

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikka

Tietoliikennejärjestelmät

2011

Kimmo Tuomi

# YRITYKSEN TIETOLIIKENNE- VERKON KARTOITUS



TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Kimmo Tuomi

## YRITYKSEN TIETOLIIKENNEVERKON KARTOITUS

Opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa Trafotek Oy:n tietoliikenneverkko, koska verkon dokumentointia ei ole aikaisemmin toteutettu ollenkaan. Dokumentoinnin puuttuminen oli saanut aikaan tilanteen, jossa verkon kytkimet olivat täyttyneet eikä kenelläkään ollut tarkkaa tietoa verkon suorituskyvystä tai laajennettavuudesta.

Työssä selvitettiin johtotiet, jakamopaikat, käytettävät aktiivilaitteet sekä liitännäisasiat ja niiden merkinnät. Tämän jälkeen mietittiin verkon mahdollisia parannusehdotuksia. Teoriaosuudessa perehdytään pari- ja valokaapeleihin, näiden tekniikkaan sekä valittavuuteen. Teoriaosuutta voi käyttää apuna valittaessa käyttötärpeeseen sopivia kaapeleita erityyppisten kaapeleiden väliltä. Työssä ei perehdytä mittauksiin, mutta mittauksissa auttavia kaapeleiden ominaisuuksia on listattu ja näiden raja-arvot kanavassa on taulukoitu työn teoriaosuuteen.

Johtotiet, jakamot sekä liitännäsiapaikat saatiin merkittyä rakennuksen omaan pohjapiirrokseen. Tämän avulla saatiin kuvaus verkosta tehtyä selkeäksi ja helppolukuiseksi. Lisäksi saatiin selvitettyä kytkinten porttien ja kerroskaapeloinnin liitännäpaneelin väliset ristikytkennät, minkä avulla voitiin vapauttaa kytkinten käyttämättömiä portteja.

Parannusehdotuksia verkon optimoimiseksi ja osaltaan rakenteen muuttamiseksi esitettiin alle kymmenen. Osa parannuksista ei ole ajankohtaisia, koska ne ovat liian hintavia yrityksen nykyiseen tarpeeseen. Ne kuitenkin auttavat tulevaisuudessa verkon laajennettavuuden ja sovellettavuuden suunnittelussa. Suurin parannettavuus on verkon toiminnan varmistamisessa, joka varsinkin paljon tuotantoa sisältävässä yrityksessä on tärkeää kaapeleiden vahingoittumisen takia. Myös tuotannon ohjaus kulki yrityksessä lähinnä tietoverkon kautta.

### ASIASANAT:

yleiskaapelointi, dokumentointi, tietoliikenneverkko

Kimmo Tuomi

## CHARTING A COMPANY'S TELECOMMUNICATIONS NETWORK

The purpose of this Bachelor's Thesis was to chart a telecommunications network of Trafotek Oy because there was no documentation available. The absence of documentation had caused a situation where some of the telecommunications network switches had become full. And in the second place, there was no one who actually had exact information about the telecommunications network of Trafotek Oy.

Cable routes, active equipment and telecommunications outlets including their marking on the patch panel were found out in this thesis. The acceptable improvement of telecommunications network was considered after this. The theory part of this thesis focuses on twisted pair cables and optical fibre cables and the technology of these cables. The theory part helps to choose right cables for the right application. Measurements were excluded from this thesis but properties of the cables that help in measuring were examined.

Cable routes, active equipment and telecommunications outlets were written down on the building's own layout. With this layout the description of telecommunications network is clear and readable. Furthermore, the cross-connections of switches and patch panels were clarified so it is now possible to free the unused ports of switches.

Fewer than ten proposals for improvement for optimizing the telecommunications network were made. Some of the proposals are not worthwhile because they are too expensive for the current need of the company. They will, however, help in extending and designing the telecommunications network in the future. The biggest improvement to be made is to ensure the operation of the network because of the damage of cables. Production management is also operated over the telecommunications network.

### KEYWORDS:

generic cabling, documentation, telecommunications network

# SISÄLTÖ

<b>1 JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2 DOKUMENTOINTI</b>	<b>2</b>
<b>3 YLEISKAPELOINTIJÄRJESTELMÄ</b>	<b>4</b>
3.1 Rakenne ja mitoitus	4
3.2 Kaapelointiluokat	6
<b>4 PARIKAAPELIT</b>	<b>8</b>
4.1 Rakenne	8
4.1.1 Johdin	8
4.1.2 Eriste	9
4.1.3 Vaippa	10
4.2 Symmetria	10
4.3 Suojaus	11
4.4 Parikaapelityypit	12
4.4.1 Nelipariset kaapelit	12
4.4.2 Monipariset kaapelit	13
4.5 Sähköiset ominaisuudet	13
4.5.1 Ominaisimpedanssi ja heijastusvaimennus	14
4.5.2 Vaimennus	16
4.5.3 Lähipään ylikuuluminen, NEXT ja PSNEXT	16
4.5.4 Vaimennus-ylikuulumissuhde, ACR ja PSACR	18
4.5.5 Kaukopään ylikuulumissuhde, ELFEXT ja PSELFEXT	19
4.5.6 Kaapeleiden välinen ylikuuluminen, PSANEXT ja PSAACR-F	20
<b>5 OPTISET KUIDUT</b>	<b>21</b>
5.1 Optisen kuidun toiminta sekä tyypit	21
5.2 Materiaalit ja rakenne	22
5.3 Monimuotokuitu	23
5.4 Yksimuotokuitu	24
5.5 Optiset ominaisuudet	25
5.5.1 Vaimennus	25
5.5.2 Epälineaariset ilmiöt	26
5.5.3 Dispersio	26
5.5.4 Raja-aallonpituus	26
5.5.5 Kaistanleveys	27

<b>6 VALOKAAPELIT</b>	<b>28</b>
6.1 Rakenne	28
6.1.1 Kuidun suojaus	28
6.1.2 Sydän	29
6.1.3 Vetoelementit	30
6.1.4 Vaippa	30
6.2 Sisäkaapelit	31
6.3 Ulkokaapelit	31
6.4 Sisä- ja ulkokaapelien tunnistusjärjestelmä	32
<b>7 TRAFOTEK OY:N TIETOVERKON KARTOITUS</b>	<b>34</b>
7.1 Rakennus	34
7.2 Tietoliikenneverkko	34
7.2.1 Topologia	35
7.2.2 Talojakamo ja palvelinhuone	36
7.2.3 T1-alue	36
7.2.4 T2-alue	38
7.2.5 T1L-alue	38
7.2.6 Konttori-alue	39
7.2.7 WLAN-verkko	39
7.3 Toiminta- ja kehittämissuositukset	39
<b>8 DOKUMENTOINNIN TOTEUTUS</b>	<b>41</b>
8.1 Rajaaminen	41
8.2 Nimeäminen	41
8.3 Kaapelointi	42
8.4 Jakamot	42
<b>9 YHTEENVETO</b>	<b>43</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>44</b>
<b>LIITTEET</b>	<b>45</b>

# 1 JOHDANTO

Yritykset panostavat kasvavassa määrin sähköiseen liiketoimintaan. Erilaisia tietoliikennesovelluksia ja -palveluja onkin valittavissa yrityksiin useita erilaisia. Tietoliikenneverkko on tärkeä kiinteistökohtainen perusjärjestelmä, jonka luotettava toiminta on tärkeää sekä yrityksen tehokkuudelle että turvallisuudelle.

Opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa toimeksiantajayrityksen, eli Trafotek Oy:n, nykyinen tietoliikenneverkko sekä tehdä siitä selkeä ja helppokäyttöinen dokumentaatio. Tavoitteena on selvittää tilat, aktiivilaitteet, johtotiet sekä kaapelointiliitännäispisteineen. Tämän jälkeen arvioidaan yrityksen tietoliikennetarpeita ja tehdään parannusehdotus, jolla verkon tasoa saataisiin nopeammaksi, varmemmaksi ja standardin mukaisemmaksi. Hyvä tietoliikenne-infrastruktuuri luo perustan sille, mitä järjestelmiä ja palveluja voidaan toteuttaa.

Yleiskaapelointi ja pari- ja valokaapelit on käyty läpi teoriaosuudessa. Myös kaapeleiden sähköisiä sekä optisia ominaisuuksia on käyty läpi ja näiden vaatimuksiin on perehdytty EN 50173 -standardin mukaisesti. Kaapeleiden toiminnan ymmärtäminen auttaa yleiskaapeloinnin suunnittelussa, kun sitä sovelletaan jokaisen järjestelmän omiin tarpeisiin. Kaapeliliittimiä ei ole käyty työssä läpi, koska ne eivät vaikuta suurelta osin yleiskaapeloinnin rungon suunnittelussa. Myös verkon aktiivilaitteiden teoreettinen läpikäyminen on rajattu työn ulkopuolelle, koska ne kuuluvat omalta osaltaan eri aihealueeseen.

## 2 DOKUMENTOINTI

Dokumentointi kuvaa tietojärjestelmän rakenteen ja sen komponenttien toiminnan. Se voi olla sähköinen tai fyysinen asiakirja, joka vaatii jatkuvaa ylläpitämistä ajan tasalla pysyäkseen. Näin ollen sen pitää olla helposti asianomaisten saatavilla ja helposti tutkittavissa. Dokumentoitavat asiat päätetäänkin jokaisessa organisaatiossa erikseen. Jokaisen yrityksen pitäisi määrittää oman tietoverkon dokumentoinnin laajuus, jotta mahdollisen vian ilmetessä haitat yrityksen toimintaan olisivat minimoitavissa. Liian tarkka dokumentointi vain aiheuttaa moninkertaisen työn verrattuna yrityksen tai organisaation tarpeisiin.

Hyvällä dokumentoinnilla saadaan tietojärjestelmän palvelutaso korkeaksi, ja se toimii verkonhallinnan ja ylläpidon peruselementtinä. Tällöin vikaselvitykseen kuluva aika, vikojen nopea ja tehokas hallinta sekä korjaus vähenevät merkittävästi, koska järjestelmästä on ajan tasalla oleva dokumentaatio. Uusien palveluiden käyttöönotto yrityksessä tai organisaatiossa saadaan helposti varmennettua ja otettua käyttöön. Mahdollinen verkon uudistaminen, sen suunnittelu, laiteinvestoinnit ja sopimukset palveluntarjoajan kanssa nopeutuvat ja helpottuvat huomattavasti.

Tietoverkon fyysisen tason dokumentoinnissa kannattaa käyttää hyväksi rakennuksen pohjapiirustuksia. Isot rakennukset kannattaa jakaa selviin osiin, koska piirustuksiin tulevat yksityiskohtaiset merkinnät saattavat tehdä siitä epäselvän. Käytetyt symbolit kannattaa valita standardien mukaan tai ainakin niin, että ne ovat muidenkin ymmärrettävissä. Verkon toiminnan kannalta sen tärkeimmät osat, jotka kannattaa valita dokumentaatioon ovat [1,2]

- kaapelointi: kaapelityypit, johtotiet pituuksineen
- jakamoiden ja laiteilojen sijainti
- verkon aktiivilaitteet: laityypit, sarjanumerot
- MAC- ja IP-osoitteet.

Muita hyödyllisiä perustietoja dokumentointia varten ovat esimerkiksi

- WLAN-tukiasemat
- UPS-järjestelmät
- päätelaitteet
- liitännät
- palvelimet
- käytetyt työvälineohjelmat
- sovellusohjelmat sekä näiden versiot
- palvelemien ja työasemien käyttöjärjestelmät sekä näiden versiot.

Laitteiden ja ohjelmistojen maahantuojista ja toimittajista sekä varaosien saatavuuksista tulisi olla ajan tasalla olevat toimittajaluettelot sekä yhteystiedot. Yrityksessä olisi hyvä olla joitakin mittalaitteita ja analysointilaitteita sekä taitoa tunnistaa ja korjata vikoja. Näin ei kuitenkaan aina ole, jolloin tulisi olla tieto palveluiden saatavuudesta ja tarjoajista.

Yksi tärkeä osa tietoliikenneverkon dokumentaatiota ovat mittauspöytäkirjat. Mittaukset tulisi suorittaa aina uuden yhteyden asennuksen yhteydessä sekä hyväksytyillä mittalaitteilla. Tällöin mittauspöytäkirjoja voidaan verrata vikatilanteen yhteydessä tehtyihin tarkistusmittauksiin ja saadaan tieto, onko verkon fyysisellä tasolla tapahtunut muutoksia.

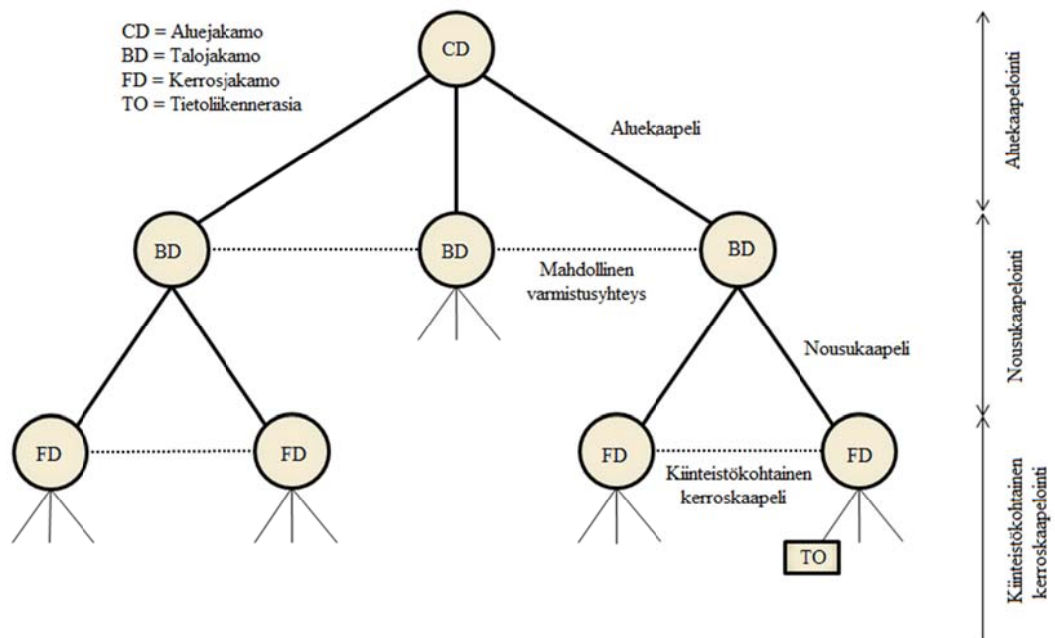


### 3 YLEISKAPELOINTIJÄRJESTELMÄ

Eri sovelluskohteilla on perinteisesti ollut omat kaapeloinnit omissa verkoissaan. Kaapelit, liittimet ja asennustarvikkeet olivat vielä 1980-luvulla laite- ja järjestelmäkohtaisia, ja näin hyvin riippuvaisia toimittajista. Eri toimittajien rakenneosilla ei voitu taata verkon toimivuutta. Ajatus toimittajariippumattomista kiinteistökaapeloinnista synnytti niinsanotun yleiskaapeloinnin, jonka tarkoitus on yhdistää eri sovellukset yhdeksi verkoksi. [1]

#### 3.1 Rakenne ja mitoitus

Yleiskaapeloinnin rakenne on pääperiaatteeltaan aina samanlainen ja siinä näkee tietyn määrämuotoisuuden. Jakamot, kaapelit, liittimet ja liitántärsiat kuuluvat aina kaapelointiin. Se sisältää osajärjestelmiä, kuten alue-, nousu- ja kerroskaapelointi sekä on tähtimäinen jokaisen jakamon suhteen. Kaapelointi voidaan toteuttaa monella eri tavalla, mutta oleellisinta on, että se täyttää standardin mukaiset vaatimukset. Kuvassa 1 on runkokaapeloinnin perusajatus, josta nähdään myös jakamoiden tähtimäinen topologia. Mahdolliset varmistusyhteydet on katkoviivoilla. [1]



Kuva 1. Runkokaapeloinnin perusajatus. [1]

Runkokaapelointi on kiinteistötyypistä riippumaton ja on määritelty EN 50173-1 -standardissa. Siihen kuuluvat alue- ja nousukaapelointi ja se ulottuu kiinteistön kerrosjakomaan saakka. Teollisuus-, toimisto- tai kotikaapeloinnit eroavat hieman toisistaan, nämä kiinteistökohtaiset kaapeloinnit on määritelty EN 50173 -standardin muissa osissa. Taulukkoon 1 on koottu EN-standardeja, joita voi käyttää apuna yleiskaapeloinnissa. Runkokaapeloinnissa optisten kaapeleiden käyttö on suositeltavaa niiden korkeamman siirtokyvyn sekä hyvän häiriönsietokyvyn takia. [1]

Taulukko 1. Yleiskaapeloinnin apuna käytettävät standardit. [3]

Standardi	Määritelmä
<b>EN 50173-1</b>	Kaikkien yleiskaapelointien yhteiset ja yleiset vaatimukset riippumatta kiinteistötyypistä
<b>EN 50173-2</b>	Toimistokiinteistön yleiskaapeloinnin erityisvaatimukset
<b>EN 50173-3</b>	Teollisuuskiinteistön yleiskaapeloinnin erityisvaatimukset
<b>EN 50173-4</b>	Kodin yleiskaapeloinnin erityisvaatimukset
<b>EN 50173-5</b>	Datakeskuksen yleiskaapeloinnin erityisvaatimukset
<b>EN 50174-1</b>	Kaapeloinnin spesifioinnin ja laadunvarmistuksen yksityis-kohtaiset vaatimukset
<b>EN 50174-2</b>	Kaapeloinnin asennuksen suunnittelu ja asennus sisätiloissa
<b>EN 50174-3</b>	Kaapeloinnin asennuksen suunnittelu ja asennus ulkotiloissa
<b>EN 50346</b>	Asennetun kaapeloinnin testausvaatimukset ja -menetelmät

Aluejakamo yhdistää operaattorien hallinnoiman verkon kiinteistössä sijaitsevaan verkkoon. Aluekaapelointi ulottuu aluejakamosta yhteen tai useampaan talojakamoon, yleensä jokaisessa alueen rakennuksessa on omat talojakamot. Tämän kaapelin pituus voi olla korkeintaan kahden kilometrin mittainen ja yksimuotoisen valokaapelin käyttö on usein ainoa vaihtoehto. On suositeltavaa vielä yhdistää kaikki talojakamot keskenään varmistuksen vuoksi. [1,5]

Talojakamosta lähtee nousukaapelointi yhteen tai useampaan kerrosjakamoon. Kaapelointisuositus on monimuotokuitu ja pituus enintään 500 m. Kerrosjakamot voidaan jälleen yhdistää toisiinsa, jolloin saadaan varayhteys vikatilanteen sattuessa. [1,5]

Kaapelointia kerrosjakamosta työpisterasialle kutsutaan kerroskaapeloinniksi, joka on kiinteistökohtainen jolloin kaapeloinnit eroavat hieman toisistaan. Kuitenkin yhteisen standardin mukaan kerroskaapelin pituus ei saa ylittää 90 m, jolloin

ristikytkentäkaapelien sekä laitteiden kytkentäkaapelien pituus voi olla korkeintaan 10 m. [1,4]

Yleiskaapeloinnin osajärjestelmien tyypit ja lukumäärät riippuvat alueen rakennusten sijainnista ja koosta sekä käyttäjän strategiasta. Ohjesääntönä voidaan pitää, että on yksi aluejakamo yhtä aluetta kohden, yksi talojakamo jokaista rakennusta kohden ja yksi kerrosjakamo jokaista kerrosta kohden. Suunniteltaessa jakamotiheyttä tulee varmistaa, että kaapeleiden pituudet on minimoitu ja että pituudet ovat yhdenmukaiset kanavien suorituskykyjen vaatimusten kanssa. Ohjearvona voidaan pitää yhtä kerrosjakamoa jokaista 1 000 m<sup>2</sup> kohden. [3]

### 3.2 Kaapelointiluokat

Parikaapeloinnin luokat ja niitä vastaavat rakenneosien kategoriat on luokiteltu siirtoteknisen suorituskyvyn ja ylärajataajuuden perusteella useaan luokkaan, jotka ovat esitetty taulukossa 2. Luokitus koskee vain kaapelointia, johon luetaan kuuluvaksi myös liittimet sekä kytkentäkaapelit. Optisen kaapeloinnin luokat on jaettu saavutettavan kanavapituuden mukaan. Saavutettavaan kanavapituuteen vaikuttaa tuettava sovellus. Kuitukategoriat määrittelevät optisten kuitujen ominaisuuksia, OM-kategoria on monimuotokuiduille ja OS-kategoria yksimuotokuiduille. [1]

Taulukko 2. Parikaapeliluokat ja vastaavat rakenneosien kategoriat. [1]

Parikaapeloinnin kanavan tai siirtotien luokka	Vastaava kaapelin, liittimen ja kytkentäkaapelin kategoria	Ylärajataajuus
<b>ICT-sovellukset</b>		
A	-	100 kHz
B	-	1 MHz
C	-	16 MHz
D	5	100 MHz
E	6	250 MHz
E <sub>A</sub>	6 <sub>A</sub>	500 MHz
F	7	600 MHz
F <sub>A</sub>	7 <sub>A</sub>	1 GHz
<b>BCT-sovellukset (antennijärjestelmät)</b>		
BCT-B	BCT-B	1 GHz
<b>CCCB-sovellukset (talotekniikka)</b>		
CCCB	CCCB	100 kHz

Taulukko 3. Optiset kaapelointiluokat ja valittavat kuitukategoriat. [1]

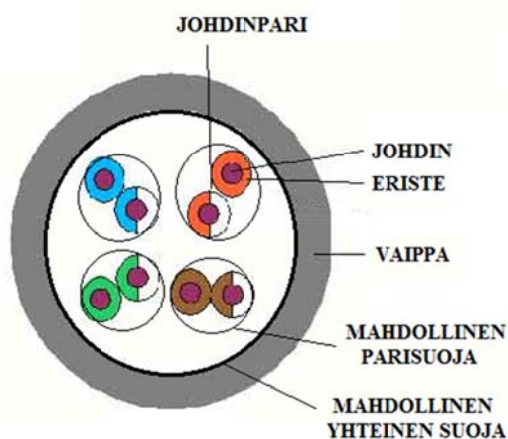
Optisen kaapeloinnin luokka	Kuitutyypit (kategoriat)
<b>Kvartsikuidut / sovellukset kaikissa kiinteistöissä</b>	
OF-300	OM1, OM2, OM3, OS1, OS2
OF-500	OM1, OM2, OM3, OS1, OS2
OF-2000	OM1, OM2, OM3, OS1, OS2
OF-5000	OS1, OS2
OF-10000	OS1, OS2
<b>Muovikuidut / sovellukset teollisuuskiinteistöissä</b>	
OF-25	OP1, OP2
OF-50	OP1, OP2
OF-100	OP1, OP2, OH1
OF-200	OP2, OH1

## 4 PARIKAAPELIT

Symmetristen parikaapeleiden käyttö on ollut edullista ja se on mahdollistanut yhdessä materiaalien, elektroniikkalaitteiden ja signaalinkäsittelyn kehityksen myötä jopa 10 Gbit/s tiedonsiirtonopeuden. Sitä käytetäänkin hyvin erilaisissa ympäristöissä, kuten puhelinverkoissa, yleiskaapeloinnissa, datakaapeloinnissa sekä ilmoitin-, valvonta-, äänentoisto- ja automaatiojärjestelmissä.

### 4.1 Rakenne

Rakenteella on suuri merkitys parikaapelin sähköisiin ominaisuuksiin. Parin symmetrinen kierto, johtimen sekä eristeen paksuus, mahdolliset suojaukset sekä käytettävät materiaalit vaikuttavat osaltaan kaapelin ominaisuuksiin. Ne vaikuttavat myös kaapelin asennettavuuteen sekä paloturvallisuuteen. Kuvassa 2 on esitetty parikaapelin rakenteen osat.



Kuva 2. Parikaapelin rakenteen havainnekuva.

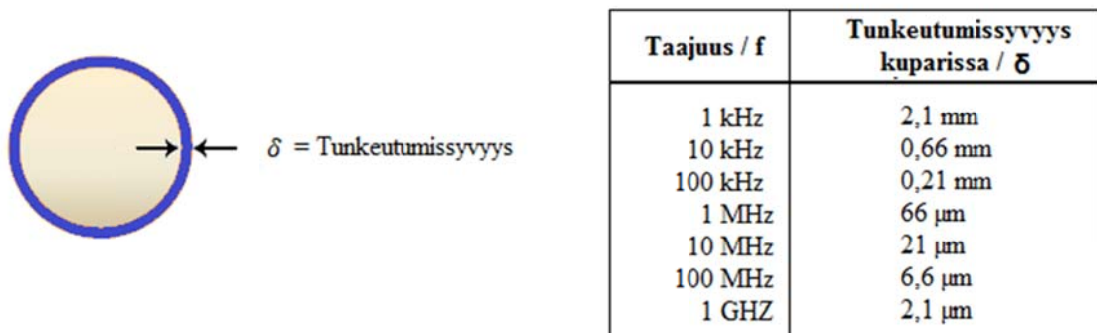
#### 4.1.1 Johdin

Parikaapeleiden johdinmateriaalina käytetään hehkutettua kuparilankaa, jonka halkaisija vaihtelee 0,5 - 0,65 mm. Johtimessa kulkeva virta muodostaa ympärilleen sähkö- ja magneettikentän ja aiheuttaa pintailmiön, jossa virta on pakotettu ahtautumaan aivan johtimen ulkopintaan. Tehollista virtakerroksen paksuutta johtimessa kutsutaan

tunkeutumissyvyudeksi. Tässä kerroksessa kulkee valtaosa eli noin 63 % elektroneista. Tunkeutumissyvyys on laskettavissa kaavalla [1]

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}},$$

jossa muuttujina ovat taajuus  $f$ , magneettinen tiheys (permeabiliteetti)  $\mu$  sekä johtavuus  $\sigma$ . Kuparin johtavuus on  $5,8 \times 10^7$  1/ $\Omega$ m ja permeabiliteetti  $12,6 \times 10^{-7}$  H/m. Kuvasta 3 nähdään hahmotelma tunkeutumissyvyuden määritelmästä ja on laskettu kuparin tunkeutumissyvyys taajuuden funktiona. Taajuuden kasvaessa tunkeutumissyvyys pienenee sekä kaapelin resistanssi ja näin ollen kaapelin vaimennus kasvavat. Halkaisijan koolla voidaan vaikuttaa kaapelin vaimennukseen. Eli kasvattamalla halkaisijaa saadaan pienennettyä vaimennusta, mutta samalla koko kaapelin halkaisija kasvaa. Myös johtimen pinnan puhtaus sekä johtimen halkaisijavaihtelut aiheuttavat kaapelien ominaisuuksien heikkenemistä. [1]



Kuva 3. Tunkeutumissyvyuden määritelmä. [1]

#### 4.1.2 Eriste

Yleisin eristemateriaali on polyeteeniä, PE. Sen hyvät sähköiset-, mekaaniset- sekä lämpöominaisuudet tekevät polyeteenin käytöstä suositeltavaa. Eristeellä on suuri vaikutus kaapelin vaimennukseen. Kaapeliparin impedanssin määräävät käytetty eristemateriaali ja eristeen halkaisija. Eristetyn johtimen halkaisijan tulisi olla alle 1,6 mm ja tyypillinen halkaisija onkin 0,9 - 1,1 mm. [1]

Eristeen ja johtimen välinen suhde tulisi olla koko kaapelin matkalta mahdollisimman tasainen. Epäkeskisyys aiheuttaa epäsymmetriaa. Myös eristeen muodonmuutokset, halkaisijavaihtelut tai painaumat aiheuttavat epäsymmetriaa ja vaikuttavat impedanssin tasaisuuteen, jolloin ylikuulumisominaisuudet heikkenevät. [1]

#### 4.1.3 Vaippa

Vaippa pitää kaapelin rakenteen koossa ja suojaa kaapelin sydäntä. Siitä tulee käydä ilmi valmistajan nimi, kaapelin tyyppimerkintä ja kategoria sekä juokseva pituusmerkintä mahdollisimman selvästi. Valmistaja voi myös tehdä omia merkintöjään vaippaan. [1]

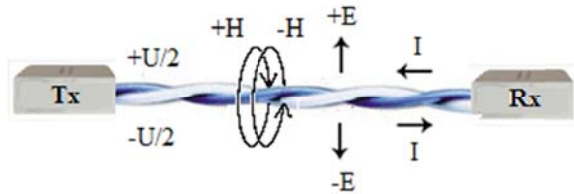
Ulkokaapeleissa materiaalina käytetään mustaa PE-muovia, joka kestää haurastumatta auringonvaloa. Sisäkaapeleissa yleinen materiaali on ollut PVC-muovi, mikä estää paremmin palamista kuin PE-muovi. Nykyään, määräystenkin ohjeistamana, on yleistynyt itsestään sammuvat, halogeenittomat ja vähän savua muodostavat HFFR-vaippaiset kaapelit. [1]

#### 4.2 Symmetria

Kaapelin siirtokyky perustuu symmetriaan, jossa signaalipiirin molemmat johtimet ovat sähköisesti samassa asemassa ympäristöön nähden. Tämä saadaan aikaan kiertämällä parin molemmat eristetyt johtimet tiukkaan ja tasaisesti toistensa ympärille. Kierrolla sekä kiertopituuden säätämällä saadaan vähennettyä pientaajuisen kohinan kytkeytymistä, ylikuulumista ja kapasitanssista johtuvia häiriöitä. Teoriassa tämä mahdollistaisi, yhdessä symmetristen laitteiden kanssa, täysin häiriöttömän tilanteen, jolloin järjestelmä ei altistuisi eikä itse aiheuttaisi häiriöitä. Kaapelien ja liittimien epäsymmetria sekä parien päättämistekniikka kuitenkin tekevät kanavasta epäsymmetrisen. [1]

Teoreettisesti parin johtimet on esitetty täysin symmetrisenä kuvassa 4. Tällöin johtimien aiheuttamat sähkökentät kumoavat toisensa, kun johtimissa on itseisarvoltaan yhtä suuret, mutta vastakkaismerkkiset jännitteet. Magneettikentät taas kumoavat toisensa, kun johtimissa on itseisarvoltaan yhtäsuuret, mutta vastakkaisuuntaiset virrat.

Parikierron vaikutuksesta magneettikentän indusoimat virrat kumoavat toisensa parikierron nousun välein. [1]



Kuva 4. Parin johtimien symmetrian vaikutus. [1]

### 4.3 Suojaus

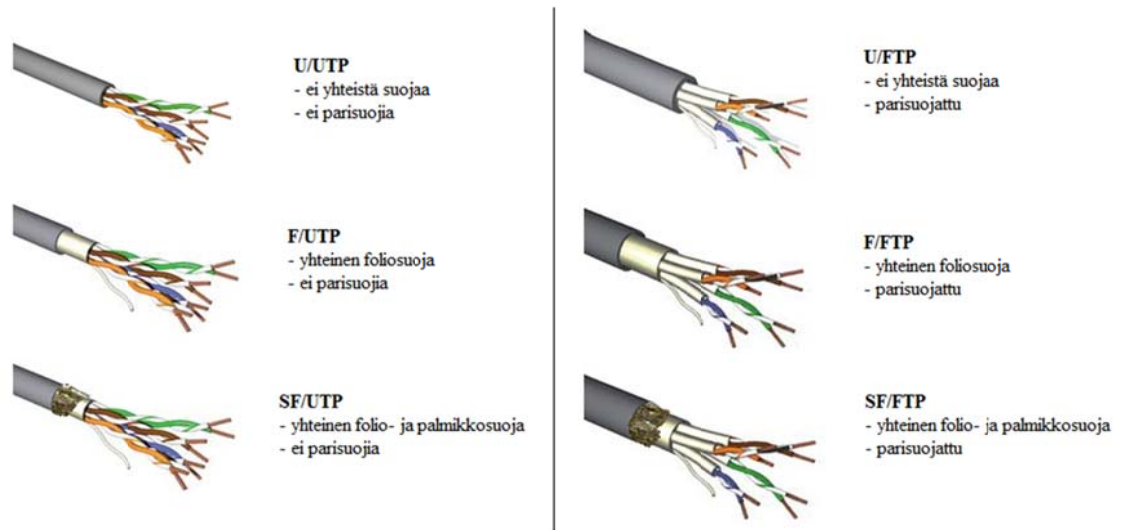
Kaikilla kierretyillä parikaapeilla on suojaus häiriöitä vastaan symmetrian vuoksi. Lisäsuojaukseen on tarvetta, kun lähellä on voimakkaita magneettikenttiä aiheuttavia seikkoja. Muuntajat, voimavirtakaapelit, staattiset sähkön purkaukset sekä kipinöinnit aiheuttavat häiriöitä, jolloin tarvitaan lisäsuojauksia. Myös korkeimmat kaapeliluokat vaativat lisäsuojauksen kaapeleille. [1]

Suojaamatonta U/UTP-kaapelia käytetään yleisimmin tietoliikennetekniikassa ja puhelinverkoissa. Siinä ei ole minkäänlaista metallisuojausta, vaan suojaus perustuu vain pariin symmetriaan. Suojausta voidaan parantaa laittamalla kaikille kaapelin pareille yhteinen metallisuoja kaapelisydämen ympärille. Tätä kutsutaan yhteisellä suojalla varustetuksi eli vaippasuojatuksi kaapeliksi, jonka lyhenne on F/UTP. Metallisuoja on pituussuuntainen muovivahvisteinen alumiininauha, jonka metallipuoli on sisäänpäin ja kosketuksissa maadoitusjohtimen kanssa. Metallinauhan päälle voidaan vielä asentaa metallilankapalmikko, jolloin käytetään nimitystä SF/UTP-kaapelista. Palmikko parantaa häiriönsuojauksia varsinkin pienillä taajuuksilla. [1]

Parisuojatulla kaapelilla tarkoitetaan, että jokainen kaapelin pari on suojattu omalla pituussuuntaisella metallinauhalla. Suojilla on yhteinen maadoituslanka. Parisuojattu U/FTP-kaapeli on ilman yhteistä suojausta. Parisuojien lisäksi suojausta voidaan vielä parantaa yhteisellä suojalla. Yhteinen suoja on F/FTP-kaapelissa metallinauha, S/FTP-



kaapelissa palmikko sekä SF/FTP-kaapelissa näiden yhdistelmä. Kuvassa 5 on selvennetty kaapelinsuojaustyyppejä. [1]



Kuva 5. Parikaapelin erilaiset suojausvaihtoehdot. [1]

#### 4.4 Parikaapelityypit

##### 4.4.1 Nelipariset kaapelit

Kotien kaapeloinnissa sekä teollisuus- ja toimitilakiinteistöjen kerroskaapeloinnissa käytetään yleensä neliparisia kaapeleita, joilla päästään luotettavampaan ja parempaan tiedonsiirtokykyyn. Neliparisia kaapeleita käytetään vähintään D-luokan kanavissa. Käytettävä värijärjestelmä on taulukon 4 mukainen. [1]

Taulukko 4. Neliparisten kaapeleiden värijärjestelmä. [1]

Pari	a-johtimen väri	b-johtimen väri
1	valko-sininen	sininen
2	valko-oranssi	oranssi
3	valko-vihreä	vihreä
4	valko-ruskea	ruskea

#### 4.4.2 Monipariset kaapelit

Monipariset kaapelit ovat perinteisiä puhelinkaapeleita ja voivat sisältää satoja pareja. Niitä käytetään enintään C-luokan kanavissa. Ne mahdollistavat perinteiseen puhelinverkkoon perustuvat palvelut, kuten analoginen puhelin, ISDN, hälytys- sekä valvontajärjestelmät. Aluekaapeloinnissa käytetään yleensä 100-parisia puhelinulkokaapeleita ja nousukaapeloinnissa 50- tai 100-parisia puhelinsisäkaapeleita. Moniparisten kaapeleiden kertausrakenteet ja värijärjestelmä ovat samat niin sisä- kuin ulkokaapeleille. [1]

Nykyisin käytössä oleva standardin mukainen sisäkaapelityyppi on MHS. Se on kiinto-PE-eristeinen, alumiinifoliosuojattu ja PVC- tai HFFR-vaippainen kaapeli. Vanhoissa verkoissa esiintyy edeltänyt kaapelityyppi MMS, jota ei enää uusiin asennuksiin käytetä. Standartoiduista ulkokaapeleista kanavakaapeleina käytetään tyyppiä VMOHBU ja VMHBU, maa- ja vesikaapelina VMOPU, ilmakaapeleina VMOHBUK ja MHBUK sekä itsekantava eristetty pari tai nelikierre on tyyppiltään MU. Moniparisten kaapeleiden tyypit on esitetty liitteessä 1. [1]

#### 4.5 Sähköiset ominaisuudet

Yleiskaapeloinnissa kanava ja siirtotie muodostuvat passiivisista rakenneosista, jotka määräävät tietoliikennesovelluksen suorituskyvyn. Suorituskyky määräytyy rakenneosien ominaisuuksien ja asennuksen sekä suunnittelun laadun perusteella. Tärkeimmät siirto- ja muut sähköiset ominaisuudet on koottu taulukkoon 5 ja näistä tarkastellaan muutamia mittauksen kannalta keskeisiä ominaisuuksia. Eri luokilta vaadittavat ominaisuudet vaihtelevat, eivätkä kaikki ominaisuudet koske kaikkia luokkia. Taulukkoihin kootut raja-arvot ovat standardin mukaisia jotka määrittelevät yleiskaapeloinnin kanavien vähimmäissuorituskyvyn. [1]

Taulukko 5. Parikaapeloinnin sähköisiä ominaisuuksia. [1]

Pääasiallinen soveltamisalue	Ominaisuus
<b>Pienet taajuudet (&lt;&lt; 100 kHz), perinteiset puhelinkaapelit</b>	Vaimennus (dB/100 m) Kapasitanssi (nF/km) Tasavirtasilmukkaresistanssi ( $\Omega/100$ m tai $\Omega/\text{km}$ ) Resistanssiepäsymmetria (%) Kapasitanssiepäsymmetria (pF/km)
<b>Suuret taajuudet (&gt;&gt; 100 kHz), kategorian 5, 6, 7, 7<sub>A</sub> ja BCT-B kaapelit</b>	Ominaisimpedanssi ( $\Omega$ ) Heijastusvaimennus, RL (dB) Vaimennus (dB/100 m) Lähipään ylikuulumisvaimennus parien välillä, NEXT (dB) Lähipään ylikuulumisvaimennus tehosummana, PSNEXT (dB) Kaukopään ylikuulumissuhde parien välillä, ELFEXT (dB) Kaukopään ylikuulumissuhde tehosummana, PSELFEXT (dB) Kaapeleiden välinen lähipään ylikuulumisvaimennus tehosummana, PSANEXT Kaapeleiden välinen kaukopään ylikuulumissuhde tehosummana, PSAACR-F Epäsymmetriavaimennus (dB) Rakenteellinen heijastusvaimennus (dB) Kulkuaika (ns) Kulkuaikaero parien välillä (ns)
<b>Luotettavuus ja käyttövarmuus</b>	Jännitelujuus (kV) Eristysresistanssi ( $M\Omega \times \text{km}$ )
<b>Suojaus</b>	Kytentäimpedanssi ( $m\Omega/\text{m}$ ) Kytentävaimennus (dB)

#### 4.5.1 Ominaisimpedanssi ja heijastusvaimennus

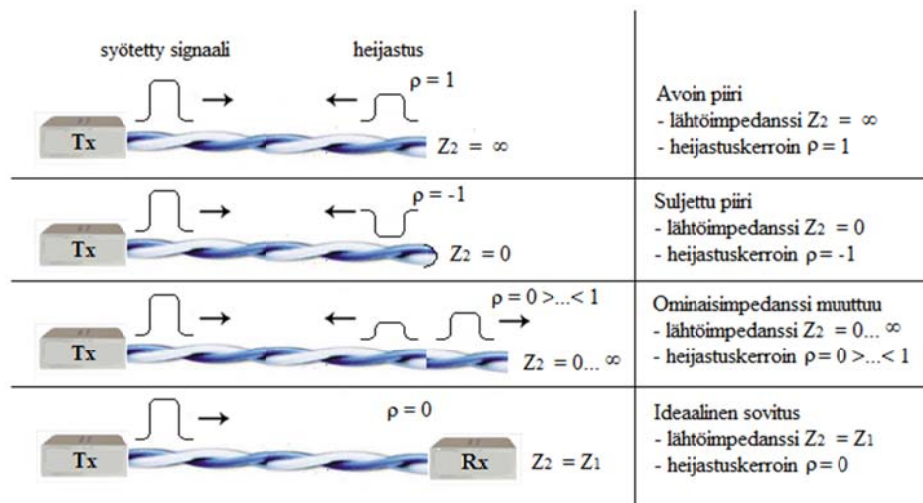
Käsitteenä ominaisimpedanssi on parin johtimien välisen jännitteen suhde niissä kulkevaan virtaan, eli johtimessa kulkevan signaalin kohtaama kokonaisvastusta. Ykiskönä on  $\Omega$  ja standardin mukainen parikaapeloinnin nimellinen ominaisimpedanssi on  $100 \Omega$ . [1]

Kanavaan liitettävän laitteen tulo- tai lähtöimpedanssin tulee olla riittävän tarkasti kanavan ominaisimpedanssin suuruinen. Kaapeleissa ja liittämistarvikkeissa on aina kohtia, jotka aiheuttavat muutoksia ominaisimpedanssiin. Näissä kohdissa syntyy heijastus, jonka suuruus on verrannollinen muutoksen suuruuteen. Mitä suurempi muutos ominaisimpedanssissa tapahtuu, sitä suurempi jännite heijastuu takaisin. Kuva selventää heijastuksen syntyä ominaisimpedanssin muutoskohdissa. Avoimessa piirissä siirtotie on kokonaan poikki ja jännite heijastuu kokonaan paluusuuntaan heijastuskertoimella 1. Oikosulku puolestaan aiheuttaa täyden heijastuksen sekä jännitepulsin kääntymisen päinvastaiseksi heijastuskertoimella -1. Heijastuskerroin  $\rho$

sekä heijastusvaimennus RL ovat laskettavissa kaavoilla, joissa  $Z_1$  on tuloimpedanssi ja  $Z_2$  lähtöimpedanssi: [1]

$$\rho = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

$$RL = 20 \lg \frac{1}{\rho}$$



Kuva 6. Parin heijastusvaimennuksen määritelmä. [1]

Heijastusten yhteisvaikutus on mitattavissa siirtotien alkupäästä. Heijastusvaimennus on siirtotielle syötetyn signaalin jännitteen suhde heijastuneeseen kokonaisjännitteeseen, jonka yksikkönä on dB. Taulukossa on heijastusvaimennuksen arvot rajataajuuksille. Ominaisimpedanssilla ei ole merkitystä pienillä taajuuksilla ja lyhyillä matkoilla, koska siirrettävän signaalin aallonpituus on suuri verrattuna siirtojohtoon piteuteen. Tietyn taajuuden aallonpituuden neljänneksen ollessa samaa luokkaa tai pienempi kuin johdon pituus, alkaa sillä olla merkitystä. Tämä tarkoittaa yli 100 kHz:n taajuutta, ja näin ollen esimerkiksi perinteisessä analogisessa puheensirrossa sillä ei ole merkitystä. [1]

Taulukko 6. Parikaapeloinnin kanavan heijastusvaimennuksen raja-arvot. [3]

Taajuus, MHz	Heijastusvaimennus, vähintään dB			
	Luokka C	Luokka D	Luokka E	Luokka F
<b>1</b>	15	17	19	19
<b>16</b>	15	17	18	18
<b>100</b>	-	10	12	12
<b>250</b>	-	-	8	8
<b>600</b>	-	-	-	8

#### 4.5.2 Vaimennus

Johdin- ja eristehäviöt aiheuttavat vaimennusta, joka näkyy siirtotiellä signaalin jännitteen ja virran heikkenemisenä. Yksikkönä on dB, ja vaimennus ilmoitetaan yleensä pituusyksikköä kohden dB/100 m. Vaimennus rajoittaa siirtotien pituutta sekä suurinta käytettävää tajuutta. Taulukossa 7 on ilmoitettu kanavan vaimennuksen enimmäisarvot luokittain. [1]

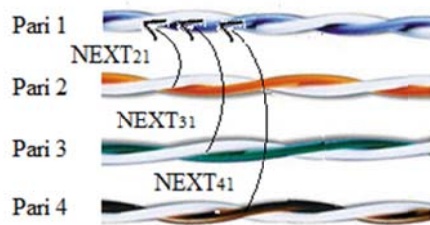
Taulukko 7. Parikaapeloinnin kanavan vaimennuksen raja-arvot. [3]

Taajuus, MHz	Vaimennus, enintään dB					
	Luokka A	Luokka B	Luokka C	Luokka D	Luokka E	Luokka F
<b>0,1</b>	16	5,5	-	-	-	-
<b>1</b>	-	5,8	4,2	4	4	4
<b>16</b>	-	-	14,4	9,1	8,3	8,1
<b>100</b>	-	-	-	24	21,7	20,8
<b>250</b>	-	-	-	-	35,9	33,8
<b>600</b>	-	-	-	-	-	54,6

#### 4.5.3 Lähipään ylikuuluminen, NEXT ja PSNEXT

Parilta toiselle tapahtuvaa ei haluttua signaalitehon kytkeytymistä kutsutaan ylikuulumiseksi. Lähipään ylikuulumisvaimennus eli NEXT (Near End Crosstalk) tarkoittaa ylikuulumista kaapeliparien välillä siirtotien samassa päässä, josta ylikuulumista aiheuttava signaali lähetetään (kuva 7). Kanavien ylikuulumisvaimennuksen raja-arvot näkyvät taulukossa 8. Kun taas otetaan huomioon kaapelin kaikilta pareilta yhdelle parille ylikuuluneen signaalitehon summa lähipäässä, puhutaan lähipään ylikuulumisvaimennuksen tehosummasta, PSNEXT (Power Sum

Near End Crosstalk). Kanavien ylikuulumisvaimennuksen tehosumman raja-arvot näkyvät taulukossa 9. [1]



Kuva 7. Lähipään ylikuuluminen neliparisessa kaapelissa. [1]

Johdinparilla etenevästä signaalista kytkeytyy tehoa ympäristöön. Tämä riippuu epätäydellisestä symmetriasta sekä kytkentätavasta että parien impedanssisovituksesta. Ylikuulumisen mahdollisimman hyvä estäminen onkin signaalin siirron kannalta tärkeää. Yleisin syy liialliseen ylikuulumiseen on liikaa avattu parikierto liittimessä, viallinen liitin tai kaapeli tai näissä ilmennyt vaurio. Erityisen hyvät NEXT ylikuulumisominaisuudet tarvitaan sovelluksissa, joissa saman kaapelin parien signaalien tasoerot ovat suuret. Myös duplex-siirrossa NEXT on hyvin kriittinen. PSNEXT taas vaikuttaa kun kaapeloinnin kaikki neljä paria ovat käytössä duplex-siirrossa, eikä sen vaatimukset koske alimpia luokkia. [1]

Taulukko 8. Parikaapeloinnin kanavan lähipään ylikuulumisvaimennuksen raja-arvot. [3]

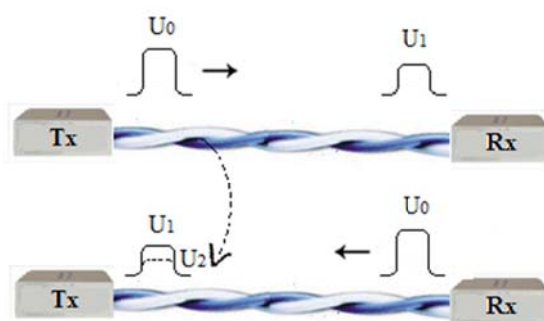
Taajuus, MHz	NEXT, vähintään dB					
	Luokka A	Luokka B	Luokka C	Luokka D	Luokka E	Luokka F
0,1	27	40	-	-	-	-
1	-	25	39,1	60	65	65
16	-	-	19,4	43,6	53,2	65
100	-	-	-	30,1	39,9	62,9
250	-	-	-	-	33,1	56,9
600	-	-	-	-	-	51,2

Taulukko 9. Parikaapeloinnin kanavan lähipään ylikuulumisvaimennuksen tehosumman raja-arvot. [3]

Taajuus, MHz	PSNEXT, vähintään dB		
	Luokka D	Luokka E	Luokka F
0,1	-	-	-
1	57	62	62
16	40,6	50,6	62
100	27,1	37,1	59,9
250	-	30,2	53,9
600	-	-	48,2

#### 4.5.4 Vaimennus-ylikuulumissuhde, ACR ja PSACR

Kahden parin välinen vaimennuksen ja ylikuulumisen suhde on ACR (Attenuation Crosstalk Ratio). Lähipään ylikuulumisessa lähetettävä suuritehoinen signaali voi häiritä toisen parin samassa päässä vastaanotettavaa vaimentunutta pienitehoista signaalia (kuva 8). Hyötysignaalin tason onkin oltava riittävästi suurempi kuin ylikuuluneen signaalin. Vaimennus ja ylikuulumissuhteen tehosumma, PSACR (Power Sum Attenuation Crosstalk Ratio), ottaa huomioon jokaisen kaapeliparin vaimennuksen ja muiden kaapeliparien yhteenlasketun ylikuulumisen välisen suhteen. Kanavan luokilta vaadittavat lähipään vaimennus-ylikuulumissuhteet parien välillä sekä tehosummana näkyvät taulukoissa 10 ja 11. [1]



Kuva 8. Kahden parin välinen vaimennus-ylikuulumissuhteen määrittely. [1]

Talukko 10. Parikaapeloinnin kanavan vaimennus-ylikuulumissuhteen raja-arvot. [3]

Taajuus, MHz	ACR, vähintään dB		
	Luokka D	Luokka E	Luokka F
0,1	-	-	-
1	56,0	61,0	61,0
16	34,5	44,9	56,9
100	6,1	18,2	42,1
250	-	-2,8	23,1
600	-	-	-3,4

Taulukko 11. Parikaapeloinnin kanavan vaimennus-ylikuulumissuhteen tehosumman raja-arvot. [3]

Taajuus, MHz	PSACR, vähintään dB		
	Luokka D	Luokka E	Luokka F
0,1	-	-	-
1	53,0	58,0	58,0
16	31,5	42,3	53,9
100	3,1	15,4	39,1
250	-	-5,8	20,1
600	-	-	-6,4

#### 4.5.5 Kaukopään ylikuulumissuhde, ELFEXT ja PSELFEXT

ELFEXT (Equal Level Far End Crosstalk) on kaukopään ylikuulumisen ja vaimennuksen suhde parien välillä. Se ilmoittaa, kuinka paljon pienempi on häiritsevältä toiselta johdinparilta ylikuulunut signaali varsinaista hyötysignaalia nähden. Kaukopään ylikuulumissuhde tehosummana ottaa huomioon kaikilta pareilta yhdelle parille ylikuuluneen signaalitehon summan, tätä kutsutaan PSELFEXT (Power Sum Equal Level Far End Crosstalk). Ylikuuluneiden signaalien tehosumma ei saa olla liian suuri hyötysignaaliin nähden, muuten signaalisiirrossa pääsee syntymään virheitä. Kanavan luokilta vaadittavat kaukopään vaimennus-ylikuulumissuhteet parien välillä sekä tehosummana näkyvät taulukoissa 12 ja 13. [1]



Talukko 12. Parikaapeloinnin kanavan kaukopään vaimennus-ylikuulumissuhteen raja-arvot. [3]

Taajuus, MHz	ELFEXT, vähintään dB		
	Luokka D	Luokka E	Luokka F
0,1	-	-	-
1	57,4	63,3	65,0
16	33,3	39,2	57,5
100	17,4	23,3	44,4
250	-	15,3	37,8
600	-	-	31,3

Taulukko 13. Parikaapeloinnin kanavan kaukopään vaimennus-ylikuulumissuhteen tehosumman raja-arvot. [3]

Taajuus, MHz	PSELFEXT, vähintään dB		
	Luokka D	Luokka E	Luokka F
0,1	-	-	-
1	54,4	60,3	62,0
16	30,3	36,2	54,5
100	14,4	20,3	41,4
250	-	12,3	34,8
600	-	-	28,3

#### 4.5.6 Kaapeleiden välinen ylikuuluminen, PSANEXT ja PSAACR-F

Ylikuuluminen kaapeleiden välillä alkaa olla merkittävä tekijä kun siirtonopeudet ovat noin 10 Gbit/s. Kun asennuksissa lukuisia kaapeleita kulkee johtokanavissa vierekkäin, näiden välistä ylikuulumista pääsee syntymään. Kaapeleiden välinen ylikuuluminen on vaikeimmin hallittavissa U/UTP-kaapeloinnissa, se on suurinta saman nousun omaavien parien kesken ja pahin tilanne syntyy, kun hyvin lyhyitä ja hyvin pitkiä kaapeleita kulkee rinta rinnan. Se ei yleensä ole ongelmana suojatuissa kaapeleissa. Ylikuuluminen määritellään tehosummana lähipäässä, PSANNEXT, ja kaukopäässä, PSAACR-F. [1]

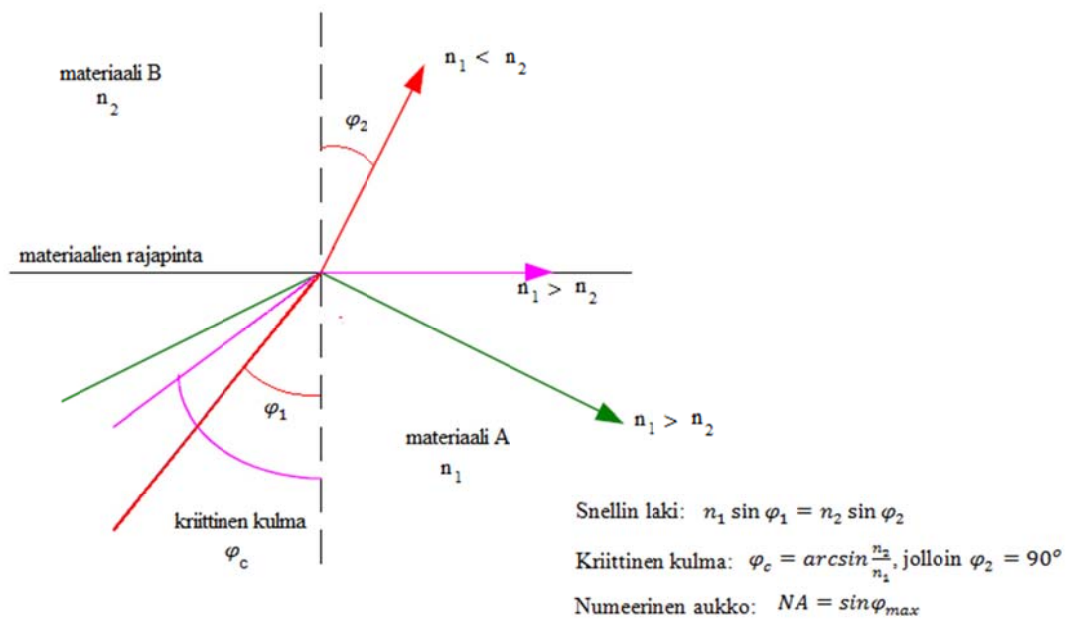
## 5 OPTISET KUIDUT

Optisen kuidun siirtotekniset ominaisuudet ovat ylivoimaiset verrattuna sähköiseen tiedonsiirtoon, kun pieni vaimennus ja suuri kaistanleveys mahdollistavat satojen kilometrien pituiset tiedonsiirtoyhteydet ilman toistimia, kun siirtonopeudet ovat Gbit/s-tasoisia. Tekniikan edelleen kehittyessä optisten kuitujen hinta-laatusuhde tulee kannattavaksi myös lyhyillä matkoilla. Lisäksi mitkään sähkömagneettiset häiriöt eivät vaikuta optisiin kuituihin, koska kuidun materiaali on lasia. Lasi on sähköisesti eriste. Näin ollen se ei myöskään itse säteile häiriötä ja ylikuulumiset sekä salakuuntelumahdollisuudet ovat mahdottomia.

Optisten kuitujen, lähettimien ja vastaanottimien teko on kuitenkin vaativaa, jolloin järjestelmän hinta kohoaa reilusti kuparikaapelijärjestelmää korkeammaksi. Asennus ja ylläpito ovat haastavia ja tarkkuutta vaativia, jolloin vikatilanteen sattuessa tarvitaan erikoisosaamista. Optiset kuidut ovat herkästi rikkoontuvia kuparijohtoihin verrattuna.

### 5.1 Optisen kuidun toiminta sekä tyypit

Kuidun toiminnalle antaa perustan Snellin laki, joka kuvaa valon taittumista kahden aineen rajapinnalla. Kuvassa 9 kolme valonsädettä kohtaavat kahden taitekertoimeltaan erisuuruisen rajapinnan. Materiaali A:ta voidaan pitää kuidun ytimenä ja materiaali B:ta kuidun kuorena. Kriittinen kulma  $\varphi_c$  on kulma, jossa tapahtuu kokonaisheijastus rajapinnan suuntaisesti. Kun tulokulmaa kasvatetaan kriittisestä kulmasta, saadaan valonsäde heijastumaan kokonaan ja samansuuruudessa kulmassa takaisin kohti ydintä. Ytimen taitekertoimen on oltava kuoren taitekerrointa suurempi, muuten taittuminen tapahtuu kohti kuorta ja valonsäde pääsee niin sanotusti karkaamaan. [4]



Kuva 9. Snellin laki. [4]

Kun valonsäteen tulokulma  $\varphi$  kuidun akseliin nähden on riittävän pieni, ytimen ja kuoren rajapinnassa tapahtuu kokonaisheijastus ja valonsäde etenee pitkin kuidun ydintä. Suurin sallittu tulokulma  $\sin \varphi_{max}$  on nimeltään numeerinen aukko (NA). [4]

## 5.2 Materiaalit ja rakenne

Optiset kuidut on valmistettu pääasiassa kvartsilasista ( $\text{SiO}_2$ ) ja tarvittava ytimen ja kuoren välillä oleva taitekerroin saadaan seostamalla lasin sekaan sopivaa lisäainetta kuten germaniumoksidia ( $\text{GeO}_2$ ). Tyypillinen taitekerroinarvo on 1,46 ja taitekerroinero monimuotokuidulla on noin 1 - 2 % ja yksimuotokuidulla vielä vähemmän. Teollisuuskiinteistöjen ja prosessiautomaation sovelluksissa, joissa ovat lyhyet yhteydet ja kapea siirtokaista on riittävä, voidaan käyttää akryylimuovista valmistettuja kuituja. Muovikuidut ovat monimuotokuituja, POF. Taulukossa 14 näkyy kuitujen tyypillisiä mittoja toleransseineen. [1,4]

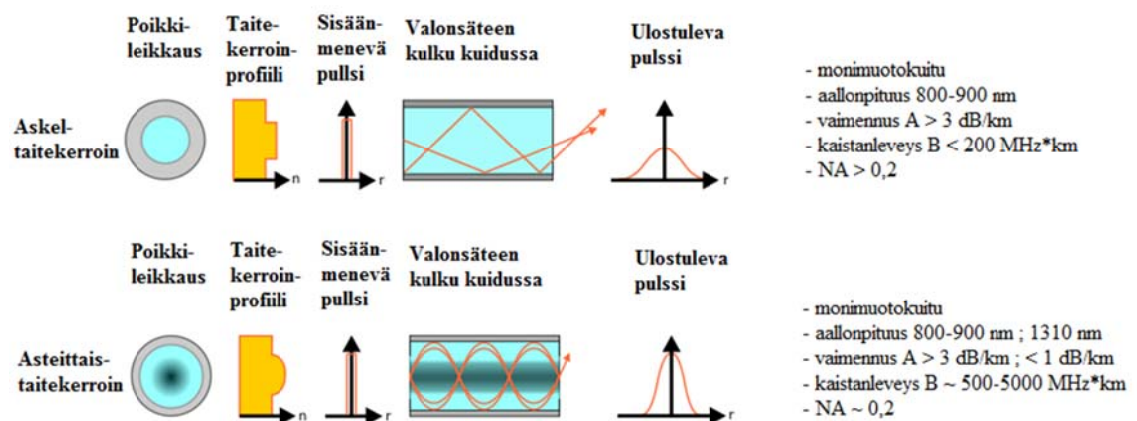
Taulukko 14. Monimuoto- ja yksimuotokuidun rakenteellisia arvoja. [4]

Monimuotokuitu, GK		Yksimuotokuitu, SM	
Ytimen halkaisija	$62,5 \pm 3 \mu\text{m}$	Muotokentän halkaisija	$9,3 \pm 0,5 \mu\text{m}$ (1310 nm)
Ytimen elliptisyys	$\leq 6 \%$	Muotokentän elliptisyys	$\leq 1 \mu\text{m}$
Kuoren halkaisija	$125 \pm 2 \mu\text{m}$	Kuoren halkaisija	$125 \pm 1 \mu\text{m}$
Kuoren elliptisyys	$\leq 2 \%$	Kuoren elliptisyys	$\leq 2 \%$

### 5.3 Monimuotokuitu

Monimuotokuiduista ensimmäinen on tyypiltään askelkuitu (SI), jota ei enää käytännössä käytetä. Askelkuidussa valo heijastuu suoraan verrannollisena tulokulmaan, koska ytimen halkaisija on huomattavasti suurempi kuin käytetyn valon aallonpituus. Näin ollen valopulssin edetessä eritaajuisilla valonsäteillä on eri matka kuljettavana ja syntyy muotodispersiota. [1,4]

Toinen monimuotokuitutyyppi on asteittaiskuitu (GI), jossa taitekerroin muuttuu asteittain ytimen keskustasta kohti kuorta. Näin ollen valonsäteet kulkevat vähitellen taittuen, eivätkä jyrkästi heijastuen. Muotodispersiota muodostuu vähemmän, koska valonnopeus kuidussa on suurempi laidoilla kuin keskiosassa. Monimuotokuituja käytetään lyhyillä välimatkoilla, esimerkiksi lähiverkoissa. Kuvassa 10 näkyy askelkuidun ja asteittaiskuidun ominaisuuksia. [1,4]



Kuva 10. Monimuotokuidun määritelmä. [4]

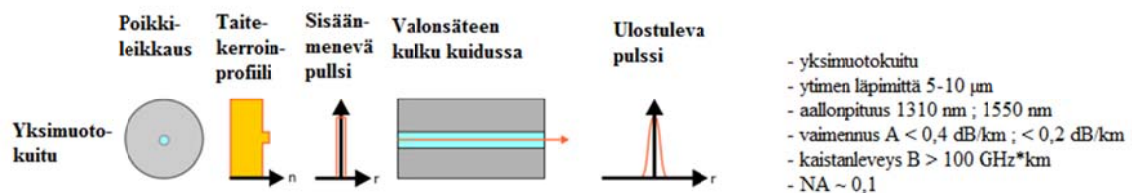
Monimuotokuitutyypit ovat pääasiassa GI 50/125  $\mu\text{m}$  ja GK 62,5/125  $\mu\text{m}$ , joissa ensimmäinen luku tarkoittaa ytimen halkaisijaa ja toinen luku kuoren halkaisijaa. Muita mahdollisia tyyppejä ovat GL 85/125  $\mu\text{m}$  ja GN 100/124  $\mu\text{m}$ . Monimuotokuiduit jaotellaan kaistanleveyden perusteella kolmeen kategoriaan. Eri kategorioille on määritelty standardin mukaiset vaimennus ja minimikaistanleveydet käytettävän aallonpituuden mukaan, jotka on esitetty taulukossa 15. [1,4]

Taulukko 15. Monimuotokuidun vaimennus ja minimikaistanleveydet käytettävän aallonpituuden mukaan. [4]

Kategoria, kuitutyyppi	Vaimennus, dB/km		Kaistanleveys, MHz*km		
	850 nm	1310 nm	LED-lähetin		Laserlähetin
			850 nm	1300 nm	850 nm
OM1, 62,5/125 $\mu\text{m}$	3,5	1,5	200	500	-
OM2, 50/125 $\mu\text{m}$	3,5	1,5	500	500	-
OM3, 50/125 $\mu\text{m}$	3,5	1,5	1500	500	2000

#### 5.4 Yksimuotokuitu

Pitkillä matkoilla, nopeissa tietoliikenneverkoissa tai muissa huipputehoisissa sovelluksissa käytetään yksimuotokuituja (SM). Yksimuotokuiduissa ytimen halkaisija ja taitekerroinero on hyvin pieni, jolloin valon taittumista ei juuri tapahdu ja kuidussa etenee käytetyllä aallonpituudella vain yksi muoto, kuten kuvasta 11 nähdään. Näin ollen muotodispersiota ei esiinny lainkaan, mutta kromaattista dispersiota kyllä. Myös vaimennus on huomattavasti pienempi kuin monimuotokuiduissa. [1,4]



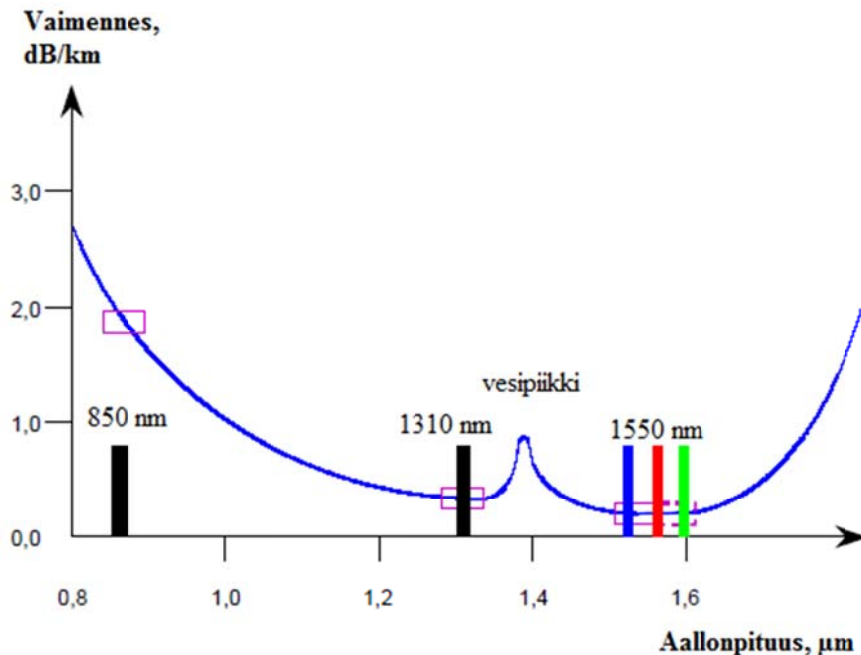
Kuva 11. Yksimuotokuidun määritelmä. [4]

## 5.5 Optiset ominaisuudet

### 5.5.1 Vaimennus

Kuidussa etenevän optisen signaalin valoteho vaimenee pääasiassa absorptiosta ja sironnasta johtuen. Absorptio tarkoittaa kuidussa olevien epäpuhtauksien sekä infrapuna-alueen ja ultravioletialueen aiheuttamaa valotehon imeytymistä kuidun materiaaliin. Sironnalla tarkoitetaan mikroskooppisen pienien taitekerroinerojen aiheuttamaa heijastumista kaikkiin suuntiin. Vaimennusta lisäävät myös kuidun markro- ja mikrotaipumat sekä kuitujatkokset ja liitokset. Sen yksikkönä on dB/km. [1,4]

Monimuotokuidulla vaimennus on suurempi kuin yksimuotokuidulla, koska ytimestä on kvartsilasin lisäksi enemmän seosainetta mukana. Optinen teho on myös jakautunut monimuotokuidussa useaan muotoon ja näin ollen kokonaisvaimennus riippuu tehon muotojakaumasta. Kuvassa 12 nähdään kvartsilasista valmistetun kuidun vaimennuksen periaatekuva aallonpituuden mukaan. Teoreettisen alarajan 1 550 nm aallonpituudelle asettaa Rayleigh-sironta, jolla vaimennus on noin 0,16 dB/km. Lyhyemmillä aallonpituuksilla vaimennusta lisää UV-absorptio ja pidemmällä IR-absorptio. [1,4]



Kuva 12. Vaimennuksen periaate aallonpituuden mukaan. [4]

### 5.5.2 Epälineaariset ilmiöt

Kun optiset tehotasot ovat nousseet, epälineaariset ilmiöt ovat tulleet esille. Tosin ne joudutaan ottamaan huomioon lähinnä vain televerkon erittäin pitkissä ja suurikapasiteettisissa järjestelmissä sekä tiheässä aallonpituuskanavoinnissa. Nämä ilmiöt aiheutuvat pääasiassa kuidussa käytettävän materiaalin taitekertoimien muutoksista ja ne näkyvät pääasiassa erilaisina kanavien ylikuulumisina. Merkittävimpiä epälineaarisia ilmiöitä ovat Brilloun-sironta, Raman-sironta, itseisvaihemodulaatio (SPM) ja neljän aallon sekoitus (FWM). [4]

### 5.5.3 Dispersio

Dispersio tarkoittaa valopulssin leviämistä siirtotiellä johtuen erilaisista viiveistä. Sen yksikkö on ps/(nm × km) ja lukuarvo voi olla joko negatiivinen tai positiivinen. Negatiivinen tarkoittaa, että pidemmät aallonpituudet etenevät nopeammin kuin lyhyet ja positiivinen taas päinvastoin. [4]

Monimuotokuiduissa esiintyy muotodispersiota, koska eri valonsäteillä on eri matka kuljettavana. Yksimuotokuiduissa esiintyy kromaattista dispersiota jossa eri aallonpituuksilla syntyy viiveitä. Kromaattinen dispersio jaetaan vielä materiaalidispersioksi jossa vaikuttavat muutokset kuidun taitekertoimessa sekä aaltojohdedispersioksi jossa eri aallonpituuksilla on erilaisia muotoja. Toinen yksimuotokuituihin vaikuttava tekijä on polarisaatiomuotodispersio (PDM). Tämä johtuu siitä, että valo etenee kuidussa kahdessa eri polarisaatiomuodossa, joilla molemmilla on eri nopeudet. [4]

### 5.5.4 Raja-aallonpituus

Raja-aallonpituudella tarkoitetaan yksimuotokuiduissa pienintä käytettävää aallonpituutta, jolla valo etenee kuidussa yksimuotoisesti. Raja-aallonpituus alittuessa alkaa kuitu käyttäytymään monimuotokuidun tavoin valon jakautuessa eri eteneviin muotoihin. [4]

### 5.5.5 Kaistanleveys

Kaistanleveydellä tarkoitetaan monimuotokuidussa siirrettävän signaalin suurinta mahdollista taajuutta tietyllä matkalla. Se riippuu käytettävästä aallonpituudesta ja ilmoitetaan MHz × km. Se rajoittaa sekä suurinta siirtonopeutta että etäisyyttä. [4]



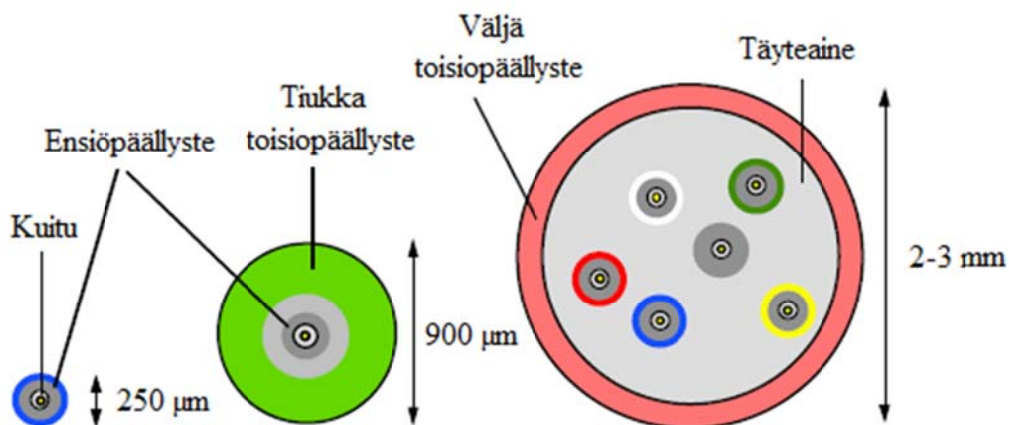
## 6 VALOKAAPELIT

### 6.1 Rakenne

Optinen kuitu on herkkää vahingoittumaan. Kuitujen siirto-ominaisuuksien on kestettävä kaapelien arvioidun eliniän. Kaapelirakenteen tehtävänä onkin suojata kaapelissa kulkevia kuituja käytön, asennuksen, kuljetuksen, varastoinnin sekä valmistuksen yhteydessä tapahtuvilta rasituksilta. Näitä rasituksia voivat olla tuuli, jää, vesi, hyvin korkeat tai matalat lämpötilat sekä erilaiset kemikaalit. Sen on oltava lisäksi helposti asennettava, edullinen sekä materiaaleiltaan sopiva.

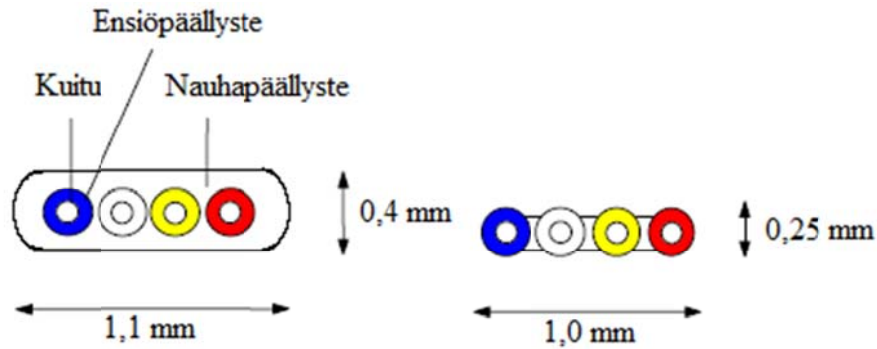
#### 6.1.1 Kuidun suojaus

Valmistusvaiheen yhteydessä kuidut suojataan ensiöpäällysteellä, joka on tiukasti kiinni kuidussa suojaten sitä naarmuilta ja kosteudelta. Materiaalina on yleisesti akrylaatti. Ensiöpäällistetyin kuidun halkaisija on tyypillisesti  $254 \pm 10 \mu\text{m}$ . Kun vedyn ja kosteuden pääsy kuituun halutaan estää esimerkiksi merikaapeleissa, käytetään hermeettistä kuitua. Hermeettisessä kuidussa kuoren päällä on ohut hiili- tai metallikerros. Ensiöpäällysteen lisäksi kuiduissa käytetään toisiosuojausta. Toisiosuojaus voi olla tiukka, jolloin se on suoraan kiinni ensiöpäällysteessä ja tyypillinen halkaisija on  $900 \mu\text{m}$ . Se voi olla myös väljä muoviputki, jonka halkaisija on  $1-3 \text{ mm}$ . Kuvassa 13 näkyy ensiö- ja toisiosuojaus kuidun ympärillä. [1,4]



Kuva 13. Kuidun materiaallinen suojaaminen. [4]

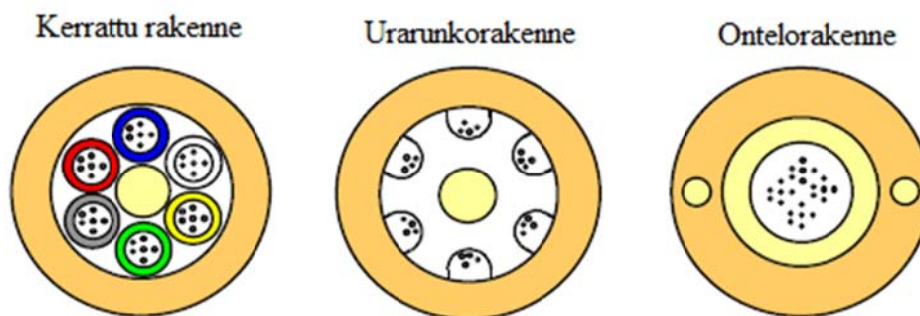
Kuitunauha voi olla ympäriliimattu, teippituettu tai reunaliimattu, jossa ensiöpäälystetyt kuidut ovat vierivieressä ja kiinni toisissaa. Kuvassa 14 nähdään ympäriliimattu ja reunaliimattu kuitunauha. [4]



Kuva 14. Ympäriliimattu ja reunaliimattu kuitunauha. [4]

### 6.1.2 Sydän

Sydänrakenteena voi olla joko kerrattu-, urarunko- tai ontelorakenne (kuva 15). Sydän on useimmiten täytetty täyterasvalla tai geelillä suojaaksi vedeltä ja kosteudelta. Veden etenemisen estämiseksi kaapelissa voidaan vielä varmuuden vuoksi käyttää paisuvanauhoja tai -lankoja. Jos esimerkiksi vikatilanteessa vettä pääsisi kaapeliin, sen pituussuuntainen eteneminen on tällöin estetty. [4]



Kuva 15. Kuitukaapelin sydänrakenteet. [4]

Kerrattu rakenne on perinteisin ja vanhin kaapelirakenne. Siinä keskielementti toimii kaapelin vetoelementtinä ja toisiöpäälystetyt kuidut tai kuituryhmät on kerrattu keskielementin ympärille. [4]

Myös urarunkorakenteessa kaapelin keskielementti toimii vetoelementtinä. Sydän muodostuu muovitangosta, jossa on pituussuuntaisia uria. Urat kiertävät rungon joko helikaalisesti tai vaihtosuuntaisesti. Etuna on hyvä puristuslujuus ja rakenteen selkeys, kun ensiöpäälystetyt kuidut tai kuituryhmät sijaitsevat väljästi omissa urissaan. [4]

Ontelorakenteessa ensiöpäälystetyt kuidut sijaitsevat väljästi yhdessä putkessa, eikä sillä näin ole keskielementtiä. Sillä on hyvä puristelujuus ja vetolujuus saadaan aikaan vaipan ja sydämen välissä olevalla lujitekerroksella. Tämän lisäksi voidaan käyttää vaipassa olevia vetoelementtejä joko yksinään tai yhdessä lujitekerroksen kanssa lisäämään vetolujuutta. [4]

Yleisimmässä kuitunauhakaapelin rakenteessa käytetään kuitunauhoja urarunkorakenteessa, jolloin saadaan suuri kuitujen pakkaustiheys. Tällöin kuidut on helppo ja nopea tunnistaa sekä jatkaa. Sydänrakenne voi kuitenkin olla mikä tahansa edellä mainituista rakenteista. [4]

### 6.1.3 Vetoelementit

Mekaaniset rasitukset asennuksen ja käytön aikana eivät saa kohdistua kuituihin, vaan veto- ja lujite-elementteihin. Elementtejä on erityyppisiä, joiden sijainti riippuu kaapelin perusrakenteesta. Ne ovat joko metallisia, jolloin käytetään tavallisimmin galvanoitua tai kuparipinnoitettua teräslankaa, tai vaihtoehtoisesti metallittomia, jolloin elementti valmistetaan lasikuidusta vahvistetulla muovilla (FRP). FRP-elementti tekee kaapelirakenteesta kevyen ja antaa hyvän vetolujuuden, mutta on teräksistä kaapelirakennetta kalliimpi. Vaipan ja sydämen väliin voidaan tarvittaessa sijoittaa aramidikuitukerros tai lasikuitunauhoja lisävahvistukseksi. Ilmakaapeleissa vetoelementtinä toimii sinkityistä teräslangoista valmistettu kannatinköysi. [1,4]

### 6.1.4 Vaippa

Vaipan pääasiallisen tehtävänä on pitää kaapelirakenne koossa ja suojata kaapelisydäntä. Materiaalina ulkokaapeleissa on polyeteeni (PE), joka saadaan auringonvaloa, eli UV-säteilyä kestäväksi lisäämällä pieni määrä hiiltä joukkoon. Sisäkaapeleissa materiaalina on ennen ollut PVC-muovi. Nykyisin käytetään itsestään

sammuvia, halogeenittomia ja vähän savua muodostavaa termoplastista polymeeria. [1,4]

## 6.2 Sisäkaapelit

Rakennusten nousu- ja runkokaapelit sekä asennuskaapelit luokitellaan sisäkaapeleiksi. Ne ovat rasvattomia, kuivia sekä metallittomia ja niiden on oltava helppo asentaa ahtaisiin paikkoihin. Sisäkaapelityyppinä on esitelty liitteessä 2. Sisäkaapelien valinnassa korostetaan yhä enemmän kaapelien paloturvallisuutta. Palavan kaapelin savunmuodostus, savukaasujen syövyttävyyden ja kauanko kaapeli ylläpitää palamista ovat ominaisuuksia, joilla voidaan vaikuttaa rakennuksen paloturvallisuuteen. Taulukkoon 16 on koottu kaapelin palo-ominaisuuksia kuvaavat kirjainyhdistelmät niiden merkityksineen. [4]

Taulukko 16. Kaapelin palo-ominaisuuksien kirjainyhdistelmät. [1]

<b>LSOH</b>	Vähäinen savu, halogeeniton
<b>LSZH</b>	Vähäinen savu, halogeeniton
<b>HFFR</b>	Halogeeniton, palonkestävä
<b>FRZH</b>	Palonkestävä, halogeeniton
<b>SLFRZH</b>	Vähäinen savu, palonkestävä, halogeeniton

## 6.3 Ulkokaapelit

Ulkokaapelit on jaettu kanava- ja maakaapeleihin, ilmakaapeleihin ja vesistökaapeleihin niiden asennustavan mukaan. Ulkokaapelityyppinä on esitelty liitteessä 2. Ne ovat sisäkaapeleita vahvempia mekaanisesti, ja niiden on kestävä vaihtelevia ulko-olosuhteita, kuten lämpötilaeroja, kosteutta tai auringonvaloa sekä käsittelyä ulko-olosuhteissa. [4]

Kanavaan asennettavat kaapelit ovat melko hyvin suojattu asennuksen jälkeen. Kaapelissa on yleensä muovivaippa, johon on laminoitu pituussuuntainen ja limitetty alumiini- tai teräsnauha. Maakaapeleiden tärkein ominaisuus on riittävä veto- ja puristuslujuus sekä vesitiiviys. Oikean ja riittävän lujan kaapelin valintaan vaikuttavat asennusmenetelmä sekä maaperän laatu. Kaapelin lujuutta voidaan lisätä korrugoidulla

teräslaminaatilla tai pyörölanka-armeerauksella. Maakaapelit suojataan usein muoviputkella. [4]

Ilmakaapelit ovat yleensä niin sanottuja 8-rakenteisia, joissa kannatinköysi on kiinni vaipassa kapean kannaksen avulla. Kannatinköysi on sinkitty teräsköysi, jonka kertaussuunta on oikeakätinen. Se on mitoitettu kestäväksi kaapelin painon lisäksi jää- ja tuulikuormat. [4]

Vesistökaapelit ovat pyörölanka-armeerattuja. Kaapeleiden on kestävä vetorasituksen lisäksi hankausta, joka aiheutuu niiden liikkeestä veden pohjassa. Niiden on kestävä myös painetta, joka kasvaa 100 kPa jokaista 10 m kohden. Rakenteen on myös asetettava hyvin vesistön pohjan mukaisesti. [4]

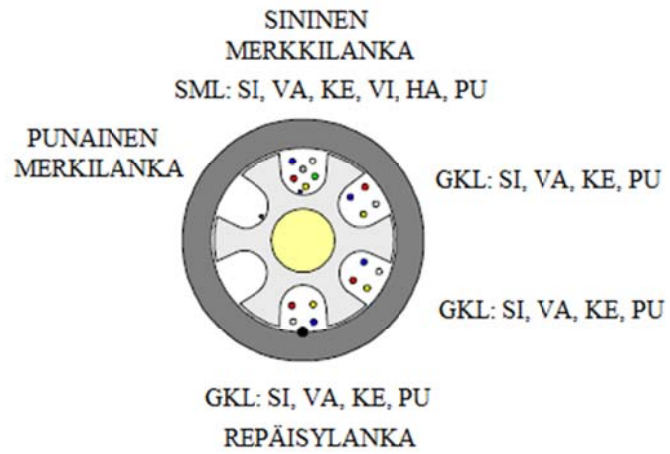
#### 6.4 Sisä- ja ulkokaapelien tunnistusjärjestelmä

Standardi SFS 5648 määrittää suomalaiset tyyppimerkinnät ja tunnistusjärjestelmät kuitujen ja kuituryhmien tunnistamiseksi. Liitteestä 3 nähdään, miten valokuitukaapelin tyyppimerkintä muodostetaan, ja kerrotaan, mitä eri merkit tarkoittavat. [4]

Kuiduissa käytettävä värijärjestelmä on taulukon 17 mukainen ja on käytössä vain Suomessa valmistetuissa optisissa kaapeleissa. Värijärjestelmää käytetään, jotta kuitujen tunnistaminen toisistaan olisi mahdollista. Kaapelin täyte-elementit ovat mustia. Edellisestä poikkeavia lisävärejä käytetään vain, jos ryhmässä on enemmän kuin kuusi kuitua. Ryhmien tunnistamiseksi toisistaan tehdään kaapelin rakenteeseen sopivalla tavalla värimerkintävärijärjestelmän mukaisesti. Urarunkorakenteessa käytetään merkkilankoja. Kuvassa 16 on esimerkki kuitujen tunnistamiseksi urarunkorakenteisessa FXOMU 1x6 SML + 3x4 GKL -kaapelissa. [1,4]

Taulukko 17. Kuitujen värijärjestelmä. [1]

<b>Ensimmäinen kuitu</b>	sininen (SI)
<b>2., 6., 10., jne kuitu</b>	valkoinen (VA)
<b>3., 7., 11., jne kuitu</b>	keltainen (KE)
<b>4., 8., 12., jne kuitu</b>	vihreä (VI)
<b>5., 9., 13., jne kuitu</b>	harmaa (HA)
<b>viimeinen kuitu</b>	punainen (PU)



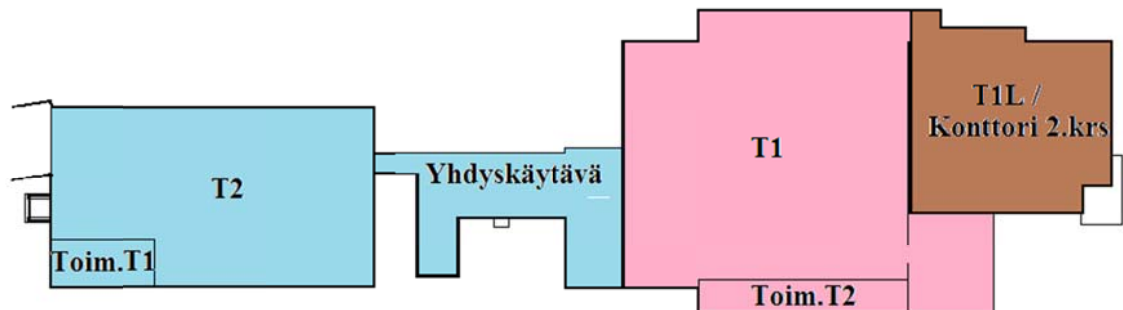
Kuva 16. Urarunkorakenteinen FXOMU 1x6 SML + 3x4 GKL -kaapeli. [4]

## 7 TRAFOTEK OY:N TIETOVERKON KARTOITUS

### 7.1 Rakennus

Trafotek Oy:n tehdasrakennus on rakennettu 1970-luvulla. 1990-luvun loppupuolella rakennusta laajennettiin ensimmäisen kerran noin 3 500 m<sup>2</sup>:llä, jolloin kokonaispinta-ala oli noin 7 500 m<sup>2</sup>:ä. Viimeisin laajennus tehtiin vuonna 2005. Nyt tehdasrakennuksen kokonaispinta-ala on noin 10 000 m<sup>2</sup>:ä.

Rakennuksen ensimmäistä osaa eli keskihallia kutsutaan T1:ksi. Ensimmäistä laajennushallia, johon lasketaan mukaan myös hallien välinen yhdyskäytävä, kutsutaan T2:ksi. Uusin laajennus rakennettiin kiinni T1-halliin ja tämän laajennuksen tuotantotilaa kutsutaan nimellä T1L. Kaikissa kolmessa hallissa on myös toimistotiloja. T1-hallin toimistotilat ovat Toim.T1, T2-hallin Toim.T2 ja uusimman laajennuksen toisessa kerroksessa olevat toimistotilat ovat Konttori. Rakennuksen osat on hahmoteltu kuvaan 17.



Kuva 17. Trafotekin rakennuksen osat.

### 7.2 Tietoliikenneverkko

Tehtaan sisällä tuotannon työskentelypaikat ovat muuttuneet useaan otteeseen ja näin ollen myös tietokoneiden paikat. Tästä syystä tietoliikenneverkkoa on jouduttu soveltamaan monia kertoja. Verkossa on edelleen viitteitä ensimmäisestä

verkkorakenteesta, mutta tekniikan kehittyessä ja siirtokapasiteetin tarpeen lisääntyessä sekä laitepaikkojen muuttuessa tietoliikenneverkkoa on uusittu. Vanhempien rakennuksen osien tietoliikenneverkosta ei ollut minkäänlaista aikaisempaa dokumenttia saatavilla. Käytettävät kaapelityypit ja kaapelien johtotiet sekä verkon aktiivilaitteet olivat vain osittain ylläpitohenkilön omassa tiedossa.

Suurimpaan osaan tietoliikennesasioista oli merkitty paikka jakamon kaapelipaneelissa, mutta osasta merkintä puuttui kokonaan. Tällöin uuden laitteen käyttöönotto merkitsemätöntä kaapelia pitkin on lähes mahdotonta tai ainakin vaivailloista. Paneelien ja kytkinten väliset ristikytkennät olivat hyvin sekaiset eikä näistä ollut minkäänlaista tietoa mikä paneelin kaapeli oli kytketty mihinkin kytkimen porttiin. Lisäksi suuri osa ristikytkentäkaapeleista oli vanhaa cat5-luokkaa. Yleisesti tietoliikenneverkko poikkeaa yleiskaapeloinnin standardista ja Gigabit Ethernet -verkkotekniikasta sekä T1- että T2-hallissa. Näin ollen 1 Gbit/s -siirtoyhteyden suorituskykyä ei voida taata.

Laajennuksen puolelta löytyi asiallinen ja kattava pohjapiirustukseen tehty dokumentti, josta kävi ilmi johtotiet, rasiapaikat ja näiden merkinnät. Myös laajennuksen puolella yhden kerrosjakamon kytkimen portit olivat täyttyneet lähes kokonaan. Tämä johtui johtoteiden valinnasta ja kerrosjakamoiden hallittavien alueiden jaosta.

### 7.2.1 Topologia

Rakennuksen lähiverkko on topologialtaan tähtimäinen. Siinä T1:n kerrosjakamo toimii keskusjakamona, josta lähtevät valokuituyhteydet muihin rakennuksen kerrosjakamoihin. Liitteessä 4 näkyy keskusjakamoiden väliset kuituyhteydet oranssilla värillä sekä operaattorin runkoverkosta tuleva kuituyhteys vihreällä värillä. Kuituyhteydellä taataan häiriötön ja tulevaisuudessakin kapasiteetiltaan riittävä siirtoyhteys. Kerrosjakamoita ei ole liitetty toisiinsa suoraan ja keskusjakamon ja kerrosjakamoiden välillä on yksi kuitupariyhteys. Jokaisella kerrosjakamolla on oma hallittava alueensa. Palvelinhuoneesta, joka samalla toimii rakennuksen talojakamona, ei ole kuituyhteyttä keskusjakamoon, vaan yhteys palvelinkoneisiin ja runkoverkkoon on hoidettu parikaapeleilla.



### 7.2.2 Talojakamo ja palvelinhuone

T1-alueella sijaitsee rakennuksen talojakamo, jonne tulee suoraan operaattorin runkoverkosta FXMSU, 6x2xSMT, kuitukaapeli. Tästä yksimuotokuitupari muunnetaan T-marc sovittimen avulla ja taas liitetään Cisco 1812-reitittimeen. Reititin on palomuuritettu ja tukee ainostaan Fast Ethernet -tekniikkaa eikä näin sovellu 1 Gbit/s -tiedonsiirtoon runkoverkkon päin. Reititin on yhdistetty kahteen Cisco ASA5505-palomuriin, jotka toimivat myös kytkiminä. Toinen palomureista on yrityksen suomen toimipisteen ja toinen kiinan toimipisteen, jolloin toimipisteet saadaan internetin kautta yhdistettyä samaan lähiverkkoon.

Yritys käyttää erilaisia palvelinlaitteita tietoliikenneverkon ylläpidossa. Huomioitavaa on, että käytössä on 3 Fujitsu TX200 S4 -palvelinasemaa, joista jokaisesta on 4 yhteyttä laitteita yhdistävään HP ProCurve Switch 2810-24G -kytkimeen. Lisäksi käytössä on 2 IBM DS3300 -järjestelmän tallennusasemaa, joista molemmista on 2 yhteyttä kytkimelle. Muita laitteistoja ovat PDM-tietokone, jota käytetään yrityksen tuotetiedon hallintaan. Ajanseuranta ja tuotannon käytettävyys hoidetaan LEAN-järjestelmällä ja tätä hoitaa Compaq Proliant ML370 -palvelinkone. Tallennetun tiedon arkistointiin käytetään kahta nauha-asemaa, joista toinen on yhdistetty palvelintilan kytkimeen.

Yhteydet palvelinhuoneen ja keskusjakamon välillä on toteutettu usealla parikaapelilla. Toisesta Cisco ASA5505-palomuurista on 3 parikaapeliyhteyttä keskusjakamoon, toisesta palomuurista 1. Lisäksi palvelimia hallinnoivasta kytkimestä sekä 4:stä eri palvelinkoneesta on parikaapeliyhteys keskusjakamoon. Talojakamo ja palvelinhuone on kuvattu liitteessä 5, jossa näkyy palvelinhuoneen laitteistot sekä yhteydet palvelinhuoneen ja keskusjakamon välillä.

### 7.2.3 T1-alue

T1:n alue on vanhin rakennuksen osa, jossa toimistotiloja on yhdellä sivulla. Tuotantotilaa on noin 4 000 m<sup>2</sup>:ä ja koko alueella on yksi kerrosjakamo sijoitettuna keskelle aluetta, tämä on myös koko rakennuksen keskusjakamo. Kerrosjakamo on omassa lukitussa huoneessa jossa ilmanvaihto on koneellinen. Myös analogisen puhelimen kaapelit tulevat tähän T1:n kerrosjakamotilaan. Analogisen puhelimen

ristikytkentätäulu ja laitteisto löytyvät kerrosjakamotilasta, mutta ne on jätetty käsittelemättä tässä työssä.

Tietoliikennekaapelien johtotiet kulkevat samoja kaapelikannattimia pitkin virtajohtojen kanssa. Virtajohdot ja tietoliikennekaapelit on kuitenkin pyritty erittelemään ja asettamaan mahdollisimman kauas toisistaan. Kaapeleiden lisäysten myötä johtotiet ovat täyttyneet ja kaapelit ovat menneet ainakin osittain sekaisin toistensa päälle, tämä voi jossain tilanteessa aiheuttaa häiriötä verkkoon. Osa johtoteistä kulkee nosturien kannatintolppia tai rakennuksen tukipilareita pitkin, eikä näitä kaapeleita ole suojattu tarpeeksi esimerkiksi iskujen varalta. Suurin osa kerroskaapeleista on cat6-luokkaa, mutta joukossa on myös vanhoja cat5- ja cat5e-luokan kaapeleita. Osa vanhoista ja käyttämättä jääneistä kaapeleista on katkaistu ja jätetty johtoteille lojumaan. Nämä aiheuttavat ylimääräistä sekaannusta sekä turhan paloturvallisuusriskin.

Kerrosjakamosta lähtee kolme FYMSU, 8xGKL, -tyyppistä kuitukaapelia kohti T1L- aluetta. Tämä johtotie kulkee oikein hallin katossa erillisessä kaapeleille tarkoitettussa kanavassa, mutta läpivienti hallien välillä on tehty suojaamattomasti ja kaapeli voi altistua iskuille tai vääntymisille. T1:n ja T2:n väliset kerrosjakamot on yhdistetty FYMSU-Y, 4xSML+2x4xGKL, tyyppisellä kuitukaapelilla. Talojakamon ja keskusjakamon välillä ei ole kuituyhteyttä, vaan liikenne runkoverkkoon hoidetaan useammalla cat6-parikaapelilla. Lisäksi on muita cat6-kaapeliyhteyksiä talojakamon yhteydessä oleviin palvelinkoneisiin.

Kerrosjakamossa on HP Procurve Switch 4208vl -kytkin. Kytkimeen on liitetty kaksi 24- ja yksi 20-porttiset moduulit, jotka tukevat Gigabit Ethernet -tekniikkaa. Verkkoa on laajennettu myöhemmin lisäämällä kerrosjakamoon yksi 24-porttinen HP ProCurve Switch 2510G-24 -kytkin. Tämän lisäksi on yksi HP ProCurve Switch 2810-24G -kytkin jota käytetään vain analogisen puhelimen ja WLAN-verkon liittämässä yleiseen tietoliikenneverkkoon. Kaikki kolme kytkintä ovat ketjutettu toisiinsa. Keskusjakamon aktiivilaitteet ja näiden väliset yhteydet on kuvattu liitteessä 6. Johtotiet T1:n alueella on kuvattu liitteessä 7.

#### 7.2.4 T2-alue

T2-alueeseen kuuluvat tuotantohalli, jossa on toimistotiloja hallin molemmissa päädyissä, sekä yhdyskäytävä, jossa toimistotiloja on koko matkalla. Alueen kerrosjakamo sijaitsee yhdyskäytävän ja tuotantohallin välissä. Se on sijoitettu toimistotilojen päälle, jota käytetään myös muun materiaalin varastointipaikkana. Kerrosjakamo on kaappimallinen, ja se on lukittu asiaankuulumattomilta henkilöiltä.

Kerrosjakamoon keskusjakamosta tuleva kuitukaapeli on tyyppiä FYMSU-Y, 4xSML+2x4xGKL. Tästä menee monimuotokuitupari 48-porttiselle kytkimelle, HP ProCurve Switch 2510G-48. Kuidun siirtotekniikkana on 1000Base-SX ja kuitujen pituus jää alle standardin 220 m:n enimmäispituuden. Kaikki kerroskaapelit ovat cat6-luokkaa, mutta osa kaapeleista ylittää standardin salliman 100 m:n rajan, jolloin 1 Gbit/s tiedonsiirtonopeus voi heikentyä. T2-alueen johtotiet on kuvattu liitteessä 8.

Yhteensä kerrosjakamossa on kolme erillistä kytkintä, jotka ovat ketjutettu toisiinsa. Kerrosjakamon aktiivilaitteet on kuvattu liitteessä 6. 48-porttinen 2510G-48 -kytkin soveltuu Gigabit Ethernet -tekniikalle ja näin ollen 1 Gbit/s siirtonopeuteen. Kaksi muuta kytkintä ovat molemmat 24-porttisia HP ProCurve Switch 2524 -kytkimiä, jotka käyttävät enintään Fast Ethernet -tekniikkaa. Tiedonsiirtonopeus jää vain 100 Mbit:iin/s. Tämän takia nopeampaa verkkotekniikkaa tukevan 48-porttisen kytkimen kaikki portit ovat käytössä ja kahden muun kytkimen portit ovat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta vapaina. Laajennettavuus T2-hallissa ja yhdyskäytävällä ei ole mahdollista 1 Gbit/s-tiedonsiirtonopeuteen.

#### 7.2.5 T1L-alue

Tietoliikenneverkko uusimmassa laajennuksen osassa on rakennettu standardien mukaan. Tuotantotilaa hallinnoi yksi kerrosjakamo, sijoitettuna toimistokoppien yhteyteen. Kerrosjakamo on lukittu ja kaappimallinen.

Kerrosjakamoon tulee yksi FYMSU, 8xGKL -kuitukaapeli keskusjakamosta. Tämä on yhdistetty HP ProCurve Switch 2510G-48 -kytkimelle, joka käyttää Gigabit Ethernet -tekniikkaa. Kaikki kerroskaapelit ovat cat6-kategorian luokkaa. Kerrosjakamon aktiivilaitteet on kuvattu liitteessä 9. T1L-alueen johtotiet on kuvattu liitteessä 10.

### 7.2.6 Konttori-alue

Alueella on pelkästään toimistotiloja, ruokala ja sosiaalityöt. Kerrosjakamoita on kaksi, jotka molemmat ovat kaappimallisia ja varastohuoneiden yhteydessä.

Molemmissa kerrosjakamoissa on yksi HP ProCurve Switch 2510G-48 -kytkin ja nämä ovat yhdistetty FYMSU, 8xGKL -kuitukaapelilla keskusjakamoon. Kerrosjakamoiden aktiivilaitteet on kuvattu liitteessä 9. Kaikki kerroskaapelit ovat cat6-kategorian luokkaa. Kaapelointi on toteutettu siten, että toisen jakamon kytkimen kaikki portit ovat täyttyneet. Toisessa kytkimessä on kuitenkin runsaasti laajennettavuutta. Johtotiet Konttori-alueella on kuvattu liitteessä 10.

### 7.2.7 WLAN-verkko

Langattomat tukiasemat ovat yhdistetty cat6-parikaapeleilla Netgear FS116P -kytkimiin. Kytkimen portit tukevat PoE-tekniikkaa, jolloin tukiasemat saavat tarvittavan virran parikaapeleita pitkin. Alueella T2 ja laajennuksessa tukiasemien saama signaali muutetaan AT-MC1004 -mediamuuntimen avulla valokaapeliin sopivaksi ja siirretään keskusjakamoon. T2:ssa ja laajennuksessa tarvitaan erillinen Deltaco LAN-1005 -verkkokytkin. Keskusjakamossa tulevat WLAN-signaalit menevät HP ProCurve Switch 2810-24G -kytkimeen. T1:n alueella tukiasemia on yhteensä kahdeksan, T2-alueella kuusi, T1L-alueella kolme ja Konttori-alueella kolme.

## 7.3 Toiminta- ja kehittämisehdotukset

Vanhat tietoliikennekaapelit, jotka on katkaistu ja jätetty johtoteille, tulisi poistaa kokonaan. Näistä ei ole tarkkaa tietoa, mihin kytkentäpaneeliin ne menevät, ja voi jopa olla, että poikki olevat kaapelit ovat yhdistettyinä verkon kytkimiin. Ne myös aiheuttavat paloturvallisuusriskin, eivätkä ole savua estävää materiaalia. Tuotantotiloissa olevat kaapelit, jotka eivät mene tarkoituksenmukaisia johtoteitä pitkin kannattaa suojata iskuilta ja muilta mahdollisilta vaurionaiheuttajilta.

Kaksi T2-hallin kytkimistä eivät täytä Gigabit Ethernet -tekniikan vaatimuksia. Johtotie nykyisestä T2-hallin kerrosjakamosta Toim.T2-tiloihin on liian pitkä. Toimistotiloille tulisi tehdä uusi kerrosjakamo, joka vapauttaisi nykyisen kytkimen portteja. Tämä

toimenpide ei kuitenkaan ole taloudellisesti järkevää, johtuen laite- ja kaappihankinnoista, johtoteiden uudelleenvetämisestä sekä ostettavan urakoitsijan hankkimisesta johtuvista kustannuksista. Riittävää olisikin hankkia uusi 24-porttinen kytkin nykyiseen kerrosjakamoon, jota voisi käyttää myöhemmin mahdollisessa verkon laajennuksessa hyväksi.

Talopakamoon eli palvelinhuoneen ja keskusjakamoon välillä on useista parikaapeleista tehty yhteys. Serverihuoneen kytkimen portit ovat täynnä ja uuden kytkimen hankinnan avulla kaikki palvelinlaitteistot voitaisiin yhdistää toisiinsa näiden kytkinten välityksellä. Näistä kytkimistä vedettäisiin kuituyhteys keskusjakamoon nykyisen yhden parikaapelin tilalle. Kuituyhteydellä taattaisiin nopea, varmatoiminen ja häiriötön yhteys.

Tietoliikenneverkko on tähtimäinen. Tämän vikasietoisuutta voidaan parantaa lisäämällä varsinkin Konttori- ja T1L-alueen kerrosjakamoiden välille ylimääräinen kuituyhteys. Tällöin kaapelin tai liittimen mahdollisesti vaurioituessa yhteys ei katkea, vaan se ohjataan uuteen kaapeliin. Näiden kytkinten välisiä varayhteyksiä täytyy kuitenkin hallita STP (Spanning Tree Protocol) -protokollan avulla, jottei verkkoon pääse syntymään lamauttavia silmukoita. [1]

Keskusjakamoon kytkimet ohjaavat koko tietoliikenneverkon liikennettä. Nämä kytkimet on liitetty toisiinsa yhdellä parikaapelilla. Näiden kytkinten välistä kapasiteettia ja vikasietoisuutta voidaan lisätä käyttämällä linkkiaggregaatiota. Linkkiaggregaatio määrittelee kahden tai useamman rinnakkaisen yhteyden yhdeksi laitteiden väliseksi yhteydeksi ilman, että verkkoon muodostuu silmukoita. Määrittely voidaan toteuttaa joko LACP-protokollalla dynaamisesti tai staattisesti konfiguroimalla molemmissa kytkimissä. Keskusjakamoon ja serverihuoneen kytkimen välille tulisi myös lisätä ainakin yksi yhteys kyseisellä menetelmällä. [1]

## 8 DOKUMENTOINNIN TOTEUTUS

Tavoitteena oli antaa toimeksiantajayritykselle selkeä dokumentti yrityksen tietoliikenneverkosta. Ajatuksena on, että myös joku muu kuin yrityksen tietojärjestelmistä vastaava henkilö voisi käyttää dokumenttia apuna erilaisissa ongelma tai laajennus tilanteissa.

### 8.1 Rajaaminen

Dokumentoinnissa keskitytään yleiskaapeloinnin fyysiseen kuvaukseen. Tähän kuuluvat pääpiirteissään jakamotilat, käytettävät aktiivilaitteet, kaapelityypit ja johtotiet. Kaikki ohjelmistomäärittelyt sekä konfiguraatiot on jätetty työn ulkopuolelle. Myös kytkinten, palomuurien, palvelimien sekä UPS-laitteiden IP- ja MAC-osoitteet on jätetty dokumentoimatta, vaikka ne tietoliikenneverkon kannalta ovatkin tärkeitä. Verkon toimivuudesta ei tehty minkäänlaisia mittauksia, eikä työssä näin ollen ole mukana mittauspöytäkirjoja.

### 8.2 Nimeäminen

Jotta dokumentti olisi mahdollisimman selkeä ja ymmärrettävä, laitteet ja laitetilat on nimetty tietyn laisesti. Nimeäminen on pyritty tekemään loogisesti, jolloin nimi pelkästään kertoo perustietoa verkon laitteesta ja tilasta. Jakamotiloja ja kytkimiä ei ole aikaisemmin nimetty, ja työn yhteydessä jokaiseen näistä on kirjoitettu niiden tunnistamiseksi nimi. Nimeämisen lyhenteet esitetään taulukossa 18.

Jakamotilojen nimeämisessä ensimmäinen kirjainyhdistelmä kuvaa, mihin rakennuksen osaan laite kuuluu. Toinen kirjainyhdistelmä on jakamon numero. Mahdollisen verkon laajennuksen takia jakamot on numeroitu, vaikka suurimmaksi osaksi joka alueella onkin vain yksi jakamotila.

Laitteiden nimeämisessä ei rakennusalueeseen olevaa vittausta ole. Ensimmäinen kirjainyhdistelmä kuvaa laitteen tyyppin. Tämän jälkeen on järjestysnumero ilmaisemassa, monesko saman tyyppin laite on kyseessä. Porttikohtaiset viittaukset ovat eroteltu kenoviivalla järjestysnumeron perään.

Taulukko 18. Nimeämisessä käytettävät lyhenteet.

Kirjainlyhenne	Merkitys
<b>T1</b>	Tuotantotilat keskihallissa
<b>T2</b>	Tuotantotilat pääty hallissa
<b>T1L</b>	Tuotantotilat T1:n laajenuksessa
<b>Konttori</b>	2. kerroksen toimistotilat T1:n laajenuksessa
<b>Toim.T1</b>	Toimistotilat keskihallissa
<b>Toim.T2</b>	Toimistotilat pääty hallissa
<b>SW</b>	Kytkin
<b>FW</b>	Palomuri
<b>RT</b>	Reitin

### 8.3 Kaapelointi

Kaapeloinnin johtotiet dokumentoitiin rakennuksen omiin pohjapiirroksiin. Uudesta laajenuksesta eli T1L- ja Konttori-alueelta johtotiet olivat jo valmiiksi dokumentoituna. T1- ja T2-alueen johtotiet saatiin selville yksinkertaisesti seuraamalla jakamoista lähteviä kaapeleita, samalla saatiin alustavaa tietoa rasioiden lukumäärästä. Myös rasiamerkinät liitettiin johtoteiden kanssa samaan piirrokseen. Kerrosjakamoiden välillä on kuitukaapeliyhteydet. Nämä dokumentoitiin omaan koko rakennuksen kattavaan pohjapiirrokseen. T1-, T2-, T1L- sekä Konttori-alueilta ovat omat pohjapiirrokset niiden selkiyttämiseksi. Käytettävät kaapelityypit on liitetty rasiamerkinän perään.

### 8.4 Jakamot

Jokaisesta rakennuksen jakamotilasta on tehty oma dokumentti. Näistä käy ilmi jakamossa käytettävät aktiivilaitteet, jakamoon tulevat ja lähtevät kaapelit, kytkinten ja kaapelipaneelien väliset ristikytkennät sekä ristikytkentäkaapelit. Kytkinten ja kaapelipaneelien väliset ristikytkennät on taulukoitu sekä kytkimestä paneeliin päin että paneelista kytkimeen päin.

## 9 YHTEENVETO

Trafotek Oy:n tietoliikenneverkon dokumenttien puuttuminen oli saanut aikaan tilanteen, jossa aktiivilaitteiden käytettävyys oli täytynyt ja verkon muokattavuus sekä laajennettavuus ei ollut enää hyödyllistä taloudellisesti eikä ajallisestikaan. Lisäksi verkon asennuksessa sekä suunnittelussa ilmeni joitain virheitä, jotka tosin osakseen johtuvat siitä, että vanhaa verkkoa on jouduttu soveltamaan uuden alla.

Toimeksiantajaryitykselle saatiin tehtyä odotuksen mukainen tietoliikenneverkon dokumentaatio, jossa jakamopaikat, aktiivilaitteet, kaapelityypit sekä johtotiet saatiin selvitettyä. Nämä on lisätty rakennuksen pohjapiirustusten yhteyteen, joka antaa selkeän kuvan tietoliikenneverkon rakenteesta. Näin ollen verkon mahdollinen muokattavuus ja uudelleenkäyttö tuli huomattavasti helpommaksi. Tämän lisäksi Trafotek Oy:lle tehtiin erillinen raportti, joka sisältää tässä työssä olevat tiedot heidän omasta tietoliikenneverkosta, verkon erityyppiset piirustukset sekä parannusehdotukset. Lisäksi nykyiset kytkinten ja liitäntäpaneelien väliset yhteydet on taulukoitu ja esitetty erillisessä raportissa.

Parannusehdotukset tehtiin verkon suorituskyvyn optimoimiseksi. Kaikkia parannuksia ei kuitenkaan kannata tehdä, koska ne ovat liian hintavia sekä aikaa vieviä. Myöskään joistain parannuksista saavutettava hyöty ei tällä hetkellä ole riittävän suuri verrattuna nykyisen suorituskyvyn tarpeeseen.



## LÄHTEET

- [1] Sähkötieto ry, Yleiskaapelointijärjestelmät, 3. uudistettu painos, Tampere: Tammer-Paino Oy, 2008, 368s.
- [2] Kiiski, P., Tietoverkon dokumentoinnin suunnittelu ja toteutus; insinöörityö, Laurea-ammattikorkeakoulu, 2009, 56s.
- [3] Suomen standardisoimisliitto, SFS-käsikirja 167. Tietotekniikan yleiskaapelointi, 1. painos. Helsinki: SFS, 2004, 296s.
- [4] Helkama, Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa, 4. painoksen uusintapainos, Tampere: Tammer-Paino Oy, 2004, 114s.
- [5] Kimonen, V-M., Runkoverkon hallinta: Suorituskyky ja dokumentointi, insinöörityö, Tampereen ammattikorkeakoulu, 2007, 73s.
- [6] Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa [www-dokumentti] Saatavilla:  
[http://helkamabica.fi/pdf/NetworkBrochure\\_FIN.pdf](http://helkamabica.fi/pdf/NetworkBrochure_FIN.pdf) (luettu 26.5.2011)

## **LIITTEET**

Liite 1. Puhelinkaapelityyppiä.

Liite 2. Valokaapelit tele- ja tietoverkoissa. [6]

Liite 3. Valokaapelin tunnistusjärjestelmä. [4]

Liite 4. Tietoliikenneverkon topologia.

Liite 5. Palvelinhuoneen ja keskusjakamon väliset yhteydet.

Liite 6. T1- ja T2-alueiden kerrosjakamojen aktiivilaitteet.

Liite 7. T1-alueen johtotiet.

Liite 8. T2-alueen johtotiet.

Liite 9. T1L- ja Konttori-alueen kerrosjakamoiden aktiivilaitteet.

Liite 10. T1L- ja Konttori-alueen johtotiet.

## Puhelinkaapelityyppejä



### MHS / sisäkaapeli

- johdin hehkutettu ja tinattu kuparilanka
- kiinteä PE-eriste
- suojana muovialumiininauha, maadoitusjohdin
- vaippa harmaata PVC- tai HFFR-muovia



### VMOHBU / ulkokaapeli / kanavakaapeli

- johdin hehkutettua kuparilankaa
- solumainen PE-eriste
- suojana alumiiniteippi päällystettynä kopolymeerillä, maadoitusjohdin
- vaippana musta PE



### VMOHBK / ulkokaapeli / ilmakaapeli

- johdin hehkutettua kuparilankaa
- solumainen PE-eriste
- suojana alumiiniteippi päällystettynä kopolymeerillä, maadoitusjohdin
- riippukaapelina galvaanista metallisielankaa (1,2...2,2 mm)
- vaippana musta PE



### VMOPU / ulkokaapeli / maa- ja vesikaapeli

- johdin hehkutettua kuparilankaa
- solumeinen PE-eriste
- suojana galvanoitua metallilankaa
- vaippana musta PE



### MU / ulkokaapeli / itsekantava eristetty pari, ilmakaapeli

- johdin kuparipäällystettyä teräslankaa
- kiinteä-PE-eriste



## Valokaapelin tunnistusjärjestelmä

