

Opinnäytetyö (AMK)  
Elektroniikan koulutusohjelma  
Tietoliikennejärjestelmät  
2013

Janne Isosaari

# KOGNITIIVIRADIO- JÄRJESTELMÄN TESTAUS



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikan koulutusohjelma | Tietoliikennejärjestelmät

2013 | 45 sivua

DI, Yliopettaja Reijo Ekman

Janne Isosaari

## KOGNITIIVIRADIOJÄRJESTELMÄN TESTAUS

Tässä työssä tutkittiin kognitiiviradiota ja sen toimintaa valkoisilla tv-alueilla.

Testaukset suoritettiin yhdysvaltalaisen Carlson Wirelessin RuralConnect Generation 2 -laitteistolla, jonka suorituskykyä mitattiin Turun ammattikorkeakoulun radiolaboratoriossa. Lisäksi kenttäkokeissa tutkittiin kognitiiviradion mahdollisia sovelluskohteita yhteistyössä Helsingin Seudun Liikenne -kuntayhtymän kanssa.

Työn tuloksena saavutettiin selkeä käsitys kyseisen laitteiston suorituskyvystä ja luotettavuudesta. Helsingissä tehtyjen kenttäkokeiden tulokset kertovat laitteiden käyttökelpoisuudesta erilaisten sovellusten kanssa. Mittaustuloksista koostetut kuuluvuuskartat antavat kattavan kuvan Helsingin keskustan radioteknisistä mahdollisuuksista ja haasteista kognitiiviradiolle valkoisilla tv-alueilla.

Työ liittyy WISE2-projektiin, joka on osa Tekesin rahoittamaa Trial – Kognitiivisen radion ja verkon kokeilu ympäristö –ohjelmaa.

ASIASANAT:

tietoliikenne, radiotekniikka, kognitiivinen radio, valkoinen tv-alue

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Telecommunication Systems

2013 | 45 pages

Reijo Ekman, M.Sc.EE, Principal Lecturer

Janne Isosaari

## TESTING COGNITIVE RADIO SYSTEM

The suitable part of frequency spectrum for radio communications is a finite resource. As the need for more wireless data transmission keeps on rising, pressure towards more efficient use of the spectrum increases. After the switchover to digital television, there is a considerable amount of free transmission potential in the TV band called TV White Space. One way to use that space is cognitive radio systems.

The goal of this thesis was to increase the knowledge about a White Space device system purchased by the Radio Laboratory of Turku University of Applied Sciences. In addition, part of the work was to perform field tests in the city of Helsinki with applications provided by the regional transportation authority.

As a result from the tests, a clear understanding about the basic functions of the used system was achieved. Field test results give information on how a cognitive radio system could be used with different applications. Maps formed from measurements indicating signal strengths make it possible to perceive how cognitive white space devices would work in a city center environment.

This thesis is part of the WISE project which belongs to the Trial Environment for Cognitive Radio and Network programme by Tekes.

### KEYWORDS:

Cognitive Radio, TV White Space, Telecommunications, Radio Electronics, WISE project

# SISÄLTÖ

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 JÄRJESTELMÄ</b>	<b>3</b>
2.1 Valkoiset tv-alueet	3
2.2 Carlson Wireless RuralConnect Generation 2	9
2.3 Hallintakeskus	13
<b>3 TESTIT JA MITTAUKSET</b>	<b>16</b>
3.1 Laitetestit laboratoriossa	16
3.1.1 Lähetysteho	18
3.1.2 Herkkyys	20
3.1.3 Tiedonsiirtonopeus	23
3.2 Kenttä- ja sovellustestit	26
3.2.1 Testiviikko Helsingin Seudun Liikenteen kanssa 23.–27.9.2013	26
3.2.2 Pysäkkimittaukset Helsingin keskustan alueella 21.–23.10.2013	34
<b>4 POHDINTA</b>	<b>40</b>
<b>5 YHTEENVETO</b>	<b>43</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>44</b>

## LIITTEET

- Liite 1. RuralConnect 2 –laitteiston Spesifikaatiot.
- Liite 2. Lähetystehomittausten tulokset.
- Liite 3. Herkkyysmittausten tulokset.
- Liite 4. HSL-pysäkkimittausten tulokset.
- Liite 5. Mittaustulokset Suomenlinnan lautalta.
- Liite 6. HSL-kuitti.

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

3G	3. sukupolven matkapuhelinteknologia
BER	Bittivirhesuhde, Bit Error Rate
CPE	Asiakastila-laite, Customer Premises Equipment
CRC	Tiivistealgoritmi, Cyclic Redundancy Check
dB	Desibeli
dBi	Desibelimäärä suhteessa ympärisäteilevään antenniin, desibel isotropic
dBm	Desibelimäärä suhteessa milliwattiin, desibelimilliwatti
ETSI	European Telecommunications Standards Institute, Eurooppalainen telealan standardijärjestö
FCC	Federal Communications Commission, Yhdysvaltain telehallintovirasto.
GPS	Satelliittipaikannusjärjestelmä, Global Positioning System
M2M	Koneiden välinen, Machine-to-Machine
MHz	Megahertsi
Mbit/s	Megabittiä sekunnissa
Ofcom	Iso-Britannian telehallintovirasto, Office of Communications
OMC	Operation and Management Center
PoE	Virransyöttö-tekniikka, Power over Ethernet
QAM	Modulaatiotekniikka, Quadrature Amplitude Modulation

QPSK	Modulaatiotekniikka, Quadrature Phase Shift Keying
RF	Radiotaajuus, Radio Frequency
RSSI	Vastaanotetun signaalin voimakkuutta kuvaava indikaattori, Received Signal Strength Indicator
SNR	Signaali-kohinasuhde, Signal to Noise Ratio
TDD	Signaalien aikajakotekniikka, Time Division Duplex
Tekes	Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus
TVWS	Valkoinen tv-alue, TV White Space
UHF	Ultra High Frequency, taajuusalue 0,3—3,0 GHz välillä
WISE	White Space test Environment for broadcast frequencies

# 1 JOHDANTO

Taajuusalue 470 MHz – 790 MHz on Suomessa varattu maanpäälliseen tv-jakeluun. Varsinkin analogisten tv-lähetysten loputtua on taajuusalueella paljon paikallisesti ja ajallisesti vapaata kaistaa, niin sanottua valkoista tv-aluetta. Näitä vapaita tiedonsiirtomahdollisuuksia käyttävät lisenssin varaiset PMSE-sovellukset (esimerkiksi langattomat kamerat ja radiomikrofonit). Vastaavanlainen tilanne vallitsee kansainvälisesti. Radiotaajuuskaistan tehokkaampi käyttö on viranomaisten sekä käyttäjien intressien mukaista ja alati kasvavan langattoman tiedonsiirron määrän vuoksi myös välttämätöntä. Yksi keino lisätä tätä tehokkuutta on taajuusalueen vapauttaminen lisenssivapaiden kognitiiviradio-laitteiden käyttöön.

Vuonna 2005 Simon Haykin määritteli kognitiivisen radion olevan ympäristöstään tietoinen ja oppiva langaton radiojärjestelmä, jonka tärkeimpiä ominaisuuksia ovat korkea luotettavuus tilanteesta riippumatta ja tehokas spektrin käyttö [1]. Tietoisuus ympäristöstään, eli siitä millä taajuuksilla laite voi toimia, voidaan toteuttaa esimerkiksi laitteen omalla spektrin monitoroinnilla, yleisellä majakkasignaaliilla tai geolokaatioon perustuvalla tietokanta-avusteisella mekasmismilla. Nykypäivänä näistä toteutuskelpoisimmaksi tv:n valkoisilla alueilla toimittaessa on valikoitunut geolokaatio [2]. Tv:n valkoisilla alueilla toimivat lisenssivapaat laitteet ovat toissijaisia spektrinkäyttäjiä, esimerkiksi tv-jakelun ollessa ensisijainen. Toissijaisen laitteen tärkempiä prioriteetteja on olla häiritsemättä ensisijaista järjestelmää [3].

Yhdysvalloissa tv-alueen lisenssivapaa käyttö on jo osittain käytössä. Vuonna 2008 FCC (Federal Communications Commission) hyväksyi ajatuksen valkoisten alueiden lisenssivapaan käytön sallimisesta ja vuonna 2011 se hyväksyi useita laitteita ja tietokannan tarjoajia markkinoille. [4] Euroopassa ei valkoisten alueiden laitteita vielä ole kaupallisessa käytössä, mutta pilotteja on meneillään. Ison-Britannian valvova viranomainen Ofcom (The Office of Communications) on ollut viime vuosina aktiivinen ja arvioinut kaupallisten sovellusten olevan mahdollisia 2014 [5]. Viestintävirasto (FICORA) on myöntänyt euroopan ensimmäinen geolokaatioon perustuvan kognitiiviradioluvan Turun ammattikorkeakoululle. Lupaa käytetään WISE-projektissa, joka on osa Tekesin rahoittamaa Trial-ohjelmaa. [6]

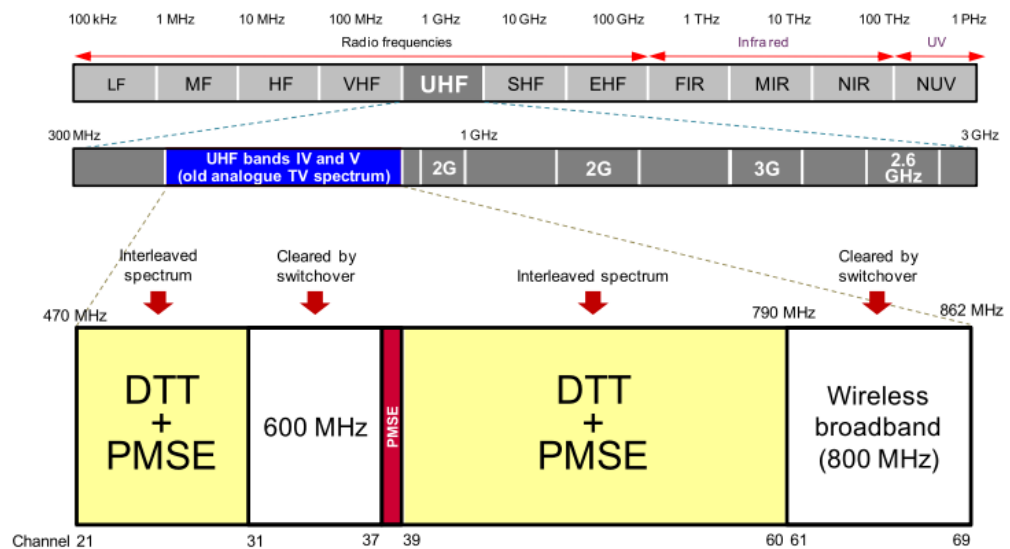
Tämän insinööriyön tarkoitus oli lisätä entisestään Turun AMK:n langattoman teknologian tutkimusryhmän tuntemusta työssä käytettävästä kognitiiviradiolaitteistosta niin laboratorio-olosuhteissa kuin kentälläkin. Arvokasta ja ainutlaatuista tietoa valkoisilla tv-alueilla kognitiiviradiolla toimimisesta hankittiin yhteistyössä Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymän kanssa tehdyistä kenttätesteistä Helsingin keskustan haasteellisessa radioympäristössä. Tässä työssä painottuu erityisesti massiivinen mittaustyö ja käytetyn systeemin radiotekniset ominaisuudet.



## 2 JÄRJESTELMÄ

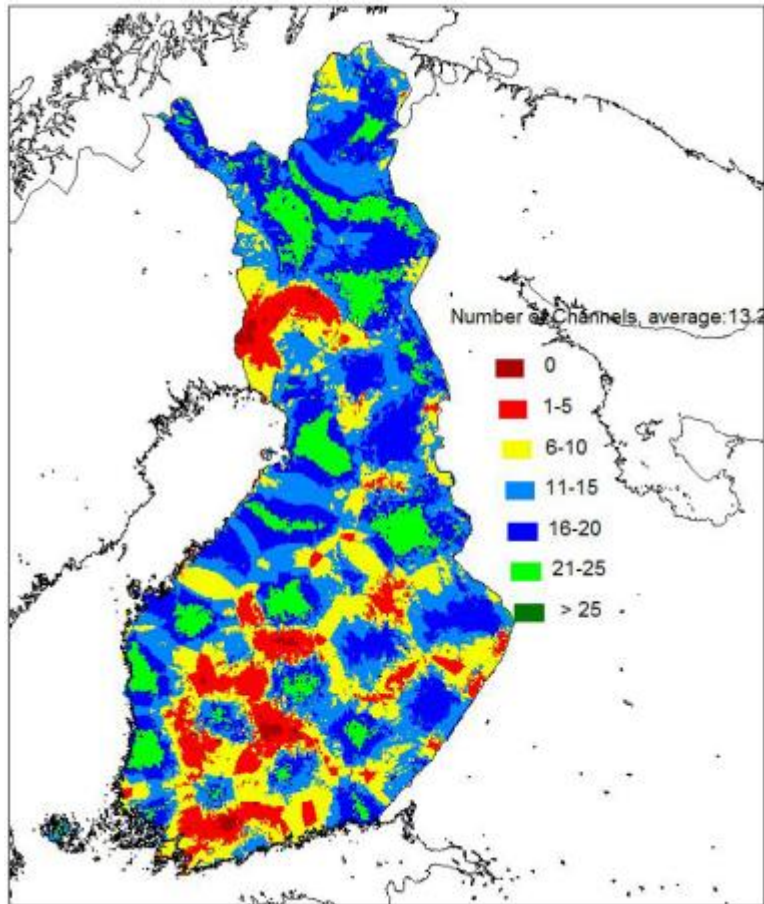
### 2.1 Valkoiset tv-alueet

Terrestriaalisten tv-lähetysten ja joidenkin PMSE-sovellusten käyttöön varattu taajuusalue 470 MHz – 790 MHz sisältää varsinkin tv-lähetysten digitalisoinnin jälkeen paljon ajallisesti, paikallisesti ja taajuudellisesti vapaata tiedonsiirtokapasiteettia, valkoista tv-aluetta. Ofcomin havainnekuva (kuva 1) esittää tyypillisen taajuuspektrin jakautumisen tv:n digitaalisaation jälkeen. Vapaina seisovat UHF-kanavat vaihtelevat maantieteellisesti ja kaistan tehokkaampaan hyödyntämiseen onkin suunniteltu dynaamisesti muuttuvia ja kognitiivisia järjestelmiä.



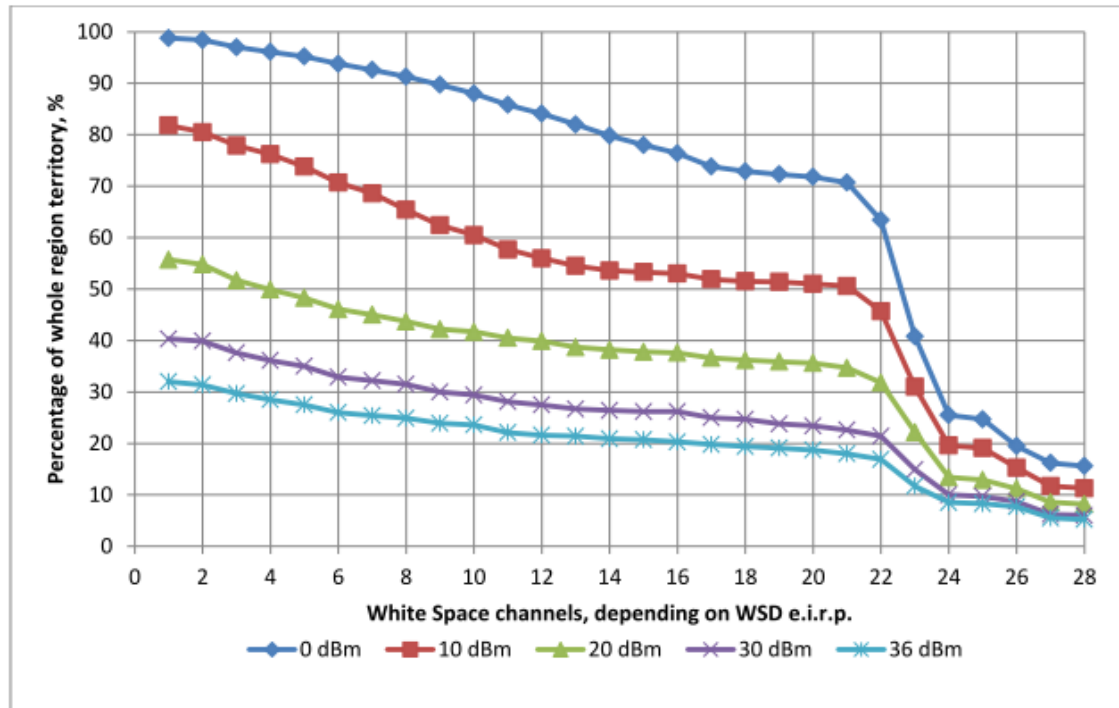
Kuva 1. Havainnekuva taajuusspektrin jakautumisesta [5].

Valkoisia alueita tv-alueella hyödyntävät lisenssivapaat laitteet ovat kaistan toissijaisia käyttäjiä ja on erittäin tärkeää, että ne eivät tuota häiriötä ensisijaisille käyttäjille, kuten tv-lähetystä vastaanottavalle kotitaloudelle [7]. Tämä varovaisuus välittyy myös valkoisten alueiden laitteiden spesifikaatioista.



Kuva 2. Valkoiset tv-kanavat Suomessa [9]

Kuvassa 2 on esitetty arvio vapaiden tv-kanavien määrästä Suomessa. Laskelmat perustuvat esimerkkitapaukseen, jossa laitteiden ERP on 36 dBm, antenni korkeus 30m ja turvaväliksi (protection ratio) häiriöön vaaditaan 44 desibeliä. Kuten nähdään, vaikuttaa asukastiheys vapaan tiedonsiirtopotentiaalimäärään selvästi. Joka tapauksessa valkoisen alueen määrää Suomessa voidaan pitää harkitsemisen arvoisena [8]. Kappaleessa 3.2 esitetyt kenttätestit on suoritettu Helsingissä, jossa valkoista tv-aluetta tämän havainnoillistuksen mukaan on suhteellisen vähän. Valkoisen alueen määrä riippuu myös tarvittavasta lähetystehosta kuten kuva 3 esittää.



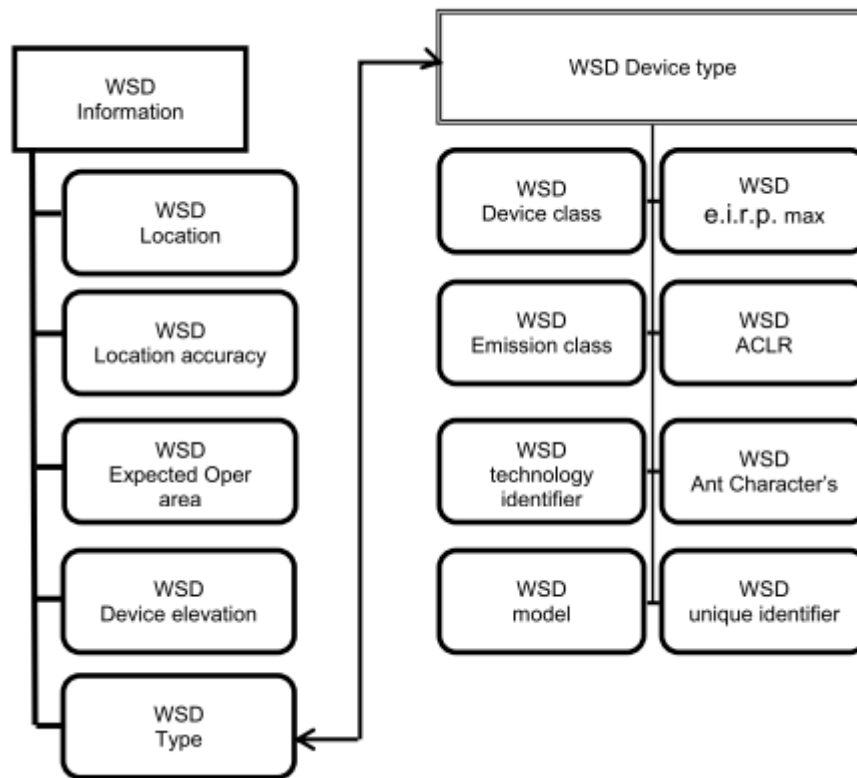
Kuva 3. Vapaan kaistan määrä suhteessa lähetystehotarpeeseen Arkangelin alueella, Venäjällä [9].

### Kognitiivinen radiojärjestelmä

Kognitiivinen radiojärjestelmä on radiojärjestelmä joka on tietoinen ympäristöstään ja toiminnastaan sekä pystyy käyttämään tätä tietoisuutta hyväkseen säätelämällä toimintaparametrejään dynaamisesti [10]. Lisäksi perinteisen kognitiiviradion määritelmän mukaan pitää järjestelmän olla oppiva ja toimintakykyinen ristiin eri järjestelmien kanssa. Edellä mainittuun ympäristön tiedostamiseen on olemassa kolme pääasiallista keinoa: havainnointi (eng. sensing), majakkasignaali ja geolokaatio. Havainnoinnissa laite pystyy monitoroimaan itse ympäröivää spektriään ja niin tunnistamaan turvalliset tiedonsiirtomahdollisuudet. Havainnointi on mainituista mekanismeista kaikkein kehittynein ja teknisesti haastavin sekä kallein. Lisäksi yhdestä pisteestä lähtevä havainnontitulos sisältää geometriasta johtuvia epäluotettavuuksia. Usean yksikön havainnointiverkko parantaa tuloksen luotettavuutta selvästi. Kuitenkin havainnointi lienee vain kalliimman hintaluokan laitteiden lisäominaisuus geolokaation rinnalla. Toinen, luultavasti ennemminkin tukeva kuin ainoa,

mekanismi ympäröivän spektrin tulkintaan on maantieteellisesti yleisinformaatiota kuuluvuusalueensa radioympäristöstä lähettävä majakkasignaali. Tässäkin tekniikassa yksin käytettynä ongelmaksi muodostuu geometriset rajoitteet. Kuitenkin geolokaation tukena käytetty majakkasignaali toisi paikallista tehokkuutta spektrinkäyttöön. Taloudellisessa mielessä majakkasignaalin tarjoaminen edellyttäisi paikallisesti suhteellisen tiheää käyttäjäkuntaa. [11]

Tällä hetkellä yleinen suunta informaation saantiin ympäristöstä on geolokaation perustuva tietokanta. Tässä mekaniismissa valkoisen tv-alueen laite on vaihtoehtoisen yhteyden kautta yhteydessä internetissä toimivaan tietokantaan. Tietokanta, tyypillisesti kansallisen valvontaviranomaisen valtuutuksen tarvitseva, toimittaa laitteille toimintaparametrit ja vastaanottaa niiden kanavan käyttö –parametrit. Tietokanta pyrkii saamaan kaiken oleellisen informaation haltuunsa josta se mallintaa radioympäristöä ja pystyy määrittämään toimintaparametrit, kuten vapaat kanavat ja maksimilähetystehon, laitteelle tietyissä koordinaateissa. Iso-Britannian mallissa Ofcom laskee parametrit ja toimittaa eteenpäin tietokannoille jaettavaksi. Tässä mallissa tietokannan tarjoaja voi ympäristön tarkemmalla analysoinnilla tarjota lisäarvoa asiakkaalle, mutta valtion viranomainen kuitenkin kantaa vastuun verkon toiminnasta.



Kuva 4. Tietokannan käsitys kognitiiviradiolaitteesta [12].

Geolokaatio-tietokannan täytyy olla yhteydessä vähintään kognitiiviradiojärjestelmän tukiaseman kanssa. Tukiasema tyypillisesti kantaa vastuun sen alaisuudessa toimivien terminaalien toimintaparametrien jakelusta. Tietokannan kanssa käytävässä yhteydenpidossa järjestelmä ilmoittaa koordinaattinsa ja mahdollisesti antennikorkeutensa sekä laiteparametrit kuten: säteilyluokan, laiteluokan ja yksilöllisen sarjanumeronsa. Kuvassa 4 on esitetty tietokannan hallitsevat tiedot laitteista. Oleellinen info tietokannalle on myöskin koordinaattien tarkkuus, jotta pystytään jälleen kerran varmistumaan ensisijaisen laitteiston häiritsemättömyydestä. Lisäksi laitteiston ja tietokannan välillä on päivitettävä tiedot tietyin, suhteellisen tihein, aikaväleihin. Näin ongelmien tai tukiasemayhteyden katketessa saadaan radioliikenne keskeytettyä riittävän nopeasti. [12]

## Standardit

Johtuen valkoisten alueiden tarjoamista mahdollisuuksista on sille laadittu erillaisiin sovelluksiin suunniteltuja standardeja. IEEE 802.11af –standardin esittelemä niin sanottu White-fi, eli valkoisten alueiden Wlan on suunniteltu pienten solukokojen datayhteys-jakeluun. Nykyisiin Wifi-lähetteisiin verrattuna olisi tv-alueen pienemmillä taajuuksilla parempi kantavuus ja varsinkin pienempi sisätilavaimennus [13]. Harvaan asutun alueen laajakaistajakelun kaltaiseen tiedonsiirtoon soveltuu puolestaan standardin IEEE 802.22 esittämä kognitiiviradiojärjestelmä. Tässä standardissa on solun maksimisäteeksi kerrottu 33 km 4 watin ERP:llä ja ohjearvot datanopeuksille ovat 1,5 Mbit/s / 384 Kbit/s 12 aktiivisen tilaajan solussa [14]. Tämä nopeus riittää yksinkertaiseen internetin käyttöön kun muuta vaihtoehtoa ei välttämättä ole saatavilla. Kuten Suomen tilannetta esittäneestä kuvasta 2 sivulta 4 huomaamme, että harvemmin asutuilla alueilla vapaita kanavia on enemmän ja siinä mielessä tämä saattaa hyvinkin olla toimiva tapa käyttää valkoista tv-aluetta. Kolmannen kiinnostavan vaihtoehdon kaistan käyttöön tarjoaa Weightless-standardi. Weightless pyrkii tarjoamaan koneiden väliseen niin sanottuun M2M-tiedonsiirtoon soveltuvan vaihtoehdon. Koneiden välillä tarvittavan informaation määrä saattaa olla hyvinkin pieni ja tarvitaan ennemminkin robustia ja pitkälle kantavaa lähetystä suurien datamäärien sijaan. Weightless käyttää tarvittaessa erittäin leveää kaistaa ja pyrkii minimoimaan tietokannan kanssa käytävän tiedonsiirron määrän. Standardin pitäisi tarjota selvästi edullinen vaihtoehto nykyisin matkapuhelinverkkoja hyödyntävälle M2M-järjestelmille.

## 2.2 Carlson Wireless RuralConnect Generation 2 [Liite 1]

Työ tehtiin käyttäen yhdysvaltalaisen Carlson Wirelessin (lyhyemmin Carlson) RuralConnect Generation 2 –järjestelmää. Kuten nimessäkin viitataan, on ensisijainen käyttökohde ajateltu olevan haja-asutusalueen laajakaistajakelussa. Tämän lisäksi tuotteen esitetään soveltuvan monipuolisesti myös muunlaiseen datan, äänen tai videon siirtoon joko täsmä- tai yleislähetystenä erilaisissa ympäristöissä, langattomasti radiotaajuuksilla tukiaseman ja terminaalien välillä.

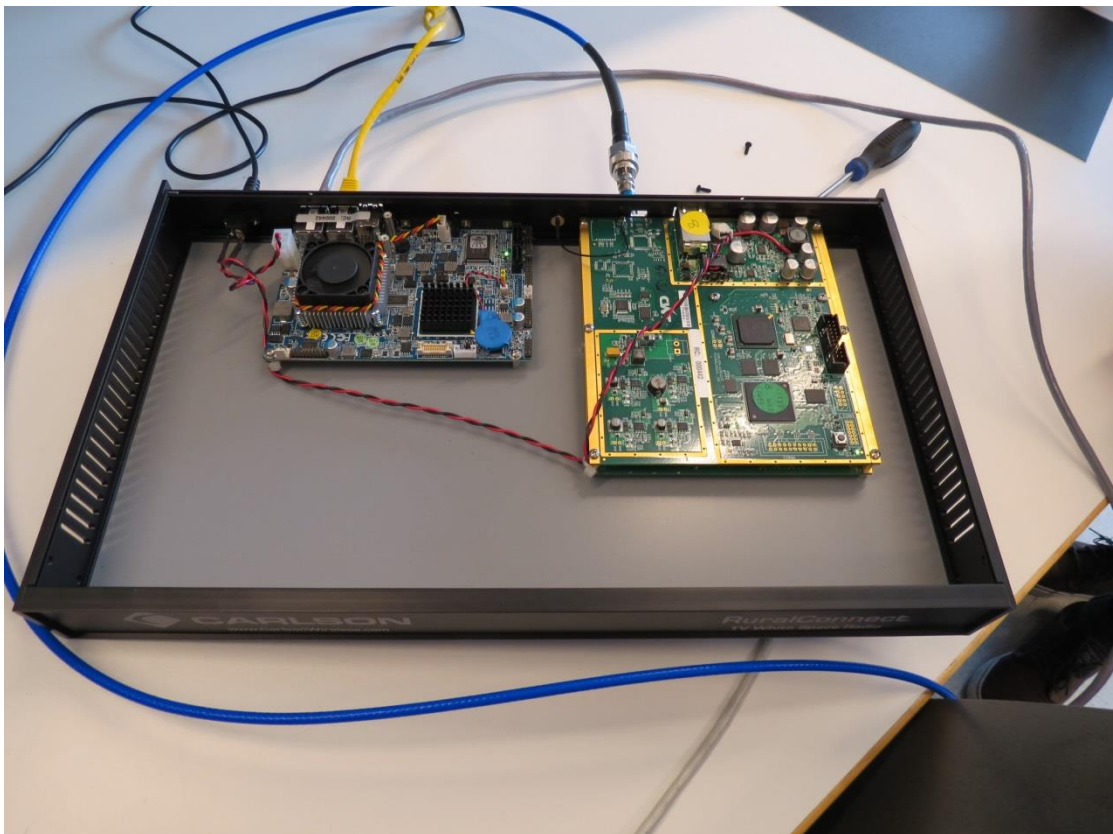
Carlson Wirelessin datalehdessä (Liite 1) langattoman yhteyden tiedonsiirto kapasiteetiksi on ilmoitettu 16 Mb/s. Siirtonopeuden on kerrottu olevan asetettavissa vakioksi tai adaptiiviseksi, eli tilanteeseen mukautuvaksi. Eri modulaatioita on valittavissa kolme: QAM16, QPSK tai BPSK. Lisäksi BPSK – modulaatio voidaan levittää 2, 4 tai 8 kertaiseksi (spreading), lisäten linkin robustisuutta ja samalla tosin laskien tiedonsiirtonopeutta. Virheenkorjausmenetelmäksi valittavissa on 3/4:n ja 1/2:n suhteen konvoluutiokoodaus sekä 1/2:n suhteen Golay, koodauksen voi myös jättää pois.

Systemin ilmoitetaan toimivan ainakin -93 dBm:n sisään tulevan signaalin minimivoimakkuudella, maksimivoimakkuudeksi ilmoitetaan puolestaan -16 dBm täydellä lineaarisuudella. Systemin kerrotaan toimivan joko 6 MHz tai 8 MHz kanavalla ja joko 470–698 MHz:n tai 470–786 MHz:n taajuusalueella riippuen valitusta järjestelmästä (US tai ETSI). Tukiasema ja aktiiviset terminaalit käyttävät kanavaa aikajakoisesti (TDD).

Turun ammattikorkeakoulun hankkima kokonaisuus pitää sisällään tukiaseman sekä viisi esimerkiksi asiakastiloihin tarkoitettua lähetinvastaanotinta, terminaalia. Lisäksi kokonaisuuteen sisältyvät antennit ja muut tarvikkeet, kuten vaimentimia ja mastokiinnitysten osat.

## Tukiasema

Tukiasemana toimii 19":n koteloon sijoitettu lähetinvastaanotin (Kuva 5). Laitteessa tietokone- ja radio-osa ovat selvästi erillään ja normaalitilassa ne yhdistetään lyhyellä Ethernet-kaapelilla. Laitteessa on myös kolmas Ethernet-portti tukiaseman yhdistämiseksi tietokantaan. Lisäksi liitännät virransyöttöä, GPS-antennia sekä RF-signaalia varten löytyvät takapaneelista. Radiosignaalin ulostulona on F-liitin ja impedanssi on  $75 \Omega$ . Valmistaja kertoo laitteen lähetystehoksi 28 dBm 1 dB:n vaihtelulla kanavan sisällä. Sähkönkulutukseksi lähetystilassa esitetään 30 W, vastaanottotilassa 15 W ja 13 W valmiustilassa.



Kuva 5. Tukiasema kansi avattuna, radio-osa oikealla.



## Terminaali

Terminaali (kuva 6) on päätelaite, joka sijoitetaan esimerkiksi asiakaspäähän. Lähetytshoksi terminaaleille valmistaja ilmoittaa 27 dBm 1 dB:n vaihtelulla kanavan sisällä. Virransyöttö tapahtuu samalla Ethernet-kaapelilla kuin datakin (Power over Ethernet, PoE). Radiosignaalin liitin on F-tyyppiä ja impedanssi 75  $\Omega$ . Lisäksi etupaneelissa on neljällä ledillä toteutettu indikaattori vastaanotetun signaalin voimakkuuden karkeaksi arvioimiseksi (Received Signal Strength Indicator, RSSI). Yksikön paino on noin 1,4 kg ja mukana tulevat tarvikkeet tukevaan mastokiinnitykseen. Sähkönkulutus terminaalilla on lähetettäessä 24 W, vastaanottaessa 10 W ja valmiustilassa yksikkö kuluttaa 8 wattia. Suojaukseltaan laite soveltuu ulkokäyttöön.



Kuva 6. Terminali.

## Antennit

Valmistaja tarjoaa sovelluskohteesta riippuen useampaa antennimallia käytettäväksi laitteiden kanssa. Kaikki tässä esiteltävät mallit toimivat UHF-alueella, 470 MHz-786 MHz.

Tyypillisessä yleislähetyksessä tukiasemalla käytettäväksi sopii ympärisäteilevä antenni (High-Gain Omnidirectional UHF Antenna for RuralConnect Base Station, kuva 7 vasemmalla). Kyseinen malli tarjoaa linkin käyttöön 5,2 dBi:n antennivahvistuksen useiden elementtiensä ansiosta. Vertikaalinen keilan leveys antennilla on 29° ja seisovan aallon suhteeksi valmistaja ilmoittaa 1:1,8. Pakkasta ympärisäteilevä malli kestää 40°.



Kuva 7. Ympärisäteilevä antenni, suunta-antenni ja sektoriantenni.

Toinen vaihtoehto tukiaseman antenniksi on 90° horisontaalisen keilan leveyden omaava sektoriantenni (Sector Antenna for RuralConnect Base Station, kuva 7 oikealla). Tämä leveäkeilainen antenni tuottaa antennivahvistusta 10 dBi. Lisäksi antennin etu-takasuhteeksi kerrotaan vähintään 25 dB. Sektoriantennin vertikaalinen keilan leveys on 30° ja seisovan aallon suhde 1:1,5.

Terminaalipäähän valmistaja tarjoaa vähemmän tilaa kokonsa puolesta vaativan log-periodisen suunta-antennin (Log Periodic Directional UHF Antenna for RuralConnect CPE, kuva 7 keskellä). Suuntavahvistusta tämä 10-elementtinen, kevytrakenteinen antenni tuottaa 9 dB enemmän kuin isotrooppinen

vertailukohteensa. 30° horisontaalisen keilan omaavan mallin mainostetaan myyntiesitteessä tarjoavan hyvin tasaisen vasteen koko taajuusalueelle. Vertikaalinen keilan leveys on 35°, etu-takasuhde 20 dB ja seisovan aallon suhteeksi kerrotaan 1,5:1.

### 2.3 Hallintakeskus

Carlson Wirelessin laitteilla muodostetun kognitiiviradiojärjestelmän hallinnointi tapahtuu saman yrityksen ylläpitämältä internetsivustolta löytyvässä hallintakeskuksessa (Operation and Management Center, OMC, kuva 8). Hallintakeskuksen ensimmäisellä välilehdellä (Operational Panel) näkee yhteenvedon järjestelmän tilasta. Tämä yhteenvedo muodostuu viimeisimmistä tapahtumista (Latest Messages) ja toiminnassa olevien terminaalien ja tukiasemien lukumäärällä. Jokainen laite on oman yksilöllisen sarjanumeronsa mukaan järjestelmään rekisteröity laite.

The screenshot shows the Carlson Operation and Management Center (OMC) interface. At the top, there is a navigation bar with the Carlson logo and the text 'Operation and Management Center'. Below this, there is a secondary navigation bar with tabs for 'Operations Panel', 'Stations', 'Cell Control', 'Licenses', 'Channels', 'Users', and 'Home'. The main content area displays configuration settings for three base stations:

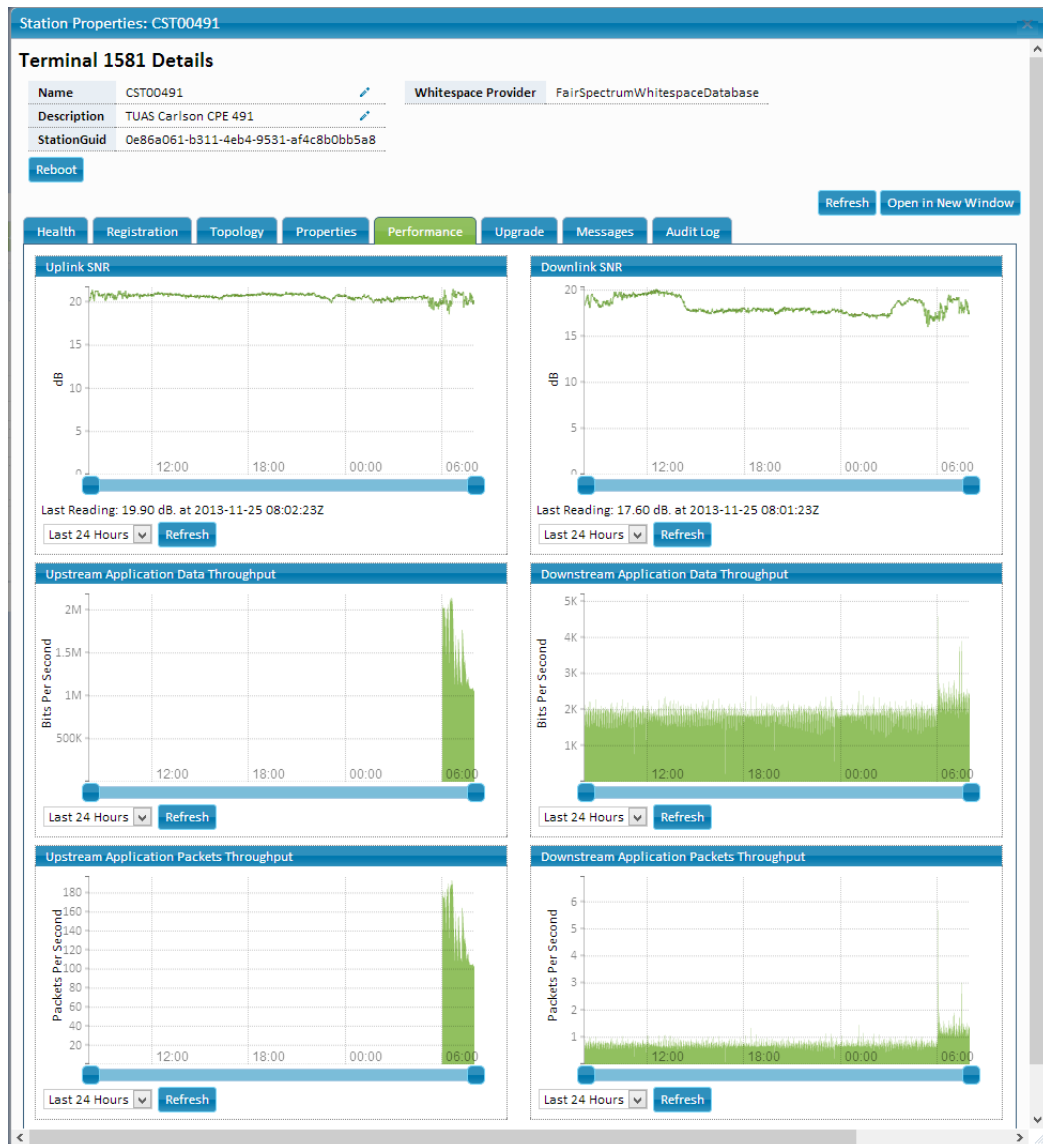
- CSB00442 : Basestation**
  - Station Guide: d875f6d5-4d86-4701-b038-5c65b930437a
  - Description: TUAS Carlson BTS 442
  - Settings:
    - Access Manager Downlink Mode: Bpsk 2 Conv Punct (2013-11-21 13:27:46Z)
    - Access Manager UpLink Mode: Bpsk 2 Conv Punct (2013-11-21 13:27:46Z)
    - Mute:  (2013-11-21 10:59:52Z)
- CST00489 : Terminal**
  - Station Guide: 550343c5-acdf-4a56-9dff-97da27ea721e
  - Description: TUAS Carlson CPE 489
  - Settings:
    - Adaptive Modulation Enabled:  (2013-11-21 11:01:16Z)
    - Downlink Modulation Mode: Qam16 1 Conv Punct (2013-11-21 11:01:16Z)
    - Uplink Modulation Mode: Qam16 1 Conv Punct (2013-11-21 11:01:16Z)
- CST00491 : Terminal**
  - Station Guide: 0e86a061-b311-4eb4-9531-af4c8b0bb5a8
  - Description: TUAS Carlson CPE 491
  - Settings:
    - Adaptive Modulation Enabled:  (2013-11-24 19:53:26Z)
    - Downlink Modulation Mode: Qpsk 1 Conv Punct (2013-11-24 19:53:26Z)
    - Uplink Modulation Mode: Qpsk 1 Conv Punct (2013-11-24 19:53:26Z)

Each settings section includes a 'Save Changes' button. At the bottom of the page, there is a 'Refresh' button and the text 'Carlson Release for change 20530 © 2013 Neu'.

Kuva 8. Hallintakeskus

Toisella ja kolmannella välilehdellä (Stations ja Cell Control) käyttäjä pystyy seuraamaan laitteiden toimintaa ja kontrolloimaan niitä. Kontrolloinnissa ehkä oleellisin toimenpide on lähetysparametrien valinta eli modulaatio, koodaus ja mahdollinen levityssuhde (spreading factor). Lisäksi laitteen voi uudelleen käynnistää hallintakeskuksen kautta.

Toiminnan seuraamisen ja analysoinnin avuksi on jokaisen laitteen omassa hallintaikkunassa toimintaa kuvaava välilehti (performance, kuva 9). Välilehdeltä löytyy interaktiiviset kuvaajat lähetinvastaanottimen signaalikohina –suhteesta (SNR), sovelluksen tietoliikenteen datan määrästä (Application Data Throughput, Bit/s) ja sovelluksen liikennöimien pakettien määrästä (Application Packets Throughput, packets/s). Kaikki edellä mainitut kuvaajat on esitetty sekä tukiasemalta terminaalille, että toiseen suuntaan (Downlink ja Uplink) ja arvot säilyvät muistissa 24 tuntia.



Kuva 9. Hallintakeskuksen kuvaajat terminaalin toiminnasta viimeisen 24 tunnin ajalta.

Hallintakeskuksen loput välilehdet (Licences, Channels ja Users) sisältävät informaatiota käyttäjän oikeuksista ja lisensseistä. Turun ammattikorkeakoulun kognitiivisen radiojärjestelmän radiolupa, joka on Euroopan ensimmäinen geolokaatioon pohjautuva kognitiiviradio-lupa, kattaa kaikki vapaat kanavat Turun Kupittaaalla sijaitsevan ICT-talon ympäristöstä UHF-alueella, 40 km x 40 km alueella [6]. Kanavien käyttökelpoisuudesta vastuussa olevan tietokannan tarjoaa suomalainen Fairspectrum.

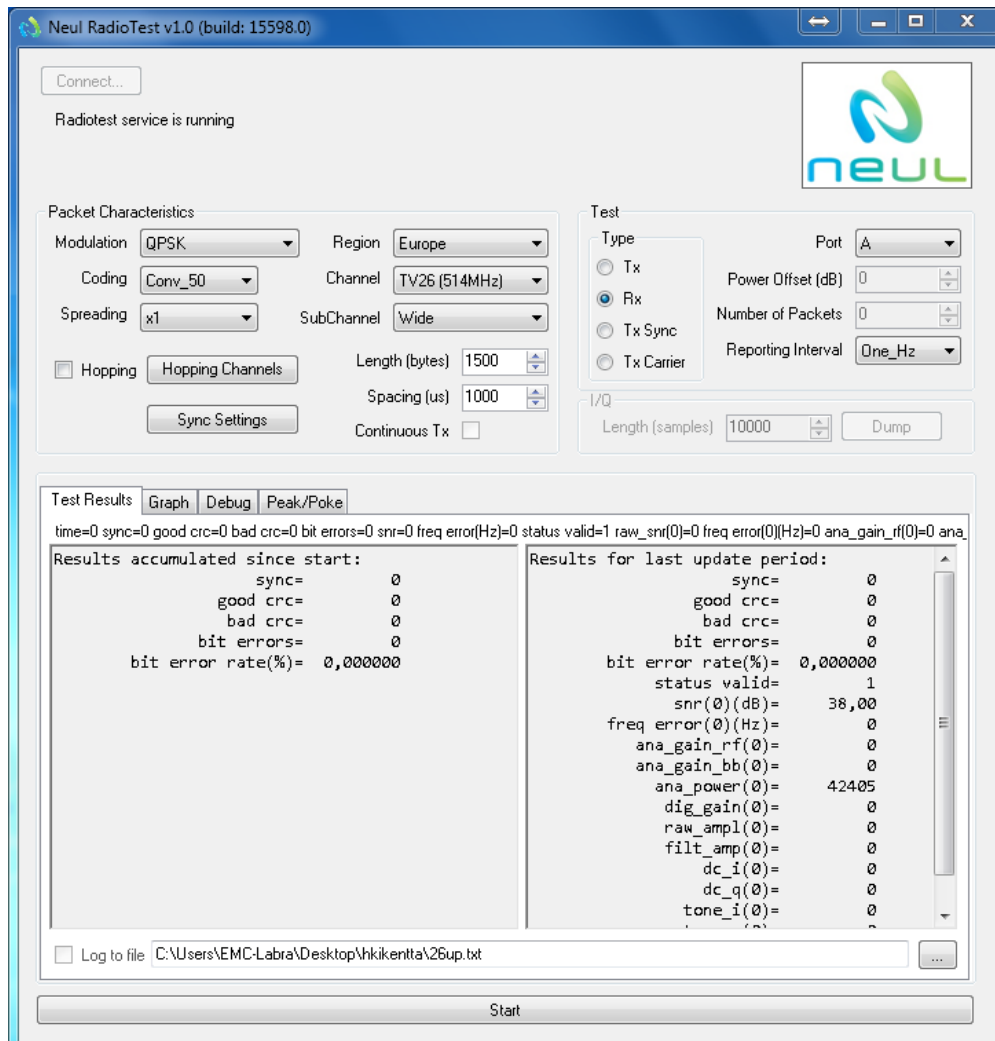
## 3 TESTIT JA MITTAUKSET

### 3.1 Laitetestit laboratoriossa

Jotta kognitiiviradiota järjestelmänä ja valkoisilla tv-alueilla operoimista voidaan pätevästi tutkia ja testata, on ensisijaisen tärkeää tuntea käytettävät laitteet. Turun ammattikorkeakoululle hankitut uudet Carlson Wirelessin RuralConnect –laitteet oli siis testattava laboratorio-olosuhteissa niin hyvin kuin aikataulun puitteissa oli mahdollista. Laboratoriotesteissä keskityttiin arvioimaan radiolaitteen perusfunktioiden vastaavuutta valmistajan ilmoittamiin. Myös terminaalien keskinäistä samankaltaisuutta testattiin. Mittaukset pyrittiin toistamaan luotettavuuden lisäämiseksi ja suorittamaan useilla terminaaleilla. Tässä luvussa esitetään laboratorio-olosuhteissa suoritettut testit lähetystehojen, herkkyksien ja tiedonsiirtonopeuden osalta.

#### **Radiotest-ohjelma**

Laitteiston yhteydessä Carlson toimitti latauslinkin Neul –nimisen yrityksen Radiotest-ohjelmaan (kuva 10), jolla testaamista laitteet tukevat. Radiotestissä ohjelmaa ajava pc ohjaa suoraan laitteen radio-osaa. Testissä laite saadaan asetetuksi pelkästään joko lähettimeksi tai vastaanottimeksi. Tämä mahdollistaa toiminnan tarkemman analysoinnin. Normaali-tilassa radiolinkki keskustelelee jatkuvasti molempiin suuntiin. Tämä puolestaan johtuu siitä, että kognitiiviradion toimintaperiaatteen mukaan tulee terminaalin säännöllisin väliajoin ilmoittaa kanavankäyttöinformaatiotaan tukiasemalle, muuten yhteys tulkitaan katkenneeksi ja taajuus vapautuu muuhun käyttöön tietokannalle. Normaali-tilassa terminaali ei myöskään siis lähetä bittiäkään ennen kuin se on havainnut tukiaseman yleislähetyksen ja vastaanottanut omat lähetysparametrisä kommunikoidakseen tukiaseman kanssa.



Kuva 10. Radiotest-ohjelman käyttöliittymä.

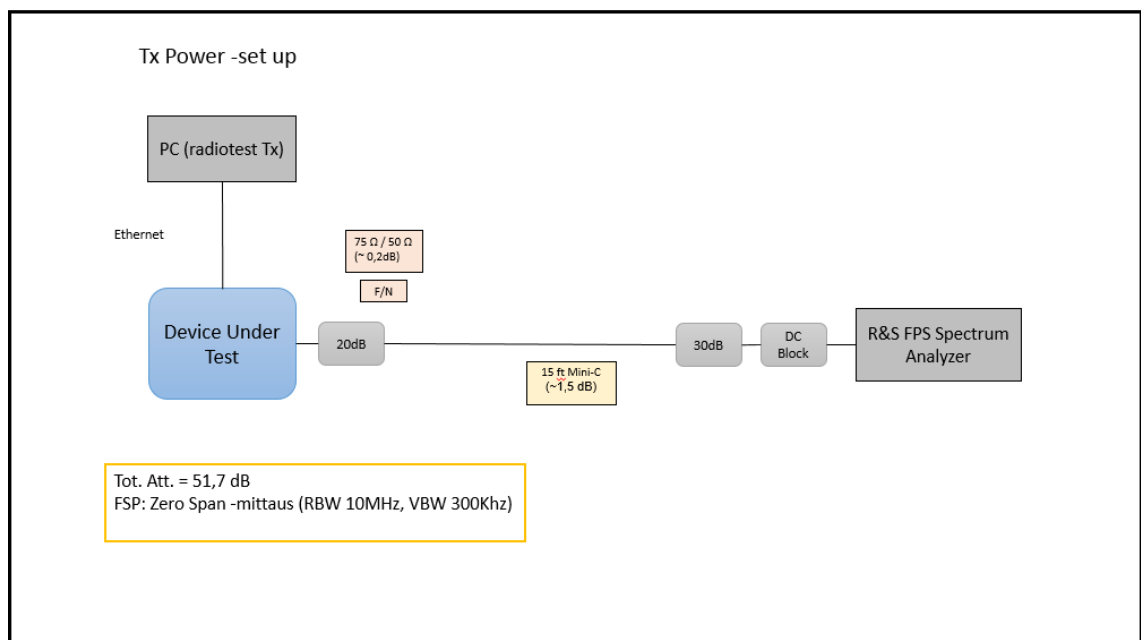
Radiotestissä laitteelle valitaan rooli, eli vastaanotin tai lähetin. Lisäksi muun muassa modulaatio, koodaus, levitys (spreading), kanava ja sen leveys. Jokaisen lähetin-vastaanotin –parin parametrien on vastattava toisiaan, jotta synkronointi onnistuu ja tulokset ovat päteviä.

Ohjelma tulostaa sekunnin välein listan (Kuva 10) arvoja jotka voidaan tallentaa lokitiedostoon, esimerkiksi edelleen taulukko-ohjelmaan vietäväksi. Lisäksi ohjelma kerää rinnakkaiseen ruutuun tyypillisiä avain-tietoja kumuloituvasti. Nämä tyypillisesti oleelliset arvot ovat synkronoitujen pakettien, hyvien pakettien (good cyclic redundancy check) ja huonojen pakettien (bad cyclic redundancy check) määrä, sekä bittivirheiden (bit errors) määrä ja niiden suhde

kokonaisbittimäärään prosentteina (BER (%)). Testeissä erittäin tärkeä arvo on myös signaali-kohinasuhdetta desibeleinä kuvaava SNR-arvo. Ohjelman ilmoittama SNR-arvo on verifioitu vertaamalla Radiotest-ohjelmaa internetissä samaa lukemaa mittaavaan hallintapaneelin SNR-kuvaajaan ja spektrianalysointorilla mitattuun. Näiden tulosten on todettu yhtenevän. Testissä vastaanottiin syötettiin täsmälleen samaa, suuntakytkimellä toteutettua signaalireittiä pitkin tunnettu SNR-arvo.

### 3.1.1 Lähetysteho

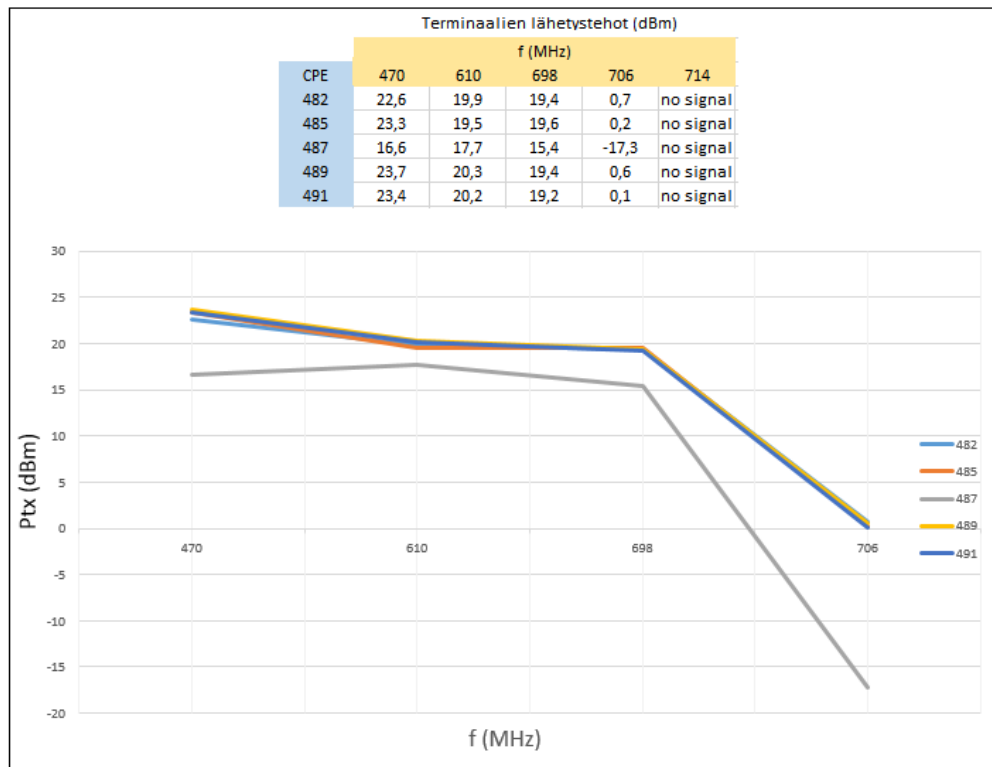
Testataksemme sekä tukiaseman, että terminaalien todellisia lähetystehoja, tutkimme jokaista laitetta ja suoritimme mittaukset kaksi kertaa. Testit suoritettiin Radiotest –ohjelman avulla kytkemällä testattavasta laitteesta pelkkä lähetystila päälle. Tätä lähetystehoa mitattiin Rohde & Schwarzin FSP-spektrianalysointorilla.



Kuva 11. Lähetystehomittausten lohkokkaavio.



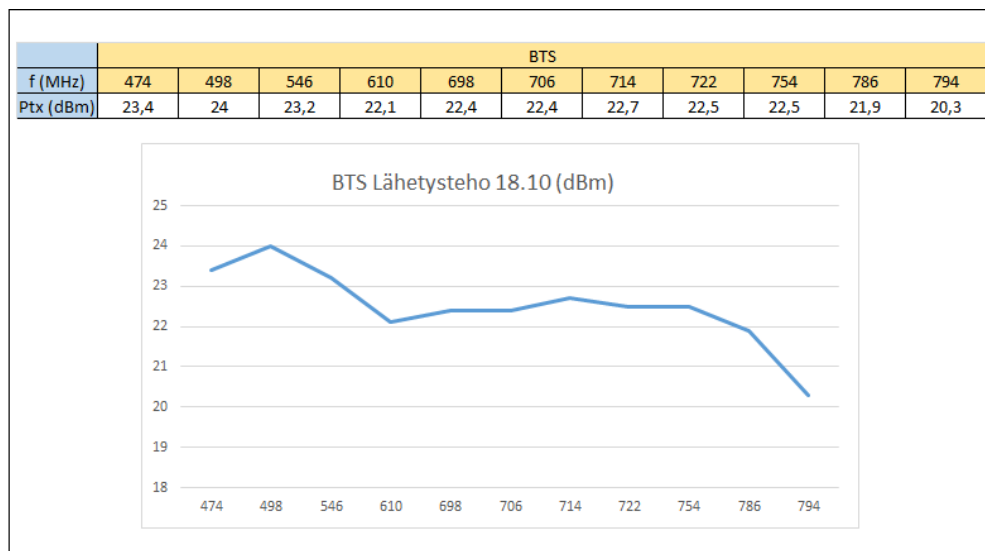
Mittausjärjestelyissä (kuva 11) Carlsonin laitteiden 75  $\Omega$ :n impedanssi joudutaan vaihtamaan 50  $\Omega$ :iin spektrianalysointia varten. Tämä tapahtuu yksinkertaisesti F/N –liittimellä ja tässä epäsovituksessa menetään tehoa noin 0,2 dB. Käyttämämme 15 jalkaa pitkän Mini-Circuitsin kaapelin vaimennus UHF-alueella on noin 1,5 dB. Lisäksi lisäsimme 30 dB:n vaimennuksen, jotta signaalin taso pysyy varmasti spektrianalysointin dynamiikka-alueella.



Kuva 12. Terminaalien mitatut lähetystehot taajuuden funktiona.

Lähetysteho-mittaukset terminaaleille sekä tukiasemalle toistettiin eri päivinä ja tulokset olivat yhdenmukaisia. Yksi terminaaleista, tunnisteltaan 487 erosi merkittävästi molemmilla mittauskerroilla muista yksiköistä. Lisäksi selvisi, että terminaalien toiminta-alue päättyy keskitajuuden 698 MHz omaavalle kanavalle. Tämä viittaa kyseisten terminaalien tukevan ainoastaan Yhdysvaltojen nykyistä maanpäällisten tv-lähetysten taajuusaluetta. Tämä oli ennakkotiedoista poikkeavaa. Tukiaseman toiminta-alue puolestaan kattoi koko 470 MHz:n – 786 MHz:n alueen ennakkotiedon mukaisesti.

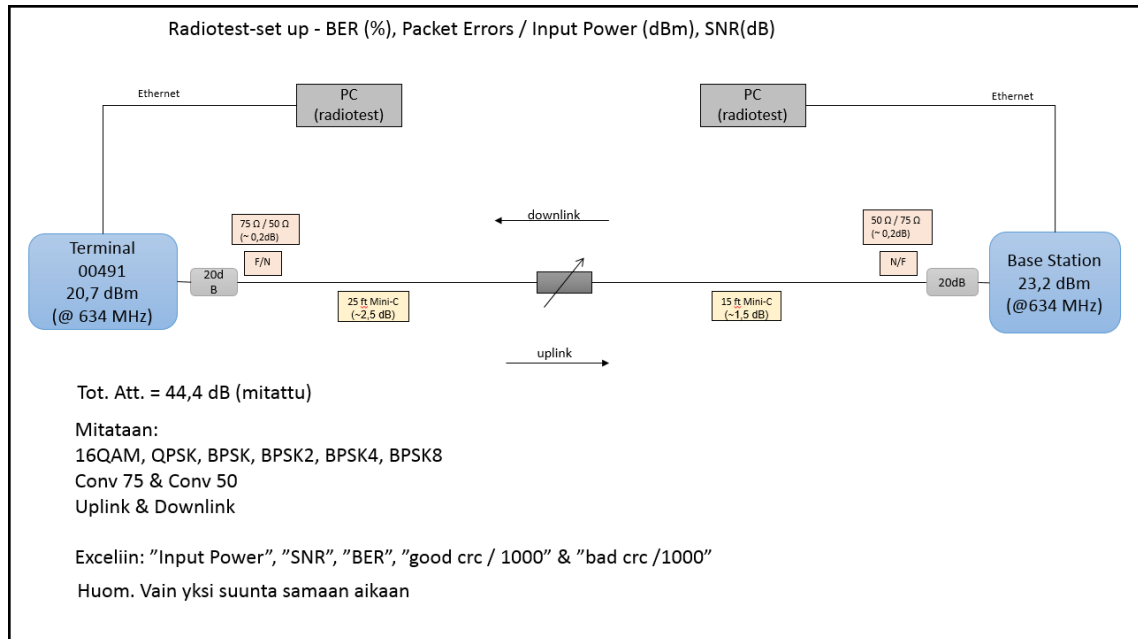
Yhden selkeästi poikkeavan terminaalin lisäksi jokaisella yksiköllä havaittiin jonkin asteista lähetystehon taajuusriippuvuutta. Valmistaja ilmoittaa vaihteluväliksi taajuusalueella  $\pm 1$  dB, mittaukset kuitenkin kertovat jopa yli 3 dB:n eroista. Lähetystehon trendi vaikuttaisi olevan laskeva taajuuden kasvaessa. Tulokset on esitetty kuvissa 12 ja 13 sekä laajemmin liitteessä 2.



Kuva 13. Tukiaseman mitatut lähetystehot taajuuden funktiona.

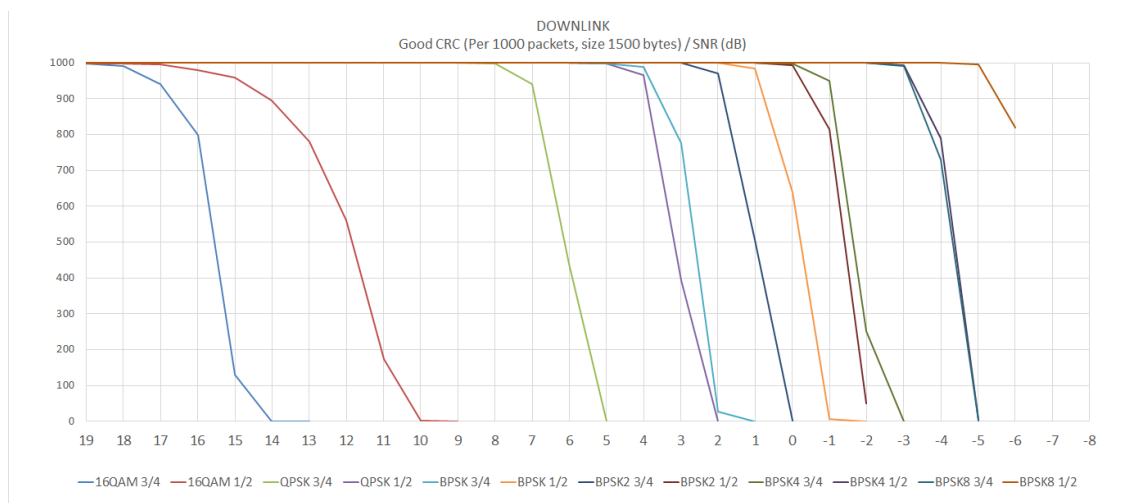
### 3.1.2 Herkkyys

Yksi avainominaisuus linkkibudjetoinnissa on vastaanottimen herkkyys, eli tässä kontekstissa kuinka vahvan signaali-kohina –suhteen onnistunut vastaanotto vaatii. Herkkyys määräytyy vastaanottimen ominaisuuksista ja käytetystä siirtotavasta. Niinpä tutkiaksemme tuntemattomia vastaanottimiamme käytimme kaikkia kolmea modulaatiota kahdella eri koodauksella. Lisäksi mittasimme BPSK-modulaation levitettyjä versioita. Näiden levitettyjen modulaatioiden bittivirrat ovat täysin riittäviä moniin potentiaalsiin sovelluksiin.



Kuva 14. Herkkyysmittausten lohkokaavio.

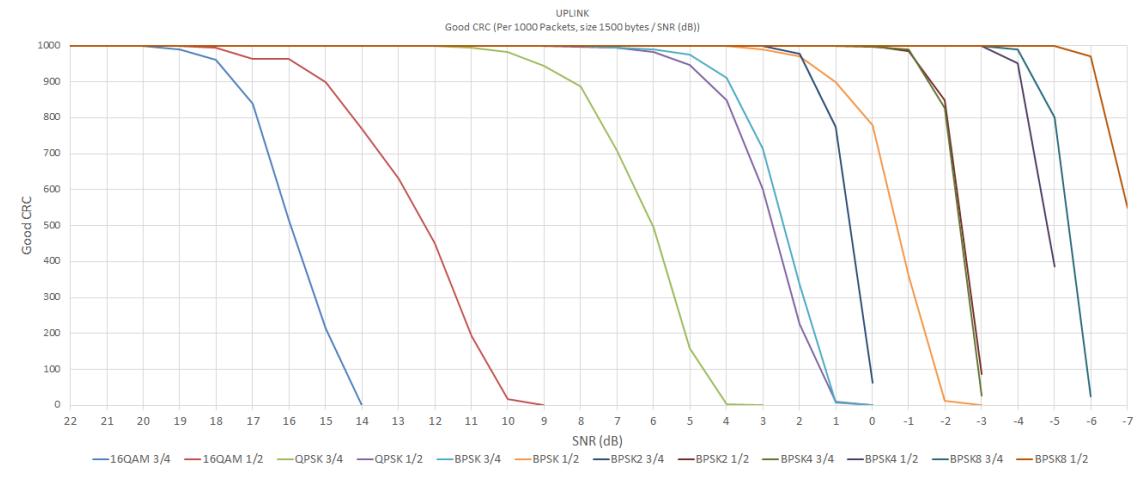
Mittaus suoritettiin muodostamalla Radiotest-linkki (kuva 14). Molempiin päihin sijoitettiin PC, jossa Radiotest ohjelmalla ohjattiin kognitiiviradiolaitetta joko lähettimenä tai vastaanottimena. Signaalireitillä tapahtuu kaksi impedanssi-epäsovitusta 75  $\Omega$ :n ja 50  $\Omega$ :n välillä. Tämä johtuu siitä, että mittauksessa oleellisessa osassa olevan 1 dB:n välein säädettävän vaimennuspakan impedanssi on 50  $\Omega$  ja Carlsonin laitteiden 75  $\Omega$ . Nämä epäsovutukset tapahtuvat F/N -liittimissä. Mitattavaa signaalia siis tutkitaan vaimentamalla virheetöntä signaalia aina täysin kelvottomaan bittivirhemäärään saakka. Mittauksissa kirjattiin vastaanotetun signaalin voimakkuus, signaali-kohinasuhde, bittivirhesuhde ja hyvien ja huonojen pakettien suhde (good/bad cyclic redundancy check). Testissä lähetettyjen pakettien koko oli 1500 tavua ja jokaista vaimennusarvoa kohti paketteja lähetettiin noin tuhat. Herkkyysmittaukset tehtiin keskitaajuudella 634 MHz.



Kuva 15. Onnistuneiden pakettilähetysten määrä tukiasemalta terminaalille signaalikohina-suhteen funktiona.

Mittauksista huomattiin sen laitteen, joka tässä testissä oli terminaali tunnisteeltaan 491, toimivan karkeasti arvioiden odotetun mukaisesti. Tosin kaikkien eri ajankohtina suoritettujen mittausten kohinakäyttäytyminen saattoi vaihdella keskenään jopa useamman desibelin, joten tuloksia tulee tulkita suuntaa antavina. Suurimman tiedonsiirtonopeuden omaava 16 QAM 3/4:n suhteen konvoluutiokoodauksella vaatii luotettavasti toimiakseen noin 20 dB:n signaalikohinasuhteen, kun taas robusteimmalla BPSK-modulaatiolla 8- kertaiseksi levitetynä (BPSK8) ja puolet datasta konvoluutiokoodaukseen käytettäessä (1/2) kestää jopa -5 dB SNR-lukeman.

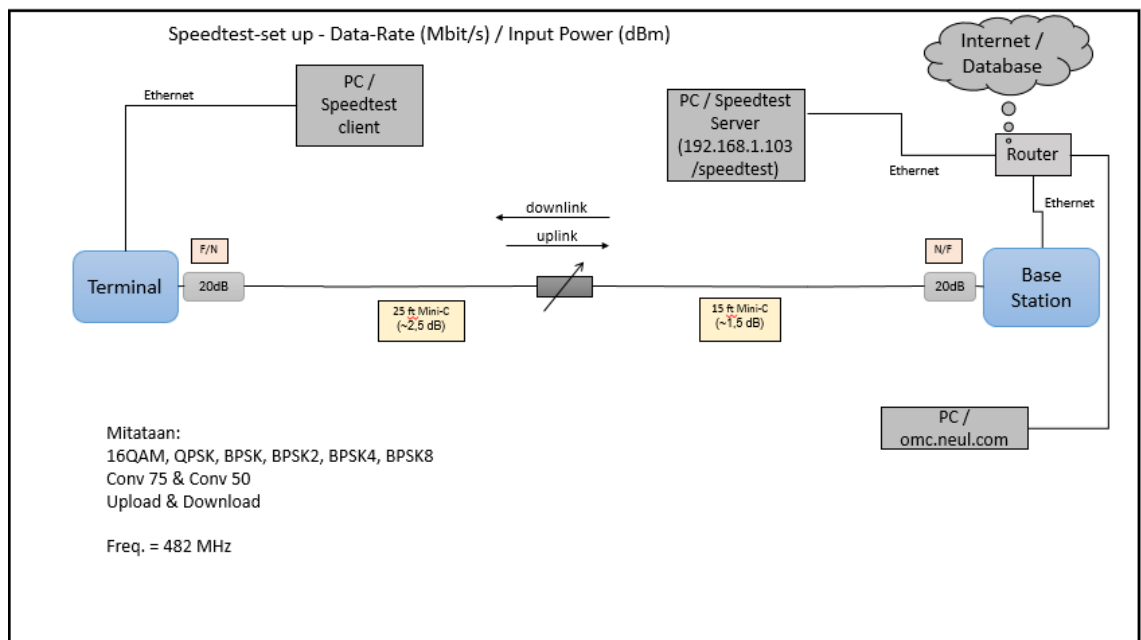
Tuloksista on havaittavissa ilmiö, jossa 16 QAM poislukien, aina 1/2:n virheenkorjauskoodisuhteen omaava lähetys toimii melko samankaltaisella SNR-vaatimuksella kuin asteen verran robustimpi modulaatio 3/4:n suhteen konvoluutiokoodauksella. Ottaen huomioon modulaatioiden selvähkön eron tiedonsiirtokapasiteetissa, olisi näiden parametrien valossa taloudellisempaa käyttää aina enemmän nimenomaan 1/2:n suhteen koodausta. Tulokset on esitetty kuvissa 15 ja 16 sekä laajemmin liitteessä 3.



Kuva 16. Onnistuneiden pakettilähetysten määrä tukiasemalta terminaalille signaali-kohinasuhteen funktiona.

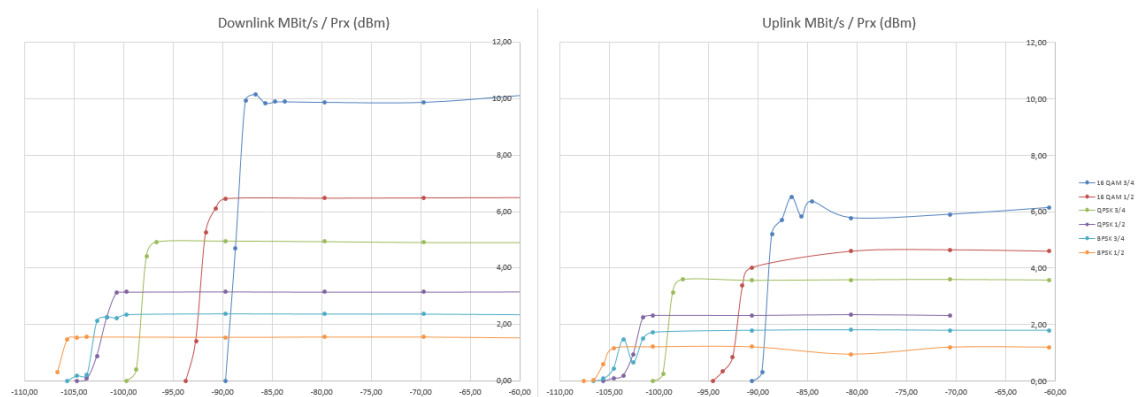
### 3.1.3 Tiedonsiirtonopeus

Sovelluskohteita arvioitaessa on luonnollisesti tärkeää tietää, kuinka suuria tiedonsiirtonopeuksia Carlsonin laitteilla pystyy tuottamaan milläkin modulaatiolla sekä miten tämä nopeus käyttäytyy signaali-kohinasuhteen ja sisään tulevan signaalin voimakkuuden funktiona.



Kuva 17. Tiedonsiirtonopeusmittausten lohkokaavio.

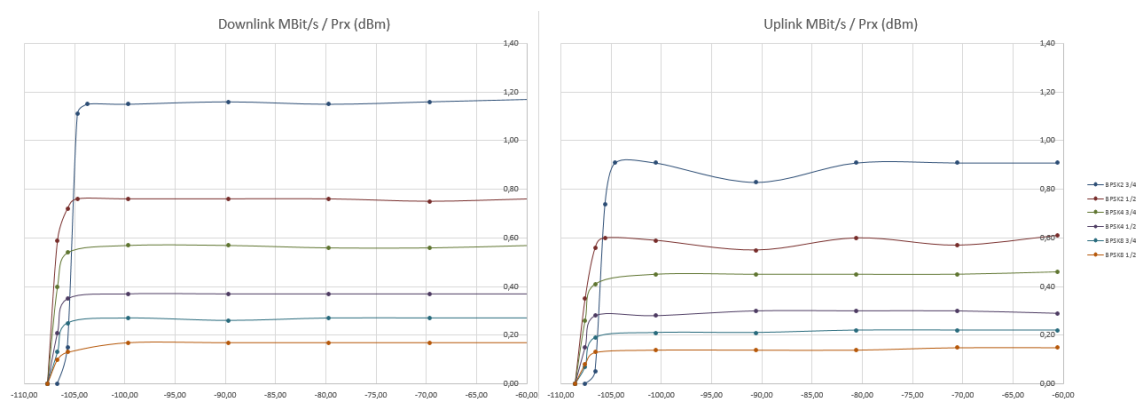
Mittaukset suoritettiin muodostamalla kognitiiviradio-linkki (kuva 17), eli tukiasema oli yhteydessä tietokantaan internetin välityksellä ja käy läpi normalin protokollan tukiaseman sekä terminaalin välillä. Signaali reitti tässä on kuitenkin suoritettu kaapelin avulla, tunnettua ja säädeltävissä olevaa vaimennusta noudattaen. Tiedonsiirtonopeutta mitattiin Speedtest mini –palvelimen avulla, joka tukiaseman päähän tulevaan pc:hen asennettiin. Terminaalin päässä oleva pc toimi Speedtest –nopeustestin asiakkaana (client). Näin järjesteltynä mittaustulokset kuvaavat vain kognitiiviradioyhteyttämme ilman ulkopuolisia rajoitteita. Testi mittaa yhteyden nopeuden molempiin suuntiin. Nopeustestin ohella mittasimme yhteyden viivettä ping-testillä kutsumalla terminaalin pc:n Windowsin komentorivillä tukiaseman käyttämää reititintä, joka siis myös terminaalin pc:n ip-osoitteen esimerkiksi antaa. Nopeustestit tehtiin kanavalla, jonka keskitaajuus on 482 MHz.



Kuva 18. Tiedonsiirtonopeudet tukiasemalta terminaalille.

Tuloksista (kuvat 18 ja 19), joissa tutkittiin terminaalia 489, huomattiin tiedonsiirtonopeuksien olevan erittäin odotetun kaltaisia. Myöskin vasteen käyttäytyminen signaalin voimakkuuden funktiona on jopa erittäin tasaista. Esimerkiksi 16QAM modulaatiolla 3/4 -konvoluutiokoodauksella datanopeudet ovat noin 10 Mbit/s / 6 Mbit/s, BPSK8 modulaatiolla 1/2 –konvoluutiokoodauksella puolestaan noin 0,17 Mbit/s / 0,13 Mbit/s (Downlink / Uplink). Molemmille on varmasti sovelluksensa. Mittaus toistettiin myös muilla terminaaleilla ja testitulokset ovat hyvin lähellä toisiaan.

Erittäin huomionarvoista on, että testausjärjestelyissä käytetyn Speedtest mini -ohjelman aiheuttama herkkyysseinä asettuu noin -107 dBm:n kohdalle (kuva 19). Tämän alemmas ei datasiirtonopeutta pystytä arvioimaan vaikka robusteimmat modulaatiot vielä tiedonsiirtoon kykenevätkin. Todelliset herkkyysrajat on esitetty herkkyystesteissä (Liite 3).



Kuva 19. Tiedonsiirtonopeudet terminaaliilta tukiasemalle.

## 3.2 Kenttä- ja sovellustestit

### 3.2.1 Testiviikko Helsingin Seudun Liikenteen kanssa 23.–27.9.2013

#### **Johdanto**

WISE2-projektissa avautui mahdollisuus tehdä yhteistyötä HSL:n (Helsingin Seudun Liikenne) kanssa tarkoituksena tutkia mahdollisia sovelluskohteita TV White Space -taajuuksia käyttävälle kognitiiviradiolle. HSL:n taholta mahdollisiksi sovelluskohteiksi olivat valikoituneet, nykyisin 3G-verkon välityksellä tietoliikennöivät infotaulut sekä lipunmyyntilaitteisto. Suunnitelmana oli käyttää Carlson Wireless-yhtiön Rural Broadband-kognitiiviradiolaitteistoa yhdessä HSL:n laitteiden kanssa, joilla tehdä ensin testejä laboratoriossa, HSL:n tiloissa ja myöhemmin kentällä tyypillisessä helsinkiläisessä kaupunkiympäristössä.



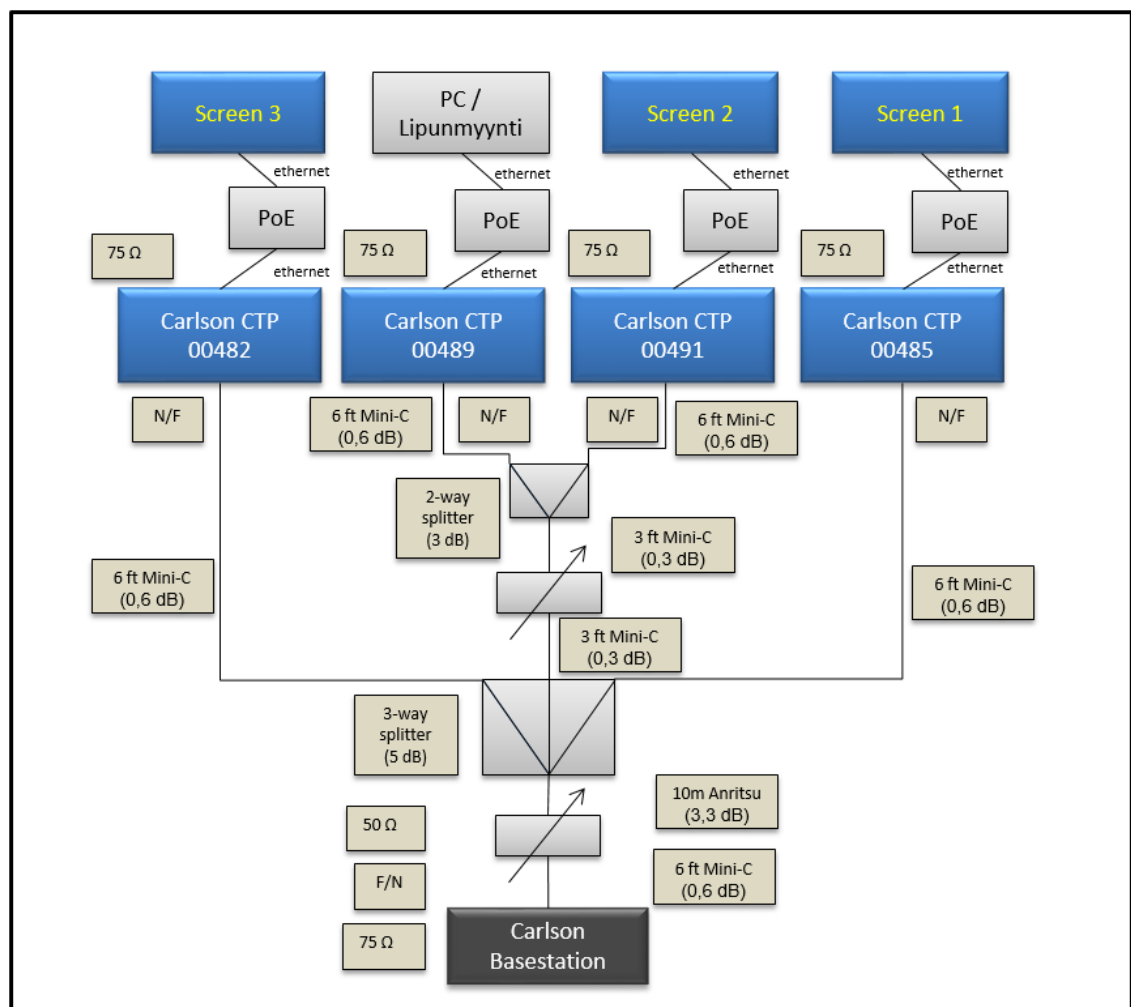
## Laboratorio

Laboratorio-olosuhteissa rakennettiin kaapeleilla testiverkko, johon tukiaseman lisäksi tuli neljä terminaalia (kuvat 20 ja 21). Testijärjestelyt toteutettiin niin, että eri terminaaleihin saatiin samanaikaisesti asetettua kolme eri signaalin voimakkuutta. Kahdella terminaalilla tasot olivat siis keskenään samat, näistä toiseen liitettiin PC testiohjelmistoja varten. HSL:ltä saatiin testattavaksi kolme keskenään erilaista infotaulu-ratkaisua (joissa oli joko yksi yhtenäinen moduli tai erilliset ohjaus-pc ja näyttö) sekä yksi lipunmyyntilaitteisto (kone, kortinlukija ja kuititulostin. Esimerkki kuitista liitteessä 6).



Kuva 20. Testijärjestelyt HSL:n laboratoriossa.

Infotaulu vaati toimiakseen yhteyden julkiseen internetiin, yhteys siis oli tarkoitus toteuttaa Carlson –laitteiden kautta. Lipunmyyntilaitteisto puolestaan tarvitsi toimiakseen yhteyden HSL:n yksityiseen verkkoon, johon yhteys toteutetaan omalla 3G-modeemilla. Tämä aiheutti pienen vastoinkäymisen tukiaseman reitittimessä, koska samaan aikaan tukiaseman itsessään pitää tv-alueella toimiakseen olla yhteydessä White Space –tietokantaan (Fairspectrum). Tämä ongelma ratkaistiin vaihtamalla reititin HSL:n ominaisuuksiltaan alkuperäistä monipuolisempaan malliin. Laboratorio-testien tavoitteena oli tutustua HSL:n laitteistoon, saada muodostettua toimiva yhteys molempiin sovelluksiin ja kartoittaa laitteiden toiminnan herkkyysrajoja eri modulaatioilla signaalia vaimentamalla. Laboratoriotesteissä käytössä olivat UHF-kanavat 40 (626 MHz) ja 41 (634 MHz).



Kuva 21. Laboratoriotestin rf-signaalin lohkokkaavio (suluissa vaimennusarvot).

## Tulokset, laboratorio

Laboratoriossa tehtyjen testien perusteella saavutettiin tietyn tasoinen rutiini HSL:n laitteiden käyttöön. Varsinaisesta testauksesta saimme selville sovellusten vaatimat herkkyystasot 16QAM –modulaatiolle 3/4:n koodauksella ja BPSK8-modulaatioille (spreading factor = 8) 1/2:n virheenkorjauskoodauksella. Nämä kaksi modulaatiota edustavat testaushetkellä mahdollisten vaihtoehtojen ääripäitä 16QAM:n mahdollistaessa suurimman tiedonsiirtonopeuden ja BPSK8:n ollessa modulaatioista robustein. Tuloksista arvioimme niiden tarvitsemia datanopeuksia. Infotaulujen datanopeus-tarve on vain muutamia kymmeniä kilobittejä sekunnissa, jolloin voimme käyttää robusteinta modulaatiota (BPSK8, 1/2:n koodauksella). Lipunmyyntitapahtuma toimii myös BPSK8-modulaatiolla, mutta sivujen lataus on nopeampaa suurempaa datanopeutta tarjoavalla modulaatiolla. Tämä käyttömukavuuden ja toimintasäteen välillä tapahtuva kaupankäynti jää palvelun tarjoajan arvioitavaksi.

Saatujen signaali-tasojen perusteella pystyttiin esimerkiksi olemassa olevia radiotaajuisten signaalien etenemismalleja hyväksi käyttäen varovasti arvioimaan mahdollisia linkkipituuksia kenttätestejä varten (taulukko 1).

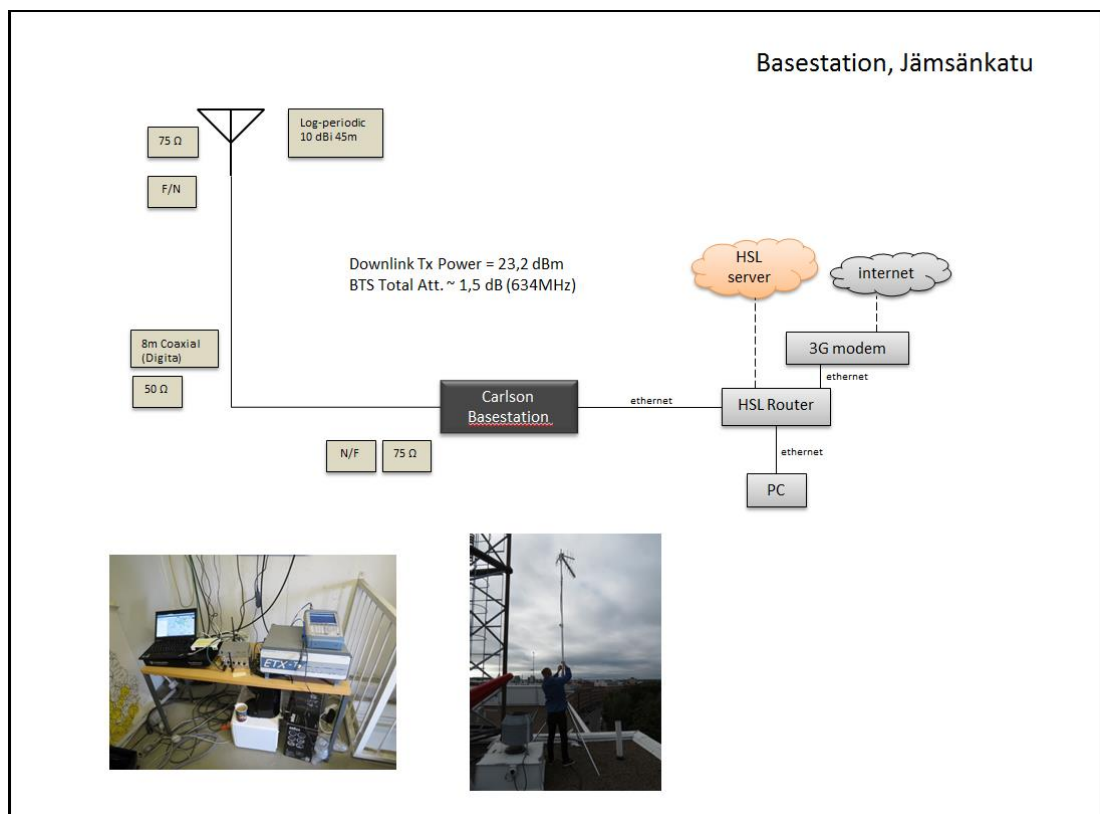
Taulukko 1. Herkkyystestit HSL:n laboratoriossa.

HSL -device testing (CTP 00491), HSL laboratory.			
Range is based on "Hata-Model for Urban Areas" (medium or small cities).			
<b>Data rates</b>			
Modulation	DL (Mbps)	UL (Mbps)	
BPSK8 1/2	0,17	0,14	
16QAM	10	7	
<b>Herkkyys lipunmyynti 634 MHz (hyvä toimivuus)</b>			
Modulation	Sensitivity (dBm)	6m BTS Range (km)	30m BTS Range (km)
BPSK8 1/2	-98	1,5	2,8
16QAM	-77	0,45	0,7
<b>Herkkyys lipunmyynti 634 MHz (ääriraja)</b>			
Modulation	Sensitivity (dBm)	6m BTS Range (km)	30m BTS Range (km)
BPSK8 1/2	-100	1,7	3,2
16QAM	-79	0,5	0,8
<b>Herkkyys infotaulutesti 626 MHz</b>			
Modulation	Sensitivity (dBm)	6m BTS Range (km)	30m BTS Range (km)
BPSK8 1/2	-104	2,6	4,2
16QAM	-91	1,3	1,8

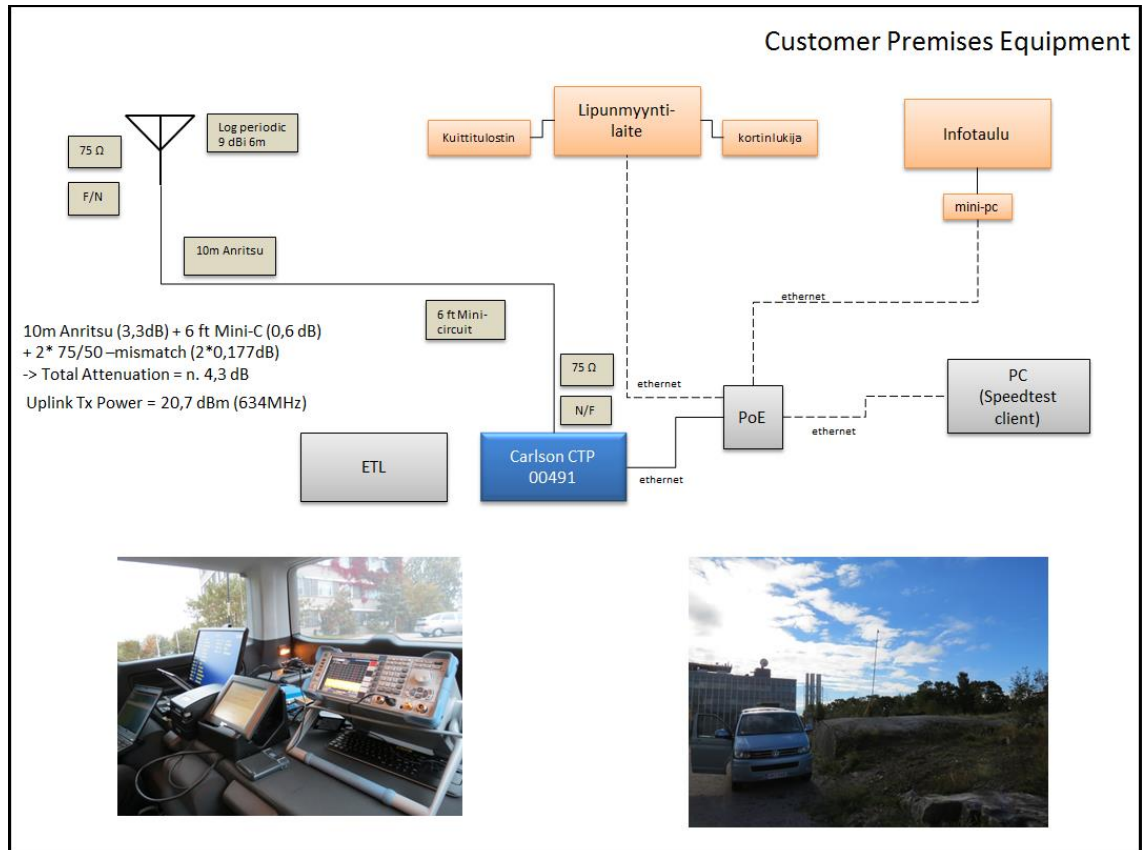
Nämä herkkyystestissä selvitetty matalimmat riittävän tiedonsiirron mahdollistavat signaalin tasot terminaalien tuloportissa pätevät siis laboratorioolosuhteissa, jolloin kohinataso on maltillinen. Kenttätesteissä tilanne kohinan suhteen on tiedonsiirron kannalta huonompi ja olisikin ehkä parempi herkkyystestissä mitata signaali-kohinasuhdetta sekä BER-arvoa. Tämä on mahdollista esimerkiksi käytössä olevalla Radiotest-ohjelmistolla.

## Kenttätestit

Kenttätestausten tavoitteena oli luoda todellisia radiolinkkejä White Space –taajuuksilla, käyttää HSL:n laitteita onnistuneesti kentällä ja näin ollen lisätä ymmärrystä tilanteen problematiikasta sekä Helsingin kaupunkiympäristön radioetenemisen ominaisuuksista UHF-alueella. Tukiasema päädyttiin pystyttämään, projektissa mukana olevan, Digitan hallinnoimalle katolle osoitteessa Jämsänkatu 2 (kuva 22). Carlson Wirelesin toimittaman log-periodisen suunta-antennin (90°:n keila, 10 dBi) korkeudeksi tuli n. 45 m meren pinnasta. Terminaalin päässä toimii myös Carlsonin toimittama log-periodinen suunta-antenni (Gain = 9 dBi), joka asennetaan kentällä n. 4 m korkeaan koottavaan antennijalkaan. Terminaali-laitteisto on asennettuna Volkswagen Multivan –pakettiautossa (kuva 23), jonka kanssa kentällä mittapaikkohin liikuimme. Kenttätesteissä käytetty UHF-kanava oli 41 (keskitaajuus 634 MHz).



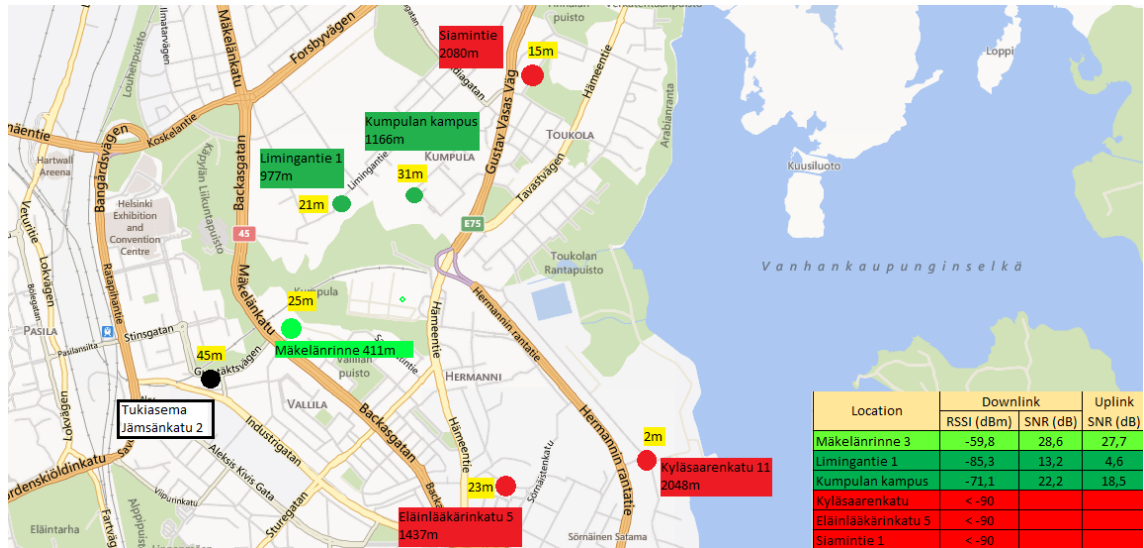
Kuva 22. Jämsänkadun Tukiaseman lohkokaavio.



Kuva 23. Kenttämittauslaitteiston lohkokaavio.

## Tulokset

Kentällä kohtasimme todellisen ympäristön tuottamia ongelmia, joista vaikeimmaksi osoittautui tukiasemalle kerääntynyt kohina, joka heikensi merkittävästi signaali-kohinasuhdetta uplink-suunnassa. Tämä signaali-kohinasuhteen heikkeneminen pienensi toimintasädetämme merkittävästi. Myös maanpinnan korkeuden vaihtelu vaatii paikoittain hyvää etukäteissuunnittelua. Tärkeintä kuitenkin oli, että lyhyillä linkkipituuksilla saimme sekä infotaulun päivittymään että lipunmyyntitapahtuman onnistumaan luotettavasti.



Kuva 24. Kuuluvuuskartta kenttätestin tulosten perusteella (tukiaseman antennin 90°:een keila suunnattuna itään).

## Johtopäätökset

Johtopäätöksiä todettakoon, että kenttätestaaminen toimii tämän tapaisilla sovelluksilla hyvin. Itse tulokset (kuva 24) eivät olleet riittävän hyviä, jotta tämän testin perusteella Carlson-laitteistolla toteutetun kognitiiviradiojärjestelmän käyttöä voisi suositella tällaiseen sovellukseen. Verrattain uusien laitteiden käyttövarmuus esimerkiksi kohinaongelmien suhteen ja internetissä toimivan hallintasivuston (omc.neul.com) käytön sujuvuus vaatii vielä lisätestausta, jotta lopullisia johtopäätöksiä voidaan tehdä. Mahdollinen seuraava kenttätesti voisi olla enemmän lopullisen sovelluksen kaltainen. Tällainen kuviteltavissa oleva testi voisi olla seuraavanlainen: ympärisäteilevä lähetysantenni tukiaseman päässä ja terminaalipään mittauksia BPSK8-modulaatiolla esimerkiksi raitiovaununpysäkeillä. Tämän kaltaisilla mittauksilla saataisiin arvokasta informaatiota radiosignaalin etenemisestä kerrostalojen katveessa, mikä on ratkaisevan tärkeää esimerkiksi HSL:n infotaulusovelluksen toteutusta arvioitaessa.



### 3.2.2 Pysäkkimittaukset Helsingin keskustan alueella 21.–23.10.2013

#### Johdanto

WISE2-projektissa yhteistyössä HSL:n kanssa 23.–27.9.2013 toteutetun testausjakson pohjalta nousi esiin kysymys Carlson Wirelessin Rural Broadband –laitteistolla toteutettavan kognitiiviradiolinkin kuuluvuudesta Helsingin keskustan haastavassa radioympäristössä. Päätettiin toteuttaa kenttätesti, jossa etukäteen valittujen raitiovaunupysäkkien kuuluvuudet kartoitetaan. Liikkuminen mittapaikasta seuraavaan toteutettiin liikkumalla raitiovaunulla, joten mittauskalusto muokattiin reppumalliksi. Tukiasema tässä mittauksessa pystytettiin suhteellisen korkealle, Pasilan linkkitorniin, noin 100 m korkeuteen maanpinnasta. Tukiaseman lohkokaavio on esitetty kuvassa 27 ja kenttämittauslaitteiston lohkokaavio kuvassa 28.

#### Tukiasema

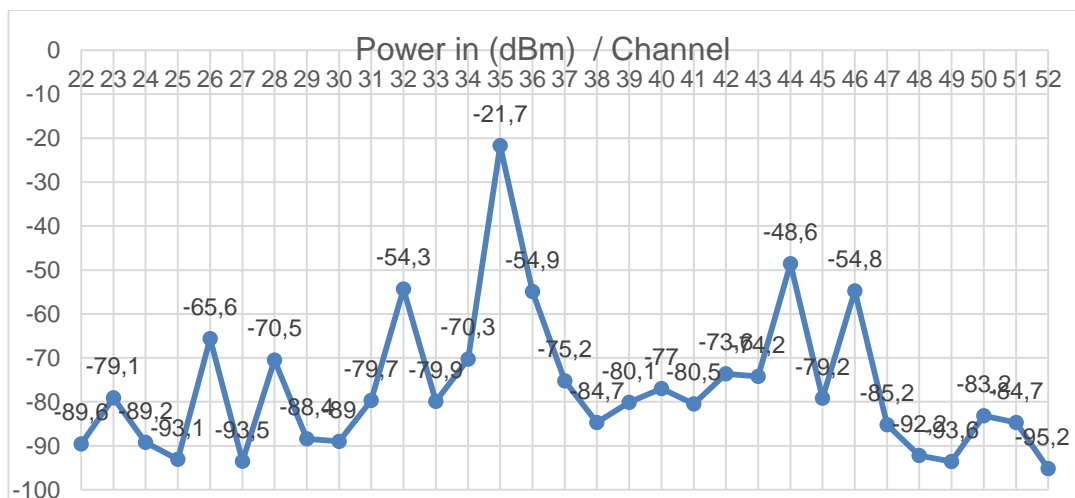
Tukiasema päädyttiin asentamaan Pasilan linkkitorniin hyvän kuuluvuuden takia, tämän mahdollisti WISE2-projektissa mukana oleva Digita, joka hallinnoi tornia.



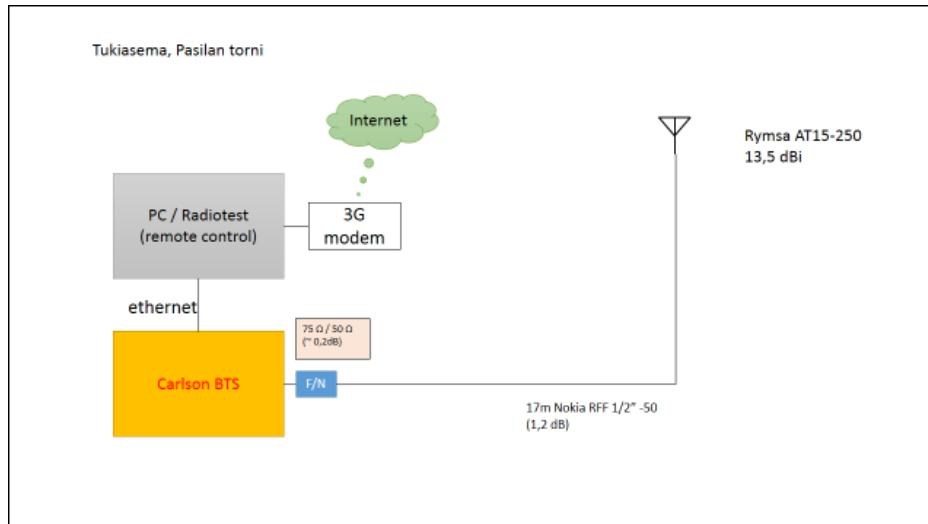
Kuva 25. Tukiaseman lähetysantenni Pasilan tornissa.



Antennina käytimme tornissa sijaitsevaa pystypolarisoitua paneeliantennia (Rymsa AT15-250), joka on 99,1 m korkeudella maanpinnasta (128,3 m merenpinnasta). Antennin 26° pääkeila oli suunnattu etelään, tarkemmin suuntaan 168° (kuva 25). Ennen lähetyksen aloittamista mittasimme 482 MHz – 722 MHz alueen kanavien tasot (kuva 26) pystypolarisoidulla antennillamme asettamalla antennikaapelin perään Rohde & Schwarzin ETL – mittavastaanottimen. Radioluvassa, johtuen korkealla sijaitsevasta lähetyksentennistämme ja sen aiheuttamasta häiriöriskistä kauemmille asemille mm. Viron suuntaan, käyttöömme on annettu vapaana oleva etukäteen koordinoitu kanava 24 (keskitaajuus 498 MHz) ja teemme kaikki mittaukset sillä. Tukiasemaa ohjataan tässä mittauksessa PC:llä Radiotest –ohjelmistolla, jota ohjataan etänä kentällä mukana olevalla PC:llä.



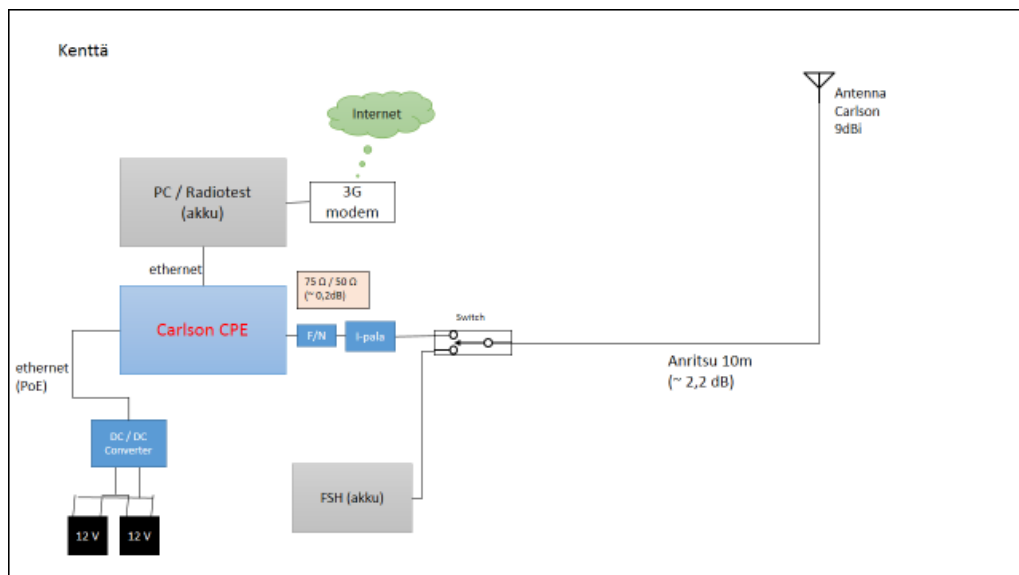
Kuva 26. Kohinatasot Pasilan linkkitornissa (Antenna Gain: 12 dBi, vertikaali polarisaatio).



Kuva 27. Pasilan tukiaseman lohkokaavio.

## Kenttäasema

Mitattaviksi pysäkeiksi valitsimme raitiovaunulinjojen: 2, 3, 9 ja 7b pysäkkejä pääasiassa 26° (-3 dB:n keila) sektorilta. Lisäksi mittasimme kaksi pistettä Isossa Mustasaarella sekä tallensimme lokitiedostoa etäisyyden funktiona Suomenlinnan lautassa (kuvaaja tuloksista löytyy liitteestä 5).



Kuva 28. Raitiovaunupysäkki-mittauskaluston lohkokaavio.

Kentällä tutkimme vastaanotetun tehon voimakkuutta FSH – spektrianalysointilla ja signaali-kohinasuhdetta käyttämämme Radiotest – ohjelmiston avulla. Jokaisella pysäkillä tallensimme 1 min pituisen lokitiedoston Radiotestillä. Tämä lokitiedosto sisältää sekunnin välein päivittyvät tiedot muun muassa SNR:n muutoksista ja BER- sekä CRC-arvot. Mittaustilannetta havainnollistavat kuvat 29 ja 30.



Kuva 29. Mittaustilanne, Hakaniemin raitiovaunupysäkki.



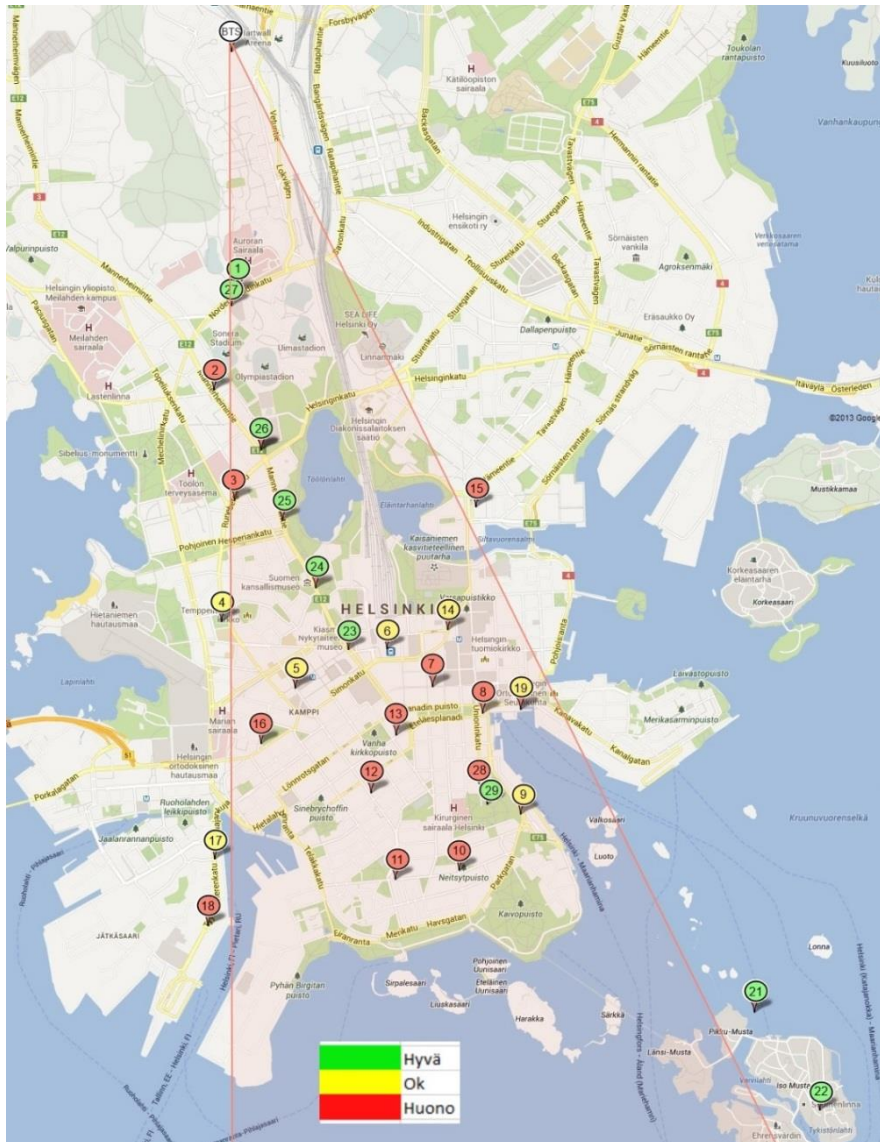
Kuva 30. Mittaustilanne, Suomenlinnan lautta.

## Tulokset

Taulukko 2. Raitiovaunupysäkkimittausten tulokset (f = 498 MHz, BPSK8 1/2).

N#	Linja	Location	H (m)	D (km)	Power in (dBm)	Downlink SNR	Uplink SNR
BTS		Pasilan TV torni	29,3	0			
27	ref.	Jäähallin p-paikka	11,8	1,57	-66	27	27
28		Kopernikuksentie	23	4,9	-84,6	21	n/a
29		Kopernikuksentie2	23	4,98	-78	27	22
1	2 linja	Auroran sairaala	11,8	1,49	-66	28	29
2		Töölön Halli	5,5	2,12	-86	10	n/a
3		Töölöntori	15,3	2,76	-86	12	n/a
4		Sammonkatu	15,3	3,56	-82	17,5	10
5		Kamppi	15,9	4	-83	16,6	13
6		Rautatieasema	2,5	3,94	-81,4	15	-1-11
7		Aleksanterinkatu	1,8	4,18	-90	7,4	n/a
8		Kauppatori	2,3	4,42	-90	13	n/a
9		Olympialaituri	7,8	5,12	-73	28	24
10	3 linja	Neitsytpolku	12	5,34	-101	-1,2	n/a
11		Eiran sairaala	9	5,27	-100	n/a	n/a
12		Iso Roobertinkatu	9,5	4,75	-100	-1,5	n/a
13		Erottaja	10,8	4,39	-99	2,5	n/a
14		Kaisaniemi	5,7	3,88	-90	8,3-16	-1 - +12
15		Hakaniemi	2,5	3,14	kohina	7	n/a
16	9 linja	Ruoholahden Villat	9,9	4,38	-92	7	n/a
17		Huutokonttori	3,2	5,05	-88,3	14	-4 - +11
18		Länsiterminaali	3,1	5,49	kohina	-1-1	n/a
19	Suomenlinna	Kauppatori2	2,1	4,51	-82	16	10
20		Suomenlinnan lautta					
21		Suomenlinna siwa	6,1	7	-71	28	24
22		Suomenlinna 2	4,7	7,6	-77	26	20
23	7b linja	Lasipalatsi	8,5	3,87	-76	28	26
24		Kansallimuseo	10,1	3,34	-68	31	28
25		Hesperian puisto	7,8	2,95	-72	27	25
26		Ooppera	7,1	2,49	-76	25	22

Pysäkkimittauksissa kerättyä dataa signaali-kohina –suhteen vakaudesta ja jakaumasta yhdistettynä signaalin voimakkuuksiin on havainnollistettu liitteessä 5. Kyseisessä liitteessä on käytetty samaa pysäkinumerointitapaa kuin yllä esitettyssä taulukossa 2.



Kuva 31. Mittapisteet, väritys kuvaa uplinkin laatua.

## Johtopäätökset

Tulokset (taulukko 2 ja kuva 31) viittaisivat siihen, että kerrostalojen katveissa ei lähetystehot (terminaali EIRP: 32 dBm, tukiasema EIRP: 36 dBm) tällaisella linkkivälillä riitä. Varsinkin uplink-suuntaan tukiasemalle saaavutettu signaalikohinasuhde ei aivan keskustan pysäkeiltä riitä tiedonsiirtoon. Toisaalta yli 6 km:n päässä lähellä Line of Sight –tilannetta oleva linkki tarjoaa varsin hyvän signaalikohina –suhteen (>20 dB), joka riittäisi hyvin esimerkiksi 16 QAM–modulaatiolle.

## 4 POHDINTA

Carlsonin laitteille valmistajan toimesta annettuja ominaisuuksia laboratorionkokeissa verifioidessamme huomasimme joitakin epäyhteneväisyyksiä. Nämä ristiriitaiset mittaustulokset pyrittiin aina varmistamaan toistamalla mittauksia myöhemmin uudelleen. Näin ollen saimme omille tuloksillemme lisää luotettavuutta ja kykenimme myös analysoimaan omia mittaamenetelmiämme. Melko uuden teknologian ja esimerkiksi sen testaamisen vaatimien ohjelmistojen vuoksi on luonnollisesti testauskokemuksen tuoman tietotaidon suhteellinen kasvu nimenomaan projektin alussa voimakasta.

Eriäviin mittaustuloksiin reagointiin olemalla yhteydessä Carlson Wirelessin teknisen tiimin kanssa niin sähköpostilla kuin puhelinneuvottelullakin. Lisäksi samoilla laitteilla toimimisesta kokemusta omaava tietokantatoimittaja Fairspectrum on ollut aktiivisesti mukana testaustyössä. Näissä keskusteluissa on pyritty varmistamaan eri tahojen käyttämistä testausmenetelmistä, sekä arvioitu esimerkiksi melko aktiivisessa muutosvaiheessa olleen ohjelmistopuolen päivitysten vaikutuksesta tuloksiin.

Tuloksemme, joissa todetaan terminaalin numero 487 lähetystehojen eroavan muista (kuva 8), on johtanut kyseisen laitteen käyttämättä jättämiseen kenttäkokeissa. Samassa kuvassa ilmenevä terminaalien toiminta-alueen päättyminen keskitaajuudelle 698 MHz on luonnollisesti estänyt meitä toimimasta 700 MHz:n yläpuolella. Laboratoriotestit toivat myös ilmi lähetystehojen laskevan trendin taajuuden kasvaessa niin terminaaleissa kuin tukiasemassakin. Tätä tulosta vasten pyrimme kenttäkokeissa suosimaan matalempia kanavia. Huomioitavan arvoista tässä yhteydessä on myös matalampien taajuuksien eli suurempien aallonpituuksien parempi etenemiskyky korkeampiin taajuuksiin verrattuna [3].

Luvussa 3.1.2 käsiteltyjen herkkyysmittausten antiin on syytä suhtautua suuntaantavana. Tämä johtuu siitä, että laitteeseen syntyvä kohinataso tuntui elävän pahimmillaan noin  $\pm 1,5$  dB. Joskaan modulaatioiden keskinäisiin herkkyysuhteisiin tämä ei niinkään vaikuta. Kuitenkin esimerkiksi herkkyysrajat vastaanotetun signaalintason voimakkuuksina annettuna (Liitteessä 3) antavat jopa loistavan työkalun kentälle muodostettavien linkkibudjettien karkeaan suunnitteluun.

Huomioidessamme luvussa 3.1.3 esitettyjen tiedonsiirtonopeuksien tulokset voidaan kognitiivista radioverkkoa alkaa sovelluskohtaisestikin arvioimaan. Syksyllä 2013 käytössä olleet modulaatiot tarjosivat latausnopeudet aina 10 Mbit/s:sta noin 100 kbit/s. Siispä sovelluskohteita voidaan kuvitella olevan laajakaistajakelun tai teräväpiirtotasaisen videovalvontajärjestelmän tyyppisestä, paljon siirtokapasiteettia vaativasta aplikaatiosta johonkin pientä datanopeutta tarvitsevaan ratkaisuun, kuten vaikka johonkin tekstipohjaiseen sensoriverkkoon. Carlsonin maksimisiirtonopeudeksi ilmoittama 16 Mbit/s on heidän itsensä antaman selvityksensä mukaan teoreettinen maksiminopeus, jota ei käytännössä saavuteta. Tähän viittaisikin ajallisesti terminaalilta tukiasemalla ja tukiasemalta terminaalille jaettujen siirtonopeuksien yhteenlaskettu summa.

Kenttätesteissä esiin kuitenkin tuli reaali maailman ilmiöiden epäideaalinen luonne. Yksi merkittävimmistä haasteista on terminaalilta tukiasemalle päin olevaan linkkiin muodostuva korkea kohina- ja häiriötaso. Tähän kohinatasoon vaikuttaa muun muassa tukiaseman antennin korkeus, koska korkeammalle sijoitettu antenni kerää häiriöitä laajemmalla alueella. Hyvällä radiokelillä voi korkealle sijoitettu antenni vastaanottaa häiriönä jopa 100 km päässä lähetettävää digi-tv-lähetettä. Koska kognitiiviradiolinkki vaatii sovelluksesta riippumatta jatkuvaa keskustelua tukiasemien ja terminaalien välillä, muodostuu tästä suunnasta niin sanotusti heikoin lenkki, joka rajoittaa yhteysetäisyyksiä. Esimerkiksi Ison-Britannian mallissa, jossa Ofcom määrää vapaat kanavat tietokannoille eteenpäin jaettavaksi, voi tietokanta niin valitessaan tarjota maksullisena lisäpalveluna tarkempaa kanava-analyysia asiakkaille sallituista kanavista parhaimpien löytämiseksi.

Kognitiiviradiota ei järjestelmänä tietenkään ole syytä kritisoida yleisesti langatonta tiedonsiirtoa koskevien fysiikalisten rajoitusten takia. Itse toimintaperiaate tuntuu varsin tehokkaalta. Joskin vaikuttaisi siltä, että mobiiliteetti olisi tärkeä ominaisuus kognitiiviradiolle. Tässä vaiheessa tämä ulkopuolelle jätetty ominaisuus vaatisi hyvin toimiakseen mahdollisuuden vaihtaa tukiasemaa sekä jokaiselle yksikölle GPS-paikantimen, jotta terminaaleille saataisiin jatkuvasti parhaimmat lähetysparametrit. Myöskin tieto jokaisen antennin korkeudesta tulisi olla tukiasemalle saatavana automaattisesti. Tällä hetkellä käytössä olevat 8 MHz:n kanavat saattavat joillekin potentiaalisille käyttäjille olla tarpeettoman suuria, johtaen näin kaistan tehottomaan käyttöön.

Käytetyssä hallintakeskuksessa suoritettiin syksyllä 2013 päivityksiä, jotka saattoivat vaikuttaa luotettavuuteen. Pääasiassa hallinta oli kuitenkin sujuvaa ja käyttäjälle oleelliset vähäiset säädöt ja indikaattorit olivat hyvin saatavilla.



## 5 YHTEENVETO

Tässä työssä tutkittiin Carlson Wirelessin Rural Connect 2 -kognitiiviradiojärjestelmää. Laitteiston toimintaa testattiin laboratoriotesteissä ja kenttäkokeissa. Laboratorio-olosuhteissa suoritettiin mittaukset koskien lähetystehoja, herkkyysrajoja sekä tiedonsiirtonopeuksia. Tuloksia verrattiin valmistajan spesifikaatioissa esittämiin ja tulos oli jokseenkin tyydyttävä. Kenttätesteissä järjestelmää testattiin Helsingin Seudun Liikenne - kuntayhtymän kanssa valkoisilla tv-alueilla. Kenttätesteissä kartoitettiin Helsingin raitiovaunupysäkkien kuuluvuuksia ja kognitiiviradiolaitteiston toimintaa HSL:n sovellusten kanssa.

Työ osoitti kognitiiviradion olevan varteenotettava vaihtoehto vapaiden UHF-alueen taajuuksien hyödyntämiseen. Radiolinkkien muodostaminen onnistui Helsingin keskustan alueella ilman järjestelmien toisilleen aiheuttamaa liiallista häiriötä. Mittaustuloksista on saatavissa käsitys testatun laitteiston suorituskyvystä ja kuuluvuuskartoista on arvioitavissa järjestelmän toimintakyky kaupunkiympäristössä. Nämä muodostavat perusteellisen ja luotettavan pohjan esimerkiksi jatkotestaukselle testiverkkojen suunnittelussa.

## LÄHTEET

- [1] Haykin, S. "Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications" 2005
- [2] Ofcom "TV white spaces A consultation on white space devices" 2012
- [3] Wyglinski, A., Nekovee, M., Hou, T., Cognitive radio communications and networks, San Diego, Academic Press, 2010
- [4] FCC "FCC 12-36 Third Memorandum Opinion and Order, In the Matter of Unlicensed operation in the TV Broadcast Bands" 2012
- [5] Ofcom, "Ofcom invites industry to pilot 'white space' devices", [www-dokumentti], saatavilla <http://consumers.ofcom.org.uk/2013/04/ofcom-invites-industry-to-pilot-%E2%80%98white-space%E2%80%99-devices/> (luettu 12.11.2013)
- [6] Turun AMK, "TV White Space -taajuuksilla – Käyttämättömät tv-jakeluverkon taajuudet testikäyttöön", [www-dokumentti] saatavilla <http://www.turkuamk.fi/public/default.aspx?contentid=383082&nodeid=7941> (luettu 12.11.2013)
- [7] ETSI "ETSI EN 301 598 V1.0.0 White Space Devices (WSD); Wireless Access Systems operating in the 470 MHz to 790 MHz frequency band; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive" 2013.
- [8] Ruttik, K. "Secondary spectrum usage in TV white space, doctoral dissertation" 2011
- [9] ECC "ECC Report 185, Complementary Report to ECC Report 159 Further definition of technical and operational requirements for the operation of white space devices in the band 470-790 MHz" 2013

- [10] ITU-R [Report SM.2152: Definitions of Software Defined Radio and Cognitive Radio Systems] saatavilla [http://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2152-2009-PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2152-2009-PDF-E.pdf)
- [11] ECC “ECC Report 185, Complementary Report to ECC Report 159 Further definition of technical and operational requirements for the operation of white space devices in the band 470-790 MHz” 2013
- [12] ECC “ECC Report 186, Technical and operational requirements for the operation of white space devices under geo-location approach” 2013
- [13] IEEE “IEEE 802.11af: A Standard for TV White Space Spectrum Sharing”, IEEE Communications Magazine, lokakuu 2013
- [14] IEEE “IEEE 802.22: The First Cognitive Radio Wireless Regional Area Network Standard”, IEEE Communications Magazine, tammikuu 2009

## RuralConnect 2 -laitteiston Spesifikaatiot

CarlsonWireless.com


**CARLSON** BROADBAND AND VOICE PRODUCTS

*Available in US Only under FCC-Approved Experimental Licenses!*

### RuralConnect® Generation II

**FASTER SPEED, BETTER COVERAGE and LOWER COST**  
**TV WHITE SPACE BROADBAND RADIO**



**CLIENT UNIT**

Imagine rural broadband where it's never been before, bringing telemedicine, distance learning and residential connectivity to last-mile locations. RuralConnect® II uses vacant TV frequencies (TV white space) to bring wireless broadband to homes, businesses, and municipal sites. TV frequencies penetrate foliage and weave around hills and other barriers that render microwave or Wi-Fi inoperable.

---



**ACCESS POINT**

**APPLICATIONS:**

- Rural Broadband Internet Access
- Community Hotspots
- Mobile Broadband
- VoIP/SIP Networks
- Video Surveillance & Security
- Mobile Command Unit
- Wi-Fi Hotspot Backhaul
- Home Networks
- M2M SCADA Communications:
  - Smart Grid & Metering
  - Traffic Signal Communications
  - Oil & Gas Well and Pipeline Monitoring
  - Wind Farms

**FEATURES:**

**The Beachfront Spectrum Advantage**  
The RuralConnect® II is a software-defined radio designed to support access to vacant television bands. In 2010, the FCC made these unoccupied TV channels available for unlicensed broadband with range and propagation superior to microwave.

**Greater Throughput, Lower Latency and Higher Reliability**  
With OTA speeds up to 16 Mb/s, RuralConnect® II offers the throughput necessary for today's Internet needs. Advanced receiver technology blocks nearby high-power cellular TV signals from interfering. Breakthrough equalization algorithms resist fading, and in point-to-point configuration, the frequency division duplexing (FDD) option allows for higher throughput and very low latency.

**Flexible Configuration**  
RuralConnect® II offers a variety of user-configurable data rates, channel bandwidths and operating frequencies. The protocol is designed around a typical balancing of 70% downlink and 30% uplink communication.

**Multiple Applications**  
The RuralConnect® II can be used to create point-to-point and point-to-multipoint networks with priority-routing support for voice, data and video traffic.

**System Throughput Example**  
With 10 CPEs attached to a single BST (3 CPEs in active mode and 7 CPEs in passive mode), the system will have an active CPE bandwidth of 3.2 Mb/s downlink and 1.6 Mb/s uplink and an active CPE latency of 140 ms.

---

**Available in US Only under FCC-Approved Experimental Licenses**

The RuralConnect® device is intended for use as a Part 15 TV band device (TVBD) for fixed wireless operations in compliance with rules adopted by the FCC (See <http://www.fcc.gov/topic/white-space>). Under FCC rules, the RuralConnect® device may not be sold or leased, or offered for sale or lease, or imported, shipped or distributed for the purpose of selling or leasing or offering for sale or lease, until the FCC certifies this TVBD. Accordingly, a conditional sales contract between manufacturers and wholesalers or retailers is permitted under FCC rules provided that delivery is contingent upon compliance with the applicable equipment authorization and technical requirements. In addition, this TVBD may be offered for sale solely to business, commercial, industrial, scientific or medical users for TVBDs that are in the conceptual, developmental, design or pre-production stage prior to equipment authorization by the FCC.

The purchaser is hereby informed that the equipment is subject to the FCC rules and the equipment will comply with the appropriate rules before delivery to the purchaser or to centers of distribution.



**Carlson Wireless Technologies, Inc.**  
2700 Foster Avenue  
Arcata, CA 95521 USA

T: +1 707.822.7000  
F: +1 707.822.7010  
E: [info@carlsonwireless.com](mailto:info@carlsonwireless.com)






## RuralConnect® Generation II

### SYSTEM SPECIFICATIONS

<b>Frequency Bands</b>	UHF 470-698 MHz (US) UHF 470-786 MHz (ETSI)
<b>Channel Spacing</b>	6 MHz (US), 8 MHz (ETSI)
<b>Modulation</b>	QPSK, 16QAM
<b>OTA Data Rates</b>	4, 6, 8, 12, and 16 Mb/s
<b>Data Rate Control</b>	Adaptive or fixed
<b>Receive Interface</b>	Proprietary technology is used to reduce co-channel interference
<b>RX Sensitivity</b>	-93 dBm for 10-6 BER using QPSK 1/2 -86 dBm for 10-6 BER using 16QAM 1/2 -80 dBm for 10-6 BER using 16QAM
<b>RX Blocking Resistance</b>	-50 dBm TV transmission on chan N+2 -20 dBm cellular station transmissions
<b>RX Max Signal</b>	-16 dBm with full linearity
<b>Operating Mode</b>	TDD (Time Division Duplexing)
<b>User Ports</b>	10/100 baseT Ethernet

### NETWORK SPECIFICATIONS

<b>Typical Client Loading</b>	10 clients with 3.2Mb/1.6Mb res SLA
<b>Management</b>	Web-based browser using https interface
<b>End-to-End Latency</b>	100-140 ms

### REGULATORY SPECIFICATIONS

<b>ACP and Spectrum Mask</b>	Meets FCC and Ofcom specifications -55 dBm +/- 3 MHz relative to 12.2 dBm (measured at 100 KHz increments)
------------------------------	---

### ENVIRONMENTAL SPECIFICATIONS

<b>Operating Temperature</b>	-30° to 55° C
<b>Operating Humidity</b>	Up to 95%, non-condensing
<b>Shock and Vibration</b>	MIL-STD-810

### SECURITY

<b>Security Mechanism</b>	Optional encryption using the AES 128 bit open standard
---------------------------	---

### BASE STATION

<b>RF Transmit Power</b>	+28dBm level across band within +/- 1dB
<b>Antenna Connector</b>	"F" type female 75 Ohms

### MECHANICAL SPECIFICATIONS

<b>Unit Dimensions</b>	19.6" x 6" x 1.75"
<b>Enclosure Material</b>	Painted steel
<b>Weight</b>	5 lbs
<b>Mounting</b>	19 inch EIA 2 unit rack

### POWER - INDOOR RACK MOUNT

<b>Voltage</b>	100-240 VAC, 50-60 Hz or 12 VDC
<b>Current</b>	Tx: 30W, Rx: 15W, Idle: 13W
<b>Connector</b>	POE

### CPE TERMINAL

<b>RF Transmit Power</b>	+27dBm level across band within +/- 1dB
<b>Antenna Connector</b>	"F" type female 75 Ohms

### MECHANICAL SPECIFICATIONS

<b>Unit Dimensions</b>	9.20" x 7" x 1.6"
<b>Enclosure Material</b>	Painted aluminum
<b>Weight</b>	3 lbs 12 oz
<b>Mounting</b>	Outdoor on mast or wall

### POWER - OUTDOOR TOWER MOUNT

<b>Voltage</b>	100-240 VAC, 50-60 Hz or 12 VDC
<b>Current</b>	Tx: 24W, Rx: 10W, Idle: 8W
<b>Connector</b>	POE

Below are examples of different distances and modulation settings to show throughputs and link margin in a 6 MHz US channel. (Values for 8 MHz ETSI channels are approximately 30% greater.)

Downlink TCP/IP	OTA rate in Mb/s	Modulation	Distance in mi	Base Ant Gain in dBi	CPE Ant Gain in dBi	RF Cable loss in dB	Frequency in MHz	ERP in dBm	Rx Threshold in dBm	Link Margin in dB
2	4	QPSK 1/2	12.2	5.6	13	2.2	573	36	-95	21.1
3-4	6	QPSK 3/4	8.5	5.6	11	3.2	573	35	-92	20.2
4-6	8	16QAM 1/2	6.1	5.6	11	3.2	573	35	-89	20.1
7-8	12	16QAM 3/4	3.7	5.6	9	3.2	573	33	-84	17.5
9-11	16	16 QAM	2.4	5.6	9	3.2	573	33	-79	16.0

Model No.	Type	Beamwidth	Polarity	Frequency	Gain	Impedance	Connector	Weight	Dimensions
053-470-786-6-2B-V	Omni	360 Deg	Vertical	470-786 MHz	6 dBi	75 ohm	F (f)	25 lbs	42" x 6" dia.
053-470-786-75-10	Sector	90 Deg	V or H	470-786 MHz	10 dBi	75 ohm	F (m)	8 lbs	14" x 36"
057-470-786-9-F	Directional	45 Deg	Vertical	470-786 MHz	9 dBi	75 ohm	F (m)	2 lbs	14" x 15"
057-470-786-15-7	Directional	35 Deg	Vertical	470-786 MHz	11 dBi	75 ohm	F (m)	7 lbs	12" x 60"
057-470-786-13-F	Directional	15 Deg	Vertical	470-786 MHz	13 dBi	75 ohm	F (m)	8 lbs	14" x 50"



Carlson Wireless Technologies, Inc.  
2700 Foster Avenue  
Arcata, CA 95521 USA

E: info@carlsonwireless.com  
T: +1 707.822.7000  
F: +1 707.822.7010

Specifications subject to change without notice

US Patent Pending

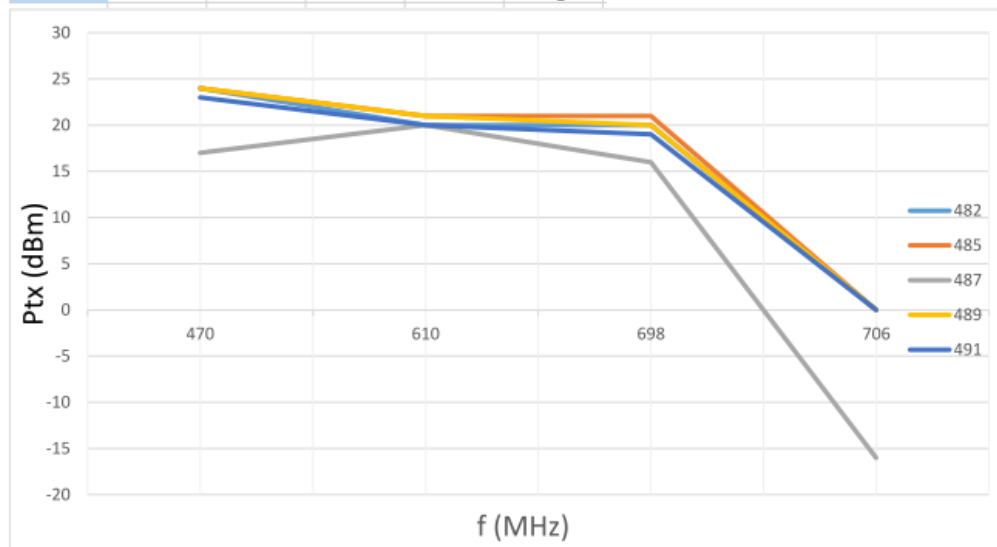
Updated 05.07.13



## Lähetystehomittausten tulokset

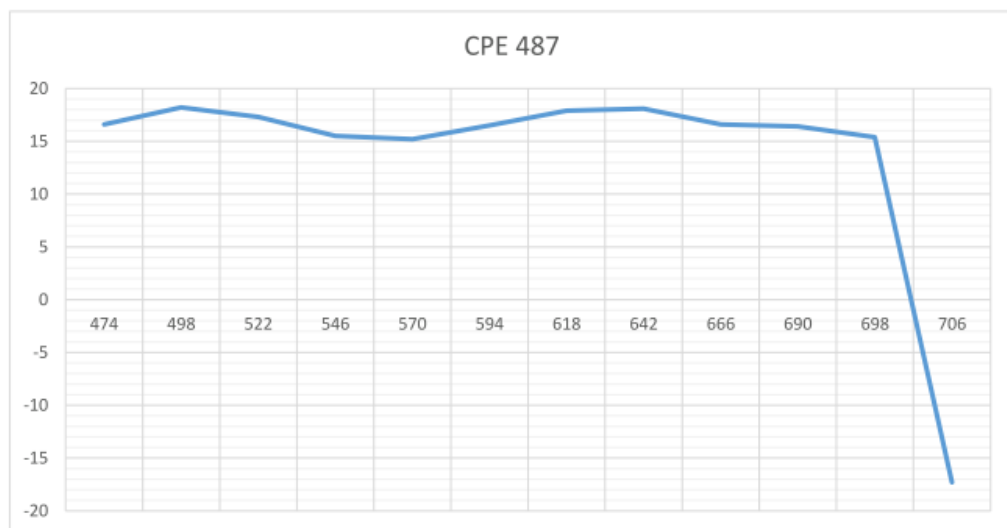
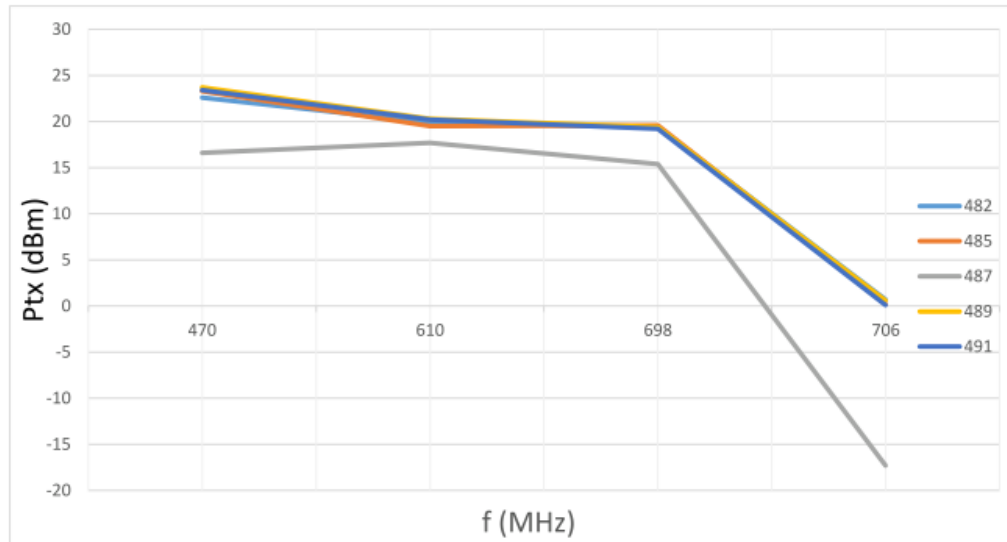
9/19 Measured CPE

CPE	f (MHz)				
	470	610	698	706	714
482	24	20	20	0	no signal
485	24	21	21	0	no signal
487	17	20	16	-16	no signal
489	24	21	20	0	no signal
491	23	20	19	0	no signal



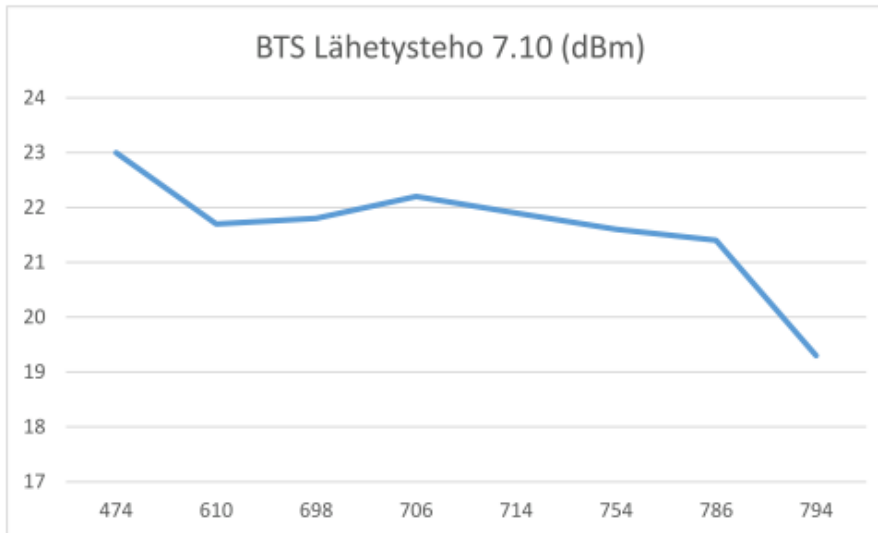
10/4 Measured CPE

CPE	P <sub>tx</sub>		f (MHz)			
	470	610	698	706	714	
482	22,6	19,9	19,4	0,7		no signal
485	23,3	19,5	19,6	0,2		no signal
487	16,6	17,7	15,4	-17,3		no signal
489	23,7	20,3	19,4	0,6		no signal
491	23,4	20,2	19,2	0,1		no signal



10/7 measured BTS

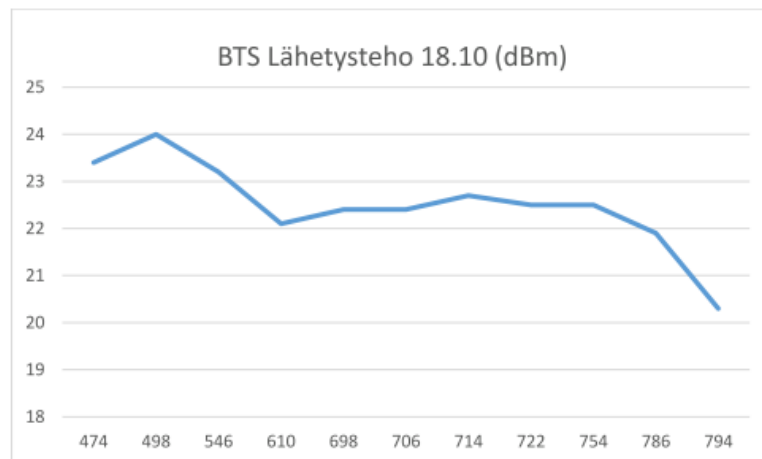
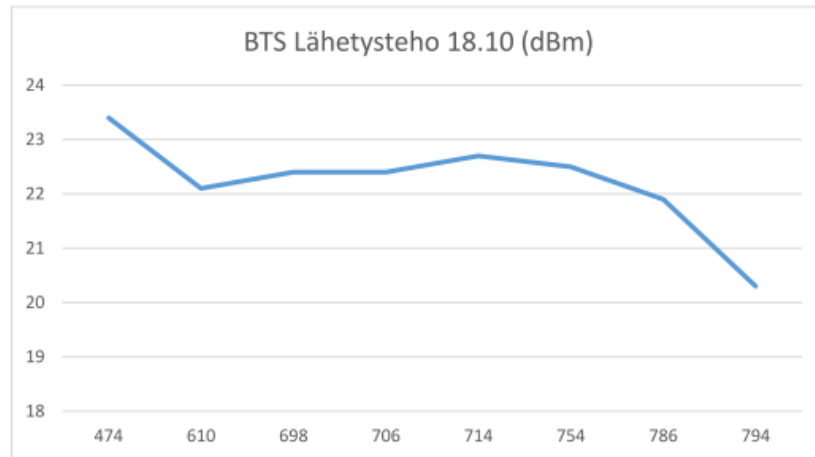
Zero Span -mittaus (RBW 10MHz, VBW 300KHz) FSP								
	f (MHz)							
BTS	474	610	698	706	714	754	786	794
	23	21,7	21,8	22,2	21,9	21,6	21,4	19,3



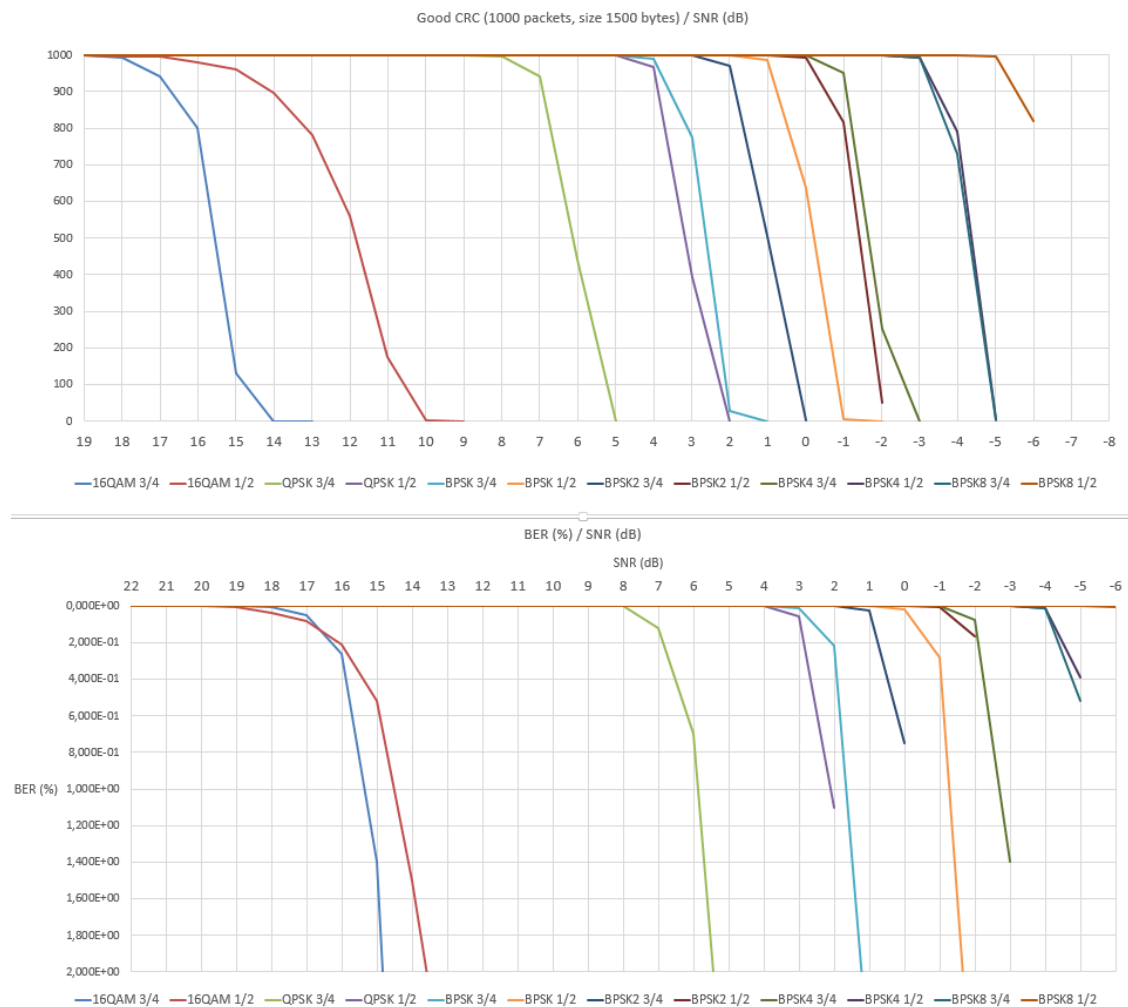


10/18 measured BTS

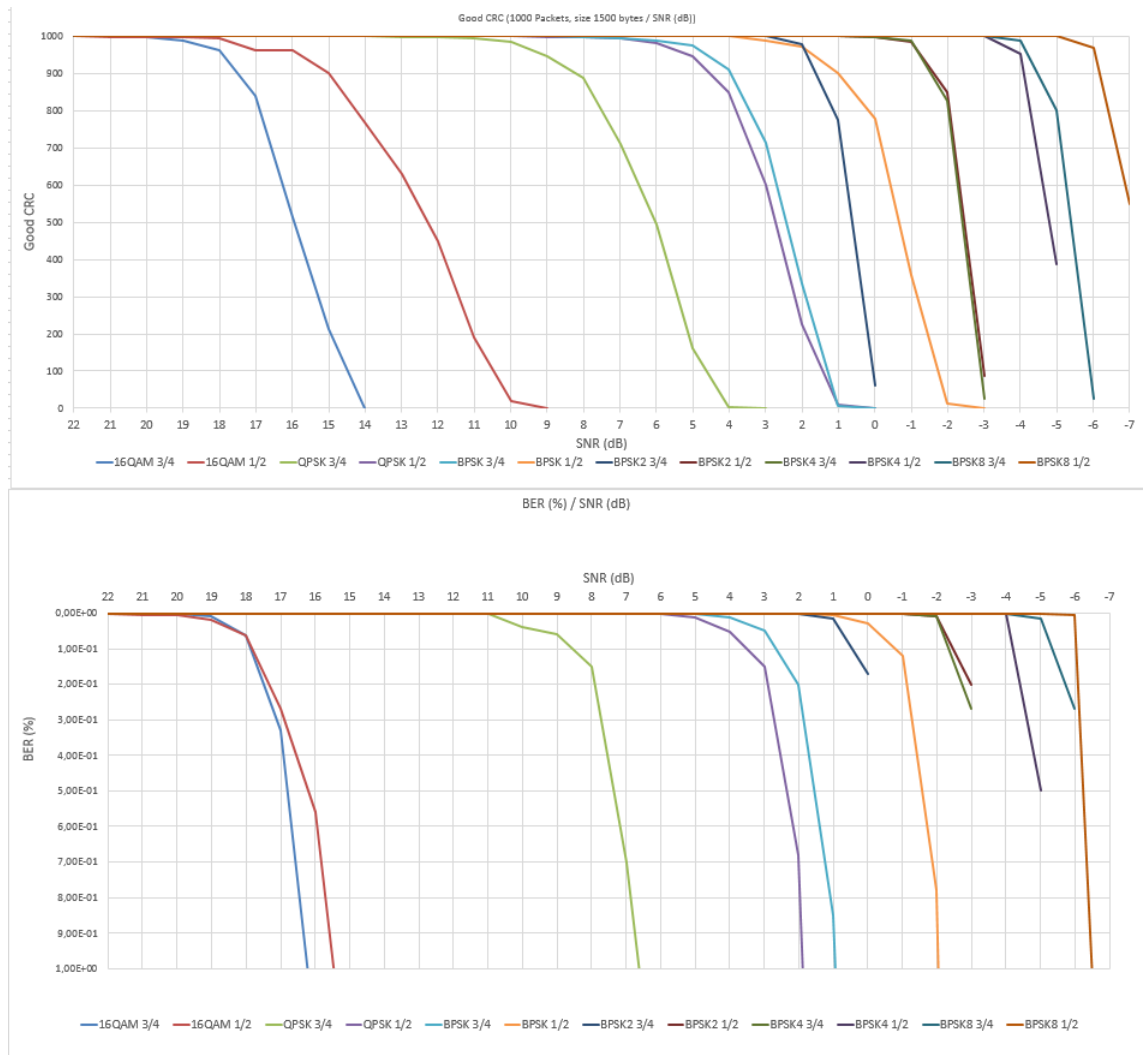
Zero Span -mittaus (RBW 10MHz, VBW 300kHz) FSP											
	f (MHz)										
BTS	474	498	546	610	698	706	714	722	754	786	794
	23,4	24	23,2	22,1	22,4	22,4	22,7	22,5	22,5	21,9	20,3



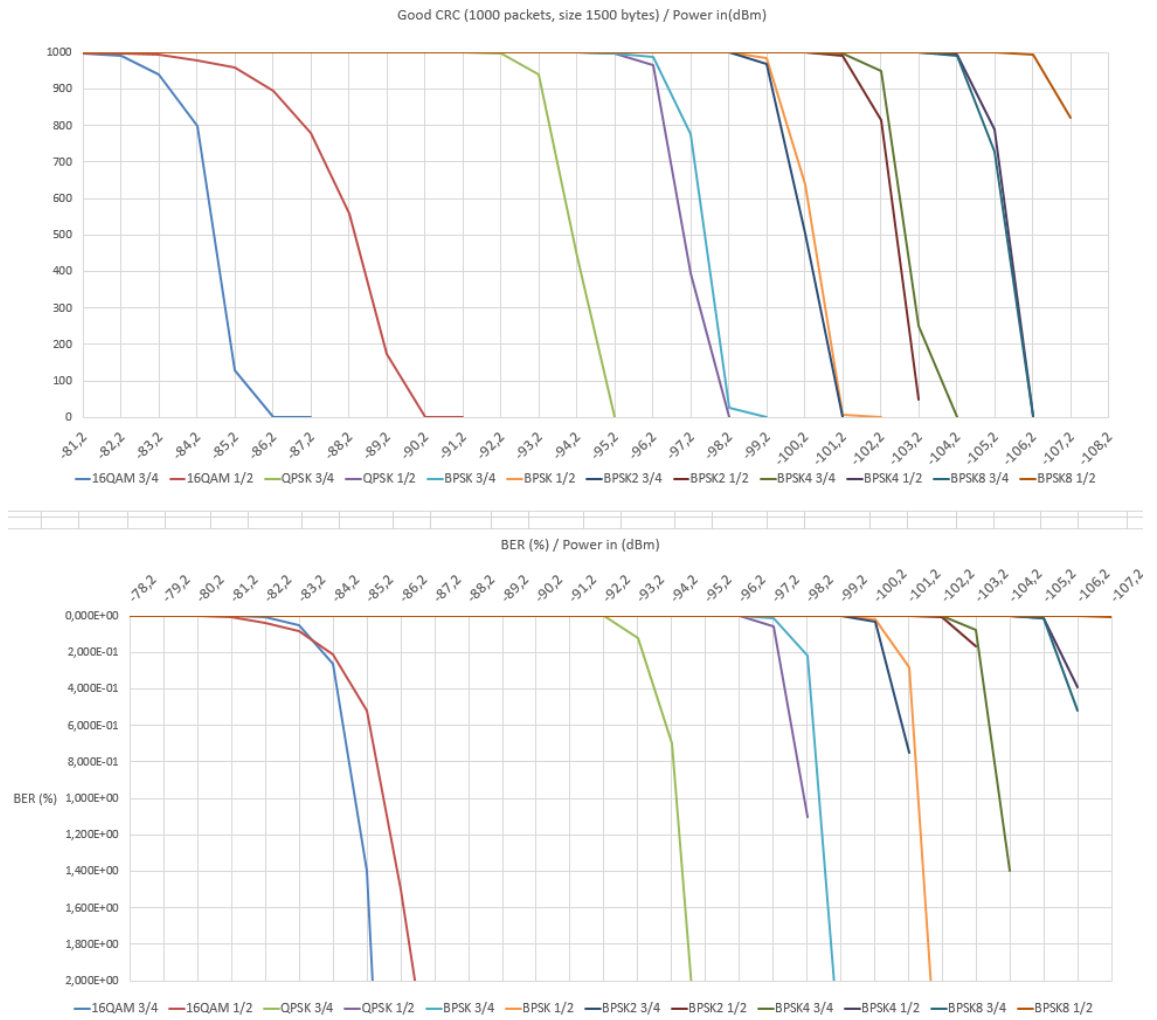
## Herkkyyssmittausten tulokset



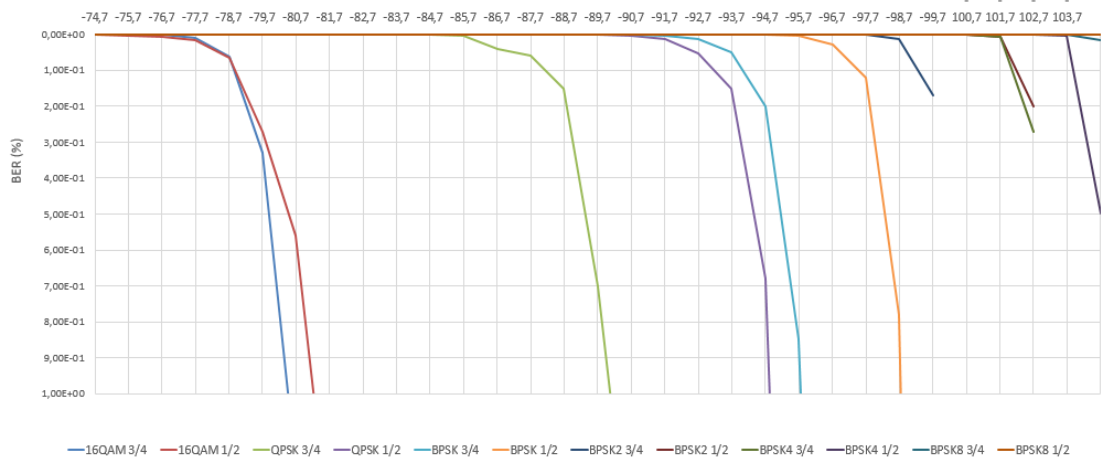
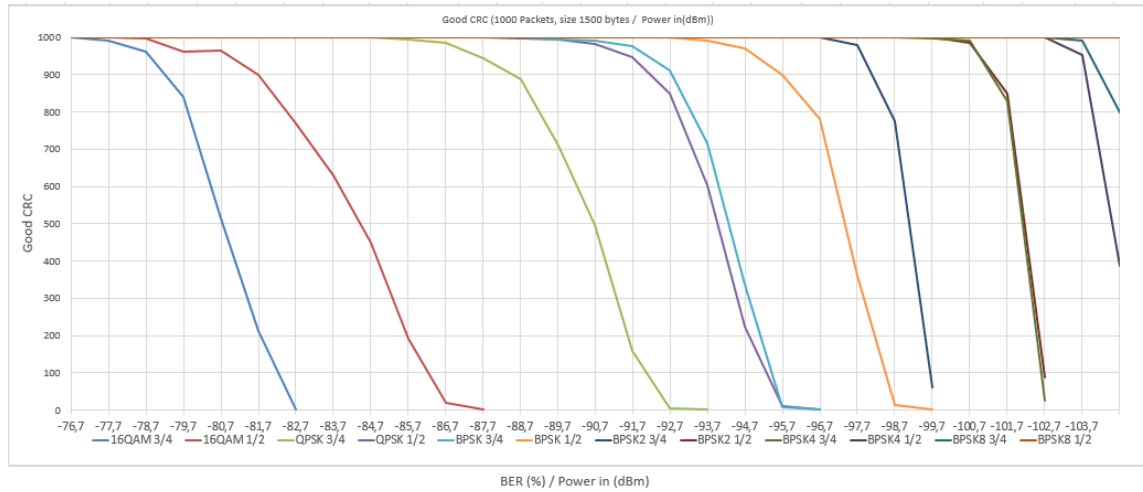
Downlink SNR:n suhteen



Uplink SNR:n suhteen

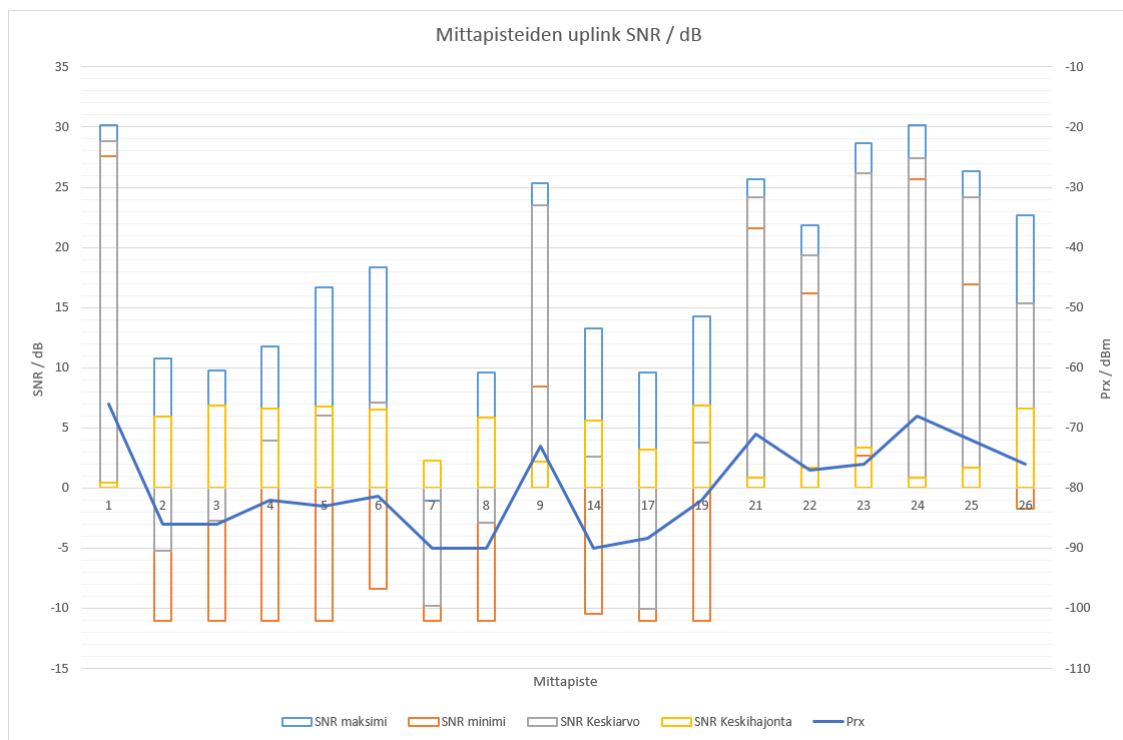
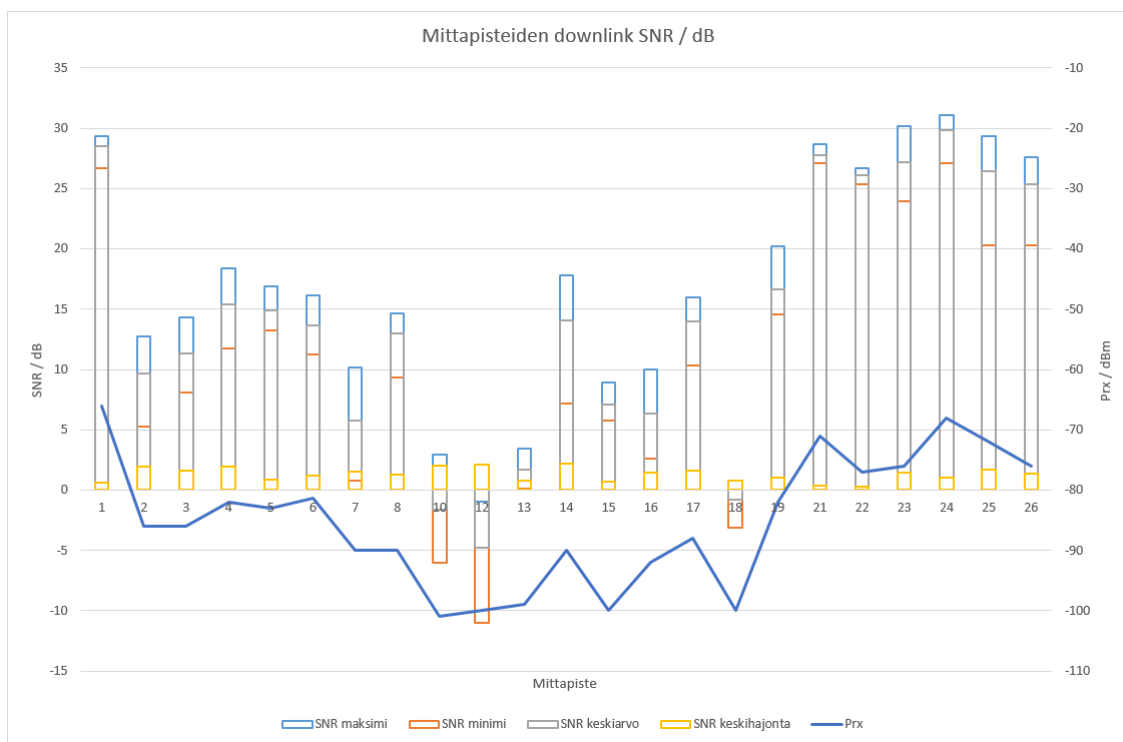


Downlink signaalivoimakkuuden suhteen

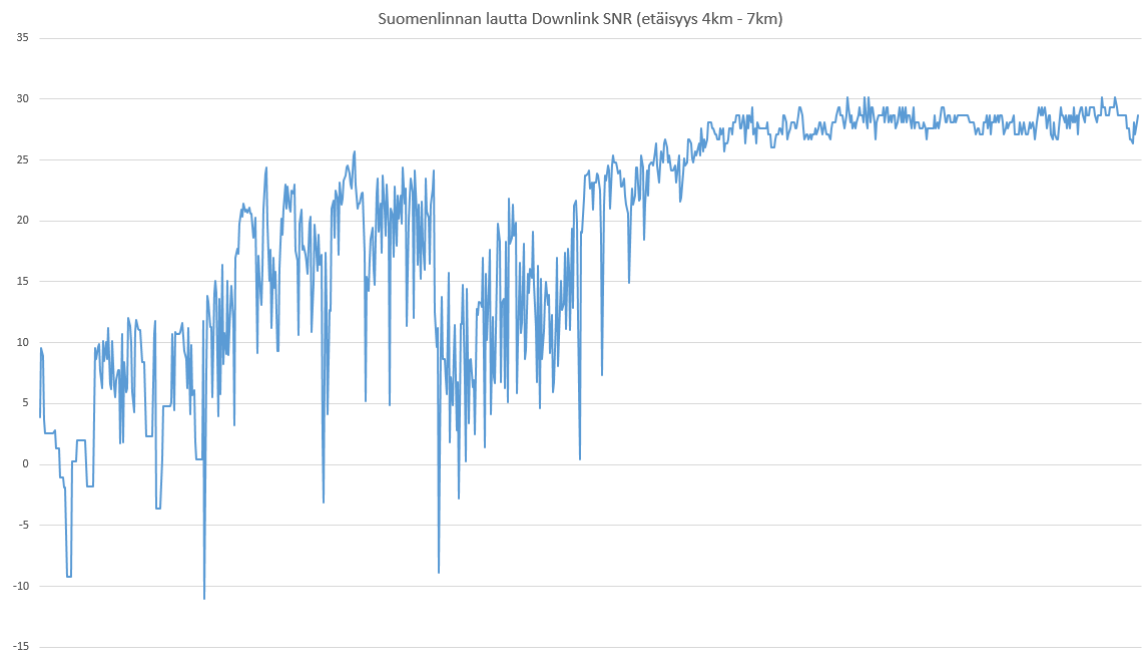


Uplink signaalivoimakkuuden suhteen

## HSL-pysäkkimittausten tulokset



## Mittaustulokset Suomenlinnan lautalta



## HSL-kuitti

Jannen Kiska  
 JANNEN MYPISPP2  
 katuosoite  
 040 111222  
 7400 0004 0001 3697  
 25.09.2013 15.05

MATKAKORTTIMYYNTI  
 \* PERUUTUS \*

Kortin nro: 924620001100253599

Korttityyppi: Henkilökohtainen  
 Kortti voimassa: 31.08.2019  
 Asiakasryhmä: Opiskelija  
 As ryhmä voimassa: 31.12.2013  
 Kotikunta: Helsinki

Kausi: HELSINKI ALE 2  
 Alkaa: 04.10.2013  
 Päätyy: 17.10.2013  
 Voimassa(pv): 14  
 Hinta: 12.00 e

ALV	Netto	Vero	Brutto
10.00 %	10.91	1.09	12.00

\*\*\*\*\*  
 Tarkista, että tiedot ovat oikein!  
 \*\*\*\*\*