

---

# 4G MOBILIVERKOT

LTE



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Tietoliikennetekniikka

Riihimäki, 21.12.2012

Jani Kopakkala



Riihimäki  
Tietotekniikka  
Tietoliikennetekniikka

---

|                  |                  |                   |
|------------------|------------------|-------------------|
| <b>Tekijä</b>    | Jani Kopakkala   | <b>Vuosi</b> 2012 |
| <b>Työn nimi</b> | 4G Mobiiliverkot |                   |

---

## TIIVISTELMÄ

Työn aihe lähti omasta kiinnostuksesta neljännen sukupolven verkkoja kohtaan ja halusta ottaa selvää, mistä neljännen sukupolven verkoissa on kyse. Työ tehtiin tutkielmana Hämeen ammattikorkeakoululle.

Työssä tutkitaan neljännen sukupolven mobiiliverkkojen toimintaa ja niihin liittyviä tekniikoita. Tutkielman aikana kartoitetaan 4G- verkkojen nykytilanne, kuuluvuus ja matkapuhelinverkkojen tulevaisuutta.

Pohjana käydään läpi puhelinverkkojen historiaa sekä kolmannen sukupolven tekniikkaa, jota käytetään yhdessä 4G:n kanssa.

Pohdin myös millä laajuudella mobiiliverkot voivat korvata kiinteitä verkkoja ja kuinka suuri ero kolmannen ja neljännen sukupolven välillä on.

Lisäksi tutkitaan kuinka laajalti neljännen sukupolven verkot ovat käytössä Suomessa ja minkälaisiin nopeuksiin päästään tämänhetkisillä laitteilla.

**Avainsanat** 3G, 4G, LTE, DC-HSPA, kuuluvuus

**Sivut** 28 s + liitteet 3 s

Riihimäki  
Degree Programme in Information technology  
Data communications technology

---

|                                     |                    |                  |
|-------------------------------------|--------------------|------------------|
| <b>Author</b>                       | Jani Kopakkala     | <b>Year</b> 2012 |
| <b>Subject of Bachelor's thesis</b> | 4G mobile networks |                  |

---

## ABSTRACT

The idea for this thesis started from the author's own interest in the fourth generation mobile networks and interest in knowing more about their architecture. This thesis was commissioned by HAMK University of Applied Sciences.

This thesis investigates fourth generation mobile networks, how they operate and what kind of technological solutions are used. It also surveys the current situation of 4G networks, coverage and what will the future offer for them.

For the basis of this work, the history of mobile networks was researched and some parts of the third generation, which is used together with the fourth generation, are also covered.

Reflection on if mobile networks are capable of replacing current cable and DSL connections is also included in this thesis. The biggest differences between third and fourth generation networks are also compared.

In addition, it is established how widely the fourth generation networks are used in Finland and what kind of actual download speeds can be achieved compared to the announced theoretical speeds.

**Keywords** 3G, 4G, LTE, DC-HSPA, coverage

**Pages** 28 p. + appendices 3 p.

# SISÄLLYS

|       |                                      |    |
|-------|--------------------------------------|----|
| 1     | JOHDANTO.....                        | 1  |
| 2     | MATKAPUHELINVERKKOJEN HISTORIA ..... | 2  |
| 2.1   | Radiopuhelimet, NMT ja GSM.....      | 2  |
| 2.2   | GPRS ja EDGE .....                   | 2  |
| 3     | 3G.....                              | 3  |
| 3.1   | UMTS.....                            | 3  |
| 3.2   | W-CDMA.....                          | 4  |
| 4     | 4G.....                              | 5  |
| 4.1   | DC-HSPA.....                         | 5  |
| 4.2   | LTE.....                             | 6  |
| 4.2.1 | LTE verkko ratkaisu .....            | 7  |
| 4.2.2 | Puheen siirto LTE verkoissa.....     | 8  |
| 4.3   | MIMO.....                            | 9  |
| 5     | E-UTRA .....                         | 10 |
| 5.1   | Modulaatiotekniikat .....            | 11 |
| 6     | WIMAX.....                           | 12 |
| 7     | 4G SUOMESSA.....                     | 13 |
| 7.1   | Kattavuus.....                       | 13 |
| 7.2   | Hinnat.....                          | 19 |
| 8     | TESTIT.....                          | 19 |
| 9     | 4G NYT JA TULEVAISUUDESSA.....       | 21 |
| 9.1   | 3G vai 4G .....                      | 22 |
| 9.2   | WiMAXin hyödyntäminen.....           | 23 |
| 9.3   | Tulevaisuus.....                     | 24 |
| 9.4   | 5G viides sukupolvi.....             | 25 |
| 10    | YHTEENVETO .....                     | 26 |
|       | LÄHTEET .....                        | 27 |

Liite 1 Mittaustulokset

## LYHENTEET

|          |  |
|----------|--|
| 0-4G     | (esim. 3G, Third Generation) Matkapuhelin verkkojen sukupolvet   |
| 0G       | ARP (autoradiopuhelin)   |
| 1G       | NMT (Nordisk Mobiltelefon)   |
| 2G       | GSM (Global System for Mobile Communications)  |
| 3G       | UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)  |
| 4G       | LTE (Long Term Evolution)  |
| ARP      | Autoradiopuhelin, ensimmäinen kaupallinen matkapuhelinverkko Suomessa (nolla sukupolvi).   |
| NMT      | Nordisk Mobiltelefon, pohjoismaiden yhteinen radiopuhelinverkko. Ensimmäinen täysautomaattinen verkko, mahdollisti verkkovierailun. (ensimmäinen sukupolvi)  |
| GSM      | Global System for Mobile Communications, maailmanlaajuinen matkapuhelinjärjestelmä. (toinen sukupolvi)   |
| GPRS     | (General Packet Radio Service) Gsm-verkossa toimiva pakettikytkentäinen datapalvelu.   |
| EDGE     | (Enhanced Data Rates for Global Evolution) gprs:ään perustuva nopeampi datasiirtotekniikka   |
| UMTS     | (Universal Mobile Telecommunications System) GSM:n seuraaja kolmannen sukupolven matkapuhelintekniikka.  |
| ITU      | (International Telecommunication Union) Kansainvälinen televiestintäliitto, YK:n alainen kansainvälisesti koordinoiva järjestö. ITU vastaa mm. standardoinnista ja radiotaajuuksien jakamisesta. ITU-R, ITU:n radioviestintä sektori. ITU-T, ITU:n televiestintäsektori. |
| 3GPP     | 3rd Generation Partnership Project, standardointijärjestöjen yhteistyöorganisaatio, joka vastaa kolmannen sukupolven teknisistä määrittelyistä.  |
| Rel99    | UMTSin perusdata yhteys. tarjoaa 384 kb/s latausnopeuden   |
| IMT-2000 | International Mobile Telecommunications-2000 määritelmä  |
| HSPA     | (High-Speed Packet Access) Yleiskäsite umts-datasiirtoa nopeuttaville matkapuhelin protokollille esim. HSDPA (High-Speed Downlink Packet Access) ja HSUPA (High-Speed Uplink Packet Access).   |
| DC-HSDPA | (Dual Cell Hsdpa) laajennus, jolla datansiirron teoreettinen maksiminopeus kaksinkertaistetaan yhdistämällä tukiaseman kahden eri taajuuskaistan tiedonsiirtokapasiteetti.   |
| WCDMA    | (Wideband Code Division Multiple Access) UMTS-verkoissa käytettävä järjestelmä, joka mahdollistaa nopeamman pakettidatasiirron.  |

---

|         |  |
|---------|--|
| E-UTRA  | (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access) LTE tekniikan radioyhteysverkko, joka korvaa vanhat yhteysverkot               |
| LTE     | (Long Term Evolution) 4G standardi, 3GPP määrittymisen mukaan Release 8 laajennus                                      |
| LTE-A   | (LTE-Advanced) LTE:n laajennus, joka täyttää ITU:n neljännelle sukupolvelle asetetut ehdot mm. 1 Gbp/s nopeuden.       |
| WiMAX   | (Worldwide Interoperability for Microwave Access) langaton laajakaistatekniikka, perustuu avoimeen 802.16 standardiin. |
| OFDMA   | (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access) OFDM modulation laajennus usealle käyttäjälle.                         |
| SC-FDMA | (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) OFDM menetelmä yhden kanta-aallon lähetykselle                   |
| MIMO    | (Multiple-input Multiple-output), tekniikka jossa hyödynnetään lähettämiseen ja vastaanottoon useita antennia.         |
| MU-MIMO | (Multi-User MIMO) Hyödyntää MIMO tekniikka usean käyttäjän verkoissa.  |
| DSL     | (Digital Subscriber Line) Puhelinlinjalla toimiva digitaalinen tilaajayhteys, esimerkiksi kiinteä ADSL-yhteys          |

## 1 JOHDANTO

Neljännän sukupolven matkapuhelinverkot ovat jo käytössä ja niiden peitealue laajenee jatkuvasti. Samaan aikaan kun verkko laajenee, saamme myös uusia neljättä sukupolvea tukevia laitteita markkinoille eri muodoissa mm. puhelimet, tabletit, usb-modeemit ja reitittimet. Lisäksi operaattorit hyödyntävät uusia tekniikoita ja laajennusosia kolmannen sukupolven verkoissa, tehostaakseen niiden toimintaa.

Tässä työssä käydäänkin läpi kolmannen sukupolven verkkojen viimeisimmät laajennukset, mikä on 4G verkkojen tila tällä hetkellä ja millä tahdilla neljännän sukupolven verkko ja palvelut ovat yleistymässä.

Työssä pyritään selvittämään missä määrin 4G-verkoilla voidaan korvata kiinteitä verkkoja, jos neljännän sukupolven lupaamat nopeudet ja toiminta varmuus toteutuu. Lisäksi paneudutaan 4G verkkojen tekniikkaan ja tehdään muutamia nopeustestejä 4G verkossa.

Lisäksi käyn läpi matkapuhelin verkkojen historiaa ja kehitystä alkaen ns. nollasukupolvesta päätyen kolmannen sukupolven viimeisimpiin laajennusosiin.

## 2 MATKAPUHELINVERKKOJEN HISTORIA

### 2.1 Radiopuhelimet, NMT ja GSM

Nollasukupolven verkoilla tarkoitetaan analogisia standardeja kuten ARP. Nollasukupolvi nimitys tulee lähinnä siitä, että radiopuhelimet edelsivät ensimmäisen sukupolven verkkoa käyttäviä matkapuhelimia. Erona normaaliin radiopuhelimeen nollasukupolven radiopuhelimeissa oli, että ne olivat kaupallisessa käytössä ja saivat oman puhelinnumeron julkisessa verkossa sen sijaan että toimisivat suljetuissa verkoissa kuten poliisiradiot ja taksit. Merkittävä ero ensimmäiseen sukupolveen on, että vaikka nollasukupolvessa oli olemassa jo matkapuhelinsoluja, ei niiden välillä liikkuminen ollut saumatonta. (Radiopuhelimet.)

Nollasukupolven puhelimet olivat suurikokoisia ja ne olivat usein kiinteästi asennettuna esimerkiksi autoon (ARP) tai sitten niitä kannettiin salkussa.

Ensimmäisen sukupolven verkkojen analogiset standardit julkaistiin 1980 ja niiden käyttöä jatkettiin niin kauan kunnes toisen sukupolven digitaaliset verkot korvasivat ne. Pohjoismaissa oli käytössä NMT (Nordic Mobile Telephone), jota käytettiin pohjoismaissa, Sveitsissä, Hollannissa, Itä-Euroopassa ja Venäjällä. Merkittävää NMT:ssä oli sen täysautomaattisuus sekä verkkovierailun mahdollisuus. (NMT.)

Radiolinja (nykyään osana Elisaa) avasi toisen sukupolven verkot Suomessa 1991, ja ne käyttivät GSM standardia. Suurimmat edut vanhemman sukupolven verkkoihin oli digitaalisuus, huomattavasti suurempi tehokkuus sekä mahdollisuus data-palveluihin, ensimmäisenä palveluna julkaistiin SMS tekstiviestit. (GSM; 2G.)

Vaikka uudemmat tekniikat ovatkin korvanneet 2G verkot Suomessa, ovat ne silti vielä laajassa käytössä eri puolilla maailmaa.

### 2.2 GPRS ja EDGE

GPRS oli ensimmäinen merkittävä askel 2G verkoista kohti 3G verkkoja. GPRS tarjosi datanopeudeksi 56kbit/s – 115kbit/s ja mahdollisti uusien datapalveluiden synnyn kuten WAP (Wireless Application Protocol), multimedia viestit MMS (Multimedia Messaging Service) sekä internetyhteyden. (GSM; 2G.)

GPRS verkoista kehittyi vielä EDGE matkalla kohti 3G verkkoja. EDGE nosti GSM/GPRS verkkojen kapasiteetin jopa kolminkertaiseksi tuoreemmalla koodauksella (8PSK). Kapasiteetin kasvu johti myös datanopeuksien kasvuun jopa 236.8 Kbit/s. GPRS ja EDGE tekniikoita nimitetään 2.5G ja 2.75G verkoiksi. (GSM; 2G.)



### 3 3G

Kolmas sukupolvi, joka on tällä hetkellä Suomen yleisin matkapuhelinverkko, mahdollisti ns. älypuhelimien ja mobiililiittymien saapumisen markkinoille. Kolmannen sukupolven tavoitteena olivat suuret bittinopeudet sekä mahdollistaa liikkuvuus ja operaattorien välinen käyttö- ja laskutustietojen vaihtaminen.

Kolmas sukupolvi on suunniteltu nimenomaan datasiirtoa ajatellen. 3G tarjoaa peruslatausnopeutena 384 kb/s, mutta se on uusien laajennusosien myötä kasvanut huomattavasti. Jos sekä verkko että päätelaite hallitsevat tuoreimman HSDPA- tai HSPA-tekniikan, siirtotarve ylittää verkkoon asetetun kynnyksen ja signaalivoimakkuus on riittävä, siirtyy datayhteys näille tekniikoille ja nopeuden kasvun lisäksi RTT (Round Trip Time) pienenee murto-osaan entisestä. Kun dataa ei siirretä, myös HSPA-kelpoiset laitteet pudotetaan perus-UMTSille ja siellä edelleen hitaalle kanavalle antamaan tilaa muille käyttäjille. (3G.)

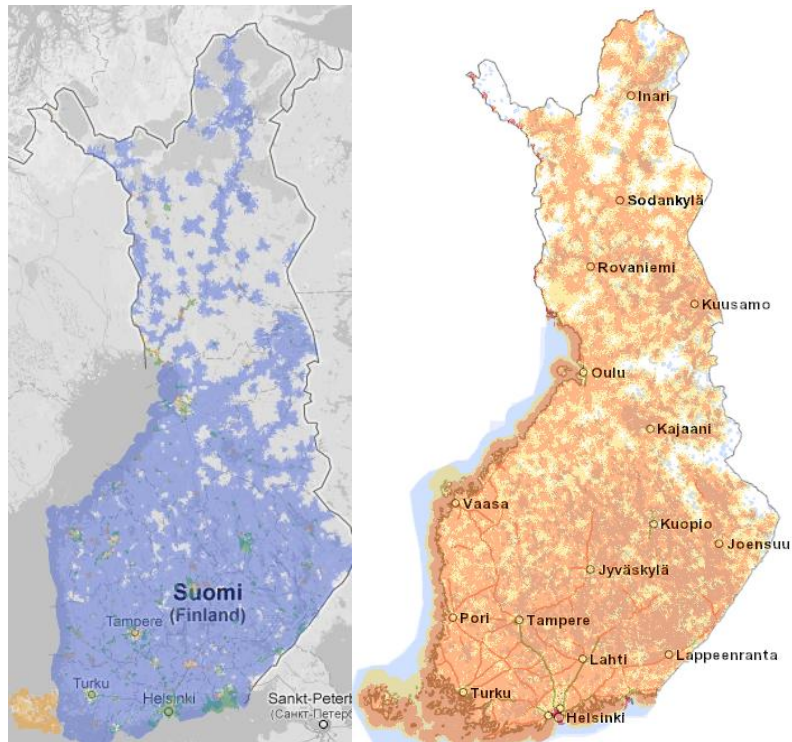
Mobiilinettyyhteyksiä markkinoidaan 3G tekniikkana, tarkoittaen että verkkoyhteys tarjotaan kolmannen sukupolven verkon kautta. 3G:nä markkinoitujen yhteyksien tulee täyttää ITU:n asettamat IMT-2000 standardien vaatimukset, tarkoittaen mm. riittävää nopeutta sekä luotettavuutta. Vaatimusten täyttymiseksi nopeuden tulee olla vähintään 200kbit/s, nykyään tosin käytössä on jo 3.5G ja 3.75G tekniikat joiden nopeudet ovat paljon korkeampia. Viimeisin 3G laajennus HSPA+ mahdollistaa nopeudeksi jopa 56Mbit/s. (3G.)

*ITU-T:n 3G-määritelmän mukaisen matkapuhelinjärjestelmän tulee tukea:*

- *suuria bittinopeuksia*
    - *144 kbps laajalla ulkopeittoalueella (kulkuneuvot)*
    - *384 kbps laajalla ulkopeittoalueella (jalankulkijat)*
    - *2 Mbps tai enemmän sisäpeittoalueella*
    - *mahdollistaa videopuhelut*
  - *sallia liikkuvuus eri operaattoreiden verkkojen ja eri maiden välillä, sekä mahdollistaa käyttö- ja laskutustietojen vaihtaminen eri operaattoreiden välillä.*
  - *päätelaitteiden maantieteellisen sijainnin määrittelyä ja tukea multimediaspalveluita*
  - *kiinteänopeuksisia ka vaihtelevanopeuksisia palveluita*
  - *epäsymmetristä lähetystä ja vastaanottoa*
- (3G lyhenteet.)

#### 3.1 UMTS

Universal Mobil Telecommunications System on GSM:n seuraaja ja kolmannen sukupolven standardi. UMTS oli ensimmäinen nimenomaan datasiirtoa ajatellen kehitetty matkapuhelintekniikka ja toi perusdata Rel99 tekniikallaan huomattavan parannuksen, jopa 384 kb/s nopeuden, verrattuna GPRS ja EDGE tekniikoihin. (3G.)



Kuva 1. Elisan ja Soneran 3G verkot (Elisan 4G sivu; Soneran 4G sivu.)

Suomessa UMTS-verkkojen rakennusluvut kuuluvat Telia-Soneralle, Elisalle sekä DNA:lle. UMTS verkot kattavat tällä hetkellä lähes koko Suomen kuten kuvassa 1 voidaan havaita, vain Pohjois-Suomessa on laajoja alueita ilman 3G verkkoa. (Elisan 4G sivu; Soneran 4G sivu.)

Nykyisellään UMTS verkot pääsevät jo usean kymmenen megatavun nopeuksiin, mutta verkon vasteaika on huomattavasti suurempi kuin kiinteissä verkoissa. UMTS verkot toimivat Suomessa 900 MHz ja 2100 MHz taajuuksilla. (3G.)

### 3.2 W-CDMA

Wideband Code Division Multiple Access on UMTS-verkkojen radioyhteysverkko, joka määrittelee kommunikointiyhteydet mobiililaitteiden ja tukiasemien välillä sekä vastaa signaalien moduloinnista.

W-CDMA on tällä hetkellä ylivoimaisin yhteysverkko sillä se on käytössä yli 450 verkossa 178 maassa, osa cdma2000 vaihtoehtoa käyttäneistä operaattoreista on vaihtanut WCDMA:han taatakseen paremman kansainvälisen verkkovierailumahdollisuuden sekä helpottaakseen siirtymistä tuoreempaan neljännen sukupolven tekniikkaan LTE:hen. (W-CDMA.)

## 4 4G

Neljäs sukupolvi, Suomessa 4G verkoiksi kutsutaan LTE ja DC-HSPA tekniikoilla toteutettuja verkkoja, vaikka DC-HSPA perustuukin kolmannen sukupolven viimeisimpien laajennusten käyttöön. LTE:n kanssa 4G verkkotekniikkana kilpailee WiMAX joka on eräänlainen laajennettu WLAN tekniikka, WiMAXin käyttö suomessa on verrattain vähäistä.

4G:n virallinen määritelmä oli pitkään epäselvä ja vielä 2010 syksyllä ITUn määrittelyn mukaisesti ainoastaan LTE-Advanced ja WiMAX 2.0 tekniikat olivat uutta sukupolvea, jolloin nopeuksien tuli olla 1Gbit/s hitaassa liikkeessä ja 100Mbit/s nopeassa. Operaattorien painostuksesta määritelmää lievennettiin ja joulukuussa 2010 ITU ilmoitti, että myös LTE, WiMAX ja dual carrier UMTS voidaan hyväksyä 4G verkoiksi. (4G.)

Ensimmäiset WiMAXin ja LTE:n versiot toimivat paljon pienemmällä nopeudella kuin 1 Gbit/s eivätkä ole ITUn määritelmän mukaisia neljännen sukupolven verkkoja, vaikka niitä 4G:nä markkinoidaan. Joulukuussa 2010 ITU-R päätti että kaikkia beyond-3G tekniikoita voidaan pitää neljännen sukupolven tekniikoina, jos ne ovat ennakkoversioita ehdot täyttävästä tekniikasta ja tarjoavat merkittävän parannuksen verrattuna nykyisiin 3G versioihin. Määritelmän mukaisesti pre-4G tekniikoita voidaan kutsua 4G verkoiksi sillä:

- Ne toimivat eri taajuuksilla kuin 3G tekniikat
- Ne käyttävät uutta radiorajapintaa
- Standardit eivät ole taaksepäin yhteensopivia. (4G.)

### 4.1 DC-HSPA

Dual Cell HSDPA (myös Dual Carrier nimitystä käytetään), on HSPA kehitysmuoto, joka toimii yhdistämällä kantoaalto. Monikantoaallon ajatuksena on tehokkaampi kaistan käyttö jakamalla kaistat yhteisesti ja tasaamalla kuorma tukiasemalta päätelaitteelle. (3G; HSPA+.)

Kehittynyt HSPA verkko kykenee teoriassa 28 Mbit/s (Rel7, MIMO ja 16QAM) ja 42Mbit/s (Rel8, 64-QAM + MIMO) nopeuksiin, yhdellä 5 MHz:n kantoaallolla. Vaihtoehtoisesti nopeutta voidaan kasvattaa, kaksinkertaistamalla kaistanleveys 10 MHz käyttämällä DC-HSDPA:ta. (3G; HSPA+.)

DC-HSDPA tarjoaa vakaamman yhteyden huonoissa olosuhteissa, joissa ei voida luottaa MIMOn tuomaan lisänopeuteen, sillä DC-HSDPA toimii nopeudella 42 Mbit/s, mutta sen ei tarvitse hyödyntää MIMOa tiedonsiirrossa. Release versio yhdeksästä alkaen on ollut mahdollisuus käyttää DC-HSDPA ja MIMOn yhdistelmää mikä takaisi teoriassa nopeudeksi 84 Mbit/s. (HSPA+.)

### 4.2 LTE

LTE (Long Term Evolution) on pitkälle kehitetty 3G tekniikka, joka luetaan ITUn lievennyksien jälkeen 4G tekniikaksi. Tekniikan päämääränä on lisätä verkkojen kapasiteettia ja nopeutta käyttämällä uusia signaalinkäsittelytekniikoita ja OFDM modulaatiota. Lisäksi verkon arkkitehtuuri suunniteltiin yksinkertaisemmaksi ja muutettiin täysin IP-pohjaiseksi, lyhentämällä huomattavasti verkon viivettä ja tekemällä siitä edullisemmän. (LTE – tekniikka.)

LTE-tekniikkaa alettiin kehittää vuonna 2004 ensimmäisen kerran Japanissa, jossa suurin operaattori NTT DoCoMo on kehittänyt 4G tekniikkaa jo vuodesta 1998, LTE:n kehitystyö alkoi virallisesti seuraavana vuonna 2005. Toukokuussa 2007 operaattorit perustivat kansainvälisen liiton testatakseen ja mainostaakseen uutta standardia saadakseen sen julkaistua mahdollisimman nopeasti. Standardi saatiin valmiiksi vuoden 2008 lopussa. (LTE – tekniikka.)

Valmistumisen jälkeen LTE verkot otettiin käyttöön julkisesti ensimmäistä kertaa Osllossa ja Tukholmassa joulukuussa 2009. Pohjois-Amerikassa ensimmäinen Laaja LTE verkko otettiin käyttöön 2010 ja Japanissa operaattorit ovat ilmoittaneet ottavansa tekniikan käyttöön omilla verkoissaan. LTE:stä odotetaan muodostuvan ensimmäinen oikeasti kansainvälinen standardi, vaikka sitä käytetäänkin eri taajuuksilla eri puolilla maailmaa. (LTE – tekniikka.)

LTE mahdollistaa latausnopeudeksi 300 Mbit/s ja lähetyksenopeudeksi 75 Mbit/s sekä viiveeksi jopa alle 5 ms. LTE kykenee toimimaan nopeassa liikkeessä, tarjoamaan multicast ja broadcast streamia. LTE:ssä kaistan leveys skaalautuu 1.4 MHz ja 20 MHz:n välillä ja tukee sekä taajuusjako dupleksointia (FDD) että aikajako dupleksointia (TDD), laajan käyttötaajuuden ansiosta käyttöönotto on joustavaa. (LTE – tekniikka.)

IP-pohjainen verkkoarkkitehtuuri, nimeltään Evolved Packet Core (EPC) korvaa vanhan GPRS Core verkon. EPC kykenee siirtymään saumattomasti sekä ääni- että datalinkkien välillä vanhoissa verkoissa kuten GSM, UMTS ja CDMA2000. Yksinkertaisempi arkkitehtuuri mahdollistaa pienemmät kustannukset, esimerkiksi jokainen E-UTRAN solu kykenee nelinkertaiseen datan ja puheen määrään verrattuna HSPA:han. (LTE – tekniikka; 3GPP - LTE.)

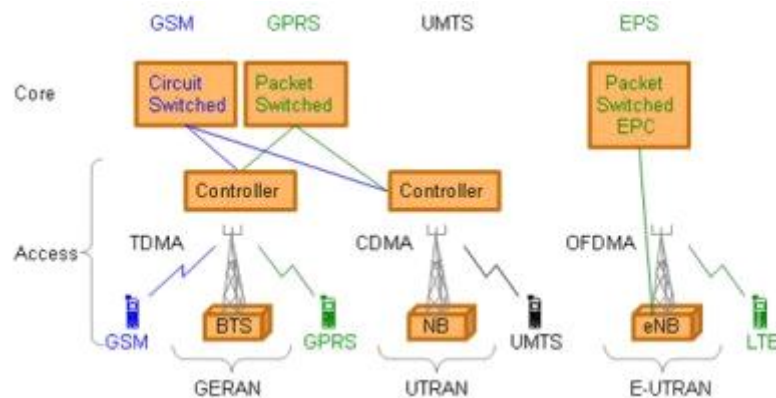
LTE toimii useilla eri taajuuksilla. Pohjois-Amerikassa käytetään taajuuksia 700/800 ja 1700/1900 MHz; Euroopassa käytetään 800, 900, 1800, 2600 MHz; 1800 ja 2600 MHz Aasiassa ja 1800 MHz Australiassa. Tämän takia puhelimet eivät välttämättä toimi kaikissa maissa, jos niiden tekniikka ei tue kaikkia mainittuja taajuuksia. (LTE – tekniikka.)

LTE on ensimmäinen tekniikka, jossa liikenne tukiasemasta päätteelle on toteutettu eri tekniikalla kuin liikenne päätteeltä tukiasemaan. Data siirretään tukiasemalta OFDM tekniikalla ja tukiasemaan SC-FDMA-tekniikalla. (LTE – tekniikka; 3GPP - LTE.)

Tukiasemalta liikenne kulkee useita radioteitä pitkin MIMO-tekniikalla, joka olosuhteista riippuen parantaa luotettavuutta tai mahdollistaa suuremmat nopeudet. Standardi tukee eri tapoja MIMOn hyödyntämiseen, joista valitaan paras vallitsevien olosuhteiden mukaan, luotettavuutta parantava aika-tila-koodaus tai nopeutta kasvattavaa tilallista limitystä. Lisäksi voidaan käyttää solun kokonaiskapasiteettia kasvattavaa MU-MIMOA (Multi-user MIMO), jossa aika-taajuus resurssia käyttää monta eri käyttäjää. Testeissä on saatu nopeudeksi 100/50 Mb/s, etäisyyden ollessa 75 km. (LTE – tekniikka.)

LTE:n vahvuuksiin kuuluu myös mahdollisuus luoda maantieteellisesti suuria soluja (jopa yli 100 km), ja mahdollistaa tiedonsiirto myös liikuttaessa erittäin nopeasti, jopa 350km/h. (3GPP – LTE; LTE tekniikka.)

#### 4.2.1 LTE verkko ratkaisu



Kuva 2. LTE:n Verkko ratkaisu (3GPP – LTE.)

GSM tarjosi reaaliaikaisia palveluita piirikytkentäisesti, jolloin datapalvelu onnistui vain hitaalla piirikytkentäisellä modeemyhteydellä, ensimmäinen vaihe kohti pakettikytkentäistä vaihtoehtoa oli GPRS. UMTS kehitettiin tuomaan lisänopeutta uudella verkkomallilla joka toimi CDMA pohjalla. UMTS:n yhteysverkko emuloi piirikytkentäisen yhteyden reaaliaikaisille palveluille ja pakettikytkentäisen yhteyden datapalveluille. UMTS määrittää käyttäjälle IP-osoitteen kun datayhteys muodostetaan ja vapauttaa osoitteen kun yhteys päättyy. (3GPP – LTE.)

EPS (Evolved Packet System) on täysin IP-pohjainen, sekä reaaliaikaiset että datapalvelut kulkevat IP protokollalla. IP osoite haetaan laitteelle sen kytkeytyessä päälle ja vapautetaan sammutettaessa. Uusi yhteysratkaisu LTE saavuttaakin suuremmat datanopeudet. Korkean tason modulaatio (64QAM asti), suuri kaistan leveys (20 MHz) ja MIMO tiedonsiirto on myös osana uutta ratkaisua. Suurin teoreettinen nopeus on 170 Mbps lähetettäessä ja MIMOn avulla ladattaessa jopa 300Mbps. (3GPP – LTE; Evolved Packet Core.)

EPC:ssä on valmius toimia myös muiden kuin 3GPP tekniikoiden kanssa, kuten WiMAXin ja WiFin, näiden välillä tehdään jako luotettuihin ja ei luotettuihin. Jako ei perustu teknisiin ratkaisuihin vaan suhteisiin ja sopimuksiin operaattorien välillä. (3GPP – LTE.)

LTE- radioverkko on yksinkertaisesti tukiasemien verkko, jossa on elementteinä ainoastaan tukiasemia eNB (evolved NodeB), tällä tavalla saadaan hyvin matalan tason arkkitehtuuri. Verkossa ei ole ohjauskeskuksia vaan tukiasemat ovat suoraan yhteydessä keskenään ja jokainen tukiasema on yhteydessä suoraan verkkoon. Tällä tavalla yhteyden perustaminen on saatu nopeammaksi ja solujen välillä siirtymäaika pienemmäksi. Käyttäjälle nämä ovat usein kaikkein tärkeimpiä reaaliaikaisia palveluja käytettäessä, sillä siirtymäajalla normaalisti viive kasvaa tai verkkoyhteys saattaa katketa kokonaan. (3GPP – LTE; Evolved Packet Core.)

### 4.2.2 Puheen siirto LTE verkoissa

LTE toimii vain pakettikytkentäisesti sillä se on täysin IP pohjainen. Puhelut GSM:llä, UMTS:illa sekä CDMA:lla ovat piirikytkentäisiä, joten LTE:tä varten puheluverkko täytyy suunnitella uusiksi. Tällä hetkellä on tarjolla kolme vaihtoehtoa. (LTE tekniikka.)

VoLTE (Voicen Over LTE) Perustuu IMS (IP Multimedia Subsystem) verkkoon, jossa on määritelty omat profiilit äänen siirron hallinnointia varten LTE verkoissa. Tällöin puhelut liikkuvat datana LTE verkossa ja vanhalle piirikytkentäiselle verkolle ei ole tarvetta. (LTE tekniikka.)

CSFB (Circuit Switched Fallback) Tässä ratkaisussa LTE tarjoaa datapalvelut ja puheluita varten siirrytään takaisin piirikytkentäiseen verkkoon. Haittapuolena tässä puheluiden yhdistäminen tulee viemään enemmän aikaa. (LTE tekniikka.)

SVLTE (Simultaneous Voice and LTE) Tässä tapauksessa laite toimii samanaikaisesti LTE ja CS tiloissa, jolloin LTE tarjoaa datan ja CS puhelun. Tämä ratkaisu toteutetaan suoraan päätelaitteella, eikä vaadi verkolta mitään toimenpiteitä. Huonona puolena on päätelaitteen suuri virrankulutus. (LTE tekniikka.)

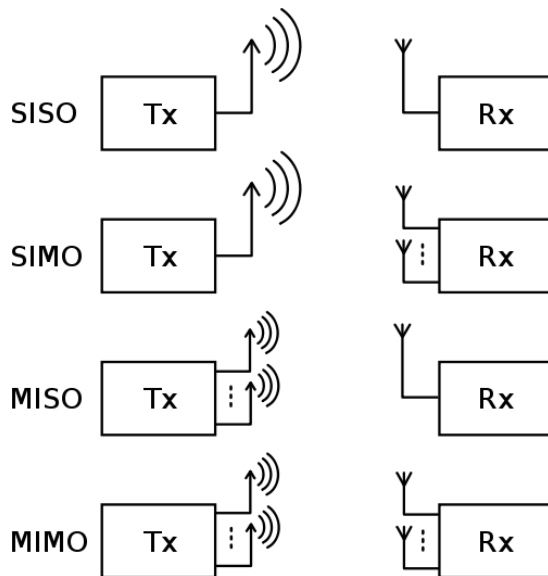
Ylimääräisenä vaihtoehtona pidetään kolmannen osapuolen tarjoamia palveluita ja sovelluksia kuten Skype ja Google Talk. Mutta tällä hetkellä tai edes lähitulevaisuudessa tuskin käy niin, että operaattorit luovuttaisivat puheluiden siirtoa kolmannelle osapuolelle. (LTE tekniikka.)

## 4.3 MIMO

Multiple-input and multiple-output, parantaa viestinnän tehoa käyttämällä useita antennia lähetykseen ja vastaanottoon. MIMO tekniikka on noussut esille erityisesti langattomassa tiedonsiirrossa, sen tuodessa parannuksen datan siirtoon sekä linkin kantamaan ilman ylimääräistä kaistanleveyttä tai suurempaa virrankulutusta. Tämä onnistuu jakamalla koko lähetysteho usealle antennille. MIMO tekniikka hyödynnetään kahdella tavalla, sen avulla voidaan maksimoida tiedonsiirtonopeus tai parantaa luotettavuutta. Näiden takia MIMO on tärkeässä osassa nykyisiä tiedonsiirtotekniikoita kuten WiFi, 4G, 3GPP, LTE, WiMAX ja HSPA+ (MIMO.)

Lisäksi voidaan käyttää Multi-User MIMO tekniikkaa joka on kehitetty parantamaan MIMO järjestelmää silloin kun käyttäjiä tai yhteyksiä on useita. MU-MIMO hyödyntää jokaista yksittäistä antennia kaikkien päätteiden tiedonsiirron parantamiseksi. (MIMO.)

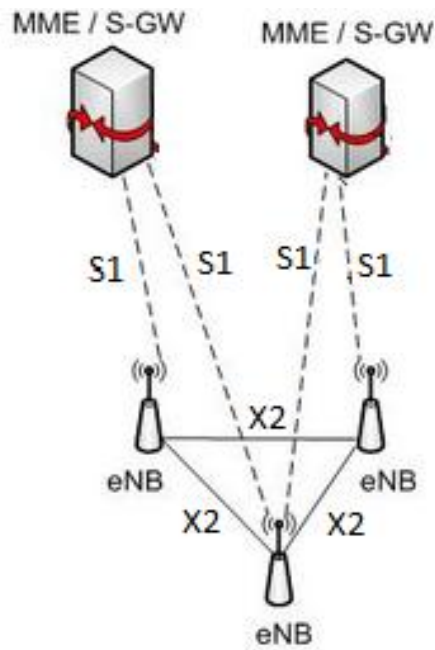
MIMO monitielähetys on erittäin suuressa osassa kolmannen sukupolven viimeisissä laajennusversioissa sekä neljännen sukupolven verkoissa. Kuvassa 3 on havainnollistettu antennien käyttö vaihtoehtoja.



Kuva 3. Antenni tekniikat, Tx = lähetin, Rx = Vastaanotin (MIMO.)

## 5 E-UTRA

E-UTRA (Evolved UMTS Terrestrial Radio Access) LTE tekniikassa käytetty radioyhteysverkko, joka on suunniteltu korvaamaan UMTS, HSDPA ja HSUPA. E-UTRA on täysin uusi tekniikka ja on sen takia yhteensopimaton W-CDMA:n kanssa. Uusi verkko tarjoaa nopeamman yhteyden, pienemmän viiveen ja on optimoitu pakettiliikenteelle. E-UTRA:ssa käytetään kahta eri modulaatiota tiedonsiirtoon OFDMA yhteyttä tukiasemalta päätelaitteelle ja SC-FDMA yhteyttä päätelaitteelta tukiasemalle. Kuvassa 4 havainnollistetaan liikennettä E-UTRA verkossa. (LTE tekniikka.)



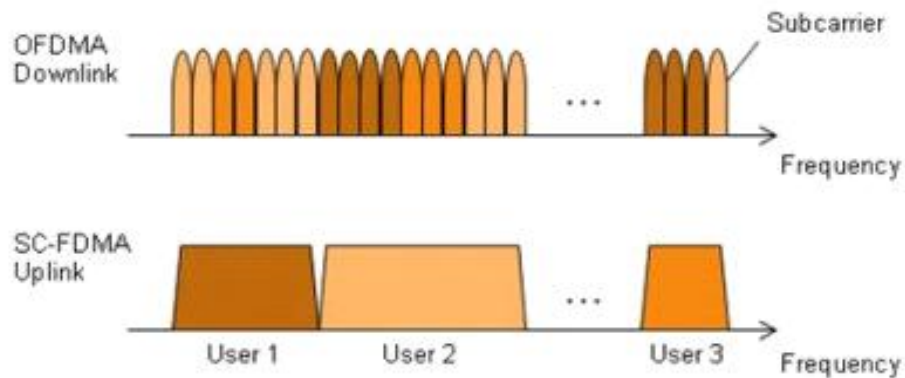
Kuva 4. E-UTRAN-arkkitehtuuri



## 5.1 Modulaatiotekniikat

Downlink eli yhteys tukiasemalta käyttäjälle tapahtuu OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) tekniikalla. OFDM on monikantaaalto tekniikka, joka jakaa kaistan kapeisiin 15 kilohertsin kantaalloihin, kuten kuvassa 5. OFDMA:ssa nämä kantaallot voidaan jakaa usean käyttäjän kesken. Ratkaisulla saavutetaan erittäin hyvä spektrin tehokkuus, joka tosin vaatii runsaasti prosessoritehoa. OFDMA ratkaisu tarjoaa erittäin hyvän maksiminopeuden suhteessa virrankulutukseen, joka kyllä vaatii kalliita virranvahvistimia akun keston lisäämiseksi. Tämä ei ole ongelma Tukiasemilla, mutta johtaisi erittäin suureen päätelaitteiden hinnan nousuun. Tästä syystä valittiin vähemmän vaativa ratkaisu päätelaitteille. (LTE tekniikka; 3GPP – LTE.)

Uplink eli tiedonsiirto päätteeltä tukiasemalle hoidetaan SC-FDMA (Single Carrier - Frequency Division Multiple Access) tekniikalla joka on OFDM menetelmä eli yhden kantaallon lähetys, jossa resurssit jaetaan taajuustasossa käyttäjien kesken. Monikantaaaltosignaali muutetaan lähetystä ennen diskreetti fourier muunnoksen avulla yhdeksi kantaalloksi. SC-FDMalla tehosuhte on pieni ja sen avulla säästetään akun tehoa. (LTE tekniikka; 3GPP – LTE.)



Kuva 5. OFDMA ja SC-FDMA signaalit (3GPP – LTE.)

## 6 WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) on langaton laajakaistatekniikka, jonka nopeus on n.75Mbit/s, ja joka kehityksen myötä kykenee neljännen sukupolven määrityksen mukaiseen 1 Gbit/s nopeuteen. WiMAXin nimi syntyi WiMAX foorumilla joka muodostettiin kesäkuussa 2001 standardin kehittämiseksi. WiMAXia kuvataan langattomaksi laajakaistatekniikaksi, joka on vaihtoehto kaapeli- ja DSL liittymille. (WiMAX kotisivu.)

WiMAX liittymää ei ole rajattu tiettyyn osoitteeseen kuten kiinteät laajakaistat ja sitä voidaankin parhaiten verrata WLAN-verkkoon, jonka toimintasäde on paljon laajempi. Teoriassa WiMAXin kantama voi olla jopa 50km, mutta todennäköisempi etäisyys lienee luokkaa 20-30 km. (WiMAX kotisivu)

Kaistanleveyden ja kantavuuden ansiosta WiMAX soveltuu mm.

- Mobiililaajakaistaksi kaupungeissa ja ympäri maata
- Langaton vaihtoehto kaapeli- ja DSL yhteydelle
- Tarjoaa Data, puhe (VoIP) ja IPTV palveluja

WiMAX mahdollistaa koti- ja mobiiliyhteyden kaupunkeihin ympäri maan. Pääasiassa WiMAX on ajateltu kilpailijaksi perinteisille kiinteille yhteyksille eikä niinkään mobiililaitteiden 3G tai 4G yhteyksille.

Suomesta löytyy 15 operaattoria, jotka käyttävät WiMAX-verkkoja eri puolilla suomea, kuva 6. Pääasiassa verkot on rakennettu haja-asutusalueille, joihin ei ole rakennettu kiinteää verkkoyhteyttä DSL:n tai kaapelin kautta. (WiMAX kotisivu.)



Kuva 6. WiMAX verkkojen sijainteja (WiMAX kotisivu.)

## 7 4G SUOMESSA

Sonera julkaisi Suomessa ensimmäisenä 4G-yhteyden joulukuussa 2009 ja kaupalliset palvelut tulivat tarjolle marraskuussa 2010 Helsingissä ja Turussa.

Elisa puolestaan otti verkon esikaupalliseen käyttöön vuoden 2010 alussa ja avasi loppuvuodesta yrityskäyttöön pääkaupunki-seudulla.

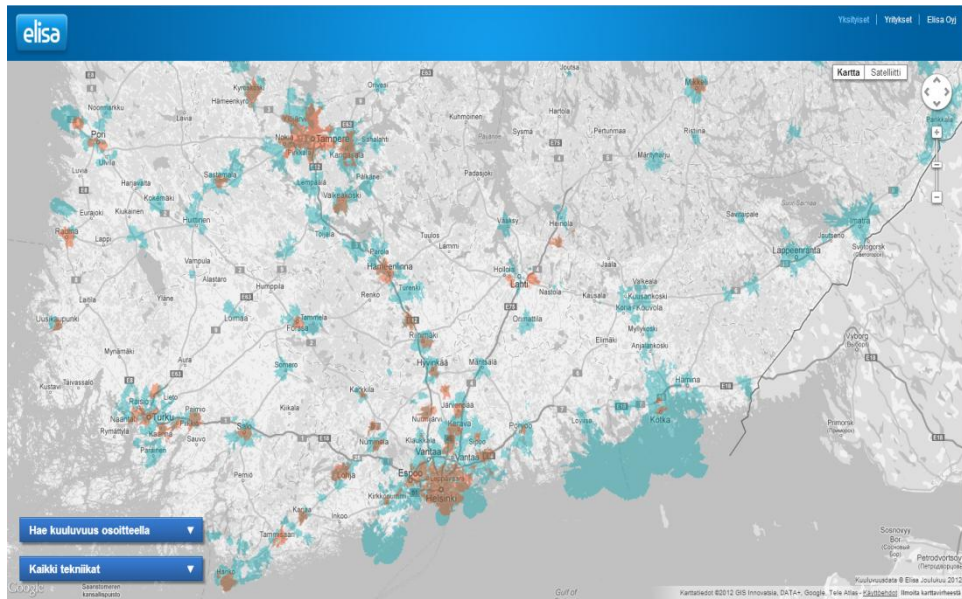
Maaliskuussa 2012 hallitus päätti, että operaattoreille huutokaupataan uusia taajuuksia 4G-verkkoa varten. Tavoitteena on ulottaa 4G kaikille suomalaisille, jossa huutokaupattavana oleva 800MHz taajuus on valtavana apuna. (Suomi 30 megan maa.)

### 7.1 Kattavuus

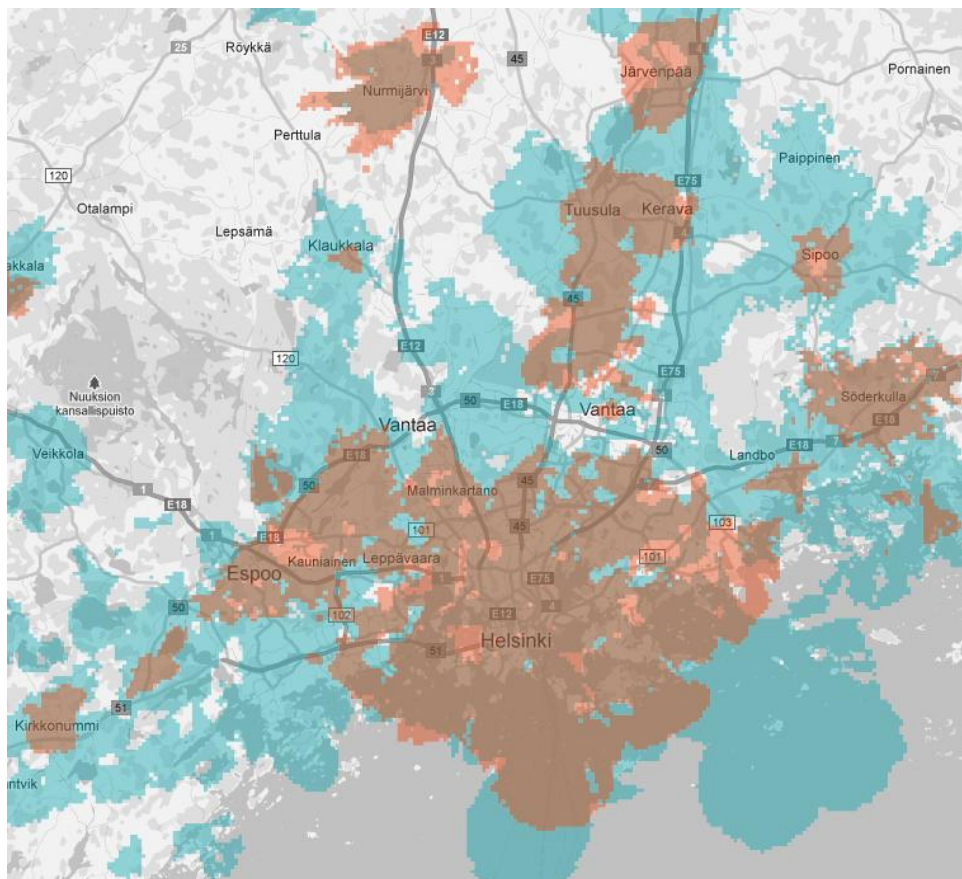
4G nopeuksien kattavuutta mainostetaan jopa 200 paikkakunnalle, mutta näihin lasketaan mukaan myös HSPA+ tekniikalla toteutetut alueet, jotka toimivat 3G verkoissa, usein puhutaankin 3.75G verkoista.

Alun perin ITU:n määritelmässä huomioitiin ainoastaan LTE-A tekniikka 4G verkoiksi, vaatimukset lievennettiin jälkepäin laskemaan myös 3G dual carrier 4G verkoksi. Mainoksissa esitellyistä 4G verkon kattavuutta kuvaavista malleista kannattaakin tarkistaa mitkä tekniikat siinä on otettu mukaan, sillä ainoastaan LTE peitto alueilla on mahdollista päästä luvattuun 100 Mbit/s nopeuteen.

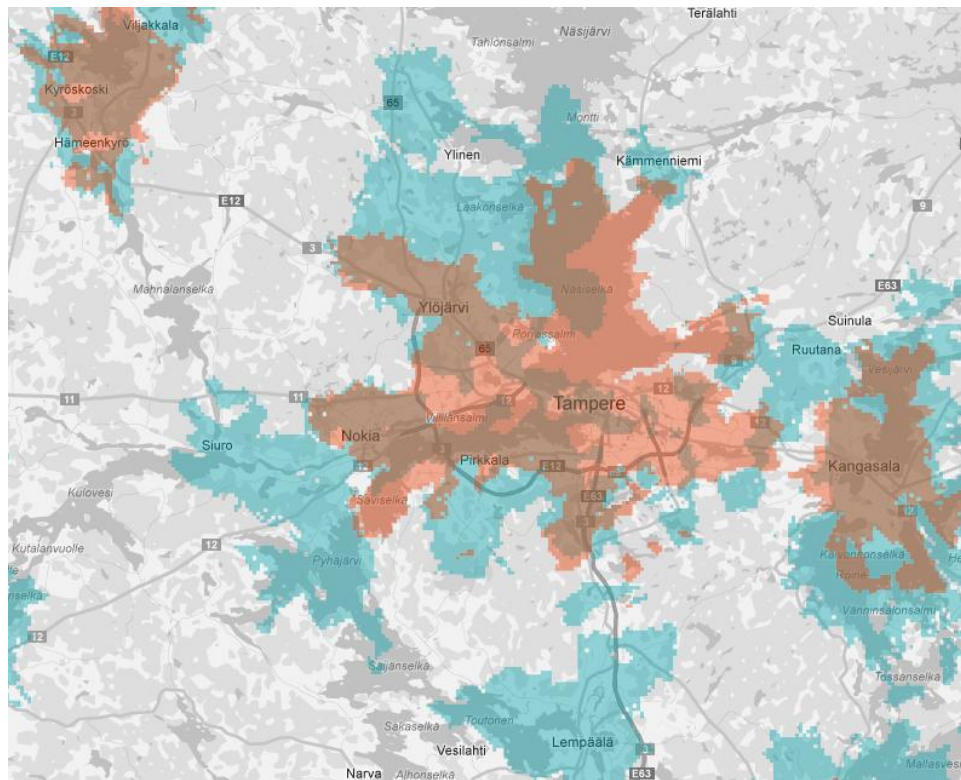
Sonera puhuu omissa liittymissään aidosta 4G:stä jolla viitataan LTE-tekniikalla toteutettuihin verkkoihin ja näitä löytyy tällä hetkellä yhdeksältä paikkakunnalta (heinäkuu 2012, nyt jo 45 paikkakuntaa, tarkistettu 21.11.2012) mikä lienee lähellä totuutta myös muiden operaattoreiden kohdalla (DNA 4G, 7 paikkakuntaa ja Elisa 4G 30 paikkakuntaa, tarkistettu 21.11.2012). Lisäksi rakenteilla on 4G verkkoja liki kahdellekymmenelle paikkakunnalle. Elisalla puolestaan luvataan LTE-peiton laajenevan kymmenille paikkakunnille vuoden 2012 aikana. [Alkuperäisestä kirjoitushetkestä heinäkuulta on jo saatu lisättyä paikkakuntia useilla kymmenillä, 21.11.2012] (Elisa 4G sivu; Sonera 4G sivu; DNA 4G sivu.)



Kuva 7. Elisan 4G kuuluvuus, oranssilla LTE ja Sinisellä UMTS-DC (Elisan 4G sivu.)



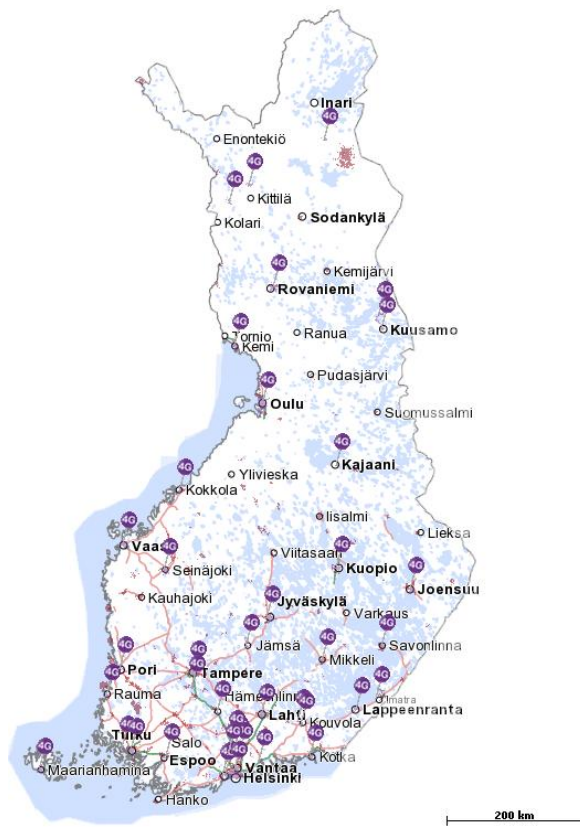
Kuva 8. Elisan 4G kuuluvuus – Helsingin seutu (Elisan 4G sivu.)



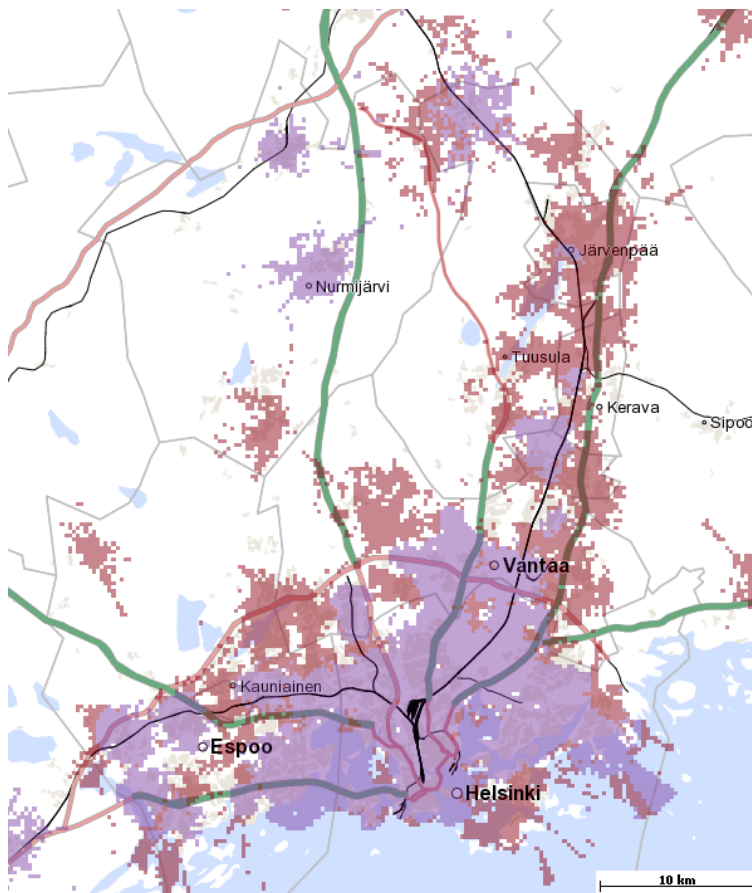
Kuva 9. Elisan 4G kuuluvuus – Tampereen seutu (Elisan 4G sivu.)

Kuvissa 7,8 ja 9 näkyy oranssilla merkittynä LTE-teknikkaa käyttävät todelliset 4G alueet, jotka tällä hetkellä ovat pääasiassa Helsinki, Tampere ja Turun alueet sekä nyt jo useiden muiden kaupunkien keskustat.

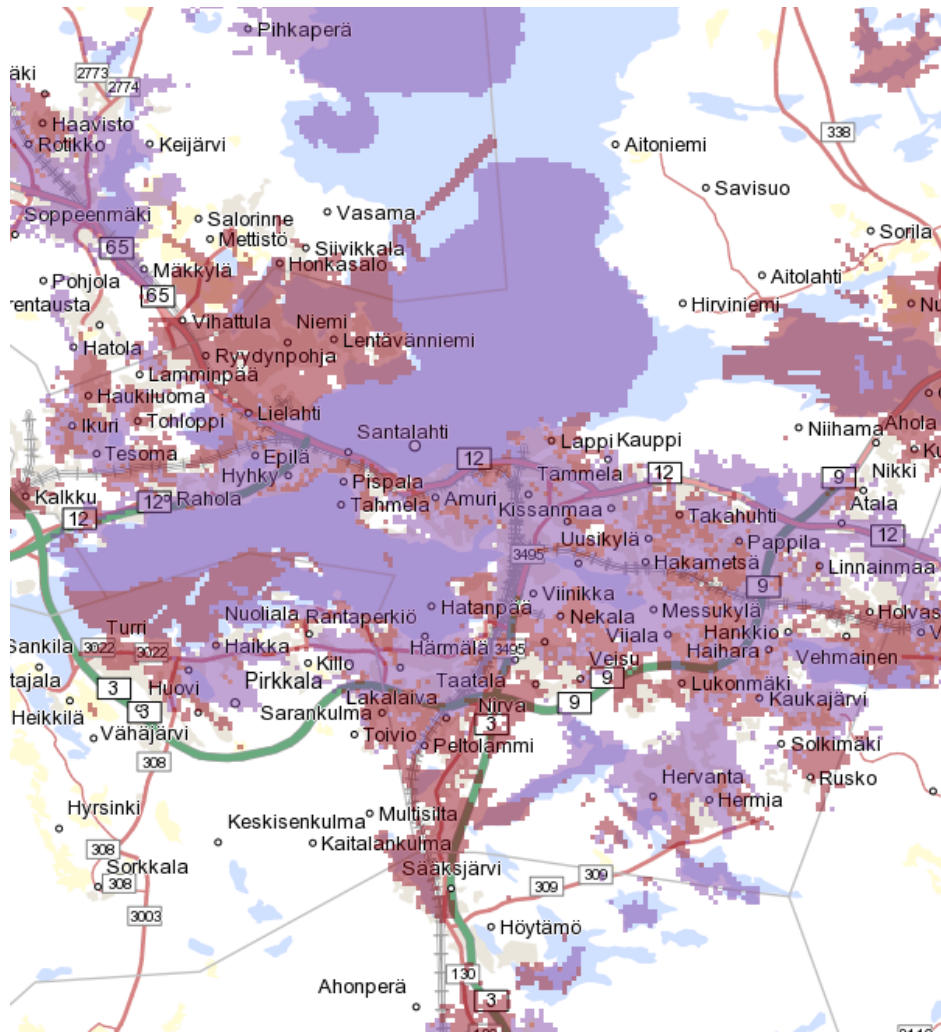
Lisäksi kuvissa näkyy vaalean vihreällä UMTS Dual Carrier tekniikalla toimivia alueita, jotka usein ovat LTE verkon reunalla.



Kuva 10. Soneran 4G kuuluvuus kartta (Soneran 4G sivu.)



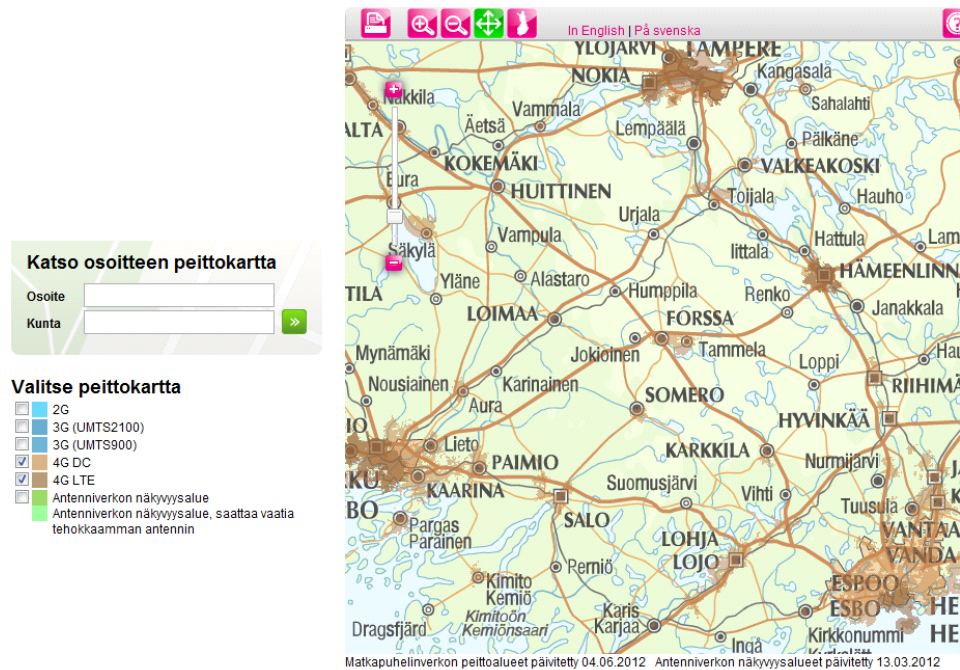
Kuva 11. Soneran 4G kuuluvuus kartta – Helsingin seutu (Soneran 4G sivu.)



Kuva 12. Soneran 4G kuuluvuus – Tampere (Soneran 4G sivu.)

Kuvissa 10,11 ja 12 liila on LTE verkkoa ja punainen 3G Dual carrier.

Soneran verkot ovat likimain samoilla alueilla kuin Elisalla eli todelliset 4G verkot ovat tällä hetkellä keskittyneet isojen kaupunkien alueille ja muiden kaupunkien keskustoihin, Sonera tosin ei laske Dual Carrieria 4G-verkoksi vaan ainoastaan LTE-tekniikalla toteutetut verkot, mutta molemmilla tekniikoilla toteutetut verkot näkyvät kuvissa.



Kuva 13. DNA 4G kuuluvuus kartta (DNA 4G sivu.)

Kuvassa 13 näemme DNA:n 4G verkkoja. DNA:lla todelliset 4G verkot löytyvät ainoastaan isojen kaupunkien keskustoista, mutta koska myös DNA laskee 3G Dual Carrierin mukaan neljänteen sukupolveen, niin sen ansiosta heilläkin 4G verkko löytyy jo yli 200 paikkakunnalta.

LTE verkot ovat tänä vuonna laajentuneet luvutulla nopeudella, jos huomioidaan ainoastaan paikkakunta määriä. Verkkojen maantieteellinen ala on vielä melko pieni sillä verkot keskittyvät pääasiassa kaupunkien keskustoihin. Neljännen sukupolven verkoilla on erittäin suuri potentiaali laajeta kattamaan koko Suomi, arvioiden mukaan LTE tekniikan avulla voitaisiin saavuttaa suomessa kaikkialla Lappia myöden yli 30 Mbit/s nopeus vuoteen 2015 mennessä. Aikataulu aiheuttaa kuitenkin myös epäilyä, sillä kaikki eivät usko, että koko maan kattaviin huippunopeuksiin voitaisiin päästä nykyisillä tukiasemien määrällä. (Suomi 30 megan maa.)



## 7.2 Hinnat

Taulukkoon 1 on vertailun vuoksi kerätty kaikkien kolmen operaattorin tarjoamat 4G yhteydet hintoineen.

Taulukko 1. Liittymien hinta vertailu (suoritettu 20.11.2012)

| Liittymä                    | hinta      | Maksimi nopeus |
|-----------------------------|------------|----------------|
| Sonera                      |            |                |
| Liikkuva laajakaista Perus  | 9,90€ /kk  | 21 Mbit/s      |
| Liikkuva laajakaista Plus   | 19,90€ /kk | 50 Mbit/s      |
| Liikkuva laajakaista Teho   | 29,90€ /kk | 100 Mbit/s     |
| Saunalahti / Elisa          |            |                |
| Mobiililaajakaista 4G       | 19,80€ /kk | 50 Mbit/s      |
| Mobiililaajakaista 4G Super | 39,80      | 100 Mbit/s     |
| DNA                         |            |                |
| Liikkuva laajakaista XL     | 19,80€ /kk | 50 Mbit/s      |
| Liikkuva laajakaista XXL    | 39,80€ /kk | 100 Mbit/s     |

## 8 TESTIT

Koska LTE peitto ei vielä ole kovin kattava ja operaattorit ilmoittavat pääasiassa maksiminopeuksia liittymilleen, päätin lähteä hieman testailemaan muutamilta alueilta nopeuksia.

Käytössäni oli Saunalahden mobiililaajakaista 4G ja Huawei E392 nettitikku, jolla sain kannettavalle tietokoneelle 4G yhteyden. Laajakaistan nopeus oli rajoitettu LTE verkossa 50 Mbit/s mutta senkin pitäisi olla yli kaksi kertaa nopeampi kuin 3G verkon LTE peiton alueella. Lisäksi E392 nettitikku tukee DC-HSPA+ ja LTE tekniikka kaikilla taajuuksilla, joten sen teoreettinen nopeus LTE verkossa on 100 Mbit/s.

Nopeutta testattiin selaimen kautta toimivalla speedtest.net sivustolla.

Testit tein LTE- peiton alueella sekä LTE- peiton reunalla. Lisäksi tein testin samalta paikalta useamman kerran, että saatoin nähdä voiko lyhyen ajan sisällä tulla suuriakin nopeuseroja. Testipaikkoina olivat Helsinki, Tampere, Hyvinkää, Riihimäki (UMTS Dual Carrier). Testit tehtiin alueilla, joissa oletettavasti on samaan aikaan useita verkon käyttäjiä. Nopeustesteissä huomioitiin sekä lataus- että lähetysnopeudet, viive ja verkonsignaalin vahvuus, tulokset on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Mittaustuloksia

| Testipaikka                   | Aika                    | Viive (ms) | DL (Mbps) | UL (Mbps) | Signaalin vahvuus |
|-------------------------------|-------------------------|------------|-----------|-----------|-------------------|
| Helsinki<br>Itäkeskus         | 8.7.2012<br>klo. 16:11  | 75         | 37.46     | 10.33     | 90 %              |
| Helsinki<br>Itäkeskus         | 8.7.2012<br>klo. 16:20  | 25         | 37.76     | 9.90      | 90 %              |
| Helsinki<br>Itäkeskus         | 8.7.2012<br>klo. 16:30  | 25         | 31.49     | 10.80     | 90 %              |
| Helsinki<br>Jumbo<br>DC-HSPA+ | 9.7.2012<br>klo. 15:01  | 35         | 22.29     | 1.55      | 96 %              |
| Helsinki<br>Jumbo<br>DC-HSPA+ | 9.7.2012<br>klo. 15:06  | 92         | 9.15      | 1.40      | 98 %              |
| Helsinki<br>Jumbo<br>WCDMA    | 9.7.2012<br>klo. 15:08  | 65         | 25.76     | 1.70      | 99 %              |
| Helsinki<br>Camp              | 29.7.2012<br>klo. 13:21 | 45         | 24.01     | 10.20     | 90 %              |
| Helsinki<br>Camp              | 29.7.2012<br>klo. 13:31 | 25         | 25.24     | 9.61      | 90 %              |
| Tampere<br>Koskikeskus        | 5.7.2012<br>klo. 17:42  | 25         | 19.24     | 4.68      | 30 %              |
| Tampere<br>Koskikeskus        | 5.7.2012<br>klo. 17:45  | 25         | 15.35     | 5.01      | 30 %              |
| Tampere<br>Koskipuisto        | 5.7.2012<br>klo. 18:37  | 25         | 21.12     | 10.48     | 70 %              |
| Tampere<br>Koskipuisto        | 5.7.2012<br>klo. 18:39  | 25         | 23.70     | 10.38     | 70 %              |
| Hyvinkää<br>Willa             | 19.7.2012<br>klo. 17:37 | 89         | 8.29      | 7.82      | 30 %              |
| Hyvinkää<br>Willa             | 19.7.2012<br>klo. 17:46 | 26         | 28.08     | 10.83     | 30 %              |
| Hyvinkää<br>Willa             | 19.7.2012<br>klo. 17:57 | 10         | 34.38     | 10.47     | 50 %              |

## 9 4G NYT JA TULEVAISUUDESSA

Neljännän sukupolven tekniikat eivät ole tehokas korvaaja kolmannelle sukupolvelle puhelinliittymissä, sillä neljännessä sukupolvessa ei ole vielä lopullista ratkaisua puheenvälittämiseksi. Lisäksi virrankulutus kasvaa neljännessä sukupolven verkkoja käytettäessä, verrattuna aiempaan, vaikka LTE:ssä onkin pyritty huomioimaan myös virrankulutus. Pitää myös muistaa, että puhtaasti puhelinverkkona vanhemmat NMT/GSM verkot ovat Suomessa ja maailmalla kaikkein kattavimmat, jotka myös kuluttavat vähemmän virtaa kuin 3G ja 4G verkot, usein puhelut kulkevatkin 2G verkoissa. 3G ja 4G verkot ovatkin pääasiassa datansiirton suunnattuja joista neljäs sukupolvi on vietykin pidemmälle tekemällä siitä täysin IP-pohjainen ja näin myös enemmän kiinteiden verkkojen kaltainen.

Neljännän sukupolven tekniikka on enemmän mobiili-internetille kuin matkapuhelimelle suunnattu tekniikka. LTE tekniikasta hyötyykin enemmän tabletteja ja kannettavia tietokoneita käytettäessä, joilla voidaan hyödyntää liikkussa nopeita mobiilipalveluja sekä internetyhteyttä, mutta ei tarvitse hyödyntää puhelunsiirtoa laisinkaan. Usein isommilla laitteilla on myös riittävästi akut jolloin hieman suuremmasta virrankulutuksesta ei koidu niin suurta haittaa.

LTE-tekniikkaa päästään myös hyödyntämään syrjäseutujen kotitalouksissa, jonne ei välttämättä ole ulotettu nopeaa kiinteää laajakaistaa. LTE-tekniikka onkin hyvin samalla viivalla nykyisten DSL-liittymien 24 Mbit/s nopeuksien kanssa, sillä LTE:llä todennäköisesti nopeudet pyörivät 30 Mbit/s ja 70 Mbit/s välillä. Kotioloissa ei edes tarvitse huolehtia akun kestävydestä, sillä usein käytössä on joko verkkovirrassa oleva pöytäkone tai latauksessa verkkovirralla toimi kannettava.

4G yhteyttä voidaan myös ajatella kotiliittymien välivaiheena kupariverkossa toimivien DSL-liittymien (24 Mbit/s) ja kuituliittymien (100 Mbit/s ja jopa 1 Gbit/s) välillä.

Nopeuksien ja vasteajan puolesta voisin ainakin itse harkita käyttäväni LTE-tekniikkaa hyödyntävää mobiiliyhteyttä DSL-liittymän sijasta, mutta mobiiliverkkojen nopeuden vaihtelun ja ruuhkautumisen mahdollisuuden takia kaapeli- ja kuituyhteydet ovat kotioloissa luotettavampia nopeita yhteyksiä. Tällä hetkellä monesta taloudesta löytyy mahdollisesti myös Soneran tai Elisan tarjoama viihdeliittymä, jossa saa samassa paketissa nopean kiinteän yhteyden ja monipuoliset viihdepalvelut.

### 9.1 3G vai 4G

Moni varmasti pohtii onko 4G verkosta niin paljon etua, että kannattaa päivittää vanha 3G yhteys tuoreempaan, ja onko se todella niin paljon nopeampi. Joillakin voi olla mielessä kolmannen sukupolven hidas alku ja Suomessakin kohua herättäneet UMTS kaupat. Kolmannen sukupolven verkkojen alku oli hidas ja sen markkinointiin jouduttiinkin satsamaan paljon resursseja, että saatiin keskiverto käyttäjälle perusteltua sen tarve. Nykyään kolmannen sukupolven yhteydet ovat arkipäivää ja mobiilinetti vaihtoehtona itsestäänselvyys niin puhelimissa kuin muissakin mobiililaitteissa, joskus jopa kodin ainoana nettiyhteytenä.

Nopeuden puolesta neljäs sukupolvi tulee olemaan nopeampi, kunhan päästään hyödyntämään todellista neljännen sukupolven tekniikkaa kuten LTE-Advancedia, mutta tällä hetkellä LTE:n ja HSPA+ nopeuksien ero ei ole niin suuri että neljättä sukupolvea voitaisiin pitää ylivoimaisena vaihtoehtona. Neljännen sukupolven verkot toimivat puhtaasti IP-verkkojen tavoin, joten ne ovat verkkotekniikaltaan datasiirtoon sopivampia kuin kolmannen sukupolven verkot. LTE on tosin tekniikkana tehokkaampi, joten sen ei pitäisi ruuhkauttaa tukiasemia yhtä nopeasti kuin 3G tekniikoiden näin ollen LTE verkon nopeuden pitäisi pysyä vakaampana kuin 3G verkkojen.

Puheluiden yhdistämisen suhteen LTE tekniikka onkin ongelmallinen, verrattuna kolmanteen sukupolveen. Kolmas sukupolvi toimi sekä piiri-että pakettikytkentäisesti ja pystyi näin olleen käyttämään rinnakain puhelu- ja datansiirtopalveluita. Koska neljäs sukupolvi on puhtaasti paketti kytkentäinen on sen puheluiden yhdistäminen hieman hitaampaa, sillä se ei tällä hetkellä kykene käyttämään samanaikaisesti molempia vaan joutuu vaihtamaan verkkoa puheluiden yhdistämistä varten.

Verkkojen kattavuutta ei voida juuri edes verrata sillä kolmas sukupolvi kattaa tällä hetkellä lähes koko Suomen, mutta LTE verkkoja löytyy vain noin neljältäkymmeneltä kunnalta ja nekin pääasiassa kaupunkien keskustoista.

Kolmannen sukupolven liittymä onkin ehkä parempi vaihtoehto puhelimen nettiliittymänä, varsinkin kun suomessa ei vielä ole saatavilla montaakaan LTE-tekniikkaa tukevaa matkapuhelinta. Mainittakoon että Nokian lumia 920 tukee LTE tekniikkaa ja sillä suoritetuissa testeissä on saatu selkeä nopeusero verrattuna DC-HSDPA verkkoon.

Neljännen sukupolven liittymä voisi taas olla parempi käytettäessä paljon nettitikkua tai LTE:tä tukevaa tablettia, varsinkin jos käyttää laitteita usein kaupungilla liikkeessa, jolloin pysyy LTE peitto alueella.

### 9.2 WiMAXin hyödyntäminen

WiMAXin hyödyntäminen Suomessa on huomattavasti vähäisempää kuin LTE-tekniikan ja tästä syystä siitä ehkä puhutaankin medioissa ja markkinoinnissa huomattavasti vähemmän. WiMAX standardi saatiin valmiiksi vuonna 2001 joten sekin on ehtinyt olemaan ilmoilla jo kymmenen vuoden ajan, mutta siitä huolimatta se ei ole samalla linjalla LTE tekniikan kanssa. Tähän voi vaikuttaa se, että WiMAX ei ole suunnattu matkapuhelin ja mobiilikäyttöön vaan enemmänkin samoille markkinoille kuin kiinteät yhteydet.

WiMAX pyrkiikin rajoamaan DSL- ja kaapeliyhteyksien veroisen langattoman verkkoyhteyden, joka ei olisi kiinteiden yhteyksien tavoin rajoitettu toimimaan ainoastaan tietyssä osoitteessa. Tässä mielessä WiMAXin tekniikka muistuttaakin enemmän WLAN verkon toimintaa kuin mobiilinetin tai kiinteän verkon tekniikkaa.

Pitkän kantaman ja langattomuuden ansiosta WiMAXia onkin hyvä hyödyntää harvaan asutuilla alueilla, joissa valokuidun tai kuparikaapelin vetäminen tulisi erittäin kalliiksi tai hankalaksi.

WiMAX yhteys luodaan radiotien kautta tukiaseman ja käyttäjälle asennetun päätelaitteen välillä, joka voidaan asentaa tietokoneen korttipaikkaan tai käyttää erillisenä laitteena kuten mobiilitikut ja reitittimet. Usein yhteyden laatua pyritään parantamaan asentamalla erillinen hieman TV- antennia muistuttava antenni kiinteistön katolle.

### 9.3 Tulevaisuus

4G on korvaamassa nykyiset 3G verkot, mutta se tulee tapahtumaan maltillisella tahdilla, sillä uuden sukupolven verkot tulevat tarvitsemaan uusia tukiasemia, että se saadaan toimimaan laajemmalla alueella. LTE verkkojen peitto kyllä kasvaa hyvää vauhtia ja uuden 800 MHz taajuuskaistan huutokauppaaminen tulee auttamaan sen laajentamisessa haja-asutusalueille. Nykyisiä verkkoja matalamman taajuuden etu on, yhdellä tukiasemalla saavutettava suurempi solukoko joka kärsii vähemmän esteistä ja olosuhteista, vaikkakin hieman pienemällä kapasiteetilla. Tavoitteena on saada 95% LTE-kattavuus vuoteen 2016 mennessä.

Tämän hetkisten arvioiden mukaan 3G ja 4G tulevat toimimaan rinnakkain vielä ainakin 2020-luvulla. Täytyy myös pitää mielessä, että LTE tekniikka ei voi kokonaisuudessa korvata vanhoja verkkoja ennen kuin puheen siirto-ongelma on ratkaistu. Todennäköisesti puhelut tulevat kulkemaan vielä hyvän tovin 3G ja 2G verkkojen kautta ja datansiirto alkaa siirtyä neljännen sukupolven verkkoon.

Joka tapauksessa on selkeää, että neljäs sukupolvi on jo kovassa kasvuvauhdissa, sillä ei olisi edes järkevää panostaa vanhempien tukiasemien pystytykseen, koska uudella tekniikalla toteutetut yksinkertaisemmat verkot ovat edullisempia toteuttaa. Neljännen sukupolven tekniikan edullisuus on pantu merkille myös maissa, joissa ei vielä ole ehditty ottaa käyttöön edes 3G tekniikka, mm. Intiassa aiotaan jättää kolmas sukupolvi väliin ja siirtyä suoraan 2G:stä 4G:hen.

### 9.4 5G viides sukupolvi

Viidettä sukupolvea ei vielä ole virallisesti olemassa, eikä ole suoranaisesti kehitteillääkään sillä kaikki työn alla olevat standardit kuuluvat neljänteen sukupolveen. Viidennestä sukupolvesta ei vielä edes puhuta vaan asiantuntijat mieluummin käyttävät termiä beyond 4G.

Viidennen sukupolven synty tapahtunee vuoden 2020 paikkeilla sillä uusi sukupolvi on virallistettu noin kymmenen vuoden välein alkaen ensimmäisestä sukupolvesta eli NMTstä vuonna 1981. Toisen ja kolmannen sukupolven kehitystyö kesti myös noin 10 vuotta niiden aloituksesta. Neljännen sukupolven kehitystyö alkoi vuosina 2001 ja 2002, mutta viidennen sukupolven kehitystä ei ole vielä missään virallisesti aloitettu.

Perinteisesti uusi sukupolvi on aina tarjonnut uuden taajuuden ja laajemman spektrin kaistoille taajuutta kohden. Moni asiantuntija ei tosin usko, että uusille taajuuksille tai leveämmille väylille olisi enää kovinkaan paljoa tilaa. Käyttäjille uusi sukupolvi on tarjonnut myös selkeästi parempia nopeuksia, mutta viidennen sukupolven ei uskota olevan nopeampi kuin neljännen sukupolven luvattu 1 Gbps.

Todennäköisesti viides sukupolvi kehittääkin muita osaalueita kuin nopeutta esimerkiksi vähäisemmän virrankulutuksen, paremman kattavuuden, tehokkaamman bittisuhteen suuremmilla peitealueilla, edullisemmat hinnat yksinkertaisemman arkkitehtuurin myötä ja vähemmän ruuhkaa tukiasemille.

## 10 YHTEENVETO

Tätä työtä aloitettaessa Heinäkuussa 2012 neljännen sukupolven verkkoja löytyi hieman yli kymmeneltä paikkakunnalta, mutta jo silloin operaattorit lupasivat vuoden loppuun mennessä lisäävänsä LTE peiton useille kymmenille paikkakunnille. Lupaus verkkojen määrästä onkin täyttynyt hyvin, sillä nykyisellään Elisan LTE löytyy 30 paikkakunnalta ja Sonera LTE 45 paikkakunnalta (30.10.2012).

Todennäköisesti jo vuoden 2013 aikana LTE verkot levittäytyvät hyvin laajalti pitkin Etelä-Suomea ja viimeistään kun operaattorit pääsevät käsiksi 800 MHz taajuuteen on odotettavissa, että LTE verkot leviävät taajamien ulkopuolelle.

LTE:n kehittyessä LTE-A versioon on myös odotettavissa melkoinen nopeuden parannus ja viimeistään silloin mobiililiittymät todella kilpailevat kiinteiden liittymien kanssa samoilla markkinoilla. Mobiiliverkkojen ongelmaksi on tosin arvioitu ruuhkautuminen, sillä jo nyt datayhteydessä olevia mobiililaitteita on valtavat määrät kuormittamassa nykyisiä tukiasemia. Ruuhkautumista on pyritty estämään uusien tukiasemien määrällä sekä neljännen sukupolven yksinkertaisemmalla verkkoarkkitehtuurilla ja MIMO tekniikalla, joiden ansiosta tukiasemat kykenevät käsittelemään suurempia käyttäjämääriä.

Testeissä kävi ilmi että nopeudessa päästiin noin puoleen luvatusista 50 Mbit/s liittymän nopeudesta, joka kumminkin osui lähes poikkeuksetta ilmoitettuun todelliseen nopeuteen (20-40 Mbit/s). Myös verkon viive oli erittäin hyvää luokkaa, 25 ms lähes jatkuvasti, mikä on kehittynyt 3G verkon ajoista merkittävästi. Viive alkaa olla jo sitä luokkaa, että siitä ei pitäisi syntyä ongelmia reaaliaikaisten palvelujen kuten videopuheluiden ja nettipelien kanssa. Eikä LTE nopeudessakaan ole mitään valittamista, se on jo ainakin DSL yhteyksien kanssa samalla viivalla ja menossa komeasti ohi, viimeistään LTE-Advancedin myötä nopeus nousee aivan omaan luokkaansa.

Vaikka mobiiliyhteydet kykenevätkin niin nopeuden kuin verkkoviiveen puolesta jo korvaamaan tarvittaessa kiinteän yhteyden, niin tuskin kovinkaan moni lähtee yksinomaan vaihtamaan kiinteää yhteyttä mobiililiittymäksi. Erityisesti monia voi arveluttaa mobiiliyhteyksien toimintavarmuus eli pysyykö verkonviive kurissa vai alkavatko tukiasemat ruuhkautua ja tukkiutua.

Mahdollista on myös, että internetyhteydet alkavat muuttua mobiileiksi ja kiinteässä verkossa alkaa liikkua monimuotoisempia viihdepalveluita esimerkkeinä sekä Elisan että Soneran tarjoama viihdelajakaistat TV-palveluineen.



## LÄHTEET

- 2G. Viitattu Heinäkuu 2012. <http://en.wikipedia.org/wiki/2G>
- 3G. Viitattu Heinä/Elokuu 2012. <http://en.wikipedia.org/wiki/3G>
- 3G lyhenteet. Viitattu Elokuu 2012. <http://www.tietoo.com/Tietokone/3g-lyhenteet.html>
- 3GPP kotisivu. Viitattu Heinä/Elokuu 2012. <http://www.3gpp.org/>
- 3GPP - LTE. Viitattu Heinä/Elokuu 2012. <http://www.3gpp.org/LTE>
- 4G. Viitattu Heinä/Elokuu 2012. <http://en.wikipedia.org/wiki/4G>
- DNA 4G sivu. Viitattu 20.11.2012. <http://www2.dna.fi/nopeinverkko-4g>
- Elisan 4G sivu. Viitattu 20.11.2012 <http://vertaaverkkoja.fi/4g.html>
- Evolved Packet Core. Viitattu Syys/Lokakuu 2012. [http://en.wikipedia.org/wiki/Evolved\\_Packet\\_Core](http://en.wikipedia.org/wiki/Evolved_Packet_Core)
- GSM. Viitattu Heinäkuu 2012. <http://fi.wikipedia.org/wiki/GSM>
- HSPA+. Viitattu Heinä/Elokuu 2012. <http://en.wikipedia.org/wiki/HSPA%2B>
- ITU kotisivu. Viitattu Loka/Marraskuu 2012 <http://www.itu.int/en/Pages/default.aspx>
- LTE tekniikka. Viitattu Heinä/Elokuu 2012. [http://en.wikipedia.org/wiki/LTE\\_\(telecommunication\)](http://en.wikipedia.org/wiki/LTE_(telecommunication))
- MIMO. Viitattu Elo/Syyskuu 2012. <http://en.wikipedia.org/wiki/Mimo>
- NMT. Viitattu Heinäkuu 2012. <http://en.wikipedia.org/wiki/1G>
- Nopeutta liikkuvaan laajakaistaan. Viitattu Heinä/Elokuu 2012. <http://www.mynewsdesk.com/fi/view/pressrelease/lte-teknologia-tuonopeutta-liikkuvaan-laajakaistaan-haasteena-verkon-kapasiteetti-615158>
- Radiopuhelimet. Viitattu Heinäkuu 2012. [http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile\\_radio\\_telephone](http://en.wikipedia.org/wiki/Mobile_radio_telephone)
- Saunalahti 4G sivu. Viitattu 26.6.2012. <http://www.elisa.fi/saunalahti/asiakaspalvelu/1298/4g/>
- Soneran 4G sivu. Viitattu 20.11.2012 <http://www.sonera.fi/nettiyhteydet/liikkeelle/4g+langaton+laajakaista/>

Suomi 30 megan maa. Viitattu Marraskuu 2012.

[http://yle.fi/uutiset/suomi\\_voi\\_olla\\_parissa\\_vuodessa\\_30\\_megan\\_nettiyhteyksien\\_maa/5100862](http://yle.fi/uutiset/suomi_voi_olla_parissa_vuodessa_30_megan_nettiyhteyksien_maa/5100862)

Turhan optimistista. Viitattu Marraskuu 2012.

<http://yle.fi/uutiset/professori>

W-CDMA. Viitattu Syyskuu 2012. <http://en.wikipedia.org/wiki/W-CDMA>

WiMAX kotisivu. Viitattu Loka/Marraskuu 2012 <http://www.wimax.fi/>

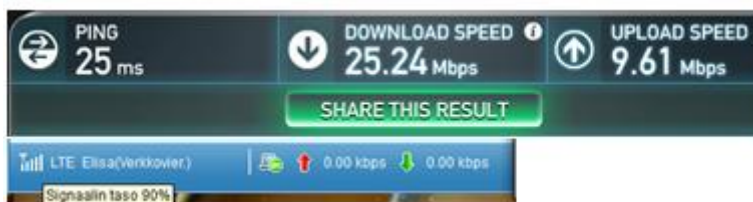
## MITTAUSTULOKSET

Mittaukset on napattu screenshotteina ajetun testin jälkeen.

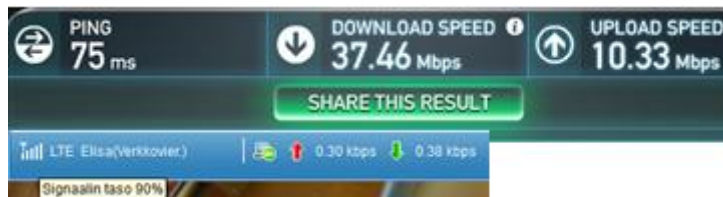
Helsingin mittaukset



Helsinki Camp 1 (29.7.2012 klo.13:21)



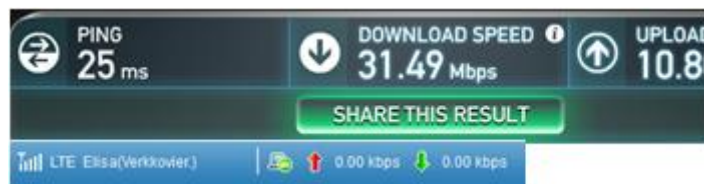
Helsinki Camp 2 (29.7.2012 klo.13:31)



Helsinki Itäkeskus 1 (8.7.2012 klo.16:11)



Helsinki Itäkeskus 2 (8.7.2012 klo.16:20)



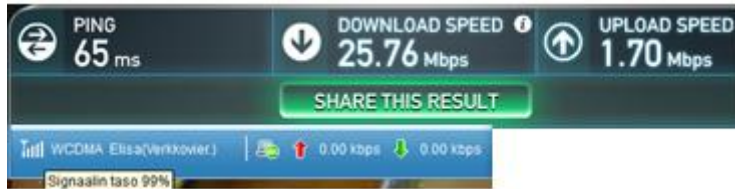
Helsinki Itäkeskus 3 (8.7.2012 klo.16:30)



Helsinki Jumbo 1 (9.7.2012 klo.15:01)



Helsinki Jumbo 2 (9.7.2012 klo.15:06)

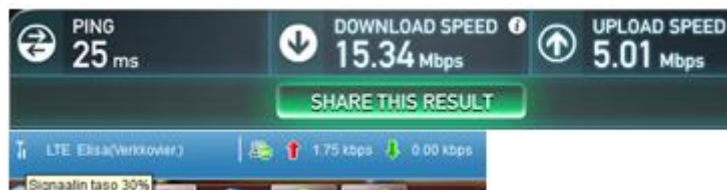


Helsinki Jumbo 3 (9.7.2012 klo.15:08)

Tampereen mittaukset



Tampere Koskikeskus 1 (5.7.2012 klo.17:42)



Tampere Koskikeskus 2 (5.7.2012 klo.17:45)



Tampere Koskipuisto 1 (5.7.2012 klo.18:37)



Tampere Koskipuisto 2 (5.7.2012 klo.18:39)

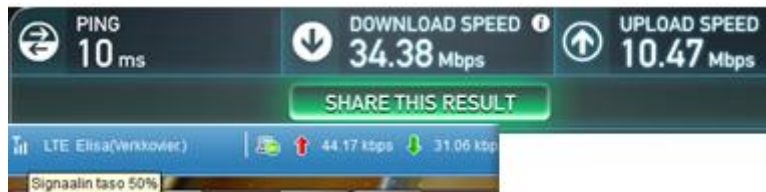
Hyvinkään mittaukset



Hyvinkää Willa 1 (19.7.2012 klo.17:37)



Hyvinkää Willa 2 (19.7.2012 klo.17:46)



Hyvinkää Willa 3 (19.7.2012 klo.17:57)