

Tuomas Niemi

## **MONIOPERAATTORIVERKON TOTEUTUS**

# MONIOPERAATTORIVERKON TOTEUTUS

Tuomas Niemi  
Opinnäytetyö  
Kevät 2021  
Sähkö- ja automaatiotekniikan  
tutkinto-ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkötekniikka

---

Tekijä: Tuomas Niemi  
Opinnäytetyön nimi: Monioperaattoriverkon toteutus  
Työn ohjaajat: Ensio Sieppi (OAMK) ja Jesse Eilola (Suomen Kuitutekniikka Oy)  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021  
Sivumäärä: 48 + 1 liite

---

Matkapuhelimen häiriötön toimivuus ja hyvä mobiilidatan siirtonopeus eivät ole itsestäänselvyksiä nykyaikaisen rakennuksen sisätiloissa. Varsinkin betonirunkoisten kerrostalojen sisätiloissa on tyyppillistä, että puhelimen kuuluvuus on yleisesti heikolla tasolla. Kuuluvuusongelmiin on olemassa kuitenkin ratkaisuja, joista yksi on hajautettu sisäantennijärjestelmä. Sen avulla matkapuhelinkuuluvuus saadaan toteutettua esimerkiksi maanalaisiin luoliin, parkkihalleihin, tai vaikkapa laajaan kauppakeskukseen. Kun useampi teleoperaattori käyttää samaa fyysistä sisäantennijärjestelmää, puhutaan monioperaattoriverkosta.

Tämän työn tavoitteena oli tuottaa kirjallinen selvitys monioperaattoriverkosta, joka toteutettiin Etelä-Suomessa sijaitsevaan betonirunkoiseen uudisrakennukseen vuoden 2020 aikana. Työssä pohditaan aluksi syitä huonoon sisäkuuluvuuteen ja kerrotaan nykyään olemassa olevat vaihtoehdot sisäkuuluvuuden parantamiseen. Työssä esitellään myös komponentit, joita tyyppillisesti käytetään sisäantennijärjestelmissä.

Varsinaisesti tässä työssä keskitytään kyseisen kiinteistön monioperaattoriverkkoon, sen rakentamiseen, komponentteihin, asentamiseen sekä hankkeen aikana kohdattuihin haasteisiin sisäverkourakoitsijan näkökulmasta. Lopuksi pohditaan tulevaisuuden mukanaan tuomia haasteita ja ratkaisuja sisäkuuluvuusongelmien poistamiseksi. Työhön sisällytettiin runsaasti kuvia, jotta työstä tulisi selkeämpi ja se olisi helpommin ymmärrettävissä.

---

Asiasanat: sisäkuuluvuus, antennijärjestelmät, monioperaattoriverkko, viranomaisverkko

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Electrical and Automation Engineering, Electrical Engineering

---

Author: Tuomas Niemi

Title of thesis: Implementation of a Passive Distributed Antenna System

Supervisors: Ensio Sieppi (OUAS) and Jesse Eilola (Suomen Kuitutekniikka Ltd)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021

Number of pages: 48 + 1 appendix

---

The aim of the thesis was to produce a written documentary about a passive distributed antenna system, which was implemented to a concrete frame building during 2020 in southern Finland. First, a brief introduction to mobile communication problems in modern buildings was presented, followed by a summary of the basic passive components used in passive indoor DAS systems. A lot of images were added to make the thesis more understood.

The main part of the thesis presented the steps of the indoor DAS installation process, including the plans of antenna system, cable and component installations and required measurements such as passive intermodulation and voltage standing wave ratio or return loss measurements. There were also some challenges during the indoor DAS project, which also were discussed in this thesis.

At the end of the thesis, some possible solutions were given to the indoor coverage problems of mobile communications in the near future.

---

Keywords: distributed antenna system, mobile telecommunication coverage, in-building passive DAS

# SISÄLLYS

SANASTO JA LYHENTEET.....	6
1 JOHDANTO.....	8
2 KUULUVUUS SISÄTILOISSA.....	9
3 MONIOPERAATTORIVERKKO.....	11
3.1 Rakenne ja toimintaperiaate.....	11
3.2 dBm, dBc ja dBi.....	13
3.3 PIM, VSWR ja Return Loss.....	16
3.4 Kaapelit ja komponentit.....	21
3.4.1 Antennit.....	21
3.4.2 Antennikaapelit.....	24
3.4.3 Liittimet.....	26
3.4.4 Tehonjakajat.....	28
3.4.5 Hybridit.....	29
4 PROJEKTIN TOTEUTUS.....	31
4.1 Alkukartoitus ja suunnittelu.....	32
4.2 Asennus.....	32
4.3 Mittaukset.....	34
5 TEKNISEN JA TALOUDELLISEN ONNISTUMISEN ARVIOINTI.....	41
5.1 Työmaan aikataulun vaikutukset.....	41
5.2 Onnistumisen arviointi ja kehityskohteet.....	42
6 SISÄKUULUVUUS TULEVAISUUDESSA.....	43
7 YHTEENVETO.....	45
LÄHTEET.....	46
LIITTEET.....	49

## SANASTO JA LYHENTEET

DAS	<i>Distributed Antenna System</i> , hajautettu antenniverkko.
dB	Desibeli, kuvaa logaritmisella asteikolla tehojen suhteita. Alexander Graham Bellin mukaan nimetyn belin kymmenesosa.
dBc	Kuvaa tehoa desibeleinä suhteessa hyötysignaaliin, 0 dBc = hyötysignaalin teho.
dBi	Kuvaa antennin vahvistusta desibeleinä suhteessa isotrooppiseen pistemäiseen säteilijään, 0 dBi = teoreettisen, täysin pallomaisesti säteilevän antennin vahvistus.
dBm	Desibelimilliwatti, kuvaa tehoa suhteessa yhteen milliwattiin, 0 dBm = 1 mW.
Downlink	Alalinkki, tukiasemalta matkapuhelimeen päin tapahtuva tiedonsiirto.
GSM (2G)	Toisen sukupolven ryhmään kuuluva matkaviestinjärjestelmä. Alkujaan sanoista <i>Groupe Spécial Mobile</i> , nykyään englanniksi <i>Global System for Mobile Communications</i> . Käytössä edelleen ympäri maailman.
Impedanssi	Suure, joka kuvaa vaihtovirran kokemaa vastusta virtapiirissä. Impedanssin suuruus on taajuusriippuvainen ja sen yksikkö on ohmi. Sisäantenniverkon impedanssi on 50 ohmia.
Korrugointi	Antennikaapelin ulkojohtimen aaltomainen muoto, joka mahdollistaa kaapelin taituttamisen.
Linkkibudjetti	Laskelma, jolla varmistetaan sisäantenniverkossa tehon riittävyys molempiin siirtosuuntiin.
LTE (4G)	Long Term Evolution, laajakaistaisen internet-yhteyden käyttöön suunniteltu neljännen sukupolven langaton tiedonsiirtotekniikka.
MHz	Megahertsi. Miljoona hertsiä.
MiMo	<i>Multiple In Multiple Out</i> , antennityyppi, jossa on useampi antenni saman ulkokuoren sisällä. Mahdollistaa suuremman tietoliikennekapasiteetin kuin SiSo.
PIM	<i>Passive InterModulation</i> eli suomeksi passiivinen keskeismodulaatio. Hyötysignaaleista epälineaarisisessa kohdassa muodostuva häiriösignaali.

PoE	<i>Power over Ethernet</i> , tekniikka, jolla laitteeseen voidaan tuoda virransyöttö samalla parikaapelilla, jota laite käyttää tiedonsiirtoon.
RF	<i>Radio Frequency</i> eli radiotaajuus. Taajuusalue 3 Hz – 300 GHz.
RL	<i>Return Loss</i> eli heijastusvaimennus. Kuvaa radiotien laatua.
SiSo	<i>Single Input Single Output</i> , perinteinen antennityyppi, jossa on yksi sisäänmeno ja yksi ulostulo.
STUK	Säteilyturvakeskus
UMTS (3G)	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i> , GSM-verkon seuraajaksi kehitetty kolmannen sukupolven matkapuhelinteknologia.
Uplink	Ylälinkki, matkapuhelimesta tukiasemalle päin tapahtuva tiedonsiirto.
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i> , katkeamattoman tehonsyötön varmistava laite.
VIRVE	Viranomaisverkko, Suomen Erillisverkot Oy:n hallinnoima viranomaisten ja muiden turvallisuustoimijoiden käyttämä viestintäverkko.
VSWR	<i>Voltage Standing Wave Ratio</i> , seisovan jännitteisen aallon suhde, kuvaa radiotien laatua.
W	Watti, tehon yksikkö.

# 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi vuonna 2020 valmistunut monioperaattoriverkkoprojekti. Etelä-Suomessa sijaitsevaan monikerroksiseen kiinteistöön oli jo pelkästään pelastusviranomaisen vaatimuksesta välttämätöntä toteuttaa viranomaisverkon kuuluvuutta parantava järjestelmä. Näin suuressa kohteessa toteutustavaksi valikoitui hajautettu sisääntennijärjestelmä (engl. DAS, Distributed Antenna System). Kyseisessä ratkaisussa mobiilioperaattorit sijoittavat omat tukiasemansa rakennuksen tekniseen tilaan, josta antennikaapeloinnin, tehonjakajien ja tasaisesti eri kerroksiin sijoitettujen antennien avulla saadaan erinomainen kuuluvuus koko rakennukseen. Tällöin matkapuhelimeen tulevat ja siitä lähtevät signaalit kulkevat sisääntennijärjestelmän kautta, eikä kiinteistössä vallitseva kuuluvuus ole riippuvainen ulkotukiasemien mastoissa sijaitsevista antenneista.

Työssä kuvataan projektin eri vaiheet sisäkuuluvuusurakoitsijan näkökulmasta sekä kyseisen kuuluvuutta parantavan tekniikan teoria mahdollisimman käytännönläheisesti, menemättä kovin syvälle teoriaan. Sisäkuuluvuuden parantaminen on hyvin ajankohtaista uusien energiankulutusta hillitsevien rakennusmateriaalien ja samaan aikaan entistä korkeampia taajuuksia käyttävien tiedonsiirtotekniikoiden yleistyessä.

Opinnäytetyö tehtiin Suomen Kuitutekniikka Oy:lle. Yritys on perustettu vuonna 2015, jolloin alkuperäisenä liikeideana oli erilaisten kiinteistöjen valokuituyhteyksien mittaaminen ja dokumentointi. Pian yritys alkoi myös kaapeloimaan kuitu-, antenni- ja parikaapeliverkkoja, ja nykyisin yritys toteuttaaakin edellä mainittuja verkkoja kaikenkokoisiin kiinteistöihin, aina pienistä asunto-osakeyhtiöistä suuriin kauppakeskuksiin. Vuoden 2020 aikana perehdyttiin myös sisäkuuluvuusverkkojen tekniikkaan ja toteuttamiseen, jonka seurauksena saatiin tälle opinnäytetyölle mielekäs aihe. Yrityksen vahvuutena ja kantavana ajatuksena on työn laatu. Olipa kyse yleiskaapelointijärjestelmästä, antenniverkosta tai kuituasennuksesta, verkon sisäisen suorituskyvyn lisäksi kaikki asennukset halutaan tehdä myös visuaalisesti erittäin siistin näköisiksi. Yrityksellä on toimipisteet Oulussa ja Nokialla ja työntekijöitä tätä kirjoitettaessa on 13.



## 2 KUULUVUUS SISÄTILOISSA

Yhä useammin uusissa tiiviisti ja energiatehokkaasti rakennetuissa rakennuksissa törmätään kuuluvuusongelmiin. Eniten kuuluvuusongelmia on betonirunkoisissa kerrostaloissa. Nykyiset energia- tehokkuusvaatimukset ovat niin tiukkoja, että ne käytännössä pakottavat käyttämään seinissä metallia sisältäviä eristeitä sekä selektiivikalvollisia ikkunalaseja. Juuri ikkunat ovat perinteisesti olleet radiosignaaleiden pääasiallisia kulkureittejä betonirunkoisen rakennuksen sisätiloihin. Selektiivikalvojen tehtävä on vähentää lämmityskaudella lämpösäteilyhäviötä rakennuksen sisätiloista ja myös vähentää auringonpaisteen aiheuttamaa lämpökuormaa kesäisin (1). Selektiivikalvolliset ikkunat kuitenkin vaimentavat lämpösäteilyn lisäksi tehokkaasti myös radiotaajuuksia. Nykyaikainen selektiivilasi voi vaimentaa matkapuhelimen käyttämää signaalia jopa 30 dB, mikä tarkoittaa, että ikkunalasin läpi pääsee vain tuhannesosa signaalin tehosta (2).

Ensisijainen keino kuuluvuusongelmien ratkaisemiseen on rakennuksen suunnittelu ja rakentaminen RF-signaaleita läpäiseväksi. Rakennukseen tulisi tehdä tarkoituksella RF-aukkoja, jolloin ulkopuolella vallitseva kuuluvuustaso pääsisi riittävän hyvin rakennuksen sisätiloihin. Usein nämä RF-aukot on helpointa tehdä ikkuna- ja oviaukkojen yhteyteen, jolloin RF-aukon kohdalla metallia sisältävät eristeet korvataan vähemmän vaimentavilla materiaaleilla. (3.)

Kuuluvuutta voidaan parantaa myös aktiivisella toistimella. Tässä ratkaisussa toistin vahvistaa rakennuksen ulkopuolelle asennetulta antennilta tulevan signaalin ja syöttää sen sisäantennin kautta rakennuksen sisälle. Aktiivisen toistimen saa asentaa vain teleoperaattori, sillä pahasti vikaantuaan toistin voi tukkia tukiaseman vastaanotokaistaa ja siten häiritä muita verkkokäyttäjää tukiaseman peittoalueella. Operaattorin asentama aktiivinen toistinratkaisu on usein liian kallis toteutettavaksi pieniin asuntokohteisiin, mutta voi tulla kyseeseen esimerkiksi pienyrityksen toimitiloissa. Aktiiviset toistimet ovat operaattorikohtaisia, ja tällä menetelmällä saadaankin kuuluvuutta parannettua vain sen operaattorin liittymille, joka toistimen asentaa. (4.)

Yksi edullinen tapa, jolla kuuluvuutta voi joissain tapauksissa hieman parantaa, on passiivisen lisäantennin asentaminen. Passiivinen lisäantenni voi toimia silloin, jos ulkona on hyvä kuuluvuustaso, mutta rakennuksen ulkokuoren vaimennuksen takia sisätilojen kuuluvuus on heikko. Rakennuksen ulkoseinälle tai katolle asennetaan ulkoantenni, josta signaali viedään mahdollisimman lyhyellä antennikaapelilla sisäantennille. Signaalia ei tässä ratkaisussa vahvisteta aktiivilaitteella eikä

se vaikuta muihin verkkokäyttäjiin, joten lisäantennin saa asentaa kuka tahansa. Passiivisen lisäantennin tuoma hyöty on kuitenkin hyvin paikallinen ja tällä tavalla ei voida kattaa koko rakennuksen sisätiloja. Väestönsuojatiloissa käytetään tällaista passiiviantenniratkaisua, jolloin saadaan kuuluvuus kyseisiin tiloihin antennin läheisyydessä. (4.)

Isoihin ja laajoihin rakennuksiin, joissa on paljon verkkokäyttäjiä, ei yllä olevilla menetelmillä saada aikaan riittävää kuuluvuustasoa ja tiedonsiirtokapasiteettia. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi kauppakeskukset, lentokenttien terminaalit, sairaalat, isot kerrostalot ja hotellit (4). Näihin kohteisiin tarvitaan sisäpeittoantenniverkko, jonka toteutukseen tässä työssä paneudutaan tarkemmin seuraavissa luvuissa.

### 3 MONIOPERAATTORIVERKKO

Monioperaattoriverkko on sisäkuuluvuusverkon toteutustapa, jossa useat operaattorit hyödyntävät samaa sisäverkkoa. Suomessa, kuten muuallakin, jokaisella operaattorilla on tarkasti määritetyt taajuudet käytössään kultakin taajuuskaistalta. Esimerkiksi GSM900-taajuuskaistalla tukiaseman vastaanottoaika on jaettu välillä 880,100–914,900 MHz ja lähetyskaista välillä 925,100–959,900 MHz operaattoreiden kesken kolmeen yhtä suureen osaan (5). Tämä taajuuksien jakoperiaate mahdollistaa sen, että samassa kaapeloinnissa voi liikkua samanaikaisesti kaikkien operaattoreiden signaaleja. Myös viranomaisverkon toistin on usein liitetty samaan sisäverkkoon. Viranomaisverkko toimii nykyään taajuudella 380–395 MHz (6).

#### 3.1 Rakenne ja toimintaperiaate

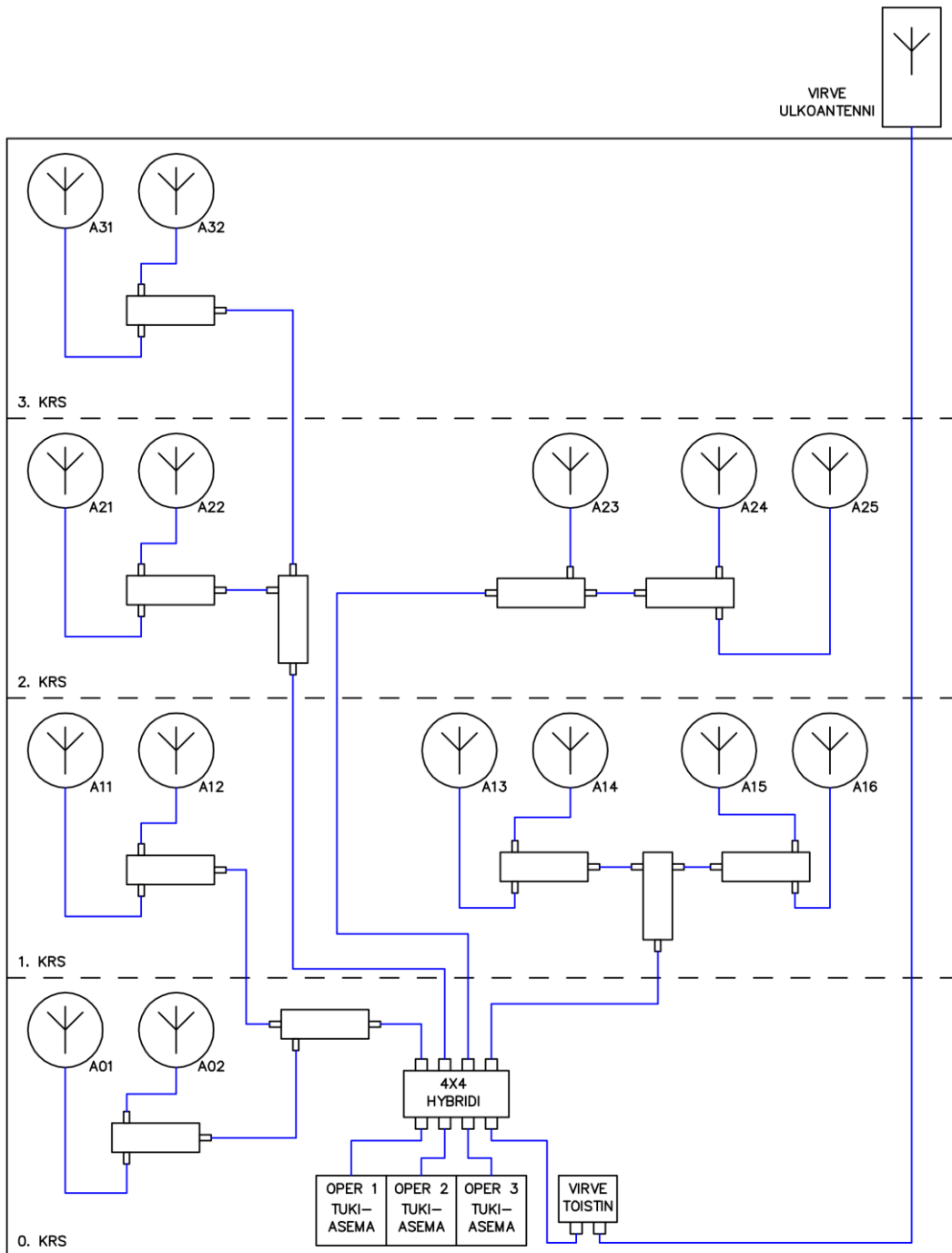
Monioperaattoriverkko on kaksisuuntainen, eli signaalit kulkevat sen kautta operaattorin tukiasemalta tai toistimelta mobiililaitteisiin ja toisinpäin. Tukiasema on aktiivilaite, joka asennetaan rakennuksen tekniseen tilaan palvelemaan kyseistä rakennusta ja on verrattavissa ulkomastojen tukiasemiin. Joskus tukiasematyypissä toteutuksessa operaattorit haluavatkin lisäksi rakennuksen katolle mastoantennit, jolloin monioperaattoriverkon sivutuotteena saadaan myös ulkopeittoa rakennuksen ympäristössä parannettua. Isoimpiin kohteisiin tarvitaan aina tukiasematyypinen toteutus, jotta saavutetaan riittävä verkon suorituskyky. (4.)

Toistin on aktiivilaite, joka vahvistaa eli toistaa ulkotukiaseman ja sisäkuuluvuusverkon välillä molempiin suuntiin kulkevat signaalit. Toistinta varten rakennuksen ulkoseinälle tai katolle asennetaan suuntaava antenni, jonka avulla muodostetaan yhteys lähimmän ulkotukiaseman antennille. Toistimen avulla sisäkuuluvuusverkon antennille saadaan joissakin tapauksissa riittävä tehotaso, mutta toistin on aina riippuvainen ulkopuolisesta tukiasemasta ja käyttää ulkopuolisen tukiaseman radiokapasiteettia. Toistin riittää usein pienempiin sisäkuuluvuusverkkoihin ja on huomattavasti edullisempi kuin tukiasema. (1.)

Jotta kuuluvuus saadaan tasaisesti rakennuksen sisätiloihin, tarvitaan rakennuksen eri kerroksiin järkevästi sijoiteltuja antennia, jotka yhdistetään antennikaapelin ja tehonjakajien avulla operaattoreiden tukiasemiin tai toistimiin. Antennien avulla kaapeleita pitkin kulkeva RF-signaali saadaan

säteilemään hallitusti antennien ympäristöön. Antennit toimivat myös vastaanottimina mobiililaitteiden lähettämille signaaleille, jotka kulkevat kaapeloinnissa vastakkaiseen suuntaan tukiasemalle tai toistimelle. Antenneille menevää tehotasoa pystytään tasaamaan epäsymmetrisillä tehonjakajilla ja hyvällä kaapelointisuunnittelulla, ja pyrkimyksenä on saada jokaiselle antennille yhtä suuri tehotaso eli yhtä paljon vaimennusta antennien ja aktiivilaitteen välille. Tätä varten tehdään linkki-budjettilaskelma, jolla varmistetaan jo suunnitteluvaiheessa, että jokaiselle sisäverkon antennille saadaan riittävä tehotaso aktiivilaitteelta, ja toisaalta, että puhelimen lähettämät signaalit pääsevät riittävän voimakkaina antennikaapelia pitkin aktiivilaitteen vastaanottimelle. Myös niin kutsuttu STUK-laskelma pitää tehdä suunnitteluvaiheessa. STUK-laskelmalla tarkistetaan, että millekään sisääntennille ei tule säteilyturvallisuuden kannalta liian suurta tehotasoa. (1.)

Kuvassa 1 on esitetty operaattorikohtaisilla tukiasemilla ja virve-toistimella toteutetun monioperaattoriverkon esimerkkikaavio. Kaaviossa näkyvät pyöreät antennit on yhdistetty sinisellä piirretyn antennikaapelin ja suorakaiteen muotoisten tehonjakajien avulla operaattoreiden tukiasemille. Runkokaapelointi on tehty nelihaaraisena kaapelointina, johon tukiasemat ja virve-toistin on yhdistetty 4x4-hybridin avulla.



KUVA 1. Monioperaattoriverkon kaaviokuva

### 3.2 dBm, dBc ja dBi

Belin kymmenesosa desibeli on käytössä hyvin yleisesti tehojen vertailussa. Desibelin käyttökelpoisuuden taustalla on sen logaritmisuus, minkä ansiosta kaikenlaiset tehomäärät voidaan kuvata järkevän mittaisella dB-arvolla. Desibelin yksiköitä on lukuisia, joista sisäkuuluvuusverkon yhtey-

dessä käytetään yleensä näitä kolmea: dBm eli desibelimilliwatti, dBc eli desibeliä suhteessa hyötysignaaliin sekä dBi, joka tarkoittaa desibeliä suhteessa isotrooppiseen säteilijään. Tällä dBi-yksiköllä voidaan ilmoittaa suuntaavan antennin vahvistus verrattuna pistemäiseen pallomaisesti säteilevään antenniin.

Desibelimilliwatti (dBm) ilmaisee tehon suhteessa yhteen milliwattiin. Nollakohta eli 0 dBm tarkoittaa 1,0 milliwattia, ja esimerkiksi 29 dBm tarkoittaa 29 desibeliä suurempaa tehoa kuin 1 milliwatti ja -60 dBm puolestaan tarkoittaa 60 desibeliä pienempää tehoa kuin 1 milliwatti. Kaavan 1 avulla saadaan desibelimilliwatteina ilmoitettu teho muutettua milliwateiksi. Kaavan 2 avulla taas voidaan muuttaa milliwatteina ilmoitettu teho desibelimilliwateiksi.

$$P(mW) = 1 mW \times 10^{\frac{x}{10}} \quad (\text{KAAVA 1})$$

$$x(dBm) = 10 \log_{10} \frac{P}{1 mW}, \quad (\text{KAAVA 2})$$

jossa  $P$  on teho milliwatteina ja  $x$  on teho desibelimilliwatteina (7; 8).

Esimerkkilasku 1. Matkapuhelin ilmoittaa vastaanotetun radiosignaalin voimakkuudeksi -84 dBm. Paljonko tämä on milliwatteina?

Vastaanotetun radiosignaalin teho milliwatteina (kaava 1):

$$P(mW) = 1 mW \times 10^{\frac{x}{10}}$$

$$P(mW) = 1 mW \times 10^{\frac{-84 dBm}{10}}$$

$$P(mW) = 1 \times 10^{-8,4} mW$$

$$P(mW) = 10^{-8,4} mW$$

$$P(mW) = 0,000\ 000\ 003\ 98 mW$$

Tulokseksi saadaan, että vastaanotetun radiosignaalin teho on 0,000 000 003 98 mW, eli signaalin teho on noin 251 miljoonaa kertaa pienempi kuin 1 milliwatti.

Esimerkkilasku 2. Erään Spinner-merkkisen epäsymmetrisen tehonjakajan nimellinen tehonkesto on 400 W eli 400 000 mW. Paljonko tämä teho on desibelimilliwatteina ilmoitettuna?

Epäsymmetrisen tehonjakajan nimellinen tehonkesto desibelimilliwatteina (kaava 2):

$$x(\text{dBm}) = 10 \log_{10} \frac{P}{1 \text{ mW}}$$

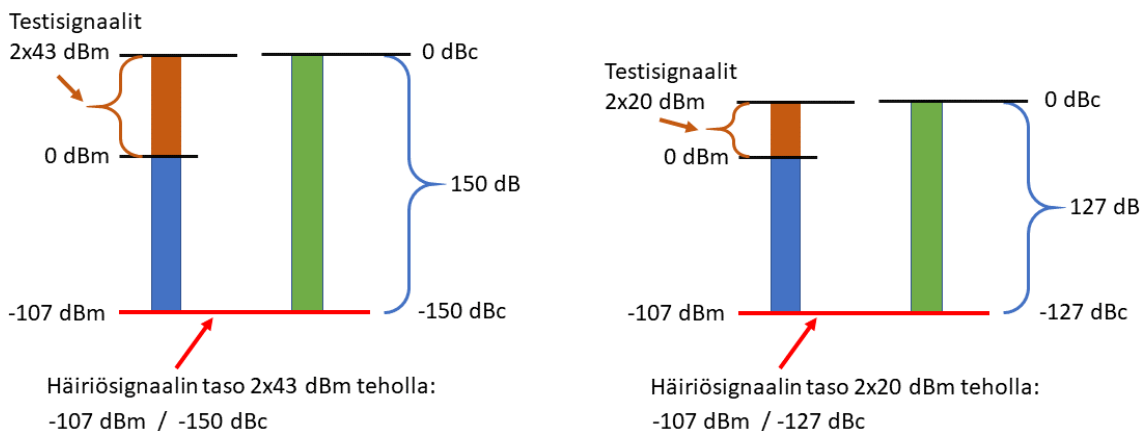
$$x(\text{dBm}) = 10 \log_{10} \frac{400\,000 \text{ mW}}{1 \text{ mW}}$$

$$x(\text{dBm}) = 10 \times 5,602 \text{ dBm}$$

$$x(\text{dBm}) = 56,02 \text{ dBm}$$

Tässä tulokseksi saadaan, että kyseisen tehonjakajan tehonkesto on 56,02 dBm eli 56,02 desibeliä suurempi kuin 1 milliwatti. Edellä lasketut esimerkit kuvaavat hyvin, miksi desibeli on niin käyttökelpoinen tehojen vertailussa. Matkapuhelimen käyttämä -84 dBm:n tehoinen radiosignaali ja epäsymmetrisen tehonjakajan 56,02 dBm:n nimellinen tehonkesto ovat aivan eri suuruusluokkaa keskenään, mutta dBm-muodossa ne molemmat kuitenkin voidaan esittää lyhyesti ja selkeästi.

Toinen sisäkuuluvuusverkkojen yhteydessä käytettävä yksikkö on dBc, jolla ilmoitetaan PIM-häiriösignaalin teho suhteutettuna hyötysignaaliin. Häiriösignaalin teho voi olla esimerkiksi -150 dBc, joka tarkoittaa 150 desibeliä pienempää tehoa kuin alkuperäisellä hyötysignaalilla. Desibelimilliwatteista poiketen 0 dBc ei tarkoita yhtä milliwattia, vaan se on aina kulloisenkin hyötysignaalin tehotaso. Jos hyötysignaali on teholtaan 43 dBm, niin silloin 0 dBc tarkoittaa 43 dBm:n tehoa eli noin 20 wattia. Jos taas hyötysignaali on 20 dBm, 0 dBc tarkoittaa 20 dBm:n tehoa eli noin 100 milliwattia. Kuvassa 2 on esitetty kyseiset tapaukset visuaalisesti. Molemmissa häiriösignaali on -107 dBm:n suuruinen, mutta dBc-arvo on eri, sillä se on suhteutettu testisignaalien tehotasoon.



KUVA 2. dBm ja dBc tehotasoilla 43 dBm ja 20 dBm

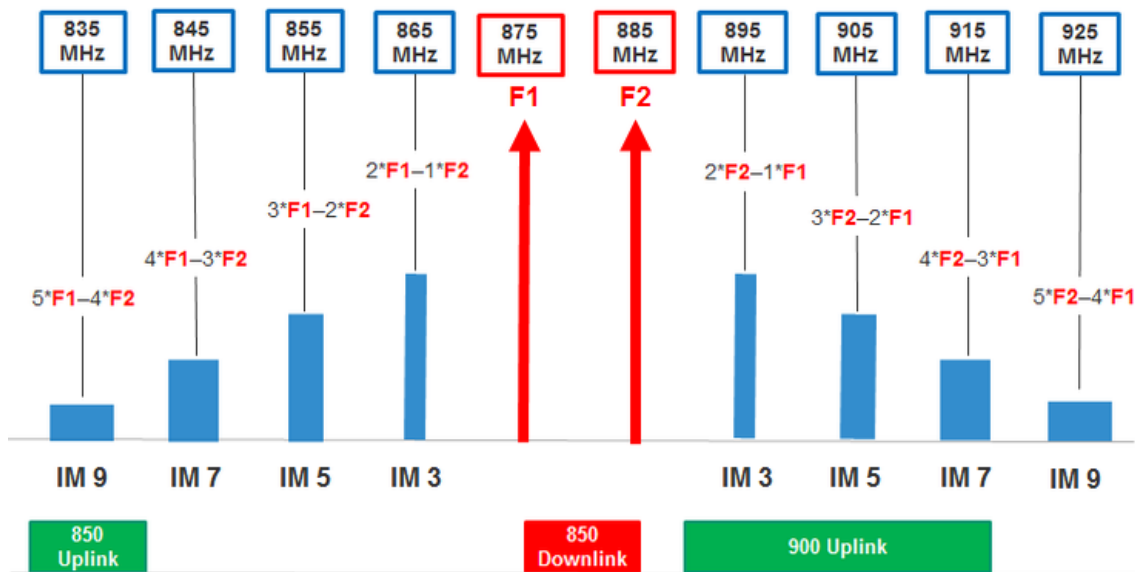
Antennien vahvistus ilmoitetaan dBi-arvona. Se tarkoittaa desibeliä suhteessa isotrooppiseen pistemäiseen säteilijään. Mitä suurempi antennin vahvistus on, sitä enemmän se säteilee antenniin tulevaa tehoa kyseiseen suuntaan, ja toisaalta sitä paremmin se vastaanottaa kyseisestä suunnasta tulevan signaalin. Täysin symmetrisesti ympärisäteilevän antennin vahvistus on joka suuntaan 0 dBi. Antennia, jolla on tällainen täysin symmetrinen säteilykuvio, on käytännössä mahdoton valmistaa, joten ympärisäteilevälläkin antennilla on tiettyihin suuntiin voimakkaampi vahvistus. Suuntaavia antennia valittaessa dBi-arvo on tärkeä tieto. (9.)

### 3.3 PIM, VSWR ja Return Loss

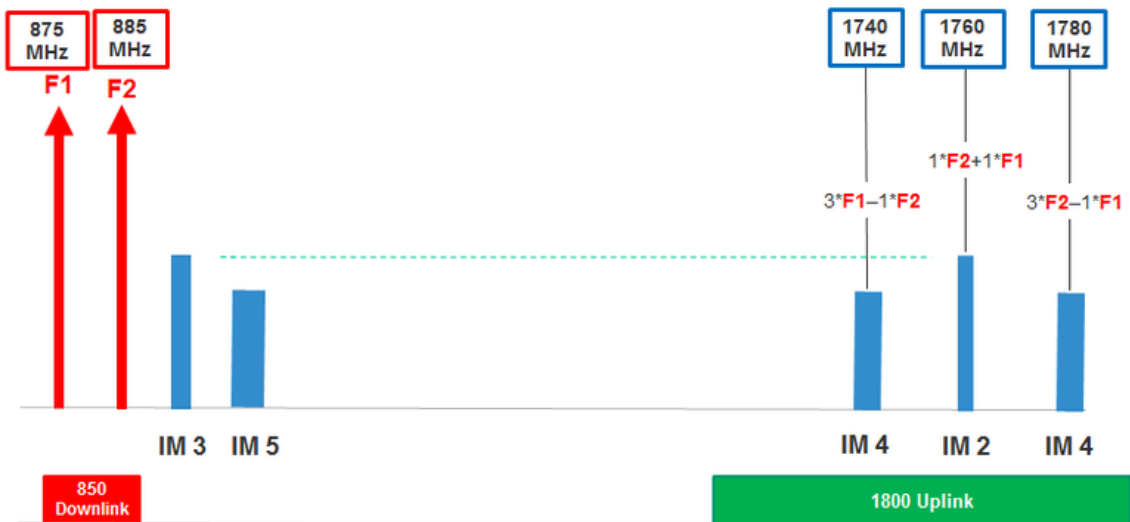
Monioperaattoriverkon suurimpana haasteena voidaan pitää passiivista keskeismodulaatiota (engl. PIM, Passive InterModulation). PIM-signaali on kahdesta tai useammasta hyötysignaalista muodostunut häiriösignaali, jota muodostuu aina jossain määrin. Ollessaan riittävän voimakasta ja osuessaan ylälinkin taajuusalueelle se heikentää sisäverkon suorituskykyä. PIM-särö voi aiheuttaa pätkiviä ja katkeilevia puheluita, rajoittaa datansiirtonopeutta sekä lisätä puhelimen virrankulutusta. (10.)

PIM-häiriötä voi muodostua sisäisesti tai ulkoisesti. Sisäinen PIM voi aiheutua missä tahansa antenniverkon passiivisissa komponenteissa, jotka ovat joko ominaisuuksiltaan tai asennusvirheistä johtuen epälineaarisia. Ulkoinen PIM voi aiheutua antennien läheisyydessä olevista epälineaarisista materiaaleista. Epälineaarisuutta voivat aiheuttaa esimerkiksi löysälle jääneet tai likaiset liittimet, metallihileet kaapelin ulko- tai sisäjohtimen pinnalla, vaurioitunut kaapeli ja toisaalta antennien lähellä olevat metalliset esineet, kuten valaisimet, putket ja opastekyltit (11). Kuvista 3 ja 4 nähdään kahdesta punaisella merkitystä hyötysignaalista muodostuvien PIM-signaalien laskukaavat ja niiden sijoittuminen taajuusalueella.





KUVA 3. Parittomien PIM-häiriösignaalien muodostuminen  $F_1$ - ja  $F_2$ -hyötysignaaleista (11)



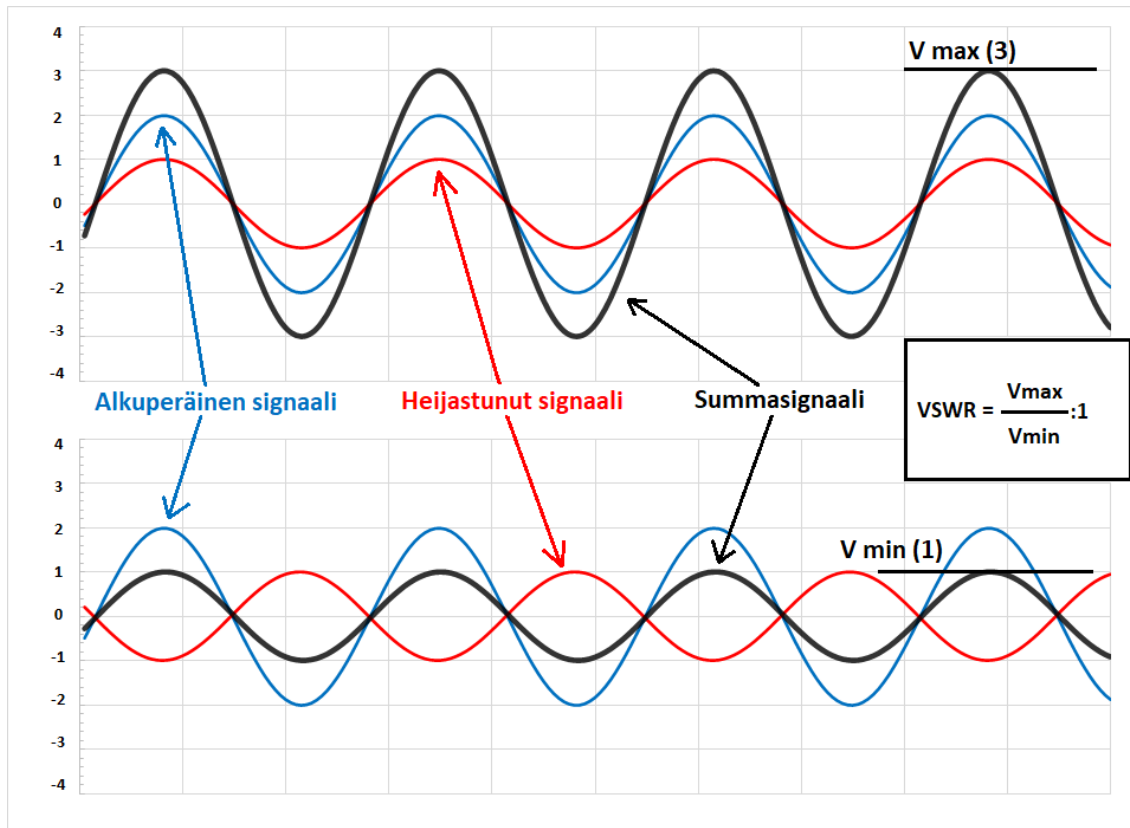
KUVA 4. Parillisten PIM-häiriösignaalien muodostuminen  $F_1$ - ja  $F_2$ -hyötysignaaleista (11)

Mitattaessa keskeismodulaatiota kannattaa pääsääntöisesti keskittyä kolmannen kertaluvun modulaatiotasoon (IM3), koska se on generoituvista häiriösignaaleista voimakkain, kuten kuvasta 3 nähdään. Kun IM3-häiriö saadaan riittävän pieneksi, on todennäköistä, ettei muidenkaan kertaluvujen häiriöistä ole silloin haittaa verkon suorituskyvylle. Esimerkiksi Anritsun MW82119B PIM-mittari toimii siten, että se syöttää kaksi tietyn taajuista testisignaalia halutulla tehotasolla sisäntenniverkkoon, ja mittaa näistä testisignaaleista sisäverkossa muodostuneen IM3-, IM5- tai IM7-häiriön voimakkuuden. Mittarin syöttämien testisignaalien teho voidaan valita 20 dBm:n (0,1 W) ja 46 dBm:n (40 W) väliltä. (12; 13.)

PIM-häiriön voimakkuus riippuu syötetystä tehosta. On havaittu, että jokainen 1 desibelin lisäys syötettyyn tehoon lisää IM3-häiriön voimakkuutta noin 3 desibelin verran. Sisäkuuluvuusverkon PIM-taso tulee mitata vähintään  $2 \times 43 \text{ dBm:n}$  ( $2 \times 20\text{W}$ ) teholla IEC 62037-standardin mukaisesti. (13.)

VSWR tulee sanoista Voltage Standing Wave Ratio, ja se kertoo, kuinka hyvin yksittäinen komponentti tai vaikkapa koko antennijärjestelmä on sovitettu ominaisimpedanssiinsa. Jos VSWR on 1:1, ovat teholähteen ja kuorman impedanssit silloin täysin keskenään sopivat, eikä alkuperäisestä hyötysignaalista siroa lainkaan heijastusta, eli kaikki syötetty teho menee kuormaan. Toisessa ääripäässä on tilanne, jossa VSWR on  $\infty:1$ , jolloin kaikki syötetty teho heijastuu takaisin (14). Todellisten antennikomponenttien VSWR-arvot ovat jotain näiden väliltä. Koska impedanssi on taajuusriippuvainen, myös VSWR muuttuu usein taajuuden mukana. Tämän takia laajakaistaisten komponenttien teknisissä tiedoissa ilmoitetaan usein monta eri VSWR-arvoa kullekin taajuusalueelle.

Kuvassa 5 on esitetty, mistä VSWR-lukema muodostuu. Alkuperäinen signaali, jonka huippuarvon itseisarvo on 2, heijastuu takaisin signaalina, jonka huippuarvon itseisarvo on 1. Näiden summasignaali saa vaiheesta riippuen arvon  $3:n$  ja  $1:n$  väliltä. Kuvassa on esitetty tilanteet, joissa summasignaali on suurimmillaan ja pienimmillään. VSWR on tässä tapauksessa 3,0:1.



KUVA 5. VSWR:n muodostuminen

Return Loss, suomeksi heijastusvaimennus, kuvaa VSWR:n tavoin antennikomponentin tai järjestelmän laatua, tarkemmin sanottuna sitä, kuinka suuri osa syötetystä tehosta menee kuormaan. VSWR:sta poiketen Return Loss ilmoitetaan desibeleinä. Mitä suurempi Return Loss -arvo on, sitä suurempi on kuormaan menevän tehon osuus ja sitä vähemmän järjestelmässä on heijastunutta tehoa. Arvon ollessa 0 dB kaikki syötetty teho heijastuu takaisin. Jos Return Loss -arvo on 10 dB, tarkoittaa se, että kymmenesosa eli 10,0 % tehosta heijastuu takaisin. Jos Return Loss on 20 dB, heijastunutta tehoa on sadasosa eli 1,0 %, ja 30 dB:n Return Loss tarkoittaa, että 0,1 % eli tuhanesosa syötetystä tehosta heijastuu takaisin. Kaavojen 3 ja 4 avulla voidaan laskea Return Loss-tai VSWR-arvo, kun tiedetään toinen arvoista (14).

$$Return\ Loss = -20 \log_{10} \left( \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right) dB \quad (KAAVA\ 3)$$

$$VSWR = \frac{10^{\frac{Return\ Loss\ (dB)}{20}} + 1}{10^{\frac{Return\ Loss\ (dB)}{20}} - 1} : 1 \quad (KAAVA\ 4)$$

Esimerkkilasku 3. Antenninvalmistaja ilmoittaa antennin VSWR-arvoiksi 900 MHz:n taajuudella enintään 1,6:1 ja 2400 MHz:n taajuudella enintään 1,3:1. Paljonko kyseisen ehjän antennin Return Loss -arvojen tulisi olla kyseisillä taajuuksilla?

Return Loss 900 MHz:n taajuudella (kaava 3):

$$Return Loss = -20 \log_{10} \left( \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \right) dB$$

$$Return Loss = -20 \log_{10} \left( \frac{1,6:1 - 1}{1,6:1 + 1} \right) dB$$

$$Return Loss = -20 \times -0,636822 dB$$

$$Return Loss = 12,73 dB$$

Return Loss 2400 MHz:n taajuudella (kaava 3):

$$Return Loss = -20 \log_{10} \left( \frac{1,3:1 - 1}{1,3:1 + 1} \right) dB$$

$$Return Loss = -20 \times -0,884607 dB$$

$$Return Loss = 17,69 dB$$

Tuloksena saadaan, että 900 MHz:n taajuudella ehjän antennin Return Loss on 12,73 dB ja 2400 MHz:n taajuudella 17,69 dB.

Esimerkkilasku 4. Antennikaapelihaarasta mitattiin 23 dB:n Return Loss 1800 MHz:n taajuudella. Muuta Return Loss -arvo VSWR-arvoksi.

VSWR 1800 MHz taajuudella (kaava 4):

$$VSWR = \frac{10^{\frac{Return Loss (dB)}{20}} + 1}{10^{\frac{Return Loss (dB)}{20}} - 1} : 1$$

$$VSWR = \frac{10^{\frac{23 dB}{20}} + 1}{10^{\frac{23 dB}{20}} - 1} : 1$$

$$VSWR = \frac{15,1254}{13,1254} : 1$$

$$VSWR = 1,15 : 1$$

Laskun tuloksena saadaan kysytty 23 dB:n Return Loss -arvoa vastaava VSWR-arvo 1,15:1.

### **3.4 Kaapelit ja komponentit**

Sisäkuuluvuusverkko rakennetaan usein siten, että valittu urakoitsija asentaa varsinaisen sisäverkon siihen kuuluvine komponentteineen, jonka jälkeen operaattorit tuovat omat aktiivilaitteensa kiinteistön tekniseen tilaan ja liittyvät sieltä valmiiseen sisäverkkoon. Seuraavassa on kerrottu tarkemmin kaapeleista ja komponenteista sisäverkkourakoitsijan osalta. Operaattoreiden aktiivilaitteita ei käsitellä tarkemmin tässä työssä.

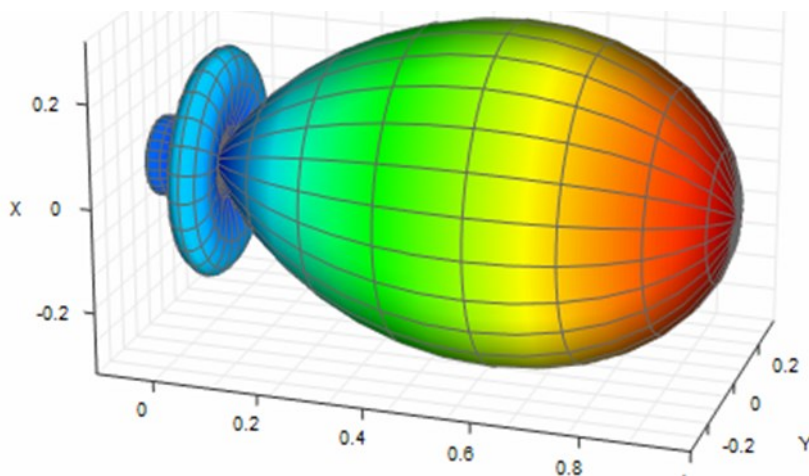
#### **3.4.1 Antennit**

Antenni on tyypillisesti sisäkuuluvuusverkon ainoa näkyviin jäävä osa. Se sijoitetaan usein tyypistä riippuen alakattolevyyn tai seinälle katonrajaan, kuten kuvassa 6. Sisäkuuluvuusverkon antennina voidaan käyttää suuntaavaa paneeliantennia tai ympärisäteilevää lautasantennia, riippuen ympäröivän tilan muodosta. Lisäksi antenniksi voidaan lukea säteilevä kaapeli, josta on kerrottu tarkemmin luvussa 3.4.2.



KUVA 6. Vasemmalla seinälle asennettu suuntaava paneeliantenni ja oikealla ympärisäteilevä lautasantenni alakattolevyssä

Suuntaavalla antennilla on usein ympärisäteilevää antennaa suurempi vahvistus, mutta vain tiettyyn suuntaan. Suuntaava antenni voidaan asentaa esimerkiksi kapean käytävän päätyseinään, josta sen pääkeila kohdistuu käytävälle. Myös avaraan aulatilaan voidaan asentaa suuntaavat paneeliantennit seinille, joista ne tehokkaasti kattavat kyseisen tilan. Toistinten sieppausantenneina käytetään ulkokäyttöön soveltuvia suuntaavia antenneja. Kuvassa 7 on esitetty suuntaavan antennin säteilykuvio 3D-mallina ja kuvassa 8 kahden eri rakennuksen virve-toistimien suuntaavat sieppausantennit.

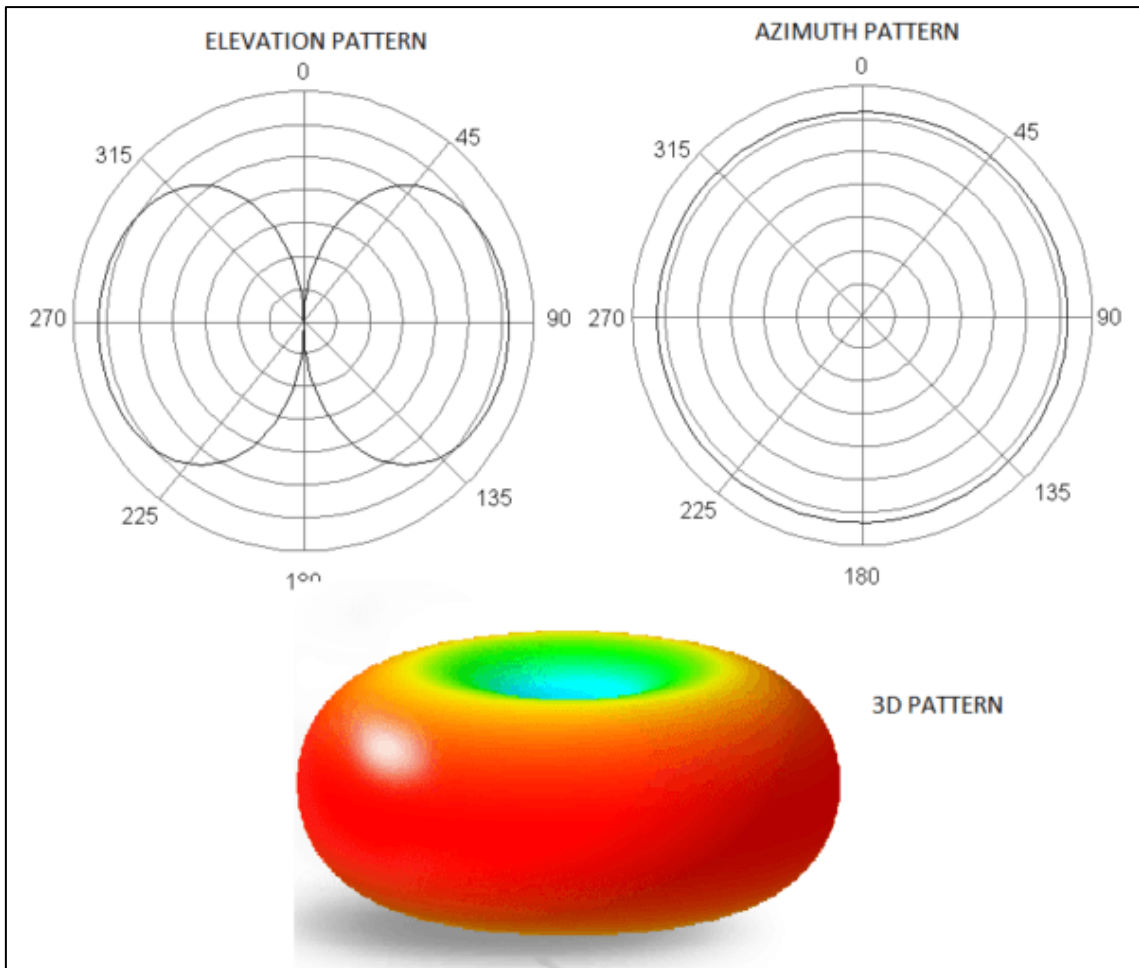


KUVA 7. Suuntaavan antennin säteilykuvion periaatteellinen 3D-malli (15)



*KUVA 8. Kahden rakennuksen virve-toistimien sieppausantennit seinälle ja mastoon asennettuna*

Matalaprofiilisen ympärisäteilevän lautasantennin säteilykuvio on yleensä kuvan 9 mukainen, eli säteilykuvio muistuttaa donitsia. Tällainen antenni säteilee kohtalaisen tasaisesti 360 astetta ympäristöönsä, mutta ei suoraan antennin ylä- ja alapuolelle. Se kiinnitetään yleensä alakattolevyyn, ja nykyisin on saatavilla hyvillä ominaisuuksilla olevia matalaprofiilisia lautasantenneja, jotka sulautuvat hyvin ympäristöönsä. On kuitenkin hyvä muistaa, että etenkin matalaprofiilinen lautasantenni säteilee yhtä voimakkaasti myös taustapuolelle eli kattoon päin, joten siellä olevat materiaalit tulee PIM-särön kannalta ottaa huomioon antennia asennettaessa.



KUVA 9. Ympärisäteilevän lautasantennin tyypillinen säteilykuvio (16)

### 3.4.2 Antennikaapelit

Antennikaapeleita on kahta päätyyppiä: tavallinen ns. feeder-kaapeli ja säteilevä eli vuotava kaapeli. Tavallista antennikaapelia käytetään siirtotienä antennien ja operaattorien laitteiden välillä. Säteilevässä eli vuotavassa kaapelissa kaapelin ulkojohdin on aukotettu, jolloin näistä aukoista pääsee RF-signaali kaapelin ulkopuolelle ja ulkoa kaapelin sisälle, ja kaapeli toimii tällöin antennina. Säteilevää kaapelia käytetään pääasiassa tunneleissa, jolloin saadaan tasainen peitto koko tunnelin matkalle, eikä erillisiä antennia tarvita.

Kaapeleita on halkaisijaltaan useita kokoja, joiden halkaisija ilmoitetaan tuumina. Yleisimmät koot ovat 1/4", 1/2", 7/8", 1 1/4" ja 1 5/8". Tavallisen kokoisten kiinteistöjen sisäkuuluvuusverkoissa käytetään lähinnä 7/8":n ja 1/2":n kaapeleita. Jos kaapeloitava välimatka on huomattavan pitkä, saatetaan käyttää myös 1 1/4":n tai jopa 1 5/8":n kaapeleita. Käytettävän koon ratkaisee kaapeloinnin

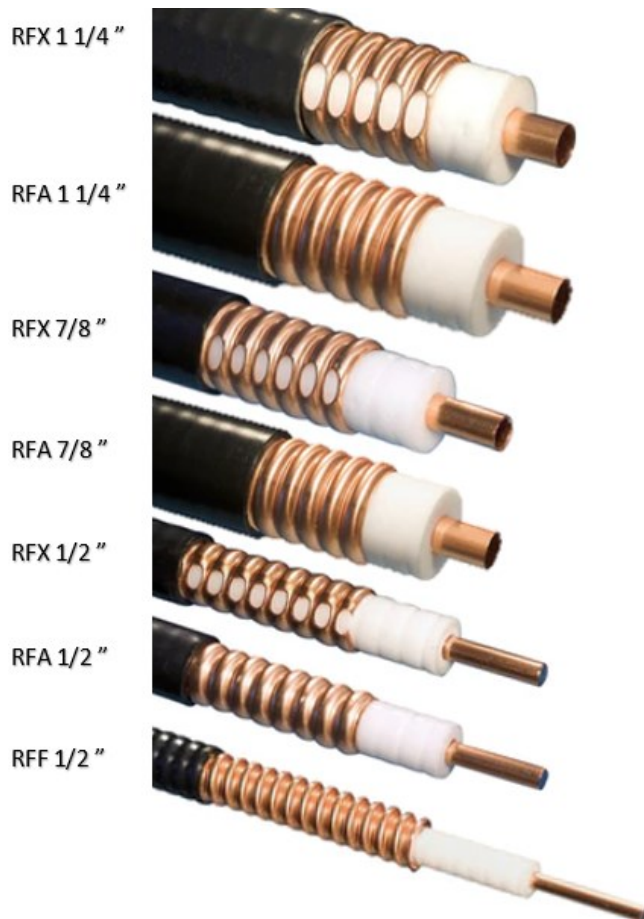


pituus, sillä ohuet kaapelit vaimentavat RF-signaaleja enemmän. Kaapelin paksuuden lisäksi taajuus vaikuttaa vaimenemiseen, kuten taulukosta 1 voi havaita.

TAULUKKO 1. Kolmen Eupen-merkkisen antennikaapelin vaimennus eri taajuuksilla (17)

Taajuus (MHz)	Vaimennus lämpötilassa 20°C		
	1 5/8" (dB/100m)	7/8" (dB/100m)	1/2" (dB/100m)
10	0.20	0.35	0.67
20	0.29	0.49	0.95
30	0.36	0.61	1.17
80	0.59	1.00	1.92
100	0.67	1.12	2.15
150	0.82	1.38	2.65
200	0.96	1.61	3.07
300	1.18	1.98	3.79
400	1.38	2.31	4.41
450	1.47	2.46	4.69
500	1.56	2.60	4.96
600	1.72	2.86	5.46
700	1.87	3.11	5.92
800	2.01	3.34	6.36
894	2.14	3.55	6.74
960	2.23	3.68	7.01
1000	2.28	3.77	7.16
1500	2.86	4.70	8.91
1700	3.07	5.04	9.54
1800	3.17	5.20	9.85
1880	3.25	5.33	10.08
2000	3.37	5.51	10.43
2170	3.53	5.77	10.91
2200	3.56	5.82	10.99
2300	3.65	5.96	11.27
2400	3.74	6.11	11.54
2500	3.83	6.25	11.80
2700	4.01	6.53	12.32
3000	-	6.93	13.06
4000	-	8.17	15.36
6000	-	-	19.39

Feeder-kaapeleiden lisäksi sisäantenniverkossa käytetään valmiskaapeleita eli jumppereita. Jumpperi on yleensä pituudeltaan puolesta metrillä viiteen metriin, mutta tätäkin pidempiä on saatavilla. Jumpperi on valmistettu tavallista taipuisammasta 1/2":n kaapelista, ja siihen on asennettu tehtaalla valmiiksi halutun tyyppiset liittimet. Jumpperilla on helppoa ja nopeaa kytkeä esimerkiksi antenni, joka sijaitsee tehonjakajan lähellä. Kuvaan 10 on koottu Drakan korrugoituja kaapeleita, joista alimmaisena on jumppereissa käytetty tyyppi.



KUVA 10. Drakan säteileviä ja tavallisia antennikaapeleita (18)

Kaapeleiden ulkojohdin on korrugoitu eli muotoiltu aaltoilevaksi, jotta kaapelia on mahdollista taivuttaa rikkomatta ulkojohdinta. Kaapelinvalmistajat määrittävät kullekin kaapelityypille ja paksuudelle minimitaivutussäteen, jonka kaapeli kestää ilman, että sen ominaisuudet kärsivät. On olemassa myös punottuja antennikaapeleita, mutta niitä ei tule käyttää monioperaattoriverkossa, sillä ne ovat ongelmallisia keskeismodulaation kannalta.

### 3.4.3 Liittimet

Sisäverkon kaapeleiden ja komponenttien rajapinnoilla on tarpeen käyttää siihen tarkoitukseen sopivia liittimiä. Sisäantenniverkossa voidaan yleisesti käyttää kolmea eri liitintyyppiä. Liitintyyppi 7/16 on perinteinen ja aiemmin yleisesti käytössä ollut standardiliitin. Nykyisin käytetyin liitintyyppi on 4.3–10. Sen PIM-ominaisuudet ovat paremmat, se on kevyempi ja pienempi kuin 7/16 ja lisäksi sen toimivuus ei ole riippuvainen kiristysmomentista, kuten 7/16-liittimessä (19). Kolmas liitintyyppi on N, jota on yleisesti saatavilla ja jota käytetään vielä jonkin verran varsinkin matalampitaajuisten

antennien liittimenä. Tämän tyyppin liitin ei ole PIM-ominaisuuksiltaan niin hyvä kuin 4.3–10, ja sen tulee olla oikein kiristettynä toimiakseen luotettavasti.

Kaikkia kolmea edellä mainittua liitintyyppiä käytetään edelleen, vaikkakin 4.3–10 on nykyisin yleistymässä. Kuvaan 11 on koottu näiden kolmen eri tyyppin liittimet 1/2":n kaapelille. Kuvassa näkyy hyvin liittimien kokoero. Liittimistä pienin on N, ja 4.3–10 on sitä hieman suurempi. Liitin 7/16 on muita huomattavasti suurempi ja on kokonsa vuoksi hankala käyttää ahtaissa tiloissa.



KUVA 11: Spinner-merkkisiä liittimiä 1/2":n RF-kaapelille (20)

Joskus rajapinnat eivät ole keskenään yhteensopivia. Adapterin avulla kaksi erityyppistä liitintä voidaan liittää yhteen. On myös adaptereita, joilla saadaan yhdistettyä kaksi saman liitintyyppin uros- tai naarasliitintä. Kuvassa 12 on esitetty erityyppisiä adaptereita.



KUVA 12. RF-adaptereita (21)

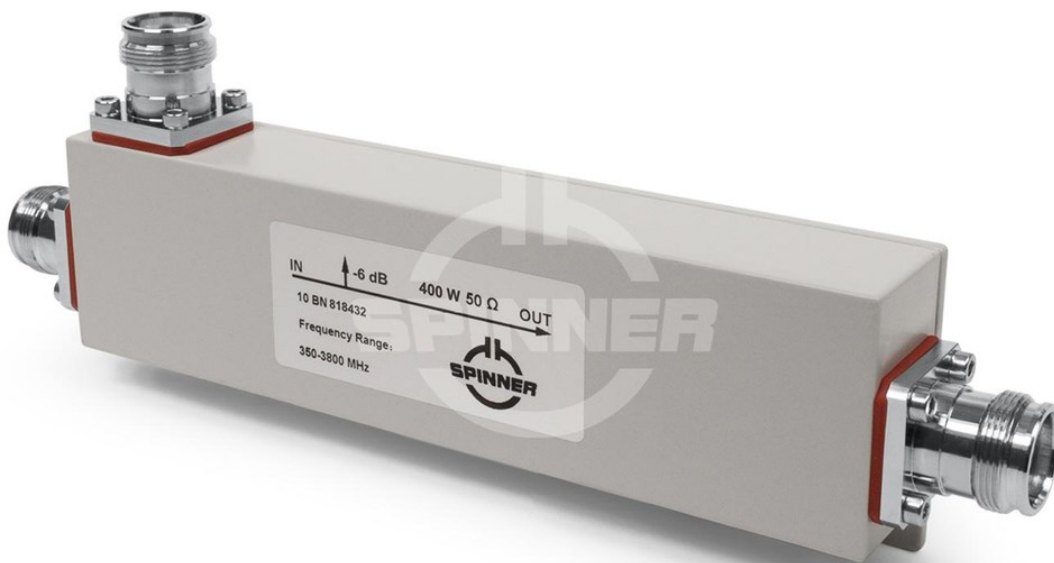
### 3.4.4 Tehonjakajat

Runkokaapelointi saadaan jaettua useampaan haaraan symmetrisillä ja epäsymmetrisillä tehonjakajilla. Symmetriset tehonjakajat nimensä mukaisesti jakavat tehon yhtä suuriin osiin. Symmetrisiä jakajia on olemassa kaksi-, kolme- ja neljähaaraisina, ja niitä käytetään silloin, kun tarvitaan yhtä suuri teho kaikissa haaroissa. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi runkokaapeloinnin loppupäässä, johon liitetään kaksi antennia saman etäisyyden päähän jakajasta. Kuvassa 13 on kolme Dual B -merkkistä symmetristä tehonjakajaa.



KUVA 13. Dual B:n symmetriset tehonjakajat 4.3-10F -liittimillä (22)

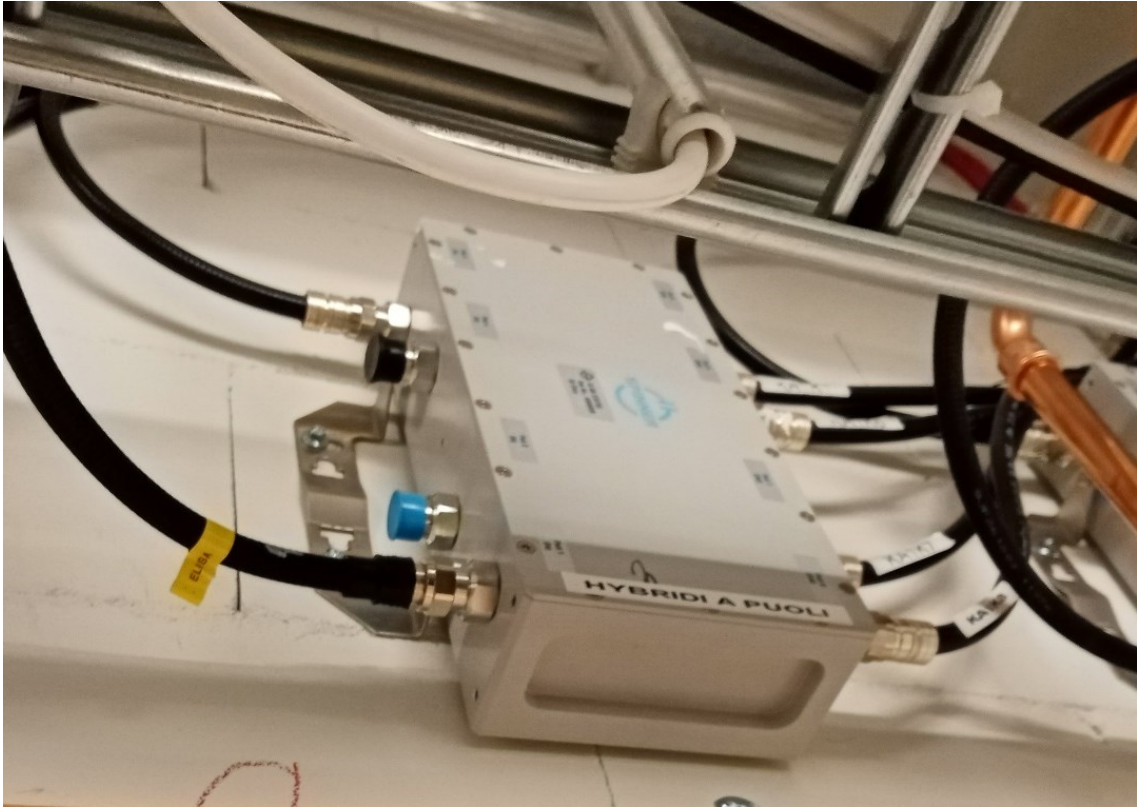
Epäsymmetrinen jakaja eli tapperi (engl. tapper), jakaa siihen tulevan signaalin kahteen erisuuruiseen osaan. Tappereita on hyvin monella eri tehonjakosuhteella alkaen kolmasosasta aina tuhannesosaan saakka. Tapperia tarvitaan, kun halutaan ottaa runkokaapelissa siirtyvästä tehosta pieni osa esimerkiksi antennia varten. Tavoitteena sisäkuuluvuusverkoissa on, että kaikille antennille tulisi saman verran tehoa. Koska kaapeli ja muut antennijärjestelmän komponentit aiheuttavat aina vaimennusta, tulisi lähellä tukiasemaa oleviin antenneihin suurempi tehotaso ilman epäsymmetristä jaotusta. Kuvassa 14 on Spinner-merkkinen epäsymmetrinen tehonjakaja, jonka jakosuhte on -6 dB. Tämä tarkoittaa, että jakajaan tulevasta tehosta neljäsosa ohjautuu jakajan sivuhaaraan, ja kolme neljäsosaa jatkaa jakajan läpi eteenpäin.



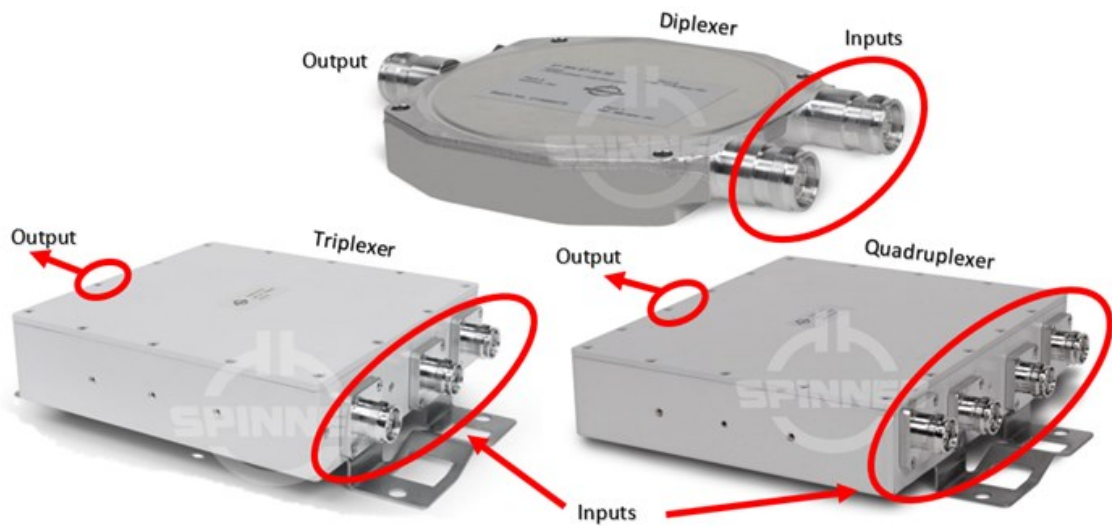
KUVA 14. Spinnerin epäsymmetrinen tehonjakaja 4.3-10F -liittimillä (23)

### 3.4.5 Hybridit

Monioperaattoriverkon ideana on usean operaattorin liittyminen samaan sisäverkkoon. Jotta useampi tukiasema saadaan kytkettyä samaan runkokaapelointiin, tarvitaan jonkinlainen yhdyselementti tukiasemien aktiivilaitteiden ja sisääntenniverkon runkokaapeleiden väliin. Hybridi on tällainen yhdyselementti, jossa on yhtä monta sisäänmeno- ja ulostuloliitäntää, ja se jakaa signaalit tasaisesti jokaiselle liitännälle. On myös olemassa yhdistimiä, joissa on monta sisäänmenoliitäntää ja vain yksi ulostuloliitäntä. Näitä kutsutaan sisäänmenoliitinten lukumäärän mukaisesti diplexereiksi, triplexereiksi ja quadruplexereiksi. Kuvassa 15 on seinälle asennettu 4x4-hybridi, ja kuvassa 16 on esitetty edellä mainittuja erityyppisiä yhdistimiä.



KUVA 15. Spinner 4x4 hybridi asennettuna kiinteistön tekniseen tilaan



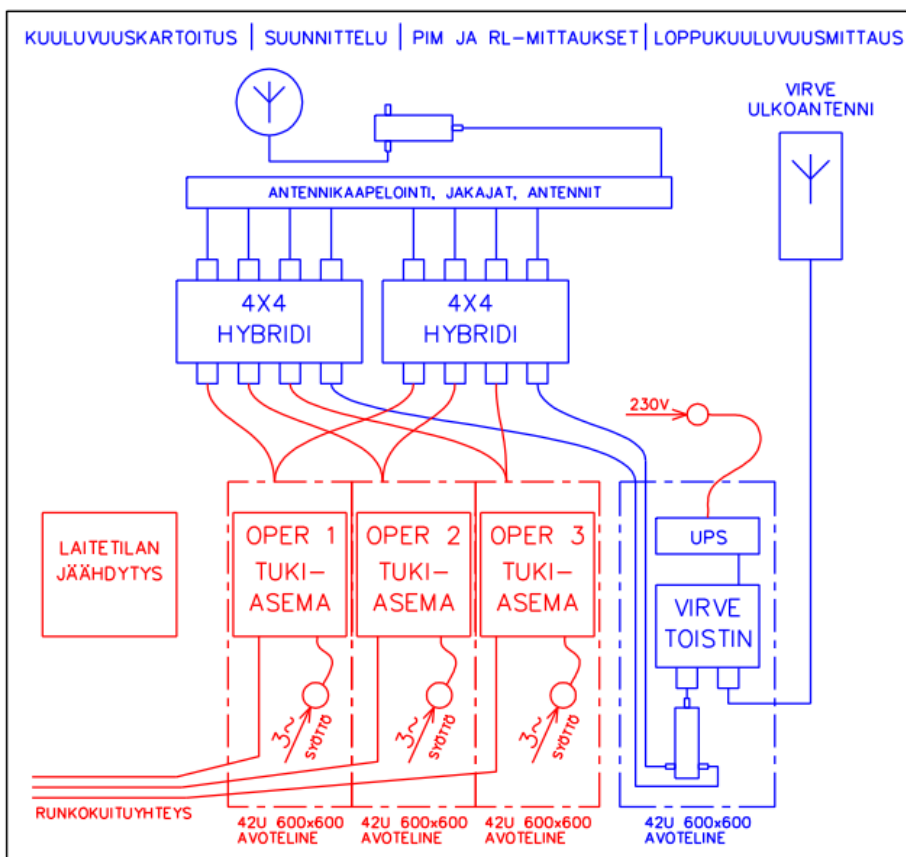
KUVA 16. Spinner-merkkisiä yhdyselementtejä (24)



## 4 PROJEKTIN TOTEUTUS

Tässä luvussa käydään läpi vuonna 2020 toteutettu monioperaattoriverkkoprojekti. Urakka toteutettiin kokonaisuutena, joka sisälsi antenniverkon rakentamisen kaikki vaiheet kuuluvuuden alkukartoituksesta projektin luovutukseen. Kuuluvuuden alkukartoitus, antenniverkon suunnittelu ja lopukuuluvuusmittaus toteutettiin alihankintana, sillä yrityksellä ei ollut tarvittavia kuuluvuusmittausvälineitä eikä toisaalta kokemusta sisäantenniverkon suunnittelusta. Antenniverkon asennustyö, PIM- ja Return Loss- eli heijastusvaimennusmittaukset sekä lopulliset toteutuskuvat tehtiin yrityksen omalla työvoimalla. Lisäksi virve-toistimen ja sieppausantennin asennus sekä siihen liittyvät kaapeloinnit, UPS-laite ja laiteteline sisältyivät sisäkuuluvuusurakkaan.

Sisäkuuluvuusurakoitsijan ja operaattoreiden välinen urakkaraja oli hybridien sisäänmenoliittimissä, joihin operaattorit kytkivät omat aktiivilaitteensa jumpperikaapeleilla. Kuvassa 17 on esitetty kaavion muodossa projektin urakkarajat. Sinisellä merkityt osuudet sisältyivät sisäkuuluvuusurakkaan ja punaisella merkityt osuudet olivat joko operaattoreiden tai sähköurakoitsijan hankinnassa.



KUVA 17. Sisäkuuluvuusprojektin urakkarajat kyseisessä kohteessa

## 4.1 Alkukartoitus ja suunnittelu

Sisäkuuluvuusprojekti käynnistyi kuuluvuuden alkukartoituksella vuoden 2019 loppupuolella, jolloin rakennuksen ulkoseinät ja ikkunat olivat jo paikoillaan. Kuuluvuusmittauksen pohjalta oli tultu siihen lopputulokseen, että kuuluvuus ei ole riittävä ilman parantavia toimenpiteitä. Paikallinen pelastusviranomaisen määritteli viranomaisverkon kuuluvuustarpeen kaikkiin rakennuksen kerroksiin, joten jo pelkkää virve-verkkoa varten olisi pitänyt rakentaa kattava toistintyyppinen sisäantennijärjestelmä. Koska matkapuhelintaajuuksienkin kuuluvuus oli heikolla tasolla, oli järkevää suunnitella sisäverkko laajakaistaiseksi monioperaattoriverkoksi. Koska 5G-tekniikka on koko ajan yleistymässä matkapuhelimissa, varauduttiin 5G:n tuloon valitsemalla käytettävät antennit, tehonjakajat, hybridit ja muut sisäverkon komponentit siten, että ne toimivat 380–3800 MHz:n taajuusalueella. Kohteeseen rakennetun sisäantenniverkon kaavio on tämän työn liitteenä 1.

## 4.2 Asennus

Sisäantenniverkon varsinainen asennustyö aloitettiin jo varsin aikaisessa vaiheessa runkokaapeloinnilla. Runkokaapelia oli usein asentamassa vähintään kaksi asentajaa, jotta vaikeasti taivuteltava 7/8":n antennikaapeli saatiin helpommin asennettua johtoteille. Runkokaapeli katkaistiin aina tasokuvaan piirrettyjen tehonjakajien kohdalta rautasahalla, ja kaapeliin asennettiin liittimet akkuporakoneeseen liitettyä kuorintatyökalua apuna käyttäen. Kuorintatyökalun avulla kaapelin pään valmistelu nopeutui ja liittospinoista tuli aina suoria ja valmiiksi oikean muotoisia. Käytössä oli kuvan 18 mukaiset työkalut 1/2":n ja 7/8":n kaapeille. Kuvassa näkyvällä sylinterimäisellä, porakoneella pyöritettävällä työkalulla kuorittiin kaapeli, jonka jälkeen liittospinta puhdistettiin huolellisesti metallihileistä ja muista epäpuhtauksista. Puhdistamisessa käytettiin isopropanoliin kastettuja vanupuikkoja, joilla varmistettiin, ettei liitokseen jää käsistä epäpuhtauksia. Liitospinnan puhdistamisen jälkeen asennettava liitin purettiin ohjeen mukaisesti ja liittimen runko-osa asennettiin kaapeliin. Tämän jälkeen käytettiin kuvassa 18 etualalla näkyvää käsin pyöritettävää työkalua, jolla saatiin kaapelin ulkojohtimen leikkauspinta muovattua oikean muotoiseksi. Lopuksi liitin kasattiin kokonaiseksi kiristämällä liittimen osat toisiinsa. Liitin suojattiin muovilla, jos sitä ei heti kytketty kiinni tehonjakajaan, jotta sen liittospinnat eivät pölyntyisi ja aiheuttaisi myöhemmin PIM-ongelmia.





KUVA 18. Kaapelin kuorintatyökalut (25)

Antennien likimääräiset sijoituspaikat oli suunnittelija määritellyt tasopiirustuksiin. Lopulliset sijoituspaikat etsittiin antenna asennettaessa tasokuviin piirretyn paikan lähialueelta, yleensä puolen- toista metrin säteellä piirretystä paikasta. Tehonjakajiin oli kytketty antenna varten yleensä 2 metrin mittainen jumpperikaapeli, joka mahdollisti antennin sijoittamisen mitattuun paikkaan. Tarkoituksena oli saada antennit PIM-häiriön kannalta mahdollisimman edulliseen paikkaan. Ulkoisista rakenteista johtuvan passiivisen keskeismodulaation muodostumisen havaittiin olevan niin monimutkaista, ettei silmämääräisesti ilman mittauksia voitu sanoa, onko jokin paikka antennille esimerkiksi alakatossa hyvä vai huono. Antennipaikkoja haettaessa huomattiin usein, että muutaman kymmenen senttimetrin siirtämisellä saattoi olla kymmenien desibelien vaikutus ulkoisen PIM-häiriön voimakkuuteen, vaikkei paikoissa silmämääräisesti näyttänyt olevan eroa.

Antennit ja tehonjakajat merkittiin yksilöivillä tunnuksilla, joista käy selville komponentin tyyppi ja hybridi, jonka perässä komponentti on, sekä rakennuksen kerros, jossa komponentti sijaitsee. Näiden tietojen lisäksi komponentit yksilöitiin kerroskohtaisesti juoksevalla numeroinnilla. Esimerkiksi viidennen kerroksen B-hybridin kolmas tehonjakaja merkattiin tunnuksella JB53. Vastaavasti AA23 tarkoittaa antenna, joka on yhteydessä A-hybridiin, sijaitsee toisessa kerroksessa ja on sen kerroksen kolmas antenni. Teknisistä syistä AB14- ja AA15-antennien syöttökaapelointi toteutettiin lopulta alkuperäisestä suunnitelmasta poiketen eri reittiä, joten niiden osalta tunnuksot ovat ristiriidassa tämän nimeämistyylin kanssa, kuten liitteen 1 kaaviosta nähdään.

### 4.3 Mittaukset

Hankkeen eri vaiheissa tehtiin useita mittauksia. Alkuvaiheen kuuluvuuskartoitussmittauksen pohjalta rakennukseen päätettiin hankkia monioperaattoriverkko, johon on mahdollista liittää kolmen operaattorin tukiasemat sekä virveä varten toistin. Antennien paikanhakumittaukset tehtiin rakennuksen ollessa siinä vaiheessa, että antenneja voitiin alkaa sijoittamaan alakattolevyihin. Sisäverkon valmistuttua varmistettiin verkon eheys Return Loss- eli heijastusvaimennusmittauksin ja mitattiin PIM-tasot jokaisesta hybridiltä lähtevästä haarasta sekä jokaisesta hybridin sisäänmenoportista. Sisäverkon käyttöönoton jälkeen käytiin vielä mittaamassa todellinen kuuluvuustaso loppukuuluvuusmittauksella rakennuksen jokaisesta kerroksesta. Alkukartoituksen ja loppukuuluvuusmittauksen suorittamisessa käytettiin kummassakin samanlaista siihen tarkoitukseen valmistettua mittaussjärjestelmää, ja nämä mittaukset suoritti ulkopuolinen yritys, jolla oli niihin soveltuva mittaussjärjestelmä ja ammattitaito.

Antennien paikanhaussa käytettiin kuvan 19 mukaista Boonton PIM21 -mittaria. Kyseinen mittari on ensimmäisiä keskeismodulaation mittaamiseen kehitettyjä mittareita ja ominaisuuksiltaan varsin vaatimaton. Se soveltui kuitenkin antennien paikanhakuun, ja sen avulla antennit saatiin asennettua paikkoihin, joissa ulkoinen PIM-arvo oli alle -125 dBc. Paikanhakumittaukset tehtiin tehotasolla 2 x 30 dBm eli 2 x 1,0 W. Käytännössä työ suoritettiin siten, että antenni liitettiin 5 metrin jumpperikaapelilla kiinni PIM21-mittariin. Tämän jälkeen toinen työntekijöistä kiipesi tikkaiden avulla alakattolevyjen kohdalle ja liikkui antennia hitain liikkein halutun sijoituskohdan läheisyydessä. Mittaria käyttävä työntekijä laittoi mittarin mittaamaan ja seurasi mittarin näytöltä, milloin PIM-taso olisi mahdollisimman alhainen. Sopivan paikan löydyttyä alakattolevyyn tehtiin kyseiseen kohtaan läpivienti antennin kiinnitystä varten. Antenni kiinnitettiin alakattolevyyn ja levy asennettiin antennin kanssa omalle paikalleen. Tämän jälkeen tikkaat ja muut irtomateriaalit siirrettiin antennin läheisyydestä pois ja mitattiin vielä kertaalleen asennetun antennin PIM-taso. Jos PIM oli edelleen hyvällä tasolla, antenni liitettiin kiinni sisääntenniverkkoon. Jos PIM-taso oli huonontunut, pyöritettiin antennia alakattolevyissä ja näin saatiin PIM-taso yleensä takaisin hyvälle tasolle. Antennin pyörittämisellä on vaikutusta, sillä antennin säteilykuvio ei ole ympärisäteilevässäkään antennissa täysin symmetrinen.

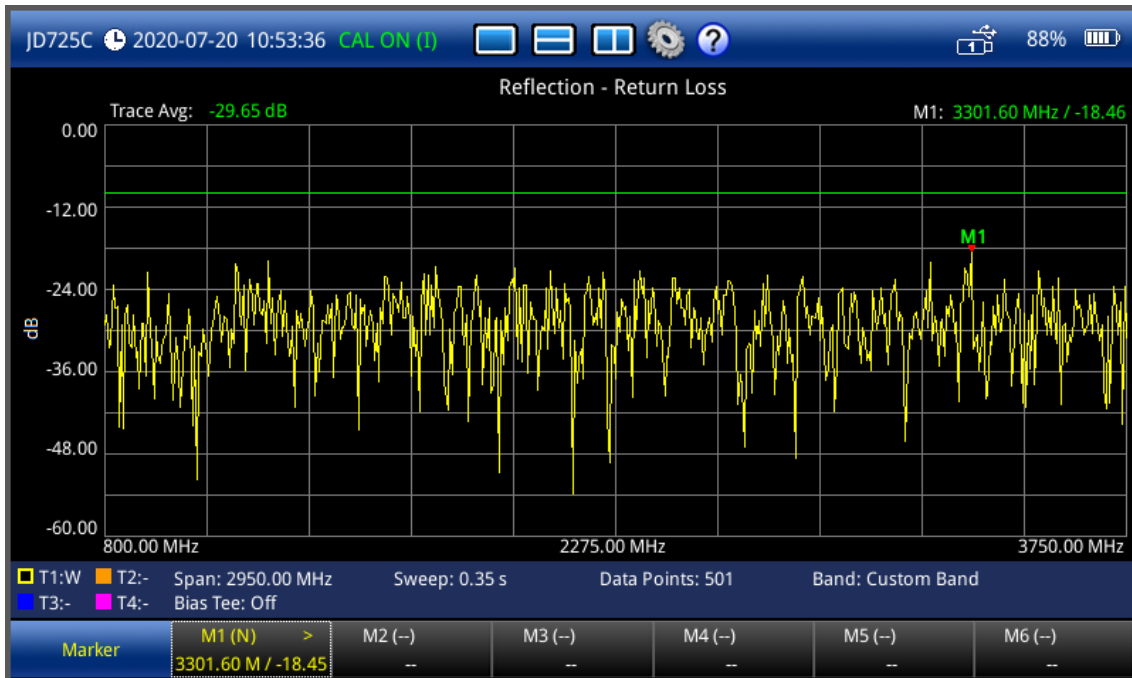


KUVA 19. Boonton PIM21 -mittari (26)

Sisäverkon fyysinen eheys varmistettiin heijastusvaimennusmittauksilla. Hybridien luota jokaisesta kahdeksasta runkokaapelista mitattiin Viavi JD725C -mittarilla heijastusvaimennus taajuusalueelta 350–3800 MHz. Mittaus tapahtuu siten, että ensin mittariin valitaan haluttu taajuusalue, jonka jälkeen se kalibroidaan kyseiselle taajuusalueelle siihen tarkoitukseen tehdyllä kalibrointiyksiköllä. Tämän jälkeen mittari liitetään kiinni mitattavaan antennikaapeliin. Mitattaessa mittari pyyhkäisee valitun taajuusalueen signaalit läpi nopealla syklillä ja toistaa tätä koko ajan.

Viavi JD725C -mittarilla voidaan mitata heijastusvaimennusta, joka on määritelmän mukaisesti järjestelmään syötetyn tehon ja heijastuneen tehon erotus desibeleinä. Heijastunut teho ei koskaan voi olla syötettyä tehoa suurempi, jonka vuoksi heijastusvaimennuksen arvo on aina positiivinen. Kyseisen mittarin asteikko on kuitenkin negatiivinen, jolloin mittarin näytöllä näkyvä lukema ilmaiseekin heijastuneen signaalin tehon. Esimerkiksi 20 dB:n heijastusvaimennus tarkoittaa, että kuormaan menevä teho on sata kertaa suurempi kuin heijastuneen signaalin teho. Mittarin näyttämässä -20 dB:n muodossa lukema tarkoittaa, että heijastuneen signaalin teho on sadasosa kuormaan menevän signaalin tehosta. Heijastuneen tehon määrä on kummassakin esitystavassa sama. Mitä alempana mittarin piirtämä viiva on, sitä vähemmän mitattavassa kaapelihaarassa on takaisin heijastunutta tehoa. Kuvassa 20 näkyy yhden kaapelihaaran mittaustulos 800–3750 MHz:n taajuusalueelta. Kuvasta nähdään, että kyseisessä haarassa heijastuneen signaalin teho on ollut pääsääntöisesti alle -20 dB:n suuruinen syötettyyn signaaliin verrattuna. Suurimmillaan eli pahimmillaan se on ollut -18,46 dB taajuudella 3301,60 MHz. Mitattu kaapelihaara on mittauksen perusteella

kunnossa, sillä pahimmillaankin heijastunutta tehoa on ollut M1-merkin kohdalla vain yksi seitsemäskymmenesosa eli 1,43 %. Kaavan 4 avulla 18,46 dB:n Return Loss -tulos voidaan muuttaa VSWR-muotoon, jolloin saadaan VSWR:ksi 1,27:1.



KUVA 20. Viavi JD725C -mittarilla mitattu Return Loss -tulos taajuualueelta 800–3750 MHz

Heijastusvaimennusmittauksella voidaan varmistaa kaapeleiden ja liittimien kunto. Varsinkin kyseisessä kohteessa, jossa ensimmäiset kaapelit oli asennettu jo puoli vuotta aiemmin, oli tärkeää mitata verkon heijastusvaimennus mahdollisten kaapelivaurioiden löytämiseksi. Varsinaisia runko-kaapelivikoja ei käynyt ilmi mittauksien avulla, sillä muutama rakennustöiden takia rikkoutunut kaapeli vaihdettiin jo ennen mittauksia, ja kaikki liittimet oli kiristetty oikeaoppisesti. Heijastusvaimennusmittauksella löydettiin kuitenkin muun muassa antenni, jonka kaapelin ulkojohdin oli poikki liittimen juuresta virheellisen asennuksen seurauksena.

Sisäkuuluvuusverkon toimivuuden varmistavat PIM-mittaukset suoritettiin, kun antenniverkon kaikki komponentit oli saatu paikoilleen ja verkko oli niiltä osin valmiina. PIM-mittaukset suoritettiin kuvan 21 mukaisella akkukäyttöisellä ja noin 10 kg painavalla Anritsu MW82119B -mittarilla. Mittarissa oli E-GSM 900 -optio asennettuna. Kyseisellä optiolla varustettuna mittari mittaa 910,00 MHz:n taajuudelle sijoittuvaa IM3-häiriösignaalia, jota muodostuu mittarin sisäverkkoon syöttämistä 935,00 MHz:n ja 960,00 MHz:n testisignaaleista. Testisignaalien teho voidaan valita 2 x 20 dBm:n ja 2 x 46 dBm:n väliltä. Mittarilla voidaan mitata PIM-tasoa reaaliaikaisesti PIM vs Time -

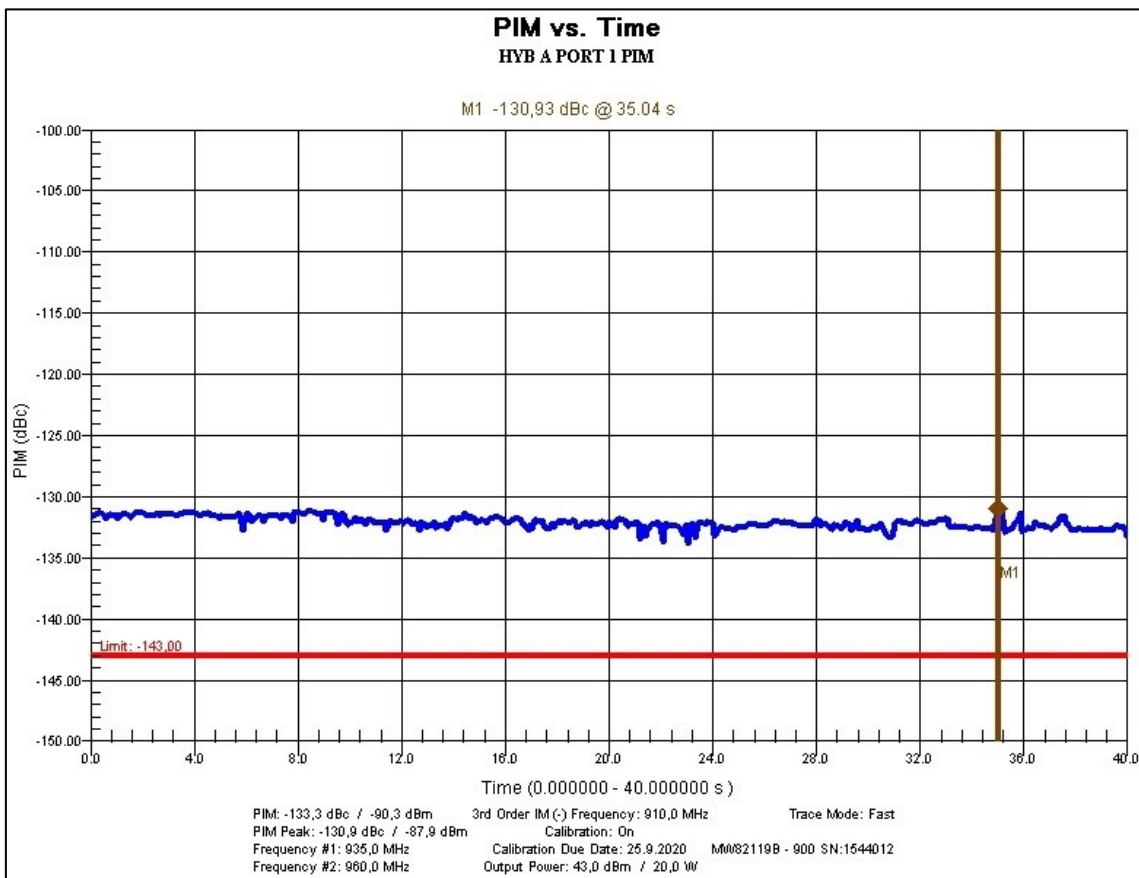
mittauksella, jolloin mittarin näytölle piirtyy PIM-signaalin suuruus halutun mittaiselta ajanjaksolta. Distance to PIM -mittauksella taas voidaan selvittää, kuinka kaukana PIM-häiriölähteet ovat mittarista. Distance to PIM -mittauksessa on tärkeää, että mitattavan kaapelin tyyppi on asetettu mittariin oikein, sillä jos kaapelityyppi on väärä, saattaa mittari näyttää PIM-häiriöiden etäisyyden reilusti väärin. Tämä johtuu siitä, että mittari mittaa PIM-häiriökohdan ja mittarin välillä testisignaaleilla kaapelissa kuluneen ajan, ja vertaa sitä asetuksissa määritetyn kaapelityypin nopeusarvoon.



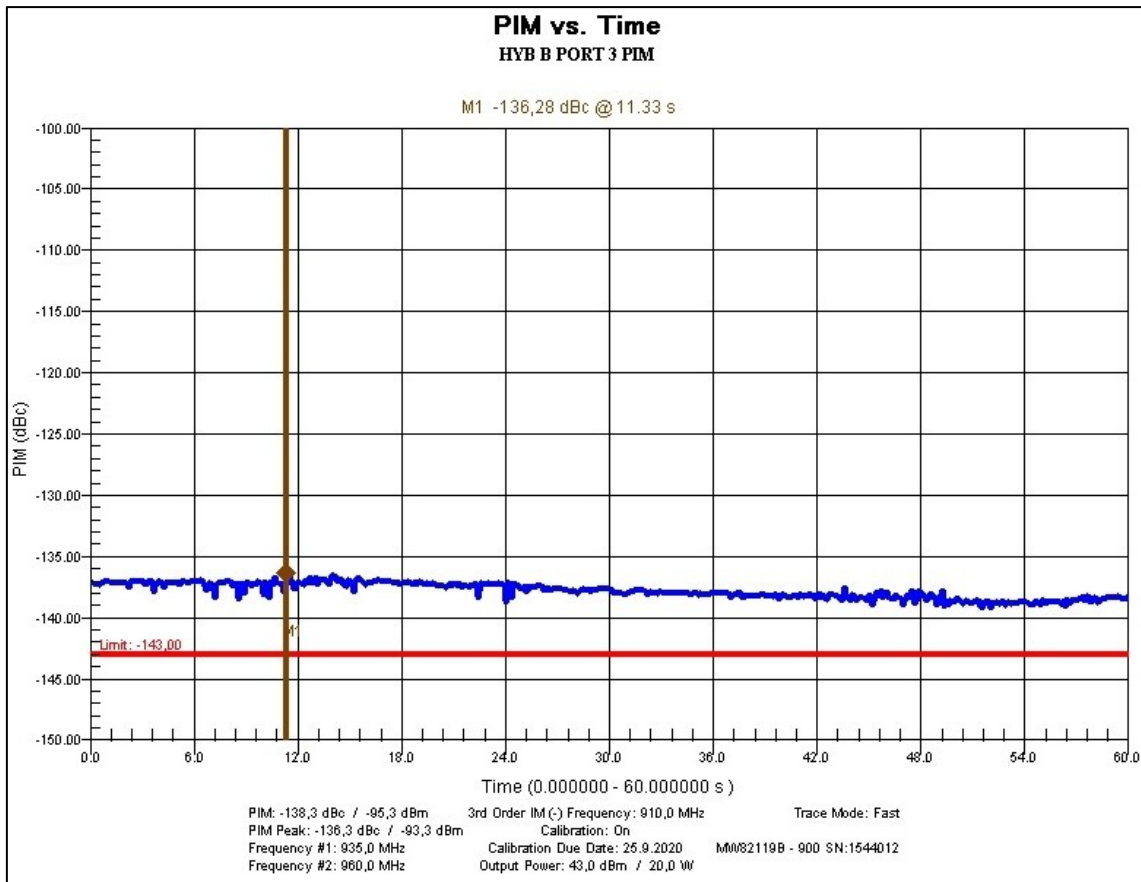
KUVA 21. Anritsu MW82119B PIM-Master

Mittausten aikana sisäverkkoon ei voida samanaikaisesti syöttää operaattoreiden tukiasemilta tai virve-toistimelta RF-tehoa. Tämän vuoksi virve-toistimen teho pyydettiin väliaikaisesti laskemaan nolnaan virven hallintakeskuksesta, jotta se voitiin irrottaa sisäverkosta oikeaoppisesti. Mobiilioperaattoreiden tukiasemia ei PIM-mittauksien aikaan vielä ollut sisäverkkoon kytketty eikä operaattoreiden tukiasemien tehoa näin ollen tarvinnut pyytää alas operaattoreiden valvomonumeroista. Niinpä verkko saatiin mittauskuntoon pelkän virve-toistimen irrotuksella.

PIM-mittaus suoritettiin hiljaiseen aikaan illalla, jotta rakennuksessa olisi mahdollisimman vähän työntekijöitä ja mittausta häiritsevää matkapuhelimien dataliikennettä. Mittaajien puhelimet laitettiin lentotilaan mittausten ajaksi. PIM mitattiin ensin jokaisesta kahdeksasta hybrideille tulevasta antennikaapelista, ja jokaisen PIM-arvo pyrittiin saamaan  $-143 \text{ dBc:n}/-100 \text{ dBm:n}$  tasolle, jota pidetään hyvänä sisäverkon PIM-tasona  $2 \times 43 \text{ dBm:n}$  testausteholla. Ensimmäisten mittausten perusteella osassa kaapeleista PIM-arvo oli jopa  $-103 \text{ dBc:n}/-60 \text{ dBm:n}$  tasolla, joten antennija piti käydä suuntaamassa uudelleen. Joidenkin antennien välittömään läheisyyteen olikin asennettu häiriötä aiheuttavia opastekylttejä antennien asentamisen ja PIM-mittauksen välisinä viikkoina. Tämän vuoksi täytyi selvittää Distance to PIM -mittauksella suurimpien PIM-häiriölähteiden sijainti ja pyrkiä saamaan niiden antennien PIM-taso takaisin kelvolliselle tasolle. Kaikkien PIM-häiriöiden voimakkuutta ei lopulta saatu laskettua  $-143 \text{ dBc:n}$  tasolle, joten lopulliset PIM-arvot jäivät molempien hybridien osalta tavoitetasoa suuremmiksi, kuten kuvista 22 ja 23 nähdään. Kuvien mittaukset ovat A-hybridin sisäänmenoliittimestä 1 ja B-hybridin sisäänmenoliittimestä 3.



KUVA 22. A-hybridin PIM-mittaustulos sisäänmenoliittimestä 1



KUVA 23. B-hybridin PIM-mittaustulos sisäänmenoliittimestä 3

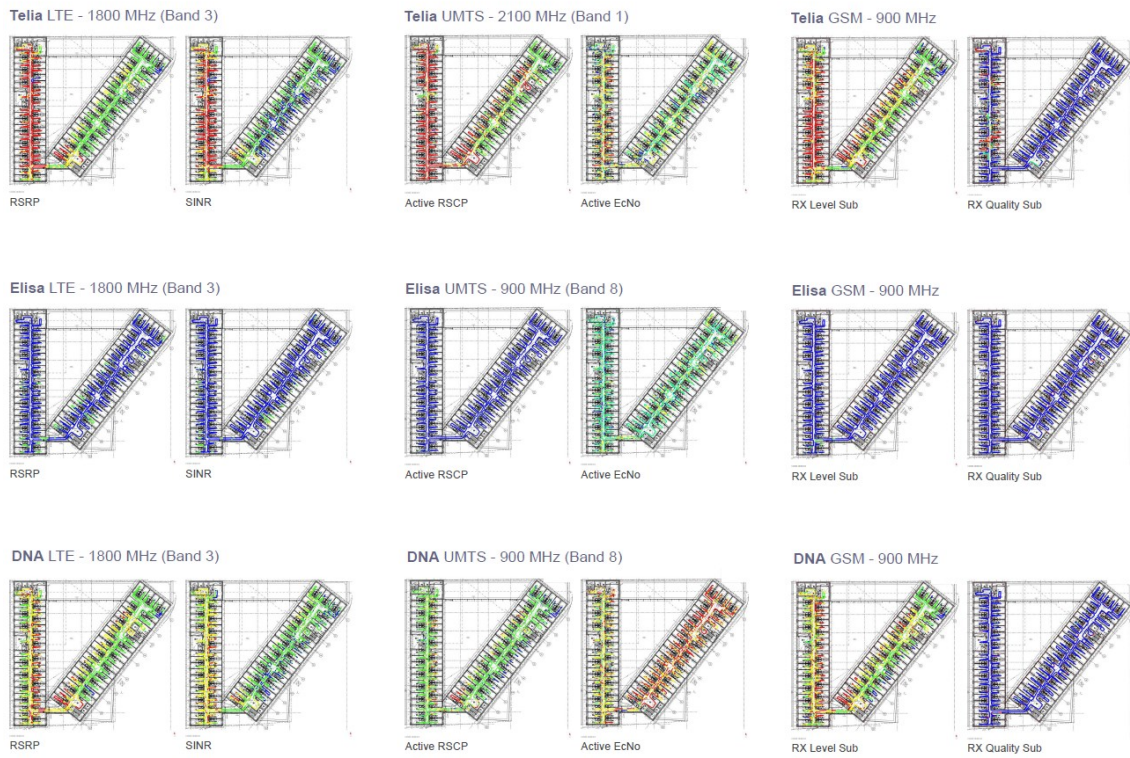
PIM-mittausten pohjalta todettiin, että PIM-häiriötasot ovat tavoitetasoa suuremmat molempien hybridien osalta. Muilta osin verkko oli kuitenkin kunnossa ja onnistuneesti asennettu, joten tilaaja hyväksyi tulokset ja näin ollen mittauksista jäljellä oli enää loppukuuluvuusmittaus.

Loppukuuluvuusmittaus suoritettiin, kun sisäkuuluvuusverkon PIM-mittaukset oli suoritettu ja verkkoon oli liitetty teknisessä tilassa sijaitseviin laitetelineisiin Elisan 2G-, 3G- ja 4G -tukiasemaradiot sekä Erillisverkkojen hallinnoima virve-toistin. DNA:n ja Telian tukiasemia ei vielä loppukuuluvuusmittauksen aikana ollut kytketty. Kannettavalla mittausjärjestelmällä kierrettiin koko rakennuksen tilat, jolloin saatiin kattava kuuluvuuskartta rakennuksen jokaisesta kerroksesta.

Kuvaan 24 on koottu loppukuuluvuusraportista kiinteistön kuudennen kerroksen mittaustuloksia jokaiselta kolmelta operaattorilta LTE-, UMTS- ja GSM-tekniikoiden osalta. Kuvassa on operaattori-kohtaisesti kaksi pohjakuvaa jokaisesta kolmesta tekniikasta, joista vasemmanpuoleinen pohjakuva kertoo kuuluvuustason ja oikeanpuoleinen kertoo radiotien laadun. Sininen väri tarkoittaa erinomaista, vihreä hyvää, keltainen välttävää ja punainen huonoa tulosta. Loppukuuluvuusraportista on nähtävissä, miten Elisan kuuluvuus on sisäkuuluvuusverkkoon liittymisen vuoksi kautta linjan



erinomainen, kun taas DNA:n ja Telian ulkotukiasemien varassa oleva kuuluvuus on selvästi heikompi.



KUVA 24. Ote loppukuuluvuusraportista kiinteistön 6. kerroksesta



## 5 TEKNISEN JA TALOUDELLISEN ONNISTUMISEN ARVIOINTI

Tässä työssä käsiteltävänä oleva sisäkuuluvuuskohte oli kirjoittajan ja samalla yrityksen ensimmäinen monioperaattoriprojekti ja kooltaan Suomenkin mittakaavassa kohtalaisen suuri. Yrityksellä oli aiempaa kokemusta isojen kohteiden yleiskaapelointiurakoista, joten työmaan koko itsessään ei muodostunut missään vaiheessa ongelmaksi. Koska projekti oli ensimmäinen laatuaan, ei tarjousvaiheessa tiedetty kaikkia niitä haasteita, joita sisäkuuluvuusprojektin aikana voitaisiin kohdata. Riskinä oli, että tarjoushinnasta jäisi puuttumaan jokin olennainen osa sisäverkon rakentamisen kokonaisuudesta, jolloin projektista muodostuisi lopulta raskaasti tappiollinen. Näin ei kuitenkaan käynyt, tosin paremmalla materiaalinhallinnalla ei antennoja, liittimiä ja tehonjakajia olisi jäänyt ylimääräisiksi verkon valmistuttua. Myös PIM-mittaukset veivät lopulta enemmän aikaa kuin aluksi arvioitiin.

### 5.1 Työmaan aikataulun vaikutukset

Sisäkuuluvuusverkon asennuksia käytiin tekemässä moneen otteeseen johtuen työmaan keskeneneräisyydestä. Ensimmäiset 7/8":n runkokaapeloinnit käytiin asentamassa tilaajan toivomuksesta jo tammikuussa 2020, mutta viimeiset antennit saatiin asennettua alakattolevyihin vasta elokuun lopulla. Alkuperäisen aikataulun mukaan sisäverkko olisi ollut luovutettuna vuoden 2020 juhannukseen mennessä, mutta rakennuksen sisätilat olivat siinä vaiheessa vielä niin keskeneräisiä, ettei antennoja voitu asentaa. Monesta kerroksesta puuttuivat tuolloin vielä alakatot kokonaan. Jälkeenpäin työmaan kokonaisuutta tarkasteltaessa voi todeta, että kaapelointi olisi kannattanut aloittaa vasta myöhemmin, huhti-toukokuun tienoilla. Tällöin asennusaikataulusta olisi tullut tiiviimpi ja taloudellisesti ajateltuna parempi, eikä pitkiä monen viikon mittaisia taukoja asennustyöstä olisi ollut.

Oman aikatauluhaasteensa projektiin toi virve-verkon luovutus. Virven osalta työt piti saada valmiiksi ja verkko toimintaan palotarkastukseen mennessä, joka oli noin kuukautta ennen sisäverkon varsinaista luovutusta. Tämä aiheutti sen, että tiloissa, joihin alakattoja ei ollut vielä rakennettu, jouduttiin antennit asentamaan käytännössä ilmaan riippumaan kaapelin varassa, jotta virve-toistin voitiin kytkeä toimintaan ja Erillisverkot Oy saattoi käydä hyväksymässä verkon. Virve-verkko saa-

tiinkin palotarkastukseen mennessä otettua hyväksytysti käyttöön, mutta väliaikaisen antenniasennuksen seurauksena löydettiin myöhemmin kaapelivikaisia antenneja, jotka täytyi lopulta vaihtaa uusiin.

## 5.2 Onnistumisen arviointi ja kehityskohteet

Runkokaapelointi ja liittimien sekä antennien asennus onnistuivat lopulta kokonaisuutta tarkasteltaessa hyvin. Rakennuskohteeseen asennettiin yhdeksään eri kerrokseen yhteensä 69 sisääntennia ja lisäksi katolle mastoon virve-toistinta varten sieppausantenni. Tehonjakajia asennettiin 62 kappaletta ja 4x4-hybridejä kaksi. Komponenttien välisiä liitosrajapintoja oli yhteensä 280 kappaletta, joista noin 190 oli itse paikalla irtoliittimistä tehtyjä ja loput noin 90 jumpperikaapeleilla toteutettuja, joissa liittimet olivat valmiiksi asennettuna.

Urakan toteutuksesta on löydettävissä muutamia kehityskohtia. Ensimmäisten suunnitelmien pohjalta tarjoukseen arvioitu runkokaapelien määrä oli laskettu hieman liian alhaiseksi. Asennuksiin laskettu työaika osoittautui kuitenkin oikein lasketuksi. Liittimiä, paneeliantenneja sekä tehonjakajia jäi työmaan valmistuttua lukuisia ylimääräisiksi, joten materiaalinhallinta petti tältä osin. Lisäksi PIM-mittaus vei merkittävästi enemmän aikaa kuin aluksi arvioitiin, mikä osaltaan kasvatti kustannuksia.

Projektista opittiin paljon, ja mikäli tulevaisuudessa tulee eteen samanlainen projekti, on helpompi ottaa monioperaattoriverkon erityispiirteet huomioon jo tarjousvaiheessa. Tarjouslaskentavaiheessa on tärkeää, että sisäverkosta on riittävän totuudenmukaiset suunnitelmat olemassa, jotta voidaan laskea kaapelien ja muiden komponenttien määrät oikein. Kalliita komponentteja ei pidä tilata ylimääräisiä, sillä ne lopulta päätyvät vain yrityksen varastoon pölyttymään. Työmaan sisävaiheen aikataulun paikkansapitävyyden selvittäminen on myös tärkeää ja perusteltua, eikä kaapelointia kannata tehdä liian aikaisin. PIM-mittausten osalta on haastavaa, ettei tarjousvaiheessa voida tietää, kuinka kauan mittauksissa ja PIM-säädössä lopulta menee. PIM-mittausten osalta ratkaisuna voisi olla, että se jätettäisiin kiinteähintaisen urakkahinnan ulkopuolelle, ja tarjottaisiin PIM-mittaus erillisenä tuntiveloitustyönä.

## 6 SISÄKUULUVUUS TULEVAISUUDESSA

Tulevaisuus tuo tullessaan todennäköisesti nykyistä tiukempia rakentamismääräyksiä energiatehokkuuden osalta. Tämä tarkoittanee sisäkuuluvuuden heikkenemistä entisestään uusissa rakennuksissa, etenkin betonirunkoisissa. Samaan aikaan mobiilidatan käyttömäärä jatkaa kasvuaan. Tähän kysyntään operaattorit vastaavat uusilla langattomilla tiedonsiirtotekniikoilla, joista nyt 5G on ajankohtainen. Millainen sisäkuuluvuusverkon rakenne on tulevaisuudessa? Tätä kysyttiin pitkään alalla vaikuttaneelta Rejlers Finland Oy:n Jouni Pekoselta.

Pekosen arvio on, että vielä noin 5 vuoden ajan sisäkuuluvuusverkko toteutetaan pääsääntöisesti passiivisena monioperaattoriverkkona, mutta nykyistä useammin MiMo-toteutuksena 4G:n ja 5G:n osalta. MiMo-tekniikan avulla tiedonsiirtokapasiteetti saadaan usein lähes kaksinkertaistettua. Sisäkuuluvuusverkon MiMo-antennissa on kaksi eri antennia saman ulkokuoren sisällä, ja ne on ristipolarisoitu keskenään. MiMo-toteutusta varten joudutaan SiSo-ratkaisusta poiketen rakentamaan kaksi samanlaista symmetristä siirtolinjaa kullekin antennille. Rinnakkaiset siirtolinjat kytketään MiMo-antennin eri liittimiin, jolloin kumpikin siirtolinja kuljettaa itsenäisesti sen osan antenniin tulevasta ja lähtevästä radioliikenteestä, johon se on kytketty. (27.)

Pidemmälle tulevaisuuteen mentäessä Pekonen arvioi, että passiivisesta monioperaattoriratkaisusta siirrytään nykyisiä WLAN-verkkoja muistuttavaan toteutukseen. Siinä yhden tehokkaan, koko rakennusta palvelevan, tukiaseman sijasta rakennuksen kerroksiin tuodaan lukuisia operaattorikohtaisia pienitehoisia tukiasemia, ja pitkät koaksiaalikaapeloinnit korvataan kuituyhteyksillä. Tässä ratkaisussa rakennuksen tekniseen tilaan asennetaan pääserveri, josta kaapeloidaan kuituyhteys kerrosservereille, joihin pienet tukiasemat kaapeloidaan PoE-parikaapeliyhteydellä. Tämän toteutustavan huonona puolena on sen operaattorikohtaisuus, jonka vuoksi kultakin operaattorilta tarvitaan aina omat rinnakkaiset laitteet. Tätä tekniikkaa käytetään jo useassa maassa, mutta tois-taiseksi Suomessa teleoperaattorit suhtautuvat vielä varauksella kyseiseen tekniikkaan. (27.)

Tulevaisuudessa mahdollisesti käyttöön otettava 26 GHz:n 5G-taajuusalue on mielenkiintoinen sen leveään 800 MHz:n taajuuskaistan vuoksi, joka osaltaan mahdollistaisi mittavan datansiirron. Tällä taajuusalueella vaimeneminen on huomattavasti voimakkaampaa kuin esimerkiksi 1,8 GHz:n taajuudella, joten jos tätä taajuutta käytetään sisäkuuluvuusverkossa, pitäisi sisäantennilta käytän-

nössä olla näköyhteys matkapuhelimeen, sillä signaali vaimenisi jo tavallisesta sisäseinästä merkittävästi. Lisäksi tämän taajuuden käyttäminen edellyttäisi kokonaisuudessaan valokuidulla toteutettua yhteyttä aina pienitehoisille kerrostukiasemille saakka. (27.)

Tekniikka kehittyy jatkuvasti, ja 5G on jo arkipäivää monelle kuluttajalle. Onkin mielenkiintoista seurata, mihin langaton tiedonsiirto vielä tulevaisuudessa pystyykään, ja mitä taajuuksia ja tiedonsiirrotteknikoita ihmiset hyödyntävät 2030-luvulla jokapäiväisessä arkielämässään.

## 7 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli tuottaa opinnäytetyön muodossa kirjallinen selvitys vuonna 2020 toteutetusta monioperaattoriverkkoprojektista. Projektin voi kirjoittajan osalta katsoa alkaneeksi vuoden 2020 tammikuussa, jolloin Suomen Kuitutekniikka tarjosi harjoittelupaikan kirjoittajalle, jolloin aiheeseen tutustuminen ja antennitekniikan teorian opiskelu aloitettiin. Yrityksen asentajat perehdytettiin sisäantenniverkon komponentteihin, kaapelointiin ja liittimien asentamiseen, ja kirjoittaja perehtyi syvällisemmin muun muassa PIM-mittaukseen siten, että se voitiin käydä itse suorittamassa loppukesästä verkon valmistuttua. Kokonaisuutena projekti oli hyvin opettavainen, ja oli luontevaa päätätä tämä projekti lopulta opinnäytetyöhön.

Työssä käsiteltävänä oleva monioperaattoriverkko toteutettiin kokonaan passiivisena, eli operaattoreiden tukiasemalaitteita ja virve-toistinta lukuun ottamatta mikään sisäverkon komponenteista ei vahvistanut signaalia sähköisesti. Kokonaan passiivisena toteutetun sisäkuuluvuusverkon erityisenä haasteena on PIM, jota voi muodostua missä tahansa verkon osassa. Passiivisen toteutuksen etuna on kuitenkin hyvä luotettavuus, sillä se ei sisällä vioille alttiita ja sähkönsyötöstä riippuvaisia aktiivilaitteita rakennuksen eri kerroksissa.

Sisäkuuluvuus aiheena on varmasti ajankohtainen myös tulevaisuudessa. Entistä tiiviimmät rakennukset, kuluttajien entisestään kasvava mobiilidatan käyttö sekä entistä korkeampien taajuusalueiden käyttöönotto tuovat kaikki haasteita riittävän kuuluvuuden aikaansaamiselle. Kuuluvuusratkaisuja kuitenkin on jo olemassa, ja uusia kehitetään jatkuvasti ympäri maailman. Olennaista olisi kuitenkin, että uudisrakennuksissa, joihin aiemman kokemuksen perusteella tiedetään tulevan kuuluvuuspuutteita, ratkaistaisiin jo suunnitteluvaiheessa, millä tavoin kuuluvuus varmistetaan rakennuksen sisätiloissa.

## LÄHTEET

1. ST 625.10 Matkaviestinjärjestelmien sisäantenniverkot. Suunnitteluohje 2015. Sähkötiety. ry.
2. Uusi Teknologia 2020. Asuntomessuille matkapuhelinsignaalin läpäiseviä antenni-ikkunoita. Saatavissa: <https://www.uusiteknologia.fi/2020/07/31/asuntomessuille-matkapuhelinsignaalin-lapaisevia-antenni-ikkunoita/>. Hakupäivä 9.2.2021.
3. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2019. Opas matkapuhelinverkkojen sisätalakuuluvuudesta. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/publication/Opas-matkapuhelinverkkojen-sisatalakuuluvuudesta.pdf>. Hakupäivä 28.1.2021.
4. Orbis 2021. Sisätilojen kuuluvuusverkot - Katalogi. Saatavissa: [https://www.orbis.fi/sites/default/files/Sis%C3%A4tilojen-kuuluvuusverkot\\_03-2021\\_web.pdf](https://www.orbis.fi/sites/default/files/Sis%C3%A4tilojen-kuuluvuusverkot_03-2021_web.pdf). Hakupäivä 17.4.2021.
5. Liikenne- ja viestintävirasto Traficom 2021. Matkaviestinverkkojen taajuudet ja luvanhaltijat. Saatavissa: <https://www.traficom.fi/fi/viestinta/viestintaverkot/matkaviestinverkkojen-taajuudet-ja-luvanhaltijat>. Hakupäivä 28.1.2021.
6. Suomen Erillisverkot 2021. Virve-kuuluvuuden varmistaminen – sisäpeiton rakennusohjeet. Saatavissa: <https://www.erillisverkot.fi/sisaverkon-rakentamisen-ohjeet/>. Hakupäivä 28.1.2021.
7. Rapid Tables 2021. dBm to mW Conversion. Saatavissa: [https://www.rapidtables.com/convert/power/dBm\\_to\\_mW.html](https://www.rapidtables.com/convert/power/dBm_to_mW.html). Hakupäivä 31.3.2021.
8. Rapid Tables 2021. mW to dBm Conversion. Saatavissa: [https://www.rapidtables.com/convert/power/mW\\_to\\_dBm.html](https://www.rapidtables.com/convert/power/mW_to_dBm.html). Hakupäivä 31.3.2021.

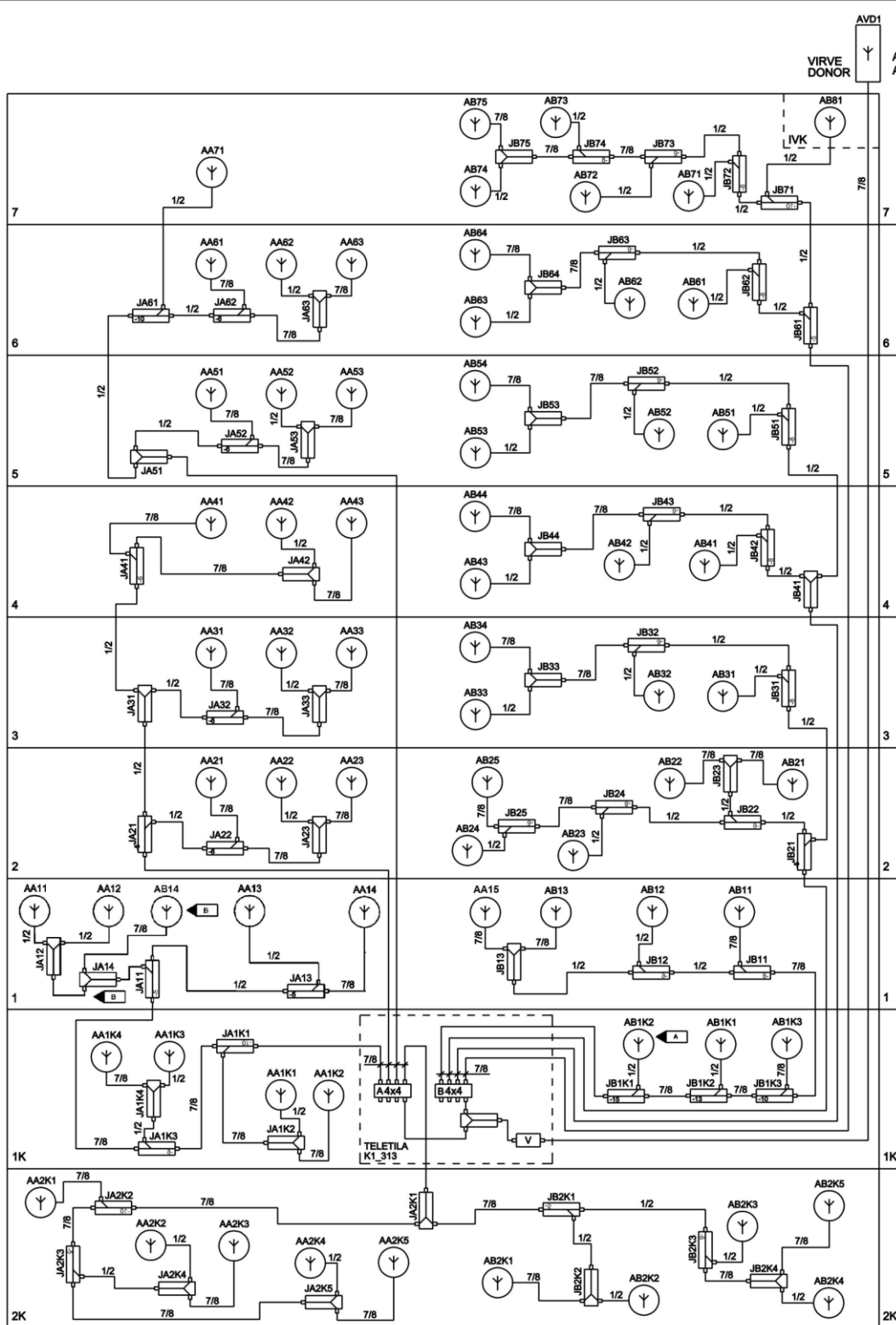
9. Cisco 2007. Antenna Patterns and Their Meaning. Saatavissa: [https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas-accessories/prod\\_white\\_paper0900aecd806a1a3e.html](https://www.cisco.com/c/en/us/products/collateral/wireless/aironet-antennas-accessories/prod_white_paper0900aecd806a1a3e.html). Hakupäivä 27.3.2021.
10. Anritsu 2021. Passive Intermodulation (PIM). Saatavissa: <https://www.anritsu.com/en-us/test-measurement/technologies/pim>. Hakupäivä 27.3.2021.
11. Anritsu 2015. Three Ways to Minimize PIM in a DAS. Saatavissa: <https://anritsu.typepad.com/thepimsource/2015/04/>. Hakupäivä 5.2.2021.
12. Anritsu 2017. The Benefits of 40W PIM Testing in 4G and 5G Networks. Saatavissa: <https://anritsu.typepad.com/thepimsource/2017/02/the-benefits-of-40w-pim-testing-in-4g-and-5g-networks.html>. Hakupäivä 27.3.2021.
13. Anritsu 2021. PIM Master™ MW82119B – Tekniset tiedot. Saatavissa: <https://www.anritsu.com/en-US/test-measurement/products/MW82119B>. Hakupäivä 27.3.2021.
14. everything RF 2019. VSWR vs Return Loss. Saatavissa: <https://www.everythingrf.com/community/vswr-vs-return-loss>. Hakupäivä 12.3.2021.
15. Propagation Tools 2017. How to Process the 2D Antenna Pattern Text Files using PHP Script? Saatavissa: <https://propagationtools.com/wireless/how-to-process-the-2d-antenna-pattern-text-files-using-php-script/>. Hakupäivä 24.3.2021.
16. MP Antenna 2019. Omnidirectional Antenna Radiation Patterns Explained. Saatavissa: <https://www.mpantenna.com/omnidirectional-antenna-radiation-patterns/>. Hakupäivä 31.3.2021.
17. Kabelwerk Eupen 2021. 50 Ohm Coaxial Cables & Accessories. Saatavissa: <https://www.eupen.com/cable/en/products/50-ohm-coaxial-cables-accessories/#50-ohm-corrugated-cables>. Hakupäivä 29.1.2021.
18. Onninen 2021. Antennikaapelit – Tuoteluettelo. Saatavissa: <https://www.onninen.fi/sahko/antennikaapelit/c/371>. Hakupäivä 27.3.2021.

19. Orbis 2017. Tiedätkö, miksi 4.3–10-liitin on parempi kuin 7/16? Saatavissa: <https://www.orbis.fi/blogi/tied%C3%A4tk%C3%B6-miksi-43-10-liitin-parempi-kuin-716>. Hakupäivä 27.3.2021.
20. Spinner 2021. Product Finder - Connectors. Saatavissa: <https://products.spinner-group.com/rf/rf-components/connecting-components/connectors>. Hakupäivä 16.1.2021.
21. Orbis 2021. RF-adapterit. Saatavissa: <https://www.worbis.fi/kategoriat/rf-kuuluvuusverkot/rf-komponentit/rf-adapterit.html>. Hakupäivä 9.2.2021.
22. Dual B 2020. Antenna System Components - Product Catalogue 2020. Second Edition. Saatavissa: [https://dualb.se/wp-content/uploads/2020/09/DUAL-B\\_Product-Catalogue-2020\\_2nd-edit.pdf](https://dualb.se/wp-content/uploads/2020/09/DUAL-B_Product-Catalogue-2020_2nd-edit.pdf). Hakupäivä 30.1.2021.
23. Spinner 2021. Product Finder - Tappers. Saatavissa: <https://products.spinner-group.com/rf/rf-components/functional-components/tappers>. Hakupäivä 30.1.2021.
24. Spinner 2021. Product Finder - Combining Units. Saatavissa: <https://products.spinner-group.com/rf/rf-components/functional-components/combining-units>. Hakupäivä 5.2.2021.
25. Telegaertner 2021. Online Catalogue Coax. Spare Parts and Accessories, Tools. Saatavissa: <https://www.telegaertner.com/en/info/catalogue/coax/?ldTreeGroup=3000203912>. Hakupäivä 26.2.2021.
26. Artisan Technology Group 2015. Boonton Product Catalog. Saatavissa: [https://www.artisanatg.com/info/Boonton\\_1121\\_Datasheet\\_2015625115617.pdf](https://www.artisanatg.com/info/Boonton_1121_Datasheet_2015625115617.pdf). Hakupäivä 11.3.2021.
27. Pekonen, Jouni 2021. Palvelupäällikkö, tietoliikenneyhteydet, sisäkuuluvuus. Rejlers Finland Oy. Puhelinkeskustelu 31.3.2021.



# MONIOPERAATTORIVERKON KAAVIO

# LIITE 1



- LAUTASANTENNI AN 3560-OI-01-4      1/2 KOAKSIAALIKAAPELI RFA 1/2" -50 CCA
- SYMMETRINEN TEHONJAKAJA      7/8 KOAKSIAALIKAAPELI RFA 7/8" -50 CCA
- HYBRIDI 4X4
- EPÄSYMMETRINEN TEHONJAKAJA
- VIRVE TOISTIN

MALLITUTTU MAAPUURISTEILIJÄN ANTENNIEN LE AB14 & B15, JÄSÄ SUUNNITTELUUN A VAIKUTTU AB1K1 JA AB1K2 KESEKÄÄN		TN 11.8.2020 TN 8.8.2020
Tuun. Luok. Muutos Kartti./Tno Toimii Rno	Vironomaisen merkintä:	
UUDISRAKENNUS		ANTENNI
		ANTENNIKAAVIO MONIOPERAATTORIVERKKO
Pvm 8.8.2020 Työnumero Päiv. TN Suom. Tark. Tark. Tark.		Toimijan numero Pöytänumero Tark. Tark.
Suomen Kuitutekniikka		SÄH T17009