

Jonne Hoikkala

## **5G OTA TUOTEKEHITYSLABORATORION INFRASTRUKTUURIN JÄRJESTEL- MÄKUVAUS**

# **5G OTA TUOTEKEHITYSLABORATORION INFRASTRUKTUURIN JÄRJESTEL- MÄKUVAUS**

Jonne Hoikkala  
Opinnäytetyö  
Kevät 2021  
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-  
ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, Sähkötekniikka

---

Tekijä: Jonne Hoikkala

Opinnäytetyön nimi: 5G OTA tuotekehityslaboratorion infrastruktuurin järjestelmäkuvaus

Työn ohjaaja: Ismo Pitkänen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2021

Sivumäärä: 28

---

Työssä käsitellään 5G OTA tuotekehityslaboratorion infrastruktuurin järjestelmäkuvausta. Järjestelmäkuvausten laatiminen oli tarpeellinen, koska monia tässä työssä olevista tiedoista ei ole kootuna yhteen helposti löydettävissä olevaan paikkaan. Opinnäytetyö tehtiin kevätlukukaudella 2021.

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia selkeä järjestelmäkuvaus 5G OTA tuotekehityslaboratoriosta. Työssä keskityttiin tuotekehitysympäristöihin, sähkö- ja tietoliikennekaapelointiin ja siihen, mitä ratkaisuja tämä tuotekehityslaboratorio niiltä vaati.

Työn teoriaosuudessa käydään läpi 5G OTA-testausta yleisesti ja niitä haasteita, joita siihen kuuluu. Teoriaosuudessa käydään läpi myös tietoa tuotekehityslaboratoriossa käytettävistä kaapeleista ja niiden rakenteesta. Järjestelmäkuvaus-luvussa kuvataan tuotekehityslaboratorion testausympäristöjä, yleiskaapelointia, sähköjakelua ja sitä, miten ne on toteutettu ja mitä ratkaisuja niissä on käytetty. Työn järjestelmäkuvausosio on salainen ja se ei sisälly opinnäytetyön julkiseen versioon.

Opinnäytetyötä voidaan hyödyntää tulevissa 5G OTA tuotekehityslaboratorion hankkeissa käyttämällä sitä referenssinä ja vertailemalla siihen muita mahdollisia ratkaisuja.

---

Asiasanat: 5G-tekniikka, infrastruktuuri, järjestelmäkuvaus, OTA

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Electrical and Automation Engineering, Option of Electrical Engineering

---

Author: Jonne Hoikkala

Title of thesis: System Description of 5G OTA R&D Laboratory Infrastructure

Supervisor: Ismo Pitkänen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2021

Number of pages: 28

---

This thesis deals with the infrastructure of a 5G OTA product development laboratory and the solutions that have been used in it. The thesis was made during the spring term in 2021.

The purpose of the thesis was to make an accurate system description of the 5G OTA product development laboratory infrastructure. The focus of the thesis is on the electrical and telecommunication cabling of the infrastructure, some general things about 5G OTA testing and the 5G OTA product development environments and what they require from the infrastructure.

The thesis can be utilized in future 5G OTA product development laboratory projects by using it as a reference and comparing the possible solutions that may be used.

The theoretical part of the thesis reviews 5G OTA testing in general and the challenges involved. The theoretical part also covers information about the cables used in the product development laboratory and their structure. The system description section describes the test environments of the product development laboratory, general cabling, electricity distribution and how they have been implemented and what solutions have been used in them. The system description section of the thesis is confidential and is not included in the public version of the thesis.

---

Keywords: 5G technology, infrastructure, system description, over the air

# SISÄLLYS

SANASTO.....	6
1 JOHDANTO.....	7
2 5G OTA-TESTAUS JA SIIHEN KUULUVA INFRASTRUKTUURI .....	8
2.1 5G OTA.....	8
2.2 Kaapeloinnit.....	10
2.2.1 Kuitukaapelit .....	10
2.2.2 RF-kaapelit.....	15
2.2.3 LAN-kaapelit .....	16
2.3 Sähkönjakelu.....	19
2.3.1 Keskukset .....	19
2.3.2 Kaapelit.....	21
2.3.3 Mittarit .....	22
2.3.4 Suojalaitteet .....	22
2.3.5 Sähkönlaatu .....	23
3 POHDINTA.....	25
LÄHTEET.....	26

## SANASTO

AC	Vaihtosähkö
Breaker	PDU (virranjakoyksikkö)
BTS	Base Transceiver Station
CATR	Compact Antenna Test Range
DC	Tasasähkö
DUT	Device Under Testing
EMC	Sähkömagneettinen yhteensopivuus
ESD	Electrostatic discharge (sähköstaattinen purkaus)
JSK	Johdonsuojakatkaisija
LaaS	Laboratory as a Service
L1	Layer 1 (fyysinen kerros, OSI-mallin ensimmäinen kerros)
L3	Layer 3 (verkkokerros, OSI-mallin kolmas kerros)
LAN	Local Area Network (lähiverkko)
LMP	Link Management Protocol
MEMS	Micro Electro Mechanical Systems (mikrosysteemit)
MM	Multi mode (monimuotokuitu)
MPO	Multi-fiber Push On
MTP	Multi-fiber Termination Push-on
OSI	OSI kuvaa tiedonsiirtoprotokollien yhdistelmän seitsemässä kerroksessa
OTA	Over The Air
OTAVA	Over The Air Validation Area
PET	Performance Evaluation and Testing
PME	Schneider Electricin energian mittarointijärjestelmä
PoE	Power over Ethernet
RF	Radio Frequency
SM	Single mode (yksimuotokuitu)
UPS	Uninterruptible Power Supply (keskeytymätön virransyöttö)
VJK	Vedenjäähdytyskone

# 1 JOHDANTO

Tämän työn aihe on OTA tuotekehityslaboratorion infrastruktuurin järjestelmäkuvaus. Kyseisestä laboratorionista ei ole vielä olemassa dokumenttia, jossa kuvattaisiin kaikki tai useimmat oleelliset asiat OTA tuotekehityslaboratorion infrastruktuurista. Tällä hetkellä joistakin tähän infrastruktuuriin liittyvistä asioista on erillisiä dokumentteja, mutta osasta ei ole ollenkaan. On olemassa tarve saada kaikki oleellinen tieto yhdelle dokumentille, josta se on helppo löytää. Tästä tulee opinnäytetyön aihe: ”5G OTA tuotekehityslaboratorion infrastruktuurin järjestelmäkuvaus”.

Työn tavoitteena on laatia 5G OTA tuotekehityslaboratorion infrastruktuurin järjestelmäkuvaus, josta selviää OTA-laboratorion oleelliset asiat. Dokumentissa kuvataan laboratorion yleiskaapelointi, laitteet ja sähköjakelu. Tiedonkeruu tapahtuu tutkimalla laboratorion olemassa olevia muita dokumentteja ja haastatteleamalla henkilöitä, jotka tietävät aiheesta enemmän. Dokumentista rajataan pois LVI ja kustannukset. Myös sähköjakelussa pysytään pienjännitteen puolella (230/400 V). Työn järjestelmäkuvausosio on salattu ja se ei sisälly työn julkiseen versioon.

## 2 5G OTA-TESTAUS JA SIIHEN KUULUVA INFRASTRUKTUURI

Mobiiliverkkotestauksien osalta standardit muuttuvat kaapelilla liitetyistä mittauksista epäsuoriin kaukokenttämittauksiin, jotka käyttävät kompaktia antennitestialuetta (CATR), koska se tarjoaa eniten joustavuutta ja käytännöllisen ratkaisun testauksiin.

Nykypäivän järjestelmät voivat suorittaa antennin luonnehdinnan tai antennin tarkistuksen käyttämällä testiratkaisuja, kuten kompakti antennialue, joka jäljittelee kaukokenttäolosuhteita pienemällä alueella.

### 2.1 5G OTA

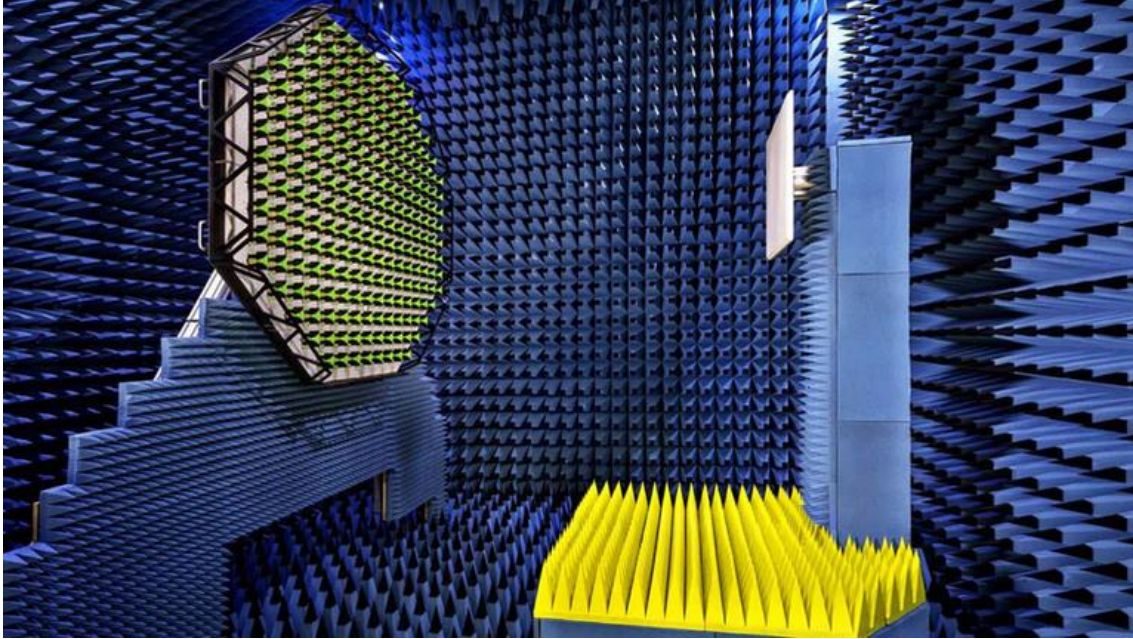
Verrattuna 4G:hen 5G-matkapuhelinverkko on suunniteltu toimittamaan kolme ensisijaista käyttötapausta: lähettää ja vastaanottaa enemmän dataa, parantaa reagointikykyä ja yhdistää miljoonia laitteita kerralla. Tämä sisältää parannetun mobiililaajakaistan, erittäin luotettavan, matalaviiveisen viestinnän ja lisääntyneen yhdistettävyyden, jotta miljardit laitteet ja sovellukset voivat liittyä verkkoon saumattomasti ja kommunikoida samanaikaisesti.

OTA-mittaukset ovat olennainen osa langattomien laitteiden suorituskyvyn arviointia ja sertifiointia. Ne mittaavat lähetystehoa ja vastaanottimen herkkyyden suorituskykyä. Kun 5G siirtyi tutkimus- ja kehitysvaiheesta käyttöönottoon, tuli OTA-testauksista, suunnittelun validoinneista ja volyymituotannosta kriittisempi tehtävä. Verkko-operaattoreiden ja laitteiden alkuperäisosien valmistajien on kyettävä arvioimaan ja todentamaan laitteiden ja tukiasemien luotettavuus ja suorituskykyominaisuudet ympäristöissä, jotka muistuttavat läheisesti niitä, joissa niitä oikeasti käytetään. (1.)

MmWave-taajuuksilla (28 GHz, 39 GHz ja korkeammat) signaalin absorbointinopeudet ovat paljon suuremmat, mikä vaatii lähetyksen ja vastaanoton suuntauksen (säteen fokuointi tai säteen ohjaus). Säteen ohjaus on keskeinen piirre 5G:n yhteydessä. On suuri haaste testata tukiasemien ja käyttäjälaitteiden säteilyvalmiudet kaikissa vaiheissa tutkimuksesta ja kehityksestä tuotantoon. (1.)

Mittaukset, joissa laite, jota testataan, on kytketty mittalaitteeseen kaapeleilla, korvataan osin OTA-mittauksilla, toisin sanottuna sähkömagneettisen säteilyn mittauksilla. Testauslaitteistoja tarvitaan

säteen mallintamiseen sekä säteen hankinnan ja säteen seurannan suorituskyvyn tarkistamiseen. Vain OTA-testijärjestelmät tarjoavat nämä mahdollisuudet. Kuvassa 1 on eräänlainen OTA-testauskammio.



KUVA 1. 5G OTA-testikammio (2)

OTA-mittauksissa ja OTA-testijärjestelmän rakentamisessa on olemassa useita haasteita. Yksi haaste liittyy antennijärjestelmään. 5G-järjestelmissä antennien oikean asennuksen ja sijainnin löytäminen liikkuvien säteiden testaamiseksi, samalla kun otetaan huomioon häiriöt ja sironta, on vaikeaa.

On otettava mukaan uusi mittaalottuvuus, tila tai teho vs. lähtösuunta. Yksi tekijä, jonka laitteiden on otettava huomioon, on ihmiskehon estävä vaikutus säteilykuvioon käyttämällä ”haamuja” OTA-testien aikana. 3D-antennikuviota mittaavat OTA-testit voidaan suorittaa joko lähi- tai kaukokentässä. Pienemmät kaiuttomat kammiot mahdollistavat lähikentän mittaukset. Ne vaativat kuitenkin asetuksia, jotka kykenevät mittaamaan sekä vaiheen että amplitudin suurella sijaintitarkkuudella, ja lisäkäsittelyä lähikentän ja kaukokentän muunnoksen kannalta. (1.)

Toinen haaste liittyy nimenomaan säteenmuodostukseen, jota käytetään paljon 5G:ssä. Johtuen langattoman mmWave-järjestelmän suuresta tehohäviöstä ja rajallisesta kantama-alueesta tarkka säteen tuottaminen ja sen seuraamiskyky ja nopea yhteyden luominen ovat tarpeellisia. MmWave-

järjestelmät vaativat dynaamisia säteenmittausjärjestelmiä, jotka kuvaavat tarkasti säteenseurannan ja säteenohjausalgoritmeja.

## 2.2 Kaapeloinnit

Seuraavissa luvuissa kerrotaan kaapeleista, joita käytetään paljon tuotekehityslaboratoriossa, ja niiden rakenteesta.

### 2.2.1 Kuitukaapelit

Optisten kuitujen ydin voi olla muovia (käytetään hyvin lyhyillä etäisyyksillä), mutta suurin osa on valmistettu lasista. Lasiset optiset kaapelit on valmistettu kvartsista, jolla on puhtaassa muodossa erittäin pieni häviö optisen spektrin infrapuna-alueella. Ne on suunniteltu pitkäaikaiseen, erittäin suorituskykyiseen tietoverkkoon ja tietoliikenteeseen. Valokuitu käyttää valoa tiedonsiirtoon, kun taas kuparijohdin käyttää sähköä.

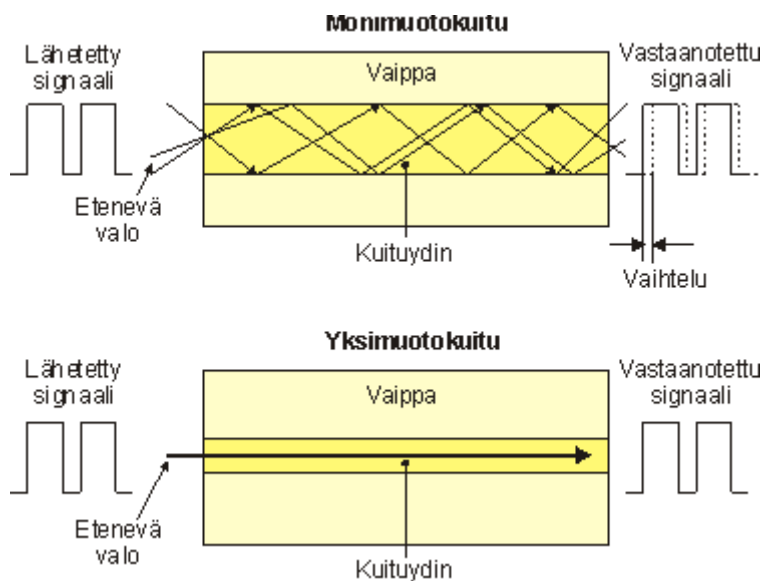
Valokuitukaapeli koostuu ytimestä, kuoresta, pinnoitteesta, vahvistuskuiduista ja kaapelivaipasta, sen ytimen ja kuoren ollessa kaksi pääelementtiä. Ydin on kuidun valonläpäisyalue. Kuori on kerros, joka ympäröi ydintä kokonaan. Kuoren ympärillä on yleensä toinen kerros, jota kutsutaan pinnoitteeksi. (Kuva 2.)



KUVA 2. Kuitukaapelin rakenne (3)

Kuitukaapeleita on kahdenlaisia: yksimuotokuituja ja monimuotokuituja. Yksimuotokuidussa on pieni valoa kuljettava ydin, jonka halkaisija on 5 - 10  $\mu\text{m}$ . Ydintä ympäröi verhous, jonka takia kuidun kokonaishalkaisija on 125  $\mu\text{m}$ . Yksimuotokuidussa valo heijastuu suoraan päästä päähän. Se soveltuu käytettäväksi liityntä-, runko- ja asuinkiinteistöjen sisäverkoissa. Se soveltuu tekniikkansa ansiosta sekä pitkille että lyhyille etäisyyksille. Aallonpituudet, joita yksimuotokuiduissa käytetään, ovat 1310 nm ja 1550 nm. Sen vaimennus on noin 0,2 - 1,0 dB/km käytetyn aallonpituuden mukaan. Standardissa SFS-EN 50173-1:2018 yksimuotokuidut on jaettu kahteen kategoriaan: OS1 ja OS2. OS1 kaapeleita ei enää juurikaan valmisteta. (4, s. 15.) Yksimuotokuidun maksimipituuden määrittää käytettävä laseri.

Monimuotokuidun ydin on halkaisijaltaan 50 - 70  $\mu\text{m}$ . Monimuotokuidussa valo kulkee heijastumalla ja taittumalla kuidun ytimen ja lasikuoren rajapinnassa. Suurempi ydin tarkoittaa, että useat valonsäteet voivat kulkea ytimessä samanaikaisesti. (Kuva 3.) Monimuotokuitu on yleensä halvempi ratkaisu, mutta se ei voi lähettää dataa yhtä pitkää matkaa kuin yksimuotokuitu. Tyypillisiä käyttökohteita monimuotokuidulle ovat datakeskukset, toimitilakiinteistöt ja sovelluskohtaiset ratkaisut. Aallonpituudet, joita monimuotokuidussa käytetään, ovat 850 nm ja 1300 nm. Käytettävän aallonpituuden mukaan vaimennus on 1,5 - 3,5 dB/km. Standardissa SFS-EN 50173-1:2018 monimuotokuidut on jaoteltu kategorioihin OM1, OM2, OM3, OM4 ja OM5. Eri kategorioiden kuidut eivät välttämättä ole yhteensopivia keskenään esimerkiksi erikokoisen ytimen vuoksi. Kaistanleveys kuidussa tarkoittaa siirrettävän signaalin suurinta taajuutta tietyllä matkalla. Se määräytyy aallonpituuden mukaan ja esitetään yksikössä MHz x km. Esimerkiksi OM4 kuidun pienin kaistanleveys 850 nm:n aallonpituudella on 3500 MHz x km. Suurin siirrettävä taajuus kilometrin matkalla on 3500 MHz. Suurin siirrettävä taajuus kaksinkertaistuu, jos matka lyhenee puoleen. Kaistanleveys on sekä siirtonopeutta että etäisyyttä rajoittava tekijä. (4, s. 14.) Monimuotokuitukaapelien maksimipituuksia näkyy kuvassa 4.



KUVA 3. Yksimuotokuitu ja monimuotokuitu (5)

Designation	Modal Bandwidth @ 850 nm (MHz.km)	Duplex LC				MPO			
		1000BASE-SX		10GBASE-SR		40GBASE-SR4		100GBASE-SR4	
		Meters	Feet	Meters	Feet	Meters	Feet	Meters	Feet
OM1	200	275	902	33	82	—	—	—	—
OM2	500	550	1,808	82	269	—	—	—	—
OM3	2,000	860	2,822	300	984	100	328	70	230
OM4	4,700	860	2,822	400	1,312	100	328	100	328

KUVA 4. Monimuotokuidun maksimipituuksia (6)

Kytkenäkuitujen polariteetilla tarkoitetaan, miten duplex-kuidut on kytketty liittimien välillä. Riippuen verkonrakentamiseen päätetystä ristikytkennän tavasta kuidut voidaan asentaa kytkentäkuituun A:sta A:han tai ristiin A:sta B:hen. Yleensä liittimeen on vähintään merkitty A- ja B-kirjaimet tai kuidut voivat olla vaipaltaan eri värisiä. Polariteetin saa selville esimerkiksi niin, että kun kaapelin molemmat päät ovat vierekkäin ja liittimet ovat samoin päin, niin suorakytkennässä samat kirjaimet ovat ylemmissä kuiduissa (A-A) ja vastaavasti alemmissä (B-B). Kuvassa 5 vaihtoehto 1 on ristikytkentä ja vaihtoehto 2 suorakytkentä. (7.)

Vaihtoehto 1) A-B/B-A

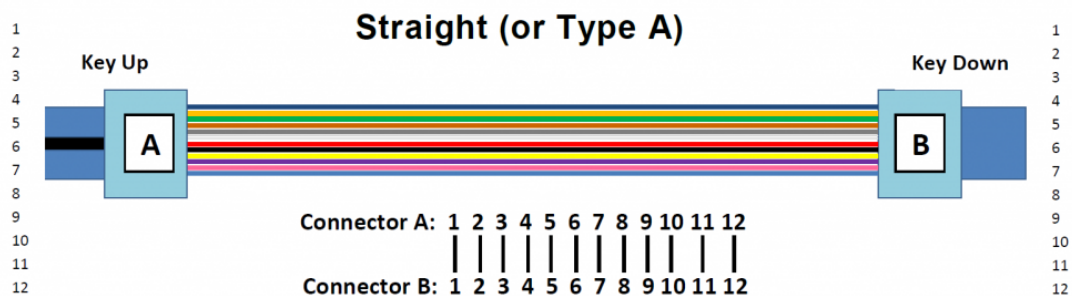


Vaihtoehto 2) A-A/B-B

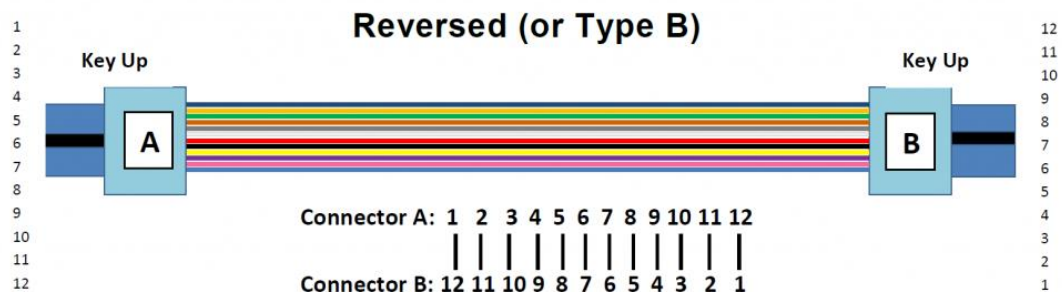


KUVA 5. Risti- ja suorakytkentä (7)

Standardi TIA 568b.1-7 määrittelee A-, B- ja C-tyyppiset MPO-liittimen polariteetit. Yleisimmin käytettävä kytkentämalli on A, jossa liittimen 1-kuitu menee 1-kuituun kummassakin päässä. A-polariteetissa, eli suorassa kytkennässä, 12-kuituisen liittimen 1-kuitu menee 1-kuituun kummassakin päässä. B-polariteetissa, eli käänteisessä kytkennässä, 12-kuituisen liittimen 1-kuitu menee 12-kuituun toisessa päässä. C-polariteetissa, eli parit ristiin kytkennässä, 12-kuituisen liittimen kukin pari kytketään ristiin, 1-kuitu menee 2-kuituun ja 3-kuitu menee 4-kuituun ja niin edelleen. (8.) Kuvissa 6, 7 ja 8 esitetään MPO-runkokaapelin eri polariteetit.



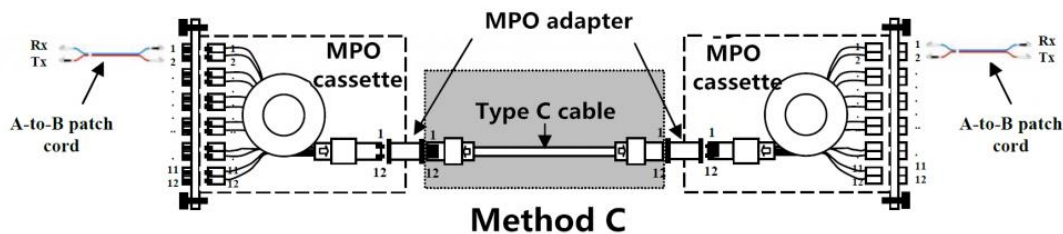
KUVA 6. Polariteetti A (9)



KUVA 7. Polariteetti B (9)



Parin käänteistä runkokaapelia käytetään menetelmän C (kuva 10) liitännässä MPO-moduulien liittämiseksi linkin molempiin puoliin. Molemmilla puolilla käytetään tavallisia A-B-tyyppisiä duplex-patch-kaapeleita. (9.)



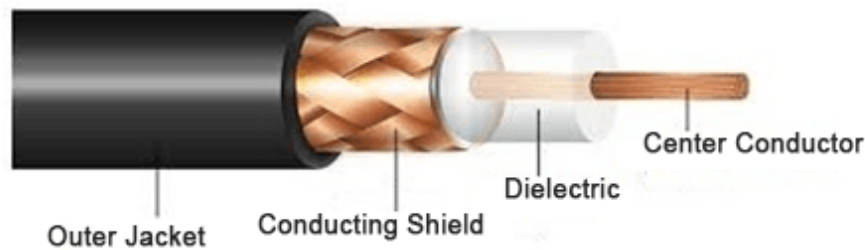
KUVA 11. Menetelmä C (9)

## 2.2.2 RF-kaapelit

RF-kaapeli eli koaksiaalikaapeli on eräänlainen sähkökaapeli, joka koostuu sisemmästä johtimesta, jota ympäröi samankeskinen johtava suoja. Nämä kaksi on erotettu eristeellä. Koaksiaalikaapeleilla on myös suojaava ulkovaippa.

Koaksiaalikaapeli on eräänlainen siirtolinja, jota käytetään suurtaajusten sähköisten signaalien kuljettamiseen pienillä häviöillä. Sitä käytetään esimerkiksi sellaisiin tarkoituksiin kuin puhelinjohtojen yhteydet, kaapelitelevisiosignaalit sekä radiolähettimien ja -vastaanottimien liittäminen antenneihin.

Koaksiaalikaapeli johtaa sähköistä signaalia käyttämällä sisäistä johdinta, jota ympäröi eristävä kerros ja joka on suojattu käyttämällä yhdestä neljään kerrosta kudottua metallipunosta ja metallinauhaa. Kaapeli on suojattu ulommalla eristysvaipalla. (Kuva 12.) Normaalisti suojan ulkopinta pidetään maapotentiaalissa ja keskijohtimeen syötetään signaalinsiirtojännite. Kaapelin ulkopuolella olevat sähkö- ja magneettikentät estetään suurelta osin häiritsemästä kaapelin sisäisiä signaaleja, jos linjan vastaanottopäässä suodatetaan epätasainen virta. Tämä ominaisuus tekee koaksiaalikaapelista hyvän valinnan sekä heikkojen signaalien siirtämiselle, jotka eivät siedä ympäristön häiriötä, että voimakkaammille sähköisille signaaleille, joiden ei saa antaa säteillä tai kytkeytyä vierekkäisiin rakenteisiin tai piireihin. Halkaisijaltaan paksummat kaapelit ja kaapelit, joissa on useita suojuksia, vuotavat vähemmän. RF-kaapelin käytettävä pituus määräytyy vaimennuksesta ja käytettävästä taajuudesta. Mitä korkeampi taajuus on, sitä suurempi on vaimennus ja sitä lyhyempää kaapelia joudutaan käyttämään.



KUVA 12. Koaksiaalikaapelin rakenne (10)

### 2.2.3 LAN-kaapelit

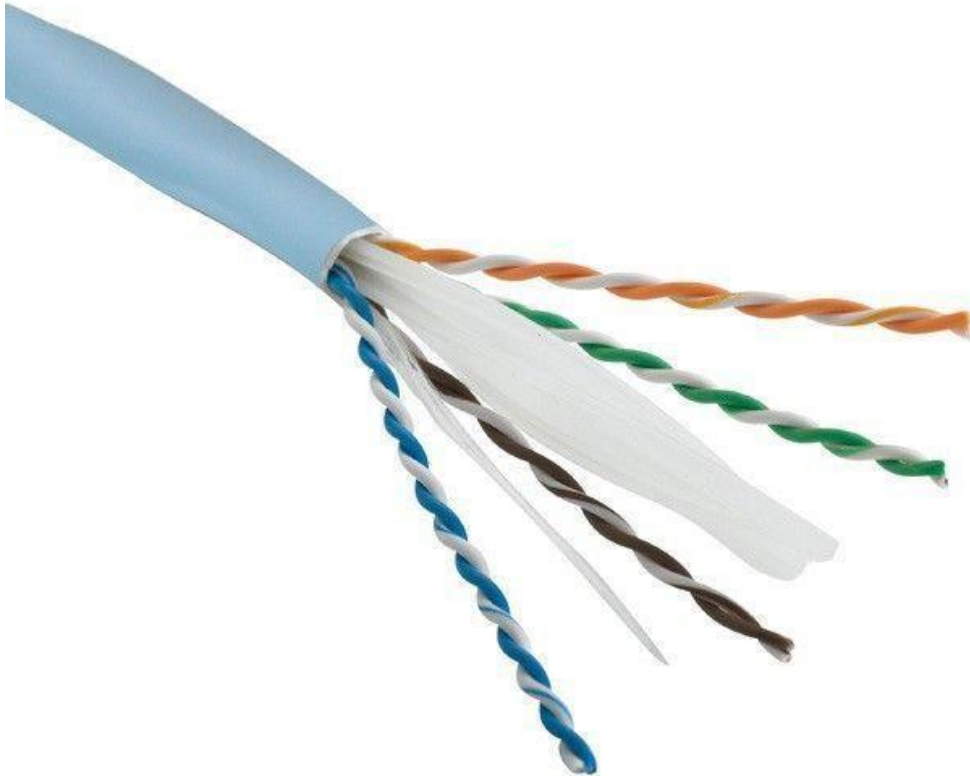
Ethernet on langallisten tietokoneverkkojen perhe, jota käytetään yleisesti lähiverkossa (LAN). Ethernet-versiot käyttävät kierrettyjä pari- ja valokuitulinkkejä kytkinten yhteydessä. Ethernet-tiedonsiirtonopeus on historiansa aikana kasvanut alkuperäisestä 2,94 megabitistä sekunnissa (Mbit / s) uusimpaan 40 gigabittiin sekunnissa (Gbit / s).

Ethernet-verkon kautta viestivät järjestelmät jakavat tietovirran lyhyemmiksi paloiksi, joita kutsutaan kehyksiksi. Jokainen kehys sisältää lähde- ja kohdeosoitteet sekä virheen tarkistusdatan, jotta vahingoittuneet kehykset voidaan havaita ja hylätä. Useimmiten korkeamman tason protokollat laukaisevat kadonneiden kehysten uudelleenlähetyksen.

Ethernet-kaapeleissa voi olla monenlaisia rakenteita. Yleisin rakenne on kierretty parikaapeli. Kaksi kaapelia ethernet-kaapelin sisällä on kierretty yhteen. Parikaapeli on alan standardikaapeli. Sillä on melkein parhaat tulokset enimmäispituuden ja nopeuden pudotusten suhteen. Vain kuitukaapelit suoriutuvat näissä paremmin. Yksi syy niiden laatuun on, että nämä kaksi kaapelia kuljettavat tietoa molempiin suuntiin, mikä tasapainottaa sähkökenttiä. Tämä vähentää johtimessa olevaa signaalikohinaa, eli häiriötä. Signaalikohina tarkoittaa mitä tahansa sähkövirtaa tai radiotaajuutta, joka ei liity siirrettyyn dataan. Nämä lisäsignaalit häiritsevät usein kaapelin läpi kulkevaa dataa. Kohina voi tulla kaapelin sisäpuolelta tai ulkopuolisista lähteistä. Mitä enemmän on sähköistä kohinaa, sitä heikompi on signaalin laatu. (11.)

Parikaapeli voi olla suojaamaton tai suojattu. Suojaamattoman kaapelin ympärillä ei ole foliosuojaa tai punottua suojausta. Vaikka suojaamattomat kaapelit ovat paljon halvempia, signaalin laatu heikenee sähköisen kohinan kautta. Suojatuilla kaapeleilla on punottu tai foliosuojaus, joka on yleensä valmistettu kuparista tai muusta johtavasta polymeeristä. Suojaus vähentää sähköistä kohinaa ja parantaa yhteyden laatua. (11.)

Ethernet-kaapelin johtimet voivat olla joko kiinteitä tai monisäikeisiä. Kiinteitä kaapeleita käytetään yleensä yritysverkoissa ja ne suoriutuvat hiukan paremmin kuin säikeiset kaapelit. Niitä on halvempaa tuottaa, joten ne ovat usein paljon edullisempia kuin monisäikeiset kaapelit. Säikeisissä kaapeleissa on muutamia pienempiä johtoja, jotka toimivat yhdessä. Useimmat kytkentäkaapelit ovat säikeisiä kaapeleita. Säikeiset kaapelit kestävät paremmin esimerkiksi taittelua. (Kuvat 13 ja 14.)



*KUVA 13. Suojaamaton parikaapeli (12)*



*KUVA 14. Suojattu parikaapeli (13)*

Ethernet-kaapeleita on saatavana eri kategorioissa. Kukin kategoria viittaa erilaisiin standardeihin. Kun standardit muuttuvat ajan myötä, luodaan uusia kategorioita. Nämä kategoriat ovat:

- Kategoria 5 (Cat 5) on vanhempi Ethernet-kaapeli ja se mahdollistaa jopa 100 Mbps nopeuden.
- Kategoria 5e (Cat 5e) on päivitetty Cat 5-versio, joka mahdollistaa nopeamman nopeuden ja vähentää sähkökaapeleiden aiheuttamia häiriöitä.
- Kategoria 6 (Cat 6) mahdollistaa jopa 10 gigabitin nopeuden alueesta riippuen. Cat 6-kaapelissa on ohuet johdot, mikä auttaa sen signaali-kohinasuhteessa. Nämä kaapelit ovat jäykempiä kuin Cat 5-kaapelit, mikä voi vaikeuttaa niiden kulkemista tiukkojen kulmien ympäri.
- Kategoria 6a (Cat 6a) on parannettu versio Cat 6-kaapelista. Se mahdollistaa jopa 10 gigabitin nopeuden. Kaapelit tarjoavat kaksi kertaa suuremman kaistanleveyden kuin Cat 6. Yleensä Cat 6-kaapelit ovat suojattuja. Suojaus vähentää sähköistä kohinaa ja sähkömagneettisen säteilyn vaikutusta signaaleihin.
- Kategoria 7 (Cat 7) tarjoaa jopa 10 Gbps 15 metrin etäisyydelle. Cat 7:n kierrettyjen kaapeleiden on oltava täysin suojattuja, mikä eliminoi ylikuulumisen ja parantaa sähköistä kohinankestävyyttä.
- Kategoria 8 (Cat 8) mahdollistaa 2000 MHz:n kaistanleveyden ja 40 Gbps:n nopeuden. Nämä kaapelit on suunniteltu erityisesti datakeskuksia ja yritysverkkoja varten, joten ne ovat paljon kalliimpia.

Tällä hetkellä alin käytettävissä oleva standardi on Cat 5. Kaikki sitä vanhemmat ovat nyt vanhentuneita. Internet-nopeuksien kasvaessa myös Cat 5-kaapelit ovat jäämässä vanhentuneiksi. (10.) Ethernet-kaapelien maksimipituus on noin 100 metriä datan siirrossa. Passiiviselle PoE:lle maksimipituus on noin 50 metriä. 802.3af- ja 802.3at -standardien PoE:n maksimipituus on 100 metriä.

## **2.3 Sähkönjakelu**

Kiinteistön sähkönjakeluverkot ovat yleensä pienjänniteverkkoja, joiden jännitteenä on 400/230 V. Kiinteistöjen sähköverkot ovat kolmivaiheisia ja ne koostuvat johtimista, keskuksista, sähkönlaatua muokkaavista laitteista, suojalaitteista, kulutuskojeista ja mittalaitteista. Kiinteistön sähkönjakeluverkko on yleensä säteittäinen ja säteittäisen verkon haarojen kärjissä on kulutuskojeita. Kiinteistön sähkönjakeluverkon rungon muodostaa sähkönjakelukeskusten ja nousujohtojen muodostama jakokeskusjärjestelmä, jota kiinteistöissä kuvataan nousujohtokaaviolla. (14, s. 10.)

### **2.3.1 Keskuksset**

Jakokeskusverkosto on tärkeä osa sähkönjakelua sähköenergian mittauksen ja sähkön kulutuksen kannalta. Se mahdollistaa alueittaisen sähkön kulutuksen seuraamisen ja analysoinnin jakamalla kiinteistön sähköverkon ja kiinteistön sähkön kulutuksen alueisiin.

Keskuksset voidaan jakaa kolmeen eri tyyppiin niiden jakelualueen mukaan: pääkeskuksset, nousukeskuksset ja ryhmäkeskuksset. Kiinteistössä sähkö virtaa ensin pääkeskukseen, sieltä nousukeskuksiin ja niiden kautta ryhmäkeskuksiin. Muita keskustyyppiä ovat mittauskeskus, pistorasiakeskus, ohjauskeskus ja säätökeskus, mutta niiden ei voida sanoa olevan osa sähkönjakelun runkoa, vaan ne tuovat lisäominaisuuksia kiinteistön sähköverkkoon, kuten kuormitusten hallinta tai energiankulutuksen mittaus.

Pääkeskus muodostaa sähköverkon yhdyspisteen kiinteistössä. Siihen tulee liittymisjohto, joka yhdistää kiinteistön sähköverkon osaksi yleistä sähkönjakeluverkkoa. Pääkeskus jakaa sähkön alemmille jakotasoille kiinteistössä. Sähköverkko on usein puumainen ja jokaisella keskuksella on oma jakelualueensa. Kiinteistön pääkeskus sisältää kiinteistön pääkytkimen ja pääsulakkeet. Yleensä

myös kiinteistön sähkön mittaukselle on varattu tilaa pääkeskuksessa. Pääkeskuksen sähköjakoalueena on yleensä koko kiinteistö ja sen kautta kulkee kaikki kiinteistössä käytetty sähköenergia, ellei kiinteistössä esimerkiksi sen koon tai muun syyn takia ole haluttu jakaa kiinteistön sähköjakoalua useampaan pääkeskukseen. (14, s.15; 7.)

Isommissa kiinteistöissä sähköjakeluun käytetään nousukeskuksia. Ne ovat tavallisia jakokeskuksia, jotka syöttävät muita jakokeskuksia. Nousukeskuksia käytetään taloudellisista syistä. Isoissa kiinteistöissä on edullisempaa käyttää vain yhtä kaapelia ja jakaa sen siirtämä sähköenergia alakeskuksiin. Nousukeskuksen jakoalue on sen alapuolella olevien keskusten jakoalue. Tämä on yleensä jokin suurempi kokonaisuus, kuten esimerkiksi rakennuksen yksi kerros.

Ryhmäkeskuksella on kiinteistön sähköjakelussa pienin jakoalue. Nämä keskuksat syöttävät kiinteistön kuormia ja niitä on enemmän kuin muita keskustyyppisiä. Sen jakoalue voi olla esimerkiksi kerrostalon yksi huoneisto.

Eritasoiset keskuksat eivät eroa toisistaan paljoa rakenteellisesti. Enimmäkseen eroja löytyy keskusten fyysisistä mitoista ja keskuksissa olevien kaapeleiden määrästä ja koosta. Keskuksat ovat periaatteessa vain sähköverkon suojalaitteiden koteloita ja kiinteistön sähköverkon yhdyspisteitä. Kuvassa 15 näkyy hyvin tyypillinen sähkökeskus.

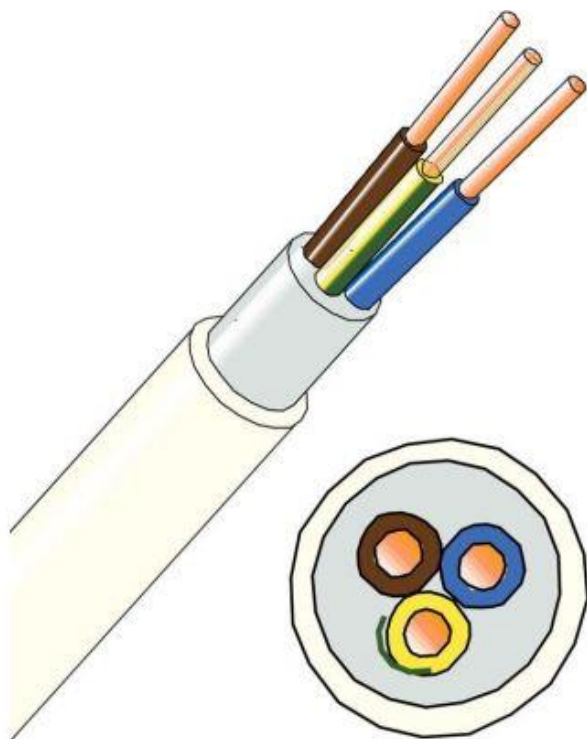


KUVA 15. Sähkökeskus (16)

## 2.3.2 Kaapelit

Kaapeleilla ja johtimilla toteutetaan sähkönjakelu keskuksilta jakelupisteisiin ja sähkönjakelu keskusten välillä. Kaapeleilla siirretään sähköenergiaa, jota kulutuspaikoilla hyödynnetään. Kaapelin tulee siirtää tämä energia tiettyjen reunaehtojen sisällä. Ehtoja ovat esimerkiksi jännitteen alenema, terminen kestävyys, oikosulkukestävyys, mekaaninen kestävyys ja häviöiden pienuus. Näiden lisäksi kustannukset pyritään pitämään matalana.

Kaapeleiden pienin sallittu poikkipinta-ala on määritelty standardin SFS 6000-5-52:2017 taulukossa 52.2 (17, s. 17). Kaapelin poikkipinta-alaa määrittäessä, tarvitaan vähimmäisvaatimusten lisäksi myös muita tietoja. Nämä ovat esimerkiksi suurin sallittu lämpötila, oikosulkukestoisuus, vikasuojausvaatimusten kannalta virtapiirin suurin impedanssi, jännitteen alenema ja kaapeleihin kohdistuva mekaaninen rasitus. Kaapelin kestävä virta johtuu suoraan kaapelin kestävästä lämpötilasta. Kaapelin eristykset ja rakenne voivat kärsiä, jos sen ympäristö ei pysty jäähdyttämään kaapelia tarpeeksi. Muiden vaatimusten puuttuessa suositellaan, että jännitteenalenema ei saa olla sähköasennuksen liittymiskohdan ja sähkölaitteen välillä suurempi kuin SFS 6000-5-52:2017 taulukossa G52.1 on esitetty (17, s. 18). Kuvassa 16 näkyy MMJ-kaapelin rakenne.



KUVA 16. MMJ-kaapeli (18)

### 2.3.3 Mittarit

Sähköenergian kulutusta kiinteistöissä mitataan verkkoyhtiön energiamittareilla. Isoissa kiinteistöissä saattaa olla näiden lisäksi teho- ja loistehomittauksia. Kiinteistöissä saattaa olla myös omia sähkön mittauksia takamittareilla.

### 2.3.4 Suojalaitteet

Sähköjakelun kannalta muita merkittäviä komponentteja ovat verkon suoja-, erotus- ja kytkentälaitteet. Yleisimmin käytetty vikasuojausmenetelmä sähköasennuksissa on automaattisesti toimiva syötön nopea poiskytkentä. Yleensä tämä toteutetaan ylivirtasuojalla ja vikavirtasuojalla voidaan täydentää suojausta. Vikavirtapiirin suojajohtimien mitoitus ja kestävyys oikosulkuvirroilla on aina myös huomioitava vikasuojauksessa. (19, s. 93, 95.)

Vikasuojauksen toimivuutta voidaan testata mittaamalla pienimmät oikosulkuvirrat kaapelin päässä tai selvittämällä keskusten pienimmät ja suurimmat oikosulkuvirrat ja tutkimalla suurimmat sallitut kaapeleiden pituudet. Vikatilanteessa suoja- ja vaihejohtimen välillä on oltava riittävä oikosulkuvirta nopean poiskytkennän toteutumiseksi. Vikavirtasuojauksen toiminta on varmistettu, kun laukaisu tapahtuu sinimuotoisella vikavirralla, joka on pienempi tai yhtä suuri kuin suojan mitoitusvirta (20, s. 7).

Ylivirtasuojaus on oikosulku- ja ylikuormitussuojausta. Ylikuormitussuojalla suojataan laitteita, kun virta ylittää kaapelin suurimman sallitun kuormitettavuuden. Se myös suojaa kaapeleita lämpenemiseltä ja tulipaloilta ylikuormitustilanteessa. Ylivirtasuojina toimivat yleensä sulakkeet ja katkaisijat (kuva 17). (19, s. 29.) Suojausta oikosululla nollan ja vaiheen tai maan ja vaiheen välillä sanotaan oikosulkusuojaksi. Oikosulkuvirta, joka esiintyy oikosulutilanteessa, voi kasvaa huomattavasti ylikuormitusvirtaa suuremmaksi ja aiheuttaa valokaaren, tulipalon tai muun vakavan vaaran. Oikosulkusuojauksen pitää olla toimiva koko suojattavan kaapelin pituudelta.



KUVA 17. Johdonsuojakatkaisija (21)

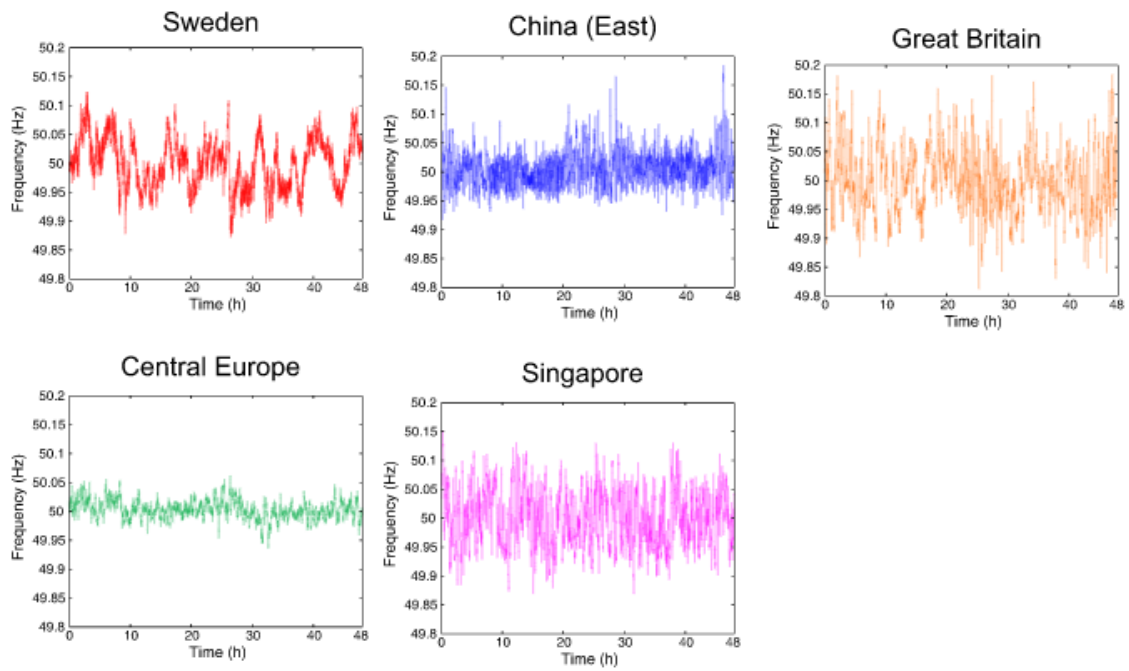
### 2.3.5 Sähkönlaatu

Sähkön jännitteen laatu on määritelty standardissa SFS-EN 50160. Sähkönlaatu on kokonaisuus, jossa jännite, taajuus ja aaltomuoto ovat määriteltyjen standardien mukaisia. Hyvä sähkönlaatu voidaan määritellä tasaiseksi syöttöjännitteeksi, joka pysyy määrätyllä alueella: tasainen vaihtovirran taajuus lähellä nimellisarvoa ja sileä jännitekäyrän aaltomuoto. Yleensä voi kuvitella sähkönlaadun yhteensopivuutena pistorasiasta tulevan sähkön ja siihen kytketyn kuorman välillä. Ilman asianmukaista sähköä sähkölaite voi toimia virheellisesti, rikkoontua ennenaikaisesti tai olla toimimatta ollenkaan. On monia tapoja ja syitä, joiden takia sähkönlaatu voi olla huono. Näitä ovat esimerkiksi:

- jännitetason vaihtelut (jännitehäviöt)
- taajuus
- harmoniset yliaallot
- epäsymmetria
- nopeat jännitemuutokset.

Verkonhaltijoiden parhaiten hallittavissa olevat jännitteen laadun ominaisuudet ovat taajuus ja hitaat jännitetason vaihtelut. Kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj valvoo taajuudensäätöä Suomessa. Sähkönkäyttöpaikalla ja siihen liitetyillä sähkölaitteilla ei ole vaikutusta taajuuteen. (22, s. 12.) Kuvassa 18 näkyy eri maiden sähköverkkojen taajuuden vakauksia. Sähkönlaatu on tärkeää ottaa huomioon

tuotekehityslaboratorioissa. Jos nämä jätetään huomioimatta, voivat esimerkiksi yliaallot häiritä tietynlaisia testejä ja mittaustuloksia.



KUVA 18. Eräiden suurten sähköverkkojen taajuuden vakauksia (23)

### 3 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli laatia järjestelmäkuvauus 5G OTA tuotekehityslaboratorion infrastruktuurista. Järjestelmäkuvaukseen kuuluvat osiot 5G OTA teoriasta, yleiskaapeloinnista, sähköjälustusta ja 5G OTA-testausympäristöistä ja niiden kaapeloinneista. Kustannusarvioita ja LVI-puolen infrastruktuuria ei esitetä tässä opinnäytetyössä ja järjestelmäkuvauusosio ei ole mukana työn julkisessa versiossa.

Kokonaisen tuotekehityslaboratorion infrastruktuurin järjestelmäkuvauksen laatiminen oli suhteellisen laaja projekti, joka vaati perehtymistä kiinteistöön ja erilaisiin menetelmiin ja ratkaisuihin, joita kiinteistössä oli käytetty. Infrastruktuurin järjestelmäkuvauksen laatimisessa tulee tehdä kiinteistöstä laaja kartoitus, joka pohjautuu saatavilla oleviin dokumentteihin ja paikan päällä nähtäviin asioihin. Tavoitteena oli saada kattava kuva kiinteistön infrastruktuurin nykytilanteesta.

Järjestelmäkuvauksen laatimisen aikana isoja haasteita asetti kiinteistöä ja OTA-testausympäristöjä koskevien dokumenttien haltuun saaminen. Suurin osa tarvittavista dokumenteista oli yksittäisten ihmisten omilla tietokoneilla ja kovalevyillä, jolloin lisäselvittelyt osoittautuivat erittäin tarpeelliseksi. Myös eri osa-alueiden ammattilaisten haastattelut olivat erittäin merkittävä osa järjestelmäkuvauksen laatimista.

Opinnäytetyössä käsiteltävää 5G OTA tuotekehityslaboratoriota laajennetaan vielä vuoden 2021 aikana. Laboratoriotilaan lisätään enemmän samanlaisia ympäristöjä kuin on ollut aikaisemmin jo käytössä, mutta myös uudenlaisia, joita ei ole vielä ennen käytetty tässä tuotekehityslaboratoriossa. Tulevaisuudessa opinnäytetyötäni voidaan mahdollisesti käyttää referenssinä, kun rakennetaan uutta tuotekehityslaboratoriota tai laajennetaan nykyistä. Kehitysideana järjestelmäkuvaukseen voisi lisätä kiinteistön LVI-puolen kuvaukset ja mahdollisesti kustannukset. Näin saataisiin täysi järjestelmäkuvauus tuotekehityslaboratorion infrastruktuurista. Tuotekehityslaboratorioon olisi myös hyvä ottaa PME-järjestelmä käyttöön, koska siihen tarvittava laitteisto on jo asennettuna. Tämä mahdollistaisi esimerkiksi erilaisten sähkökuormien ja piikkien reaaliaikaisen seurannan.

## LÄHTEET

1. Wilson, Lawrence 2019. The Critical Role OTA Testing Will Play in 5G. Saatavissa: <https://www.mwrf.com/technologies/test-measurement/article/21849607/rohde-schwarz-the-critical-role-ota-testing-will-play-in-5g>. Hakupäivä: 19.3.2021.
2. Linville, Clinton 2020. Delivering 5G Devices to Market Will Bank on OTA Testing. Saatavissa: <https://www.electronicdesign.com/technologies/test-measurement/article/21121209/delivering-5g-devices-to-market-will-bank-on-ota-testing>. Hakupäivä: 22.1.2021.
3. Fiber Optic Cable Guide: Fiber Optic Cable Types and Installation 2014. Saatavissa: <https://community.fs.com/blog/a-guide-on-fiber-optic-cable.html>. Hakupäivä: 21.1.2021.
4. Juntunen, Ville 2015. Optiset verkot. Opinnäytetyö. Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu.
5. Ladu. Yksi- ja monimuotokuidut. Saatavissa: [http://ladu.htk.tlu.ee/erika/lasse/fibre\\_cables/yksi\\_ja\\_monimuotokuidut.html](http://ladu.htk.tlu.ee/erika/lasse/fibre_cables/yksi_ja_monimuotokuidut.html). Hakupäivä: 8.4.2021.
6. LEVITON 2019. Understanding Distance Limits with Multimode Fiber. Saatavissa: <https://blog.leviton.com/understanding-distance-limits-multimode-fiber>. Hakupäivä: 12.4.2021.
7. Orbis 2016. Kytkenäkuitujen polariteetti. Saatavissa: <https://www.orbis.fi/blogi/kytken%C3%A4kuitujen-polariteetti>. Hakupäivä: 6.4.2021.
8. BCC solutions. MPO-tuotteet. Saatavissa: <https://www.bccsolutions.fi/teknologiat/mpo/>. Hakupäivä: 6.4.2021.
9. FOCC 2019. MPO-kaapelin ja napaisuuden ymmärtäminen. Saatavissa: <http://fi.optical-patchcable.com/news/understanding-mpo-cable-and-polarity-24221066.html>. Hakupäivä: 6.4.2021.

10. Everything RF 2019. Saatavissa: <https://www.everythingrf.com/community/coaxial-cable-construction>. Hakupäivä: 21.1.2021.
11. Ellis, Justin 2019. What Is An Ethernet Cable And What Does It Do? Saatavissa: <https://www.comms-express.com/blog/what-does-an-ethernet-cable-do/>. Hakupäivä 19.3.2021.
12. SLO. Parikaapeli suojaamaton kat6A – 100-219(100-189) Dca. Saatavissa: <https://verkko-kauppa.slo.fi/fi/parikaapeli-suojaamaton-kat6a-100-219-100-189-dca-0223300>. Hakupäivä: 22.1.2021.
13. Nylund. Parikaapelit R&M CAT6A suojattu. Saatavissa: <https://nylund.fi/tuotteet/tietoverkot/parikaapelit/rm-parikaapelit-cat6a-suojattu/>. Hakupäivä: 22.1.2021.
14. Wilen, Heikki 2011. Toimistokiinteistön sähköenergian mittaustiedon analysointi ja hyödyntäminen. Diplomityö. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
15. Ensto. Keskuksen merkitys. Saatavissa: <http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1210598235193/1210598254225/1210598315291.html>. Hakupäivä: 29.1.2021.
16. Savon Sähkötekniikka Oy. Käytönjohtajan palvelut. Saatavissa: <http://savonsahkotekniikka.fi/palvelut/yrityspalvelut/kayntonjohtaja-palvelut/>. Hakupäivä: 29.1.2021.
17. SFS 6000 2017. Pienjännitesähköasennukset. Osa 5-52. Sähkölaitteiden valinta ja asentaminen. Johtojärjestelmät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.
18. SLO. As.kaapeli 300/500V. Eca- MMJ 3x1.5 S R100. Saatavissa: <https://verkko-kauppa.slo.fi/fi/as-kaapeli-300-500v-eca-mmj-3x1-5-s-r100-eca-0407152>. Hakupäivä: 29.1.2021.
19. Tiainen, Esa 2015. Pienjännitesähkölaitteiston mitoitus. Espoo: Sähköinfo Oy.

20. Vainio, Joni 2018. Kiinteistön sähköverkon suojausten tarkastelu. Insinööri työ. Helsinki: Metropolia Ammattikorkeakoulu.
21. SLO. Johdonsuojakatkaisija 6 kA ABB – S201-C50. Saatavissa: <https://verkko-kauppa.slo.fi/fi/johdonsuojakatkaisija-6-ka-abb-s201-c50-3210450>. Hakupäivä: 2.2.2021.
22. Energiateollisuus 2014. Sähkötoimituksen laatu- ja toimitustapavirheen sovellusohje. Saatavissa: [https://energia.fi/files/881/Sahkontoimituksen\\_laatu\\_ja\\_toimitustapavirheen\\_sovellusohje\\_2014.pdf](https://energia.fi/files/881/Sahkontoimituksen_laatu_ja_toimitustapavirheen_sovellusohje_2014.pdf). Hakupäivä: 3.2.2021.
23. Wikipedia. Electric power quality. Saatavissa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_power\\_quality](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_power_quality). Hakupäivä: 3.2.2021.