

Juho Palolahti

# Matkapuhelinverkon kuuluvuuden parantaminen peittoalueen reunalla

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tietotekniikka

Insinöörityö

4.5.2013

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Juho Palolahti Matkapuhelinverkon kuuluvuuden parantaminen peittoalueen reunalla 30 sivua + 1 liite 4.5.2013
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Tietotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Tietoverkot
Ohjaaja	Yliopettaja Janne Salonen
<p>Työn tarkoituksena oli tutustua mobiiliverkon tekniikoihin ja luoda mahdollisimman nopea verkkoyhteys loma-asunnolle. Loma-asunto on kuuluvuusalueen ulkopuolella, eikä normaali puhelukaan välttämättä aina onnistu.</p> <p>Työn alussa tutustutaan kaikkiin Suomessa käytössä oleviin mobiiliverkkotekniikoihin, niiden arkkitehtuuriin ja tiedonsiirtonopeuksiin. 2G-verkoista käydään läpi GSM-, GPRS- ja EDGE-tekniikat. 3G-verkoista tutustutaan UMTS:ään ja sen laajennuksiin. 4G-verkoista käydään läpi DC-HSPA ja LTE.</p> <p>Työn toisella puoliskolla valitaan antennit ja laitteet. Antennit asennetaan ja niillä tehdään mittauksia loma-asunnolla ja muissa paikoissa. Mittauksissa yritetään mm. selvittää syitä verkon hyvään tai huonoon toimintaan mittauspaiikassa.</p> <p>Mittaukset tehtiin pääosin matkapuhelimella. Mittauksissa mitattiin latausnopeutta, lähetysnopeutta ja viivettä. 3G-verkkoon saatiin yhteys jopa 24 km päässä mastosta. Mittauksista selvisi, että korkeilta paikoilta verkkoon pääsee hyvällä antennilla hyvinkin kaukaa, mutta korkean esteen takaa yhteyden muodostus voi olla mahdotonta jopa lähellä mastoa.</p> <p>Työn päätarkoituksena ollut verkkoyhteyden mahdollistaminen loma-asunnolle onnistui hyvin. Yhteys toimii 3G-verkossa ja on riittävän nopea.</p>	
Avainsanat	2G, 3G, 4G, EDGE, UMTS

Author Title	Juho Palolahti Improving Cellular Network on Edge of Range
Number of Pages Date	30 pages + 1 appendices 4 May 2013
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Information Technology
Specialisation option	Data Networks
Instructor	Janne Salonen Principal lecturer
<p>The objective of this thesis was to study the mobile network technologies and create the fastest possible network for a holiday apartment. The holiday apartment is outside of the cellular network coverage and even a normal phone call is not necessarily working.</p> <p>At the beginning the study introduces the existing mobile network technologies in Finland, the architecture and data transfer speeds. As to 2G networks, the GSM, GPRS and EDGE technologies are presented. And as to 3G networks, the UMTS and its expansions and regarding 4G networks, the DC-HSPA+ and LTE.</p> <p>The second half of the thesis describes the choosing of antennas and other equipment. The antennas were mounted and measurements were made in the holiday apartment and other places. The objective of the measurements was to find out reasons for either good or bad functioning of the connection in the measuring point.</p> <p>The measurements were made mainly by mobile phone. The factors measured were download speed, upload speed and latency. A 3G network connection was made as far as 24 km from the mast. The measurements showed that on a high place with a good antenna, the connection could be accessed from far away, but from behind a high barrier it might be impossible to make a connection even rather close to the mast.</p> <p>The main goal of the study was to enable network on the holiday apartment and that was achieved successfully. There is now a connection to a 3G network and it is sufficiently fast.</p>	
Keywords	2G, 3G, 4G, EDGE, UMTS

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Mobiiliverkkotekniikat	2
2.1	2G	2
2.1.1	GPRS	3
2.1.2	EDGE	4
2.2	3G	5
2.2.1	UMTS	6
2.2.2	HSPA	8
2.3	4G	10
2.3.1	LTE	11
2.3.2	DC-HSPA	12
3	Alkutilanne	13
4	Laitteisto	15
4.1	Päätelaitteet	15
4.2	Antennit	16
5	Asennus ja suuntaus	17
6	Mittaukset	20
6.1	EDGE-verkko	21
6.2	3G-verkko	22
6.3	Induktiivinen sovitin	23
6.4	Etäisyysmittaukset	25
7	Lopputulos	27
	Lähteet	29
	Liite 1. Mittaustulokset	

## Lyhenteet

2G	Yleinen lyhenne toisen sukupolven matkapuhelinteknologioille.
3G	Yleinen lyhenne kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologioille.
4G	Yleinen lyhenne neljännen sukupolven matkapuhelinteknologioille.
b	Bitti. Pienin informaation yksikkö. Bitillä on kaksi mahdollista arvoa, joita kuvaavat yleensä ykkönen ja nolla.
B	Tavu. Kahdeksan bitin muodostama informaation yksikkö.
dBm	Desibeliä suhteessa milliwattiin. Signaalin voimakkuuden mittayksikkö.
DC-HSPA	Dual Carrier High Speed Packet Access. Nopein HSPA-laajennus.
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution. Pakettikytkentäinen tiedonsiirto-tekniikka.
GPRS	General Packet Radio Service. GSM-verkossa toimiva pakettikytkentäinen tiedonsiirtopalvelu.
GSM	Global System for Mobile Communications. Maailmanlaajuinen matkapuhelinjärjestelmä.
HSPA	High Speed Packet Access. UMTS-protokollan laajennus.
kbps	Kilobittiä sekunnissa. Tiedonsiirtonopeuden mittayksikkö.
kt/s	Kilotavua sekunnissa. Tiedonsiirtonopeuden mittayksikkö.
LTE	Long Term Evolution. Nopea 4G-verkkotekniikka.
MIMO	Multiple-Input and Multiple-Output. Tietoliikennetekniikka, jossa tiedonsiirtoon käytetään useampaa kuin yhtä antennia.

ms	Millisekunti. Ajan mittayksikkö.
Mbps	Megabittiä sekunnissa. Tiedonsiirtonopeuden mittayksikkö.
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System. Kolmannen sukupolven verkkoteknologia.

## 1 Johdanto

Tässä insinööriyössä on päätarkoituksena perehtyä mobiilidatasiirtoon ja saada internetiyhteys loma-asunnolle, jonka sijainti on etäinen ja kilometrejä kuuluvuusalueen ulkopuolella. Edes normaali GSM-puhelu ei välttämättä onnistu kohteessa.

Nykyiset mobiiliverkot ovat pitkälti taajamien ulkopuolellakin jo kolmannen sukupolven teknologiaa. On hyvä kuitenkin muistaa, että on edelleen alueita, missä toisen sukupolven hitaita yhteyksiäkään ei välttämättä pysty käyttämään. Näillä alueilla on paljon asutusta, loma-asuntoja, yrityksiä ja muuta toimintaa, joilla on tarvetta mobiililaajakaistalle.

Työn alussa perehdytään verkkotekniikoihin painopisteen ollessa Suomessa saatavilla olevilla verkoilla. Verkkotekniikoista kerrotaan hieman historiaa ensimmäisistä GSM-verkoista aina 4G-verkkoihin ja tulevaisuuteen asti. Verkkotekniikoissa käydään läpi arkkitehtuuria pintapuolisesti ja selvitetään teoreettiset ja varsinkin realistiset nopeudet, mitä kullakin mobiiliverkkotekniikalla voi saavuttaa.

Tarvittavan tiedon ja osaamisen saavuttamisen jälkeen valitaan sopivat laitteet ja antennit työtä varten. Antennit asennetaan ja sen jälkeen tehdään suuntauksia ja mittauksia. Mittauksia tehdään myös varsinaisen kohteen ulkopuolella. Mittauksia ei tehdä liikkeessä, vaan kaikki mittaukset tehdään paikallaan. Mittauksissa yritetään selvittää mm. erilaisen maaston ja etäisyyksien vaikutuksia verkon toimintaan.

Työn loppupuolella analysoidaan eri verkoista ja eri laitteilla tehtyjä mittauksia sekä pohditaan syitä kovasti vaihteleviin mittaustuloksiin.

## 2 Mobiiliverkkotekniikat

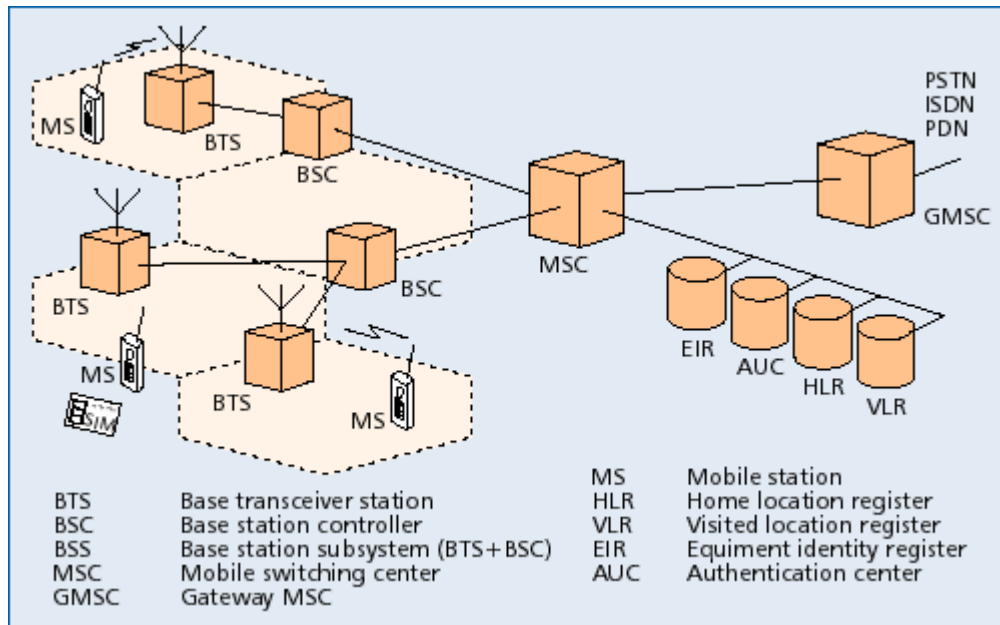
### 2.1 2G

Toisen sukupolven matkapuhelinjärjestelmät ovat digitaalisia toisin kuin ensimmäisen sukupolven järjestelmät. Suomen ensimmäinen GSM-toimilupa myönnettiin Radiolinjalle 1.10.1990. GSM-verkot käyttivät aluksi pelkästään 900 MHz:n taajuutta, mutta käyttäjämäärien kasvaessa otettiin käyttöön myös 1800 MHz:n taajuudet. 1800 MHz:n taajuus ei lyhyemmän aallonpituuden vuoksi kantanut yhtä pitkälle kuin 900 MHz:n taajuus, joten sitä käytettiin lähinnä kaupungeissa paikkaamassa 900 MHz:n ruuhkautunutta verkkoa. 90-luvun alussa esitelty GSM standardi ei alkuun sisältänyt datayhteyksiä, vaan ne kehitettiin vasta myöhemmin. Aluksi yhteydet olivat piirikytkentäisiä ja myöhemmin siirryttiin pakettikytkentäisiin menetelmiin. Näitä niin sanottuja 2.5G-laajennuksia ovat vielä nykyäänkin käytössä olevat GPRS ja EDGE. GPRS-palvelu otettiin Suomessa käyttöön vuoden 2001 aikana. [1.]

3G-puhelinten yleistyessä jäävät GSM-verkot vähemmälle käytölle, ja teleoperaattoreiden kustannukset ovat kahden rinnakkaisen verkon vuoksi liian suuret. Tämän takia GSM-verkkoja ollaan pikkuhiljaa lopettamassa. 2G-verkon käytössä olleella 900 MHz:n taajuuskaistalla on mahdollista kattaa koko maa 3G-verkolla. [2.]

GSM-tekniikalla tiedonsiirto onnistuu nopeimmillaan 9,6 kb/s nopeudella. Tätä tekniikkaa käytettiin lähinnä WAP:in kanssa. [5.]





Kuva 1. GSM-verkon arkkitehtuuri [5.]

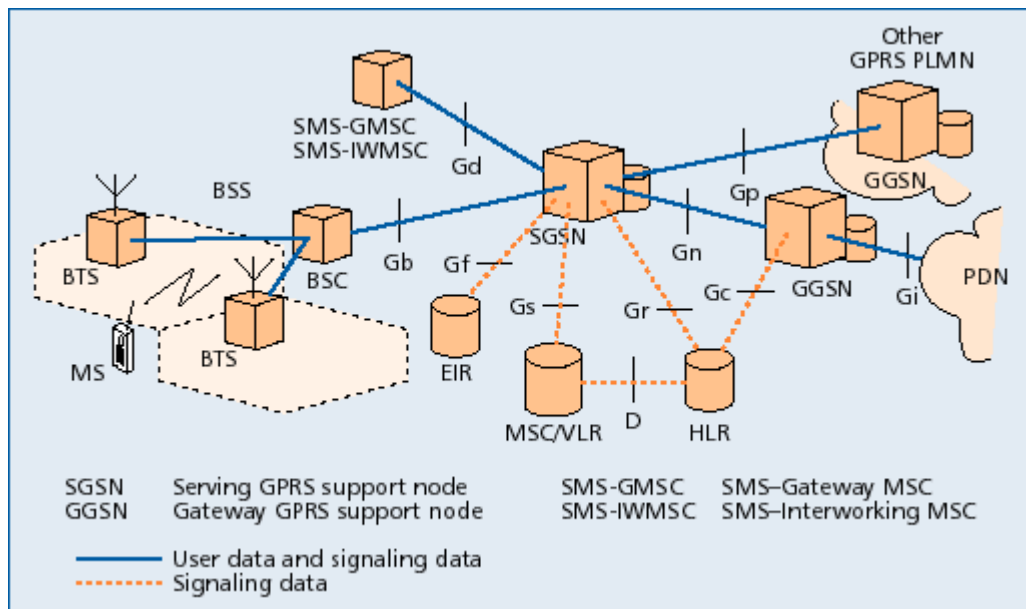
Kuvassa 1 esitelty GSM-verkon arkkitehtuuri koostuu

- mobiililaitteista MS
- tukiasemista BTS
- tukiasemaohjaimista BSC, joista jokainen kontrolloi useaa solua
- matkapuhelinkeskuksista MSC, joista liikenne ohjataan toiseen matkapuhelimeen tai lankaverkkoon PSTN
- kotirekisteristä HLR, joka sisältää käyttäjien tietoja
- vierasrekisteristä VLR, joka tietää millä LA alueella käyttäjä on. [5.]

### 2.1.1 GPRS

GPRS-lyhenne tulee sanoista General Packet Radio Service. Matkapuhelinverkon kattavuus on Suomessa niin hyvä, että GPRS-yhteydellä verkkoon pääsee lähes mistä vain. Nopeudet GPRS-verkossa riittävät kevyeen käyttöön kuten uutisten lukemiseen, sähköpostin käyttöön ja pankkiasiointiin. GPRS-verkon teoreettinen latausnopeus on 114 kb/s, mutta todellinen nopeus jää noin 30-40 kb/s tasolle. Viive on myös hyvin suuri, eli noin 600-800 ms. [4.]

GPRS-tekniikan merkittävin ero aikaisempiin tekniikoihin verrattuna on ip-pakettipohjaisuus. Tämän takia käytöstä veloitetaan siirretyn datamäärän mukaan tai sitten peritään kiinteä kuukausimaksu, toisin kuin vanhemmissa tekniikoissa, joissa veloitus tapahtui käytetyn ajan perusteella. Myös yhteyden tiedonsiirtonopeus on merkittävästi nopeampi. GPRS-verkon arkkitehtuuri on esitelty kuvassa 2. [4.]



Kuva 2. GPRS-verkon arkkitehtuuri [5.]

Piirikytkentäinen GSM-verkko vaatii toimiakseen pakettikytkentäisen GPRS-tekniikan lisäksi SGSN- ja GGSN-uudistukset. SGSN:n tehtäviä ovat datapakettien siirto matkapuhelimiin palvelualueensa sisällä, pakettien reititys ja siirto, liikkuvuuden hallinta, linkkien looginen hallinta ja autentikointi- ja laskutustoiminnot. GGSN:n tehtävänä on toimia GPRS:n ytimen ja dataverkon välillä muuntaen SGSN:ltä tulevat GPRS-paketit sopivaan formaattiin ja lähettää ne dataverkkoon. GGSN muuttaa toisesta suunnasta tulevan paketin osoitetiedon GSM-osoitteeksi ja toimittaa sen SGSN:lle. [5.]

### 2.1.2 EDGE

EDGE eli Enhanced Data rates for GSM Evolution on pakettikytkentäinen tiedonsiirto-tekniikka joka perustuu GPRS-tekniikkaan. EDGE tunnetaan myös nimellä EGPRS ja joissain yhteyksissä siihen viitataan termillä 2.5G. EDGE on laajennus, joka toimii vanhoissa GSM-tukiasemissa, mutta päätelaitteet pitää uusia. Ensimmäisen kerran kaupalliseen käyttöön EDGE otettiin Yhdysvalloissa vuonna 2003. Nykyään EDGE on käy-

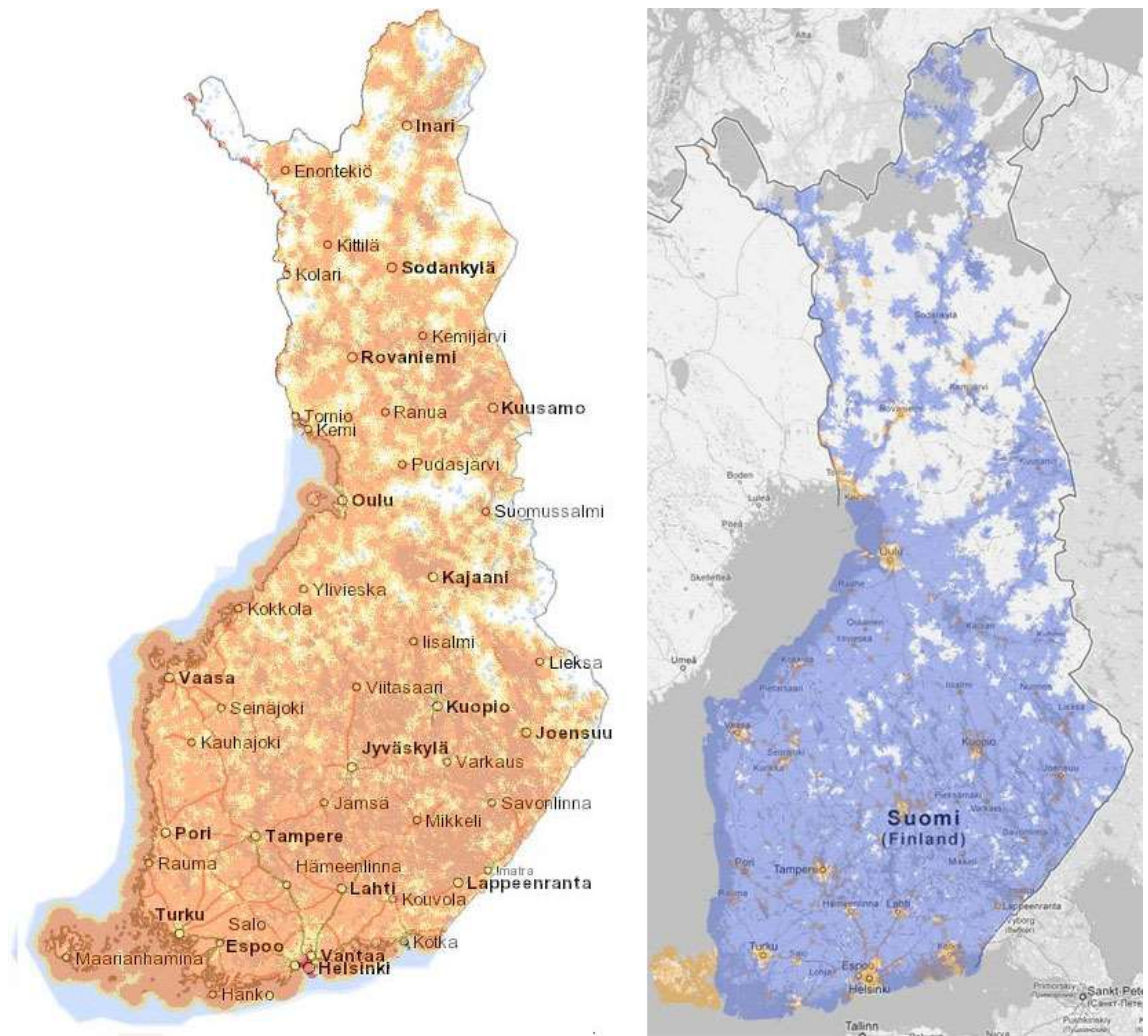
tössä laajalti ympäri maailmaa, mutta kehittyneempien verkkojen yleistyessä vähenee EDGE-verkon käyttö koko ajan. Sille on kuitenkin pitkäksi aikaa käyttöä suurilla alueilla taajaman ulkopuolella, jossa 3G-verkko ei toimi. [3.]

EDGE-verkon nopeus on teoreettisesti 236,8 kb/s neljää aikapaikkaa käyttäen ja 473,6 kb/s kahdeksalla aikapaikalla. Käytännön latausnopeudet ovat 200 kb/s molemmin puolin ja lähetysnopeudet keskimäärin 100-160 kb/s. EDGE-verkossa viive on keskimäärin 400-600 ms. [3.]

## 2.2 3G

Ensimmäiset kolmannen sukupolven käytännön toteutukset otettiin Suomessa käyttöön jo 2000-luvun alussa, mutta kaupalliseen käyttöön palvelut tulivat vasta vuoden 2004 aikana. Seuraava askel kehityksessä oli UMTS ja laajakaistaisen hajaspektritekniikan eli WCDMA:n avulla saadaan paljon suurempia nopeuksia kuin GSM-tekniikoilla. WCDMA eli laajakaistainen koodijakotekniikka on pitkään käytössä ollut tekniikka mm. sotilassovelluksissa häiriönsietokyvyn ja lähetteen sisällön kätkevävyyden takia. Nykyään CDMA-tekniikoita käytetään kaupallisissa matkaviestinjärjestelmissä. [18, s. 51.]

Kuvassa 3 näkyvät Suomen 3G-verkon peittoalueet Soneran ja Elisan verkoissa tällä hetkellä. Verkko peittää melkein koko Suomen, mutta katvealueita löytyy ihan eteläisimmistäkin osista. Pohjois-Suomessa katvealueita on huomattavan paljon. [7; 8.]



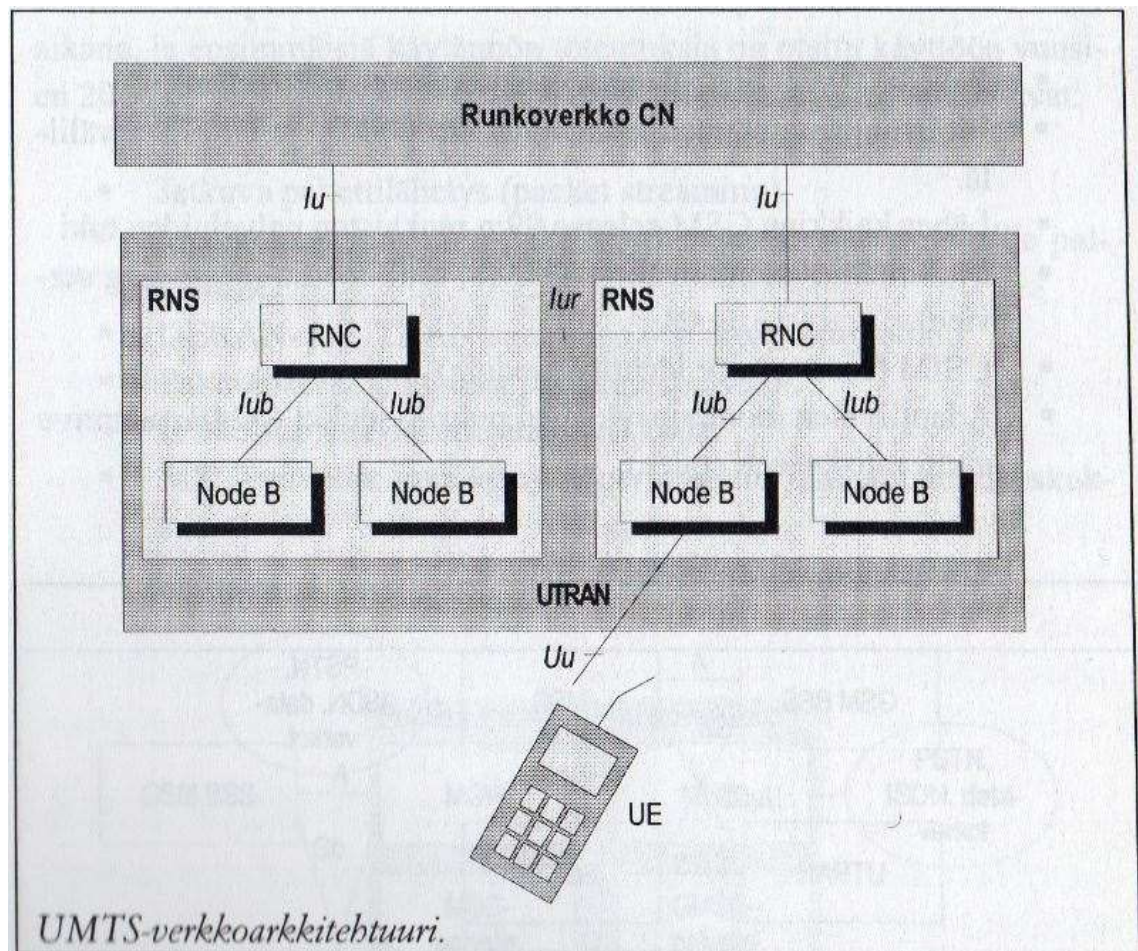
Kuva 3. 3G-verkon kuuluvuus Soneran ja Elisan verkoissa 20.3.2013 [7; 8.]

### 2.2.1 UMTS

Perustekniikan rajoitukset GSM-verkossa ja jatkuvasti kehittyvät sovellukset ovat syynä kolmannen sukupolven nopeampiin verkkoihin siirtymiseen. UMTS eli Universal Mobile Telecommunications System on kolmannen sukupolven edustaja, joka on yleistynyt Suomessa ja monissa muissakin maissa. [18. s. 64.]

Kuvassa 4 esitellään UMTS-verkon arkkitehtuuria, joka koostuu radiojärjestelmästä (RNS) ja runkoverkosta (CN), jotka yhdistävät lu-rajapinta. Päätelitteet (UE) ovat yhteydessä radiojärjestelmään radiatorajapinnan (Uu) kautta. UMTS-verkon elementtejä ohjataan ja valvotaan käytönhallintajärjestelmän kautta. Radioliityntäverkko eli UTRAN koostuu tukiasemista (Node B) ja radioverkko-ohjaimista (RNC). Tukiaseman ja radioverkko-ohjaimen välinen rajapinta on nimeltään Iub. [18. s. 64.]





Kuva 4. UMTS-arkkitehtuuri [18. s. 65.]

Radioverkon (RAN) ja runkoverkon yhdistää Iu-rajapinta. Runkoverkko koostuu yksinkertaisimmillaan matkapuhelinkeskuksista ja GPRS-verkoista. [18. s. 65.]

UMTS eroaa GSM-verkosta olemalla hierarkinen eikä yksitasoinen niin kuin GSM. UMTS tasot ovat:

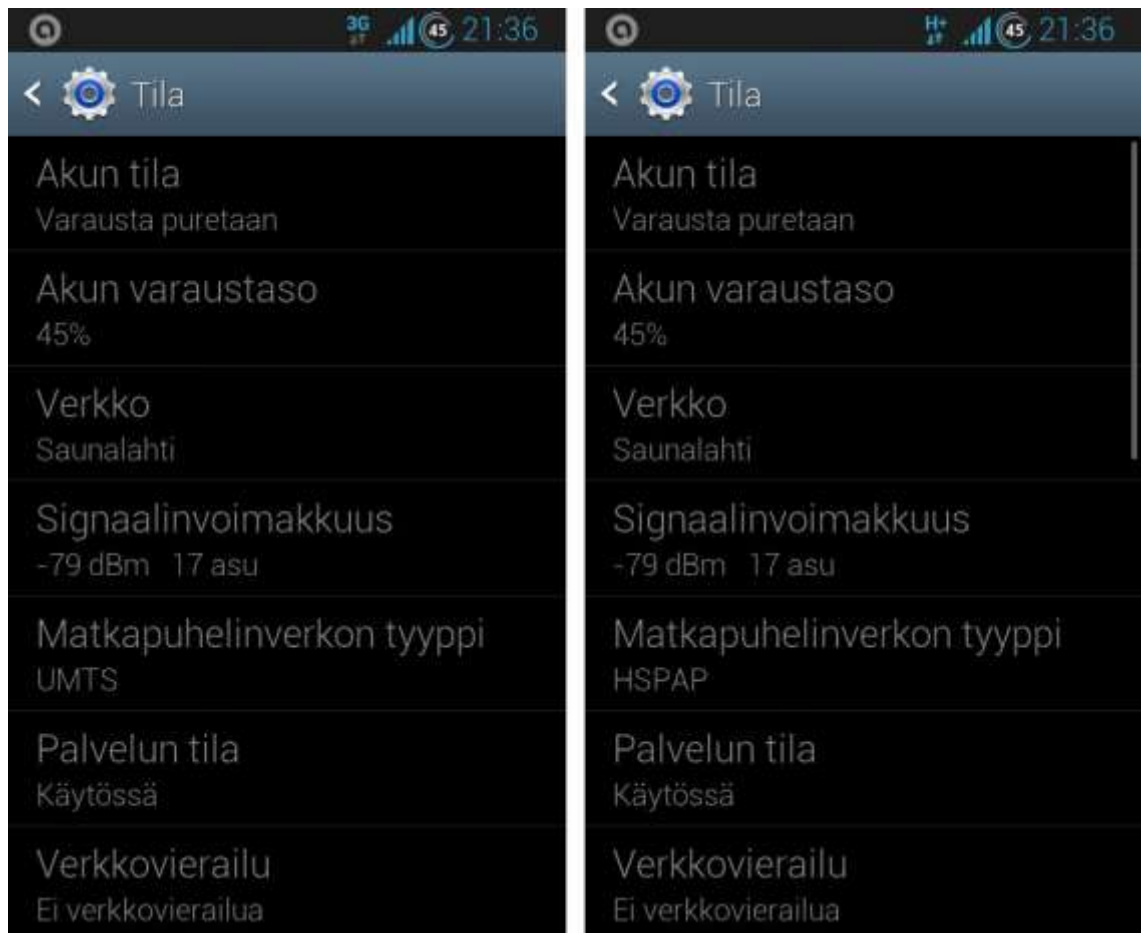
- kotisolu
- pikosolu
- mikrosolu
- makrosolu
- globaali satelliittijärjestelmä. [14.]

Tietoturva UMTS-verkossa on hyvin paljon GSM-verkon kaltainen. Suurimpana erona GSM-verkkoon voi UMTS-verkossa päätelaite autentikoida myös verkon, eikä vain toisin päin. UMTS-verkko käyttää Suomessa ja muualla Euroopassa taajuuksia 900 MHz ja 2100 MHz. Elisa on avannut maailman ensimmäisen 900 Mhz UMTS-verkon Suomessa vuonna 2007. [14.]

Latausnopeus UMTS-verkossa ilman laajennuksia on vain 384 kb/s teoriassa, ja käytännössä nopeudet jäävät vain noin 100-250 kb/s paikkeille. Laajennuksien kanssa nopeudet voivat teoriassa olla jopa 21 Mb/s. WCDMA tekniikkaan perustuvalla UMTS:llä on paljon laajennuksia, kuten HSPA-tekniikan HSDPA ja HSUPA, joista on kerrottu enemmän seuraavassa luvussa. [14.]

## 2.2.2 HSPA

HSPA eli High Speed Packet Access on nimitys lataus- ja lähetystekniikoille, joilla saatiin lisää siirtonopeutta ja kapasiteettia UMTS-verkkoon. HSPA-nopeudet ovat maksimissaan 14,4 Mbps lataus-suunnassa ja 5,76 Mbps lähetyks-suunnassa. HSPA ei ole päätelaitteissa päällä koko ajan, vaan laajennus lähtee päälle vasta tiedonsiirron alettua ja sammuu, kun tiedonsiirto loppuu. Kuvassa 5 näkyy, miten HSPA käytännössä toimii. Signaalin voimakkuus pysyy samana UMTS- ja HSPA-verkoissa, koska ovat käytännössä yhtä ja samaa verkkoa. Kuvan 5 vasemmassa laidassa oleva kuvankaappaus on otettu ennen tiedonsiirron aloitusta ja oikeassa laidassa oleva tiedonsiirron aikana. Kuvassa puhelin toimii tiedonsiirtohetkellä HSPA+-verkossa, jota kutsutaan myös lyhenteellä HSPAP.



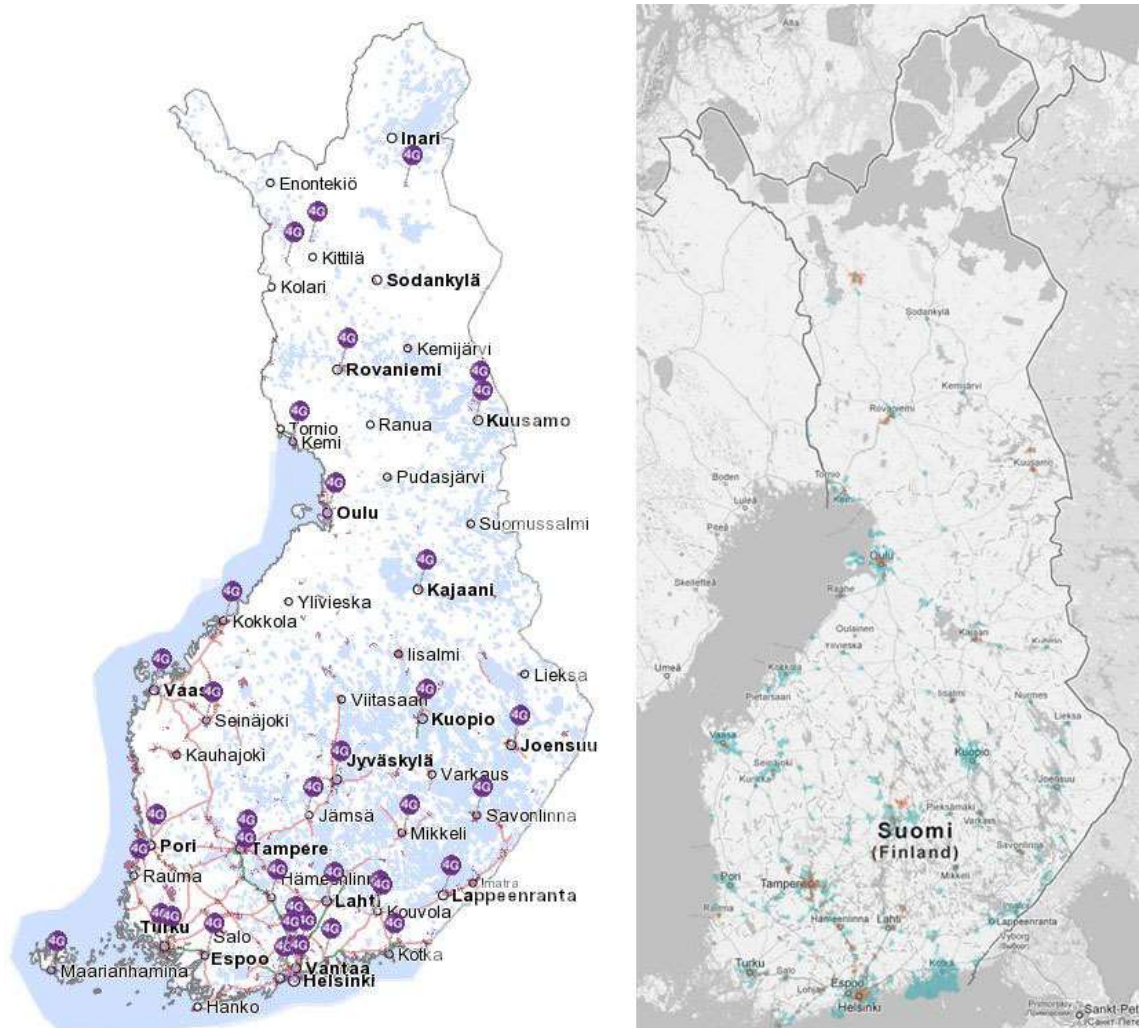
Kuva 5. Kuvankaappaus Android-puhelimesta

HSDPA eli High Speed Down Load Packet Access tuo uusia kuljetuskanavia ja fyysisiä kanavia. HSDPA:n HS-DSCH-kanavalla ei ole muuttuvaa levityskerrointa silloin, kun HSDPA on käytössä. HSDPA:n myötä käytetään nopeaa liikenteen ajoitusta, koska palvelussa lisätään spektritehokkuutta nopeammalla reagoinnilla käyttöolosuhteiden muutoksiin. Tilaajalaitteelta saamien laatu- ja kapasiteettitietojen perusteella tukiasema tekee ajoitus- ja kapasiteettipäätökset. HSUPA eli High Speed Up Load Packet Access tuo myös muutamia uusia kanavia. [12;13.]

HSPA+, HSPAP tai Evolved HSPA nostaa entisestään UMTS-verkon nopeutta. HSPA+ latausnopeudet ovat Suomessa maksimissaan 21 Mbps, mutta sillä on mahdollista teoreettisesti saavuttaa jopa 168 Mbps latausnopeus hyödyntäen MIMO- tai DC-HSPA-tekniikkaa. [12;13.]

## 2.3 4G

Neljännän sukupolven matkapuhelintekniikoiksi Suomessa kutsutaan LTE- ja DC-HSPA-tekniikoita. Ne kuitenkin perustuvat 3G-perustekniikkaan, mutta määritelmiä alennettaessa niitä alettiin kutsua 4G-tekniikoiksi. 4G-verkkoja alettiin Suomessa avata 2010 vuoden loppupuolelta alkaen. Nykyään 4G-verkko kattaa lähinnä suurimpien kaupunkien keskustat ja joitain satunnaisia alueita taajaman ulkopuoleltakin (kuva 6). 4G-verkoissa tiedonsiirtonopeus on moninkertainen 3G-verkkoihin verrattuna. Vastaanottonopeus vaihtelee yleisesti 10-100 Mbit/s ja lähetysnopeus 5-20 Mbit/s välillä. Varsinkin LTE-tekniikalla vasteaika on huomattavasti pienempi kuin 3G ja DC-HSPA tekniikoilla. Suomessa 4G-verkko käyttää taajuuksia 1800 MHz ja 2600 MHz. [6.]



Kuva 6. 4G-verkon kuuluuusalueet Soneran ja Elisan verkoissa 20.3.2013. [7;8.]



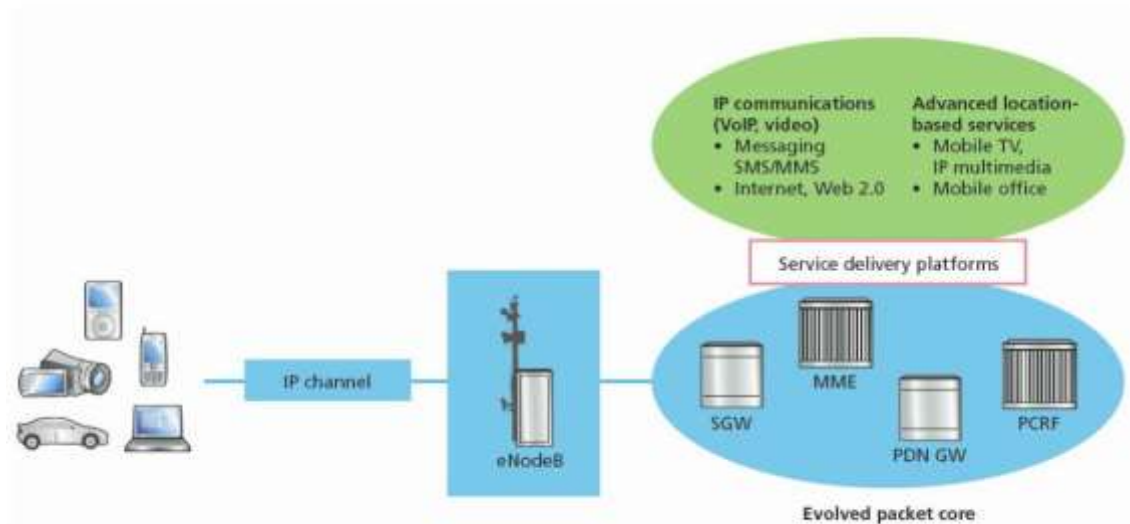
### 2.3.1 LTE

LTE eli Long Term Evolution on täysin pakettikytkentäinen verkkotekniikka, jolla mahdollistetaan jopa HSPA+-tekniikkaa nopeampi tiedonsiirto. Vaikka HSPA on hallitseva tekniikka vielä pitkään, niin LTE-verkot yleistyvät koko ajan. LTE:n tavoitteena on tarjota erittäin korkean suorituskyvyn radioyhteysteknologiaa, jota pystyy käyttämään myös nopeasti liikkuvissa ajoneuvoissa ja aikaisempien tekniikoiden rinnalla. Skaalautuvan kaistanleveyden takia operaattoreiden on helppo siirtyä HSPA-tekniikasta LTE-tekniikkaan. [9.]

Ensimmäiset kaupalliset LTE-verkot avattiin Norjassa ja Ruotsissa TeliaSoneran toimesta joulukuussa 2009. Vuoden 2012 marraskuussa oli kaupallisia LTE-verkkoja jo 117. Useimmat johtavat operaattorit, laite- ja infrastruktuurivalmistajat ja sisällöntuottajat tukevat LTE-teknologiaa. LTE on siis varmasti merkittävä teknologia nyt ja tulevaisuudessa. [9.]

LTE on ensimmäinen tekniikka, jossa radioliikenne eri suuntiin on toteutettu eri radiotekniikalla. Tukiasemasta päätelaitteeseen tapahtuva siirto toteutetaan OFDM-tekniikalla. Päätelaitteesta tukiasemaan päin, siirto toteutetaan SC-FDMA-tekniikalla. Tukiasemasta päätelaitteeseen data kulkee useita radioteitä pitkin hyödyntäen MIMO-tekniikkaa. [9.]

Koska LTE on täysin pakettikytkentäinen IP-verkko, ja puhelut GSM- ja 3G-verkoissa ovat piirikytkentäisiä, niin äänensiirtoon tarvittavaa kaistanleveyttä ja viivevaatimuksia ei voida täyttää datasiirtoon suunnatussa LTE-verkossa. Korkean tason VoIP-protokollaa käyttävät ohjelmat, kuten Skype ja GoogleTalk, olisivat käyttökelpoisia, mutta operaattorit, jotka saavat suuria tuloja äänipuheluista, eivät tästä innostu. On myös muita ratkaisuja, kuten VoLTE eli Voice-over-LTE-ratkaisu, joka tarvitsee IMS-palveluarkkitehtuurin toimiakseen operaattorien piirikytkentäisissä verkoissa. Muissa ratkaisuissa puhelin siirtyy käyttämään piirikytkentäistä verkkoa tai käyttää molempia verkkoja yhtä aikaa. Esimerkiksi Samsung Galaxy S3-puhelimessa on kaksi radiatoratkaisua: toinen siirtää dataa LTE-verkossa samaan aikaan, kun toinen siirtää ääntä toisen antennin kautta 3G-verkossa. Puhelimia ja verkkoa kehitetään parhaillaan tukemaan samanaikaista datan ja äänen siirtoa. [10.]



Kuva 7. LTE-arkkitehtuuri [11]

LTE-tekniikan uudistunut runkoverkko-osa Evolved packet coressa ovat seuraavat osat:

- Serving Gateway huolehtii mm. käyttäjätiedon välittämisestä ENodeB:ltä EPC:lle
- Mobility Management Entity on verkon kontrollielementti ja se suorittaa ohjaus- ja signaalintehkeitä
- Packet Data Network Gateway mahdollistaa yhteyden käyttäjän ja ulkoisen pakettidataverkon kanssa
- Policy ja Charging Rules Functiona huolehtii laskutuksen kontrolloinnista. (kuva 7) [11.]

### 2.3.2 DC-HSPA

Release 8 mukana tullut Dual Cell tai Dual Carrier on HSPA-verkosta kehitetty versio, joka toimii yhdistämällä kantoaaltoja. DC-HSDPA-verkko toimii teoriassa maksimissaan 42 Mbit/s latausnopeudella. Yhteys siis käyttää kahta 5 MHz:n kaistaa yhden sijasta, ja nopeus on teoreettisesti kaksinkertainen. Tämä lisää yhteyden nopeutta, mutta kuormittaa enemmän verkkoa. Yhteys toimii paremmin alueilla, missä ei voida hyödyntää MIMO:a. Release 9 tuo DC-HSUPA-tekniikan ja mahdollistaa MIMO-tekniikan. [12.]

DC-HSPA-tekniikkaa kutsutaan nykyään 4G-tekniikaksi, vaikka se ei alun perin sitä ollut. DC-HSPA on vain perus-3G-verkon tekniikkaan ja sen laajennuksiin perustuva tekniikka. Nykyään Suomessa ja muuallakin on luvallista myydä 4G-tekniikkana DC-HSPA-yhteyksiä.

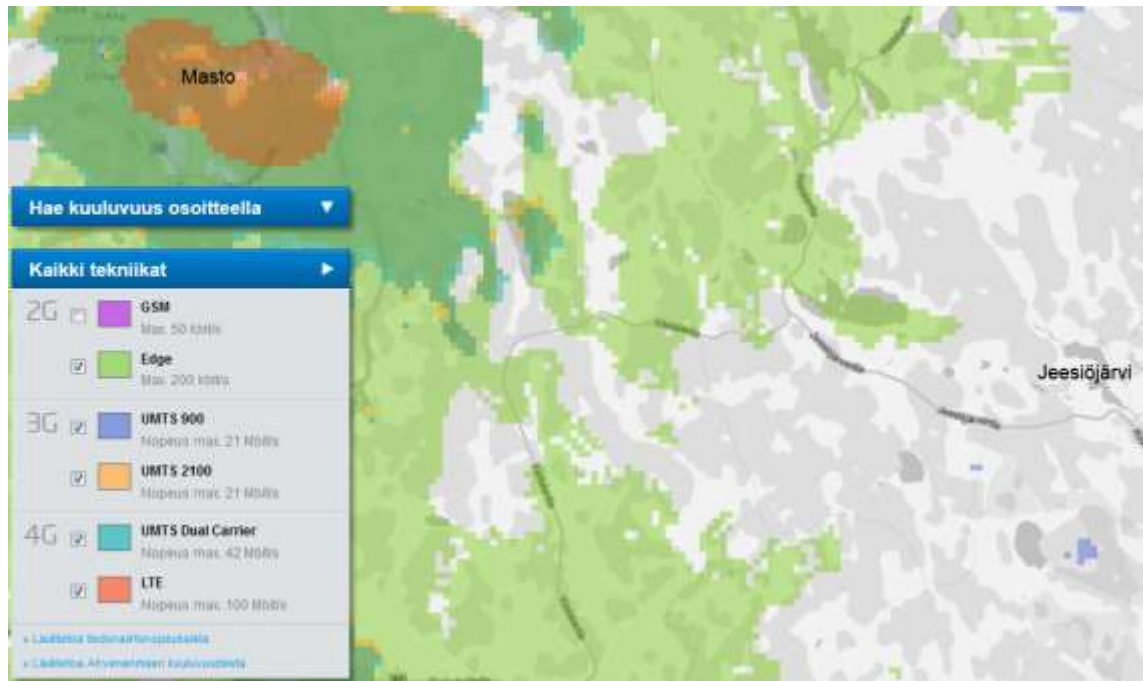


Kuva 8. D-Link 4G-reititin [17.]

DC-HSPA- ja LTE-tekniikkaa hyödyntävissä laitteissa on kaksi antennia, kuten kuvassa 8 näkyvässä D-Link-reitittimessä. Antennien tilalle on mahdollista laittaa myös johdon päässä olevat ulkoantennit.

### 3 Alkutilanne

Lähtökohta on loma-asunto Kittilässä, lähellä Jeesiöjärven kylää. Kaukaisen sijainnin johdosta asunnossa sisällä ei ole mahdollista käyttää mobiililaajakaistaa, eikä edes puhua kunnolla matkapuhelimessa. Puhelu on mahdollista yhden ikkunan edessä, mutta yhteys katkeaa satunnaisesti. Pihalla puhuminen jotenkin onnistuu ja ulkona oleva valvontakamera toimii 10 cm ympärisäteilevällä antennilla GPRS-yhteyden välityksellä välttävästi. Kuuluvuuskartan (kuva 9) mukaan alueella on vain GSM-verkon peitto ja sekin hyvin reikäinen.



Kuva 9. Kuvankaappaus Elisan kuuluvuuskartasta [7.]

Lähin mobiiliverkon antennimasto löytyy Levi-tunturin huipulta, noin 21km:n päästä asunnosta. Antenni on noin 530 m:n korkeudella merenpinnasta. Masto lähettää GSM-, EDGE-, UMTS 2100- ja LTE-taajuuksia. 3G-verkon peittoalueen reunaan on asunnolta matkaa noin 11 km ja EDGE-verkon reunaan noin 2 km.

Toinen antennimasto löytyy juuri vastakkaisesta suunnasta noin 28 km:n päästä, läheltä Tepsan kylää. Tämä masto puolestaan lähettää vain UMTS 900 -taajuutta GSM:n lisäksi. 3G-verkon peittoalueen reunaan tulee matkaa asunnolta noin 13 km.

Levi eli Levitunturi sijaitsee Kittilän kunnassa, Sirkan kylässä. Levi on Suomen suurimpia matkailukeskuksia. Levillä järjestetään vuosittain mm. alppihiihdon maailmancupin osakilpailu. Levitunturin huippu on 531 metrin korkeudella merenpinnasta. Matkailu Levillä on painottunut talveen ja talviurheiluun, mutta kesäkaudelle yritetään jatkuvasti saada lisää matkailijoita ja kehittää kesän palveluita. Levillä on tuhansia loma-asuntoja ja keskusvuokraamon kautta on vuokrattavissa 24 000 vuodepaikkaa. [15.]

Tepsan kylä sijaitsee myös Kittilän kunnan alueella, noin 36 km kirkonkylältä itään päin, Sodankyläntien varressa. Tepsan asukasluku on noin 85. Jeesiöjärvi, jonka lähellä työn pääkohteena oleva loma-asunto on, sijaitsee noin 36 km:n päässä Kittilän kirkonkylältä. Jeesiöjärvellä on asukkaita noin 45. [16.]

## 4 Laitteisto

Tässä luvussa on esitelty mittauksissa käytettävät laitteet. Mittauksissa käytetään erilaisia päätelaitteita, antennoja ja oheistarvikkeita.

### 4.1 Päätelaitteet

Päätelaitteina toimii Samsung Galaxy S2-matkapuhelin ja kannettava tietokone Windows XP-käyttöjärjestelmällä. Pääosassa on puhelin, koska sillä voi sekä puhua että käyttää mobiililaajakaistaa. Puhelin on myös hyvä antennien suuntauksessa, koska siitä näkee signaalin voimakkuuden selkeästi, ja se on helppo kantaa mukanaan kotoille.

Kuvassa 10 näkyy Samsungin takakuoren alta löytyvä antenniliitin, mihin voi kytkeä lisäantennin. Samsung ei itse myy antennipaikkaan sopivia kaapeleita, eikä edes internetsivuillaan mainitse mitään tästä liittimestä. Liitin kuitenkin toimii ja sopivia piuhoja saa ostettua ulkomaisista nettikaupoista. Johto tilattiin australialaisesta nettikaupasta ja hintaa tuli postikuluineen 23 euroa. Johdon toisessa päässä on FME-uroslitin.



Kuva 10. Samsung Galaxy S2-antenniliitin ja antennijohto.

Kannettavan tietokoneen kanssa käytettiin Huawei E220 makkuloita. Huawei E220 on ensimmäisiä 3G-modeemeja, joita Suomessa on myyty mobiiliverkon käyttöön. Mokkulaissa ei ole lisäantenniliitintä eikä laite muutenkaan enää pärjää vertailussa uudempien kanssa. Syy kyseisen laitteen käyttöön oli se, että niitä oli valmiiksi ylimääräisinä.

Koska 3G-modeemissa ei ole antenniliitintä valmiina, niin toisen 3G-modeemin oma sisäinen antenni korvattiin juottamalla liittimiin pätkä johtoa, jonka päässä on antennin liittämiseen soveltuva SMA-naarasliitin.

#### 4.2 Antennit

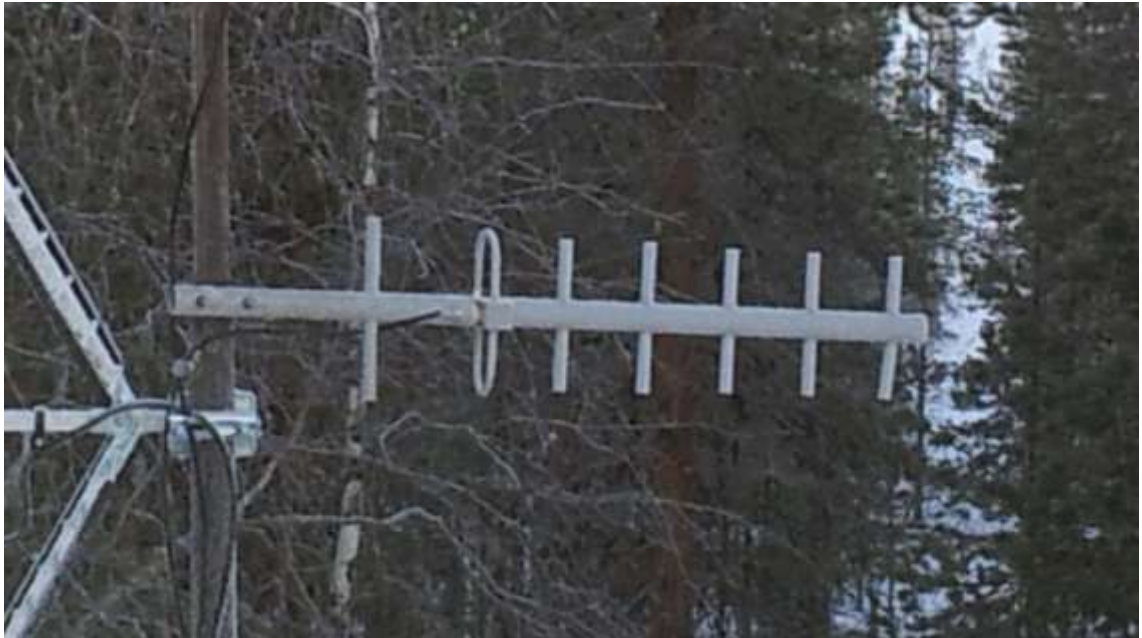
Antenniksi valikoitui Poynting LPDA-A0092 suunta-antenni (kuva 11). Antenni tukee taajuuksia 694-1000 MHz ja 1500-3000 MHz, eli kaikki Suomessa käytössä olevat mobiiliverkon taajuudet mahtuvat haarukkaan. Antenni toimii siis myös uudessa 4G-verkossa. Suomessa 4G LTE-verkko käyttää 800, 1800 ja 2600 MHz:n taajuuksia. Tämä ominaisuus vaikutti antennin valintaan siltä osin, että antennia pystyy myös käyttämään pitkälle tulevaisuuteen 4G-verkkojen yleistyessä. Tietylle taajuudelle tehty antenni toimisi varmasti paremmin, mutta kohteessa, johon antenni tulee, tarvitaan useampaa taajuutta.



Kuva 11. Poynting LPDA-A0092-antenni, kiinnitystarvikkeet ja 7 m:n kaapeli.

Valmistaja lupaa antennille 11 dBi:n vahvistuksen 7 metrin kaapelilla. Kaapeli on matalahäviöistä ja päässä on SMA-uroslitin. Antennin pitäisi kestää myös hyvin pohjoisia olosuhteita, toimintalämpötilaksi annetaan -40 astetta, tuulen kestävyyttä 44 m/s ja IP65-luokitus löytyy. Pituus on 110 cm ja painoa noin 1,3 kg.

Toisena antennina toimii vanha, GSM-verkkoon tarkoitettu suunta-antenni (kuva 12). Antennissa on 10 m kaapeli ja päässä FME-uroslitin.



Kuva 12. Vanha GSM-verkon antenni

Antenni on aikoinaan ostettu toiselle loma-asunnolle kännykkään puhumisen mahdollistamiseksi, mutta jäi siellä tarpeettomaksi, kun alueelle tuli kaivostoimintaa, minkä johdosta kuuluvuutta parannettiin merkittävästi. Antennista itsestään ei löytynyt mitäänlaisia teknisiä tietoja, ja antenni on myös sen verran vanha, että internetistäkään ei tietoja löytynyt. Antennin iästä ja muista vastaavan näköisistä antenneista voi päätellä antennin olevan taajuudeltaan noin 900 MHz.

## 5 Asennus ja suuntaus

Antenneja varten asennettiin rakennuksen pätyyn rautatanko (kuva 13). Tangon pää on korkeimmillaan noin 1,5 m rakennuksen harjan yli. Rakennus sijaitsee melko korkealla paikalla muuhun maastoon nähden, joten tangon ei tarvinnut olla kovin pitkä. Myös



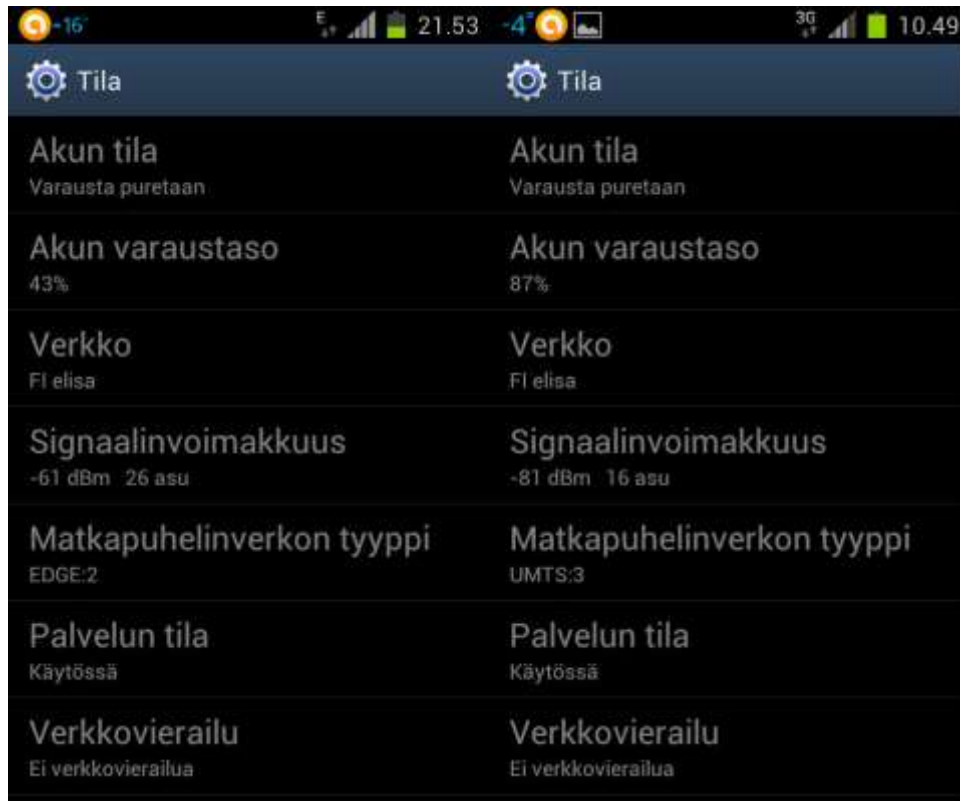
kaapelin 7 metrin pituus rajoitti asennusta. Tanko asennettiin paikkaan, josta on lyhin matka viedä kaapeli sisälle sellaiseen kohtaan, missä puhelinta tai tietokonetta käytetään. Samaan tankoon asennettiin myös tv-antenni. Tv-antenni ei häirinnyt signaalia huomattavasti, vaikka olisi ollut ihan kiinni matkapuhelinantennissa.



Kuva 13. Antennit asennettuina katolle

Antennien suuntauksessa käytettiin apuna puhelinta. Puhelimesta näkee kuvan 14 mukaisesti signaalin voimakkuuden desibeleinä suhteessa milliwattiin eli dBm. Myös asu-arvo on näkyvillä. Puhelin pakotettiin 3G-verkkoon, ettei voimakkaampi 2G-verkko häiritse suuntausta. Antennia käännettiin vähän kerrallaan ja puhelimesta katsottiin signaalin voimakkuutta.





Kuva 14. Kuvankaappauksia Android-puhelimesta

Antennin suurin piirtein suuntaaminen Leville oli helppoa, koska tunturin huippu oli kirkkaalla ilmalla silmin nähtävillä (kuva 15). Tarkemmassa suuntauksessa ilmeni, että paras signaalin voimakkuus ei ollut suoraan kohti mastoa suunnattuna, vaan hieman siitä ohi. Signaali oli vahvimmillaan -81 dBm 3G-verkossa. Vertailuksi Vantaalla rakennuksen sisällä ilman ulkoista antennia signaalin voimakkuus on -85 dBm.



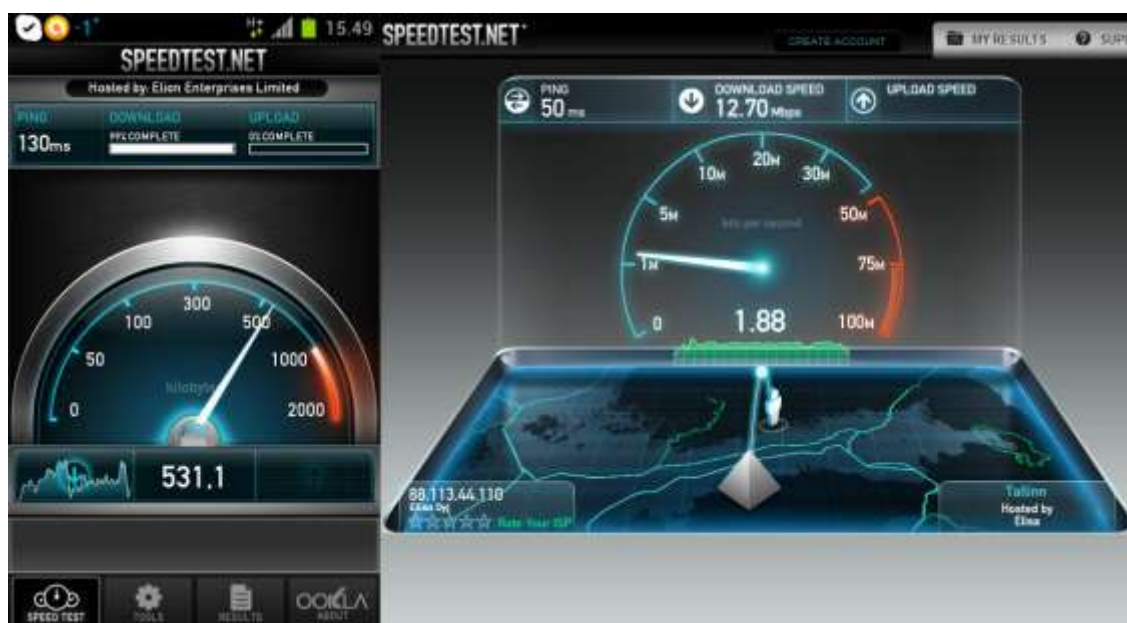
Kuva 15. Antennimasto Levi-tunturin huipulla

Tepsan mastoa kohti suunnattaessa käytettiin apuna karttaa. Tepsan suuntaan edessä oli kaksi korkeaa vaaraa noin kilometrin päässä asunnosta. Signaali löytyi kuitenkin vaarojen väliin suunnattaessa. Signaalin voimakkuus oli vahvimmillaan  $-91$  dBm 3G-verkossa.

Muista suunnista ei 3G-verkon signaalia löytynyt. 2G-verkko toimi puolestaan joka suunnasta, mutta vahvimmillaan signaali oli kuitenkin samoissa suunnissa kuin 3G-verkkokin.

## 6 Mittaukset

Mittaukset tehtiin speedtest.net-verkkopalvelussa ja speedtest.net-mobiilisovelluksella (kuva 16). Speedtest.net-verkkopalvelu mittaa yhteyden viiveen, lataus- ja lähetysnopeuden. Nämä mittaukset ovat oleellisinta tietoa tässä työssä, eikä muuta tietoa tarvita.



Kuva 16. Speedtest.net mobiili- ja verkkosovellus

Mittaustuloksissa lataus- ja lähetyksenopeus ilmoitetaan muodossa kt/s eli kilotavua sekunnissa. Viive eli ping ilmoitetaan millisekunteina. Mobiiliverkon nopeus vaihtelee käyttäjämäärän mukaan ja saattaa lyhyelläkin aikavälillä vaihdella reilusti. Tämän vuoksi mittauksia tehtiin aina viisi peräkkäin ja laskettiin niistä keskiarvot. Tekstissä kerrotut nopeudet ovat näitä keskiarvoja.

### 6.1 EDGE-verkko

Ensimmäiset mittaukset tehtiin vanhalla antennilla EDGE-verkossa. Leville päin suunnattuna nopeudeksi saatiin:

- latausnopeus 25,8 kt/s
- lähetyksenopeus 14,8 kt/s
- viive 797 ms.

Tepsaan päin suunnattuna nopeudet olivat:

- latausnopeus 24,5 kt/s
- lähetyksenopeus 8,7 kt/s

- viive 942 ms.

Tepsan signaali oli heikompi kuin Leviltä tuleva, joten mittaustulos oli myös oletetusti hieman heikompi.

Uudella antennilla EDGE-verkossa tehty mittaus oli hyvin paljon samankaltainen kuin vanhalla antennilla. Leville suunnattuna tulokseksi tuli:

- latausnopeus 26,4kt/s
- lähetysnopeus 14,4kt/s
- viive 852 ms.

EDGE-verkossa ei antennien ominaisuuksilla ollut juuri mitään merkitystä. Myöskään suuntaus ei ollut kovin tarkkaa. Jonkinlaisen yhteyden sai mihin suuntaan vaan suunnattuna. Peittokartan mukaan EDGE-verkon reuna on vajaan kilometrin päässä asunnosta.

## 6.2 3G-verkko

3G-verkkoon ei vanhalla antennilla päässyt, joten kaikki 3G-mittaukset on tehty uudella antennilla. Suoraan mastoa kohti Leville suunnattuna löytyi UMTS 2100 -verkko, jonka

- latausnopeus oli 68,1 kt/s
- lähetysnopeus 194,8 kt/s
- viive 142 ms.

Signaali ei ollut vahvimmillaan suoraan mastoa kohti suunnattuna vaan hieman siitä ohi. Vahvimmalla signaalilla samoihin aikoihin tulokseksi tuli:

- latausnopeus 114,1 kt/s
- lähetysnopeus 202,3 kt/s
- viive 135 ms.

Tepsan suunnasta UMTS 900-verkko toimi nopeudella:

- latausnopeus 124,7 kt/s
- lähetysnopeus 134,9 kt/s
- viive 183 ms.

Antenni jätettiin vahvimman signaalin asentoon Leville päin. Yhteyttä käyttäessä nopeuden vaihtelun huomasi ja mittauksia päätettiin ottaa eri aikoihin yhden päivän aikana. Päivä oli normaali arkipäivä.

Taulukko 1. 3G-verkon nopeusvaihtelu päivän aikana.

Kellonaika	Latausnopeus, kt/s	Lähetysnopeus, kt/s	Viive, ms
8:40	132,2	182,8	293,2
14:45	114,1	202,3	135,0
15:30	193,4	237,2	146,6
20:00	103,6	145,3	140,4

Taulukosta 1 näkee, että yhteys on hitaimmillaan iltaisin. Tämä johtuu luultavasti suuresta käyttäjämäärästä. Myös tapahtumat ja lomaviikot vaikuttavat merkittävästi nopeuteen. Paikalliset, jotka käyttävät Leviltä tulevaa yhteyttä kertoivat, että esimerkiksi Levin maailmancupin viikonloppuna ei nettiä pystynyt käyttämään ollenkaan. Suosittuna lomailuajana kuten pääsiäisenä yhteys on erittäin hidas. Tällaisina ajankohtina antenni kannattaa varmasti suunnata Tepsaan.

### 6.3 Induktiivinen sovitin

Kuvassa 17 näkyvää induktiivistä sovitinta testattiin verrattuna suoraan liittimellä kytkettävään antennijohtoon. Induktiivinen sovitin aiheuttaa pientä signaalihäviötä. Käytössä oli Huawei E220 3G-modeemit, joista toisessa on juotettuna antenniliitin ja toista käytettiin induktiivisellä sovittimella.



Kuva 17. Huawei E220 3G-modeemit

Taulukossa 2 on esitelty vertailu identtisten 3G-modeemien välillä erilaisilla antennin liittämistavoilla.

Taulukko 2. Induktiivisen sovittimen vertailu

Huawei E220	Latausnopeus, kt/s	Lähetysnopeus, kt/s	Viive, ms
antenniliittimellä	26,6	10,2	446,0
induktiivisellä sovittimella	24,6	9,7	471,6

Nopeutta vertailtiin EDGE-verkossa. Taulukon 2 mukaan suoraan antennijohtoon kytketty moka oli hieman nopeampi kaikin puolin. Induktiivinen sovitin toimii kuitenkin paljon oletuksia paremmin ja on myös erittäin käytännöllinen, koska sopii moniin eri laitteisiin. Ilman antenniliitintä oleva matkapuhelinkin toimii myös hyvin tämän kanssa.

#### 6.4 Etäisyysmittaukset

Mittauksia tehtiin myös muista paikoista, eri etäisyyksillä ja eri korkeuseroilla. Mittauspaikoiksi valittiin erilaisia paikkoja maaston, etäisyyksien ja korkeuserojen mukaan. Tarkoituksena on selvittää etäisyyden ja korkeuseron vaikutus yhteyden toimivuuteen. Mittaukset tehtiin kiinnittämällä antenni noin 3 metrin keppiin ja ajettiin autolla eri mittauspaikkoihin ja mittaukset tehtiin puhelimella (kuva 18).



Kuva 18. Mittaus Vesmantien varressa

Mittauspaikat valittiin karkeasti ensin kartalta, ja tarkempi paikka valikoitui vasta maastossa. Mittauspaikat on esitelty kuvassa 19. Kuvasta näkee myös maaston muotoja.



Kuva 19. Mittauspaikat

Mittauspaikat 1, 2 ja 3 (kuva 19) ovat Vesmantiellä, missä oli helppo mitata, miten korkeuserot ja maaston muodot vaikuttavat signaaliin verrattuna etäisyyteen. Tie on melkein suoraan mastosta poispäin ja korkeuseroa on yli 100 m mittauspaikan 2 ja 3 välillä. Taulukossa 3 esitellään mittaustulokset kaikista etäisyysmittauksista.

Taulukko 3. Etäisyysmittauksen tulokset

Mittauspaikka	Etäisyys mastosta km	Yhteystyyppi	Latausnopeus kt/s	Lähetysnopeus kt/s	Viive ms
1	32	GPRS	4,4	3,7	1163
2	24	UMTS	1223,8	75,6	186
3	20	UMTS	357,1	74,0	200
4	22	UMTS	824,0	37,4	217
5	11	UMTS	46,7	-	721

Mittauspaikka 1 on Vesmantiellä lähellä Nilijärveä. Mittauspaikalla puhelin ei saanut yhteyttä mihinkään verkkoon ilman ulkoista antennia. Ulkoisella antennilla yhteys saa-



tiin GSM-verkkoon ja tiedonsiirto onnistui vain GPRS-nopeudella. Mittauspaikan ja antennin välissä on korkeita vaaroja, ja etäisyys antennimastoon on myös hyvin pitkä.

Mittauspaikka 2 on korkean vaaran päällä ja suoraan kohti mastoa mittauspaikasta 1. Paikasta on näköyhteys Levi-tunturille, missä masto sijaitsee. Kuuluvuusalueen reunaan on noin 13 km. Yhteys on erittäin paljon nopeampi, kuin vaaran toisella puolella, mittauspaikassa 1. Yhteys toimii 3G-verkossa noin 12 Mbit/s latausnopeudella, joka on erittäin nopea 3G-verkon nopeudeksi. Esteetön maasto korkean sijainnin takia on selvästi syy tähän nopeaan yhteyteen.

Seuraava mittaus tehtiin vaaran juurella noin 4 km lähempänä mastoa kuin mittauspaikassa 2. Mittauspaikka on metsän sisässä, mutta mitään suurempaa estettä maston ja mittauspaikan välillä ei ole. Nopeus on huomattavasti hitaampi kuin vaaran päällä, mutta ihan käyttökelpoinen. Nopeuden lasku verrattuna siihen, että ollaan kuitenkin 4 km mastoa lähempänä, on erittäin suuri.

Mittauspaikka 4 on Kiistalan kylällä, metsän sisässä ja noin 22 km päässä mastosta. Maston ja mittauspaikan välillä ei ole suurempia esteitä. Latausnopeus on 824 kt/s, lähetysnopeus 37,4 kt/s ja viive 217 ms.

Mittauspaikka 5 on vain 11 km päässä Levi-tunturista ja mastosta, mutta yhteys toimii siitä huolimatta erittäin huonosti. Latausnopeus noin 46 kt/s, mutta lähetysnopeustesti ei mennyt kertaakaan läpi. Viive oli myös korkea, noin 721 ms. Mittauspaikka on matalalla ja metsän sisässä. Kuuluvuuskartan mukaan mittauspaikasta on 3G-verkon kuuluvuusalueelle noin 1 km matka.

Etäisyysmittauksissa selvisi, että voimakkaan antennin kanssa etäisyys ei juuri ole ongelma, vaan ongelmaksi muodostuvat alavat maat, korkeat mäet ja tiheät metsät. Korkealla paikalla hyvinkin kaukana kuuluvuusalueesta on mahdollista yhteys muodostaa, mutta lähellä mastoa se voi olla mahdotonta, jos edessä on liian korkea este.

## **7 Lopputulos**

Työn päätavoite, eli internetyhteyden mahdollistaminen asunnossa, onnistui hyvin. Yhteys toimii riittävällä nopeudella käyttötarkoitukseen nähden. Pankkiasiointi, sähköpos-

tin käyttö ja muu tavanomainen käyttö, kuten uutisten luku ja säätietojen katselu onnistuu helposti ja nopeasti. Lisäksi puheluissa ollut katkeamisongelma on mahdollista välttää käyttämällä antennia puhelun aikana. Nämä parannukset lisäävät asunnon viihtyvyyttä ja turvallisuutta merkittävästi.

Työn alussa saavutettu tieto verkkotekniikoista auttoi varsinaisen työn tekemisessä. Suurin hyöty tiedoista oli antennin hankinnassa, koska tiesi, mitä taajuuksia mikäkin yhteystyyppi käyttää. Mittauksissa oli myös hyvä tietää käytännön maksiminopeudet ja signaalien voimakkuudet.

Jos mittauksiin olisi ollut reilusti aikaa käytettävissä, olisi voinut tutkia lisäksi erilaisten säätilojen vaikutusta signaalin voimakkuuteen ja tiedonsiirtonopeuksiin. Koska maston ja antennin etäisyys toisistaan on pitkä, säätila varmasti vaikuttaa mittaustulokseen.

## Lähteet

- 1 Wikipedian verkkosivut [verkkodokumentti] Saatavissa:  
[http://fi.wikipedia.org/wiki/Global\\_System\\_for\\_Mobile\\_Communications](http://fi.wikipedia.org/wiki/Global_System_for_Mobile_Communications) Luettu 10.01.2013.
- 2 Helsingin sanomien verkkosivut [verkkodokumentti] Saatavissa:  
<http://www.hs.fi/talous/artikkeli/Teleoperaattorit+valmistautuvat+lopettamaan+gsm-verkot/1135235364148> Luettu 10.01.2013.
- 3 Gsacom:in verkkosivut [verkkodokumentti] Saatavissa:  
[http://www.gsacom.com/gsm\\_3g/edge\\_databank.php4#EDGE\\_Fact\\_Sheet](http://www.gsacom.com/gsm_3g/edge_databank.php4#EDGE_Fact_Sheet) Luettu 10.01.2013.
- 4 Tietokone lehden verkkosivut [verkkodokumentti] Saatavissa:  
[http://www.tietokone.fi/lehti/tietokone\\_6\\_2003/gprs\\_yhteydet\\_3568](http://www.tietokone.fi/lehti/tietokone_6_2003/gprs_yhteydet_3568) Luettu 17.01.2013.
- 5 Aalto-yliopiston verkkosivut [verkkodokumentti] Saatavissa:  
<http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38118/s00/tyot/20/tekniikka.shtml> Luettu 17.01.2013.
- 6 Taloussanomien verkkosivut [verkkodokumentti] Saatavissa:  
<http://www.taloussanomat.fi/tietoliikenne/2010/11/11/sonera-hyppaa-4g-aikaan-loppuvuonna/201015736/12> Luettu 20.03.2013.
- 7 Soneran verkkosivut [verkkodokumentti] Saatavissa:  
<http://www.sonera.fi/asiakastuki/verkkokartat/kuuluvuuskartta> Luettu 30.10.2013.
- 8 Elisan verkkosivut [verkkodokumentti] Saatavissa: <http://www.elisa.fi/kuuluvuus/> Luettu 30.10.2013.
- 9 4gamericas verkkosivut [verkkodokumentti] Saatavissa:  
<http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page&sectionid=249> Luettu 25.03.2013.
- 10 Puhelinvertailun verkkosivut [verkkodokumentti] Saatavissa:  
[http://www.puhelinvertailu.com/uutiset.cfm/2012/09/15/lte\\_aanen\\_ja\\_datan\\_kampailua](http://www.puhelinvertailu.com/uutiset.cfm/2012/09/15/lte_aanen_ja_datan_kampailua) Luettu 25.03.2013.
- 11 Tervahauta, Mikko, LTE-verkon S1-rajapinnan monitorointi, insinööriyö [verkkodokumentti] Saatavissa:  
[https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/45178/Tervahauta\\_Mikko.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/45178/Tervahauta_Mikko.pdf?sequence=1) Luettu 06.04.2013.

- 12 Mailasalo, Sami, Mobiili-datansiirto, insinööriyö [verkkodokumentti] Saatavissa: <http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/54085/Mobiili%20datansiirto.pdf?sequence=1> Luettu 06.04.2013.
- 13 Hyttinen, Timo, 3G, 4G ja 5G, insinööriyö [verkkodokumentti] Saatavissa: [https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/52796/Timo\\_Hyttinen.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/52796/Timo_Hyttinen.pdf?sequence=1) Luettu 22.04.2013.
- 14 Wikipedian verkkosivut [verkkodokumentti] Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/UMTS> Luettu 22.04.2013.
- 15 Levin verkkosivut [verkkodokumentti] Saatavissa: <http://www.levi.fi> Luettu 01.05.2013.
- 16 Kittilän kunnan Youtube verkkosivut [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://www.youtube.com/user/kittilankunta> Luettu 01.05.2013.
- 17 D-Linkin verkkosivut [verkkodokumentti] Saatavissa: <http://www.dlink.com/fi/fi/home-solutions/work/wireless-mobile-broadband/dwr-921-4g-lte-router> Luettu 01.05.2013.
- 18 Penttinen, Jyrki, Tietoliikennetekniikka 3G ja erityisverkot. Helsinki: WSOY. 2006.

# Mittaustulokset

Vanha antenni

Leville suunnattuna

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	25,5	14,8	863
	25,9	14,8	886
	26,1	14,9	806
	25,0	14,5	813
	26,6	14,9	616
Keskiarvo	<b>25,8</b>	<b>14,8</b>	<b>797</b>

Tepsaan suunnattuna

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	22,9	8,4	986
	25,4	10,5	960
	26,1	6,6	780
	23,1	10,0	1047
	25,0	7,9	946
Keskiarvo	<b>24,5</b>	<b>8,7</b>	<b>944</b>

Uusi antenni

Leville suunnattuna ja pakotettuna GSM verkkoon

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	26,0	13,9	890
	26,5	12,8	856
	26,3	14,5	884
	26,4	14,8	791
Keskiarvo	<b>26,4</b>	<b>14,4</b>	<b>852</b>

Suoraan Leville suunnattuna

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	65,5	202,5	138
	63,8	193,9	133
	70,0	187,4	138
	75,5	196,3	161
	65,9	194,0	140
Keskiarvo	<b>68,1</b>	<b>194,8</b>	<b>142</b>

Tepsaan suunnattuna

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	119,5	137,1	197
	128,8	133,3	169

	133,6	131,4	150
	106,5	134,9	196
	134,9	137,9	201
Keskiarvo	<b>124,7</b>	<b>134,9</b>	<b>183</b>

Leville päin suunnattuna vahvimman signaalin mukaan klo 8:40

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	143,0	184,0	277
	148,1	179,8	303
	120,1	181,1	265
	106,8	184,4	258
	142,8	184,5	363
Keskiarvo	<b>132,2</b>	<b>182,8</b>	<b>293</b>

Leville päin suunnattuna vahvimman signaalin mukaan klo 14:45

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	100,5	181,1	148
	127,6	190,4	143
	122,8	182,3	148
	103,8	194,0	124
	115,6	263,9	112
Keskiarvo	<b>114,1</b>	<b>202,3</b>	<b>135</b>

Leville päin suunnattuna vahvimman signaalin mukaan klo 15:30

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	239,8	251,1	149
	170,1	196,5	148
	179,9	205,5	160
	185,6	278,4	127
	191,6	254,6	149
Keskiarvo	<b>193,4</b>	<b>237,2</b>	<b>147</b>

Leville päin suunnattuna vahvimman signaalin mukaan klo 20:00

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	103,8	200,1	143
	157,9	129,4	143
	91,6	133,3	139
	81,8	120,4	130
	83,1	143,4	147
Keskiarvo	<b>103,6</b>	<b>145,3</b>	<b>140</b>

## Mokkulavertailu

Uusi antenni

Tietokone ja moka juotetulla liittimellä

Leville suunnattuna

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	26,9	5,12	460
	26,9	11,52	443
	25,6	11,52	457
	26,9	11,52	453
	26,9	11,52	417
Keskiarvo	<b>26,6</b>	<b>10,24</b>	<b>446</b>

Tepsaan suunnattuna

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	15,36	5,1	628
	21,76	7,7	578
	21,76	9,0	508
	23,04	9,0	512
	20,48	6,4	581
Keskiarvo	<b>20,48</b>	<b>7,4</b>	<b>561</b>

Tietokone ja moka induktiivisellä sovittimella

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	23,0	11,5	446
	24,3	10,2	457
	25,6	6,4	535
	25,6	9,0	440
	24,3	11,5	480
Keskiarvo	<b>24,6</b>	<b>9,7</b>	<b>472</b>

## Etäisyysmittaukset

Mittauspaikka 1.

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	4,2	3,6	1119
	4,4	3,7	1060
	4,4	3,7	1176
	4,4	3,7	1221
	4,4	3,6	1237
Keskiarvo	<b>4,4</b>	<b>3,7</b>	<b>1163</b>

Mittauspaikka 2.

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	1204,8	74,4	190

	1242,0	78,2	208
	1215,2	77,4	172
	1226,2	74,2	185
	1230,7	73,7	175
Keskiarvo	<b>1223,8</b>	<b>75,6</b>	<b>186</b>

Mittauspaikka 3.

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	290,2	72,6	215
	281,5	67,9	194
	379,3	66,2	223
	324,6	78,2	192
	510,0	85,2	177
Keskiarvo	<b>357,1</b>	<b>74,0</b>	<b>200</b>

Mittauspaikka 4.

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	780,3	54,3	197
	841,4	34,9	230
	836,7	33,7	249
	809,5	9,8	228
	852,2	54,3	183
Keskiarvo	<b>824,0</b>	<b>37,4</b>	<b>217</b>

Mittauspaikka 5.

	Download kt/s	Upload kt/s	Latency ms
	30,2	-	600
	41,6	-	745
	54,9	-	658
	36,4	-	734
	70,4	-	869
Keskiarvo	<b>46,7</b>	-	<b>721</b>