

Opinnäytetyö (AMK)
Elektroniikan koulutusohjelma
Tietoliikennejärjestelmät
2015

Sami Elo

KOGNITIIVIRADIO- JÄRJESTELMÄN SOVELLUSTEN TESTAUS



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikan koulutusohjelma | Tietoliikennejärjestelmät

2015 | 33 sivua

Yliopettaja Reijo Ekman, Yliopettaja Juha Nikkanen

Sami Elo

KOGNITIIVIRADIOJÄRJESTELMÄN SOVELLUSTEN TESTAUS

Tässä opinnäytetyössä testattiin kognitiiviradiojärjestelmän luotettavuutta ja sään vaikutusta järjestelmän toimintaan. Tämä opinnäytetyö on osa 4-vuotista WISE2-projektia, joka on toteutettu Viestintäviraston ja useiden lähialueen yritysten kanssa yhteistyössä.

Luotettavuutta testattiin videovalvontajärjestelmän avulla kuormitusta eli kameran bittinopeutta säätämällä. Testejä tehtiin usealla erilaisella kuormituksella. Säätöä suoritettiin seuraamalla signaalin signaalikohinasuhdetta säätilan mukaan.

Työn tuloksena saatiin tärkeää lisätietoa järjestelmän luotettavuudesta pidemmällä aikavälillä. Kognitiiviradio on luotettava ja vakaa järjestelmä, mutta ei sovellu 100-prosenttista luotettavuutta vaativiin sovelluksiin. Sään vaikutuksesta kognitiiviradiojärjestelmän toimintaan saatiin tuloksia 3 viikon ajalta. Sään vaikutusten perusteellinen tutkiminen vaatisi kuitenkin kuukausien, ehkä jopa vuosien jatkuvaa seuranta.

ASIASANAT:

kognitiivinen radio, valkoiset tv-alueet, tietoliikennetekniikka

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Telecommunication Systems

2015 | 33 pages

Reijo Ekman, M.Sc.EE, Principal Lecturer, Juha Nikkanen, Lic.Sc.(Tech), Principal Lecturer

Sami Elo

TESTING COGNITIVE RADIO SYSTEM APPLICATIONS

The purpose of this thesis was to test the reliability and the effect of weather in a cognitive radio system.

Reliability was tested with a video surveillance system working as an adjustable load for the network. The load was adjusted by modifying the bit rate of the camera. The effect of weather was tested by measuring the signal-to-noise ratio, while monitoring the weather.

As a result a good understanding of the long-term reliability of the cognitive radio system was achieved. The effect of weather was tested for three weeks. However, the test was not long enough to reach reliable conclusions, as it would need a longer testing period. The testing period would have to last many months, or maybe years.

KEYWORDS:

cognitive radio, telecommunications technology, TV white space

SISÄLTÖ

SANASTO

1 JOHDANTO	1
2 VALKOINEN TV-ALUE	2
2.1 Järjestelmä	2
2.2 Toiminta	3
3 ASENNUSVAIHE	5
4 OHJELMISTOT	11
4.1 Realshot manager	11
4.2 Carlsonin hallintakeskus ja performance-välilehti	12
5 MITTAUKSET	13
5.1 Valmistelut	13
5.2 Mittausten aloitus	15
5.3 Videotesti	19
5.4 SNR-testi	23
5.5 Päätelmiä mittaustuloksista	30
6 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	33

LIITTEET

Liite 1. Aerial D100-1000

Liite 2. Suomen maanpäällisten televisiolähetyksen lähettimet ja taajuudet.

Liite 3. Signaalikohinasuhdemittaukset ja sääolosuhteet

Liite 4. Signaalikohinasuhde lähettimien kanavilta

SANASTO

BER	Bit error rate, bittivirhesuhde
CPE	Customer premises equipment, asiakastila-laite
dBi	Isotrooppinen desibeli
dBm	Desibelimäärä suhteessa milliwattiin
EIRP	Effective isotropically radiated power, isotrooppinen säteilyteho
Ficora	Suomen viestintävirasto
FPS	Frames per second, kehysnopeus
PoE	Power over ethernet, virransyöttötekniikka
SNR	Signal to noise ratio, signaalikohinasuhde
TVWS	TV white space, valkoinen tv-alue
VAC	Vaihtosähköjännite
VDC	Tasajännite

1 JOHDANTO

Langattomien sovellusten käyttö on lisääntynyt lähivuosina merkittävästi. Yhä useammat sovellukset voidaan ja halutaan toteuttaa langattomasti. Ongelmana on, että nämä sovellukset vaativat suuren määrän tilaa taajuuskaistan spektristä. Tulevaisuuden sovellukset luultavasti käyttävät sitä vielä enemmän. Siksi jatkuvasti yritetään kehittää vaihtoehtoisia teknologioita näiden rinnalle. Kognitiiviradiojärjestelmä on yksi tällainen.

Kognitiiviradiojärjestelmä toimii UHF-alueella, television käyttämällä 470—790 MHz:n taajuudella. Se on suunniteltu käyttämään ns. valkoisia alueita spektrillä televisiokanavanippujen välissä. Valkoiset alueet syntyvät spektrille siitä, että televisiokanavanippujen välillä tarvitsee olla tyhjää tilaa, jotta korkean lähetystehon tv-lähetykset eivät häiritse toisiaan. Tärkeää on ottaa huomioon lähetystehot tällä taajuusalueella, jotta ongelmaton televisiolähetysten katselu on kaikille mahdollista. Kognitiiviradio on älykäs järjestelmä, jota varten on rakennettu tietokanta, joka ohjaa järjestelmän toimintaa. Tietokanta valvoo reaaliaikaisesti, että järjestelmä ei häiritse taajuusalueen pääsovelluksia.

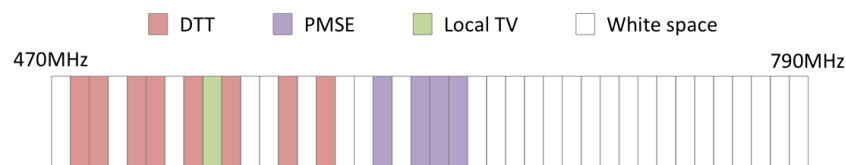
Tämä opinnäytetyö on osa 4-vuotista WISE2-projektia, josta on tehty usea opinnäytetyö eri osa-alueista. Vuonna 2013 Matti Simolin teki opinnäytetyön kognitiiviradiojärjestelmän yli toteutetusta videovalvontajärjestelmästä keskittyen kameran kuvaan ja laatuun [1]. Tämä opinnäytetyö on toteutettu myös videovalvonnan avulla, mutta keskittyy lähes pelkästään signaalin laatuun pitkällä aikavälillä. Videovalvonta on toiminut pääasiassa merkinä yhteyden toimivuudesta.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan käytännön testeillä kognitiiviradiojärjestelmän luotettavuutta ja toimintaa pidemmällä aikavälillä kuin Matti Simolinin opinnäytetyössä. Testaaminen aloitettiin seuraamalla yhteyden toimivuutta erilaisilla kuormituksilla. Kuormitusta muutettiin yhteyden päässä olevan kameran bittivirtanopeutta muuttamalla. Myöhemmin testiä jatkettiin tutkimalla sääolosuhteiden vaikutusta yhteyden laatuun.

2 VALKOINEN TV-ALUE

2.1 Järjestelmä

Valkoinen tv-alue tarkoittaa tyhjää tilaa käytössä olevalla spektrillä kanavien välissä. Ongelmana monilla alueilla on se, että spektri on jo täynnä eikä uusille sovelluksille ole tilaa. Kognitiiviradio on yksi sovellus, joka voi käyttää tyhjää tilaa olemassa olevien sovellusten välissä. Nämä välit ovat usein syntyneet siitä, että käytössä olevat sovellukset (esim. tv-kanavat) varmistavat, ettei häiriöitä eikä päällekkäisyyksiä synny [2]. Kuvassa 1 nähdään tyypillinen kuva spektristä kaupunkien ulkopuolella.



Typical usage of UHF TV spectrum in a specific location

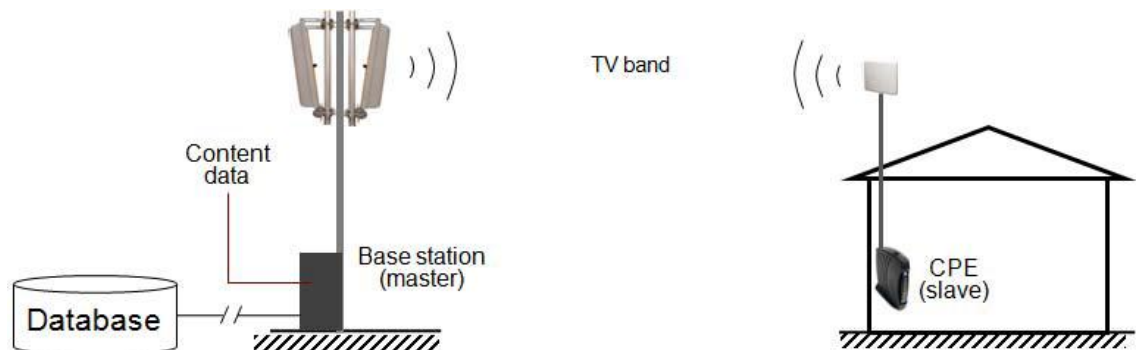
Kuva 1. Tyypilliset valkoiset tv-alueet kaupunkien ulkopuolella [3].

Vaihdos analogisesta televisiosta digitaaliseen vapautti paljon tilaa spektriltä, koska digitaalista tv-kuvaa pystytään lähettämään paljon tehokkaammin kuin analogista. Näin spektrille on tullut vapaata tilaa. Tämän takia tällä hetkellä on keskitytty spektrin UHF-alueeseen (470 — 790 MHz). Varsinkin isoissa kaupungeissa spektri on usein täynnä, jolloin tilaa kanavien välissä ei ole. 470 — 790 MHz:n alueella on 32 kanavaa, mutta vain maksimissaan kuusi 8 MHz:n spektrileveydellä olevaa tv-kanavalähetystä [3]. Korkeatehoiset tv-lähetykset joudutaan jakamaan alueittain spektrille ja eri kanaville, jotta ne eivät aiheuta häiriöitä keskenään. Tämä aiheuttaa tyhjien välien syntymisen spektrille, joita kognitiiviradio voi käyttää. Ehtona on se, että se ei aiheuta minkäänlaisia häiriöitä tv-lähetyksille. Kognitiiviradioissa ei siis voi olla suuret lähetystehot, Suomessa maksimilähetysteho on +31 dBm [4].

Suomessa on vasta Turun ammattikorkeakoulun testiverkko ainoa luvan saanut sovellus, joka on toteutettu Viestintäviraston ja useiden lähialueen yritysten kanssa yhteistyössä. Yhdysvalloissa valkoisen tv-alueen sovellukset ovat jo käytössä, eli valkoisen tv-alueen sovelluksiin saadaan lupia. Nämä ovat pääasiassa haja-asutukselle tarkoitettuja sovelluksia, joilla saadaan internetyhteyksiä vaikeisiin paikkoihin. Isossa-Britanniassa lupien myöntäminen aloitetaan luultavasti 2015 [5].

2.2 Toiminta

Kognitiiviradio vaatii aina internetin. Yhteys tarvitsee aina tukiaseman ja päätelaitteen. CPE (Customer Premises Equipment) eli päätelaite ei ole yhteydessä internetiin millään muulla tavalla kuin tukiaseman kautta. Tukiasema lähettää CPE:lle kaikki sen tarvitsemat tiedot. Molemmissa on lähetin ja vastaanotin. Kuvassa 2 on yksi esimerkki toimivasta yhteydestä. Tukiasemaa ja päätelaitetta kutsutaan myös isännäksi ja orjaksi.



Kuva 2. Esimerkki toimivasta yhteydestä [2].

Tukiasema tarvitsee tietokannan, josta selviää, mitkä kanavat ovat käytettävissä. Näistä se valitsee tai käyttäjä voi valita sopivimman tai parhaan. Tietokanta sijaitsee internetissä, ja tämän takia tukiasema tarvitsee aina yhteyden internettiin. Tietokannan pitää jatkuvasti päivittää tietokannan muutokset reaaliaikaisesti kaikkiin päätelaitteisiin. Tällä hetkellä laitteet eivät sisällä omaa spektrianalysointia tai mitään muutakaan analyysia, jolla voisi spektrin tilan selvittää. Siksi usein ennen laitteen kytkemistä spektri pitäisi

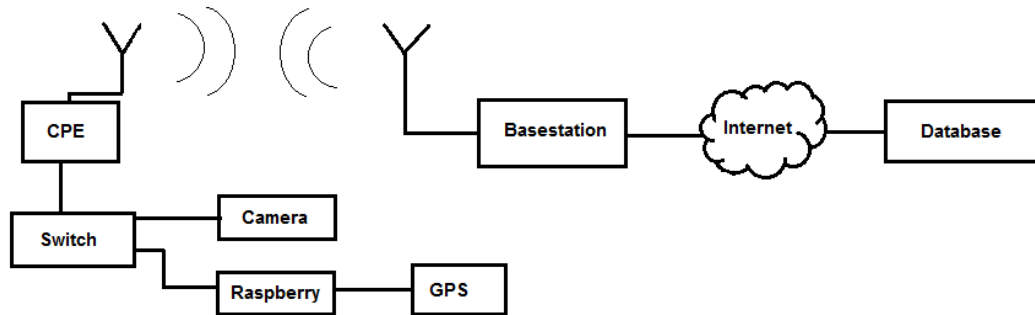
tarkistaa langattomien mikrofonien varalta. Langattomat mikrofonit toimivat usein samalla taajuuskaistalla. Suomessa langattomien mikrofonien ilmoittamista suositellaan, mutta ei pakoteta. Jos mikrofonit on ilmoitettu, ne ilmaantuvat myös tietokantaan, mutta käytännössä tähän ei voi luottaa.

Kun tukiasema varmistaa, että kanava on käytettävissä, se alkaa lähettää dataa eteenpäin. Periaatteessa tukiaseman ei pitäisi voida lähettää mitään ilman yhteyttä tietokantaan. Lähetystehoissa on kansallisia eroja riippuen paikallisesta lainsäädännöstä. Esimerkiksi Yhdysvalloissa ei ole mitään monimutkaisia laskentatyyppisiä, vaan kanava valitaan niin, että joko voidaan lähettää maksimiteholla tai sitten ei lähetetä ollenkaan. Isossa-Britanniassa käytetään taas monimutkaista laskentaa, jossa laskuihin tarvitaan sijainti, antennin korkeus ja teho [3]. Suomessa käytetään WISE-laskentaa, joka on käytännössä sama kuin Yhdysvaltojen laskenta. Turun ammattikorkeakoulun testiverkossa käytössä olevat Carlson RuralConnect -laitteet ovat yhdysvaltalaiselta valmistajalta, joten niissä ei ole säädettävää lähetystehoa. Jos halutaan lähettää pienemmällä teholla kuin maksimiteho, pitää lähettimeen laittaa ulkoisia vaimentimia. Tämä tapa on huono siitä syystä, että kun lähetystehoa vaimennetaan ulkoisesti, myös vastaanottimen herkkyys huononee.

Kognitiiviradio tarvitsee aina paikkatiedon, jotta tietokanta osaa sallia oikeat taajuudet häiritsemättä muita sovelluksia. Kantomatka on n. 4–10 km, riippuen maastosta ja esteistä (esim. puista) [2].

3 ASENNUSVAIHE

Ensimmäisenä suunniteltiin järjestelmän alustava lohkokaavio ja toimintaperiaate (Kuva 3). Päälaite kytketään kytkimeen, jossa on käytössä oleva sovellus eli kamera, ja Raspberry Pin kautta GPS-anturi.



Kuva 3. Alustava suunnitelma.

Seuraavaksi asennettiin tukiasema ICT-talon katolle (Kuva 4). Katolla oli jo valmiina ympärisäteilevä antenni, johon tukiasema kytkettiin. Lisäksi tukiasema pitää kytkeä internettiin.



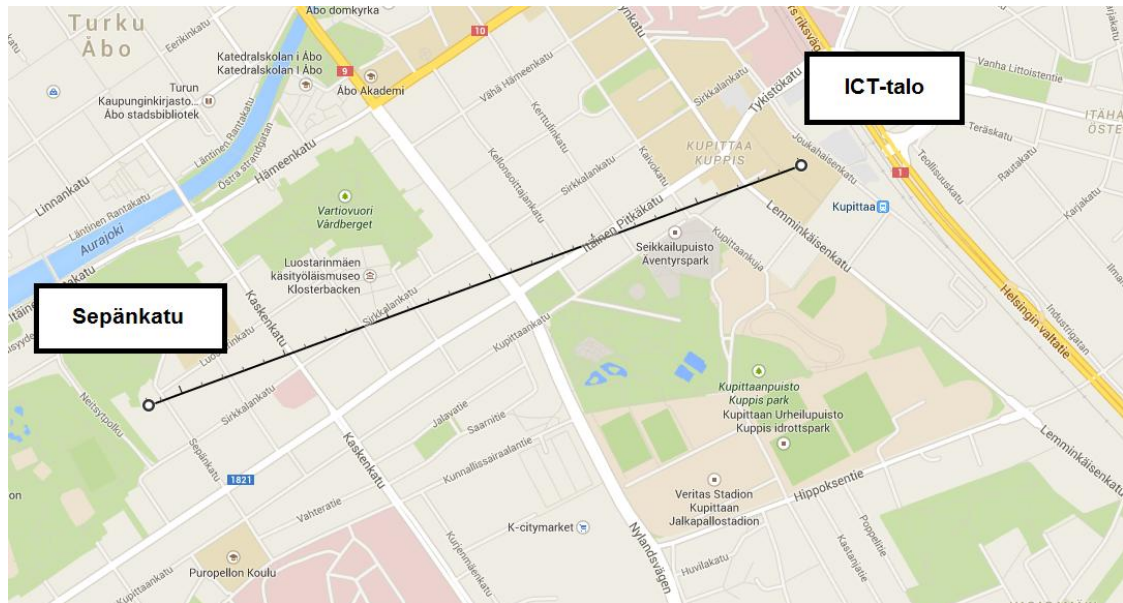
Kuva 4. Tukiasema (musta paneeli keskellä).

Katolla olevan antennin (Kuva 5) vahvistus on 2 dBi (Liite 1). Ficoran myöntämän TVWS-testiluvan mukainen maksimi säteilyteho tukiasemalle on +44 dBm EIRP ja päätelaitteelle +30 dBm EIRP [4]. Tukiaseman tuottama maksimiteho on tosin vain n. +26 dBm. Carlson lähettimen suurin teho on +25 dBm [6].



Kuva 5. Käytössä oleva ympärisäteilevä antenni (vasemmalla).

Seuraavaksi asennettiin Turun ammattikorkeakoulun Sepänkadun toimipisteen katolle terminaali (CPE), valvontakamera ja Raspberry Pi (Kuva 6).

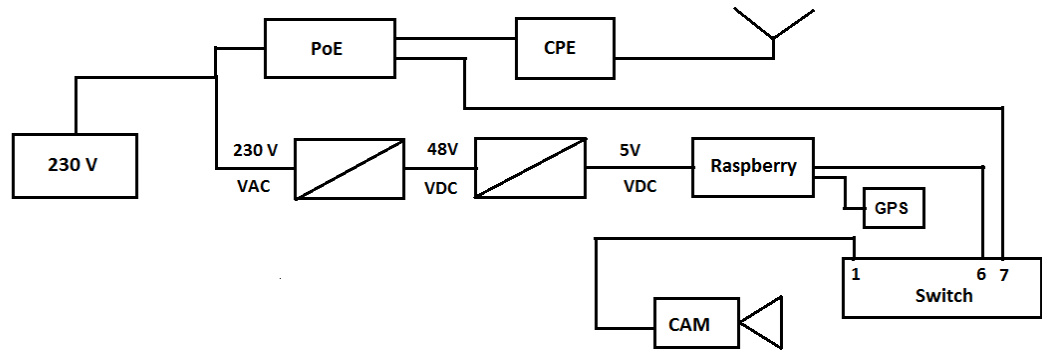


Kuva 6. Testipaikat.

Raspberry Pi on pieni tietokone, joka ei tarvitse kuin 5 V:n jännitteen, GPS-anturin ja verkkojohdon, jolla kytketään se internettiin. Tässä työssä käytettiin Raspberry Pi 1 Model B+:aa [7].

Raspberry Pi:hin kytkettiin GPS-anturi USB-porttiin, jotta se voi kerätä GPS-lokaatiodatan (Kuva 7). Tämä voidaan lukea ottamalla etäyhteys siihen. GPS-lokaatiodatasta selviää yhteyden latenssi, aika, päivämäärä ja sijainti. Tiedon keräämistä varten tarvittiin ohjelmisto lukemaan ja tallentamaan GPS-anturilta tulevaa tietoa. Tämän ohjelman ohjelmoi Turun ammattikorkeakoulun laboratorioinsinööri Vesa Slotte.

Raspberry Pi:tä varten vaadittiin kaksi muuntajaa, ensin 230 VAC:in muunnos 48 VDC:iin ja tämän perään 48 V:n muunnos 5 V:iin. Terminaali toimii PoE:n kautta, joka toteutettiin PoE-HP-50i-laitteella[8]. Tämä laite saa virran pistorasiasta ja antaa 50 W tehoa. Kamera saa virran Dlinkin DES-1008 PA—kytkimestä (switch). Kytkimessä on 4 normaaliporttia ja 4 PoE porttia. Yksi PoE portti antaa 15,4 W tehoa [9]. Kamerana käytettiin Sony SNC-CH220—kameraa, jossa on ns. kelisuoja UNI-ORBC6.



Kuva 7. Lohkokaavio.

CPE:n yhteydessä käytettiin pystypolarisoitua antennia, jonka vahvistus on 9 dBi. Kun CPE oli saatu asennettua (Kuva 8) huomattiin että linkki kohteiden välillä tuntui toimivan hyvin. Raspberryn lähettämää GPS-lokaatiodataa pystyttiin lukemaan etänä linkin yli ja yhteys vaikutti vakaalta.



Kuva 8. Asennettu CPE.

Seuraavaksi asennettiin kamera (Kuva 9). Kamera pyrittiin asettamaan ICT-talon suuntaan. Se kiinnitettiin kelisuojan mukana tulleeseen tolppaan. Parhaimmassa tapauksessa kamera olisi saatu kuvaamaan aluetta, jossa olisi liikettä, mutta tämä ei ollut näissä puitteissa mahdollista.



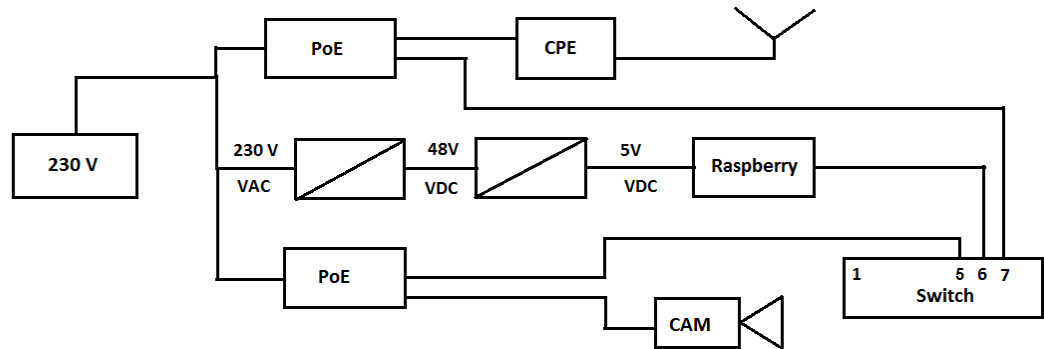
Kuva 9. Asennettu kamera.

Tällöin huomattiin, että kamera toimi hyvin sisätiloissa, mutta pysähtyi heti, kun se vietiin ulos. Ongelmaksi paljastui kelisuoja. Tämä kokoonpano oli testattu laboratorio-olosuhteissa, mutta ilman kelisuojaa. Koska kameran tehonkulutus on vain n. 5 W [10], ei kelisuojuksen tehonkulutusta tullut edes ajatelleeksi. Kelisuojuksen spesifikaatiosta löydettiin sen käyttämät maksimitehot: lämmitin 16 W ja puhallin 1 W [11]. Koska asennus oli pakkasella, kytki kelisuojaus heti virran saatuaan lämmittimen päälle eikä kytkimen tehonsyöttö enää ollut riittävä.



Kuva 10. Testikokoonpano.

Asia korjattiin laittamalla PoE-HP-50i-laite myös kameralle (Kuva 10). Sen tuottama 50 W:n teho on riittävä kaikkiin olosuhteisiin.



Kuva 11. Päivitetty lohkokaavio.

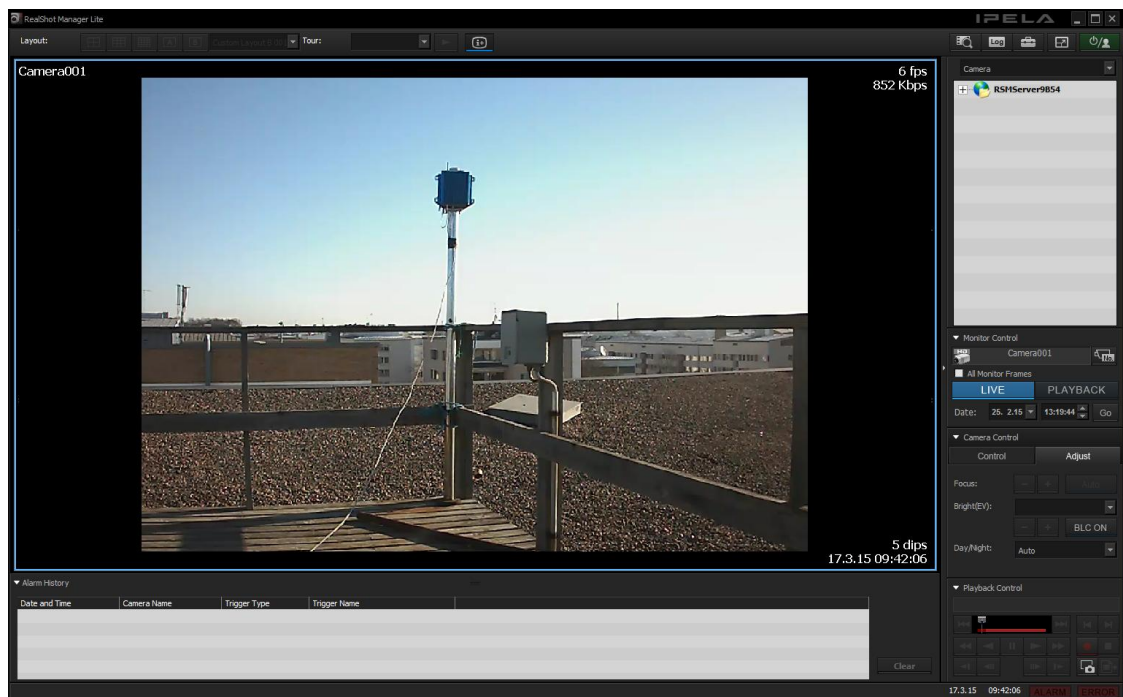
Lopulta ei PoE-kytkintä olisi tarvittu ollenkaan (Kuva 11). Kyseessä olevan DES-1008PA—kytkimen PoE-portit olisivat täysin riittäviä kameroiden sisäasennuksiin, mutta ei ulos.

4 OHJELMISTOT

4.1 Realshot manager

Realshot manager (Kuva 12) on ohjelma, jolla hallitaan käytössä olevaa Sony SNC-CH220—kameraa. Kuvassa näkyy aloitusruutu, jossa kameralta tuleva kuva ja kuvan tekniset tiedot (kehysnopeus, bittivirta ja aika). Advanced setupissa voi asettaa lähes kaikki videon laatuun liittyvät asetukset, asettaa ajastetun tai manuaalin nauhoituksen, ja säätää esim. sensoreita. Videokoodekin asetuksia varten joutuu yhdistämään erikseen suoraan kameraan IP-osoitteen perusteella, mutta tämä toimii suoraan selaimella eikä mahdollisesti tarvitse tehdä kuin kerran. Edellyttäen, että tietokone on kytketty samaan verkkoon.

Aluksi piti tietysti määrittää kameran IP-osoite. Kun yhteys on muodostettu, voi muuttaa resoluutiota, kehysnopeutta ja bittivirtaa. Aluksi nämä on hyvä määrittää suhteellisen alhaisiksi, jotta pystytään toteamaan yhteyden toimivuus.



Kuva 12. Realshot manager -näkyvä

4.2 Carlsonin hallintakeskus ja performance-välilehti

Carlsonin hallintakeskus on keskeinen ohjelmisto, kun kognitiiviradiojärjestelmä rakennetaan Carlsonin laitteilla. Hallintakeskuksessa voidaan priorisoida käytettävissä olevat kanavat, tarkasteltua yhteyden toimivuutta monin eri tavoin (SNR, BER ja dataliikenne) ja säätää esimerkiksi käytettävää modulaatiota.

Suorituskyky-välilehdessä näkyvät järjestelmän toimivuutta kuvaavat kuvaajat. Kuvaajien avulla pystytään seuraamaan järjestelmää ja tarpeen vaatiessa tekemään jotain muutoksia. Järjestelmän seuraamisaikaväliksi voidaan asettaa 1 h, 6 h, 12 h, 1 d, 2 d, 3 d ja 3 w [12].

SNR-valikossa pystytään seuraamaan tukiaseman ja terminaalin päässä vastaanotettuja signaalikohinasuhteita. Pystyakselilla esitetään signaalikohinasuhteiden tasot ja vaaka-akselilla ajankohta [12].

Liikenne-valikossa pystytään seuraamaan järjestelmän liikennettä. Siirretyn tiedon määrä esitetään bit/s. Y-akselilla esitetään tiedonsiirron määrä ja x-akselilla ajankohta [12].

Virheet-valikossa pystytään seuraamaan virheiden määrää. Virheiden määrä on esitetty virhe per sekunti [12].

Kanava-valikossa pystytään seuraamaan käytettävää kanavaa. Kanava valikkoon tulee näkyviin kanavien skannaus, kun rekisteröinti-välilehdessä valitaan skannaus päälle [12].

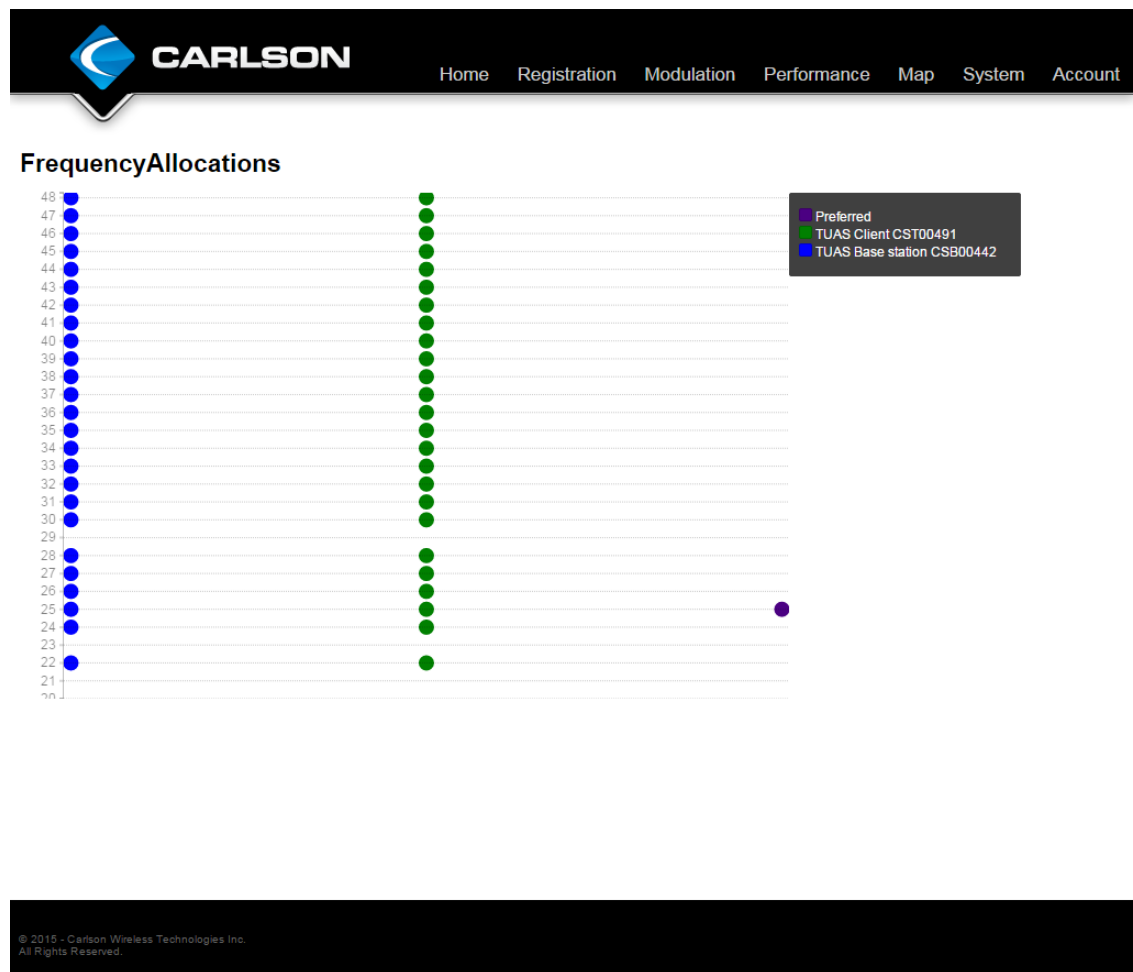
Lataukset-valikossa pystytään lataamaan lokitiedostoja. Lokitiedostot ovat kahden viikon ajanjaksolta. Arkistoituja lokitiedostoja pystytään lataamaan 60 päivän ajalta [12].

Laitteet-valikossa pystytään seuraamaan valitun terminaalin kaikkia suorituskykyominaisuuksia kerrallaan. Kuvaajassa näkyy signaalikohinasuhteet, virheiden määrät ja liikenteen määrä niin Downlink- kuin Uplink-suuntaan [12].

5 MITTAUKSET

5.1 Valmistelut

Ensin tarkistettiin, että tietokanta antaa ennalta katsotut kanavat myös tukiasemalle(Kuva 13).



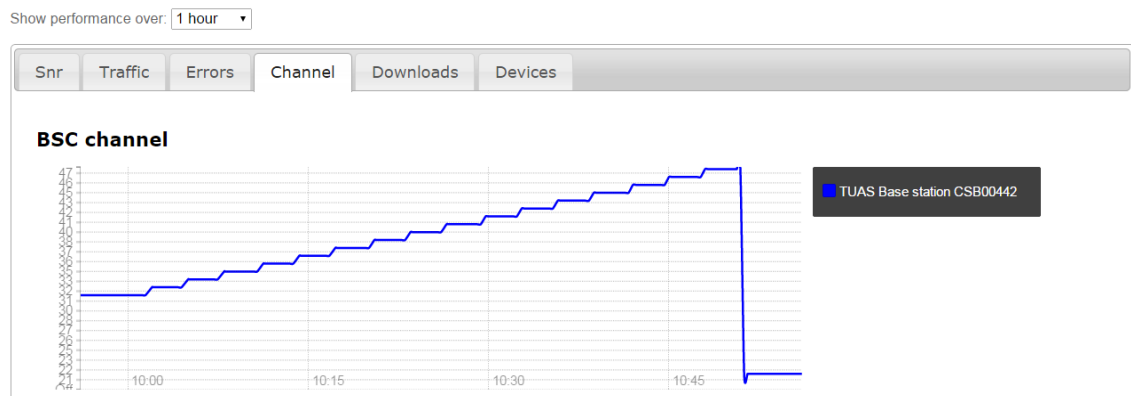
Kuva 13. Tietokannalta saadut käytössä olevat kanavat. Siniset pallot ovat tukiaseman käytettävissä olevat kanavat ja vihreä pallo päätelaitteen käytettävissä olevat kanavat.

Tämä piti paikkansa ennakkotietojen perusteella, kanava 23 on varattu Yleisradion langattomiin tarpeisiin (Kuva 14). Kanava 29 on käytössä Kaarinan maston DTV-lähetyksillä (kanavanippu D) (Liite 2) [13].

470 - 790 MHz Siirtävä liikenne	470 - 789 MHz (osa-alueen ala- ylärajataajuudet) (319 MHz) Radiomikrofonit	Simpleksi Liikkuva (ML) TXRX	<p>Toissijainen käyttö, häiriöttömyyttä ei taata, alueellisia käyttörajoituksia. Radiomikrofonijärjestelmä saa käyttää ainoastaan taajuuksilla, jota radiomikrofonin käyttöpaikkakunnalla ei ole osoitettu televisio- tai radiotoimintaan. Taajuusalueella 694 - 789 MHz on radiomikrofonikäyttöä 31.12.2016 asti. Säteilyteho pääsääntöisesti enintään 50 mW ERP. Taajuusalueella 786 - 789 MHz säteilyteho enintään 12 mW ERP. Standardi EN 300 422-1. SRD-suositus FRC/RFC/70-03 TV-kanavilla 21 ja 23 myös yleisradioyhtiöiden radiomikrofonireportteriyhteydet taajuuksilla 470.500, 473.250, 474.250, 474.750, 476.500, 477.250, 486.500, 489.250, 490.250, 490.750, 492.500 ja 493.250 MHz. TV-kanavan 21 taajuudet 470.500, 473.250, 474.250, 474.750, 476.500 ja 477.250 MHz ovat yhteiskäytössä liikkuville ääniohjelmansiirtolinkeille. Standardi EN 300 454-1. Nämä taajuudet eivät ole muiden radiomikrofonijärjestelmien käytettävissä.</p>
------------------------------------	--	---------------------------------	--

Kuva 14. Yleisradion käyttämät reportteriyhteyksien taajuudet [14].

Ennen yhdenkään mittauksen aloitusta päätettiin käyttää Carlsonin ohjelmiston kanavaskannausominaisuutta, jossa ohjelma mittaa SNR-arvon 3 min:n välein jokaiselta käytössä olevalta kanavalta. Kuvassa 15 nähdään, että kuinka kauan SNR-arvoa mitataan yhdeltä kanavalta. Tässä tapauksessa mittausaika on 3 min.



Kuva 15. Kanavaskannaus. Vaaka-akselilla on kellonaika ja pystyakselilla kanavanumero.

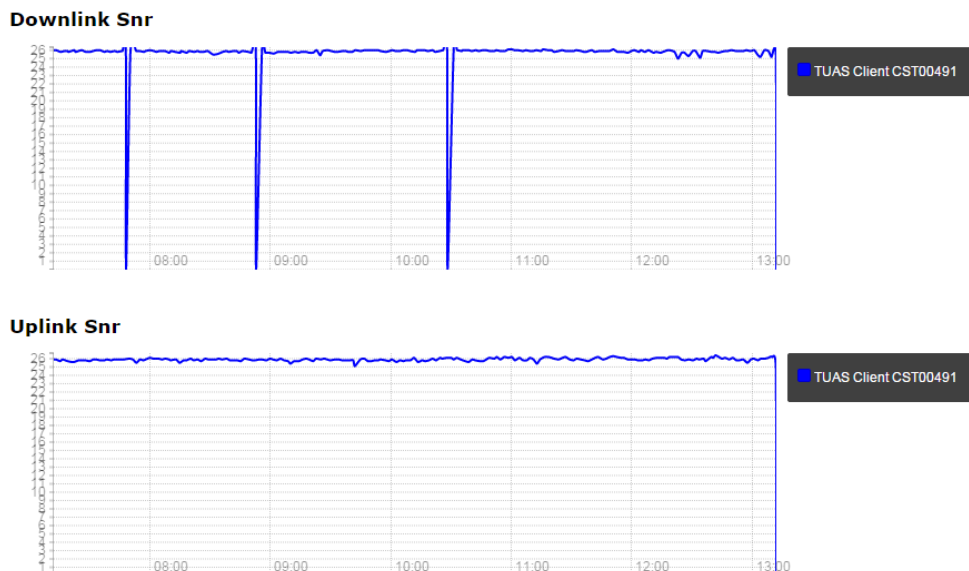
Kanavaskannauksen perusteella päädyttiin alustavasti valitsemaan kanava 25. Kanava 25 asetettiin ohjelmiston kanavaprioritettilistaan, ja se näkyy kuvassa 13 violetina pallona. Kanavaprioriteettilistaan voi lisätä useita kanavia, ja ohjelmisto valitsee näistä käytettävän kanavan. Yleensä ohjelmisto valitsee kanavan, joka on numeerisesti ensimmäinen. Jos esimerkiksi käytössä olevalle kanavalle tulee jokin toinen sovellus, ja tietokanta estää pääsyn tälle kanavalle, vaihtaa ohjelmisto numeerisesti seuraavana olevaan kanavaan. Modulaatioksi valittiin alkuun adaptiivinen modulaatio (Kuva 16), joka vaihtaa automaattisesti modulaatiota, jos BER nousee liian korkeaksi.

The screenshot shows the Carlson web interface. At the top, there is a navigation menu with links: Home, Registration, Modulation, Performance, Map, System, and Account. Below the menu, the 'Base station access rates' section shows 'Downlink' and 'Uplink' both set to 'BPSK ¼'. The 'Client link rates' section shows a table with columns for Name, Modulation, Downlink, and Uplink. The client 'TUAS Client CST00491' is listed with 'Manual' selected for Modulation, '16QAM ½' for Downlink, and '16QAM ½' for Uplink. A dropdown menu is open under the 'Manual' selection, showing 'Manual', 'Adaptive', and 'Manual' options. At the bottom left, there is a copyright notice: '© 2015 - Carlson Wireless Technologies Inc. All Rights Reserved.'

Kuva 16. Modulaation asetus.

5.2 Mittausten aloitus

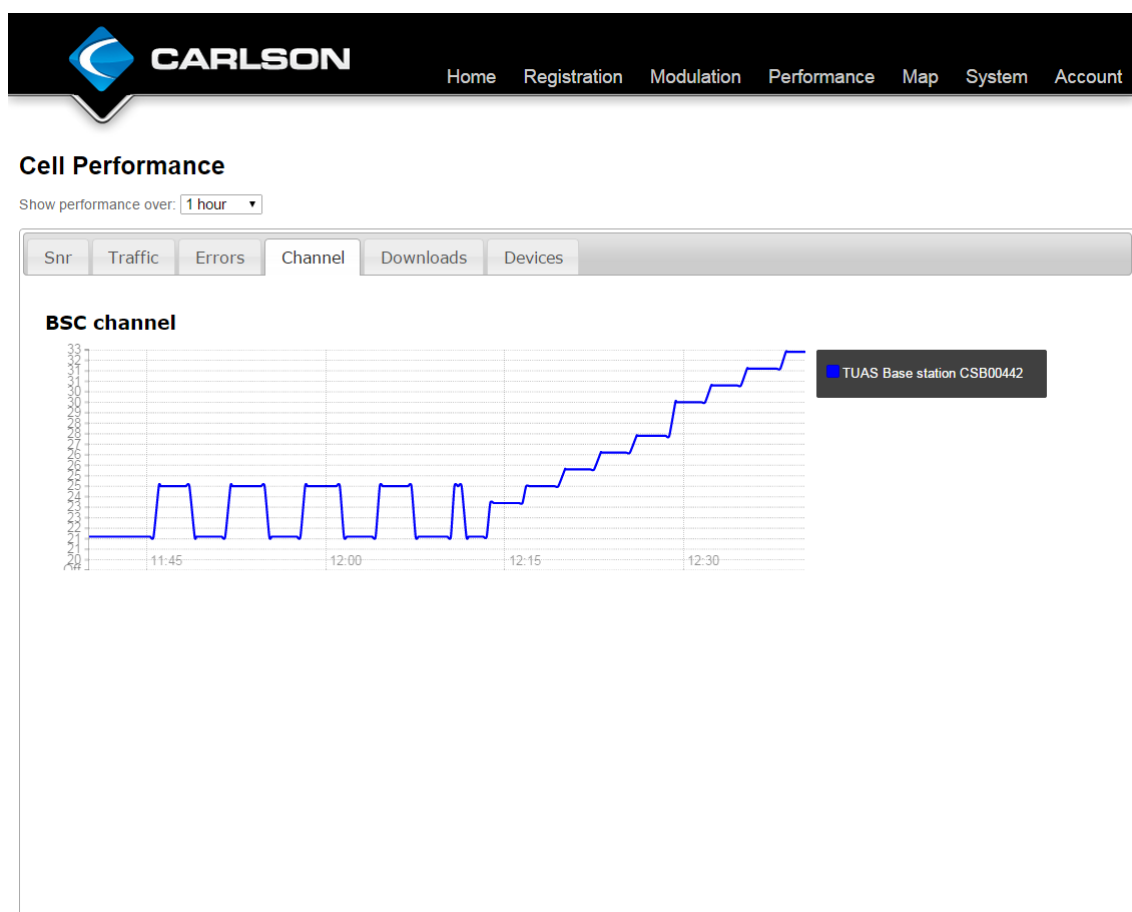
Ensimmäinen huomio mittauksissa oli, että Carlsonin ohjelmisto ei toimi oikein 6 h:n asetuksella (Kuva 17). Tämä koskee vain SNR-välilehteä. Päivittämällä voi kuvaan ilmestyä olemattomia piikkejä ja uudestaan päivittämällä ne voivat vaihtaa paikkaa tai kadota kokonaan. Aivan kuin linja olisi ollut alhaalla, mutta todellisuudessa näin ei ole.



Kuva 17. Kuuden tunnin asetus. Pystyakselilla on signaalikohinasuhde ja vaaka-akselilla kellonaika.

Tämä todennäköisesti johtuu siitä, että 6 h:n asetuksella graafisen esityksen mittausrvojen esitysväli on liian pieni. Ohjelma yrittää lukea arvoja välille joita ei ole, ja näin ollen antaa arvoksi nolla.

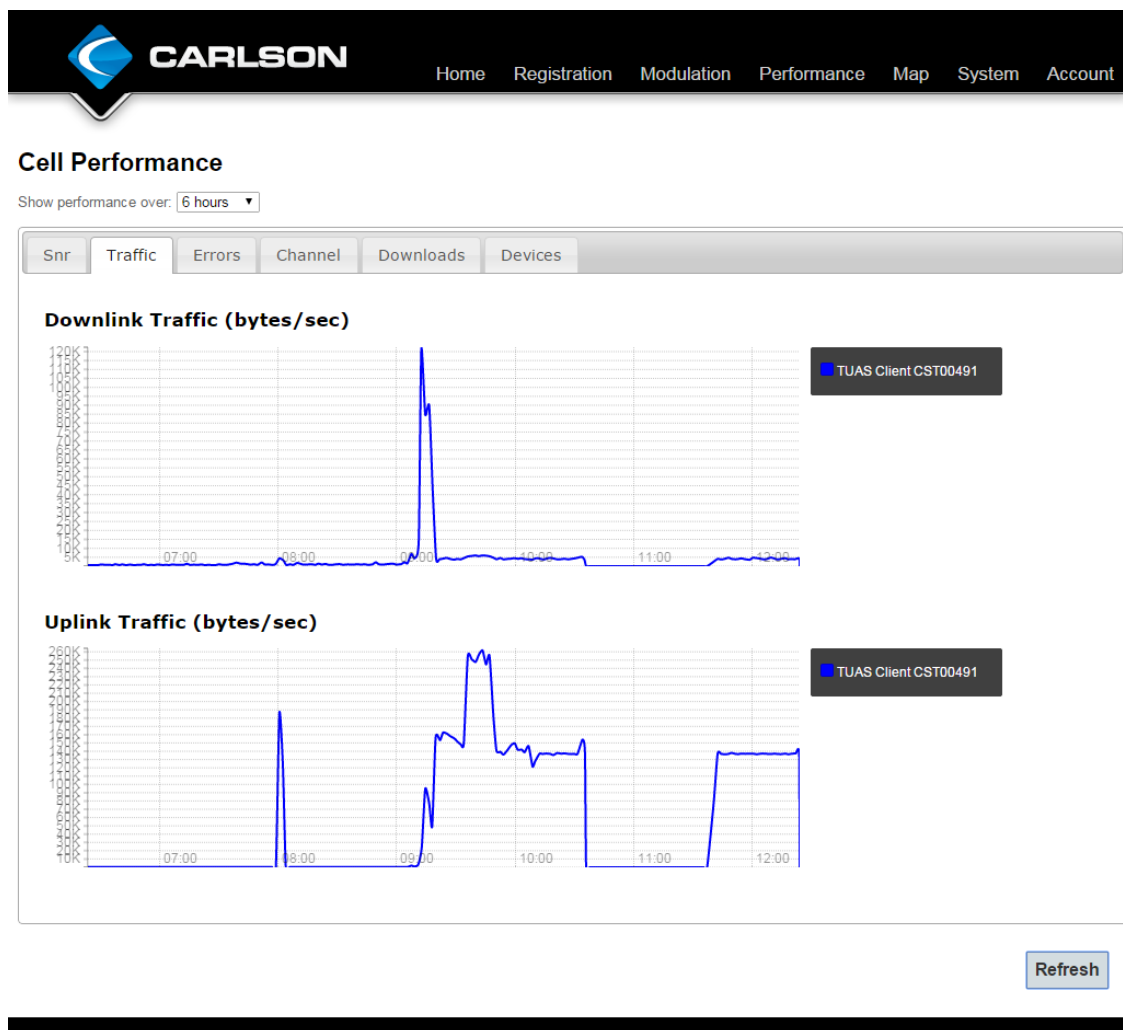
Hyvä huomio on myös se, että kanavaskannaus ei toimi oikein, jos hallintaohjelmaan on määritelty kanavia kanavaprioriteetilistaan (Kuva 18). Se jää pomppimaan kahden kanavan välillä, prioriteetilistaan määritetyn kanavan ja ensimmäisen käytettävissä olevan kanavan välillä. Ennen skannausta pitää siis muistaa tyhjentää kanavaprioriteetit kokonaan.



Kuva 18. Skannaus, kun prioriteetilistaan on määritelty kanava. Pystyakselilla on kanavanumero ja vaaka-akselilla kellonaika.

Kun kamera oli kytketty osaksi järjestelmää, oli erikoista huomata että n. 1 h:n kuluttua, kun kamera oli kytketty, koko järjestelmä oli tunnin alhaalla (Kuva 19). Mutta oikeasti se ei ollut, vaan se siirsi kellon oikeaan aikaan. Ennen tätä

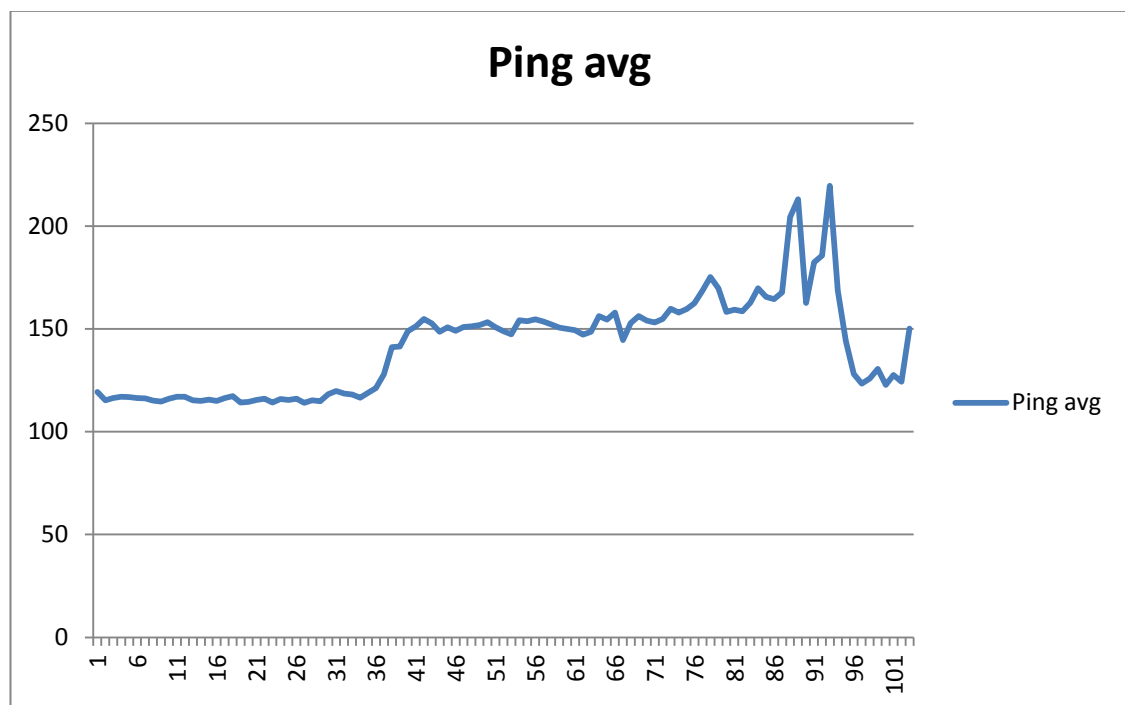
ohjelmistossa kello oli 1 h:n jäljessä, mutta tämän jälkeen oikeassa ajassa. Erikoista tässä on se, että järjestelmä oli ollut jo koko viikonlopun toiminnassa, tosin ilman dataliikennettä. Kamera kytkettiin vähän ennen klo 9:ää, ja kuvan lähetys aloitettiin n. klo 10 (kuvassa klo 9:ltä). Kameran sisäinen kello oli tässä kohtaa vielä väärässä ajassa, joten senkään ei pitäisi vaikuttaa asiaan. Ehkä Carlsonin ohjelmisto tarvitsi linkkiin dataa ennen kuin se alkaa monitoroimaan asioita kunnolla.



Kuva 19. Kellon siirto n. 10.30 - 11.30. Kuvan ensimmäinen piikki on laitteiston kytkennästä, klo 9.00 aloitettu videovalvonta.

Ensimmäisenä tutkimuksena katsottiin ensimmäisen 100 h:n latenssin keskiarvoa (Kuvio 1). Kuvaaja ei ole täysin tarkka, koska yleisesti Raspberry Pi ottaa latenssin arvon 1 s:n välein, mutta välillä se voi olla 2–3 s. Keskiarvo on otettu 3 600 arvon välein, joten epätarkkuuksia esiintyy. Mielenkiintoiseksi asian

tekee se, että n.35 h:n kohdalla taso nousee n. 120 ms:sta 150 ms:iin. Korkeat piikit johtuvat asetusten vaihtamisista ja lokitiedostojen latauksista TVWS-linkin yli. Tunnin 93 kohdalla keskiarvo käy taas lähellä arvoa 130 ms. Tämä saattaa johtua adaptiivisen modulaation käytöstä. Jos BER nousee vähänkin, on Carlsonin adaptiivinen modulaatio hyvin herkkä vaihtamaan modulaatiota huonommaksi, vaikka tarvetta ei välttämättä vielä olisi.



Kuvio 1. Latenssin keskiarvo. Pystyakselilla latenssi millisekunteina ja vaakakselilla aika tunneissa.

Tämän jälkeen ei latenssimittauksista saatu enää järkeviä tuloksia Raspberry Pi ongelmiensa takia. Jostain syystä Raspberry Pi jumitui useaan otteeseen, eikä laitteen vaihtaminen toiseenkaan auttanut. Sähkönsyöttö on samanlainen kuin kameralla, jossa ei ollut ongelmia. Luultavasti ongelmat johtuivat puhtaasti Raspberryn käyttöjärjestelmästä.

5.3 Videotesti

Ensimmäinen videotesti suoritettiin ajalla 11.2.15 — 12.2.15. Videota tutkittaessa ensimmäinen reaktio oli, että testi oli epäonnistunut. Vaikka kameran asetuksista oli säädetty automaattinen day/night-asetus, se ei ollut kytkeytynyt päälle; ruutu oli täysin musta. Kaukaisuudessa näkyi hieman kaupungin valoja. Tämän jälkeen laitettiin koko päiväksi, 12.2.15—13.2.15 pelkästään night-asetus päälle. Edelleen yökuva oli täysin musta.

Tässä vaiheessa suoritettiin toisella kameralla testin: miten kamera reagoi täysin pimeään laboratorio-olosuhteissa. Tässä testissä asetettiin kamera varastoon, ja tarkkailtiin kuvan muuttumista day/night-modella, ja erilaisilla valoisuusasteilla. Kun ovi oli täysin kiinni, ei night-modella, eikä mikään valoisuusasetus vaikuttanut, kuva oli täysin musta. Jos ovi oli hiemankin raollaan, päästään aivan vähäisen määrän valoa sisään, sai kameran kuvasta jo selvää. Johtopäätöksenä oli, että jos on aivan maksimaalisen pimeää, ei kameran kuvasta näe mitään. Ilmeisesti Sepänkadun katolla on sen verran pimeää, että kameran herkkyys ei riitä.

Viikonlopulle 13.2.15 - 16.2.15 laitoin testinauhituksen seuraavilla asetuksilla:

- Codec H.264
- Resolution 1 280 x 960
- Bitrate 2 048 kbit/s
- FPS 20.

2 048 bittinopeus ja 20 FPS ovat hyvin lähellä suurinta nopeutta mitä Carlsonin TWVS-systeemi pystyy lähettämään. Kuvasta 20 näkee hyvin, kuinka aina yöajaksi dataliikennemäärä laskee hyvin alas. Tämä johtuu juuri erittäin vähäisestä valoisuudesta Sepänkadun katolla. Kuvaan ei tule juurikaan muutoksia, joten dataa tarvitsee lähettää vain vähän.

Testi sujui hyvin. Kun kameralla on päiväsaikaan dataa jota lähettää, se myös lähettää dataa kohtalaisen tasaisesti TVWS-linkin yli, ilman liiallisia katkoksia.

Cell Performance

Show performance over: 3 days ▾



Kuva 20. Viikonlopun 13.2 - 16.2 dataliikennemäärä. Pystyakselilla on dataliikennemäärä bit/s ja vaaka-akselilla päivämäärä.

Yksi mielenkiintoinen asia tosin oli tapahtunut. Geolokaatiolokia selailtaessa huomattiin, että aikavälillä 15.2.15 20.52 - 21.06 saatu latenssia tai geolokaatidataa ollenkaan. Carlsonin ohjelmistossa SNR on pysynyt täysin normaalina, joten tarkistettiin tälle välille dataliikennemäärä. Kuvassa 21 dataliikennemäärästä löytyy pieni piikki tälle hetkelle. Vieressä on kaksi samantapaista piikkiä, jotka tarkistettiin myös geolokaatiolokista, mutta näillä hetkillä ei näkynyt ongelmia. Tarkistettiin myös video, mutta pysähdys oli tapahtunut pimeään aikaan, joten kuvaa oli erittäin vaikea lukea. Videokuvasta voi kaukaisuuden valojen värinästä päätellä pysähtyykö kuva vai ei. Tällä, erittäin epätarkalla silmämääräisellä arvioinnilla video pysähtyy välillä 20.51 - 20.53. Uusi pysähdys oli välillä 20.54 - 20.56.

Tästä huomataan, että dataliikennemäärän kuvaajassa piikki ei välttämättä tarkoita yhtään mitään tai pahimmassa tapauksessa linja on kokonaan alhaalla, vaikka samanlaisia piikkejä olisi enemmänkin. Tämä on tärkeää ottaa huomioon suunniteltaessa TVWS-sovelluksia. Toisaalta harvoin on tilanteita, jolloin

tarvitaan näin pientä luotettavaa dataliikennettä. Päivällä kuitenkin yhteys tuntuu toimivan hyvin, kun liikenne on nopeampaa.

Cell Performance

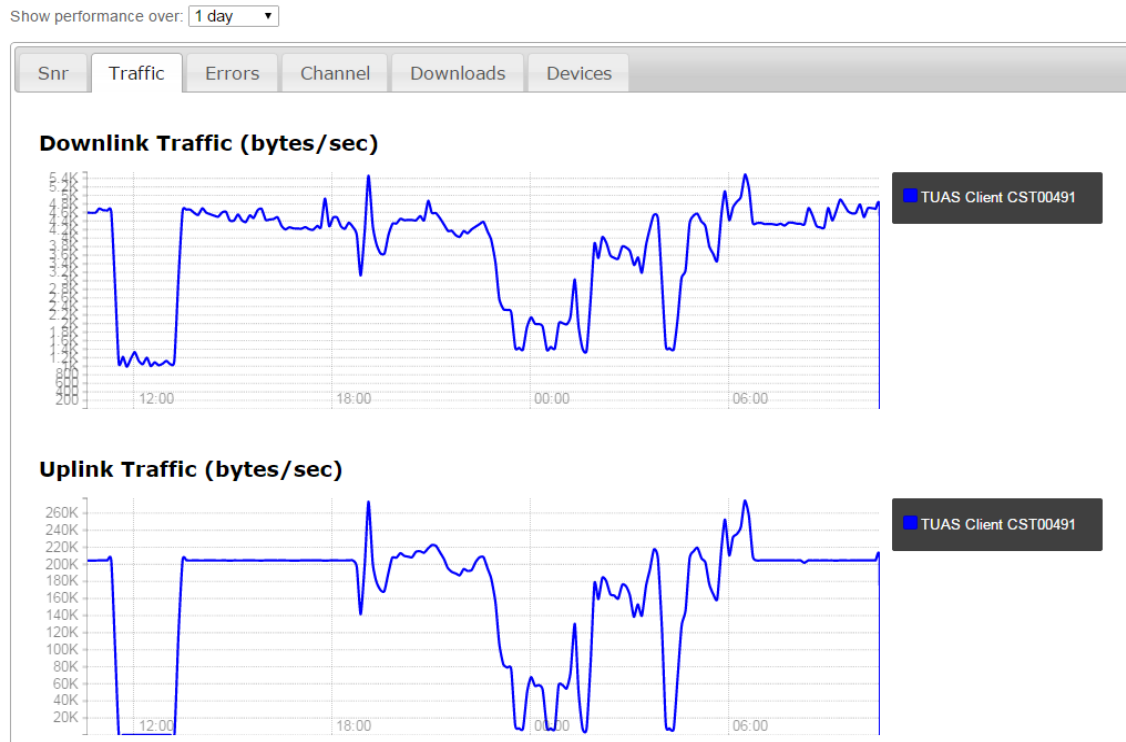
Show performance over: 1 day



Kuva 21. Pysähdyksen aiheuttanut piikki. Pystyakselilla on dataliikennemäärä bit/s ja vaaka-akselilla kellonaika.

Mielenkiintoinen huomio on se, että jos kamerassa on päällä nauhoitus, toimii dataliikennemäärä hyvin vahvasti em. tavalla (Kuva 22). Öisin liikenne laskee todella alas, kun kuvassa on vain mustaa eikä liikettä juurikaan ole. Ohjelmisto siis siirtää vain tarvitsemansa datan.

Sattumalta huomattiin, että joissakin tilanteissa dataliikennemäärä pysyi vakiona myös öisin. Tätä oli syytä tutkia tarkemmin. Testeissä oli video-ohjelmistossa asetettuna manuaalinen nauhoitus jokaisen testin aikana, koska se helpotti tuloksien analysointia ja toimi hyvänä mittarina yhteyden toimivuudesta.



Kuva 22. Yönauhitus. Kuvassa dataliikennemäärä bit/s ajan funktiona.

Kuitenkin, jos ei nauhoitusta laita päälle ollenkaan ja pidetään vain monitorointi päällä, pysyy datanopeus tasaisena myös yöllä (Kuva 23).



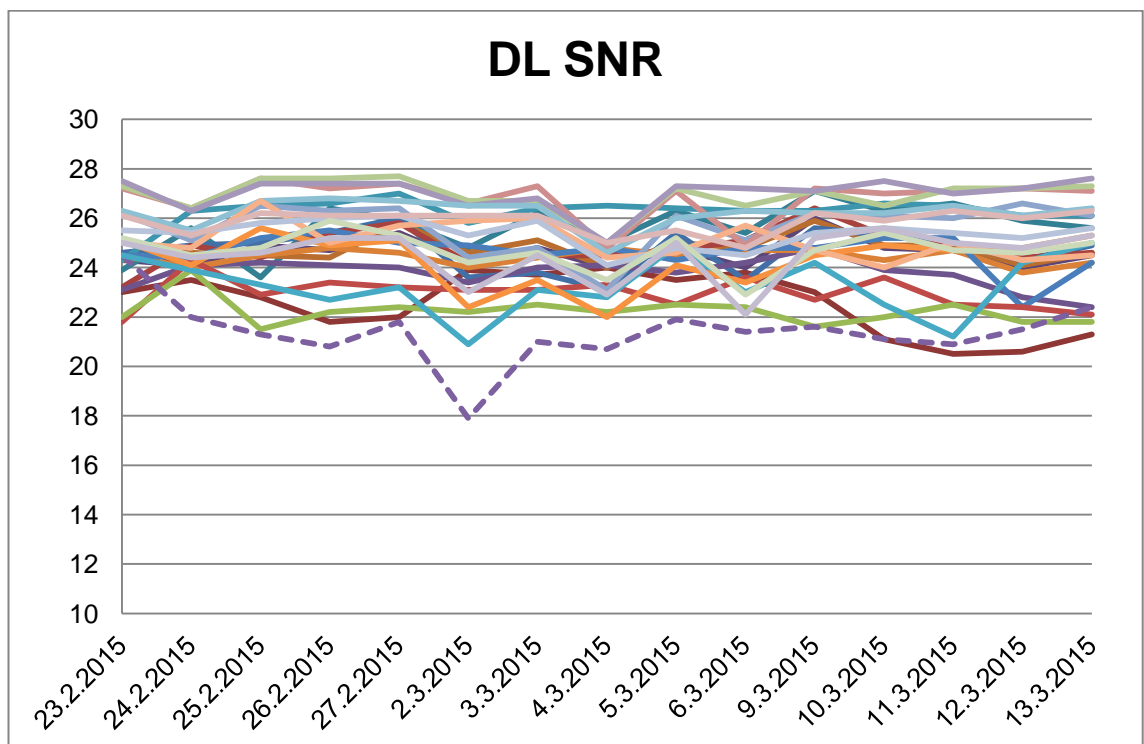
Kuva 23. Dataliikenne ilman nauhoitusta.

Ilmeisesti tallennusvaiheessa kameraohjelmisto haluaa pitää datasiirron mahdollisimman pienenä varmasti myös tilansäästösyistä. Monitorointitilassa ei tähän ole syytä ja lähetetään täydellä teholla tasaisesti.

5.4 SNR-testi

Aloitettiin SNR-testi (Liite 3), jossa tarkoitus oli saada infoa vaikuttavatko kauempana olevien isojen lähettimien tehotasot TVWS-sovelluksiin. Tämä tehdään mittaamalla jokaisen kanavan SNR-arvo Carlsonin kanavaskannauksella joka päivä.

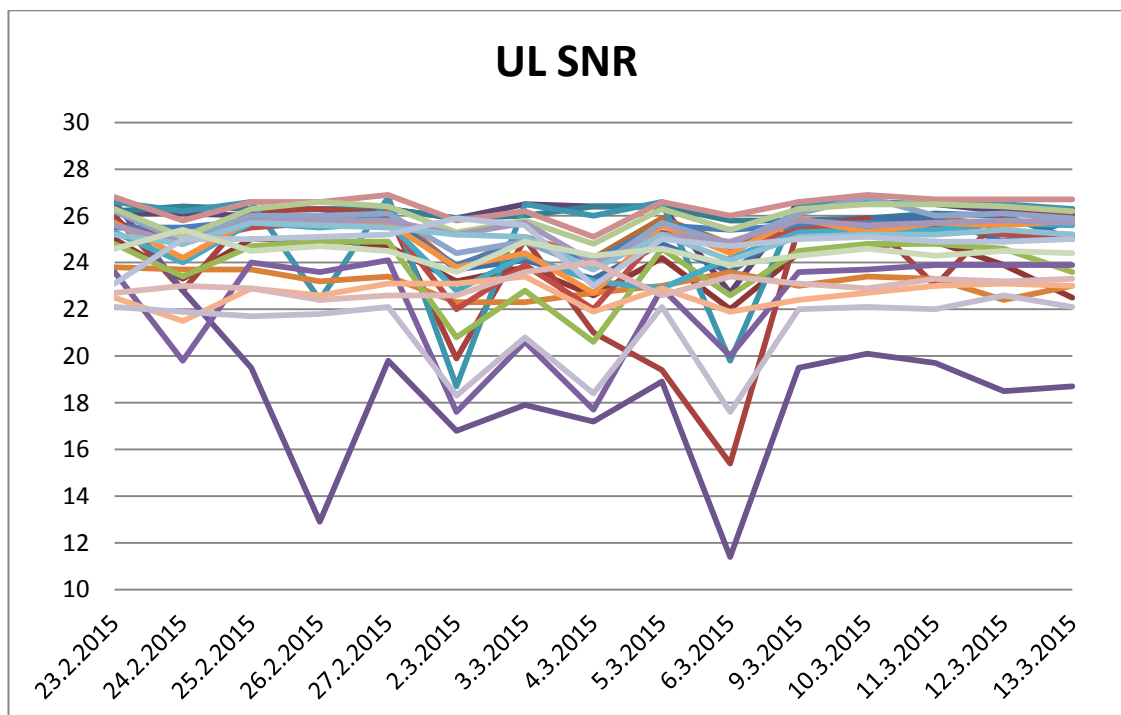
Mittaus tehtiin skannaamalla kaikki käytössä olevat kanavat ja merkitsemällä kanavalla vietetty aika muistiin. Carlsonin hallintakeskuksen lokitiedoista on otettu SNR-arvo näillä tietyillä ajanhetkillä.



Kuvio 2. Download-linkin SNR-arvot kaikilta kanavilta.

Alkuun on ollut hyvin samanlaisia päiviä, joten sää ei varsinaisesti ole ollut ratkaiseva tekijä tällä hetkellä, mutta muutaman kanavan signaali on vaihdellut voimakkaasti. Verrattuna lähialueen lähettimien lähettämiin kanaviin, ei suoraa korrelaatiota löydy, että tämä johtuisi niistä. Ainoastaan Kaarinan Kuusiston masto voisi tätä aiheuttaa. Download-linkin, eli CPE:n SNR-arvot ovat hyvin lähellä toisiaan (Kuvio 2). Tämä johtuu suoraan suuntaavasta antennista, joka ei ole niin altis häiriöille. Ainoana pienenä poikkeuksena on kanava 36, joka on yhtenä päivänä n. 7 dB huonompi kuin muiden kanavien keskiarvo. Kanava on merkitty kuvaan pistekatkoviivalla. Suoraa syytä tälle on vaikeata arvioida.

Upload-linkki eli ICT-talon tukiasema on ratkaisevasti huonompi usealla kanavalla (Kuvio 3). Nämä kaksi kuvaajaa antavat hyvän yleiskuvan molempien antennien signaalikohinasuhteen tilasta. Tämä taas johtuu ympärisäteilevästä antennista, joka kerää häiriötä kaikkialta lähimaastosta. Merkittävästi huonoin on kanava 30. Seuraavaksi oli tutkittu, että mistä tämä johtuu.



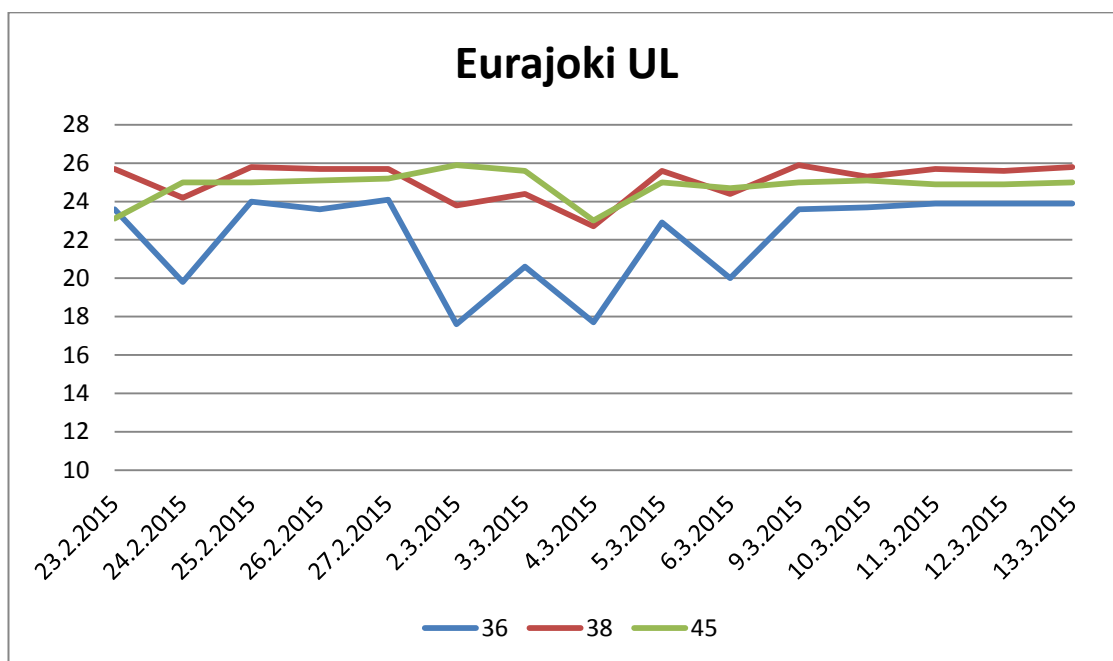
Kuvio 3. Upload-linkin SNR kaikilta kanavilta.

Seuraavaksi otettiin talteen lähialueen jokaisen voimakkaamman DTV-lähettimen kanavat (Taulukko 1) ja vertailin niitä SNR-lukemiin.

Taulukko 1. Turun lähialueen DTV-lähettimet ja niiden käyttämät kanavat.

Sijainti	Eurajoki Välimatka (88 km)	Fiskars (78 km)	Tammela (91 km)	Kaarina (7 km)	Hanko (78 km)	Tammisaari (82 km)
	36	32	22	29	26	37
	38	44	27	49	33	39
	45	46	30	51	36	43
	52	58	43	54	48	48
	55		50	57		
				60		

Piirtämällä kaikista kuvat (Liite 4) huomataan välittömästi, että downlinkin SNR-arvot ovat suhteellisen hyviä, verrattuna uplinkkiin kuten jo edellä todettiin. Useimmissa on aina vähintään yksi huono kanava, esimerkkinä Eurajoki (Kuvio 4). Kaarinan kanavia ei ole piirretty, koska niillä kanavilla ei tällä alueella saa kognitiiviradio-sovelluksia lähettää.



Kuvio 4. Eurajoen lähettimen lähettämät kanavat.

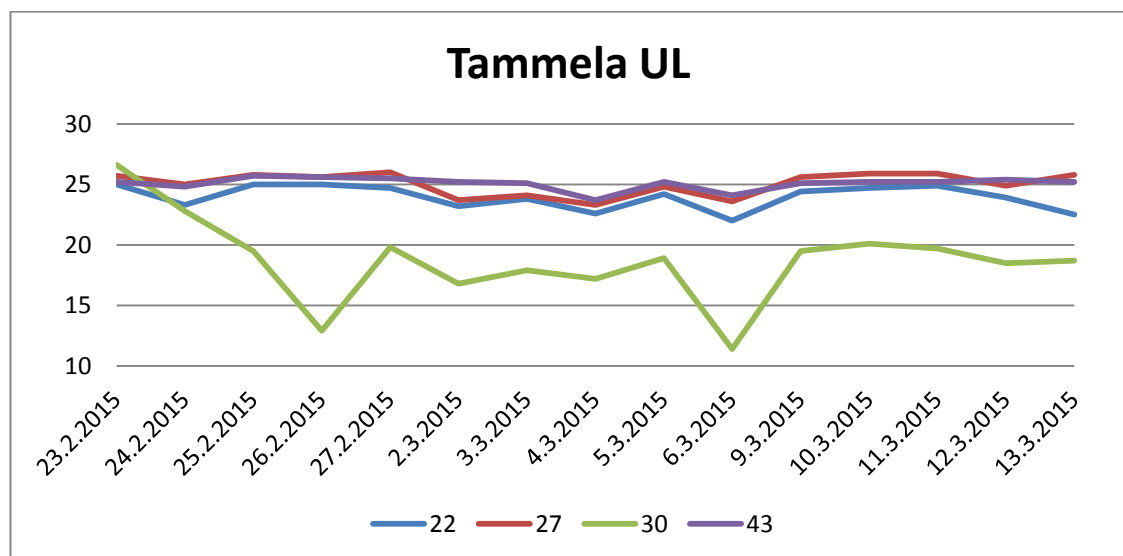
Useassa kuviossa toistuu sama kaava. Samoina päivinä arvot ovat olleet merkittävästi huonompia (Liite 3). Näinä päivinä on kosteus ollut hyvin korkea (Taulukko 2), mutta suoraa johtopäätöstä ei voida tehdä kosteuden perusteella, koska korkein kosteusarvo on ollut 26.2.2015. Tänä päivänä ei ole erityisen

huonoja mittausarvoja, poislukien kanava 30, joka on n. 7 dB huonompi verrattuna edellisen päivän mitattuun arvoon.

Taulukko 2. Sääarvot sateisilta päiviltä.

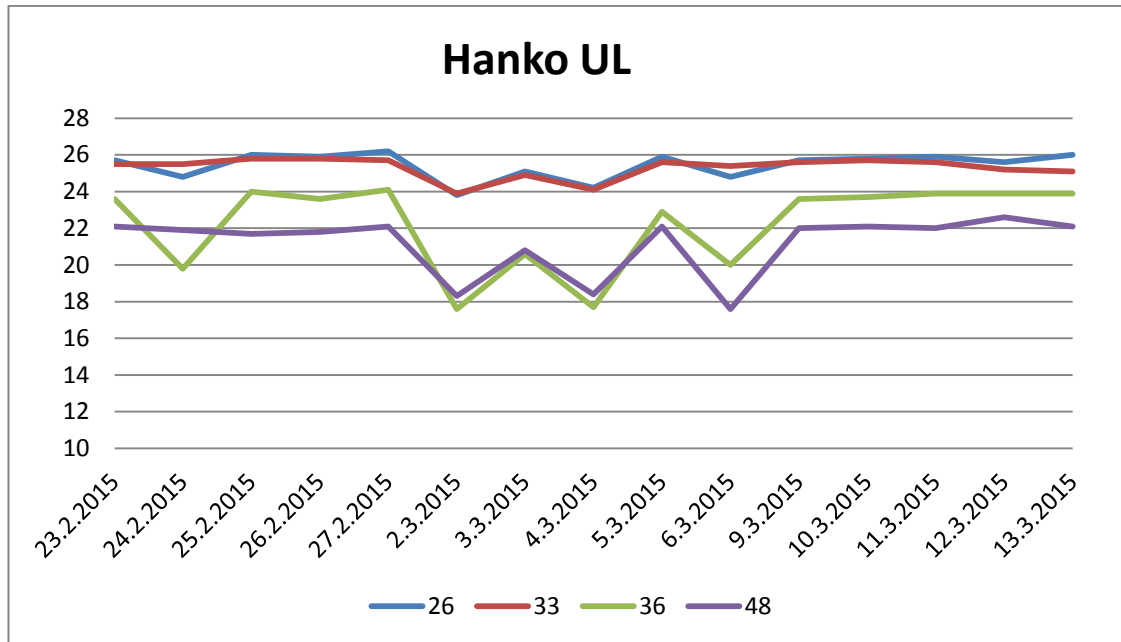
	26.2	27.2	2.3	3.3	4.3	5.3	6.3
	Pilvinen	Pilvinen	Sateinen	Pilvinen	Sateinen	Pilvinen	Sateinen
Ilmanpaine (hPa)	1022	1019	995	998	1003	1021	1018
Näkyvyys (km)	9	10	5	10	10	9.9	7
Ilmankosteus	98 %	93 %	96 %	96 %	97 %	92 %	96 %
Lämpötila (°C)	1.4	0.6	3.4	2.6	1.7	2	2.2
Sademäärä (mm)	0	0	1.5	0	1	0	1.5

Huomion arvoinen seikka on se, että sateisina päivinä arvot ovat aina jonkin verran huonompia. Ympäristön heijastusominaisuudet muuttuvat sateen aikana, mikä voisi tätä aiheuttaa [15]. Tammelan kanavien tasot ovat hyviä (Kuvio 5), poislukien kanava 30, joka on huonoin jokaisesta mitatusta kanavasta.



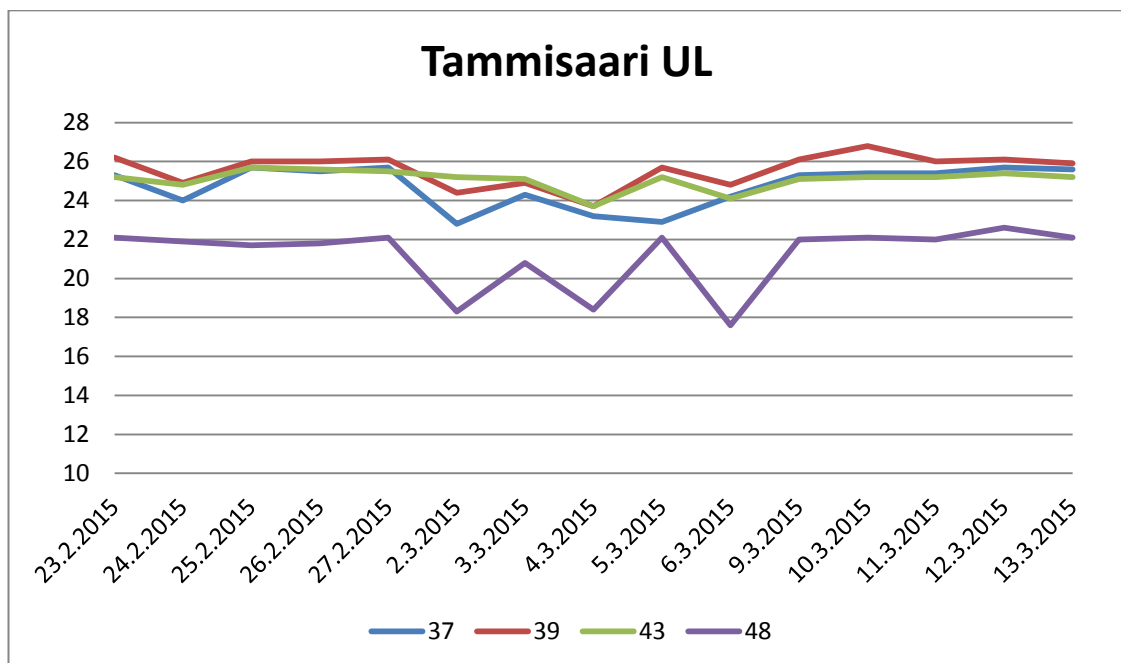
Kuvio 5. Tammelan lähettimen lähettämät kanavat.

Kanavan 30 huonoudella ei luultavasti ole mitään tekemistä Tammelan lähettimen kanssa, vaan ennemminkin Kaarinan lähettimen kanssa, josta lisää myöhemmin. Hangon lähettimen kanavat ovat muihin verrattuna poikkeus (Kuvio 6), koska siinä on kaksi huonoa kanavaa.



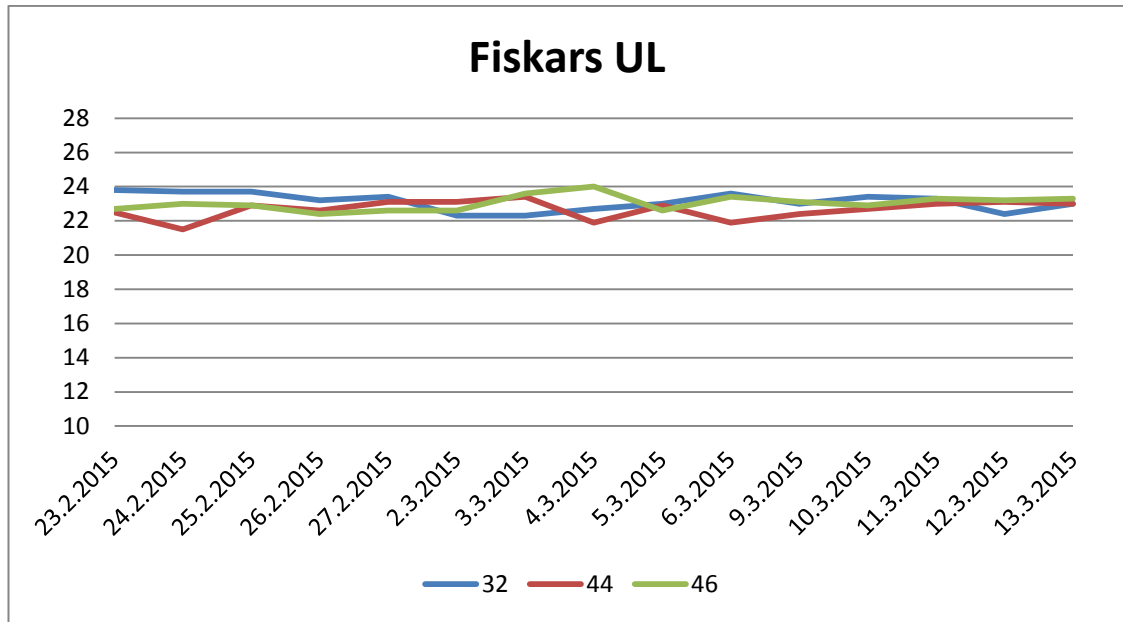
Kuvio 6. Hangon lähettimen lähettämät kanavat.

Tosin ei voida tehdä johtopäätöstä, että tämä johtuisi Hangon lähettimestä. Kanava 36 esiintyy myös Eurajoen kuvaajassa (Kuvio 4) ja kanava 48 esiintyy myös Tammisaaren lähettimellä (Kuvio 7).



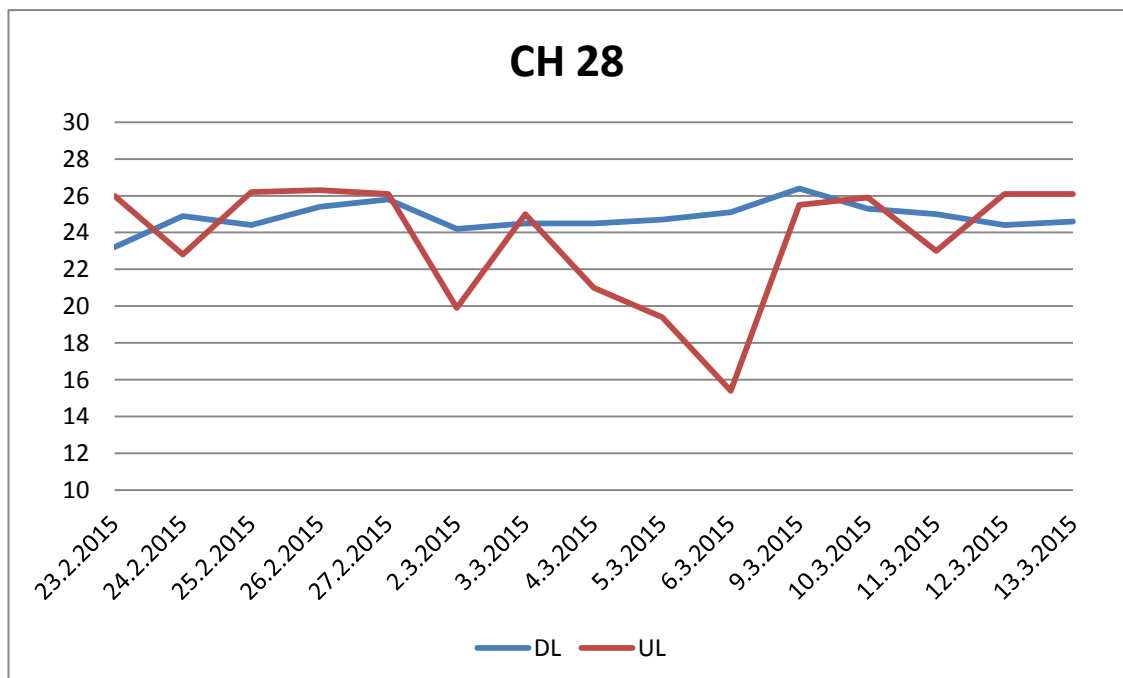
Kuvio 7. Tammisaaren lähettimen lähettämät kanavat.

Fiskarsin lähettimen kanavat ovat näihin kaikkiin poikkeus, koska kanavat ovat hyviä koko mittausajalta (Kuvio 8).



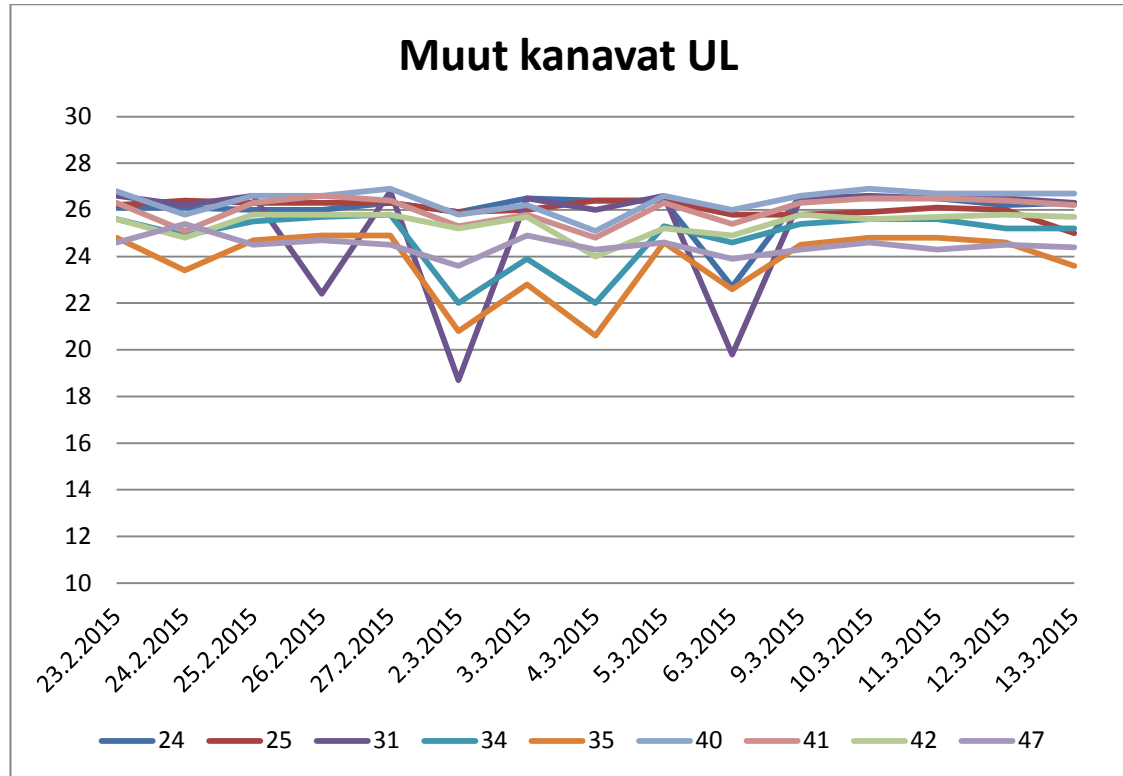
Kuvio 8. Fiskarsin lähettimen lähettämät kanavat.

Tässä kohtaa huomattiin, että kanavat 30 ja 48, jotka ovat Kaarinan lähettimen lähettämien kanavien läheisyydessä, ovat huonoja. Siksi päätettiin tarkistaa kanava 28 erikseen (Kuvio 9).



Kuvio 9. Kanava 28.

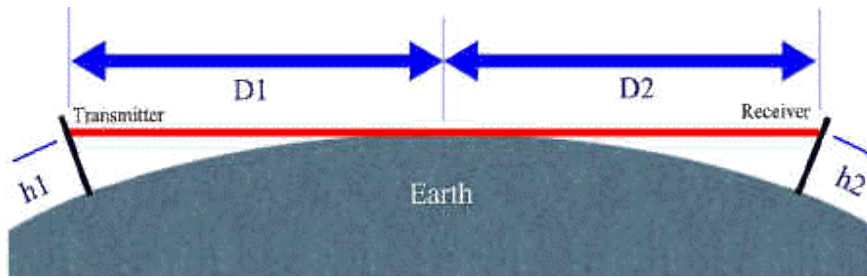
Tästä voidaan jo päätellä, että varsinkin sadepäivinä tehokkaiden DTV-lähetysten kanavat voivat olla hyvinkin häiritseviä TVWS-sovelluksille. Lisävarmistuksena "tyhjien kanavien" kuvaaja erikseen (Kuvio 10).



Kuvio 10. Tyhjät kanavat.

Kanavat, joiden läheisyydessä ei ole mitään lähetyksiä, ovat suhteellisen tasaisia. Kanava 31 on jonkin verran huonompi kuin muut, mutta ei merkittävän huono. Ei voi olla sattumaa, että kanavat, joilla lähetetään DTV-lähetystä lähialueella, kanavanipusta löytyy aina vähintään yksi huono kanava, poislukien Fiskars. Lähettimien lähetykset varmasti nostavat kohinasoja Turussakin asti, niiden tasoja ja tarkempaa vaikutusta voisi tulevaisuuden testeissä mitata spektrianalysaattorilla.

SNR-testiin liittyen pitäisi tarkistaa radiohorisontti. Radiohorisontti on teoreettinen etäisyys, jolla pisteestä A radioaalto matkustaa esteettä pisteeseen B kaarevan maapallon pinnalla.



Kuva 24. Radiohorisontin laskeminen [15].

Teoreettinen radiohorisontti, d (km), voidaan laskea kuvan 24 avulla. Siihen tarvitsee tietää antennin korkeus h metreinä. Tämä lasketaan molemmista suunnista [15].

$$d = 4.1 \times \sqrt{h}$$

Esimerkiksi Tammelan lähetin - Turun ICT-talon antennin radiohorisontti on

$$d^1 = 4.1 \times \sqrt{300} = 71 \text{ km}$$

$$d^2 = 4.1 \times \sqrt{35} = 24.3 \text{ km}$$

$$d_1 + d_2 = 95.3 \text{ km}$$

Laskuissa oletetaan, että Tammelan maston korkeus on ~ 300 m. Turun ICT-talon katolla olevan antennin on arvioitu olevan 35 m:ssä. Turku - Tammela välimatka taulukon 1 mukaan on 91 km. Näin ollen teoriassa välimatka riittää, mutta käytännössä esteet ja kukkulat matkalla lyhentävät radiohorisonttia.

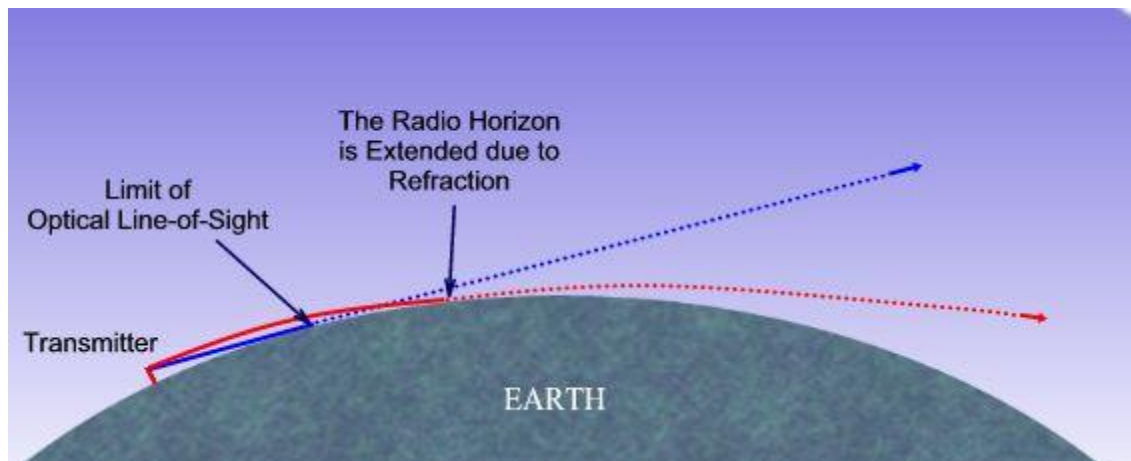
Suurille lähettimille tämä lasku sopii kaikkiin tapauksiin. Edellytyksenä on ainoastaan, että lähetin on n. 300 m:ssä. Täytelähetimet tuskin ovat näin korkealla, joten Hangon ja Tammisaaren täytelähettimille tarvitaan tarkempi mitta antennin korkeudesta.

5.5 Päätelmiä mittaustuloksista

Työssä käytettyjen testien perusteella kognitiiviradiojärjestelmä on hyvä vaihtoehto jo olemassa olevien langattomien sovellusten rinnalle. Järjestelmä on vakaa, mutta pieniä ongelmia saattaa esiintyä. Esimerkiksi adaptiivinen

modulaatio on käytävissä olevalla laitteistolla liian herkkä laskemaan modulaatiota. Tämän voisi korjata antamalla pääkäyttäjälle valtuuksia muuttaa asetuksia tarkemmin hallintakeskuksessa.

SNR-testissä lähes kaikki kanavat olivat täysin käyttökelpoisia kognitiiviradiojärjestelmälle. Muutama huono kanava löydettiin, aina DTV-lähetyskanavien viereltä. Tämä voisi johtua siitä, että radiosignaalit taittavat hyvinkin pienistä muutoksista, kun liikutaan lähellä maanpintaa. Ilman taitekerroin on hieman korkeampi lähellä maanpintaa kuin ylempänä ilmakehässä. Tämän seurauksena radiosignaali taipuu kohti maanpintaa pidentäen signaalin kantomatkaa (Kuva 25) [15].



Kuva 25. Radiosignaalin taittuminen [15].

Ilman taitekertoimeen vaikuttaa mm. lämpötila, ilmanpaine ja ilmankosteus. Pienikin muutos taitekertoimeen voi aiheuttaa suuria muutoksia signaalin etenemiseen [16].

Mahdollisesti sade ja kosteus on kasvattanut ilman taitekerrointa, jolloin naapurikanavan signaalissa tapahtuu enemmän taittumista. Tällöin kognitiiviradioyhteyden häiriötaso kasvaa.

6 YHTEENVETO

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli testata Carlson RuralConnect -kognitiiviradiojärjestelmän toimivuutta pitkällä aikavälillä. Tämä opinnäytetyö toteutettiin, koska kognitiiviradiojärjestelmä oli entuudestaan tuttu lyhyellä käytöllä, mutta pitkän ajan luotettavuus oli epäselvää. Ensin testattiin järjestelmän vakautta ja toimintaa erilaisilla dataliikennemäärillä. Tämän jälkeen testattiin sääolosuhteiden vaikutusta ja niiden korrelaatiota lähialueen suurien tv-asemien lähetyksien kanssa. Testaus kesti n. kuukauden, jonka aikana saatiin hyvää lisätietoa järjestelmän toimivuudesta.

Ongelmia oli, mutta missään vaiheessa järjestelmä ei mennyt täysin toimintakelvottomaksi. Yhteys pysyi toiminnassa, ja järjestelmä sopii hyvin esimerkiksi valvontakamerajärjestelmiin. Täytyy vain ottaa huomioon valaistus ja lisätä esimerkiksi lamppeja, jos yöllä tai pimeässä on tarvetta kuvata. Muutaman kerran kamerakuva katkesi testin aikana, joten täysin 100-prosenttista luotettavuutta vaativaan järjestelmään tarvitaan jokin toinen yhteystyyppi.

Tässä opinnäytetyössä tuli esille useana sateisena ja kosteana päivänä huomattavia eroja signaalin laadussa ja toiminnassa verrattuna aurinkoiseen päivään. Sadevaimennuksesta ei kuitenkaan ole kyse, koska se muodostuu ongelmaksi vasta korkeammilla taajuuksilla, eli taajuuden pitää olla yli 1 GHz. Näissä tuloksissa aiheuttajana voisi hyvinkin olla radiosignaalin taittuminen.

Tulevaisuudessa voisi toteuttaa kattavamman sään vaikutusten testauksen pidemmällä aikavälillä. Lisäksi voitaisiin toteuttaa spektrianalysointimittaukset signaalikohinatasojen määrittämiseen useina päivinä sekä erilaisissa sääolosuhteissa.

LÄHTEET

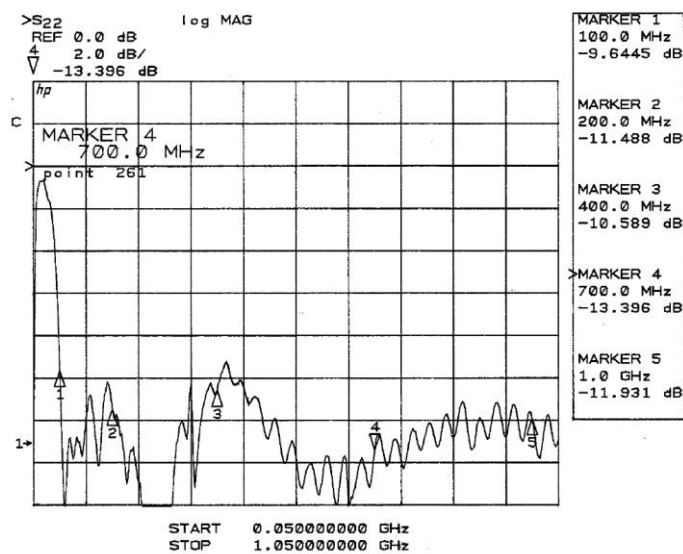
- [1] Simolin, Matti. Videovalvonnan toteuttaminen kognitiiviradiotekniikalla. Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö 2013.
- [2] Ofcom “TV white spaces A consultation on white space devices” 2012
- [3] UK moves towards dynamic access for TV white space spectrum [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.unwiredinsight.com/2013/tv-white-space> (Luettu 13.4.2015)
- [4] Viestintävirasto, Turun AMK:n EMC-laboratorion radiolupapäätös 2013.
- [5] Ofcom Expects 2015 TV White Spaces Commercialization [www-dokumentti]. Saatavilla : <http://cable.tmcnet.com/topics/cable/articles/2014/10/13/391171-ofcom-expects-2015-tv-white-spaces-commercialization.htm> (Luettu 20.4.2015)
- [6] Carlson RuralConnect [www-dokumentti]. Saatavilla : <http://www.carlsonwireless.com/wp-content/uploads/2014/11/RuralConnect.pdf> (Luettu 17.3.2015)
- [7] Model B+ Hardware General Specifications [www-dokumentti]. Saatavilla : <http://www.raspberry-projects.com/pi/pi-hardware/raspberry-pi-model-b-plus/model-b-hardware-general-specifications> (Luettu 13.4.2015)
- [8] PoE-HP-50 [www-dokumentti]. Saatavilla : http://nuspectra.com/specs/Laird/Power_Over_Ethernet_-_POE-HP-24i_POE-HP-50i.pdf (Luettu 10.3.2015)
- [9] D-Link DES-1008PA [www-dokumentti]. Saatavilla : http://www.dlink.com/-/media/Business_Products/DES/DES%201008PA/Datasheet/DES_1008PA_Datasheet_EN.pdf (Luettu 11.3.2015)
- [10] Sony SNC-CH220 [www-dokumentti]. Saatavilla : <http://pro.sony-asia.com/pro/lang/en/hk/support/brochures/1237492478602>
- [11] Sony UNI-ORBC6 [www-dokumentti]. Saatavilla : <http://www.sony.co.uk/res/attachment/file/30/1237490033130.pdf> (Luettu 12.3.2015)
- [12] Mäkipää, Tuomas Carlson TVWS -kognitiiviradiojärjestelmän rakenne ja käyttö Turun testiverkossa. Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö 2015.
- [13] Suomen televisiolähetysten taajuudet ja kanavat [www-dokumentti]. Saatavilla : http://www.digita.fi/files/175/Kanavat_ja_tajuudet_taulukko.pdf (Luettu 19.3.2015)
- [14] Viestintäviraston taajuusjakotaulukko [www-dokumentti]. Saatavilla : https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/Taajuusjakotaulukko_06022015.PDF (Luettu 10.3.2015)
- [15] VHF signal propagation [www-dokumentti]. Saatavilla : <http://www.dxfm.com/content/propagation.htm> (Luettu 25.3.2015)
- [16] Tropospheric propagation [www-dokumentti]. Saatavilla : <http://www.radio-electronics.com/info/propagation/tropospheric/tropospheric-propagation.php> (Luettu 6.4.2015)

Aerial D100-1000

SPECIAL : D100-1000

BICONICAL ANTENNA D100-1000

Type	D100/1000
Frequency	100...1000 MHz
Bandwidth	900 MHz
Impedance	50 Ω DC grounded
VSWR	2,0 max
Polarisation	Vertical
Gain	2 dBi
E-plane 3 dB beamwidth	70°
H-plane 3 dB beamwidth	-
Electrical downtilt	None
Front to back ratio	-
Max. Continuous power	0,5 kW
RF-connector	N or 7/16 female
Operational windspeed	40 m/s (default)
Survival windspeed	55 m/s (default)
Wind area	0,45 m ²
Dimensions (\varnothing xH)	\varnothing 400/60 mmx2100 mm
Weight	17 kg
Mounting diameter	\varnothing 30...115 mm pipe
Materials	Aluminium Glassfiber radome Glass reinforced PE Hot dip galvanised steel
Options	Available with both aluminium and steel pedestal



Aerial Oy

Box 22
04401 Järvenpää
Finland

Tel. +358 9 2790 120
Fax +358 9 2910 210

<http://www.aerial.fi>
aerial@aerial.fi

Suomen maanpäällisten televisiolähetysten lähettimet ja taajuudet (10 s.)

Päivitetty 12.11.2014 Pääasema ja täytelähetin	Kanavanippu A		Kanavanippu B		Kanavanippu C		Kanavanippu E		Kanavanippu D		Kanavanippu H		Digitan omistamien pääasemien koordinaatit leveys,pituus
	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	
Transmitter	Mux A		Mux B		Mux C		Mux E		Mux D		Mux H		Coordinates of Transmitters
	Channel f (MHz)		Channel f (MHz)		Channel f (MHz)		Channel f (MHz)		Channel f (MHz)		Channel f (MHz)		
Anjalankoski, Ruotila	22	482	27	522	53	730	56	754	41	634			60 as. 41 min 27 as. 03 min
Espoo	32	562	44	658	46	674	53	730	35	586	26	514	60 as. 10 min 24 as. 38 min
Hyvinkää	29	538	49	698	28	530	56	754					
Karkkila	36	594	39	618	57	762	49	698					
Lohja	48	690	55	746	56	754	60	786					
Nummi-Pusula, Hyönölä	47	682	59	778	25	506	42	642					
Sipoo, Norrkulla	49	698	56	754	31	554	53	730					
Vantaa, Hakunila	32	562	44	658	46	674	53	730					
Eurajoki	38	610	45	666	52	722	55	746	36	594			61 as. 17 min 21 as. 42 min
Kankaanpää	43	650	47	682	26	514	51	714					
Lavia	24	498	31	554	60	786							
Vammala, Sävi	46	674	49	698	40	626							
Fiskars	32	562	44	658	46	674	58	770					60 as. 07 min 23 as. 29 min
Hanko	36	594	33	570	48	690	26	514					
Tammisaari	39	618	43	650	48	690	37	602					
Haapavesi	34	578	42	642	53	730	57	762					64 as. 10 min 25 as. 15 min
Kalajoki	34	578	42	642	53	730							
Raahe, Mestauskallio	30	546	39	618	38	610	44	658					
Raahe, Piehinki	30	546	39	618	38	610							
Vaala	58	770	60	786	48	690							

Päivitetty 12.11.2014 Pääasema ja täytelähetin	Kanavanippu A		Kanavanippu B		Kanavanippu C		Kanavanippu E		Kanavanippu D		Kanavanippu H		Digitaalisten pääasemien koordinaatit leveys,pituus
	kanava- numero	keski- taajuus (MHz)	kanava- numero	keski- taajuus (MHz)	kanava- numero	keski- taajuus (MHz)	kanava- numero	keski- taajuus (MHz)	kanava- numero	keski- taajuus (MHz)	kanava- numero	keski- taajuus (MHz)	
Iisalmi	26	514	38	610									63 as. 37 min 27 as. 04 min
Inari	48	690	25	506									68 as. 51 min 27 as. 07 min
Inari, Jänispää	23	490	30	546									
Inari, Näätämä	27	522	37	602									
Ivalo, Saarineitämövaara	23	490	27	522									
Karigasniemi	50	706	49	698									
Kaunispää	48	690	25	506									
* Nuorgam, Njallavaara	30	594	46	674									
**Nuorgam, raja	22	482	27	522									
Utsjoki	44	658	51	714									
* Utsjoki, Nuvvus	30	546	33	570									
* Utsjoki, Outakoski	50	706	49	698									
* Utsjoki, Polvarniemi	50	706	49	698									
* Utsjoki, Rovisuvanto	28	530	34	578									
* Utsjoki, Tenola	38	610	41	634									
Joutseno	47	682	35	586	57	762	32	562	26	514			61 as. 08 min 28 as. 32 min
Parikkala	31	554	59	778	29	538	40	626					
Rautjärvi, Simpele	38	610	28	530	53	730							
Jyväskylän	30	546	60	786	55	746	41	634	25	506	35	586	62 as. 12 min 25 as. 38 min
Joutsa, Lankia	22	482	52	722	28	530	27	522					
Jyväskylän, Vaajakoski	30	546	60	786	55	746							
Jämsä, Halli	46	674	43	650	22	482	33	570					
Jämsä, Kaipola	37	602	44	658	49	698	29	538					

Päivitetty 12.11.2014 Pääasema ja täytelähetin	Kanavanippu A		Kanavanippu B		Kanavanippu C		Kanavanippu E		Kanavanippu D		Kanavanippu H		Digitan omistamien pääasemien koordinaatit leveys,pituus
	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	
Jämsä, Matkosvuori	37	602	44	658	31	554	29	538					
Jämsänkoski	30	546	60	786	55	746	41	634					
Kangasniemi, Turkinmäki	37	602	50	706	28	530	48	690					
Keuruu	46	674	50	706	24	498	22	482					
Keuruu, Haapamäki	47	682	57	762	49	698	37	602					
Korpilahti, Vaarunvuori	30	546	60	786	55	746	41	634					
Kuhmoinen	36	594	45	666	46	674	56	754					
Kuhmoinen, Harjunsalmi	22	482	27	522	52	722	39	618					
Kuhmoinen, Puukkoinen	32	562	38	610	26	514							
Laukaa	30	546	60	786	55	746	41	634					
Laukaa, Vihtavuori	30	546	60	786	55	746	41	634					
Luhanka	32	562	46	674	38	610	23	490					
Pieksämäki, Halkokumpu	51	714	57	762	27	522							
Saanjärvi	47	682	52	722	33	570	38	610					
Saanjärvi, Mahtu	22	482	27	522	51	714							
Äänekoski	38	610	53	730	28	530	47	682					
Äänekoski, Konginkangas	44	658	48	690	37	602	57	762					61 as. 59 min 29 as. 15 min
Kerimäki	30	546	42	642	33	570	58	770					
Heinävesi	44	658	50	706	26	514							
Sulkava, Väätilänmäki	46	674	51	714	49	698							62 as. 24 min 30 as. 30 min
Kiihtelysaara	26	514	59	778									
Koli	25	506	40	626	47	682	51	714					63 as. 03 min 29 as. 47 min
Joensuu, Vestinkallio	45	666	60	786	49	698							
Nurmes, Konnanvaara	38	610	49	698	57	762	36	594					

Päivitetty 12.11.2014 Pääsema ja täytelähetin	Kanavanippu A		Kanavanippu B		Kanavanippu C		Kanavanippu E		Kanavanippu D		Kanavanippu H		Digitaalisten omistamien pääsemien koordinaatit leveys,pituus
	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	
Nurmes, Korteavaara	32	562	34	578	37	602							
Valtimo	35	586	38	610	44	658							63 as. 44 min 23 as. 30 min
Kruunupyö	27	522	22	482	41	634	44	658	30	546			62 as. 44 min 27 as. 32 min
Kuopio	24	498	36	594	39	618	52	722	46	674			
Joroinen, Puukkola	22	482	26	514	28	530							
Kaavi, Sivakkavaara	28	530	43	650	57	762							
Kangaslampi	56	754	60	786	27	522	44	658					
Nilsinä	34	578	42	642	31	554	32	562					
Nilsinä, Keski-Siikajärvi	50	706	53	730	33	570							
Nilsinä, PISA	24	498	36	594	39	618							
Rautavaara, Angervikko	44	658	54	738	48	690	28	530					
Siilinjärvi	41	634	58	770	27	522	44	658					
Varpaisjärvi, Honkamäki	41	634	60	786	57	762	43	650					
Lahti	33	570	47	682	57	762	51	714	40	626	48	690	61 as. 00 min 25 as. 31 min
Hartola	26	514	37	602	42	642							
Heinola	31	554	60	786	28	530	50	706					
Luopioinen	43	650	46	674	31	554	50	706					
Padasjoki	33	570	47	682	57	762	51	714					
Padasjoki, Arrakoski	24	498	28	530	29	538	55	746					
Sysmä, Liikola	24	498	36	594	50	706	44	658					
Lapua	38	610	37	602	55	746	48	690	24	498			62 as. 57 min 22 as. 57 min
Alajärvi	42	642	53	730	59	778	34	578					
Jalasjärvi	27	522	43	650	46	674	36	594					

Päivitetty 12.11.2014 Pääasema ja täyrielähetin	Kanavanippu A keski- taajuus (MHz)		Kanavanippu B keski- taajuus (MHz)		Kanavanippu C keski- taajuus (MHz)		Kanavanippu E keski- taajuus (MHz)		Kanavanippu D keski- taajuus (MHz)		Kanavanippu H keski- taajuus (MHz)		Digitaalisten omistamien pääasemien koordinaatit leveys,pituus
	kanava- numero	keski- taajuus (MHz)	kanava- numero	keski- taajuus (MHz)	kanava- numero	keski- taajuus (MHz)	kanava- numero	keski- taajuus (MHz)	kanava- numero	keski- taajuus (MHz)	kanava- numero	keski- taajuus (MHz)	
Kurikka, Kesti	26	514	30	546	44	658	46	674					
Perho	36	594	46	674	51	714	31	554					61 as. 35 min 27 as. 28 min
Mikkeli	29	538	43	650	59	778	38	610					
Juva	23	490	34	578	40	626	50	706					
Mäntyharju	23	490	26	514	35	586							
Oulu	41	634	51	714	54	738	37	602	24	498	33	570	65 as. 02 min 25 as. 51 min
Pudasjärvi	44	658	48	690	46	674							
Pudasjärvi, Iso-Syöte	43	650	60	786	49	698							
Simo, Viantie	30	546	31	554	57	762							
Pello	30	546	36	594									66 as. 47 min 24 as. 07 min
Pernaja	23	490	50	706			39	618					60 as. 34 min 25 as. 55 min
Porvoo, Suomenkylä	23	490	50	706	38	610	39	618					63 as. 17 min 25 as. 39 min
Pihtipudas	50	706	45	666	58	770							
Karstula	52	722	57	762	59	778							
Kyyjärvi, Noposenaho	28	530	35	586	47	682							
Pykönmäki, Karankajärvi	36	594	42	642	34	578							
Saarijärvi, Kalmari	36	594	42	642	34	578							
Posio	31	554	39	618									66 as. 00min 27 as. 38 min
Rovaniemi, Kaihuanvaara	40	626	50	706									
Ranua, Haasionmaa	34	578	59	778									

Päivitetty 12.11.2014	Kanavanippu A		Kanavanippu B		Kanavanippu C		Kanavanippu E		Kanavanippu D		Kanavanippu H		Digitan omistamien pääasemien koordinaatit
Pääasema ja täytelähetin	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	leveys, pituus
Pyhänturi	24	498	41	634									67 as. 01 min 27 as. 13 min
Kemijärvi, Suomutunturi	37	602	50	706									
Salla, Hirvasvaara	40	626	44	658									
Salla, Ihistysjätkä	35	586	50	706									
Salla, Naruska	56	754	51	714									
Salla, Sallatunturi	26	514	38	610									
Salla, Sariivaara	26	514	38	610									
Savukoski, Martti	27	522	36	594									
Savukoski, Tanhua	26	514	37	602									
Sodankylä, Pittiövaara	44	658	58	770									
Pyhävuori	28	530	41	634				35	586				62 as. 17 min 21 as. 38 min
Karvia	57	762	60	786				51	714				
Honkajoki, Teollisuustie	31	554	37	602	39	618		44	658				
Rovaniemi	43	650	46	674				53	730				66 as. 33 min 25 as. 34 min
Rovaniemi, Marasenkallio	43	650	46	674									
Rovaniemi, Rantalaki	51	714	58	770									
Rovaniemi, Sonka	43	650	46	674									
Rovaniemi, Sorviselkä	39	618	58	770									
Ylitornio, Raanujärvi	33	570	39	618									
Ruka	33	570	48	690	59	778							66 as. 09 min 29 as. 09 min
Kuusamo, Hampplampi	44	658	46	674									
Sodankylä, Vuotso	31	554	50	706									68 as. 02 min 27 as. 27 min

Päivitetty 12.11.2014 Pääasema ja täytelähetin	Kanavanippu A		Kanavanippu B		Kanavanippu C		Kanavanippu E		Kanavanippu D		Kanavanippu H		Digitaalisten omistamien pääasemien koordinaatit leveys,pituus
	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	
Taivalkoski	32	562	38	610									65 as. 19 min 28 as. 21 min
Pudasjärvi, Kangasvaara	26	514	29	538									
Suomussalmi, Ala-Vuokki	49	698	60	786									
Suomussalmi, Juntusranta	42	642	45	666									
Suomussalmi, Myllylahti	28	530	30	546									
Suomussalmi, Ämmänsaari	42	642	45	666									
Taivalkoski, Taivalvaara	36	594	40	626									
Tammela	22	482	27	522	50	706	43	650	30	546			60 as. 55 min 23 as. 54 min
Hämeenlinna, Painokangas	22	482	27	522	50	706							
Tampere	34	578	23	490	58	770	59	778	42	642	46	674	61 as. 39 min 23 as. 52 min
Hämeenkyrö, Kyröskoski	34	578	23	490	58	770	59	778					
Ikaalinen	29	538	44	658	57	762	39	618					
Ikaalinen, Riitälä	43	650	54	738	27	522	50	706					
Juupajoki, Kopsamo	34	578	23	490	58	770							
Jämsä, Ouninpohja	24	498	28	530	50	706							
Kihniö	54	738	60	786	46	674	51	714					
Mänttä	44	658	52	722	27	522	36	594					
Nokia	51	714	55	746	28	530	48	690					
Nokia, Siuro	51	714	55	746	28	530	48	690					
Orvesi, Talvainen	38	610	49	698	54	738							
Parkano, Sopukallio	25	506	30	546	49	698	32	562					
Ruovesi, Storminiemi	34	578	23	490	58	770	59	778					
Tampere, Pyyntikki	40	626	44	658	47	682	35	586	42	642			
Vammala, Jyränvuori	51	714	56	754	25	506	48	690					

Päivitetty 12.11.2014 Pääasema ja täytilähetin	Kanavanippu A		Kanavanippu B		Kanavanippu C		Kanavanippu E		Kanavanippu D		Kanavanippu H		Digitan omistamien pääasemien koordinaatit leveys,pituus
	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	
Vammala, Roismala	26	514	32	562	46	674							
Virrat, Lappavuori	27	522	57	762	36	594	31	554					
Tervola	40	626	42	642			44	658					66 as. 07 min 24 as. 42 min
Ii, Raiskio	34	578	48	690									
Ylitornio, Ainiovaara	30	546	37	602			57	762					6.6.2008
Pello, Ratasvaara	49	698	53	730									
Ranua, Leppiaho	32	562	36	594									
Turku	51	714	54	738	57	762	60	786	29	538	49	698	60 as. 22 min 22 as. 20 min
Korppoo	40	626	47	682	34	578	27	522					
Kustavi, Viherlahti	51	714	54	738	57	762	60	786					
Loimaa	56	754	47	682	25	506	52	722					
Parainen, Houtskari	40	626	47	682	34	578	27	522					
Salo Isokylä	26	514	45	666	47	682	33	570					
Uusikaupunki, Orivo	22	482	26	514	24	498	31	554					
Vaasa	38	610	37	602			57	762					63 as. 12 min 21 as. 32 min
Vuokatti	30	546	52	722	56	754	59	778					64 as. 07 min 28 as. 15 min
Hyrnsalmi	40	626	44	658	34	578							
Hyrnsalmi, Kypärävaara	40	626	44	658	24	498							
Hyrnsalmi, Pajjaka	22	482	27	522	46	674							
Kajaani, Pölyvaara	30	546	52	722	56	754							
Kuhmo, Haukela	34	578	40	626	35	586							
Kuhmo, Lenttiira	24	498	32	562	42	642							

Päivitetty 12.11.2014 Pääasema ja täytelähetin	Kanavanippu A		Kanavanippu B		Kanavanippu C		Kanavanippu E		Kanavanippu D		Kanavanippu H		Digitaalisten omistamien pääasemien koordinaatit leveys,pituus
	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	kanava-numero	keski-taajuus (MHz)	
Kuhmo, Niva	23	490	25	506	49	698							
Paitamo, Kivesvaara	26	514	39	618	49	698							
Puolanka	42	642	45	666	47	682	43	650					
Ristijärvi	22	482	25	506	47	682							
Ylläs	30	546	36	594									67 as. 34 min 24 as. 13 min
Enontekiö, Ahovaara	26	514	33	570									
Enontekiö, Hetta	31	554	38	610									
Enontekiö, Kuttanen	53	730	58	770									
Kilpisjärvi	45	666	48	690									
Kittilä, Levitunturi	25	506	40	626									
Kolari, Vuolittaja	25	506	28	530									
Muonio, Olostunturi	25	506	32	562									
Rovaniemi, Karhuvaara	25	506	28	530									
Ylläsjärvi	22	482	28	530									62 as. 26 min 24 as. 08 min
Ähtäri	52	722	44	658									

Signaalikohinasuhdemittaukset ja sääolosuhteet

CH	23.2.2015		24.2.2015		25.2.2015		26.2.2015		27.2.2015	
	DL SNR	UL SNR	DL SNR	UL SNR	DL SNR	UL SNR	DL SNR	UL SNR	DL SNR	UL SNR
22	23	25	23.5	23.3	22.8	25	21.8	25	22	24.7
23	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
24	24.3	26.1	24.1	26.1	24.9	26	24.7	26	25.4	26.3
25	23.9	26.2	25.6	26.4	23.6	26.3	26.4	26.3	25.9	26.3
26	24.3	25.7	24.6	24.8	24.5	26	24.4	25.9	25.8	26.2
27	24.6	25.7	24.9	25	25	25.8	25.4	25.6	26	26
28	23.2	26	24.9	22.8	24.4	26.2	25.4	26.3	25.8	26.1
29	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
30	23.1	26.6	24.1	22.8	24.2	19.5	24.1	12.9	24	19.8
31	24.3	26.6	26.3	26.2	26.5	26.6	26.6	22.4	27	26.8
32	24.5	23.8	24	23.7	24.5	23.7	24.8	23.2	24.6	23.4
33	24.5	25.5	24.4	25.5	25.2	25.8	25.5	25.8	25	25.7
34	21.8	25.6	24.3	24.9	22.9	25.5	23.4	25.7	23.2	25.8
35	22	24.8	23.9	23.4	21.5	24.7	22.2	24.9	22.4	24.9
36	24.5	23.6	22	19.8	21.3	24	20.8	23.6	21.8	24.1
37	24.5	25.3	23.9	24	23.3	25.7	22.7	25.5	23.2	25.7
38	25.1	25.7	24.1	24.2	25.6	25.8	24.9	25.7	25.1	25.7
39	26.2	26.2	25.1	24.9	26.5	26	26.3	26	26.4	26.1
40	27.2	26.8	26.4	25.8	27.6	26.6	27.2	26.6	27.4	26.9
41	27.3	26.3	26.4	25.1	27.6	26.3	27.6	26.6	27.7	26.4
42	27.5	25.6	26.3	24.8	27.4	25.8	27.4	25.8	27.4	25.8
43	26.3	25.2	25.5	24.8	26.7	25.7	26.8	25.6	26.7	25.5
44	25	22.5	24.8	21.5	26.7	22.9	25	22.6	25.7	23.1
45	25.5	23.1	25.4	25	25.8	25	26	25.1	26.1	25.2
46	26.1	22.7	25.3	23	26.2	22.9	26.1	22.4	26.1	22.6
47	25.2	24.6	24.5	25.4	24.8	24.5	25.9	24.7	25.3	24.5
48	25	22.1	24.4	21.9	24.6	21.7	25.2	21.8	25.2	22.1

Täysin pilvinen

Täysin pilvinen

Täysin pilvinen

Täysin pilvinen

Täysin pilvinen

Ilmanpaine

(hPa)

1002

999

1014

1022

1019

Näkyvyys

(km)

10

10

9

9

10

Ilmankosteus

91 %

93 %

94 %

98 %

93 %

Lämpötila

(°C)

2.9

3

3.6

1.4

0.6

Sademäärä

(mm)

0

0

0

0

0

CH	2.3.20		3.3.20		4.3.20		5.3.20		6.3.20	
	15		15		15		15		15	
	DL SNR	UL SNR	DL SNR	UL SNR	DL SNR	UL SNR	DL SNR	UL SNR	DL SNR	UL SNR
22	23.9	23.2	23.7	23.8	24	22.6	23.5	24.2	23.8	22
23	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
24	24.2	25.9	24.8	26.5	24	26.4	24.8	26.4	24	22.7
25	24.8	25.9	26.2	26	25	26.4	26.3	26.4	25.4	25.8
26	24.6	23.8	25.1	25.1	24	24.2	25	25.9	24.8	24.8
27	23.6	23.7	23.8	24.1	23.1	23.3	25.4	24.8	23.5	23.6
28	24.2	19.9	24.5	25	24.5	21	24.7	19.4	25.1	15.4
29	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
30	23.4	16.8	24	17.9	24.1	17.2	23.8	18.9	24.2	11.4
31	25.8	18.7	26.4	26.5	26.5	26	26.4	26.6	26.3	19.8
32	24	22.3	24.4	22.3	24.8	22.7	24.5	23	24.7	23.6
33	24.9	23.9	24.5	24.9	24.8	24.1	24.3	25.6	24.8	25.4
34	23.1	22	23.1	23.9	23.3	22	22.5	25.3	23.6	24.6
35	22.2	20.8	22.5	22.8	22.2	20.6	22.5	24.6	22.4	22.6
36	17.9	17.6	21	20.6	20.7	17.7	21.9	22.9	21.4	20
37	20.9	22.8	23.1	24.3	22.8	23.2	24.9	22.9	23	24.2
38	22.4	23.8	23.5	24.4	22	22.7	24.1	25.6	23.4	24.4
39	24.4	24.4	24.8	24.9	23.1	23.7	26.1	25.7	25.1	24.8
40	26.6	25.8	27.3	26.2	24.8	25.1	27.1	26.6	24.9	26
41	26.7	25.3	26.7	25.8	25	24.8	27.2	26.3	26.5	25.4
42	26.5	25.2	26.8	25.7	25	24	27.3	25.2	27.2	24.9
43	26.5	25.2	26.5	25.1	24.6	23.7	26	25.2	26.3	24.1
44	25.9	23.1	26	23.4	24.4	21.9	24.6	22.9	25.7	21.9
45	25.3	25.9	25.9	25.6	24.1	23	24.8	25	24.5	24.7
46	26.1	22.6	26.1	23.6	25	24	25.5	22.6	24.8	23.4
47	24.2	23.6	24.6	24.9	23.5	24.3	25.2	24.6	22.9	23.9
48	23	18.3	24.5	20.8	22.9	18.4	25	22.1	22.1	17.6

	sateinen pilvinen	& Täysin pilvinen	Täysin pilvinen	Täysin pilvinen	Täysin pilvinen	sateinen pilvinen	&
Ilmanpaine (hPa)	995	998	1003	1021	1018		
Näkyvyys (km)	5	10	10	9.9	7		
Ilmankosteus	96 %	96 %	97 %	92 %	96 %		
Lämpötila (°C)	3.4	2.6	1.7	2	2.2		
Sademäärä (mm)	1.5	0	1	0	1.5		

CH	9.3.2015		10.3.2015		11.3.2015		12.3.2015		13.3.2015	
	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL	DL	UL
22	23	24.4	21.1	24.7	20.5	24.9	20.6	23.9	21.3	22.5
23	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
24	26	26.6	24.8	26.5	24.7	26.5	24	26.2	24.5	26.3
25	27.1	25.8	26.3	25.9	26.6	26.1	25.9	26	25.6	25
26	25.9	25.7	24.9	25.8	24.9	25.9	24.1	25.6	24.6	26
27	25.6	25.6	25.3	25.9	25	25.9	24.3	24.9	24.9	25.8
28	26.4	25.5	25.3	25.9	25	23	24.4	26.1	24.6	26.1
29	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
30	24.8	19.5	23.9	20.1	23.7	19.7	22.8	18.5	22.4	18.7
31	26.3	26.5	26.6	26.6	26.5	26.5	26.1	26.5	26.1	26.3
32	24.7	23	24.3	23.4	24.7	23.3	23.8	22.4	24.2	23
33	24.8	25.6	25.2	25.7	25.2	25.6	22.4	25.2	24.2	25.1
34	22.7	25.4	23.6	25.6	22.5	25.6	22.4	25.2	22.1	25.2
35	21.6	24.5	22	24.8	22.5	24.8	21.8	24.6	21.8	23.6
36	21.6	23.6	21.1	23.7	20.9	23.9	21.5	23.9	22.4	23.9
37	24.2	25.3	22.5	25.4	21.2	25.4	24.2	25.7	25	25.6
38	24.5	25.9	24.9	25.3	24.7	25.7	24.8	25.6	25.3	25.8
39	26.2	26.1	26.1	26.8	26	26	26.6	26.1	26.1	25.9
40	27.2	26.6	27	26.9	27.1	26.7	27.2	26.7	27.1	26.7
41	27.1	26.3	26.5	26.5	27.2	26.5	27.2	26.4	27.3	26.2
42	27.1	25.8	27.5	25.6	27	25.7	27.2	25.8	27.6	25.7
43	26.2	25.1	26.2	25.2	26.5	25.2	26.1	25.4	26.4	25.2
44	24.7	22.4	24	22.7	25	23	24.3	23.1	24.5	23
45	25.4	25	25.6	25.1	25.4	24.9	25.2	24.9	25.6	25
46	26.2	23.1	25.9	22.9	26.3	23.3	26	23.2	26.3	23.3
47	24.7	24.3	25.4	24.6	24.7	24.3	24.6	24.5	25	24.4
48	25.2	22	25.6	22.1	25	22	24.8	22.6	25.3	22.1

	aurinkoinen	poutapilvinen	aurinkoinen, poutapilvinen	aurinkoinen	aurinkoinen
Ilmanpaine (hPa)	1013	1013	1018	1038	1043
Näkyvyys (km)	10	10	10	ei saatavilla	ei saatavilla
Ilmankosteus	76 %	83 %	76 %	63 %	52 %
Lämpötila (°C)	5	4.4	5.1	5.2	6.2
Sademäärä (mm)	0	0	0	0	0

Signaalikohinasuhde lähettimien kanavilta

