

Opinnäytetyö TurkuAMK  
Elektroniikan koulutusohjelma  
Tietoliikennejärjestelmät  
2013

Matti Simolin

# VIDEOVALVONNAN TOTEUTTAMINEN KOGNITIIVIRADIOTEKNIKALLA



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikan koulutusohjelma | Tietoliikennejärjestelmät

Opinnäytetyön valmistumisajankohta | Sivumäärä

Ohjaaja:

DI, Yliopettaja, Reijo Ekman

**Matti Simolin**

## VIDEOVALVONNAN TOTEUTTAMINEN KOGNITIIVIRADIOTEKNIKALLA

Tässä työssä suunniteltiin, toteutettiin sekä testattiin kognitiiviradioverkon pohjalle rakennettu videovalvontajärjestelmän kokeiluympäristö. Tavoitteena oli saada tietoa järjestelmän kapasiteetista sekä toimivuudesta. Tarkoituksena on, että työstä saatuja tietoja voidaan käyttää apuna tulevaisuudessa tehtävissä laajemmista videovalvontajärjestelmien testeissä.

Työ aloitettiin tekemällä kognitiiviradioille mittauksia laboratorio-olosuhteissa. Mittauksissa mitattiin laitteiden tiedonsiirtonopeutta sekä testattiin, miten naapurikanavilla olevat DVB-T-signaalit vaikuttavat kognitiiviradiosignaaliin. Mittaukset suoritettiin kaikilla kognitiiviradion käyttämillä modulaatioilla. Mittaustulokset vastasivat melko hyvin odotuksia, ja esimerkiksi tiedonsiirtonopeusmittauksen tulokset korreloivat hyvin valmistajan antamien arvojen kanssa.

Laboratoriomittausten jälkeen toteutettiin videovalvontajärjestelmän kokeiluympäristö. Järjestelmää varten sijoitettiin kaksi valvontakameraa eri etäisyyksien (200 m:n sekä 1 600 m:n) päähän tukiasemasta. Molempiin pisteisiin rakennettiin lähetin-vastaanotinyksikkö, joka sisälsi terminaalin sekä antennin. Tukiasema asennettiin ICT-talon radiolaboratorioon ja tukiaseman antennina käytettiin kiinteänä ICT-talon katolla olevaa ympärisäteilevää antennia. Järjestelmän toimivuutta arvioitiin tarkkailemalla videovalvontakuvaa mediasoittimella sekä kognitiiviradiosignaaleja radiolaitteiden hallintasovelluksesta.

Mittaustulosten sekä testien perusteella voidaan todeta, että kognitiiviradiotekniikalla on potentiaalia toimia videovalvontajärjestelmän verkkoratkaisuna. Järjestelmän luotettavuudessa ilmeni joitain ongelmia, mutta suurin osa näistä ei liittynyt varsinaisesti kognitiiviradiotekniikkaan. Ongelmat ovat ratkaistavissa paremman toteutuksen avulla.

### ASIASANAT:

kognitiivinen radio, videotekniikka, tietoliikennetekniikka, kameravalvonta, valkoiset TV-alueet

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Electronics | Telecommunication Systems

Completion year of the thesis| Total number of pages

Instructor

Reijo Ekman, M.Sc.EE, Principal Lecturer

**Matti Simolin**

# VIDEO SURVEILLANCE OVER COGNITIVE RADIO TECHNOLOGY

The main purpose of this Bachelor's Thesis was to engineer, put into effect and test a video surveillance test system over cognitive radio. The main goal was to acquire information about the surveillance systems capacity and operability and use that information in order to conduct more extensive tests in the future.

At the beginning of the work a few measurements were performed in the laboratory with the cognitive radios. Subjects for the measurements were the transmission rate and the protection ratio against DVB-T-signal in adjacent channels. Both of the measurements were carried out with the all supported modulations. The results for measurements correlated well with the manufacturer's values.

After the measurements the implementation of the video surveillance test system was started. The test system consisted of two surveillance cameras and two transmitter/receiver units which were placed 200 meters and 1600 meters from the base station. The transmitter/receiver unit included a CPE terminal and a UHF antenna. The base station was placed in the radio laboratory of the ICT building, Turku. An omni-directional antenna on the roof of ICT building was used as a base station antenna. The system monitoring included watching the video surveillance stream and monitoring cognitive radio signals strengths from the management application.

As a result of this work, it can be said that the cognitive radio has the potential to be the network solution for a video surveillance system. The reliability of the system revealed few problems, but most of them were not associated with cognitive radio. The problems can be solved through better implementation.

## KEYWORDS:

cognitive Radio, video Technology, telecommunications technology, video surveillance, TV white space

# SISÄLTÖ

## LYHENTEET

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 LAITTEISTO</b>	<b>3</b>
2.1 Power Over Ethernet (PoE) -tekniikka	3
2.2 Kognitiivinen radiotekniikka	4
2.3 Kognitiiviset radiolaitteet	4
2.4 Digitaalinen IP-valvontakameratekniikka	7
2.4.1 CMOS-kuvakenno	7
2.4.2 Pysyvä ja muuttuva bittinopeus	7
2.4.3 H.264-standardi ja -koodekki	8
2.4.4 Digitaaliset valvontakamerat	10
2.5 Antennit	14
<b>3 MITTAUKSET JA MITTAUSTULOKSET</b>	<b>18</b>
3.1 Kognitiiviradioiden laboratoriomittaukset	18
3.1.1 Tiedonsiirtonopeuksien mittaaminen	18
3.1.2 Protection Ratio -mittaus	24
3.2 Mittaustulosten analysointi	31
<b>4 VIDEOVALVONTAJÄRJESTELMÄN KOKEILUYMPÄRISTÖN TOTEUTUS JA TESTAAMINEN</b>	<b>33</b>
4.1 Järjestelmän suunnittelu ja toteutus	33
4.2 Järjestelmän testaaminen	36
<b>5 YHTEENVETO</b>	<b>39</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>40</b>

## LYHENTEET

CMOS-kenno	Complementary Metal Oxide Semiconductor. Digitaalikameroissa käytettävän valoherkän kennon tyyppi.
DVB-T	Digital Video Broadcasting, Terrestrial. Maanpäällinen digitaalitelevisioin lähetyksjärjestelmä.
PoE	Power Over Ethernet. Ethernetiä käyttävä virransyöttötekniikka.
WISE	White space test environment for broadcast frequencies. Tekesin rahoittama projekti.
MPEG-4 AVC	Moving Picture Experts Group - 4 Advanced Video Coding (H.264/AVC). Videonpakkausstandardi.
H.264/HEVC	High Efficiency Video Coding. Videonpakkausstandardi.
TDD	Time Division Duplex. Aikajakoduplexi.
CPE	Customer Premises Equipment. Loppukäyttäjän verkkolaite.
CCD-kenno	Charge-Coupled Device. Valoherkkä kuvakenno.
IC-piiri	Integrated Circuit. Integroitu piiri.
DSP	Digital Signal Processor. Digitaalinen signaaliprosessori.
fps	Frames Per Second. Kuvataajuus/kehysnopeus.
ICR-suodatin	IR-cut filter.
JPEG	Joint Photographic Experts Group. Bittikarttagrafiikan tallennusformaatti.

VCEG	Video Coding Experts Group. Videonkoodausta käsitteleviä suosituksia julkaiseva työryhmä.
MPEG	Moving Picture Experts Group. Videonkoodausta käsitteleviä suosituksia julkaiseva työryhmä.
JVT	Joint Video Team. H.264-standardia kehittävä työryhmä.
VBR	Variable Bit Rate. Muuttuva bittinopeus.
CBR	Constant Bit Rate. Pysyvä bittinopeus.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers. Kansainvälinen tekniikan alan järjestö.
ONVIF	Open Network Video Interface Forum. Kansainvälinen IP-pohjaisten turvalaitteiden standardeja julkaiseva järjestö.
PSIA	Physical Security Interoperability Alliance. IP-pohjaisten turvalaitteiden yhteensopivuutta edistäviä standardeja kehittävä järjestö.
IP-luokitus	International Protection. Euroopassa käytössä oleva järjestelmä sähkölaitteiden tiivyyden määrittämiseksi.
UHF	Ultra High Frequency. Mikroaaltojen taajuusalue välillä 0,3 - 3 GHz.
VHF	Very high frequency. Mikroaaltojen taajuusalue välillä 30 - 300 MHz.
QAM	Quadrature Amplitude Modulation. Modulointitekniikka joka yhdistää vaihemodulaation ja amplitudimodulaation.

QPSK	Quadrature Phase Shift Keying. Nelivaiheinen vaiheavainnus.
BPSK	Binary Phase Shift Keying. Binäärinen vaiheavainnus.
BER	Bit Error Rate. Bittien virhemäärä.
SNR	Signal To Noise Ratio. Signaali-kohinasuhde.
OMC	Operation and Management Center. Carlsonin kognitiiviradiolaitteiden hallintasovellus.

# 1 JOHDANTO

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää, miten nykyaikaisen digitaalisen videovalvontakuvan välittäminen onnistuu kognitiiviradiotekniikalla. Työ aloitettiin tekemällä erilaisia mittauksia kognitiiviradiolaitteille laboratorioolosuhteissa. Työn tavoitteena on toteuttaa laboratoriomittausten pohjalta kevyt kaksi valvontakameraa sisältävä videovalvontajärjestelmän kokeiluympäristö. Työ tehtiin Turun ammattikorkeakoulun radiolaboratoriossa Tekesin rahoittaman WISE2-projektin osana. Tarkoituksena on, että työ palvelee WISE2-projektissa tulevaisuudessa tehtäviä videovalvontatestejä.

Digitaalisen kameran erot analogiseen kameraan ovat sekä erilainen kuvansiirtotekniikka että erilainen kuvakenno. Digitaalisessa kamerassa valo tulee CMOS-kennolle, joka mahdollistaa suuren resoluution käytön. Tämän jälkeen kuvavirta pakataan ja lähetetään digitaalisena bittivirtana tietoverkkoon. Etuna digitaalisessa kuvansiirrossa on häviämättömyys, eli kuvaa siirrettäessä kuvanlaatu ei heikkene.

Suurin osa nykyaikaisista digitaalisista valvontakameroista käyttää H.264-koodekkia videokuvan pakkaamiseen. H.264 on vuonna 2003 valmistunut videonpakkausstandardi, joka tunnetaan myös nimellä MPEG-4 AVC (Moving Picture Experts Group - 4 Advanced Video Coding). H.264-standardi kehitettiin syrjäyttämään laajasti käytössä ollut MPEG-2-standardi. H.264-standardi kehitettiin avaamaan uusia mahdollisuuksia sovelluksille, joita ei aikaisemmilla videonpakkausstandardeilla pystytty riittävän hyvin toteuttamaan. Esimerkiksi teräväpiirtovideoissa käytetään H.264:ää. Teräväpiirtovideoiksi luokitellaan video, jonka pystysuuntainen erottelukyky on vähintään 720 pikseliä. Molemmat tässä työssä käytetyt valvontakamerat käyttävät H.264-koodekkia sekä pystyvät välittämään teräväpiirtokuvaa. H.264/AVC on tällä hetkellä yleisin käytössä oleva videokoodekki. Uudempi versio koodekista on kuitenkin jo kehitetty, joka on H.265/HEVC (High Efficiency Video Coding). Tämä videokoodekki kykenee pakkaamaan aiempaa laadukkaampaa videokuvaa puolet pienempään tilaan.

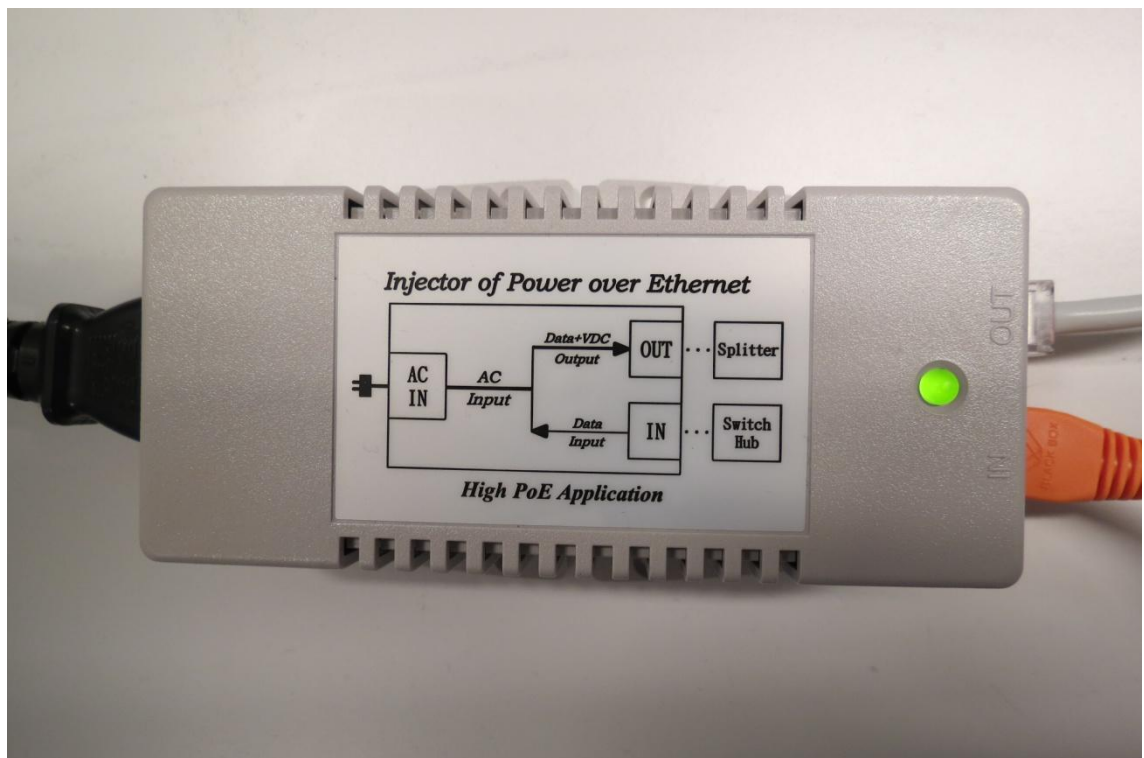


Oletettavaa on, että H.265/HEVC korvaa vähitellen H.264/AVC-koodekin. [1], [2]

## 2 LAITTEISTO

### 2.1 Power Over Ethernet (PoE) -tekniikka

Tässä työssä sekä digitaaliset valvontakamerat että kognitiiviradiolaitteista terminaalit saivat virtansa PoE-tekniikkaa käyttävistä PoE-injektoreista (Kuva 1). PoE-tekniikan avulla pystytään syöttämään laitteiden tarvitsema käyttöjännite parikaapelissa. Ensimmäinen PoE-standardi 802.3af jakoi virrankulutuksen neljään eri luokkaan. Ensimmäisen luokan laitteet saivat kuluttaa enintään 3,84 W, kun taas viimeisessä luokassa tehonkulutus sai olla jopa 12,95 W. Laitteiden kehittyessä 802.3af-standardin sähkönkulutuksen yläraja tuli nopeasti vastaan. Tästä seurasi uusi 802.3at-standardi, jossa päätelaitteiden teho voi olla melkein kaksinkertainen aikaisempaan standardiin verrattuna. [3]



**Kuva 1** Työssä käytetty PoE-injektori. Injektorin päällä olevasta kuvasta selviää hyvin injektorin toimintaperiaate.

## 2.2 Kognitiivinen radiotekniikka

Kognitiivinen radio on ohjelmistoradion kehitysversio, joka oppii vuorovaikutussuhteessa käyttäjänsä ja toimintaympäristöön. Kognitiivista radiota aloitettiin kehittämään, koska havaittiin että radiotaajuuskaistoja käytetään liian tehottomasti. Kognitiivisella radiolla on kaksi selkeää päätavoitetta: luotettava kommunikointi sekä tehokas radiospektrin käyttö. Ensimmäinen kaupallinen kognitiivinen radio esiteltiin Amerikassa vuonna 2006. Suomessa kognitiivisen radion kokeilutaajuusalueeksi on määritelty 470 - 790 MHz, joka on myös digitaalisen televisioverkon taajuusalue. Tämän taajuusalueen käyttämättömiä taajuuksia kutsutaan valkoisiksi TV-alueiksi (TV white space). [4]

Kognitiiviselta radiolta voidaan erotella selkeästi seuraavat ominaisuudet:

- paikannuskyky
- lähetystehon säätelykyky
- ketteryys ja joustavuus taajuuksien hallinnassa ja käytössä
- adaptiivinen modulointi.

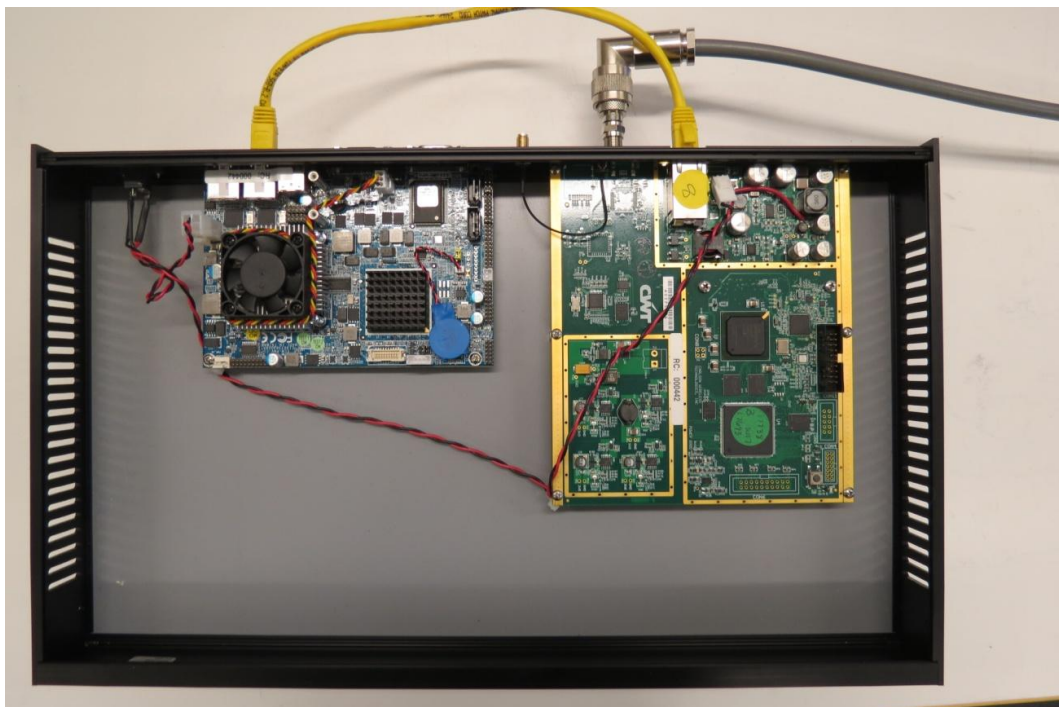
## 2.3 Kognitiiviset radiolaitteet

Tässä työssä käytetyt kognitiiviradiolaitteet on valmistanut yhdysvaltalainen Carlson-niminen radiolaittevalmistaja. Laitteet kuuluvat RuralConnect Generation II -tuotesarjaan, jonka laitteet toimivat valkoisilla TV-taajuusalueilla(UHF 470-786MHz). Laitteet mahdollistavat jopa 16 Mbit/s siirtonopeuden, joka kattaa monien nykyaikaisten sovellusten tarpeen. Kehittynyt vastaanotinteknologia estää suuritehoisia TV-signaaleja häiritsemästä kognitiiviradion omaa toimintaa. Järjestelmän taajuus, siirtonopeus sekä kaistanleveys ovat helposti muokattavissa tarpeiden mukaiseksi. Protokolla on balansoitu 70 % downlink-suuntaan ja 30 % uplink-suuntaan. Radiojärjestelmä on aikajakodupleksoitu (TDD - Time Division

Duplex), eli tieto on ajallisesti lomitettu. Tämä tarkoittaa sitä, että samalla taajuudella voidaan vastaanottaa ja lähettää samanaikaisesti. [5]

## Tukiasema

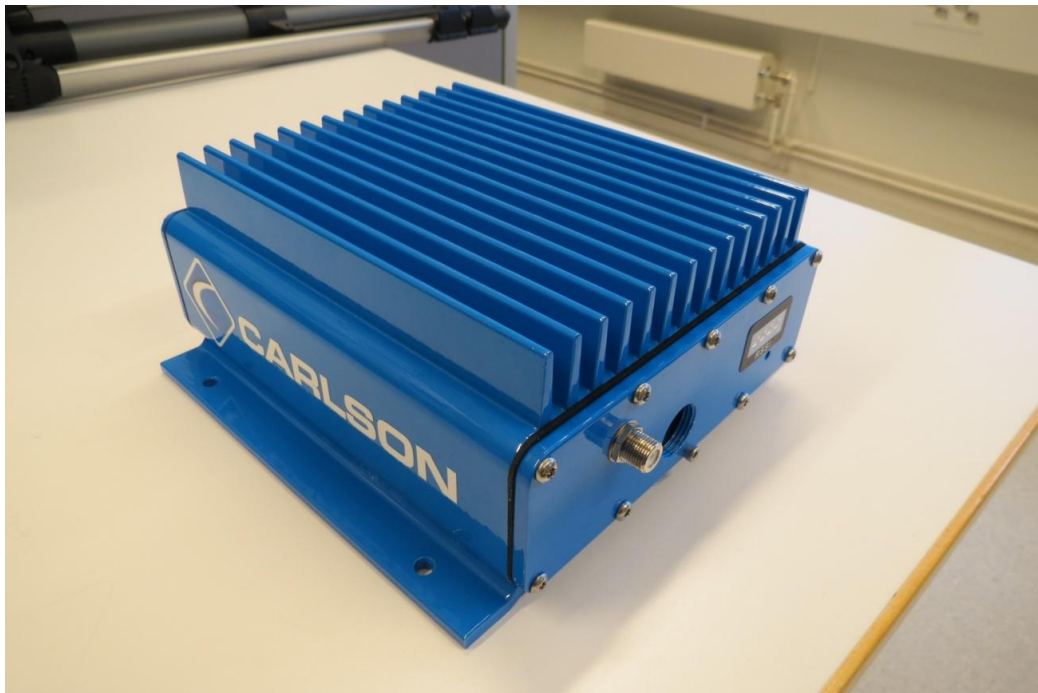
Tukiasema on laite, jonka ympärille kognitiiviradioverkko rakennetaan. Tukiasemassa on laitettu selvästi erikseen tietokone- sekä radiomoduuli (Kuva 2). Moduulit on koteloitu yhteen yhteiseen 19 tuumaiseen mustaan teräskoteloon, ja tämä kokonaisuus painaa 2,3 kg. Tukiasema on suunniteltu käytettäväksi sisätiloihin, ja usein se sijoitetaan esimerkiksi rakkikaappiin. Tukiasemalla tulee olla kiinteä internetyhteys, jonka avulla se kommunikoi tietokannan kanssa. Tietokannasta tukiasema saa esimerkiksi tiedon vapaina olevista kanavista, sekä myös laitteiden ohjelmistojen päivitys tapahtuu tietokannan kautta. Tukiaseman lähetysteho on  $+28 \text{ dBm} \pm 1 \text{ dB}$  koko taajuusalueella. [6]



**Kuva 2** Carlson RuralConnect Generation II Base Station ilman kotelon kantta. Tietokonemoduuli (vasemmalla) ja radiomoduuli (oikealla) selvästi erillään.

## Terminaali

Terminaalit eli CPE:t ( Customer Premises Equipment) ovat asiakaspäätteitä, joilla kognitiiviradioverkko rakennetaan tukiaseman ympärille. Radiomoduuli on identtinen tukiaseman kanssa. Terminaalin operointilämpötila on  $-30^{\circ} - +55^{\circ} \text{ C}$ . Terminaali on suunniteltu siten, että sitä voidaan käyttää myös ulkotiloissa, eli se kestää myös kosteutta. Tämän huomaa selvästi koteloinnin rakenteesta, joka on toteutettu 9 tuumaisella alumiinikotelolla. Terminaali painaa noin 1,4 kg. Kätevän koteloinnin ansiosta terminaalin kiinnitys onnistuu helposti esimerkiksi seinään (Kuva 3). Terminaalin lähetysteho on  $+27 \text{ dBm} \pm 1 \text{ dB}$  koko taajuusalueella. Virransyöttö terminaaliin tapahtuu PoE-tekniikalla. [6]



**Kuva 3** Carlson RuralConnect Generation II CPE terminaali.

## 2.4 Digitaalinen IP-valvontakameratekniikka

IP-kameratekniikka termiä käytetään kameroista, jotka voidaan liittää suoraan TCP/IP-verkkoon. IP-pohjaisten valvontakameroiden tekniset ominaisuudet ovat kehittyneet kovaa vauhtia viime vuosina ja niiden käyttö yleistyykin koko ajan, koska kameroiden hinnat kehittyvät kuluttajaystävällisemmiksi.

### 2.4.1 CMOS-kuvakenno

IP-pohjaisissa turvakameroissa käytetään suurimmaksi osaksi nykyaikaisia CMOS-kuvakennoja kuvan muodostamiseen. Toisin kuin analogisten kameroiden CCD-kuvakennoissa, CMOS-kennoissa kaikki kuvankäsittelyyn liittyvät DSP-toiminnot on integroitu samalle IC-piirille ja siksi kamerassa ei tarvita erillistä DSP-prosessoria. CMOS-kennossa kuvan pikselit digitalisoidaan yksi kerrallaan, toisin kuin CCD-kennossa. CMOS-kennot ovat halvempia valmistaa kuin CCD-kennot ja viime vuosina kuvakennojen kehitys onkin painottunut pääasiassa CMOS-kennoihin. [7]

### 2.4.2 Pysyvä ja muuttuva bittinopeus

Pysyvässä bittinopeudessa (CBR) bittinopeus säilyy koko ajan samana. Tämä tarkoittaa sitä, että tietyssä aikayksikössä käytetään aina saman verran tilaa tiedon tallennukseen tai siirtämiseen. Pysyvää bittinopeutta käytetään usein sovelluksissa, joissa käyttäjää kohden varattua tietty siirtonopeus. Näitä sovelluksia ovat esimerkiksi streaming-videolähetykset. [8]

Muuttuvassa bittinopeudessa (VBR) bittinopeus vaihtelee videon eri osien välillä, eli tilankäyttö tallennuksen ja siirtämisen osalta valitaan sen hetkisten ominaisuuksien ja tarpeiden mukaan. Kuvanlaatu säilyy tasaisempaan videon läpi, koska muuttuva bittinopeus mahdollistaa korkeamman bittinopeuden enemmän informaatiota sisältävissä videon osissa. Muuttuva bittinopeus tarjoaa siis parhaan mahdollisen laadun käytössä olevaan tilaan nähden. [9], [10]

### 2.4.3 H.264-standardi ja -koodekki

Kaikki merkittävät videonkoodausstandardit on kehitetty VCEG- (Video Coding Experts Group) tai MPEG (Moving Picture Experts Group) työryhmissä. VCEG julkaisee videonkoodausta käsitteleviä suosituksia jotka ovat nimeltään H.26x. MPEG-työryhmän suositukset ovat nimellä MPEG-x. Viimeisen reilun vuosikymmenen aikana markkinoille on syntynyt paljon uusia sovelluksia kehittyneiden tietoverkkojen ansiosta. 2000-luvulle tultaessa olemassa olevat koodekit eivät kuitenkaan kyenneet kunnolla palvelemaan uusia sovelluksia. Tästä syystä VCEG- ja MPEG-työryhmät päättivät yhdessä kehittää uuden videonkoodausstandardin, jota varten ne perustivat yhteisen uuden työryhmän JVT:n (Joint Video Team), joka alkoi kehittää H.264-standardia. Standardille asetettiin mm. seuraavia tavoitteita:

- yksinkertainen rakenne
- hyvä virheensietokyky
- joustava soveltuvuus erilaisiin verkkoihin ja eri sovelluksien viivevaatimuksiin
- parempi kompressointikyky, tavoitteena kaksinkertainen pakkaussuhde aiempiin videonkoodausstandardeihin verrattuna.

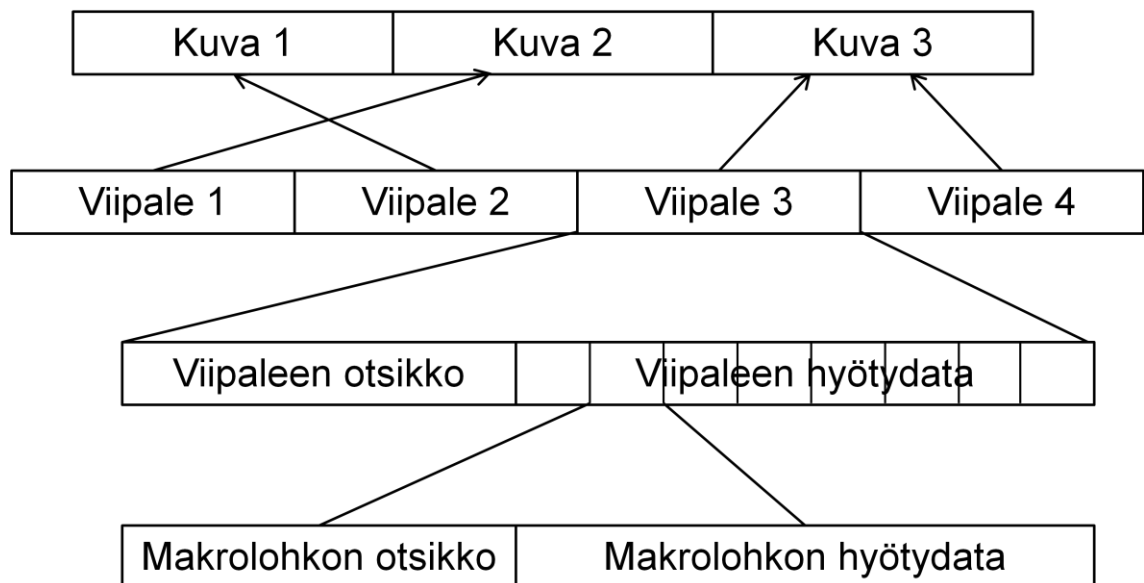
Tavoitteena oli siis tuoda markkinoille yleiskäyttöinen sekä teknisesti korkeatasoinen koodekki. Työ aloitettiin vuoden 2001 lopussa ja standardi valmistui keväällä 2003. Standardiin on tullut laajennuksia vuosina 2005 ja 2007. [1], [11]

Kaikki nykyaikaiset videonpakkausstandardit ovat lohkopohjaisia. Kuva jaetaan lohkoihin, joihin koodausoperaatiot kohdistetaan. Myös H.264 on lohkopohjainen videonkoodausstandardi, joka jakaa kuvan makrolohkoiksi. Jokainen makrolohko sisältää luminanssi- ja krominanssinäytearvoja, jotka kertovat jokaisesta pikselistä sen sisältämän väri- ja kirkkausinformaation. Yleisin koko makrolohkolle on 16 x 16 pikseliä. H.264 eroaa muista standardeista siten, että sen välttämättä tarvitse käsitellä makrolohkoja

kokonaisina 16x16-lohkoina. H.264 pystyy tarvittaessa jakamaan makrolohkoja pienempiin osiin eli partitioihin, jotka voidaan puolestaan jakaa pienempiin alipartitioihin. Makrolohkot ryhmitellään makrolohkojoukoiksi. Jokaisen partition koodausoperaatiot suoritetaan aina yksilöllisesti, jonka avulla saadaan lisättyä koodauksen tarkkuutta.

Makrolohkojoukot taas muodostavat viipaleen. Dekoodekki muodostaa kuvan yhden tai useamman viipaleen avulla. H.264:ssä on määritelty viisi erilaista viipaletyyppiä. Nämä viipaletyypit ovat I-, P-, B-, SI- ja SP-viipale. Tietyn viipaleen makrolohkot koodataan aina viipaleelle tyypillisellä tavalla. Viipaleiden muodostuksella on tarkoitus tarjota suojaa lähetyksessä tapahtuvia virheitä vastaan. H.264-koodekissa kuva ei palaudu täysin alkuperäiseksi dekodatessa, joten H.264-koodekki on häviöllinen koodaaja. [1]

H.264-standardin hierarkia on esitettyinä lohkokaaviossa kuvassa 4.



**Kuva 4** H.264-standardin hierarkia



#### 2.4.4 Digitaaliset valvontakamerat

Nykyään on tarjolla paljon laadukkaita kameroita suhteellisen halpaan hintaan. Tässä työssä oli käytössä kaksi kameraa, joista toinen soveltuu hyvin esimerkiksi vaativampaan käyttöön yrityksille ja toinen vaikka yksittäisen kuluttajan yksityisen videovalvonnan suorittamiseen.

##### **Milesight MS-C3366 valvontakamera**

Milesight valmistaa valvontakameroita, jotka on tehty vastaamaan yrityskäyttäjien tarpeita. Kaikki Milesightin kamerrat saavat virtansa PoE-tekniikalla (Power Over Ethernet), kuten suurin osa IP-kameroista. MS-C3366 on kestävä ja monipuolinen kameramalli joka on tehty ulkokäyttöön (Kuva 5). Videokuvan lähettäminen reaaliajassa onnistuu H.264-, MJPEG- sekä MPEG-4-muodossa. Tämän työn videovalvontajärjestelmässä käytettiin H.264-muotoa. Yökuvaus on mahdollista kamerassa olevien infrapunaledien avulla. Infrapunaledit voidaan asettaa aktivoitumaan hämärässä automaattisesti. Infrapunaledit näkyvät selvästi kameran kennossa kuvassa 1. Kameran hintaluokka on noin 500 €, joten se on työssä käytetyistä kameroista kalliimpi. [12]



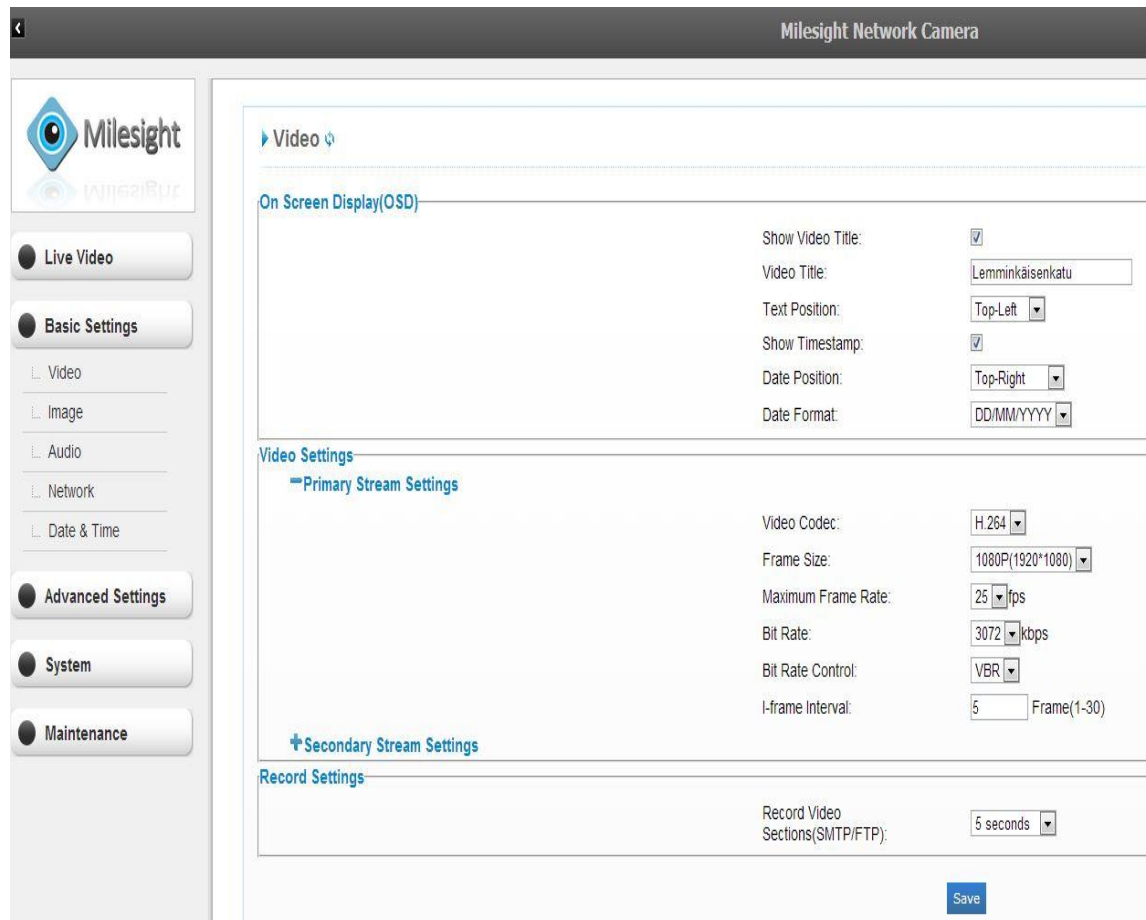
**Kuva 5** Milesight MS-C3366 valvontakamera ulkokäyttöön.

Tärkeimmät ominaisuudet ovat seuraavat:

- 1/3 tuuman progressiivinen 3,0 megapikselin CMOS-kenno
- 3,0 - 10,5 mm Motorized Zoom linssi
- suurin resoluutio 2048 x 1536 @ 15 fps sekä 1920 x 1080 @ 25 fps
- yökuvaus infrapunavalolla, kantama jopa 20 metriä
- ICR-suodatin, joka mahdollistaa valvonnan vuorokauden ympäri
- kuvan pakkaus H.264-, MJPEG- ja MPEG-4-muodoissa
- yhtäaikaiset H.264 ja Motion JPEG-streamit
- wide Dynamic Range (WDR) joka mahdollistaa selkeän kuvan vahvassa taustavalossa
- microSDHC-korttipaikka joka mahdollistaa tallennuksen varmistamisen
- virransyöttö joko 12 V DC-adapterilla tai Ethernetin yli (IEEE 802.3af PoE)
- ONVIF/PSIA -yhteensopiva
- IP66-luokitus, käyttölämpötila -40° - +60° C.

Valvontakameran ominaisuudet selviävät tarkemmin liitteestä 6. [12]

Valvontakameran hallinta tapahtuu selaimella toimivan www-sovelluksen avulla (Kuva 6). Sovelluksen avulla voidaan toistaa reaaliaikaista videokuvaa sekä muuttaa kameran asetuksia. Kuvassa 6 näkyy Video-välilehden alta löytyvät asetukset, jotka olivat tärkeimpiä tässä työssä määritettäviä asetuksia. [12]



**Kuva 6** Milesightin hallintasovellus kameralle. Toimii web-sovelluksena selaimen kautta.

### D-Link DCS-7010L IP-kamera

DCS-7010L on suunniteltu käytettäväksi ulkotiloihin ympäri vuorokauden (Kuva 7). Kamera on varustettu infrapunatekniikalla sekä pilviominaisuuksilla. Kamerassa on kaksisuuntainen äänilyhteys, jolla yritykset voivat esimerkiksi kommunikoida vierailijoidensa kanssa. Videokuvan lähettäminen reaaliajassa onnistuu H.264-, MJPEG- sekä MPEG-4-muodossa. Myös tässä kamerassa virransyöttö onnistuu PoE-tekniikalla. Kameran hintaluokka on noin 320 euroa. [13]



**Kuva 7** D-Link DCS-7010L IP-kamera ulkokäyttöön.

Tärkeimmät ominaisuudet ovat seuraavat:

- suurin resoluutio 1280 x 720 @ 25fps
- kuvan pakkaus H.264-, MJPEG- ja MPEG-4-muodoissa
- hämärien alueiden valvontaan tarkoitettu IR LED-valaisin (kantama 10 metriä)
- mikrofoni ja audio-out kaksisuuntaiseen ääniyhteyteen
- virransyöttö joko 5V DC-adapterilla tai Ethernetin yli (IEE 802.3af PoE)
- IP66-luokitus, käyttölämpötila -25° - +50° C
- ONVIF-rajapintatuki. [13]

Myös tämän valvontakameran hallinta tapahtuu selaimen kautta toimivan web-sovelluksen avulla. Sovelluksen avulla voidaan toistaa reaaliaikaista videokuvaa sekä muuttaa kameran asetuksia. Kuvassa 8 näkyvät Audio and Video -välilehden asetukset, jotka olivat tärkeimpiä tässä työssä määritettäviä asetuksia. Kameralle on mahdollista luoda kolme erilaista videoprofiilia. Jokaiselle profiilille voidaan määrittää videokuvan asetukset erikseen. Tämä mahdollistaa sen, että voidaan luoda valmiiksi profiileja erilaisia käyttötarkoituksia varten. [13]

**D-Link**

DCS-7010L // LIVE VIDEO SETUP ADVANCED MAINTENANCE STATUS HELP

Setup Wizard  
Network Setup  
Dynamic DNS  
Image Setup  
Audio and Video  
Preset  
Time and Date  
Event Setup  
SD Card  
Logout

**AUDIO AND VIDEO**  
This section allows you to configure the sound and video of your camera. You can configure different settings depending on whether you are viewing content from a PC or a Mobile Phone / PDA.  
Save Settings Don't Save Settings

**VIDEO SETTINGS**  
Aspect ratio: 16:9  
Warning: Change the aspect ratio will clear the settings of privacy mask and preset and motion detection.  
Save Default

**VIDEO PROFILE 1**  
Mode: H.264  
Frame size: 1280x720  
View window area: 1280x720  
Maximum frame rate: 25  
Video quality: Constant bit rate (2M), Fixed quality (Excellent)

**VIDEO PROFILE 2**  
Mode: H.264  
Frame size: 640x360  
View window area: 640x360  
Maximum frame rate: 25  
Video quality: Constant bit rate (1M), Fixed quality (Excellent)

**VIDEO PROFILE 3**  
Mode: H.264  
Frame size: 320x176  
View window area: 320x176  
Maximum frame rate: 25  
Video quality: Constant bit rate (512K), Fixed quality (Excellent)

**AUDIO SETTINGS**  
Encoding: G.711  
Audio in off:   
Audio in gain level: 20dB  
Audio out off:   
Audio out volume level: 10  
Save Settings Don't Save Settings

**Helpful Hints..**  
Higher frame size, frame rate and bit rate gives better video quality. At the same time, it requires more network bandwidth.  
For best viewing results on a mobile phone, we suggest setting the Frame Rate to 5fps and the Bit Rate to 64 kbps.  
**Aspect Ratio:** An aspect ratio is the ratio between the width and height of an image.  
**Mode:** It can be H.264, JPEG, or MPEG4. In JPEG mode, the video frames are independent; MPEG4 consumes much less network bandwidth than JPEG, and H.264 can use less bandwidth but better image quality.  
**Frame Size:** 7 options exist for the sizes of the video display. It is recommended using 176x144 for mobile viewing and 1280x800 for computer viewing.  
**View window area:** The viewing region of the current video stream.  
**Max frame rate:** The maximum number of frames that is displayed in 1 second. 30fps is the highest video quality for this camera. In general, any frame rate above 15 fps is imperceptible to the human eye.  
**Video Quality:** This limits the maximal refresh frame rate, which can be combined with the "Fixed quality" to optimize the bandwidth utilization and video quality. If the User wants to fix the bandwidth utilization regardless of the video quality, choose "Constant bit rate" and select the desired bandwidth.  
**Audio Settings:** You can use the option to switch the external microphone on/off or adjust the volume.

**Kuva 8** D-Linkin hallintasovellus kameralle. Toimii www-sovelluksena selaimen kautta.

## 2.5 Antennit

Tässä työssä käytössä oli kaksi erilaista antennia, jotka eroavat toisistaan antennityypeinä. Toinen antenneista on ympärisäteilevä antenni (Aerial D100-1000) ja toinen on suuntaava antenni (Carlson Log Periodic Directional UHF Antenna). Videovalvontajärjestelmässä tukiaseman käytössä oli Aerialin antenni ja terminaalien käytössä Carlsonin antenni.

## Aerial D100-1000 Biconical Antenna

D100-100 on ympärisäteilevä VHF/UHF-alueen antenni (Kuva 9). Antenni on kiinteänä ICT-talon katolla noin 40 metrin korkeudella merenpintaan verrattuna. Antennia hyödynnettiin tässä työssä käyttämällä sitä tukiaseman lähetyks/vastaanottoantennina. Materiaaleina antennissa on käytetty alumiinia, lasikuitua, lasilla vahvistettua polyeteeniä sekä kuumagalvanoitua terästä. Antennin tuulipinta-ala on 0,45 m<sup>2</sup> ja sen on arvioitu pystyvän operoimaan vielä 40 m/s tuulessa. [14]



**Kuva 9** Aerial D100-1000 Biconical Antenna. Käytettiin tässä työssä tukiaseman antennina.

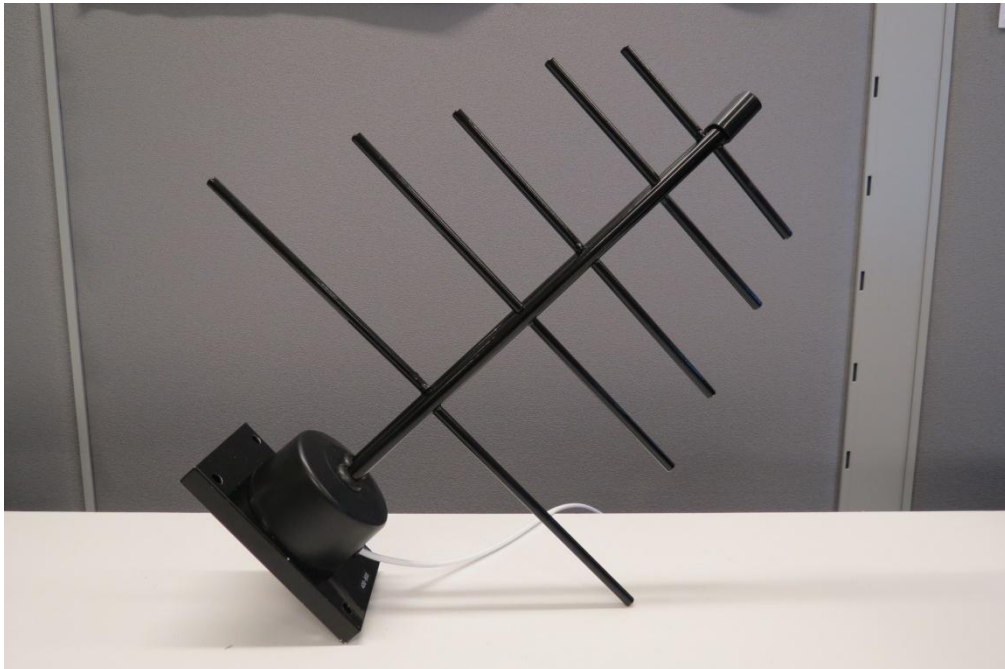
Tärkeimmät ominaisuudet ovat seuraavat:

- taajuusalue 100-1000 MHz
- vertikaalipolarisoitu
- antennin vahvistus 2 dBi
- paino 17 kg
- jännitteenä määritelty seisovan aallon suhteen maksimi 2,0:1

- suurin jatkuvan tehon kesto 0,5 kW [14]

### Carlson UHF Antenna for RuralConnect CPE

Tämä Carlsonin valmistama logaritmis-periodinen suuntaava UHF-taajuusalueen antenni on suunniteltu käytettäväksi Carlsonin CPE-terminaalien kanssa. Antennin rakenne on samanlainen kuin suuntaavilla antenneilla yleensä on (Kuva 10). Antennin polarisaatio on mahdollista valita asentaessa vertikaaliseksi tai horisontaaliseksi. Polarisaatioiden suuntakuviot on esitettyinä kuvassa 11. Antenni on valmistettu alumiinista sekä messingistä. [15]



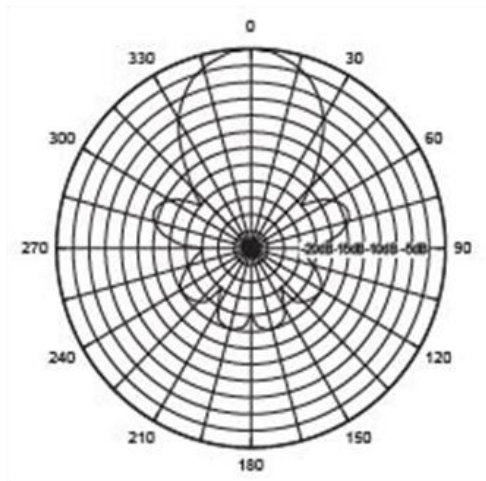
**Kuva 10** Carlsonin logaritmis-periodinen suuntaava UHF-alueen antenni. Käytettiin tässä työssä terminaalien antennina.

Tärkeimmät ominaisuudet ovat seuraavat:

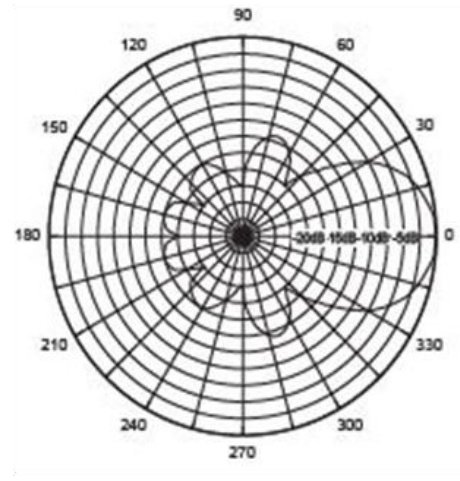
- taajuusalue 0,3 - 3 GHz
- antennin suuntaavuus kattaa vertikaalisesti 35° keilan sekä horisontaalisesti 30° keilan
- antennin vahvistus on 9 dBi
- jännitteenä määritelty seisovan aallon suhteen maksimi 1,5:1

- aktiivielementtejä 10 kappaletta
- paino 1,3 kg. [15]

Horisontaalinen suuntakuvi



Vertikaalinen suuntakuvi

**Kuva 11** Carlsonin UHF-antennin polarisaatioiden suuntakuviot. [15]



## 3 MITTAUKSET JA MITTAUSTULOKSET

### 3.1 Kognitiiviradioiden laboratoriomittaukset

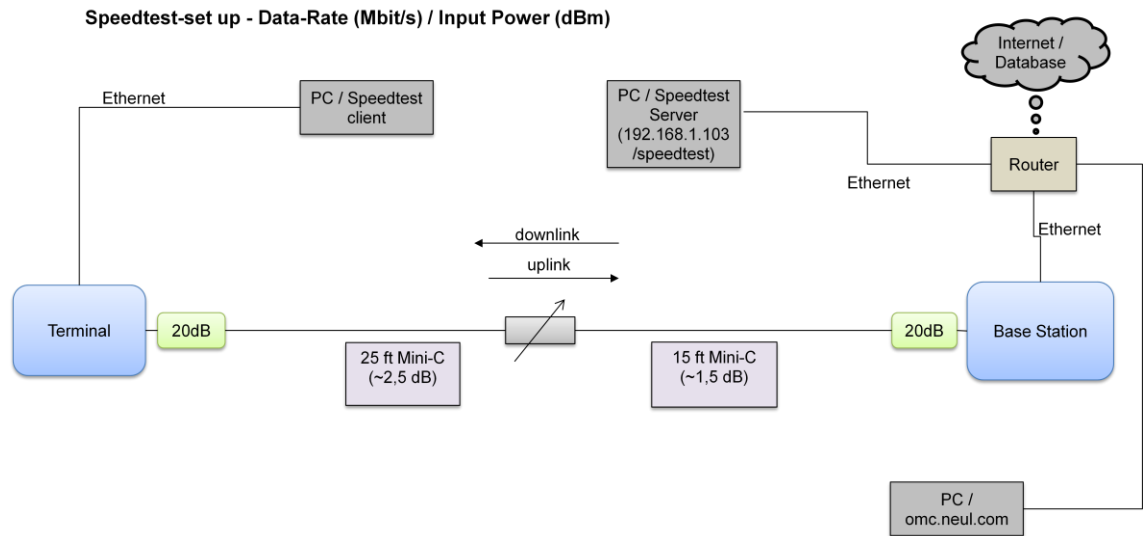
Kognitiiviradioille suoritettiin erilaisia mittauksia laboratorio-olosuhteissa niiden ominaisuuksien selvittämiseksi. Ideana oli, että mittaustulokset ovat apuna videovalvontasovellusta toteutettaessa.

#### 3.1.1 Tiedonsiirtonopeuksien mittaaminen

Tiedonsiirtonopeusmittauksessa mitattiin radiolaitteiden tiedonsiirtonopeutta (Mbit/s) vastaanotetun tehon (dBm) funktiona. Vertailuelementin saamiseksi mittaus tehtiin identtisenä kahdelle eri terminaalille. Mittaus suoritettiin kuudella eri modulaatiolla (16-QAM, QPSK, BPSK, BPSK2, BPSK4 ja BPSK8) sekä kaikilla näillä modulaatioilla kahdella eri koodaussuhteella (1/2 ja 3/4).

#### **Mittausjärjestelyt**

Mittaus suoritettiin Speedtest Mini -nimisen selainsovelluksen avulla. Mittausjärjestelyissä tukiaseman päähän laitettiin reititin, johon yhdistettiin tukiaseman lisäksi tietokone, jossa ylläpidettiin Speedtestin palvelinta. Reitittimen kautta saatiin internetyhteys tukiaseman tietokantaa varten. Tukiaseman lisäksi terminaalin päässä oli tietokone. Tällä tietokoneella käytettiin Speedtestin selainsovellusta, joka ilmoitti tiedonsiirtonopeuden sekä uplink- että downlink-suuntaan. Vastaanotettua tehoa säädettiin tukiaseman ja terminaalin välissä olevan säädettävän vaimentimen avulla. Mittausjärjestelyt selviävät tarkemmin kuvan 12 lohkokaaviosta.

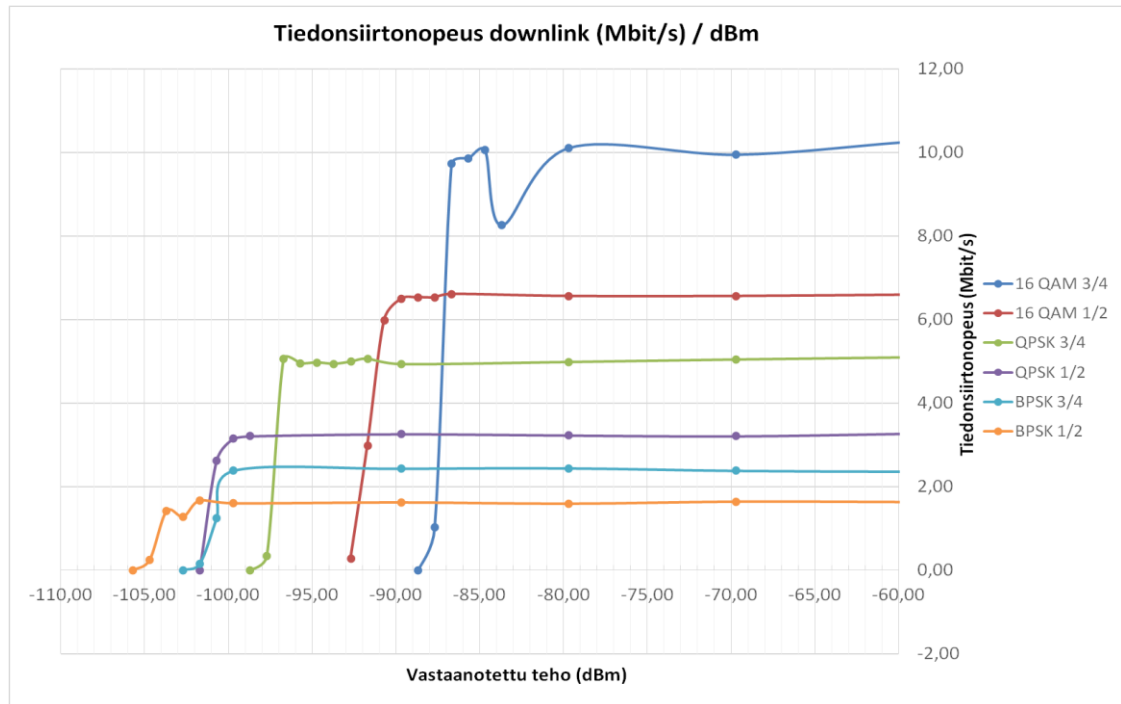


**Kuva 12** Tiedonsiirtonopeusmittauksen mittausjärjestelyt lohkokkaaviona.

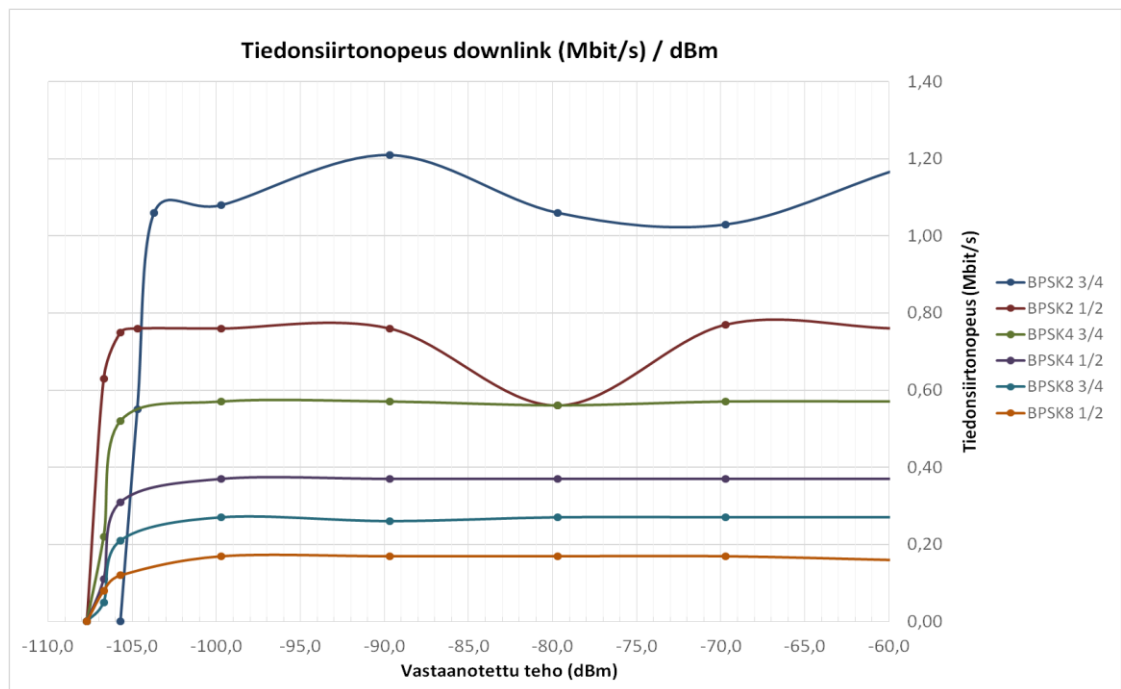
Tiedonsiirtonopeuden lisäksi mittauksessa tarkasteltiin latenssia tukiaseman ja terminaalin välillä. Latenssin mittaaminen suoritettiin Windowsin komentoriviltä toimivan Ping nimisen TCP-IP-protokollan työkalun avulla.

### Mittaustulokset terminaalille CPE491

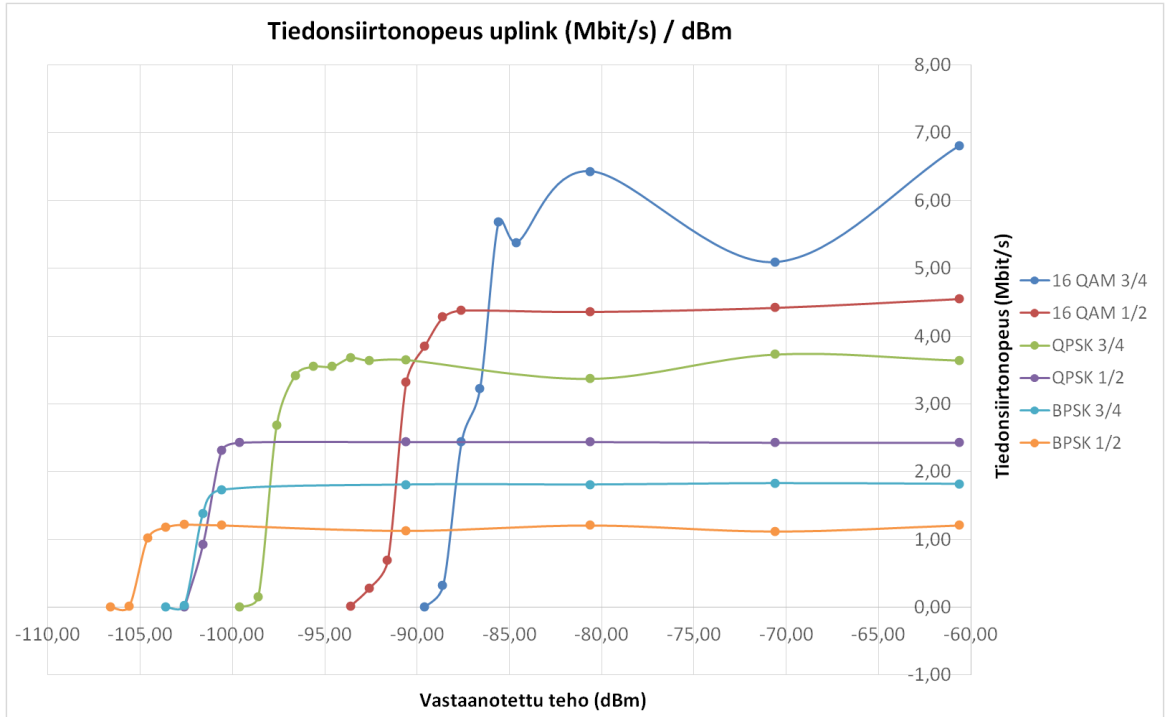
Tiedonsiirtonopeuden mittaaminen suoritettiin ensimmäisenä CPE491-terminaalille. Kuvissa 13, 14, 15 ja 16 on esitettyä mittaustulokset graafisesti ja ne löytyvät lisäksi liitteissä 2, 3 ja 4 olevista taulukoista.



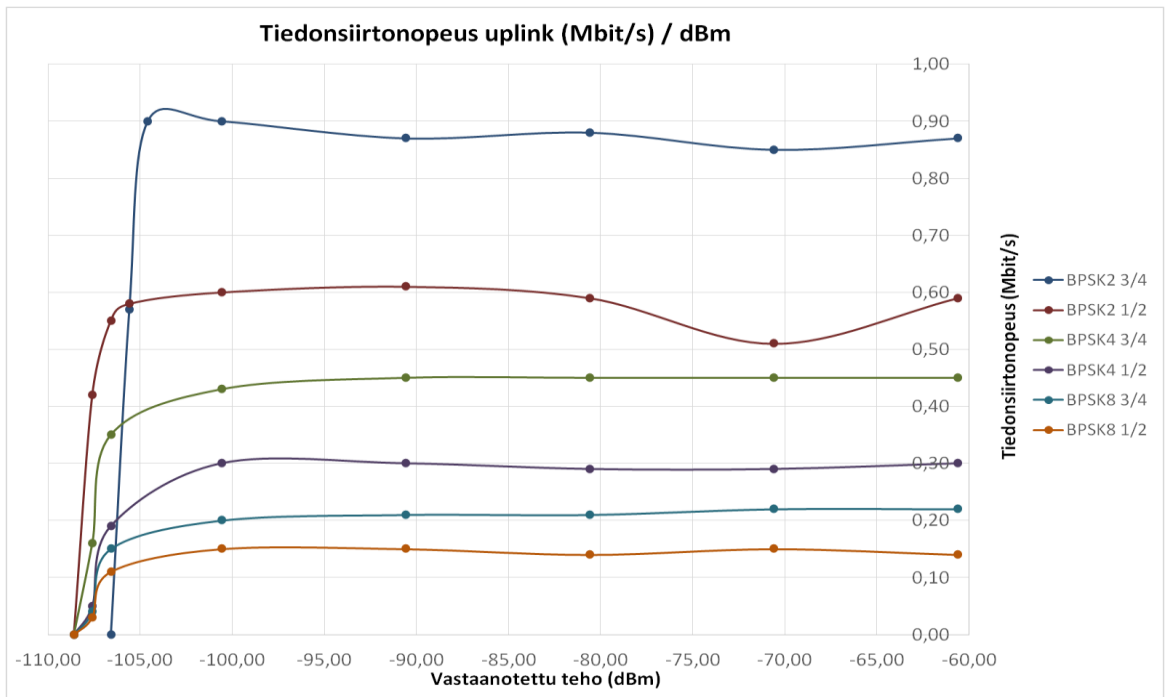
**Kuva 13** Downlink-suunnan (Tukiasema -> terminaali) tiedonsiirtonopeus vastaanotetun tehon funktiona terminaalille CPE491.



**Kuva 14** Downlink-suunnan (Tukiasema -> terminaali) tiedonsiirtonopeus vastaanotetun tehon funktiona terminaalille CPE491.



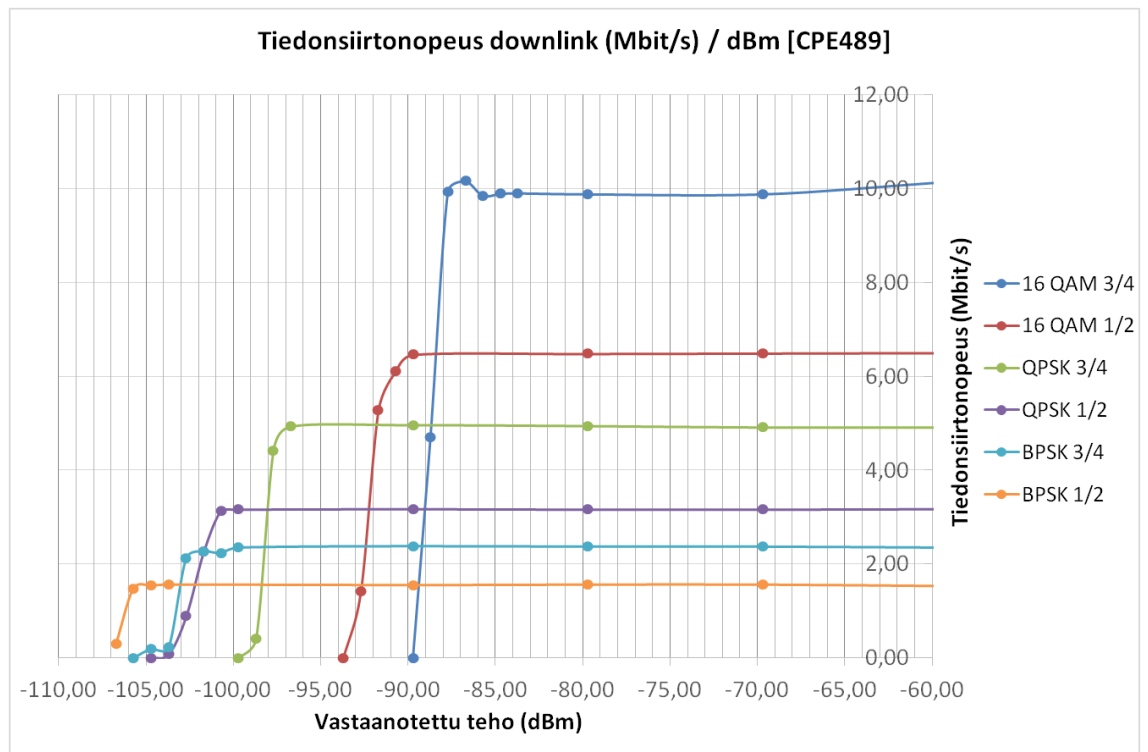
**Kuva 15** Uplink-suunnan (Terminaali -> tukiasema) tiedonsiirtonopeus vastaanotetun tehon funktiona terminaalille CPE491.



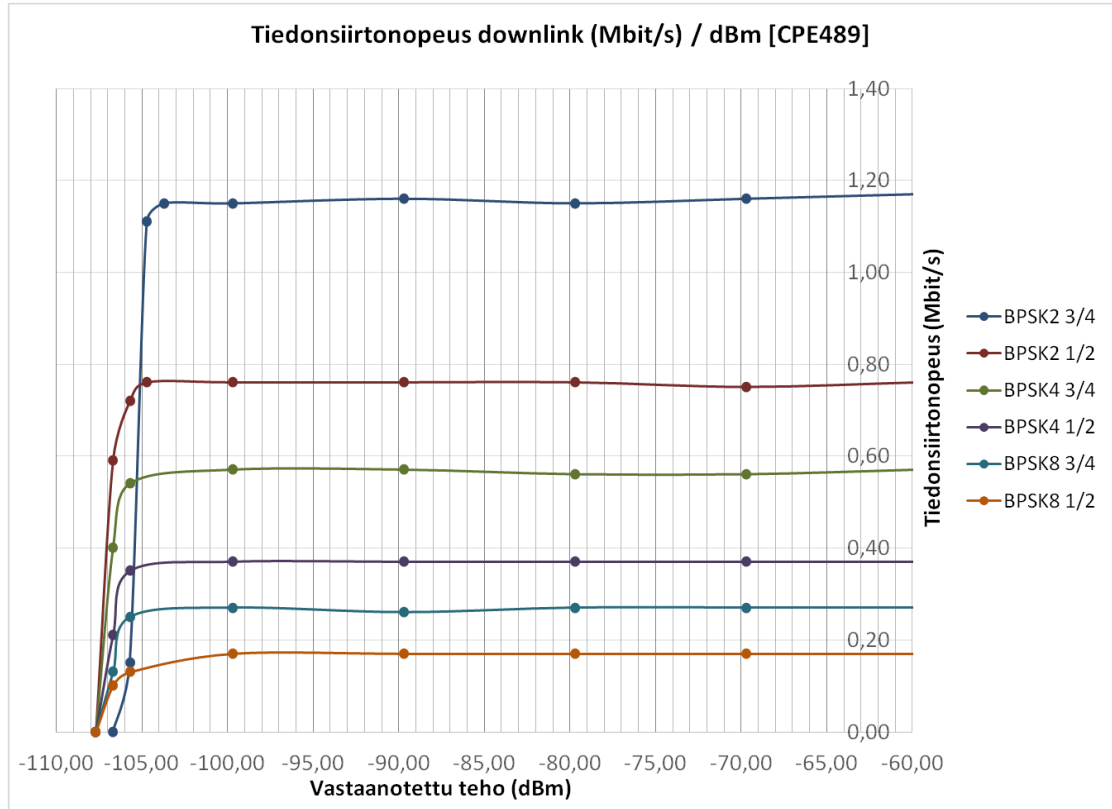
**Kuva 16** Uplink-suunnan (Terminaali -> tukiasema) tiedonsiirtonopeus vastaanotetun tehon funktiona terminaalille CPE491.

## Mittaustulokset terminaalille CPE489

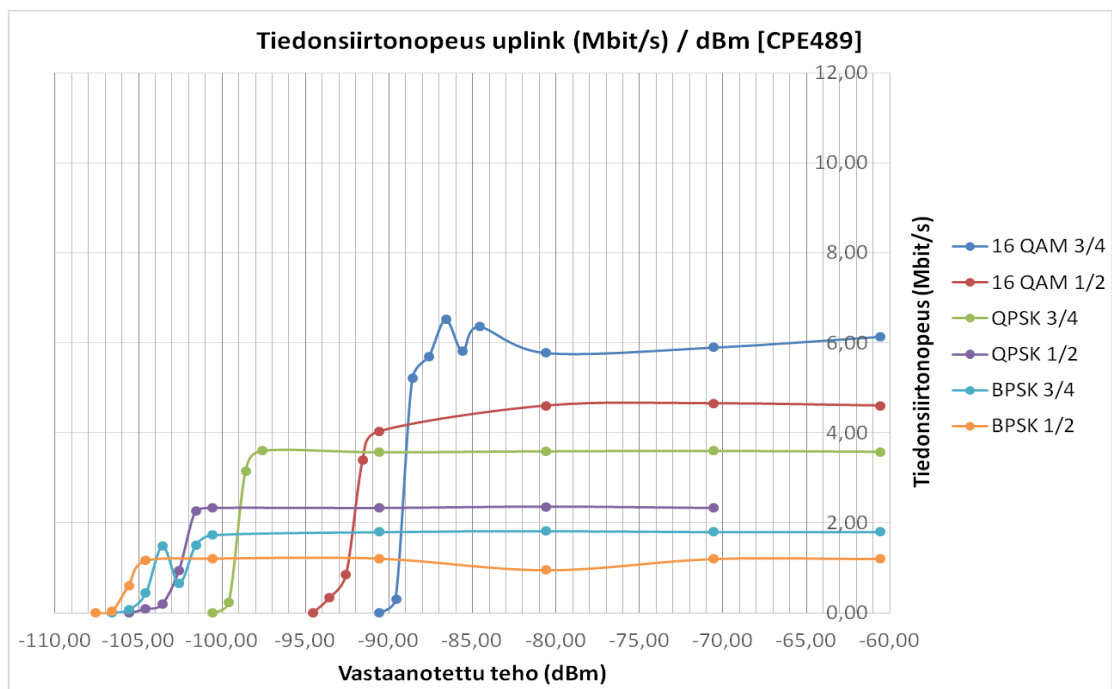
Jälkimmäisenä tiedonsiirtonopeuden mittaaminen suoritettiin CPE489-terminaalille. Kuvissa 17, 18, 19 ja 20 on esitettyä mittaustulokset graafisesti ja ne löytyvät lisäksi liitteissä 5 ja 6 olevista taulukoista.



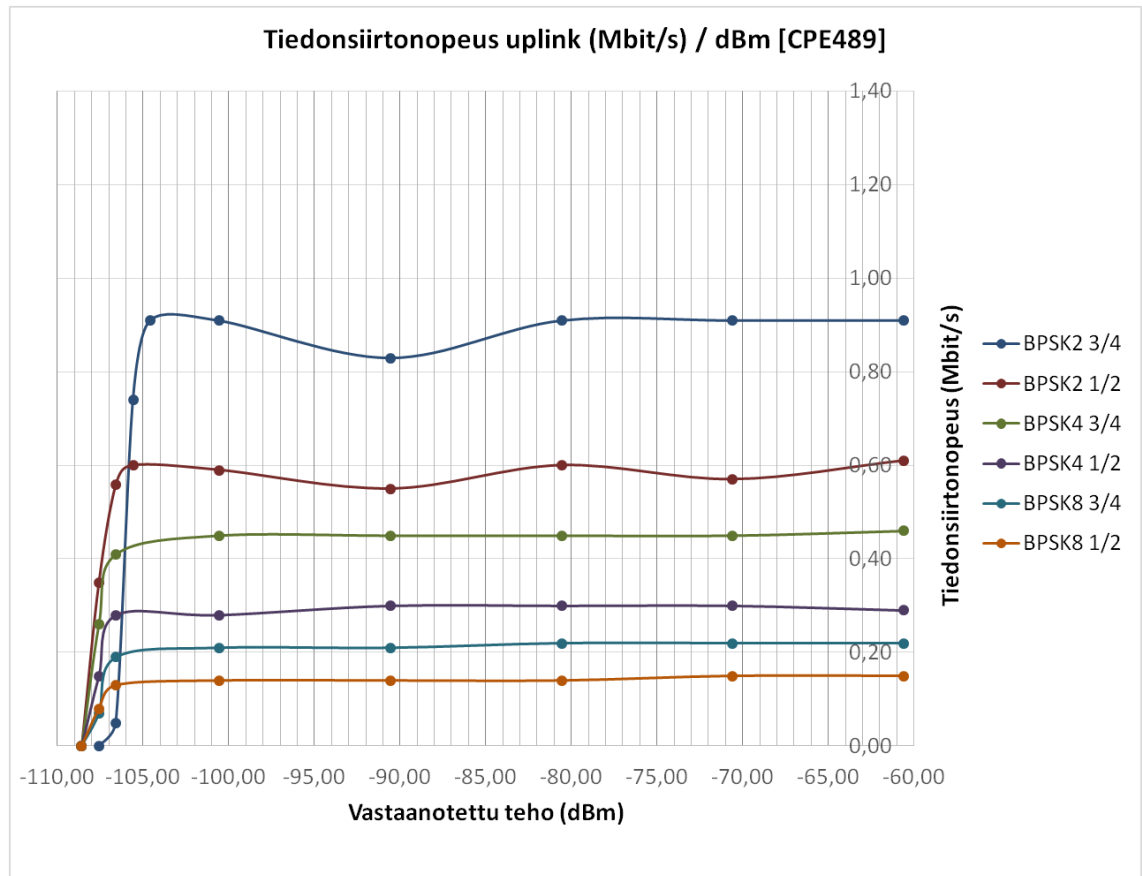
**Kuva 17** Downlink-suunnan (Tukiasema -> terminaalii) tiedonsiirtonopeus vastaanotetun tehon funktiona terminaalille CPE489.



**Kuva 18** Downlink-suunnan (Tukiasema -> terminaali) tiedonsiirtonopeus vastaanotetun tehon funktiona terminaali CPE489.



**Kuva 19** Uplink-suunnan (Tukiasema -> terminaali) tiedonsiirtonopeus vastaanotetun tehon funktiona terminaali CPE489.



**Kuva 20** Uplink-suunnan (Tukiasema -> terminaali) tiedonsiirtonopeus vastaanotetun tehon funktiona terminaalille CPE489.

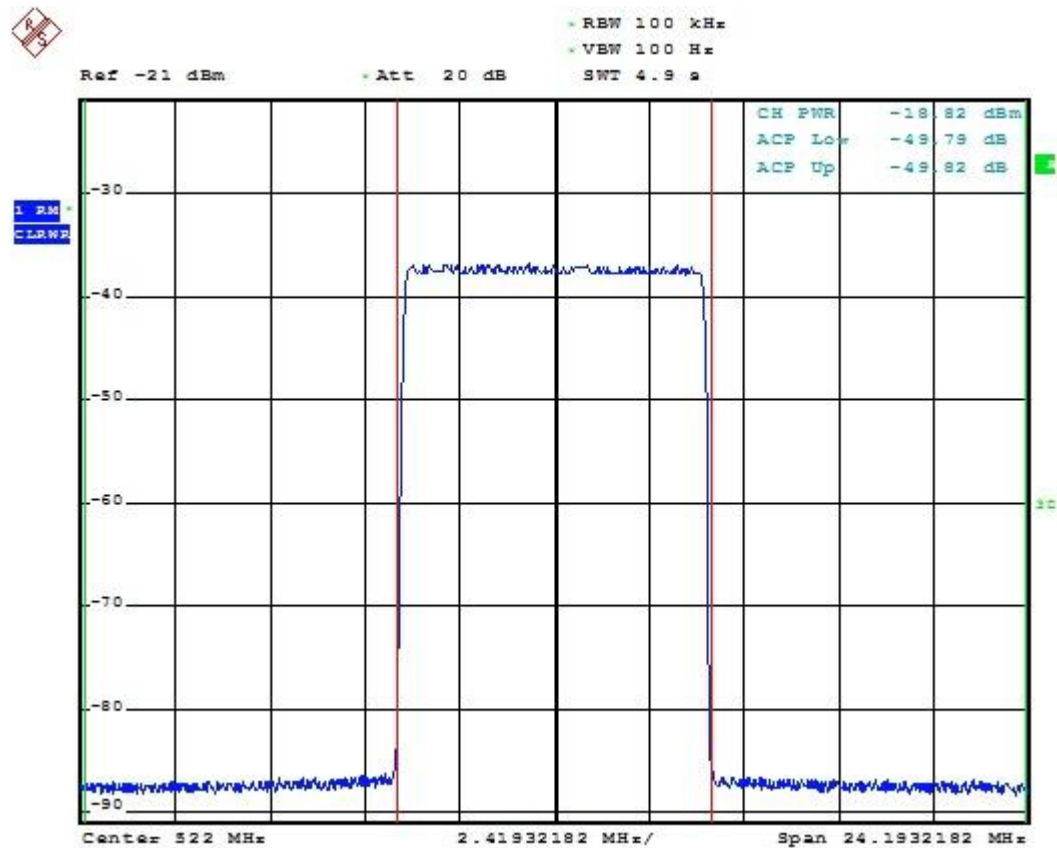
### 3.1.2 Protection Ratio -mittaus

Protection Ratio -mittauksessa mittauksessa oli tarkoitus selvittää kuinka voimakkaita DVB-T-signaaleja kognitiiviradiokanavan lähellä olevilla kanavilla voi olla, ilman että ne häiritsevät kognitiiviradiosignaalia.

#### Mittausjärjestelyt

Häiritseväksi signaaliksi valittiin DVB-T 8k signaali, jonka kaistanleveys oli 7,607 MHz ja guard interval suojaväli 1/4. Modulaationa häiritsevällä signaalilla käytettiin 64QAMia jonka koodaussuhde oli 2/3. Häiritsevää signaalia tuotettiin

SFU Broadcast Test Systemin avulla. Kuvassa 21 on häiritsevän signaalin spektrikuva spektrianalysaattorilla mitattuna.

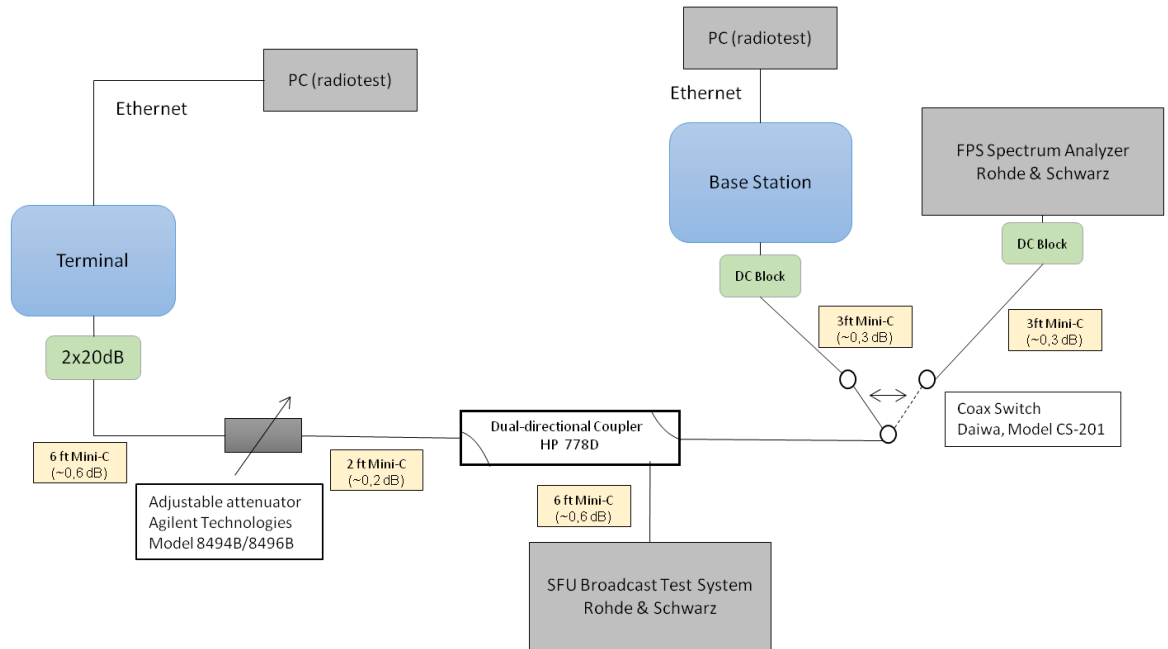


**Kuva 21** SFU:lla tuotetun DVB-T signaalin spektrikuva.

Aluksi selvitetiin mittaamalla mikä on kognitiiviradiosignaalin herkkyysraja tarkkailemalla Radio Test sovelluksesta BER-arvoa, kun kognitiiviradiosignaalin tasoa muutettiin säädettävän vaimennuspakan avulla. Kognitiiviradiosignaali asetettiin mittauksessa taajuudelle 514 MHz. Herkkyysrajaksi valittiin heikoin kognitiiviradiosignaalin taso, jonka BER oli 0 %. Häiritsevää signaalin vaikutusta tarkkailtiin  $n\pm 1$ ,  $n\pm 2$  sekä  $n\pm 5$  kanavan päästä. Lisäksi kognitiiviradiosignaalin tasoa vaihdeltiin siten, että signaalin taso oli 3, 5, 10 ja 30 dB:ä herkkyysrajan yläpuolella. Mittausjärjestelyt selviävät paremmin kuvan 22 lohkokaaaviosta.

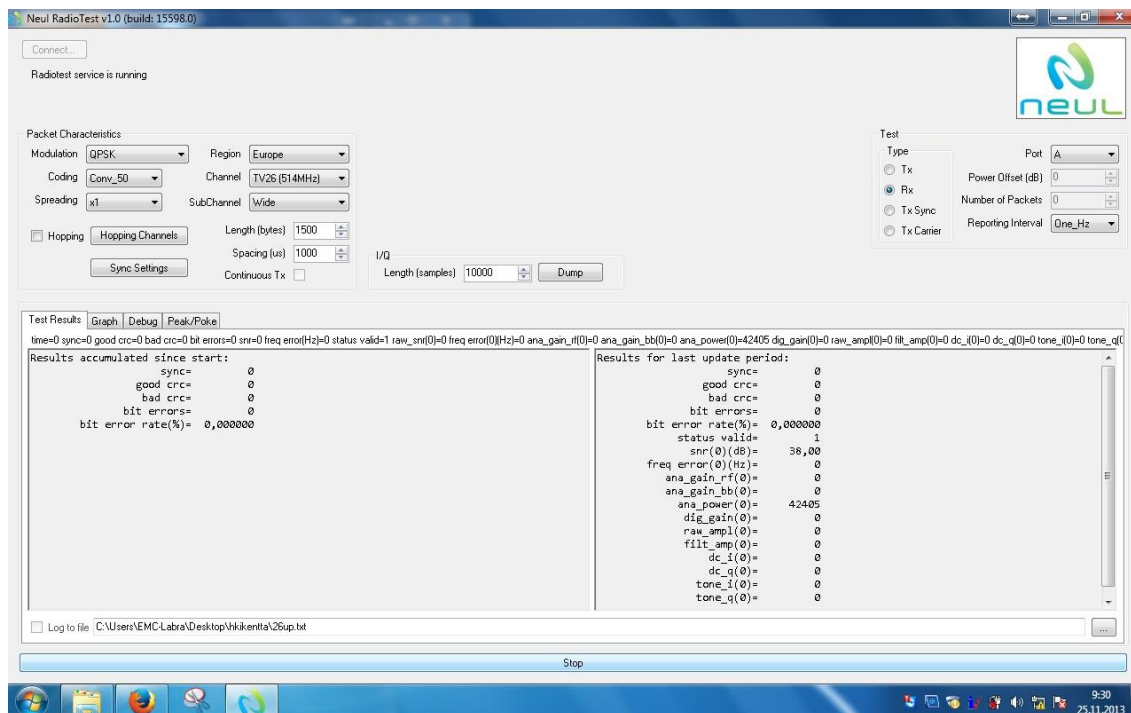


## Protection Ratio -mittaus



**Kuva 22** Protection Ratio -mittauksen mittausjärjestelyt lohkokaaavana.

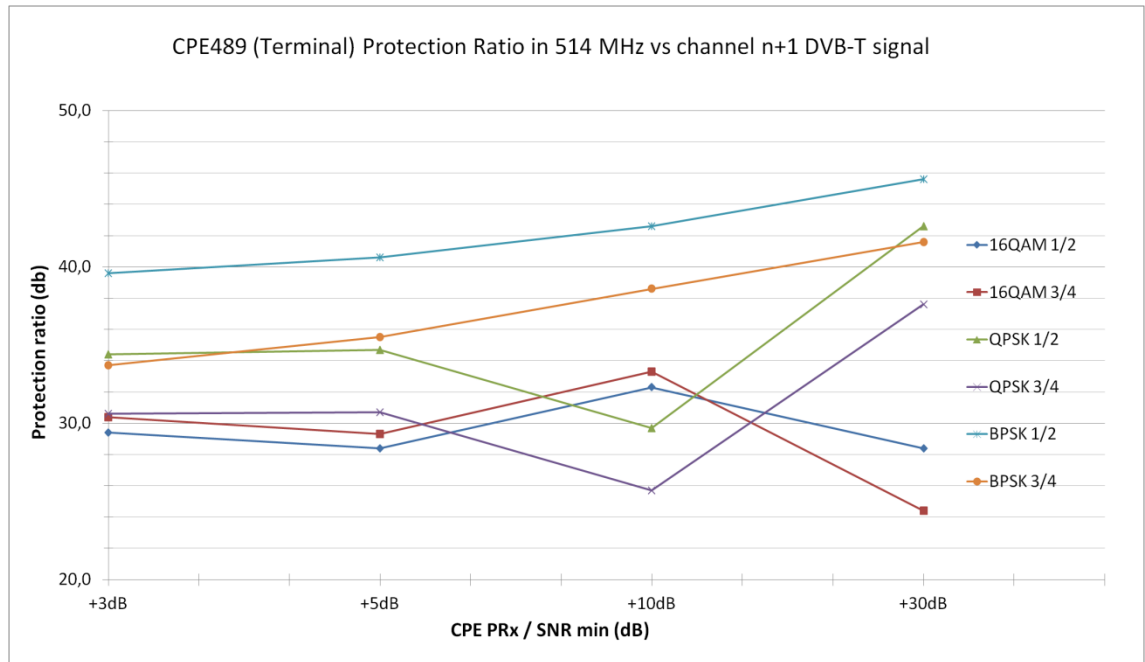
Protection Ratio -mittauksessa olennaisena työkaluna oli Radio Test -sovellus. Radio Test on Neulin mittaus- ja testikäyttöön tekemä sovellus. Radio Test on tarkoitettu mittauksiin, joissa on tarvetta simuloida kognitiiviradiosignaalin eri modulaatioita ja saada tietoa signaalin laadusta esimerkiksi BER:n tai SNR:n muodossa. Kuva 23 on kuvakaappaus Radio Testin valikosta, josta saa tarkemman kuvan mahdollisista muutettavista asetuksista.



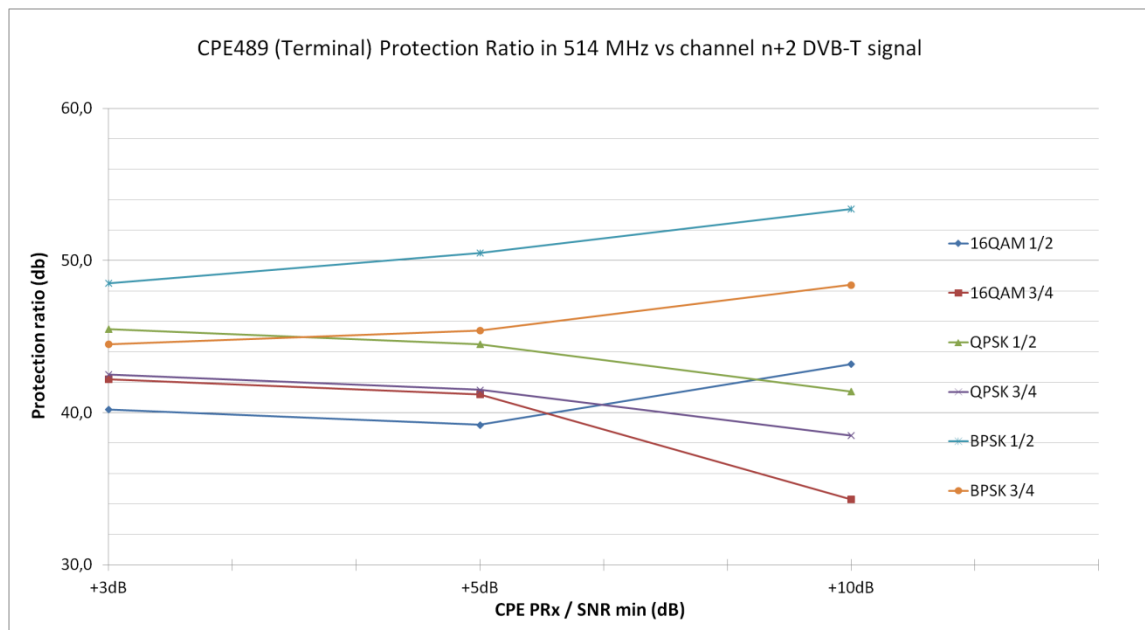
**Kuva 23** Kuvakaappaus Radio Test -sovelluksen valikosta. Kuvan yläosassa näkyvät erilaiset määritettävät asetukset. Kuvan alaosassa näkyvät signaalista saatavat tulokset.

## Mittaustulokset

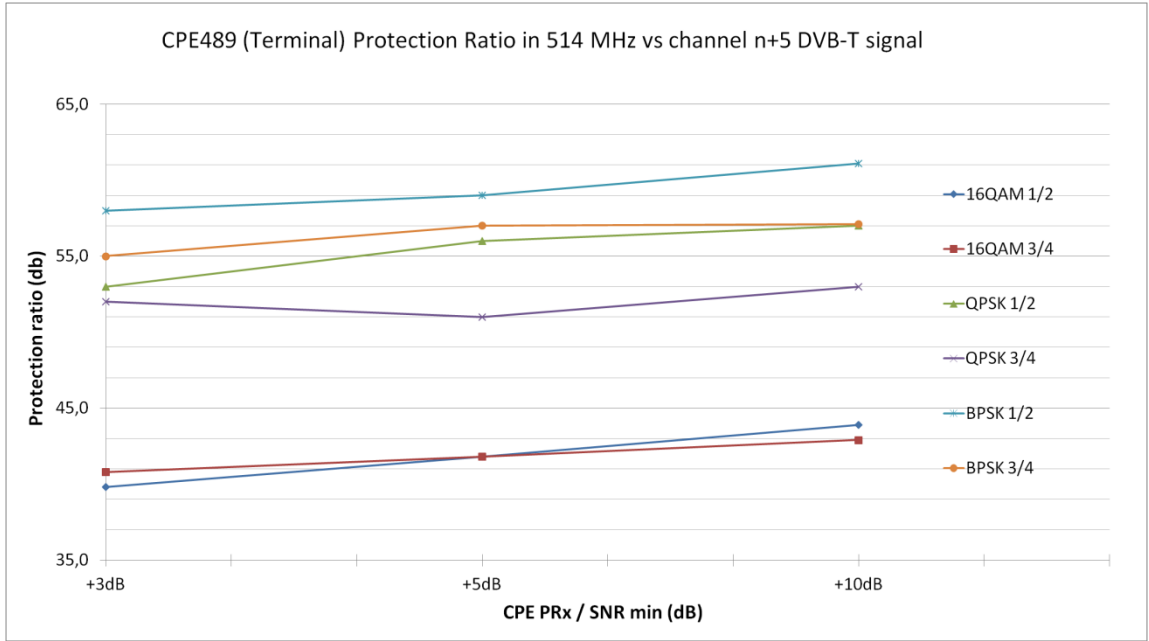
Protection Ratio -mittauksesta saatiin mittaustuloksena ns. suojaussuhde desibeleinä. Tämä suojaussuhde kertoo, kuinka paljon kognitiiviradiosignaalia vahvempi voi häiritsevää DVB-T signaali olla n+x-kanavalla. Kuvissa 24, 25, 26, 27, 28 ja 29 on esitetty graafisesti terminaalin CPE489 mittaustulokset. Tulokset löytyvät lisäksi liitteissä 7 ja 8 olevista taulukoista.



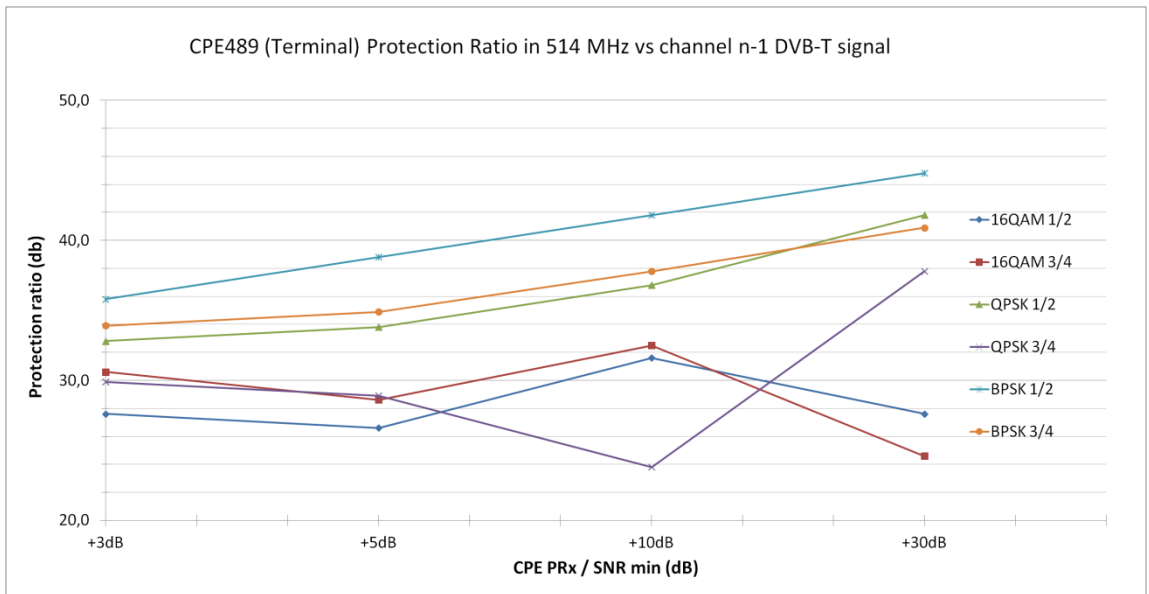
**Kuva 24** Terminaalin CPE489 Protection Ratio, kun häiritsevä signaali on kanavalla n+1 (522 MHz).



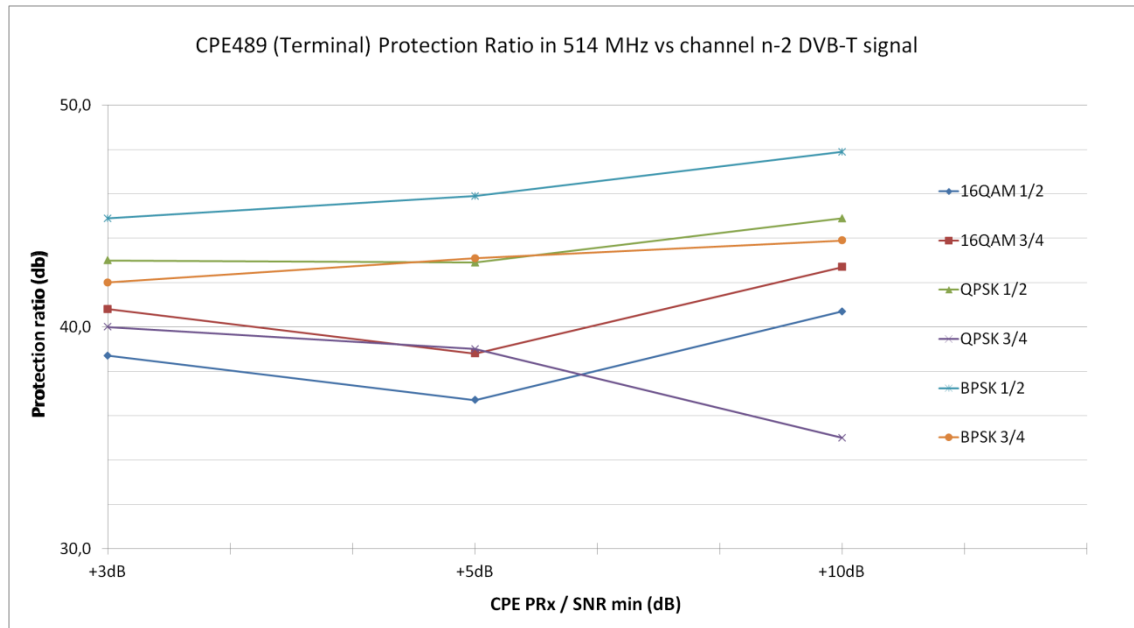
**Kuva 25** Terminaalin CPE489 Protection Ratio, kun häiritsevä signaali on kanavalla n+2 (530 MHz).



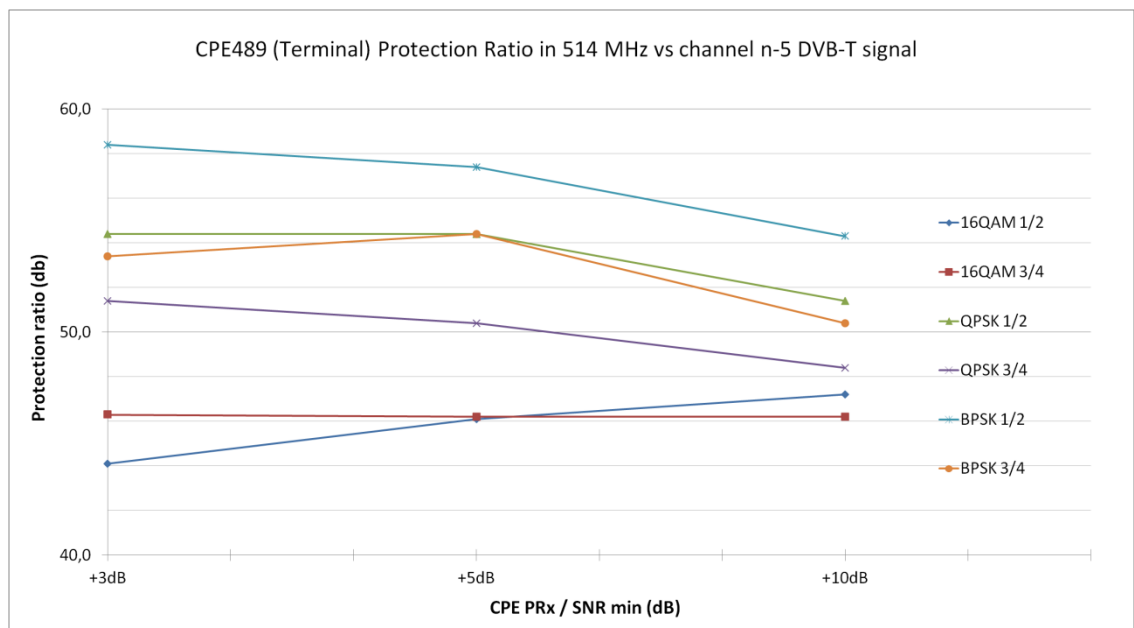
**Kuva 26** Terminaalin CPE489 Protection Ratio, kun häiritsevä signaali on kanavalla n+5 (554 MHz).



**Kuva 27** Terminaalin CPE489 Protection Ratio, kun häiritsevä signaali on kanavalla n-1 (506 MHz).



**Kuva 28** Terminaalin CPE489 Protection Ratio, kun häiritsevä signaali on kanavalla n-2 (498 MHz).



**Kuva 29** Terminaalin CPE489 Protection Ratio, kun häiritsevä signaali on kanavalla n-5 (474 MHz).

### 3.2 Mittaustulosten analysointi

Molempien mittausten mittaustuloksia voidaan mielestäni pitää luotettavina, koska mittausjärjestelyt oli huolellisesti toteutettu. Lisäksi vastaavia mittauksia on tehty radiolaboratoriossa myös aikaisemmin ja mittaukset ovat myös silloin sujuneet luotettavasti.

#### **Tiedonsiirtonopeuksien mittaustulokset**

Tiedonsiirtonopeudet eri modulaatioilla vastasivat hyvin valmistajan lupaamia arvoja. Pääasiassa mitatut tiedonsiirtonopeudet olivat jopa parempia kuin valmistajan lupaamat. Esimerkiksi terminaalin CPE489 modulaatiolla 16QAM 3/4 saatiin vielä -87 dBm:n vastaanotetulla teholla 10,0 Mbit/s tiedonsiirtonopeus, kun valmistajan lupaama vastaava arvo on -84 dBm:n vastaanotetulla teholla 8 Mbit/s.

Mittauksessa tarkasteltiin myös kahden eri terminaalin tiedonsiirtonopeuksien yhteneväisyyttä eri modulaatioilla. Merkittäviä eroja terminaalien CPE489 ja CPE491 välillä ei ilmennyt tiedonsiirtonopeuksien osalta. Tulosten yhteneväisyyden huomaa hyvin tarkastelemalla esimerkiksi Kuvia 13 ja 17. Kuvaajien trendi on erittäin yhtenäinen ja modulaatioiden herkkyysrajat ovat lähes desibelin tarkkuudella samoja.

#### **Protection Ratio -mittauksen tulokset**

Tulosten perusteella voidaan sanoa, että kognitiiviradiosignaali sietää hyvin  $n_{\pm}(1-5)$  kanavilla olevia DVB-T-signaaleja. Kognitiiviradiosignaalin ollessa 30 dB herkkyysrajan yläpuolella, ei kyetty  $n_{\pm}2$  ja  $n_{\pm}5$  kanavia edes häiritsemään mittausjärjestelyn mahdollistamalla DVB-T-signaalin maksimiteholla.

Paras mahdollinen mitattu suojaussuhde oli 61,1 dB. Tämä mitattiin modulaatiolla BPSK 1/2, kun kognitiiviradiosignaali oli 10 dB herkkyysrajan yläpuolella ja häiritsevä DVB-T-signaali  $n+5$  kanavalla. Monissa muissakin

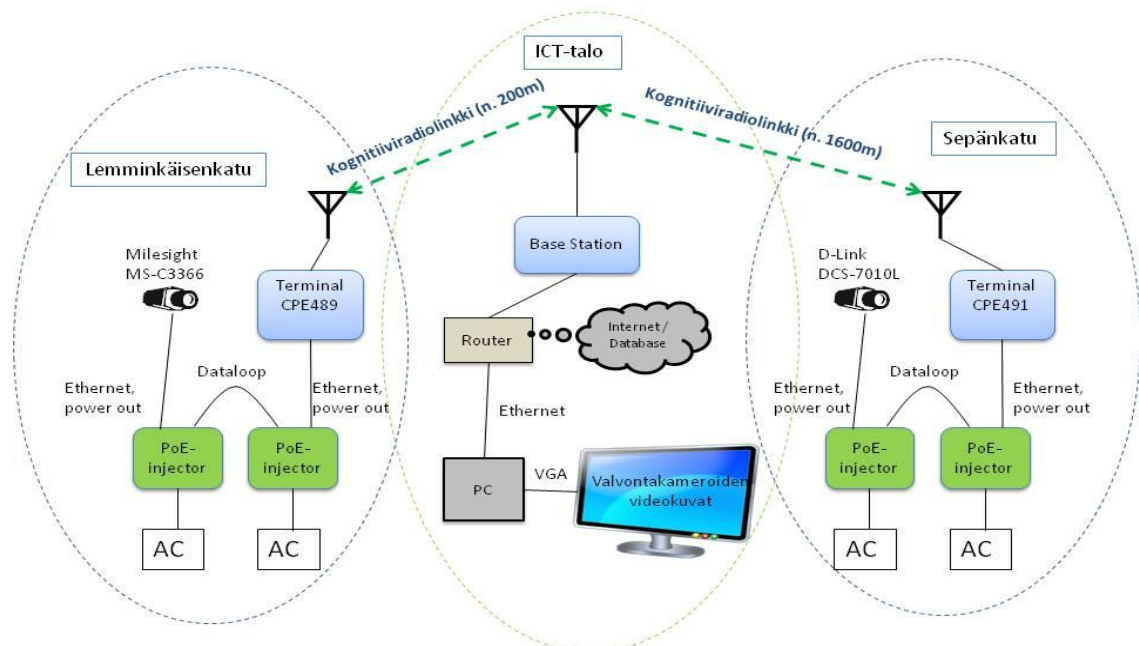
mittakohdissa päästiin kuitenkin lähes samoille lukemille. Huonoin mitattu suojaussuhde oli 23,8 dB. Tämä mitattiin modulaatiolla QPSK 3/4, kun kognitiiviradiosignaali oli 10 dB herkkyysrajan yläpuolella ja häiritsevä DVB-T-signaali  $n-1$  kanavalla.

Yleinen trendi oli, että suojaussuhde suureni mitä etäisimmille kanaville häiritsevä signaali asetettiin. Lisäksi suurimmaksi osaksi suojaussuhde kasvoi, mitä korkeammaksi kognitiiviradiosignaalia nostettiin herkkyysrajaan verrattuna. Erityishuomiona voidaan mainita häiritsevän signaalin ollessa  $n\pm 1$  kanavilla 16QAM-modulaatioiden käyttäytyminen kognitiiviradiosignaalin ollessa 30 dB herkkyysrajan yläpuolella, jolloin suojaussuhde oli epäloogisesti pienempi kuin lähempänä herkkyysrajaa ollessa. Sama ilmiö oli havaittavissa myös QPSK-modulaatioilla, kun kognitiiviradiosignaali oli 10 dB herkkyysrajan yläpuolella. Edellämainitut huomiot on havaittavissa hyvin Kuvissa 24 ja 25.

## 4 VIDEOVALVONTAJÄRJESTELMÄN KOKEILUYMPÄRISTÖN TOTEUTUS JA TESTAAMINEN

### 4.1 Järjestelmän suunnittelu ja toteutus

Kokeiluympäristön suunnittelu aloitettiin valitsemalla ICT-talon lähialueelta kaksi pistettä, johon valvontakameran sekä radiolaitteiston voisi helposti sijoittaa. Paikkojen tuli olla myös sellaisia, minne ulkopuolisilla ei olisi pääsyä, mutta niistä saisi myös järkevää kuvaa videovalvontaa varten. Paikoiksi valikoituvat Turun ammattikorkeakoulun Lemminkäisenkadun sekä Sepänkadun toimipisteet. Toimipisteissä laitteisto pystyttiin melko helposti sijoittamaan koulurakennusten katoille. Molempien pisteiden laitteisto sai virtansa PoE-injektorien avulla. Kokonaisuudessaan järjestelmä on esitetty lohkokaaviossa Kuvassa 30.



**Kuva 30** Videovalvontajärjestelmän kokeiluympäristön lohkokaavio.



Lemminkäisenkadun kamera asetettiin kuvaamaan moottoritietä, eli sieltä saatiin suhteellisen aktiivista videokuvaa. Lemminkäisenkadun laitteisto asennettiin katolla täysin samaan pisteeseen (Kuva 31).



**Kuva 31** Lemminkäisenkadun radiolaitteisto sekä valvontakamera asennettuina.

Sepänkadun kamera taas kuvasi rakennuksen kattoa, ja sieltä saatu kuva oli suhteellisen passiivista. Sepänkadulla valvontakamera ja radiolaitteisto jouduttiin käytännön syistä sijoittamaan erikseen (Kuva 32).



**Kuva 32** Sepänekadun radiolaitteisto sekä valvontakamera asennettuina. Radiolaitteisto ja valvontakamera sijoitettiin katolla erilleen.

Valitut paikat olivat myös radioteknisesti hieman erilaisia, joka oli hyvä asia kokeiluympäristön kannalta. Tukiasema jätettiin ICT-talon radiolaboratorioon, josta oli helppo kontrolloida järjestelmää. Kuvassa 33 on esitettyä kokeiluympäristö karttapohjalla. Kuvasta 33 selviää myös, mitä laitteistoa asennettiin mihinkin pisteeseen. Laitteisto on esitelty tarkemmin luvussa 2.



**Kuva 33** Videovalvontajärjestelmän kokeilu ympäristö kartalla

## 4.2 Järjestelmän testaaminen

Järjestelmän testaaminen piti sisällään kognitiiviradiolaitteiden ja valvontakameroiden asetusten muuttamista. Lisäksi tarkkailtiin videovalvontakuvan sekä kognitiiviradiolinkkien laatua. Testauksen tavoitteena oli löytää parhaat mahdolliset asetukset, joilla järjestelmä pysyy kuitenkin stabiilina.

### Asetusten valinta

Radiolaitteiden asetusten osalta valittiin sopivimmat modulaatiot molemmille radiolinkeille. Lemminkäisenkadun yhteyden modulaatioksi asetettiin 16QAM 3/4, koska yhteyden SNR (27 dB) uplink-suuntaan oli erittäin hyvä ja se pysyi vakaana. Sepänkadun yhteyden modulaatioksi asetettiin QPSK 3/4, koska uplink-suunnan SNR vaihteli 15 dB ja 20 dB välillä. Radiolaitteiden asetuksia hallittiin selaimella toimivasta OMC-sovelluksesta. Kuvassa 34 nähdään

hallintasivuston Cell Control -välilehti, josta radiolaitteiden modulaatiota pystyy vaihtamaan.

The screenshot shows the Carlson Operation and Management Center interface. The top navigation bar includes 'Operations Panel', 'Stations', 'Cell Control', 'Licenses', 'Channels', 'Users', and 'Home'. The main content area displays configuration settings for three base stations and terminals:

- Basestation CSB00442 : TUAS Carlson BTS 442**
  - Station Guide: d875f6d5-4d86-4701-b038-5c65b930437a
  - Description: TUAS Carlson BTS 442
  - Settings:
    - Access Manager Downlink Mode: Bpsk 2 Conv Punct (2013-12-04 08:41:49Z)
    - Access Manager UpLink Mode: Bpsk 2 Conv Punct (2013-12-04 08:41:49Z)
    - Mute:  (2013-12-04 08:41:49Z)
- Terminal CST00489 : Terminal**
  - Station Guide: 550343c5-acdf-4a56-9dff-97da27ea721e
  - Description: TUAS Carlson CPE 489
  - Settings:
    - Adaptive Modulation Enabled:  (2013-12-04 08:43:14Z)
    - Downlink Modulation Mode: Qam16 1 None (2013-12-04 08:43:14Z)
    - UpLink Modulation Mode: Qam16 1 None (2013-12-04 08:43:14Z)
- Terminal CST00491 : Terminal**
  - Station Guide: 0e86a061-b311-4eb4-9531-af4c8b0bb5a8
  - Description: TUAS Carlson CPE 491
  - Settings:
    - Adaptive Modulation Enabled:  (2013-12-04 08:43:17Z)
    - Downlink Modulation Mode: Qpsk 1 Conv Punct (2013-12-04 08:43:17Z)
    - UpLink Modulation Mode: Qpsk 1 Conv Punct (2013-12-04 08:43:17Z)

**Kuva 34** Kognitiiviradiolaitteiden OMC-hallintasovellus. Kuvassa näkyvät videovalvontajärjestelmässä käytössä olleet tukiasema sekä kaksi terminaalia.

Valvontakameroiden asetuksia hallittiin molempien kameroiden omista selaimella toimivista hallintasovelluksista, jotka on esitelty tämän työn luvussa 2.3.2 olevissa Kuvissa 6 ja 8. Valvontakameroista muutettiin pääasiassa vain

seuraavia asetuksia: resoluutiota, bittinopeutta sekä kehysnopeutta. Kuvanopeus pidettiin molemmissa kameroissa kokoajan samana 25 fps. Lisäksi Milesightin kamerassa I-kehysten aikaväli asetettiin vakioarvoksi 5.

Kuvanlaatu molemmissa kameroissa haluttiin pitää mahdollisimman hyvänä. Sepänkadulla olevaan D-Linkin kameraan resoluutioksi asetettiin 1280 x 720, eli paras mahdollinen. Myös Lemminkäisenkadulla olevaan Milesightin kameraan asetettiin paras mahdollinen resoluutio, joka oli 1920 x 1080.

### **Havainnot ja ongelmat**

Lemminkäisenkadulla oleva kamera kuvasi moottoritietä ja sen liikenne aiheutti paljon muutoksia kameran kuvaan. Havaittiin, että muuttuvalla bittinopeudella saatiin sujuvampaa kuvaa. Milesightin kameran asetuksista valittiin siis VBR ja bittinopeudeksi valittiin resoluutiolle sopiva 3 Mbit/s. Sepänkadun kameraan valittiin pysyvä bittinopeus (CBR) kuvassa tapahtuvan vähäisen liikkeen takia. Bittinopeudeksi Sepänkadun kameralle valittiin resoluutiolle sopiva 2 Mbit/s. Tälle kokoonpanolle nämä asetukset olivat siis parhaat mahdolliset videokuvan laadun kannalta. Jos esimerkiksi toisen kameran bittinopeutta nostettiin, alkoi videovalvontakuvassa näkymään virheitä, koska kognitiiviradiokanavan kapasiteetti alkoi täyttymään.

Järjestelmän kapasiteettia olisi mahdollista parantaa, jos kognitiivisten radioiden protokollan balansointia pystyttäisiin muuttamaan enemmän uplink-painotteiseksi. Tällä hetkellä järjestelmä on balansoitu on 70 % downlink-suuntaan ja 30 % uplink-suuntaan. Videokuva välittyy järjestelmässä uplink-suuntaan ja downlink-suuntaan ei ole juurikaan muuta liikennettä kuin asetusten vaihtamiseen liittyviä purskeita.

## 5 YHTEENVETO

Tässä työssä selvitettiin onko kognitiivisella radiolla potentiaalia toimia videovalvontajärjestelmän verkkoratkaisuna. Työ piti sisällään tutustumista kognitiiviradio- sekä videovalvontatekniikkaan. Työ piti sisällään myös laboratoriomittauksia sekä videovalvontajärjestelmän kokeiluympäristön toteutuksen ja testaamisen, joiden avulla saatiin tietoa järjestelmän kapasiteetista ja luotettavuudesta.

Saatujen tulosten sekä testikokemusten perusteella voidaan todeta, että kognitiivisella radiolla on potentiaalia toimia videovalvontajärjestelmän verkkoratkaisuna. Laboratoriomittauksista saadut tulokset ovat hyvin linjassa valmistajan antamien tietojen kanssa. Saatua mittaustuloksia voidaan hyödyntää tulevissa kognitiiviradiomittauksissa. Videovalvontajärjestelmän kokeiluympäristön pohjalta on helppo tulevaisuudessa jatkaa järjestelmän testaamista ja kehittämistä esimerkiksi laajeman, useampia kameroita sisältävän järjestelmän kanssa. Tämän työn tuloksia on mahdollista hyödyntää myös muissa sovelluksissa, jotka käyttävät kognitiivista radiota.

## LÄHTEET

- [1] Terhivuo, Joonas. H.264-koodekin soveltuminen IPTV-järjestelmään. Metropolia. Insinööriyö 2009.
- [2] Nokia Ääni, Nokian oma blogi, H.265: laadukasta videokuvaa puolet pienemmässä paketissa. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://aani.nokia.fi/2013/03/19/h-265-laadukasta-videokuvaa-puolet-pienemmassa-paketissa/> (luettu 25.11.2013)
- [3] Wikipedia, Power Over Ethernet. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://en.wikipedia.org/wiki/Power\\_over\\_Ethernet](http://en.wikipedia.org/wiki/Power_over_Ethernet) (luettu 29.11.2013)
- [4] Marjamäki, Maarit. Kognitiivinen radio, vapaat taajuusspektrialueet nyt ja tulevaisuudessa. Lahden ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö 2012.
- [5] Carlson, Ruralconnect. [www-dokumentti]. saatavilla: <http://www.carlsonwireless.com/products/ruralconnect-ip.html> (luettu 27.11.2013)
- [6] Carlson, RuralConnect. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.carlsonwireless.com/products/brochures/RuralConnect.pdf> (luettu 27.11.2013)
- [7] Kuoppala, Risto. Kameravalvonnan suunnittelu ja toteutus kiinteistöön. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö 2009.
- [8] Afterdawn, sanasto, CBR. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://fin.afterdawn.com/sanasto/selitys.cfm/cbr> (luettu 11.12.2013)
- [9] Sillanpää, Tauno. Digitaalisen videon julkaisu eri formaateissa. Turun ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö 2010.
- [10] Afterdawn, sanasto, VBR. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://fin.afterdawn.com/sanasto/selitys.cfm/vbr> (luettu 11.12.2013)
- [11] Hannuksela, Miska. Error-Resilient Communication Using the H.264/AVC Video Coding Standard. Tampereen teknillinen yliopisto. Väitöskirja 2009.
- [12] Milesight, Milesight Varifocal Bullet Camera Series Datasheet. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.milesight.com/UploadFiles/Datesheet/Milesight\\_Varifocal\\_Bullet\\_Camera\\_Series\\_Datesheet\\_en.pdf](http://www.milesight.com/UploadFiles/Datesheet/Milesight_Varifocal_Bullet_Camera_Series_Datesheet_en.pdf) (luettu 26.11.2013)
- [13] D-Link, DCS-7010 HD mini bullet outdoor cloud camera. [www-dokumentti]. Saatavilla: [http://www.dlink.com//media/Business\\_Products/DCS/DCS%207010L/Datasheet/DCS\\_7010L\\_Datasheet\\_EN\\_EU.pdf](http://www.dlink.com//media/Business_Products/DCS/DCS%207010L/Datasheet/DCS_7010L_Datasheet_EN_EU.pdf) (luettu 26.11.2013)
- [14] Aerial, Aerial Special. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.aerial.fi/ep/tiedostot/aerial-special.pdf> (luettu 28.11.2013)

- [15] Carlson, RuralConnect. [www-dokumentti]. Saatavilla:  
<http://www.carlsonwireless.com/products/brochures/RC%20Log%20Periodic%20CPE%20Antenna.pdf> (luettu 12.12.2013)



## Milesight varifocal bullet camera series datalehti

	Model	MS-C2662-V (1.3MP)	MS-C2362-V (1.3MP)	MS-C3662-V (2.0MP)	MS-C3362-V (2.0MP)	MS-C3666-V (3.0MP)	MS-C3366-V (3.0MP)
Camera	Image Sensor	Progressive Scan CMOS					
	Min. Illumination	Color:0.5Lux B/W:0Lux	Color:0.2Lux B/W:0Lux	Color:0.5Lux B/W:0Lux	Color:0.2Lux B/W:0Lux	Color:0.5Lux B/W:0Lux	Color:0.2Lux B/W:0Lux
	WDR	-	≥100dB	-	≥100dB	-	≥100dB
	Lens	3 - 10.5mm , F1.4					
	Mount	Φ14					
	Field of View	D132° × H105.6° × V79.2°			D35.5° × H28.4° × V21.3°		
	Shutter time	1/100000s~1/5s					
	IR Distance	Up to 20m					
	Day &Night	ICR Filter Auto switch					
Video	Max Image Resolution	1280 × 960		1920 × 1080		2048 × 1536	
	Frame rate	30fps (1280 × 960), 30fps (1280 × 720), 30fps (704 × 576)		30fps (1920 × 1080), 30fps (1600 × 1200), 30fps (1280 × 960), 30fps (1280 × 720), 30fps (704 × 576)		15fps (2048 × 1536), 30fps (1920 × 1080), 30fps (1600 × 1200), 30fps (1280 × 960), 30fps (1280 × 720), 30fps (704 × 576)	
	Video Compression	H.264/ MPEG-4/ MJPEG					
	Video Bit Rate	64Kbps~8Mbps (CBR/VBR adjustable)					
	Image Setting	Brightness/ Contrast / Saturation					
	Video Output	1Vp-p Composite Output (75 Ω, BNC)					
System	Ethernet	1 RJ45 10M/100M Ethernet port					
	Protocol	TCP/IP, UDP, RTP, RTSP, RTCP, HTTP, DNS, DDNS, DHCP, FTP, NTP, SMTP, UPNP, SIP					
	Storage	Support SD/SDHC Local Storage					
	Advanced Function	E-PTZ, Motion detection, Privacy Masking, Backlight compensation, 3D-DNR					
	SIP/VoIP Support	Yes, Voice & Video-over-IP					
	Event Trigger	Motion detection, Network disconnect, etc					
	Event Action	FTP upload/ SMTP upload/SD card record/ External output					
	System Compatibility	ONVIF/ PSIA					
General	Working Temperature	-10℃~60℃		-H: -40℃~60℃(with heater on)			
	Working Humidity	0~90% (non-condensing)					
	Power Supply	DC12V±10% / PoE					
	Power Consumption	2.5W MAX			3.1W MAX		
		8.4W MAX (with IR cut filter on)			9W MAX (with IR cut filter on)		
	Housing	Weather-proof IP66-rated housing					
	Weight	970 g					
Dimensions	Φ80mm × 317.5 mm						

## Downlink-suunnan (Tukiasema -> terminaali) tiedonsiirtonopeus vastaanotetun tehon funktiona terminaalille CPE491

DOWNLOAD												
16 QAM 3/4	16 QAM 1/2	QPSK 3/4	QPSK 1/2	BPSK 3/4	BPSK 1/2	BPSK2 3/4	BPSK2 1/2	BPSK4 3/4	BPSK4 1/2	BPSK8 3/4	BPSK8 1/2	P <sub>in</sub> / dBm
												-52,70
												-53,70
												-54,70
												-55,70
												-56,70
												-57,70
												-58,70
10,25	6,59	5,09	3,27	2,36	1,63	1,17	0,76	0,57	0,37	0,27	0,16	-59,70
												-60,70
												-61,70
												-62,70
												-63,70
												-64,70
												-65,70
												-66,70
												-67,70
												-68,70
9,95	6,56	5,04	3,21	2,38	1,64	1,03	0,77	0,57	0,37	0,27	0,17	-69,70
												-70,70
												-71,70
												-72,70
												-73,70
												-74,70
												-75,70
												-76,70
												-77,70
												-78,70
10,11	6,56	4,98	3,23	2,44	1,59	1,06	0,56	0,56	0,37	0,27	0,17	-79,70
												-80,70
												-81,70
												-82,70
8,26												-83,70
10,05												-84,70
9,86												-85,70
9,73	6,61											-86,70
1,02	6,53											-87,70
0,00	6,53											-88,70
	6,49	4,93	3,26	2,43	1,62	1,21	0,76	0,57	0,37	0,26	0,17	-89,70
	5,98											-90,70
	2,98	5,06										-91,70
	0,28	4,99										-92,70
		4,94										-93,70
		4,97										-94,70
		4,95										-95,70
		5,05										-96,70
		0,34										-97,70
		0,00	3,21									-98,70
			3,15	2,38	1,60	1,08	0,76	0,57	0,37	0,27	0,17	-99,70
			2,62	1,24								-100,70
			0,00	0,15	1,67							-101,70
				0,00	1,28							-102,70
					1,41	1,06						-103,70
					0,25	0,55	0,76					-104,70
					0,00	0,00	0,75	0,52	0,31	0,21	0,12	-105,70
							0,63	0,22	0,11	0,05	0,08	-106,70
							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-107,70

## Uplink-suunnan (Tukiasema -> terminaali) tiedonsiirtonopeus vastaanotetun tehon funktiona terminaalille CPE491

16 QAM 3/4	16 QAM 1/2	QPSK 3/4	QPSK 1/2	BPSK 3/4	BPSK 1/2	BPSK2 3/4	BPSK2 1/2	BPSK4 3/4	BPSK4 1/2	BPSK8 3/4	BPSK8 1/2	P <sub>in</sub> / dBm
												-53,60
												-54,60
												-55,60
												-56,60
												-57,60
												-58,60
												-59,60
6,81	4,55	3,64	2,43	1,82	1,21	0,87	0,59	0,45	0,30	0,22	0,14	-60,60
												-61,60
												-62,60
												-63,60
												-64,60
												-65,60
												-66,60
												-67,60
												-68,60
												-69,60
5,09	4,42	3,73	2,43	1,83	1,12	0,85	0,51	0,45	0,29	0,22	0,15	-70,60
												-71,60
												-72,60
												-73,60
												-74,60
												-75,60
												-76,60
												-77,60
												-78,60
												-79,60
6,43	4,36	3,37	2,44	1,81	1,21	0,88	0,59	0,45	0,29	0,21	0,14	-80,60
												-81,60
												-82,60
												-83,60
5,38												-84,60
5,68												-85,60
3,23												-86,60
2,44	4,38											-87,60
0,32	4,28											-88,60
0,00	3,85											-89,60
	3,32	3,65	2,44	1,81	1,13	0,87	0,61	0,45	0,30	0,21	0,15	-90,60
	0,69											-91,60
	0,28	3,64										-92,60
	0,02	3,68										-93,60
		3,55										-94,60
		3,55										-95,60
		3,42										-96,60
		2,69										-97,60
		0,15										-98,60
		0,00	2,43									-99,60
			2,31	1,73	1,21	0,90	0,60	0,43	0,30	0,20	0,15	-100,60
			0,93	1,38								-101,60
			0,00	0,03	1,22							-102,60
				0,00	1,18							-103,60
					1,02	0,90						-104,60
					0,02	0,57	0,58					-105,60
					0,00	0,00	0,55	0,35	0,19	0,15	0,11	-106,60
							0,42	0,16	0,05	0,04	0,03	-107,60
							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-108,60

## Tukiaseman ja terminaalin välinen latenssi vastaanotetun tehon suhteessa terminaalille CPE491

16 QAM 3/4	16 QAM 1/2	QPSK 3/4	QPSK 1/2	BPSK 3/4	BPSK 1/2	BPSK2 3/4	BPSK2 1/2	BPSK4 3/4	BPSK4 1/2	BPSK8 3/4	BPSK8 1/2	P <sub>in</sub> / dBm
												-52,70
												-53,70
												-54,70
												-55,70
												-56,70
												-57,70
												-58,70
												-59,70
113	114	114	112	138	143	146	168	140	124	152	179	-59,70
												-60,70
												-61,70
												-62,70
												-63,70
												-64,70
												-65,70
												-66,70
												-67,70
												-68,70
112	115	112	112	140	140	157	133	135	130	144	113	-69,70
												-70,70
												-71,70
												-72,70
												-73,70
												-74,70
												-75,70
												-76,70
												-77,70
												-78,70
114	114	110	113	134	145	121	129	140	136	138	142	-79,70
												-80,70
												-81,70
												-82,70
116												-83,70
111												-84,70
112												-85,70
114	112											-86,70
186	113											-87,70
n/a	111											-88,70
	113	113	112	132	139	113	125	139	155	136	141	-89,70
	110											-90,70
	119	111										-91,70
	320	113										-92,70
		112										-93,70
		110										-94,70
		112										-95,70
		125										-96,70
		193										-97,70
		n/a	113									-98,70
			115	143	136	130	139	164	154	133	134	-99,70
			141	246								-100,70
			n/a	585	144							-101,70
				n/a	159							-102,70
					135	149						-103,70
					2030	257	143					-104,70
					n/a	n/a	151	183	173	169	180	-105,70
							200	396	1110	641	581	-106,70
							n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	-107,70

## Downlink-suunnan (Tukiasema -> terminaali) tiedonsiirtonopeus vastaanotetun tehon funktiona terminaalille CPE489

Speedtest @ 482 MHz / Mbps [radiolab.dc.turkuamk.fi/speedtest] DOWNLOAD												
16 QAM 3/4	16 QAM 1/2	QPSK 3/4	QPSK 1/2	BPSK 3/4	BPSK 1/2	BPSK2 3/4	BPSK2 1/2	BPSK4 3/4	BPSK4 1/2	BPSK8 3/4	BPSK8 1/2	P <sub>u</sub> / dBm
												-52,70
												-53,70
												-54,70
												-55,70
												-56,70
												-57,70
												-58,70
10,13	6,50	4,91	3,17	2,35	1,53	1,17	0,76	0,57	0,37	0,27	0,17	-59,70
												-60,70
												-61,70
												-62,70
												-63,70
												-64,70
												-65,70
												-66,70
												-67,70
												-68,70
9,88	6,49	4,91	3,16	2,37	1,56	1,16	0,75	0,56	0,37	0,27	0,17	-69,70
												-70,70
												-71,70
												-72,70
												-73,70
												-74,70
												-75,70
												-76,70
												-77,70
												-78,70
9,88	6,48	4,94	3,16	2,37	1,56	1,15	0,76	0,56	0,37	0,27	0,17	-79,70
												-80,70
												-81,70
												-82,70
9,90												-83,70
9,89												-84,70
9,85												-85,70
10,16												-86,70
9,94												-87,70
4,70												-88,70
0,00	6,46	4,96	3,17	2,38	1,55	1,16	0,76	0,57	0,37	0,26	0,17	-89,70
	6,11											-90,70
	5,27											-91,70
	1,42											-92,70
	0,00											-93,70
												-94,70
												-95,70
		4,93										-96,70
		4,42										-97,70
		0,40										-98,70
		0,00	3,16	2,35	1,56	1,15	0,76	0,57	0,37	0,27	0,17	-99,70
			3,14	2,23								-100,70
			2,26	2,27								-101,70
			0,89	2,12								-102,70
			0,08	0,22	1,54	1,15						-103,70
			0,00	0,19	1,48	1,11	0,76					-104,70
				0,00	0,30	0,15	0,72	0,54	0,35	0,25	0,13	-105,70
					0,00	0,00	0,59	0,40	0,21	0,13	0,10	-106,70
							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-107,70

## Uplink-suunnan (Tukiasema -> terminaali) tiedonsiirtonopeus vastaanotetun tehon funktiona terminaalille CPE489

16 QAM 3/4	16 QAM 1/2	QPSK 3/4	QPSK 1/2	BPSK 3/4	BPSK 1/2	BPSK2 3/4	BPSK2 1/2	BPSK4 3/4	BPSK4 1/2	BPSK8 3/4	BPSK8 1/2	P <sub>e</sub> /dBm
												-53,60
												-54,60
												-55,60
												-56,60
												-57,60
												-58,60
												-59,60
6,14	4,60	3,58	2,39	1,80	1,20	0,91	0,61	0,46	0,29	0,22	0,15	-60,60
												-61,60
												-62,60
												-63,60
												-64,60
												-65,60
												-66,60
												-67,60
												-68,60
												-69,60
5,90	4,65	3,60	2,33	1,80	1,20	0,91	0,57	0,45	0,30	0,22	0,15	-70,60
												-71,60
												-72,60
												-73,60
												-74,60
												-75,60
												-76,60
												-77,60
												-78,60
												-79,60
5,78	4,60	3,59	2,36	1,82	0,95	0,91	0,60	0,45	0,30	0,22	0,14	-80,60
												-81,60
												-82,60
												-83,60
6,36												-84,60
5,82												-85,60
6,52												-86,60
5,70												-87,60
5,21												-88,60
0,31												-89,60
0,00	4,03	3,57	2,33	1,80	1,21	0,83	0,55	0,45	0,30	0,21	0,14	-90,60
	3,40											-91,60
	0,85											-92,60
	0,34											-93,60
	0,00											-94,60
												-95,60
												-96,60
		3,60										-97,60
		3,15										-98,60
		0,24										-99,60
		0,00	2,33	1,73	1,21	0,91	0,59	0,45	0,28	0,21	0,14	-100,60
			2,26	1,51								-101,60
			0,94	0,66								-102,60
			0,20	1,49								-103,60
			0,09	0,44	1,16	0,91						-104,60
			0,00	0,08	0,61	0,74	0,60					-105,60
				0,00	0,04	0,05	0,56	0,41	0,28	0,19	0,13	-106,60
					0,00	0,00	0,35	0,26	0,15	0,07	0,08	-107,60
							0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-108,60

## Protection Ratio desibeleinä $n \pm x$ kanavilla

		Radiotest mode (514 MHz)					
Modulation	CPE Prx / SNR min	Protection Ratio [dB] (DVB-T)					
		n-5	n-2	n-1	n+1	n+2	n+5
16QAM 1/2	+3dB	44,1	38,7	27,6	29,4	40,2	39,8
	+5dB	46,1	36,7	26,6	28,4	39,2	41,8
	+10dB	47,2	40,7	31,6	32,3	43,2	43,9
	+30dB	n/a	n/a	27,6	28,4	n/a	n/a
16QAM 3/4	+3dB	46,3	40,8	30,6	30,4	42,2	40,8
	+5dB	46,2	38,8	28,6	29,3	41,2	41,8
	+10dB	46,2	42,7	32,5	33,3	34,3	42,9
	+30dB	n/a	n/a	24,6	24,4	n/a	n/a
QPSK 1/2	+3dB	54,4	43,0	32,8	34,4	45,5	53,0
	+5dB	54,4	42,9	33,8	34,7	44,5	56,0
	+10dB	51,4	44,9	36,8	29,7	41,4	57,0
	+30dB	n/a	n/a	41,8	42,6	n/a	n/a

QPSK 3/4	+3dB	51,4	40,0	29,9	30,6	42,5	52,0
	+5dB	50,4	39,0	28,9	30,7	41,5	51,0
	+10dB	48,4	35,0	23,8	25,7	38,5	53,0
	+30dB	n/a	n/a	37,8	37,6	n/a	n/a
BPSK 1/2	+3dB	58,4	44,9	35,8	39,6	48,5	58,0
	+5dB	57,4	45,9	38,8	40,6	50,5	59,0
	+10dB	54,3	47,9	41,8	42,6	53,4	61,1
	+30dB	n/a	n/a	44,8	45,6	n/a	n/a
BPSK 3/4	+3dB	53,4	42,0	33,9	33,7	44,5	55,0
	+5dB	54,4	43,1	34,9	35,5	45,4	57,0
	+10dB	50,4	43,9	37,8	38,6	48,4	57,1
	+30dB	n/a	n/a	40,9	41,6	n/a	n/a