Juha Repo

SISÄLLYS

SISÄLLYS	iv
KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT	vi
1 JOHDANTO	1
2.1 Tekniikka WCDMA-järjestelmän taustalla	2
2.1.1 Hajaspektritekniikka	2
2.1.2 CDMA-monikäyttömenetelmä	2
2.1.3 WCDMA-järjestelmän erot CDMA-järjestelmään	3
2.1.4 UTRA-FDD ja UTRA-TDD	4
2.2 WCDMA-järjestelmän tekniset ominaisuudet	5
2.2.1 WCDMA:n toimintataajuuDET	5
2.2.2 WCDMA:n nopeusluokat	5
3 WCDMA-VERKOT	7
3.1 WCDMA:n kehitys	7
3.1.1 WCDMA-verkkojen käyttäjämäärät	8
3.1.2 WCDMA:n kehitys Suomessa	9
3.1.3 Kehitys kolmannen sukupolven jälkeen	12
3.2 Kilpailijat	12
3.3 Seuraajat	13
3.3.1 HSPA	13
3.3.2 LTE	14
4 RADIORESURSSIEN HALLINTA	15
4.1 Tehonsäätö	15
4.2 Palvelevan tukiaseman vaihto	16
4.2.1 Järjestelmän sisäinen tukiaseman vaihto	16
4.2.2 Järjestelmien välinen tukiaseman vaihto	17
4.2.3 Kova palvelevan tukiaseman vaihto	17
4.2.4 Pehmeä ja pehmeämpi palvelevan tukiaseman vaihto	17
4.3 Pääsynhallinta	18
4.4 Pakettiajoitus	19
4.5 Kuorman hallinta	19
5 WCDMA-JÄRJESTELMÄN KAPASITEETTI	21
5.1 Erilaisia kapasiteetin määritelmiä	21
5.1.1 Käyttäjien määrä	21
5.1.2 Erlang-kapasiteetti	22
5.1.3 Kapasiteetti/km ²	22
5.1.4 Kapasiteetti/tilaaja/kuukausi	22
5.1.5 Kapasiteetin loppuminen	23
5.2 WCDMA-järjestelmän kapasiteetti käytännössä	23
5.2.1 Aikaikkunat	23
5.2.2 Erlang-kapasiteetti	24
5.3 WCDMA-järjestelmän kapasiteetin laskeminen	26
5.3.1 Kapasiteetin laskeminen	26
5.3.2 Eri tekijöiden vaikutus laskennalliseen kapasiteettiin	28
5.3.3 Prosessointivahvistus ja sen laskeminen	30
5.3.4 Teoreettinen bittinopeus vs. nopeus käytännössä	32
6 KAPASITEETIN OPTIMOINTI	33
6.1 Uplink-suuntaan tapahtuva kapasiteetin budjetointi	34

6.2 Downlink-suuntaan tapahtuva kapasiteetin budjetointi	34
6.3 Kapasiteettia lisääviä tekniikoita.....	35
7 YHTEENVETO	36
LÄHTEET.....	37

KÄYTETYT LYHENTEET JA TERMIT

3G	Third Generation. Yleisesti käytetty lyhenne kolmannen sukupolven matkaviestinverkkojärjestelmistä.
3GPP	3rd Generation Partnership Project. WCDMA-standardista vastaava kansainvälinen standardointitaho.
AMR	Adaptive multirate. Eri nopeusluokkia kuvaava puhekoodekki.
CDMA	Code Division Multiple Access. Käyttäjien koodierotteluun perustuva monikäyttömenetelmä.
Downlink	Tiedonsiirron kulkusuunta tukiasemalta päätelaitteelle.
EDGE	Enhanced data rates for GSM evolution. Matkaviestimien pakettiliikenteen siirtotekniikka.
FDD	Frequency Division Duplex. Taajuuspohjainen dupleksointimenetelmä.
FDMA	Frequency Division Multiple Access. Taajuusjakoon perustuva monikäyttömenetelmä.
GPRS	General packet radio system. Matkaviestimien pakettiliikenteen siirtotekniikka.
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access. HSPA:n downlink-suunnan määrittäykset (Release 5).
HSPA	High Speed Packet Access. WCDMA:n pohjalle kehitetty järjestelmän päivitys.
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access. HSPA:n uplink-suunnan määrittäykset (Release 6).
LTE	Long Term Evolution. HSPA:n jälkeinen kehitysvaihe, 4G.
RNC	Radio Network Controller. Tukiasemaohjain.
SIR	Signal to noise ratio. Signaalihäiriösuhde.
TDD	Time Division Duplex. Aikapohjainen dupleksointimenetelmä.

TDMA	Time Division Multiple Access. Aikajakoon perustuva monikäyttömenetelmä.
UMTS	Universal Mobile Telecommunications Services. 3G matkaviestinverkkojärjestelmä.
Uplink	Tiedonsiirron kulkusuunta päätelaitteelta tukiasemalle.
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network. UMTS-järjestelmän radio-osa.
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access. Laajakaistainen käyttäjien koodierotteluun perustuva monikäyttömenetelmä.

1 JOHDANTO

Tässä työssä perehdytään kolmannen sukupolven matkaviestinverkkojen radiorajapintaan, WCDMA:han. WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) on käyttäjien koodijakoiseen erotteluun perustuva monikäyttötekniikka. WCDMA-tekniikkaa hyödynnetään UMTS-verkoissa laajalti maailmalla, mutta eri maissa on myös eri teknologioihin pohjautuvia WCDMA:n kilpailijoita.

Aluksi työssä tutustutaan WCDMA:n tekniikkaan sekä WCDMA-verkkoihin sekä niiden kehitykseen maailmalla ja Suomessa. Lisäksi työssä perehdytään lyhyesti WCDMA-järjestelmän vakaasta toiminnasta sekä resurssien oikeanlaisesta käytöstä vastaaviin radioresurssien hallinta-algoritmeihin.

Työssä syvennyttään WCDMA-järjestelmän kapasiteettiin, joka on käyttäjän näkökulmasta merkittävä syy, miksi koko järjestelmä on alunperin suunniteltu ja joka mahdollistaa puheensiirron lisäksi monipuolisempien sovelluksien käytön kuin WCDMA:ta edeltäneet järjestelmät. WCDMA:n kapasiteettiin tutustutaan niin teoreettisesti kuin laskennallisestikin.

2 WCDMA-TEKNIikka

2.1 Tekniikka WCDMA-järjestelmän taustalla

Kolmannen sukupolven matkaviestintekniikka WCDMA (Wideband CDMA) pohjautuu koodijakoiseen monikäyttötekniikkaan CDMA:han (Code Division Multiple Access), joka perustuu hajaspektritekniikkaan (Spread Spectrum). CDMA-pohjaiset tekniikat ovat olleet sotilaskäytössä ennen kaupallisen käytön aloittamista. Kaupalliseen käyttöön tekniikat on otettu, jotta saataisiin kasvatettua palveltavaa käyttäjämäärää rajallisen radiospektrin rajoittaessa perinteisien tekniikoiden tarjoamaa käyttäjäpotentiaalia.

WCDMA toimii radorajapintana UMTS-teknologialle (Universal Mobile Telecommunications System). UMTS:n radio-osasta käytetään nimitystä UTRAN (Universal Terrestrial Radio Access Network).

2.1.1 Hajaspektritekniikka

Hajaspektritekniikassa (Spread Spectrum) lähetettävä signaali levitetään riippumattomalla hajotuskoodilla leveälle kaistanleveydelle (W). Signaali myös lähetetään tällä leveällä kaistanleveydellä – leveämmällä kuin informaatio-signaalin minimikaistanleveys (R). Tällä saadaan aikaan se, että koska signaali leviää leveälle kaistalle, sen tehotiheys pienenee ja se voi jopa olla pienempi kuin kohinan tehotiheys. Tällöin signaalin havaitseminen kohinan seasta on vaikeaa ilman käytetyn hajotuskoodin tuntemista. Hajaspektritekniikan pienen tehotiheyden ansiosta tekniikan muihin järjestelmiin kohdistuvien häiriöiden määrä ei ole suuri /Rantala 2002, 11/.

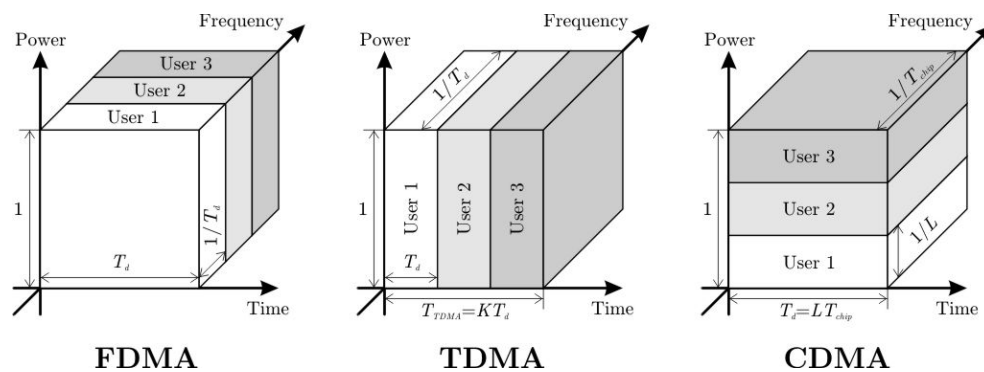
2.1.2 CDMA-monikäyttömenetelmä

CDMA-monikäyttömenetelmä (Code Division Multiple Access) on suunniteltu samaa tarkoitusta varten kuin muutkin monikäyttömenetelmät, TDMA ja FDMA, eli luomaan

teknologia, jonka perusteella käyttäjät erotellaan matkaviestinverkon liikenteessä. Pyrkimys on samalla ollut kasvattaa palveltavien tilaajien määrää matkaviestinverkossa. Tekniikan avulla pyritään siten minimoimaan matkaviestinverkon laitekustannukset.

CDMA eroaa muista monikäyttömenetelmistä käytetyn käyttäjäjakotekniikan vuoksi. TDMA (Time Division Multiple Access) erottelee käyttäjät aikajakoisesti, eli kanava on jaettu aikaväleihin, joista yksi varataan yhdelle käyttäjälle. FDMA-järjestelmässä (Frequency Division Multiple Access) käyttäjät erotellaan eri taajuuksille: kaistanleveys on jaettu kapeampiin taajuusalueisiin, joista käyttäjälle määräytyy yksi taajuusalue sekä uplink- että downlink-suuntaan.

Kuva 1 havainnollistaa monikäyttömenetelmien erot. CDMA-järjestelmässä samalla kanavalla olevia käyttäjiä ei ole eroteltu eri taajuuksille tai aikaväleille, vaan käyttäjien erottelu tapahtuu käyttäjän yksilöllisen binäärisen koodin perusteella. CDMA tarjoaa juuri siksi suuremman käyttäjäkapasiteettipotentiaalin kuin TDMA tai FDMA, koska lukuisat käyttäjät voivat olla toisiaan häiritsemättä käyttämässä samaa taajuutta.



Kuva 1: Monikäyttömenetelmien eroavaisuudet

2.1.3 WCDMA-järjestelmän erot CDMA-järjestelmään

WCDMA on nimensä mukaisesti laajakaistainen CDMA-järjestelmä. Sen kaistanleveys on noin 5 MHz ja uplink- sekä downlink-suuntiin on varattu omat kaistansa. Käytännössä kantaaltojen taajuusväli on valittavissa 200 kHz välein skaalalta 4,4 – 5 MHz, riip-

puen kantoaaltojen välisestä häiriöstä /Holma & Toskala 2004, 48/. Vertauksena voidaan ottaa esimerkiksi Pohjois-Amerikassa käytetty CDMA-järjestelmä cdma2000, jonka kaistanleveys on 1,25 MHz. WCDMA:n kaistanleveys on siis nelinkertainen cdma2000:een ja peräti 25-kertainen GSM:n kaistanleveyteen (200 kHz) verrattuna.

WCDMA käyttää uplink-suuntaan koherenttia havaitsemista, mitä ei ole aiemmin käytetty CDMA-järjestelmässä. Tällä menetelmällä pystytään parantamaan suorituskykyä 3 dB verrattuna ei-koherenttia havaitsemista käyttäviin järjestelmiin /Kularatna & Dias 2004, 186/.

2.1.4 UTRA-FDD ja UTRA-TDD

Kansainvälisen 3GPP-organisaation (3rd Generation Partnership Project, joka on Euroopan, Japanin, Korean, USA:n ja Kiinan standardointitahojen yhteistyön tulos) nimitys WCDMA:lle on UTRA TDD (Time Division Duplex) ja UTRA FDD (Frequency Division Duplex) /Holma & Toskala 2004, 1/. Näistä WCDMA:n kahdesta dupleksointimenetelmästä voi nähdä käytettävän myös nimityksiä UMTS TDD ja UMTS FDD.

TDD:n ja FDD:n lisäksi on myös kolmas dupleksointimenetelmä, SDD (Space Division Duplex), mutta se ei ole käytössä WCDMA-teknologiassa. Menetelmistä käytetyin langattomissa viestintäjärjestelmissä on FDD, joka on käytössä esim. GSM-järjestelmässä sekä WCDMA:n tällä hetkellä kaupallisessa käytössä olevilla taajuualueilla (1920-1980 sekä 2110-2170 MHz) /Holma & Toskala 2004, 411/.

FDD-menetelmässä käytetään erikseen 5 MHz:n kaistaa kanta-aallolle sekä uplink- että downlink-suuntaan. TDD-menetelmässä on sama 5 MHz:n aikajaoteltu kaista molempiin suuntiin.

2.2 WCDMA-järjestelmän tekniset ominaisuudet

2.2.1 WCDMA:n toimintataajuudet

WCDMA:n käyttöön osoitettiin alun perin 2 GHz:n läheisyydessä olevia taajuusalueita (1920 – 1980 MHz sekä 2110 – 2170 MHz). Näiden lisäksi WCDMA:ta on eri puolilla maailmaa suunniteltu käytettäväksi tai osittain otettu käyttöön myös taajuusalueilla 850, 900, 1700, 1800 ja 2600 MHz. 850 ja 900 MHz:n taajuuksien käyttö on siksi perusteltua, että matalammilla taajuuksilla tarvitaan vähemmän tukiasemia eli kattavuus on parempi kuin korkeilla taajuuksilla.

2.2.2 WCDMA:n nopeusluokat

WCDMA-järjestelmän kapasiteettiin merkittävästi vaikuttava tekijä on verkon käyttäjän tiedonsiirtonopeus. Siirtonopeudella x käytettyä palvelua käyttävää tilaajaa mahtuu tukiaseman (Node B, BS, Base Station) palvelemaan soluun n kappaletta ja käyttäjien nopeudet muuttuvat järjestelmän samanaikaisien käyttäjien määrien muuttuessa.

Taulukossa 1 on Release '99:ssa WCDMA-järjestelmälle määritellyt alkuperäiset nopeusluokat. Nopeusluokkien kasvaessa todennäköisyys nopeampaan datansiirtoon kasvaa.

Taulukko 1: WCDMA-järjestelmän nopeusluokat /Holma & Toskala 2004, 40/

Nopeus (kbit/s)	Käyttötarkoitus
32	Puhe, hidas datan siirto
64	Datan ja puheen (AMR) samanaikainen siirto
144	Videopuhelut sekä muut datapalvelut
384	Kuten 144 kbit/s, mutta tukee paremmin pakettiliikennettä
768	Välinopeusluokka 384 kbit/s ja 2000 kbit/s välillä
2000	Datan siirto (ainoastaan downlink-suuntaan)

Nopeusluokat on suunniteltu niin, että nopeampi luokka kattaa kaikki hitaamman luokan ominaisuudet /Holma & Toskala 2004, 40/. Taulukosta 1 voidaan havaita, että tietyt palvelut vaativat tietyn vähimmäisnopeusluokan toimiakseen oikein. Esimerkiksi videopuhelulle 32 tai 64 kbit/s ei riitä oikeanlaiseen toimintaan, vaan viiveet käyvät liian suuriksi eikä sovellus näy käyttäjälle suunnitellulla tavalla.

3 WCDMA-VERKOT

WCDMA- ja muut 3G-verkot maailmalla ovat pitkälti korvanneet ja edelleen korvaavat niiden edeltäjiä, toisen sukupolven matkaviestinverkkoja (esim. GSM) sekä ensimmäisen sukupolven analogisia verkkoja sellaisissa maissa, joissa ei ennen 3G-verkkoa ollut digitaalista matkaviestinverkkoa.

Tällä hetkellä Suomessa ja muissa maissa, joissa ennen WCDMA-verkkojen käyttöönottoa käytössä olevana verkkona oli GSM-verkko, WCDMA- ja GSM-verkot toimivat rinnakkain. Tämä on mahdollista, sillä puhe- ja alhaisen nopeuden datapalveluja voidaan siirtää GSM-verkosta WCDMA-verkkoon ja päinvastoin.

WCDMA on tullut välttämättömäksi – ja on ylipäänsä kehitetty – matkaviestimien jatkuvasti kasvavien käyttäjämäärien vuoksi. Tällä hetkellä jo karkeasti arvioituna joka toinen maapallon asukas on matkaviestimen käyttäjä. 26.5.2008 China Post -lehden sähköisessä versiossa uutisoitiin matkaviestimien käyttäjiä olevan jo yli 3,3 miljardia eli 49% maapallon asukkaista (The China Post 2008).

Käyttäjämäärien lisäksi myös datapalvelut ja niiden käyttö ovat lisääntyneet paljon viime vuosina. Data- sekä puhepalvelujen käyttäjät odottavat, että palvelu on tarjolla ajasta ja paikasta riippumatta. Lisäksi datapalvelujen osalta odotukset jatkuvasti nopeampaan tiedonsiirtoon ovat tehneet välttämättömäksi uusien tekniikoiden suunnittelun ja käyttöönoton. WCDMA-järjestelmän tarjoama kapasiteetin kasvu aiempiin järjestelmiin verrattuna mahdollistaa teoriassa suuremman määrän tilaajia, pienemmät viiveet datapalveluiden käytössä sekä suurempien datapakettien liikennöinnin esim. GSM-järjestelmään verrattuna.

3.1 WCDMA:n kehitys

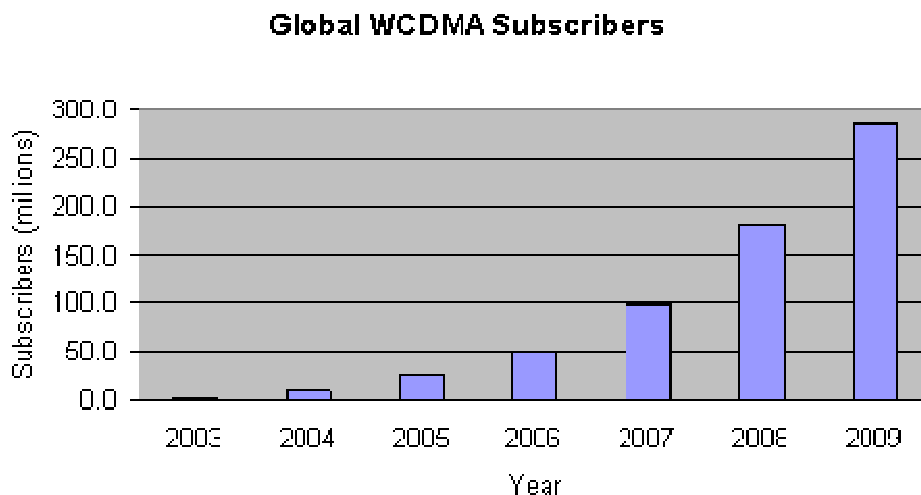
ETSI SMG (European Telecommunications Standards Institute) vastasi aluksi IMT-2000/UMTS-järjestelmän standardoimisesta Euroopan alueella. Vastuu siirtyi kuitenkin myöhemmin 3GPP-organisaatiolle, johon ottivat osaa standardointijärjestöt ARIB (Ja-

pani), ATIS (Pohjois-Amerikka), CCSA (Kiina), ETSI, TTA (Korea) ja TTC (Japani) /Prasad, Mohr & Konhäuser 2000, 11/.

Euroopan SMG (Special Mobile Group) suositteli tammikuussa 1998 TD/CDMA-järjestelmän (UMTS TDD) käyttöä parittomille (1900 – 1920 MHz sekä 2010 – 2025 MHz) ja WCDMA:n (UMTS FDD) käyttöä parillisille 3G-taajuuksille (1920 – 1980 MHz sekä 2110 – 2170 MHz) /Prasad ym. 2000, 25/. Toukokuussa 1999 OHG (The Operators Harmonization Group) sai valmiiksi WCDMA:n maailmanlaajuisen yhtenäisen standardin, mutta jo tätä aiemmin (vuoden 1997 jälkimmäisellä puoliskolla) järjestöt ETSI ja ARIB tekivät yhteisen WCDMA:han pohjautuvan Direct Spread (DS) ehdotelman /Prasad ym. 2000, 73-74/. Vuonna 1999 valmiiksi saatua WCDMA:n ensimmäistä versiota kutsutaan myös nimellä Release'99.

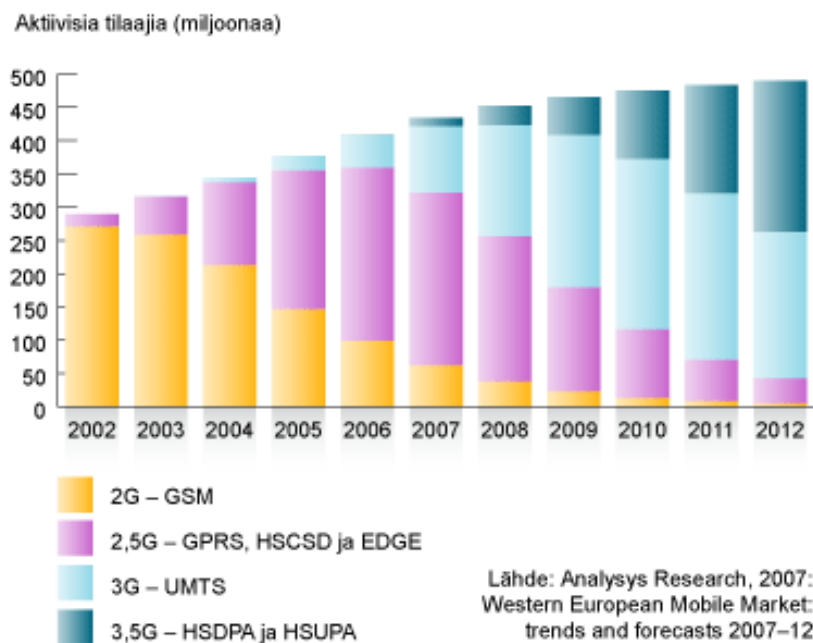
3.1.1 WCDMA-verkkojen käyttäjämäärät

Kuluttajille WCDMA-verkot avautuivat ensimmäisinä Euroopassa ja Japanissa vuosina 2002-2003. Tämän jälkeen käyttäjien määrä on lisääntynyt Visant Strategies -yhtiön vuonna 2004 julkaiseman tutkimuksen mukaan. Kuvasta 2 on nähtävissä, että tutkimus ennustaa WCDMA-käyttäjien määrän lisääntyneen vuoteen 2009 mennessä maailmanlaajuisesti miltei 300 miljoonaan käyttäjään.



Kuva 2: WCDMA:n maailmanlaajuinen käyttäjien kasvu 2003-2009

Visant Strategies -yhtiön tutkimuksen arvion käyttäjien määrästä vuodelle 2009 voi todeta ylittyvän, sillä kuvan 3 perusteella jo pelkästään Länsi-Euroopassa oli vuonna 2008 yli 150 miljoonaa UMTS-tilaajaa (sekä 20 – 30 miljoonaa WCDMA-pohjaisen HSPA-järjestelmän tilaajaa). Kuvan 3 viittaaman vuonna 2007 tehdyn tutkimuksen mukaan UMTS-tilaajien määrän arvioitiin olevan hieman laskussa vuosina 2010 ja 2011 3,5G-tekniikan vallatessa markkinoita.



Kuva 3: Aktiiviset tilaajat päätelaiteittain Länsi-Euroopassa

Langattomien matkaviestinyhteyksien kehitys on ollut nopeaa. Kuvasta 4 voidaan nähdä, että vuodesta 1985 (jolloin otettiin käyttöön ensimmäinen analoginen matkaviestinjärjestelmä) lähtien käytössä oleva järjestelmän kapasiteetti kaksinkertaistui ensimmäisen kerran vuonna 1992 GSM-järjestelmän myötä. Kuvan 4 mukaan WCDMA-järjestelmä mahdollistaa kuusinkertaisen puhekapasiteetin analogiseen ja kolminkertaisen GSM-järjestelmään verrattuna.

3.1.2 WCDMA:n kehitys Suomessa

Suomen suuret operaattorit Elisa ja Sonera ovat panostaneet vahvasti kolmannen sukupolven matkaviestinverkkoihin. Myöhemmin kilpailuun lähti myös kolmas operaattori

DNA. Kun aiemmin todettiin WCDMA-verkkojen avautuneen Euroopassa 2002-2003, avasi Elisa UMTS-verkkonsa Suomessa koekäyttöön 3.1.2002.

Kehitysvaiheita

Seuraavassa on listattuna muita suomalaisten operaattoreiden ilmoittamia vaiheita WCDMA:n kehityksestä Suomessa:

- 12.5.2006 Elisa ilmoitti saaneensa HSDPA-tekniikan avulla 1 Mbit/s nopeuden käyttöön koko 3G-verkolleen, joka tuolloin kattoi 40 paikkakuntaa (1).
- 8.11.2007 Elisa tiedotti rakentavansa yhteistyössä Nokia Siemens Networks:n ja Ericssonin kanssa maailman ensimmäisen kaupallisen 900 MHz:n taajuudella toimivan WCDMA-verkon /Softpedia 2007/.
- 3.6.2008 Sonera ilmoitti, että sen 3G-verkon kattavuus on 180 paikkakuntaa ja maksiminopeus HSPA-tekniikalla toteutettuna 3,6 Mbit/s (2).
- Kesällä 2008 DNA:n 3G-verkko kattoi lähes 200 paikkakuntaa nopeuden vaihdellessa paikallisesti nopeuden ollessa välillä 1,4 – 7,2 Mbit/s (3).
- Vuoden 2008 lopulla Elisan 270 paikkakunnalla kuulunut 3G-verkko tuki suurelta osin 5 Mb/s (7,2 Mbit/s) siirtonopeutta (4).
- 30.3.2009 Sonera ilmoitti laajentavansa 3G-verkon kattavuutta 250:stä 350:een paikkakuntaan. Vuoden 2009 loppuun mennessä tapahtuvasta laajennuksesta suuri osa toteutetaan 900 Mhz:n taajuusalueella /Taloussanommat 2009/.

Operaattoreiden välinen kilpailu

Operaattoreiden välinen kilpailu kolmannen sukupolven (tässä mukaan lasketaan sekä 3G että 3,5G) matkaviestinverkkojen osalta on ollut kiivasta eikä se vaikuta ainakaan hiipuvan. Kaikki operaattorit mainostavat verkkonsa kattavuutta sekä tiedonsiirtonopeuden maksimilukemia, mutta mainitsevat myös, missä olosuhteissa siirtonopeus saattaa pudota maksimilukemasta.

Elisa teetti European Communications Engineering-yrityksellä (ECE) kolme 3G-kuuluvuustutkimusta, joista viimeinen tehtiin keväällä 2009. Tutkimuksissa todettiin, että Elisalla on laajin kuuluvuusalue ja suurimmat yhteysnopeudet (5). DNA vei ensimmäisen tutkimuksen tulokset markkinaoikeuteen kesällä 2008. Viimeisen tutkimuksen jälkeisellä päätöksellä markkinaoikeus päätti 29.9.2009, ettei Elisa saa tutkimuksiin perustuen käyttää ilmauksia, joissa Elisan verkon todetaan olevan Suomen paras 3G-verkko tai verkon kuuluvuuden, peiton tai laadun olevan Suomen paras /Junkkaala 2009/.

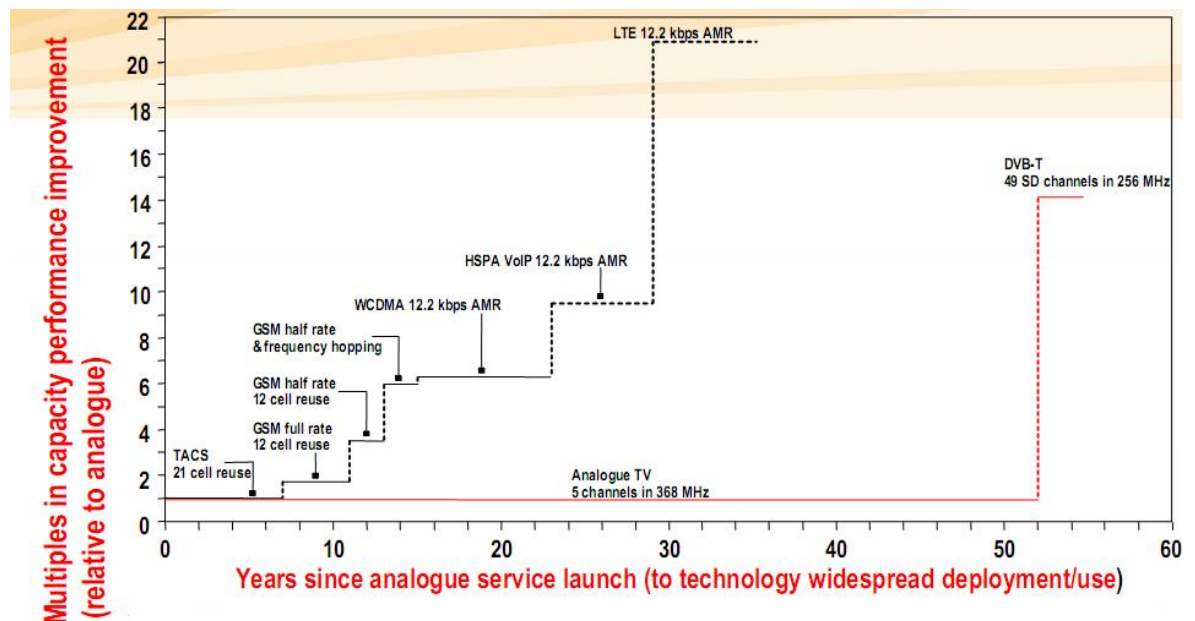
WCDMA-verkon hyödyntäminen laajakaistakäyttöön

Viimeisin vaihe Suomessa on 3G-verkon valjastaminen langattoman laajakaistan käyttöön. WCDMA-järjestelmää ei enää käytetä vain matkaviestimien (MS, Mobile Station), vaan myös kannettavien tietokoneiden hyväksi. Kun tilaaja on hankkinut operaattorilta tarkoitukseen sopivan liittymän, saa hän kannettavaan tietokoneeseen tarkoitettun USB-modeemin verkkoon liittymistä varten. Tällä tavoin on mahdollista päästä internetiin missä päin tahansa Suomea, kunhan on vain operaattorin tarjoaman verkon alueella. Mikäli tilaaja ei ole 3G-verkon alueella, yhteys vaihtuu EDGE-, GPRS- tai GSM-yhteyteen, mikä vaikuttaa tiedonsiirtonopeuteen laskevasti.

Langaton laajakaista on kerännyt suurta suosiota erityisesti vuoden 2009 alkupuoliskolla. Tällöin raportoitiin noin kolmanneksen kasvu käyttäjien määrään, jonka ilmoitettiin marraskuussa 2009 olevan noin 700000 /Kerkkänen 2009/. Määrä myös jatkaa kasvamistaan, sillä joillekin suomalaisten taajamien ulkopuolisille alueille laajakaistayhteydet aiotaan toteuttaa ainoastaan langattomasti, eli mahdollisesti WCDMA-pohjaisesti.

3.1.3 Kehitys kolmannen sukupolven jälkeen

Kehitys jatkuu 3G:stä 3,5G ja 4G:hen. Kuvasta 4 voidaan havaita, että HSPA (High Speed Packet Access) laajentaa kapasiteetin 10-kertaiseksi alkuperäiseen analogiseen ja noin 1,5-kertaiseksi WCDMA-järjestelmään verrattuna. Kaikkein suurin edistys tapahtuu, kun 4G aikanaan saapuu kaupalliseen käyttöön. Kuvan 4 mukaan LTE (Long Term Evolution) voi tuolloin jopa kaksinkertaistaa HSPA:n tarjoaman kapasiteetin.



Kuva 4: Järjestelmän moninkertaistuminen (analogiseen järjestelmään verrattuna) käyttövuosien funktiona

3.2 Kilpailijat

WCDMA:n lisäksi toinen laajan kaistan omaava CDMA-pohjainen järjestelmä on CDMA2000 (MC-CDMA), joka WCDMA:n direct spread-standardin (DS-CDMA) tavoin käyttää taajuusjakoista multipleksointia. Näiden lisäksi on vielä kolmannen sukupolven matkaviestinstandardia: Aikajakoista multipleksointia käyttävä standardi TD-SCDMA (Time Division Synchronous CDMA) ja TDMA:iin pohjautuva EDGE/UWC-136 /Kularatna & Dias (2004, 185/.

WCDMA:n kilpailijoista CDMA2000 on käytössä 116 maassa tai alueella (11) ja TD-SCDMA on Kiinan virallinen 3G-teknologia. Joulukuussa 2009 WCDMA:lla (mukaanluettuna HSPA) oli maailmanlaajuisesti yli 472 miljoonaa tilaajaa (12) ja vastaavasti CDMA2000:lla yli 494 miljoonaa (11).

3.3 Seuraajat

3G on vaihtain alkanut korvata toisen sukupolven matkaviestinverkkoja Euroopassa vuodesta 2002 alkaen, mutta GSM-verkko säilynee edullisuutensa ja luotettavuutensa vuoksi arvioiden mukaan vielä mahdollisesti vuosikymmenen seuraajiensa rinnalla. Toisen ja kolmannen sukupolven matkaviestinverkkojen yhteistyöstä huolimatta uudet tekniikat joko ovat jo käytössä tai ovat tulossa käyttöön lähivuosina tarkasteltavasta alueesta riippuen.

3.3.1 HSPA

WCDMA:n (UMTS:n) seuraajaksi on nimetty HSPA (High Speed Packet Access). Maaliskuussa 2002 luotiin spesifikaatiot WCDMA:ta koskevalle 3GPP:n Release 5:lle ja näissä spesifikaatioissa oli mukana HSPA:iin kuuluva HSDPA (High Speed Downlink Packet Access).

Kun aiemmin todettiin WCDMA:n ensimmäisissä määrittelyksissä tiedonsiirtonopeusluokkien olevan välillä 32 kbit/s – 2 Mbit/s, HSDPA:n vastaavat luokat ovat 0,9 – 14,4 Mbit/s /Holma & Toskala 2004, 320/. HSDPA:n hitaimmallakin nopeusluokalla on siis 45 % WCDMA:n nopeimman luokan suorituskyvystä ja HSDPA:n nopein luokka on yli seitsemän kertaa nopeampi kuin WCDMA.

HSDPA:n luontainen jatkumo oli HSUPA (High Speed Uplink Packet Access), joka esiteltiin 3GPP:n Release 6:ssa syyskuussa 2003 /Laiho, Wacker & Novosad 2006, 60/. HSPA:n lasketaan olevan välivaihe kolmannen ja neljännen sukupolven matkaviestinverkkojen välissä ja sen on nimetty olevan 3,5G:ta. HSDPA on ollut kaupallisessa käy-

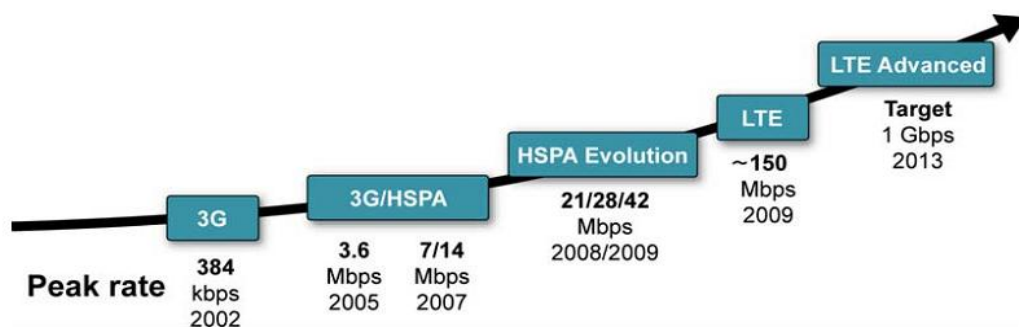
tössä muutaman vuoden. Huhtikuuhun 2006 mennessä, oli 18 maassa otettu käyttöön HSDPA-verkko /Poropudas 2006/.

3.3.2 LTE

Vaikka kolmannen sukupolven matkaviestinjärjestelmiä edelleen vasta kehitetään eikä siirtymä 2G:sta 3G:iin ole valmis (edelleen on suuria määriä matkaviestimien käyttäjiä, joiden matkaviestin tukee vain 2G-verkkoja), tekee 4G jo tuloaan. LTE (Long Term Evolution) on neljännen sukupolven matkaviestinverkkoteknologia, joka esiteltiin 3GPP:n Release 8:ssa. Release 10:ssa esitellään edelleen kehitetty LTE Advanced. LTE:n on laskettu saavuttavan parhaimmillaan downlink-suuntaan bittinopeuden 325 Mbit/s sekä uplink-suuntaan 86 Mbit/s /Holma & Toskala 2009, 214/.

Nokia Siemens Networks ilmoitti tehneensä maailman ensimmäisen LTE-verkkoja käyttävän puhelun syyskuussa 2009. Ensimmäisten LTE-verkkojen odotetaan avautuvan aikaisintaan loppuvuonna 2009, mutta viimeistään alkuvuonna 2010 (13).

Kuvasta 5 voidaan nähdä 3G:sta eteenpäin jo tapahtunut tiedonsiirtonopeuden kasvu sekä ennuste tulevasta kasvusta. Vuonna 2013 nopeuden odotetaan yltävän 1 Gbit/s. Kaupalliseen käyttöön 1 Gbit/s nopeuden voisi uskoa ehtivän vuoteen 2013 mennessä, sillä koetilanteissa on saavutettu jo suurempiakin nopeuksia. Tästä esimerkkinä NTT DoCoMo tekemä 4G-kenttäkoe, jossa yritys ilmoitti joulukuussa 2006 saavuttaneensa 5 Gbit/s nopeuden downlink-suuntaan 100 MHz:n kaistanleveydellä (14).



Kuva 5: 3G- ja 4G-järjestelmien tiedonsiirtonopeuden kasvuhistoria ja -ennuste

4 RADIORESURSSIEN HALLINTA

WCDMA-järjestelmän kapasiteettiin vaikuttaa monia eri tekijöitä. Radioresurssien hallinta-algoritmeilla (Radio Resource Management) pyritään tehokkaasti hyödyntämään verkon tarjoama ilmarajapinta. Hallinta-algoritmeja ovat tehonsäätö (Power Control), palvelevan tukiaseman vaihto (Handover Control) sekä ruuhkanhallinta (congestion control), joka jaetaan edelleen pääsynhallintaan (Admission Control), kuormanhallintaan (Load Control) ja pakettiajoitukseen (Packet data Scheduling) /Laiho ym. 2006, 197/.

4.1 Tehonsäätö

CDMA-järjestelmien tärkeä kapasiteettiin vaikuttava tekijä on tehonsäätö (Power Control). CDMA-järjestelmän kokonaishäiriötasoon tuo oman lisänsä jokainen kanavalla oleva päätelaite. Päätelaitteen lähetysteho on siksi saatava sellaiselle tasolle, että se kuormittaa järjestelmää mahdollisimman vähän. Tähän tarvitaan tehonsäätöä.

Tehonsäädöksi kutsutaan sitä, että tukiasema tarkkailee yhteyttä päätelaitteeseen ja ohjaa sitä säätämään lähetystehoa siten, että yhteys on riittävän hyvä (6) eli tukiasema on vastuussa verkon tilaajalaitteiden sopivista lähetystehoista. WCDMA-järjestelmissä (UMTS) sekä downlink- että uplink-suuntaan käytettävillä Closed- ja Outer Loop-tehonsäätömenetelmillä säädellään järjestelmän SIR-tavoitetta eli signaali-häiriö suhdetta (Signal to Interference Ratio) /Rantala 2002, 23/.

WCDMA-järjestelmän fast closed loop -tehonsäätömenetelmässä tukiasema suorittaa jatkuvaa nopeaa mittausta järjestelmän SIR-arvosta. Mikäli mitattu arvo on suurempi kuin tavoitearvo, käskee tukiasema matkaviestimiä laskemaan ja päinvastaisessa tilanteessa nostamaan lähetystehoa. Tukiasema suorittaa mittauksen 1500 kertaa sekunnissa eli taajuudella 1,5 kHz /Holma & Toskala 2004, 56/.

Mittauksia tehdään ja tehoja säädellään, koska WCDMA-järjestelmässä kanavan maksimihäiriötason ylittyessä ei uusia käyttäjiä pääse kanavalle. Matkaviestin vastaanottaa kanavalta häiriötason (E_b/N_0) rajan (7). Kanavan häiriötason nousu lähelle maksimihäiriötason rajaa tai suuri häiriö viereisiltä kanavilta saavat aikaan sen, että matkaviestinten lähetystehoa joudutaan nostamaan, mikä edelleen aiheuttaa kattavuuden vähenemistä. Mikäli verkon kuorma nousee esimerkiksi 50 %:iin suunnitellusta verkon kokonaiskuormasta, vähenee verkon kattavuusalue 3 dB:llä (8).

4.2 Palvelevan tukiaseman vaihto

Eräs kapasiteettiin vaikuttava tekijä WCDMA-järjestelmässä on palvelevan tukiaseman vaihto (Handover Control). Palvelevan tukiaseman vaihtotyypit ovat järjestelmän sisäinen tukiaseman vaihto (Intra-system handover) sekä järjestelmien välinen tukiaseman vaihto (Inter-system handover). Lisäksi on olemassa tukiaseman vaihtotoimenpiteiden perusteella tapahtuva joko kovaan (hard handover), pehmeään (soft handover) ja pehmeämpään tukiaseman vaihtoon (softer handover).

4.2.1 Järjestelmän sisäinen tukiaseman vaihto

Järjestelmän sisäinen tukiaseman vaihto tapahtuu WCDMA-järjestelmän sisällä ja se on mahdollista tehdä joko saman WCDMA-kantoaaltotaajuuden omaavien solujen välillä (eli samalla taajuudella, Intra-frequency handover) tai toiseen WCDMA-kantoaaltoon kuuluvaan soluun (eli eri taajuudelle, Inter-frequency handover) /Laiho ym. 2006, 211/. Päätelaitteen siirtyessä solusta toiseen myös käyttäjän bittinopeus voi muuttua, koska eri soluissa on erisuuruinen kokonaishäiriötaso ja tästä johtuen myös eri kapasiteetti.

4.2.2 Järjestelmien välinen tukiaseman vaihto

Järjestelmien välinen tukiaseman vaihto on mahdollista eri järjestelmien välillä, esim. WCDMA- ja GSM-järjestelmien välillä, mutta myös eri tekniikoiden välillä, esim. UTRA FDD:n ja UTRA TDD:n välillä /Laiho ym. 2006, 211/. Datapalveluja käyttävän matkaviestimen vaihtaessa WCDMA-solusta esim. GSM-soluun bittinopeus putoaa järjestelmän pienemmän kokonaiskapasiteetin ja hitaampien tarjolla olevien siirtonopeusluokkien vuoksi.

Handoverin mahdollisuus WCDMA-järjestelmästä GSM-järjestelmään on kuitenkin tärkeä, koska puhesiirron käyttäjiä voidaan palvella GSM-järjestelmän puolella, jolloin WCDMA-järjestelmän kapasiteettia säästyy datan siirtoon. Handover GSM-verkkoon auttaa myös kattavuudessa: WCDMA-järjestelmässä alkanut puhelu tai datan siirto ei välttämättä katkea, vaikka palvelua käyttävä matkaviestin liikkuu palvelevan WCDMA-alueen ulkorajoilla tai niiden ulkopuolelle.

4.2.3 Kova palvelevan tukiaseman vaihto

Kovassa palvelevan tukiaseman vaihdossa matkaviestin vaihtaa palvelevan tukiaseman A toiseen tukiasemaan B, koska on siirtymässä tukiaseman B palvelualueelle. Hetkeä ennen palvelun vaihtumista tukiasemalle B, yhteys tukiasemaan A katkeaa eikä matkaviestin ole tällöin hetkellisesti yhteydessä kumpaankaan tukiasemaan.

Kovassa palvelevan tukiaseman vaihdossa palvelu, joka on reaaliaikaista (Real-Time, RT), kokee lyhyen katkon (Laiho ym. (2006, 211). Reaaliaikaiseksi liikenteeksi lasetaan esimerkiksi puheen siirto.

4.2.4 Pehmeä ja pehmeämpi palvelevan tukiaseman vaihto

Pehmeässä palvelevan tukiaseman vaihdossa matkaviestin on yhteydessä eri tukiasemien palvelemiin kahteen tai useampaan soluun vaihdon hetkellä. Tämä voi tapahtua joko

saman tukiasemaohjaimen (Radio Network Controller, RNC) alueella (intra-RNC Soft Handover) tai eri tukiasemaohjaimen alueella (inter-RNC Soft Handover) /Laiho ym. 2006, 211/.

Pehmeämmässä palvelevan tukiaseman vaihdossa tukiasema pysyy samana, mutta matkaviestimen ja tukiaseman välillä signaalit kulkevat vähintään kahden sektorin tai solun kautta /Holma & Toskala 2004, 58/. Pehmeä ja pehmeämpi palvelevan tukiaseman vaihto ovat mahdollisia ainoastaan saman kantoaaltoaajuuden sisällä /Laiho ym. 2006, 211/.

Pehmeä ja pehmeämpi handover ovat erityisesti CDMA-järjestelmien ominaisuuksia. Etuna kovaan handoveriin verrattuna pehmeässä handoverissa on se, ettei yhteys reaaliaikaisissa palveluissa katkea, sekä pehmeämmässä handoverissa matkaviestimen lähestyksen aiheuttaman häiriön jakautuminen useampaan soluun. Tämä saa osaltaan aikaan solujen kapasiteetin tasapuolista jakautumista.

4.3 Pääsynhallinta

Kun WCDMA-verkkoon tulee uusi yhteyspyyntö verkkoon yrittävältä käyttäjältä, on pääsynhallinnan (Admission Control) tehtävä joko myöntää tai kieltää pääsy järjestelmään. Pääsynhallinta pyrkii tällä tavoin estämään verkon ylikuormittumisen. Reaaliaikaisen liikenteen osalta kyse on yksinkertaisesti uuden käyttäjän verkkoon päästämistä tai pääsyn estämisestä. Ei- reaaliaikaisen (Non-Real Time, NRT) liikenteen osalta pääsynhallinnassa on kyse pakettien ajoituksesta verkkoon sallimisen jälkeen /Laiho ym. 2006, 235/.

Pääsynhallinta-algoritmi vertaa järjestelmän kokonaishäiriötasoa asetettuihin kynnysarvoihin, jotka on erikseen asetettu sekä uplink- että downlink-suuntiin. Algoritmi laskee vaikutuksen, joka uuden käyttäjän sallimisella olisi verkon suorituskyvyille. Vain siinä tapauksessa, että kokonaishäiriötaso pysyisi rajoissa molempiin suuntiin uuden käyttäjän järjestelmään sallimisen jälkeen, päästetään uusi käyttäjä järjestelmään /Laiho ym. 2006, 235/.

4.4 Pakettiajoitus

Pakettiajoitus (Packet Scheduling) on ei-reaaliaikaisen liikenteen aikatauluttamista WCDMA-järjestelmässä. Radioverkon liikenne jakautuu neljään luokkaan (class): keskustelu (conversational), suoratoisto (streaming), interaktiivinen (interactive) sekä tausta (background). Näistä ei-reaaliaikaiseen liikenteeseen eli pakettiajoituksen piiriin kuuluvat interaktiivinen ja taustaluokka, joille ei ole määritelty siirtoviivettä tai taattua siirtonopeutta. Koska nämä luokat sietävät viivettä paremmin, niillä on parempi virhesuhde kuin reaaliaikaisella liikenteellä, mikä saadaan aikaan kanavakoodauksella (channel coding) ja uudelleenlähetyksellä /Laiho ym. 2006, 237/.

Pakettikytkentäinen liikenne on 3G-verkoissa tullut ja tulee edelleen yleisemmäksi toisen sukupolven järjestelmiin verrattuna suuremman siirtonopeuden ja kapasiteetin sekä uusien hallinta-algoritmien (kuten pakettiajoitus) avulla. On hyvä kuitenkin huomata, että kaikki pakettikytkentäinen liikenne ei ole pakettiajoituksen toiminnan ohjattavissa. Suoratoistoluokka on paitsi pakettikytkentäistä, myös reaaliaikaista liikennettä, joten pakettiajoitus ei vastaa sen aikatauluttamisesta.

4.5 Kuorman hallinta

WCDMA-verkon toimiessa normaalisti kuormanhallinta (Load Control) huolehtii siitä, ettei verkko ylikuormitu ja että se pysyy vakaana. Tämä saavutetaan tiiviissä yhteistyössä pääsynhallinnan ja pakettiajoituksen kanssa. Poikkeuksellisissa tilanteissa verkko voi kuitenkin ylikuormittua. Tällöin kuormanhallinta vastaa kuorman vähentämisestä ja verkon saattamisesta suunniteltuun tilaan /Laiho ym. 2006, 242-243/.

Kuormaa vähentäviä toimenpiteitä suoritetaan tukiaseman ja tukiasemaohjaimen toimesta. Tukiaseman toimenpiteitä ovat uplink- ja downlink-lähetystehojen kurissa pitäminen sekä inner-loop tehonhallinnan SIR-arvon pienentäminen. Tukiasemaohjain kääntää yhteistyössä pakettiajoituksen kanssa pakettiliikennettä pois, laskee reaaliaikaisen liikenteen käyttäjien siirtonopeutta, hyödyntää toiseen WCDMA-kantoaaltoon kuu-

luvaan soluun tapahtuvaa tukiaseman vaihtoa sekä pudottaa hallitusti yksittäisiä puheluja pois verkosta /Laiho ym. 2006, 243/.

WCDMA-järjestelmässä verkon kantamaksi kuormaksi lasketaan myös verkon kokonaishäiriö. Koska WCDMA:ssa teho on kapasiteettia ja häiriö on tehoa, järjestelmän hyötykuormakapasiteetiksi jää kokonaishäiriötason jälkeen vapaana oleva kuormakapasiteetti.

5 WCDMA-JÄRJESTELMÄN KAPASITEETTI

Radiotaajuuksia käyttäville järjestelmille (kuten langattomat tietoliikennejärjestelmät) on kasvun hidasteena rajallinen radiospektri. Solukokoa ei voida pienentää loputtomasti eikä millään operaattorilla ole varoja asentaa lukematonta määrää tukiasemia. Matkaviestinten käyttäjien määrä kuitenkin lisääntyy edelleen. Tästä syystä on kehitetty WCDMA:n kaltaisia järjestelmiä, joilla voitaisiin vastata langattomien tietoliikennepalveluiden tulevaisuuden kysynnän ja tarjonnan haasteisiin.

WCDMA-kapasiteetin arvioiminen on pitkälti samankaltaista kuin muiden CDMA-järjestelmien kapasiteetin suunnittelu. Kapasiteetin arvioiminen WCDMA-järjestelmän osalta eroaa synkronoiduista CDMA-järjestelmistä (esim. CDMA2000) siten, että WCDMA:n asynkroniset toiminnot kuten koodin synkronointi, solun hankinta ja palvelun tukiaseman vaihdon synkronointi tulee ottaa kunnolla huomioon /Kim & Koo 2005, 9-10/.

5.1 Erilaisia kapasiteetin määritelmiä

WCDMA-järjestelmän kapasiteetti voidaan määritellä eri tavoin. Tähän yhteyteen on pyritty keräämään useita eri tapoja kapasiteetin määrittämiseen.

5.1.1 Käyttäjien määrä

Erään määritelmän mukaan CDMA-järjestelmän kapasiteetti tarkoittaa suurinta mahdollista määrää samanaikaisia käyttäjiä, joita järjestelmä pystyy palvelemaan, laatuvaatimusten kuten tiedonsiirtonopeuden, bittivirhesuhteen (Bit Error Rate, BER) sekä saatuuden samalla täytyessä /Kim & Koo 2005, 7/.

Kun käsitellään WCDMA-järjestelmän kapasiteettia samaa siirtonopeutta käyttävien tilaajien näkökulmasta, on yleensä kyse puheensiirtoa käyttävistä tilaajista. On mahdol-

lista myös määritellä erilaisia siirtonopeuksia (esim. puheen- ja datansiirtoa) käyttävien tilaajien määrää järjestelmässä, mutta tällöin tulee myös eritellä käyttäjien siirtonopeudet. Tämä onkin WCDMA-verkkoja käsitellessä ainoa oikea tapa kartoittaa käyttäjien määrää, sillä käytännössä järjestelmässä voidaan olettaa jatkuvasti olevan samanaikaisesti sekä puheen- että datansiirtoa käyttäviä tilaajia.

5.1.2 Erlang-kapasiteetti

Toinen tapa määritellä kapasiteettia, on Erlang-kapasiteetti, jolla voidaan laskea ominaisuuksiin perustuva järjestelmän maksimaalinen liikenteenvälitystiheys. Tiheys mitataan yksikkönä Erlang ja voidaan määrittää seuraavasti /Holma & Toskala 2009, 204/:

$$\text{Liikenteenvälitystiheys [Erlang]} = \frac{\text{Puhelujen saapumistiheys [puhelua/s]}}{\text{Puhelujen lähtötaajuus [puhelua/s]}} \quad (1)$$

5.1.3 Kapasiteetti/km²

On mahdollista myös määrittää solun alueella kapasiteetti neliökilometriä kohden. Kapasiteetti riippuu solun alueella olevien käyttäjien määrän lisäksi tukiaseman lähetystehon sekä kantoaaltotaajuuksien määrästä. Makrosolukerrostuksella on maksimissaan mahdollista saada aikaan kapasiteettia 45 Mbit/s/km² ja mikrosolukerrostuksella 180 Mbit/s/km² /Holma & Toskala 2004, 203/.

5.1.4 Kapasiteetti/tilaaja/kuukausi

Laskennallisesti voidaan määritellä esimerkiksi kuukauden aikana tilaajalle käytettävissä oleva kapasiteetti. Tällöin tulee ottaa huomioon käytettävän järjestelmän (esim. WCDMA) kantoaaltokapasiteetti, päivittäisen liikenteen kiireisimpien tuntien solun kapasiteetin käyttöaste ja osuus koko päivittäisestä liikenteestä sekä tilaajien ja sektorien määrä solussa. Laskettavat suuret ovat tällöin datakapasiteetissa

MB/tilaaja/kuukausi sekä puheen osalta minuttia/tilaaja/kuukausi /Holma & Toskala 2004, 37/.

5.1.5 Kapasiteetin loppuminen

Eri monikäyttömenetelmissä kapasiteetin loppumiseen vaikuttaa käytettävän järjestelmän tekniikka. TDMA-järjestelmässä koko kapasiteetti on käytössä eli kapasiteetti loppuu väliaikaisesti kun kaikki aikavälit ovat käyttäjille varattuna. FDMA-järjestelmässä taajuusjakoisen tekniikkansa vuoksi kapasiteetti on täynnä kun kaikki käyttäjille jaettavat taajuuskanavat ovat varattuna.

CDMA-järjestelmästä ei vastaavasti käyttäjille annettavat koodit lopu kesken, ennen kuin järjestelmästä tulee kapasiteetti- tai kantavuusrajoitteinen. Käytännössä CDMA-järjestelmän kapasiteetti loppuu, kun uplink-suuntaan päätelaitteen lähetysteho ei riitä ylittämään muiden päätelaitteiden luomaa kokonaishäiriötasoa. Downlink-suunnassa kapasiteetti loppuu, kun solun alueella oleviin päätelaitteisiin lähettämiseen tukiasemalta vaadittava teho ei pysy järjestelmälle asetetuissa rajoissa /Kim & Koo 2005, 7/.

Kun CDMA-järjestelmän kokonaishäiriötaso ylittää suunnitellun raja-arvon, kapasiteetin katsotaan olevan täynnä eikä verkkoon pääse uusia käyttäjiä ennen kuin kokonaishäiriötaso laskee. WCDMA-järjestelmän kapasiteettiin vaikuttavia laskennallisia tekijöitä ovat sen ominaisuudet, esim. kaistanleveys, käyttäjän bittinopeus, chipnopeus sekä signaalihäiriösuhdetavoite.

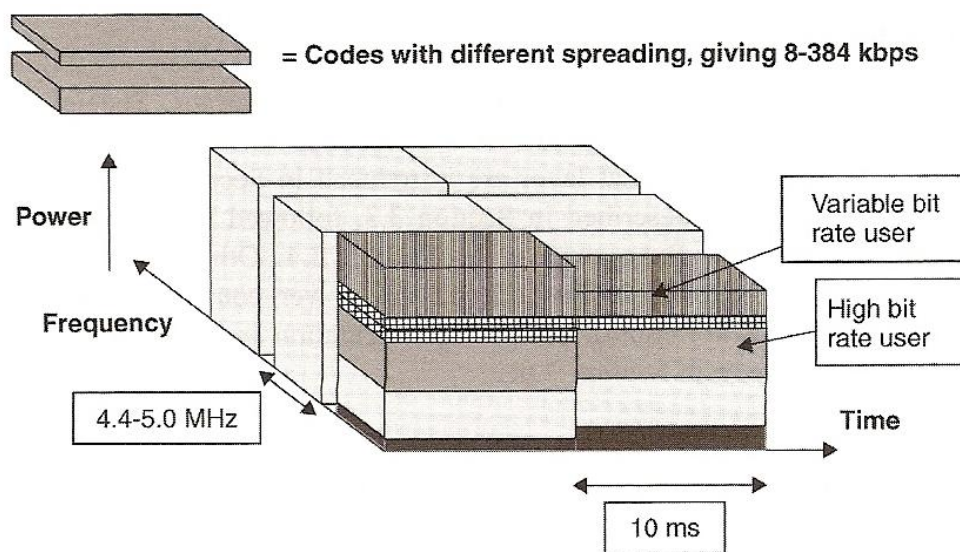
5.2 WCDMA-järjestelmän kapasiteetti käytännössä

5.2.1 Aikaikkunat

WCDMA-järjestelmän käyttäjälle osoitetaan kestoltaan 10 ms aikaikkuna (frame). Samaan aikaan, samalla taajuudella ja vielä samassa aikaikkunassakin voi olla muita käyt-

täjiä. Kuvasta 6 näkyy, miten samalla aikaikkunassa olevien käyttäjien palvelun käyttö ja tiedonsiirtonopeudet voivat muuttua aikaikkunasta toiseen.

Aikaikkunan sisällä nopeus on vakio, mutta se saattaa joko nousta tai laskea seuraavaan aikaikkunaan. Tilaaajat käyttävät eri palveluita, joihin käytetään eri lähetystehoja ja näin ollen myöskin tilaaajat saavat erikokoisen osan kokonaiskapasiteetista ja tiedonsiirtonopeudesta.



Kuva 6: Kapasiteetin jakautuminen käyttäjille WCDMA-järjestelmässä /Holma & Toskala 2004, 48/

Käyttäjien tiedonsiirtonopeus kanavalla riippuu muiden käyttäjien määrästä samassa solussa. Solun palvelun piiriin saapuvat uudet tilaaajat tai sieltä poistuvat käyttäjät vaikuttavat muiden solun palvelemien tilaajien nopeuteen.

5.2.2 Erlang-kapasiteetti

Keskimääräinen liikennekuorma eli tässä tapauksessa keskimääräinen palvelua pyytävien käyttäjien määrä ilmoitetaan CDMA-järjestelmissä Erlang-kapasiteettina /Kim & Koo 2005, 8/. Esimerkkinä Erlang-kapasiteetista otetaan tilanne, jossa toistensa vaikutusalueella on GSM/EDGE-tyyppinen järjestelmä sekä WCDMA:n kaltainen järjestelmä

mä. Molempien järjestelmien on mallissa oletettu tukevan samanaikaista puhe- ja data-liikennettä. Kuvasta 7 on havaittavissa erilaisia tilanteita, joissa järjestelmien kapasiteetti vaihtelee tietyillä väleillä /Kim & Koo 2005, 178-179/.

Eri tilanteet on merkitty kuvaan 7 merkinnöillä (i), (ii), (iii), (iv), (v) ja (vi). Merkintä (i) viittaa GSM/EDGE-järjestelmän erilliseen kapasiteettiin, jota ei tässä raportissa tarkastella. Tapaus (ii) on WCDMA-järjestelmän erillinen kapasiteetti.

Tapaukset (iii) ja (iv) tarkastelevat tilannetta, jossa järjestelmät toimivat samanaikaisesti ja WCDMA-järjestelmä ottaa tietyn osan dataliikenteestä ja GSM/EDGE-järjestelmä vastaavasti tietyn määrän puheliikennettä. Nämä määrät vaikuttavat toisiinsa ja (iii) kuvaa järjestelmien minimiyhteiskapasiteettia edellä mainitussa tilanteessa ja (iv) vastaavasti maksimikapasiteettia /Kim & Koo 2005, 179/.

Tapauksessa (v) on kyse vastaavasta tilanteesta kuin (iii) ja (iv), mutta kapasiteettia on pyritty maksimoimaan ohjaamalla mahdollisimman paljon dataliikennettä WCDMA-järjestelmään ja puheliikennettä GSM/EDGE-järjestelmään. Tämä johtuu siitä, GSM/EDGE suoriutuu puheliikenteestä WCDMA:ta paremmin ja WCDMA puolestaan hoitaa järjestelmistä paremmin dataliikennettä.

Tapaus (vi) on tapauksen (v) vastakohta eli data- ja puheliikenne on ohjattu päinvastoin kuin tapauksessa (v). Tapaus (vi) on siis järjestelmien Erlang-liikennemallin teoreettinen worst-case scenario /Kim & Koo 2005, 179-180/.



Kuva 7: Erlang-kapasiteetti WCDMA- ja GSM/EDGE-järjestelmissä /Kim & Koo 2005, 179/

Kuviosta 7 on havaittavissa, että WCDMA:n erillinen Erlang-kapasiteetti on parempi kuin GSM/EDGE:llä. Paras yhteiskapasiteetti saadaan optimoidussa tilanteessa (v). Tutkimus osoittaa, miten kapasiteettiin vaikuttavat paitsi liikenteen luonne (data/puhe) ja sen määrä, myös mahdolliset muut läsnä olevat matkaviestinjärjestelmät.

5.3 WCDMA-järjestelmän kapasiteetin laskeminen

5.3.1 Kapasiteetin laskeminen

Kapasiteetin laskemiseen on monia tapoja. Erään tavan /Rantala 2008/ mukaisesti on osoitettavissa, että

$$\frac{S}{N} = \frac{1}{(M-1)}, \text{ jossa} \quad (2)$$

M = käyttäjien määrä solussa / kaistalla

S/N = kanavan signaali-häiriö suhde

Kun siirtonopeus on yhtä suuri kuin käytetty kaistanleveys, saadaan että

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{S}{N} \rightarrow \frac{E_b}{N_0} = \frac{1}{(M-1)} = \frac{W}{R}, \text{ jossa} \quad (3)$$

W = järjestelmän chipnopeus

R = käyttäjän tiedonsiirtonopeus

Tästä seuraa, että

$$M - 1 = \frac{\left(\frac{W}{R}\right)}{\left(\frac{E_b}{N_0}\right)} = \left(\frac{W}{R}\right) * \left(\frac{1}{SIR}\right), \text{ jossa} \quad (4)$$

$$SIR \approx E_b/N_0$$

Näin ollen käyttäjien määrä M saadaan kaavasta

$$M = \left(\frac{W}{R}\right) / \left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \left(\frac{W}{R}\right) * \left(\frac{1}{SIR}\right) + 1 \quad (5)$$

Esim. Lasketaan palveltavien käyttäjien määrä/solu 5 MHz:n kanavan leveydellä toimivassa WCDMA-järjestelmässä. WCDMA:n chipnopeus eli lastunopeus – jolla kuvataan signaalin osiin eli lastuihin jaettua bittiaikaa – on 3,84 Mchip/s. Tiedonsiirtonopeutena laskennassa käytetään Release '99:ssä määriteltyä WCDMA:n maksiminopeudetta 2 Mbit/s. SIR-tavoitteeksi valitaan (matkaviestimen liikkuessa alhaisella nopeudella) tyypilliseksi luokiteltu arvo 5 dB /Holma & Toskala 2004, 390/.

$$M = \left(\frac{W}{R}\right) / \left(\frac{E_b}{N_0}\right) = \left(\frac{W}{R}\right) * \left(\frac{1}{SIR}\right) + 1 \rightarrow$$

$$M = \left(\frac{3,84 \text{ Mchip/s}}{2 \text{ Mbit/s}}\right) * \left(\frac{1}{10^{5/10}}\right) + 1 = 1,61 \text{ käyttäjää/solu}$$

5.3.2 Eri tekijöiden vaikutus laskennalliseen kapasiteettiin

SIR-tavoitteen muokkaamisen vaikutus

SIR-tavoitteen huonontaminen (eli pienemmän SIR-arvon saavuttaminen) kasvattaa palveltavaa käyttäjämäärää solussa, mutta vaikka edellisessä laskelmassa laskettaisiin SIR-tavoitetta arvoon 1 dB, palveltavien käyttäjien määrä nousisi ainoastaan 2,5 käyttäjään/solu. Tämä ei ole kuitenkaan käytännössä mahdollista, sillä liian pienestä SIR-arvosta (S/N -suhde tai E_b/N_0) on seurauksena liian heikkolaatuinen signaali.

Myös signaalin kulkusuunta vaikuttaa SIR-arvoon. Datansiirrossa uplink-suuntaan SIR-arvo voidaan olettaa pieneksi (1,5 – 2 dB) downlink-suuntaan verrattuna (5 dB) /Holma & Toskala 2004, 390/.

Chipnopeuden vaikutus

Chipnopeuden muuttuminen vaikuttaa käyttäjämäärään. Chipnopeus kuitenkin on riippuvainen kanavan leveydestä, joten sitä ei pystytä muuttamaan muuten kuin kanavan leveyttä nostamalla. WCDMA-järjestelmän kanavan leveys on valittavissa väliltä 4,4 – 5 MHz. WCDMA:n jälkeisissä järjestelmissä (esim. LTE) kanavan leveyttä on kasvatettu huomattavasti.

Tiedonsiirtonopeuden vaikutus

Käyttäjän tiedonsiirtonopeus vaikuttaa samaan aikaan järjestelmän palvelemien käyttäjien määrään. Havainnollistetaan nopeuden vaikutusta: Lasketaan käyttäjien määrä solussa muuten samoilla arvoilla kuin edellä olleessa esimerkissä (SIR-tavoite 5 dB), mutta pudotetaan bittinopeus käytännölliselle tasolle 384 kbit/s. Tulokseksi saadaan tällöin 3,16 käyttäjää/solu.

Todellisuudessa solun tarjoaman kapasiteetin piirissä olevien tilaajien käyttämät palvelut operoivat eri siirtonopeuksilla. Käytetyistä nopeuksista tyypillisimpiä ovat Full AMR puheensirtonopeus eli 12,2 kbit/s sekä hitain Suomessa kaupattavista liikkuvan laajakaistan nopeuksista eli 384 kbit/s.

Puhikäyttäjien määrä

Edellä mainitut laskut suoritettiin WCDMA-solun datakäyttöä ajatellen, mutta vertailun vuoksi selvittää esimerkin avulla WCDMA-solun palvelemien puhikäyttäjien määrä. Bittinopeudeksi valitaan UMTS-teknologiassa käytetty täysi AMR-nopeus (Adaptive Multi Rate) 12,2 kbit/s ja SIR-tavoitteeksi puheensirrossa (matkaviestimen liikkeessa alhaisella nopeudella) tyypilliseksi luokiteltu arvo 7 dB /Holma & Toskala 2004, 390/. Näillä arvoilla käyttäjien määräksi saadaan 62 solun palvelemaa käyttäjää.

Kuvassa 8 on havainnollistettu yhden WCDMA-solun palvelemien käyttäjien määrää käytettävän bittinopeuden funktiona. Kuvassa 8 käytetyt järjestelmän numeraaliset ominaisuudet eivät ole tiedossa, mutta kuvaajan esittämä käyttäjien määrä bittinopeudella 12kbit/s on hieman suurempi edellä laskettuun lukuun (62 käyttäjää) verrattuna. Kuvan 8 ilmoittama käyttäjämäärä kyseisellä nopeudella on hieman alle 80 käyttäjää, joka saadaan laskennallisesti SIR-arvolla 6 dB (79 käyttäjää).

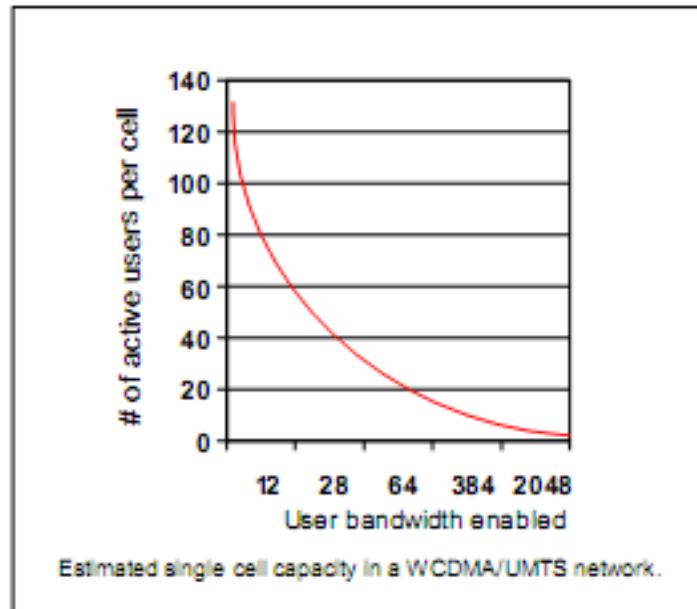
Kuvasta 8 on nähtävissä käyttäjien määrän selkeä lasku bittinopeuden kasvaessa eli sama vaikutus, joka WCDMA-järjestelmällä voidaan osoittaa laskennallisestikin.

WCDMA-järjestelmää ei alun perin ole suunniteltu yli 2 Mbit/s siirtonopeuteen, joten on loogista, ettei usealla tilaajalla voi olla maksiminopeutta samaan aikaan.

Kuvasta 8 voidaan havaita myös tilanne, jossa siirtonopeus on alle 12 kbit/s. Käyttäjien määrä edelleen lisääntyy siirtonopeuden laskiessa alle 12 kbit/s ja lähestyessä tilannetta, jossa nopeus on nolla.

Täyden AMR-puheensirtonopeuden 12,2 kbit/s lisäksi on seitsemän hitaampaa AMR-nopeusluokkaa /Holma & Toskala 2004, 12/. Kuten myös kuvasta 8 voidaan todeta, AMR-nopeusluokan 4,75 kbit/s avulla solu pystyy palvelemaan noin kaksinkertaisen

määrän puhekäyttäjiä verrattuna täyteen AMR-nopeuteen. Operaattori voi päättää käytettävästä AMR-nopeusluokasta, jolloin valintaan vaikuttaa toivottu puhekapasiteetti sekä puheen laatu /Holma & Toskala 2004, 367/.



Kuva 8: Arvioitu WCDMA-solun palvelemien käyttäjien määrä

Korkean bittinopeuden omaavat käyttäjät vievät puheliikenteen käyttäjiin verrattuna suuren osan WCDMA-järjestelmän kapasiteetista. Tästä ei koidu haittaa kuitenkaan ainoastaan verkon käyttäjille, sillä suuri joukko samanaikaisia alhaisen bittinopeuden käyttäjiä tuo enemmän tuloja operaattoreille kuin muutama korkean bittinopeuden käyttäjä (10). Operaattoreiden kannalta on siis kannattavaa osallistua hankkeisiin, joilla luodaan enemmän kapasiteettia matkaviestinjärjestelmiin.

5.3.3 Prosessointivahvistus ja sen laskeminen

Häiriöt vähentävät WCDMA-järjestelmässä kapasiteettia, joten häiriöitä pyritään poistamaan. Eräs keino tähän on WCDMA-tekniikka DS (direct spread) eli suorahajotusmenetelmä, joka vähentää häiriöiden vaikutusta tuottamalla prosessointivahvistusta (pro-

cessing gain). Prosessointivahvistus ilmaistaan desibeleissä kuten signaali-häiriö suhde E_b/N_0 . Yleinen muoto prosessointivahvistukselle on (9):

$$G = 10 * \log_{10} \left(\frac{W}{R} \right), \text{ jossa} \quad (6)$$

W = chipnopeus ja R = käyttäjän bittinopeus.

Kun järjestelmälle laskettu prosessointivahvistus vähennetään järjestelmälle halutusta E_b/N_0 -arvosta, saadaan tulokseksi kuinka paljon signaaliteho voi olla häiriötehotason alapuolella ja WCDMA-vastaanotin pystyy silti havaitsemaan signaalin /Holma & Toskala 2004, 51/. WCDMA-järjestelmälle, jonka chipnopeus on 3,84 Mchip/s ja jonka bittinopeudeksi valitaan esim. tällä hetkellä Suomessa tarjottu 3,6 Mbit/s, saadaan prosessointivahvistus seuraavasti:

$$G = 10 * \log_{10} \left(\frac{3,84 \text{ Mchip/s}}{3,6 \text{ Mbit/s}} \right) = 0,280 \text{ dB}$$

Lasketaan vastaavasti prosessointivahvistus täyden 12,2 kbit/s AMR-nopeuden yhteydelle:

$$G = 10 * \log_{10} \left(\frac{3,84 \text{ Mchip/s}}{12,2 \text{ kbit/s}} \right) = 55,0 \text{ dB}$$

Voidaan havaita edellä mainituilla nopeuksilla olevan valtava ero prosessointivahvistuksessa. Suuren datanopeuden 3,6 Mbit/s signaalia prosessointivahvistus ei juuri vahvista, mutta 12,2 kbit/s puhenopeuden vahvistus 55 dB on erittäin suuri. Jos oletetaan puhenopeudelle E_b/N_0 -arvoksi 7 dB, saadaan E_b/N_0 -arvon ja prosessointivahvistuksen erotukseksi: $7 - 55 \text{ dB} = -48 \text{ dB}$ eli signaalin tehotaso voisi olla peräti 48 dB häiriötehotason alapuolella ja signaali olisi edelleen WCDMA-vastaanottimen havaittavissa.

5.3.4 Teorettinen bittinopeus vs. nopeus käytännössä

Edellä olleessa olleissa laskuissa bittinopeuden vähentäminen 2 Mbit/s → 384 kbit/s ei tuonut merkittävää lisäystä solun palvelemien samanaikaisten käyttäjien määrään. Onkin huomattava, että nykyisellä 3G-verkolla 384kbit/s on realistisempi siirtonopeus kuin esim. 2 Mbit/s. 384 kbit/s nopeammat yhteydet toteutuvat edellä esitettyjen laskujen mukaan ainoastaan, kun solussa on vain yksi samanaikaisesti palveltava päätelaite.

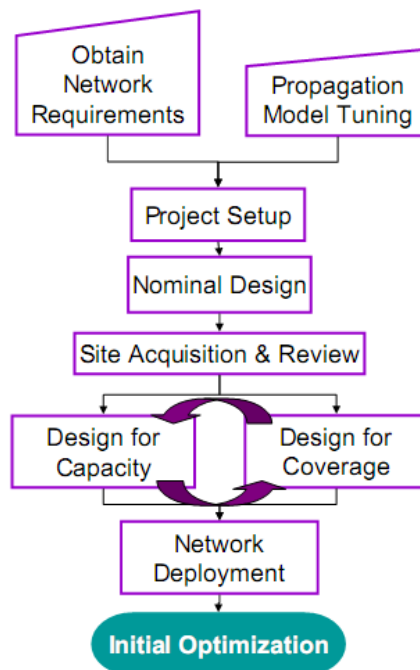
Käytännössä tämä lienee harvinainen tilanne, sillä WCDMA-verkossa tiedonsiirtonopeus ei pysy vakiona, vaan voi vaihdella 10 ms aikavälien mukana uusien käyttäjien liittyessä soluun tai poistuessa käyttämästä palvelua. Verkkojen päivittyminen HSDPA:han (ja aikanaan LTE:hen) vähentää siirtonopeuden vaihtelua ja kasvattaa maksiminopeutta.

Operaattorien mainostaman teoreettisen siirtonopeuden ja käytännössä toteutuvan nopeuden välinen kontrasti on aiheena varsin ajankohtainen. YLE uutisoi 4.11.2009 operaattoreiden Sonera ja DNA myöntävän ettei markkinoituihin maksiminopeuksiin päästä kuluttajakäytössä. Suuren käyttäjien määrän kasvun sekä pullonkaulana toimivien tukiasemien vuoksi siirtonopeudet eivät nouse maksimitasolle /Kerkkänen 2009/.

6 KAPASITEETIN OPTIMOINTI

WCDMA-järjestelmän kapasiteetin maksimoinnin suunnittelu on hankalaa ja vaatii ymmärrystä sekä järjestelmän ominaisuuksista (esim. kanavan häiriötaso) sekä radioreurssien hallinta-algoritmeista (esim. tehonsäätö). WCDMA-järjestelmä on toiminnaltaan ja rakenteeltaan huomattavasti monimutkaisempi kuin esim. GSM-järjestelmä.

WCDMA-verkkoa rasittava kuorma vaikuttaa kattavuuteen sekä uplink- että downlink-suunnissa. Tästä syystä (toisin kuin GSM-järjestelmässä) kapasiteettia (capacity) ja kattavuutta (coverage) ei voida suunnitella itsenäisinä ominaisuuksina vaan molemmat täytyy huomioida suunnittelussa samanaikaisesti (8). Tämä on nähtävissä kuvasta 9.



Kuva 9: Yksinkertaistettu WCDMA-verkon suunnitteluprosessi

Kapasiteetin suunnittelussa tulisi kuormittamattomalle verkolle saada aikaan mahdollisimman pieni häiriötaso. Kun kuorma lisääntyy verkossa, verkon suorituskyvyn väheneminen on ennustettavissa.

Kapasiteetin ja kattavuuden samanaikaisen huomioinnin lisäksi WCDMA-verkkoa suunniteltaessa on tärkeää myös suunnitella verkko helposti laajennettavaksi (8). Kus-

tannustehokkuus on operaattoreille tärkeää, joten verkkoon asennetuista elementeistä (esim. tukiasemat) tulisi saada irti maksimihyöty.

6.1 Uplink-suuntaan tapahtuva kapasiteetin budjetointi

Kun pyritään määrittelemään kuorma sekä etäisyys, jonka solu pystyy kantamaan, tehdään radiolinkkibudjetointia uplink-suuntaan (Uplink Radio Link Budget). Mitä enemmän kuormaa sallitaan soluun, sitä suurempi on tarvittava häiriömarginaali uplink-suuntaan ja tällöin kattavuus pienenee /Laiho ym. 2006, 95/. Soluun sallittavan kuorman määrä oikeellinen arviointi on operaattoreille tärkeää, sillä ne pyrkivät maksimoimaan solun kattavuuden ja samalla täten minimoimaan tarvittavien tukiasemien määrän ja verkon laitekustannukset. Kuormayhtälönä voidaan käyttää yksinkertaistettua kaavaa /Holma & Toskala 2004, 193/:

$$\eta = \frac{E_b/N_0}{W/R} * N * v * (1 + i) , \text{jossa} \quad (7)$$

N = Käyttäjien määrä/solu

v = Aktiviteettikerroin

i = Tukiaseman havaitsema muiden solujen tuottama häiriö omaan soluun

6.2 Downlink-suuntaan tapahtuva kapasiteetin budjetointi

Downlink-suuntaan radiolinkkibudjetointi on luonteeltaan samankaltaista kuin uplink-suuntaan. Halutulle solun kantamalle arvioidaan sopiva tukiaseman kokonaislähetysteho. Jos arvioitu teho ylittyy, tulisi joko solun kantamaa tai solun palvelemien käyttäjien määrää rajoittaa. Downlink-suunnan radiolinkkibudjetoinnista suoraan saatava tulos on yhden linkin tarvitsema teho, jolla signaali saadaan solun reunalla sijaitsevalle käyttäjälle /Laiho ym. 2006, 97/. Downlink-suunnan kuormayhtälö on koko solun kuorman keskiarvo /Holma & Toskala 2004, 195/:

$$\overline{\eta}_{DL} = \sum_{j=1}^N v_j * \frac{(E_b/N_0)_j}{W/R_j} * [(1 - \overline{\alpha}) + \overline{i}], \text{ jossa} \quad (8)$$

$\overline{\alpha}$ = Solun keskimääräinen ortogonaalisuuskerroin

\overline{i} = Päätelaitteen havaitsema muiden solujen tuottama häiriö omaan soluun

6.3 Kapasiteettia lisääviä tekniikoita

Yksinkertaisin ja tehokkain tapa WCDMA-järjestelmän jo olemassa olevan kapasiteetin kasvattamiseen on yhden tai useamman kantoaallon lisääminen. Yhden kantoaallon kasvattaminen kahteen voi enemmän kuin tuplata solun kapasiteetin. Radiospektri on kuitenkin rajallinen, eli kun kaikki käytettävissä olevat kantoaallot on otettu käyttöön, kapasiteetin lisääminen on tehtävä muilla keinoilla. Muita keinoja ovat pienemmän E_b/N_0 -tavoitteen asettaminen järjestelmälle (laskee signaalin laatua), järjestelmän päivittäminen HSDPA:han (luo kustannuksia), usean tiedonsiirtokanavan hyväksikäyttö (transmit diversity), antennien säteiden muokkaaminen (beamforming), hajotuskoodien (scrambling codes) lisääminen, sektorien lisääminen ja mikrosolujen käyttöönotto.

Kuormayhtälöiden ja linkkibudjetoinnin avulla saadaan selville, mitä tekijöitä on kehitettävä kapasiteetin lisäämiseksi. Kuormayhtälöitä määritetään uplink- ja downlink-suuntiin ja molempiin suuntiin tehtävissä määrityksissä on mukana E_b/N_0 -tavoite, prosessointivahvistus, aktiviteettikerroin (activity factor) ja solujen välinen häiriö. Downlinkin kuormayhtälössä on lisäksi ortogonaalisuuskerroin (orthogonality factor) ja pehmeän tukiasemanvaihdon viive (overhead).

7 YHTEENVETO

Tässä työssä esiteltiin kolmannen sukupolven matkaviestinverkkotekniikan WCDMA:n yleiset ominaisuudet sekä teknologia järjestelmän taustalla. Laajakaistaisen WCDMA-järjestelmän palveleamat samanaikaiset käyttäjät erotellaan yksilöllisen binaarisen koodin perusteella eikä perustuen taajuus- tai aikajakoon kuten sen edeltäjissä.

WCDMA- ja muut 3G-verkot ovat maailmanlaajuisesti korvaamassa ensimmäisen ja toisen sukupolven matkaviestinverkkoja. Tässä työssä luotiin katsaus WCDMA-verkkojen kehitykseen maailmalla ja Suomessa sekä kilpailijoihin kuten myös tulevaisuuden mukana tuomiin HSDPA- ja LTE-tekniikoihin.

Radioresurssien hallinta-algoritmeilla pidetään WCDMA-verkko vakaana ja toimivana. Tehonsäätö huolehtii että päätelaitteen lähetysteho on mahdollisimman pieni, jolloin järjestelmän kokonaishäiriötaso pysyy sopivana. Palvelevan tukiaseman vaihto huolehtii hyvän yhteyden laadun säilymisestä myös solun äärirajoilla tai siirtyessä solusta toiseen. Ruuhkanhallinta-algoritmit pitävät huolta sopivasta käyttäjämäärästä, pakettien ajoituksesta sekä järjestelmän sopivasta kuormasta.

Työn päähuomio oli WCDMA:n kapasiteetissa. Kapasiteetti voidaan määritellä monella tavalla ja siihen vaikuttaa monet asiat. Järjestelmän käyttäjien siirtonopeudella ja määrällä on toisistaan selkeä riippuvuussuhde. WCDMA-tekniikalla on haettu huomattavaa kehitystä verrattuna edeltävien järjestelmien (esim. GSM) kapasiteettiin. Tässä työssä havaittiin kuitenkin, että aikaisempaan verrattuna WCDMA-järjestelmä pystyy samanaikaisesti palvelemaan joko suurta joukkoa alhaisen siirtonopeuden käyttäjiä tai enintään muutamaa korkean siirtonopeuden käyttäjää. 3G-toimilupien kalliit hinnat ja suuri kohu ovat saattaneet jättää keskivertokäyttäjille odotukset suuremmasta suorituskyvystä kuin mihin alkuperäinen WCDMA-tekniikka on pystynyt vastaamaan. WCDMA:n pohjalle päivitettävät HSPA ja LTE kuitenkin tarjoavat huomattavaa parannusta kapasiteettiin.

LÄHTEET

Kirjallisuus:

- Holma, Harri & Toskala, Antti 2004: WCDMA For UMTS, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.*
- Holma, Harri & Toskala, Antti 2009: LTE For UMTS, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.*
- Kim, Kiseon & Koo, Insoo 2005: CDMA Systems Capacity Engineering, Norwood: Artech House*
- Kularatna, Nihal & Dias, Dileeka 2004: Modern Telecommunications Systems, Norwood: Artech House*
- Laiho, Jaana, Wacker, Achim & Novosad, Tomás 2006: Radio Network Planning and Optimisation for UMTS, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.*
- Prasad, Ramjee, Mohr, Werner & Kohnhäuser Walter 2000: Third Generation Mobile Communication Systems, Boston & London: Artech House*

Julkaisemattomat lähteet:

- Rantala, Ari, tietotekniikan koulutuspäällikkö. Luennot 2008. Tampereen Ammattikorkeakoulu.*
- Rantala, Ari 2002: Hajaspektritekniikka. Tampereen Ammattikorkeakoulu. Tampere.*

Sähköiset lähteet:

- Elisa Oyj 2006. Tiedotteet. Elisa kolminkertaistaa Turun alueen laajakaistanopeudet.[online] [viitattu 19.2.2009] saatavissa:
<http://www.elisa.fi/ir/pressi/?t=100&o=5135>*
- TeliaSonera Oyj 2008. Press. Soneran 3G-verkko ulottuu jo Hangosta Nuorgamiin. [online] [viitattu 19.2.2009] saatavissa:
<http://www.teliasonera.fi/press/pressreleases/item.page?prs.itemId=358849>*
- DNA Oy 2008. 3G tuotetieto. Kaiken kaikkiaan DNA:n 3G-verkko kattaa jo lähes 200 kuntaa ympäri Suomen. [online] [viitattu 12.3.2009] saatavissa:
<http://www.dnafinland.fi/showPrivateProductService.do?selectedMenuItem=AABA03G>*
- Elisa Oyj 2008. Tiedotteet. Elisalla tutkitusti Suomen paras 3G-verkko ja suosituimmat mobiililaajakaistapalvelut. [online] [viitattu 11.3.2009] saatavissa:
<http://www.elisa.fi/ir/pressi/index.cfm?t=100&o=5120&did=15306>*
- Elisa Oyj 2009. Tiedotteet. Tutkimus: Elisalla laajin 3G-verkko ja nopeimmat yhteydet. [online] [viitattu 7.10.2009] saatavissa:
<http://www.elisa.fi/ir/pressi/?o=5120.00&did=15610>*
- STUK 2003. Säteily- ja ydinturvallisuuskatsauksia. Matkapuhelimet ja tukiasemat. [online] [viitattu 19.2.2009] saatavissa:
http://www.stuk.fi/julkaisut/katsaukset/pdf/katsaus_matkapuhelimet_ja_tukiasemat.pdf*

7. Lamminmäki, Risto 2005. *Diplomityöseminaari. Järjestelmien välisen solunvaihdon parametrisointi GSM/UMTS –verkossa. TKK. Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto.* [online] [viitattu 9.3.2009] saatavissa: www.netlab.hut.fi/opetus/s38310/04-05/Kalvot_04-05/lamminm%20020605.ppt
8. *Qualcomm Incorporated 2006. WCDMA Network Planning and Optimization.* [online] [viitattu 9.3.2009] saatavissa: http://www.qualcomm.com/common/documents/white_papers/WCDMA_NetworkPlanningOptimization.pdf
9. Aho, Kari 2006. *Tietoliikenneteoria TIES528. WCDMA.* [online] [viitattu 21.2.2009] saatavissa: users.jyu.fi/~arjuvi/opetus/ties528/WCDMA.ppt
10. WWRF 2008. *Proceedings of meeting of the Wireless World Research Forum.* [online] [viitattu 14.10.2009] saatavissa: http://www.wireless-world-research.org/fileadmin/sites/default/files/publications/Library/WWRF_Library_20.pdf
11. *CDMA Development Group 2009. Quick Market Statistics.* [online] [viitattu 10.12.2009] saatavissa: http://www.cdg.org/technology/cdma_technology/cdma_stats.asp
12. *UMTS Forum 2009. Fast facts.* [online] [viitattu 10.12.2009] saatavissa: http://www.umts-forum.org/component/option,com_frontpage/Itemid,1/
13. *Nokia Siemens Networks 2009. Press releases. World's first LTE call on commercial software.* [online] [viitattu 22.10.2009] saatavissa: <http://www.nokiasiemensnetworks.com/press/press-releases/world%20%80%99s-first-lte-call-commercial-software>
14. *NTT DoCoMo Inc. 2007. Press Releases. NTT DoCoMo Achieves World's First 5Gbps Packet Transmission in 4G Field Experiment.* [online] [viitattu 22.10.2009] saatavissa: <http://www.nttdocomo.com/pr/2007/001319.html>

Artikkelit:

- Kerkkänen, Tuomas 2009. Sonera ja DNA myöntävät mobiililaajakaistan takkuilun.* [online] [viitattu 5.11.2009] saatavissa: http://yle.fi/uutiset/kotimaa/2009/11/sonera_ja_dna_myontavat_mobiililajakaistan_takkuilun_1135050.html
- The China Post 2008. Mobile phone users worldwide topped 3.3 bil. by end-2007: ITU.* [online] [viitattu 18.2.2009] saatavissa: <http://www.chinapost.com.tw/business/global%20markets/2008/05/26/158188/Mobile-phone.htm>
- Softpedia 2007. World's First 900MHz WCDMA Network from Nokia Siemens Networks and Ericsson.* [online] [viitattu 14.10.2009] saatavissa: <http://news.softpedia.com/news/World-039-s-First-900MHz-WCDMA-Network-from-Nokia-Siemens-Networks-and-Ericsson-70326.shtml>
- Taloussanomien 2009. Sonera laajentaa 3G-verkkoaan.* [online] [viitattu 8.10.2009] saatavissa: <http://www.digitoday.fi/mobiili/2009/03/30/sonera-laajentaa-3g-verkkoaan/20098365/66>
- Junkkaala, Jouni 2009. Elisa ei saa markkinoida 3g-verkkoaan parhaana.* [online] [viitattu 7.10.2009] saatavissa:

http://www.tietoviikko.fi/kaikki_uutiset/article332469.ece?s=l&wtm=tietoviikko/-29092009

Poropudas, Timo 2006. 3,5G-verkko on kaupallisessa käytössä jo 18 maassa. [online] [viitattu 26.10.2009] saatavissa:

<http://m.digitoday.fi/?page=showSingleNews&newsID=20066999>

Kuvalähteet:

1. Dr.-Ing. Haas, Erik 2004. *Communications Systems*. [online] [viitattu 9.10.2009] saatavissa: http://www.kn-s.dlr.de/People/Haas/fdma_tdma_cdma.jpg
2. CellularOnline 2004. *W-CDMA Global Footprint Grows*. [online] [viitattu 18.2.2009] saatavissa: http://www.cellular.co.za/news_2004/feb/022404-wcdma_global_footprint_grows.htm
3. TeliaSonera Oyj 2007. *Markkinat ja asiakkaat: Teknologiset suuntautumisaset*. [online] [viitattu 19.2.2009] saatavissa: http://www.teliasonera.fi/vuosikertomus/2007/fi/Yritysesittely/Teknologiset_suuntaukset.html
4. Dr. Schwartz da Silva, J 2008. *Mobile Research at the Crossroads*. [online] [viitattu 21.10.2009] saatavissa: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/fp7/ict/docs/ch1-jds-mobsummit08_en.pdf
5. Ericsson 2009. *Optimizing global mobility through seamless coexistence and evolution of GSM, WCDMA and LTE*. [online] [viitattu 22.10.2009] saatavissa: <http://www.ericsson.com/technology/whitepapers/gsm-wcdma-and-lte-coexistence-rev-a.pdf>
6. Holma, Harri & Toskala, Antti 2004: *WCDMA For UMTS*, West Sussex: John Wiley & Sons Ltd.
7. Kim, Kiseon & Koo, Insoo 2005: *CDMA Systems Capacity Engineering*, Norwood: Artech House
8. WWRF 2008. *Proceedings of meeting of the Wireless World Research Forum*. [online] [viitattu 14.10.2009] saatavissa: http://www.wireless-world-research.org/fileadmin/sites/default/files/publications/Library/WWRF_Library_20.pdf
9. Qualcomm Incorporated 2006. *WCDMA Network Planning and Optimization*. [online] [viitattu 12.11.2009] saatavissa: http://www.qualcomm.com/common/documents/white_papers/WCDMA_NetworkPlanningOptimization.pdf