



**TEKNIikka JA LIIKENNE**

**Tietotekniikka**

**Tietoliikennetekniikka**

**INSINÖÖRITYÖ**

**OPTISEN LIITYNTÄVERKON RAKENNUSVAIHEET FTTB- RATKAISUSSA**

**Työn tekijä: Niko Ahlstedt  
Työn ohjaaja: Seppo Lehtimäki**

**Työ hyväksytty: \_\_. \_\_. 2009**

**Seppo Lehtimäki  
lehtori**



## **ALKULAUSE**

Tämä insinööri työ on tehty ammattikorkeakoulu Metropolian tietoliikennetekniikan koulutusohjelmassa. Kiitän lehtori Seppo Lehtimäkeä työni valvomisesta ja erityisesti kiitän työkavereitani teknisistä opeista ja esimiestäni joka järjesti minulle aikaa tämän työn tekemiseen.

Helsingissä 6.5.2009

Niko Ahlstedt

## TIIVISTELMÄ

<b>Työn tekijä:</b> Niko Ahlstedt	
<b>Työn nimi:</b> Optisen liityntäverkon rakennusvaiheet FTTB-ratkaisussa	
<b>Päivämäärä:</b> 6.5.2009	<b>Sivumäärä:</b> 48
<b>Koulutusohjelma:</b> Tietotekniikka	<b>Suuntautumisvaihtoehto:</b> Tietoliikennetekniikka
<b>Työn valvoja:</b> lehtori Seppo Lehtimäki <b>Työn ohjaaja:</b> lehtori Seppo Lehtimäki	
<p>Tässä insinööriyössä selostetaan Fiber To The Building-konseptin verkonrakennuksen vaiheita. Ennen verkonrakennukseen syventymistä käsitellään optisen kuituyhteyden periaate, esitellään valokaapelit ja niiden rakenteet ja käydään läpi esimerkki siitä minkälaiseen verkkoon FTTB-toteutetut kiinteistöt voidaan liittää.</p> <p>Verkonrakennuksen vaiheista käydään läpi maanrakennus, ulkovedot, kuitujen jatkamiset, sisävedot, kuitujen päättämiset, laiteasennus, mittaus ja dokumentointi. Rakennusvaiheista ainoastaan suunnittelu ja katselmukset jätettiin pois työn aihepiiristä.</p> <p>Työn tuloksena syntyi perusteellinen läpikäynti optisen liityntäverkon rakentamisvaiheista Fiber To The Building-arkkitehtuurin tapauksessa. Työn tekoon on käytetty suhteellisen vähän kirjallista lähdeaineistoa ja työ perustuukin paljon kirjoittajan omaan työkokemukseen ja työpaikalta saatuun tietoon.</p>	
<b>Avainsanat:</b> valokuitu, FTTB, liityntäverkko	

## ABSTRACT

<b>Name:</b> Niko Ahlstedt	
<b>Title:</b> Phases in FTTB-type optical access network construction	
<b>Date:</b> 6.5.2009	<b>Number of pages:</b> 48
<b>Department:</b> Information technology	<b>Study Programme:</b> Telecommunications
<b>Instructor:</b> Seppo Lehtimäki, Senior Lecturer	
<b>Supervisor:</b> Seppo Lehtimäki, Senior Lecturer	
<p>This graduate study describes construction phases of access network using Fiber To The Building -concept. Before addressing these phases, some knowledge about optical data transfer and optical access networks are explained.</p> <p>In addition, fiber optic cables used in practice and an example of a network where FTTB-implemented properties can be attached are described.</p> <p>This study contains each step of access network construction from earthwork to documentation.</p> <p>The result of this study is a thorough review of construction phases of access network using Fiber To The Building -architecture. Relatively small amount of written source material was used in this work and the study is based a lot on the author's own work experience and on the information learned from co-workers.</p>	
<b>Keywords:</b> optical fiber, FTTB, access network	

## SISÄLLYS

### ALKULAUSE

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

## SISÄLLYS

### LYHENNELUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TIEDONSIIRTO OPTISESSA VERKOSSA</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Metro Ethernet</b>	<b>2</b>
<b>2.2</b>	<b>Optisen kuituyhteyden toimintaperiaate</b>	<b>5</b>
<b>2.3</b>	<b>Valokaapelit ja hitsauslaitteet</b>	<b>6</b>
2.3.1	<i>Valokaapelit</i>	6
2.3.2	<i>Hitsausliitokset ja -välineet</i>	8
<b>2.4</b>	<b>FTTX</b>	<b>10</b>
2.4.1	<i>Fiber To The Node ja Fiber To The Curb</i>	11
2.4.2	<i>Fiber To The Home</i>	11
2.4.3	<i>Fiber To The Building</i>	11
<b>3</b>	<b>FTTB-TOTEUTUKSEN VERKONRAKENNUKSEN VAIHEET</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Sisäverkon selvitys</b>	<b>12</b>
<b>3.2</b>	<b>Kaivuut ja ulkovedot</b>	<b>14</b>
3.2.1	<i>Asennus kanava-tai maavaraissputtiin</i>	14
3.2.2	<i>Kaapelin veto</i>	17
3.2.3	<i>Esimerkki vetosuunnitelmasta</i>	20
<b>3.3</b>	<b>Sisävedot</b>	<b>21</b>
<b>3.4</b>	<b>Kuidun jatkaminen</b>	<b>26</b>
3.4.1	<i>Reittiesimerkki</i>	26
3.4.2	<i>Jatkamismateriaalit</i>	28
<b>3.5</b>	<b>Kuitujen päättäminen</b>	<b>34</b>
<b>3.6</b>	<b>Laiteasennus</b>	<b>37</b>
3.6.1	<i>Laiteasennus CAT3-sisäverkon tapauksessa</i>	37
3.6.2	<i>Laiteasennus CAT5 -sisäverkon tapauksessa</i>	40
<b>3.7</b>	<b>Mittaus</b>	<b>42</b>
<b>3.8</b>	<b>Dokumentointi</b>	<b>45</b>
<b>4</b>	<b>LÄHITULEVAISUUDEN NÄKYMIÄ</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>YHTEENVETO</b>	<b>48</b>
	<b>VIITELUETTELO</b>	<b>49</b>

## LYHENNELUETTELO

ADSL	<i>Asynchronous Transfer Mode.</i> Asymmetrinen digitaalinen tilaajajohto.
CAT3	<i>Category 3.</i> Kategorian kolme kaapeli.
CAT5	<i>Category 5.</i> Kategorian viisi kaapeli.
DSLAM	<i>Digital Subscriber Line Access Multiplexer.</i> Keskitinlaite johon kytketään tilaajajohdot
FTTB	<i>Fiber To The Building (Fiber to the Basement).</i> Optinen liityntäverkko, jossa valokaapeli tuodaan kiinteistön talojakamoon.
FTTC	<i>Fiber To The Curb.</i> Optinen liityntäverkko jossa valokaapeli tuodaan melko lähelle kiinteistöä(<300m) ja loppuyhteys toteutetaan esimerkiksi koaksiaali- tai parikaapelilla.
FTTH	<i>Fiber To The Home.</i> Optinen liityntäverkko jossa valokaapeli tuodaan kiinteistössä huoneistoon asti.
FTTN	<i>Fiber To The Node.</i> Optinen liityntäverkko jossa valokaapeli tuodaan melko lähelle kiinteistöä(<1500m) ja loppuyhteys toteutetaan esimerkiksi koaksiaali- tai parikaapelilla.
GPS	<i>Global Positioning System.</i> Satelliittipaikannustekniikka.
IP	<i>Internet Protocol.</i> Verkkokerroksen protokolla.
LAN	<i>Local Area Network.</i> Lähiverkko.
LER	<i>Label Edge Router.</i> Lippurajareititin.
LSP	<i>Label Switching Path.</i> Lippukytkäreititti.
LSR	<i>Label Switching Router.</i> Lippukytkäreititin.
MAN	<i>Metropolitan Area Network.</i> Yhden tai useamman kaupungin alueella toimiva verkko joka muodostuu useasta lähiverkosta.
MPLS	<i>Multiprotocol Label Switching.</i> Reititysmenetelmä joka siirtää paketteja ennalta määrättyjä reittejä pitkin.
OTDR	<i>Optical Time Domain Reflectometer.</i> Valokuitututka.
PON	<i>Passive Optical Network.</i> Optinen verkkoratkaisu jossa laitteet eivät ole aktiivilaitteita ja joka mahdollistaa resurssien tehokkaan käytön.
SFP	<i>Small form-factor pluggable transceiver .</i> Moduuli joka mahdollistaa eri kuitutyypin käytön.
SM-kuitu	<i>Single Mode-kuitu.</i> Yksimuotokuitu.
TCP	<i>Transmission Control Protocol.</i> Luotettava tiedonsiirtoprotokolla.

VDSL2 *Very high bit rate Digital Subscriber Line 2*. Mahdollistaa nopean symmetrisen tiedonsiirron loppukäyttäjälle jo olemassa olevia puhelinkaapeleita käyttäen.

WAN *Wide Area Network*. Laajan alueen verkko, esimerkiksi Internet.

## 1 JOHDANTO

Pelkästään Internet synnyttää nykypäivänä niin valtavia tietomääriä, että niiden siirtäminen ilman valokaapeliverkkoja ei olisi ollut mahdollista enää vuosiin. Optisella tiedonsiirrolla on ylivoimaisia ominaisuuksia sähköiseen tiedonsiirtoon verrattuna. Optisen kuidun tiedonsiirtokyky on erittäin suuri. Yksimuotokuiduilla voidaan toteuttaa yli sadan kilometrin yhteys ilman toistimia useamman gigabitin nopeudella [2, s. 12]. Pieni vaimennus ja erittäin suuri kaistanleveys ovat kuidun ylivoimaiset ominaisuudet kaikkiin kuparikaapeleihin nähden.

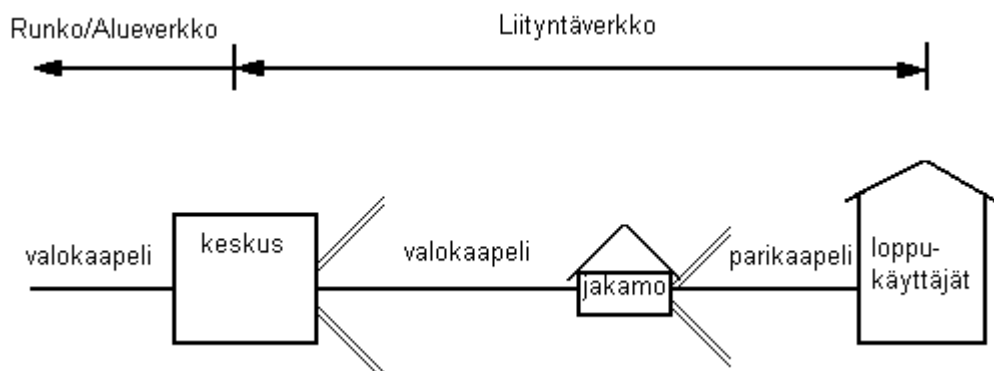
Kotikäyttäjän yhteys perustuu usein vielä ADSL-tekniikkaan jossa käytetään hyväksi olemassa olevia kuparikaapeleita joiden kapasiteetista on yritetty puristaa irti kaikki mahdollinen. Tiedonsiirron kapasiteettitarve on tilastojen mukaan kaksinkertaistunut puolentoista vuoden välein, ja jos kehitys jatkuu samanlaisena, ei kuparikaapeleiden suorituskyky enää kauaa riitä. Edessä on väistämättä teknologinen muutos, kuparikaapeleiden käyttö vähenee ja tilalle tulee langattomien ratkaisujen lisäksi optisia liityntäverkkoja, joissa kuitu tuodaan kotiin saakka tai hyvin lähelle kotia [1, s. 7]. Tuomalla kuitu hyvin lähelle kotia, joudutaan tiedonsiirron kannalta huonolaatuista kuparikaapelia käyttämään mahdollisimman vähän matkaa ja esimerkiksi ADSL-tekniikalle tyypillinen siirtonopeuden heikkeneminen etäisyyden kasvaessa saadaan minimoitua ja loppukäyttäjälle saadaan varsin kustannustehokkaasti rakennettua nopea internet yhteys.

On olemassa jo teknologioita joilla loppukäyttäjälle saadaan jopa sadan megabitin yhteys hyvinkin huonolaatuisia kuparikaapeleita käyttämällä. Tämä onnistuu vain jos kuparikaapeloinnin osuus siirtotiestä on hyvin lyhyt. Tässä työssä käsitellään niin sanottua FTTB-ratkaisua (Fiber to the Building), jossa kuitu tuodaan kiinteistön talojakamoon ja loppuyhteydessä käytetään hyväksi kiinteistön valmista sisäverkkoa. Näin kuparikaapeloinnin osuus siirtotiestä jää hyvin lyhyeksi, maksimissaankin noin muutamaan sataan metriin.

Työn idea on esittää FTTB-tyyppisen optisen liityntäverkon verkonrakennuksen vaiheet, ei niinkään käydä pilkuntarkasti läpi teknologioita ja protokollia joita verkossa käytetään. Työn aihepiiriin kuuluu



optisen liityntäverkon rakennusvaiheet maanrakennuksesta dokumentointiin. Suunnittelua ja rakentamiseen liittyviä alkukatselmuksia ei käsitellä. Liityntäverkolla tarkoitetaan sitä viestintäverkon osaa, johon viestintäverkkojen asiakkaat liittyvät. Kuvassa 1 selvennetään liityntäverkon osaa viestintäverkosta. Kuvaan on merkitty liityntäverkon eri segmenteissä käytetyt kaapelityypit FTTB-ratkaisussa.



Kuva 1. Liityntäverkko osana viestintäverkkoa

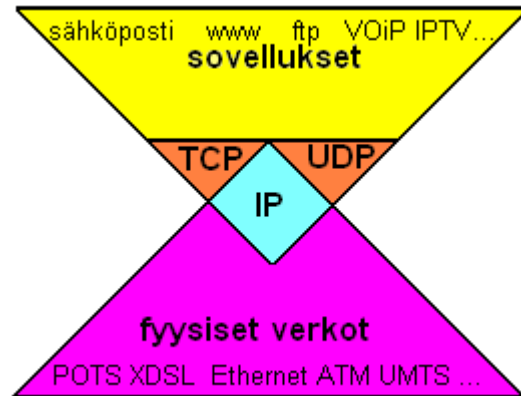
## 2 TIEDONSIIRTO OPTISESSA VERKOSSA

### 2.1 Metro Ethernet

Vaikka Ethernet-teknologia kehitettiin alun perin kiinteistöjen lähiverkkotekniikaksi, on sen käyttö laajentunut LAN-yhteyksiltä myös runko-, alue- ja liityntäverkkoihin. Maailmassa on myyty tähän päivään mennessä yhteensä yli 3 miljardia Ethernet porttia [1, s. 77]. Useimmat kuluttajien ja yritysten yhteydet alkavat ja päättyvät Ethernet-yhteydellä ja sen päällä toimivalla IP-protokollalla [1, s.77].

IP-protokollan keskeisimpiä vahvuuksia on se että se toimii kaikenlaisissa fyysisissä verkoissa ja kaikenlaiset sovellukset toimivat IP:n päällä. Sovellukset ovat fyysisistä verkoista riippumattomia ja ne toimivat yleiskäyttöisen IP:n päällä. Internetiin ja muihin IP-verkkoihin voidaan liittyä lähes minkä tahansa tiedonsiirtoverkon kautta.

Kuva 2 selventää IP:n toimintaa fyysisissä verkoissa ja sovelluksien toimintaa IP:n päällä. [1, s. 78-80.]

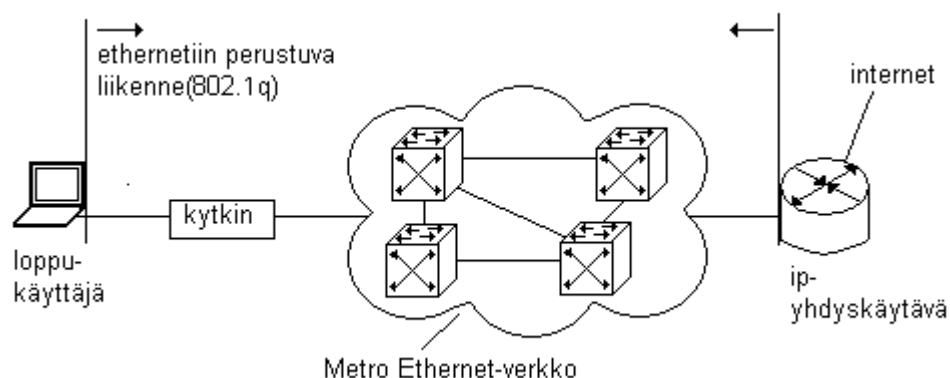


Kuva 2. IP-protokollan toiminta[1, s.80]

Tämän lopputyön kaikki esimerkit ovat tehty olettaen että syntyvä verkko on niin sanottu tähtimäinen point-to-point-verkko. Toinen vaihtoehto muodostaa verkko on esimerkiksi PON eli Passive Optical Network, jossa yhdessä kuidussa menee useiden kymmenien talouksien yhteydet jotka erotetaan lähellä tilaajaa passiivisella optisella haaroittimella tilaajakuidulle [2, s. 15]. PON-tekniikan käyttö on Suomessa kuitenkin vielä vähäistä [2, s. 15].

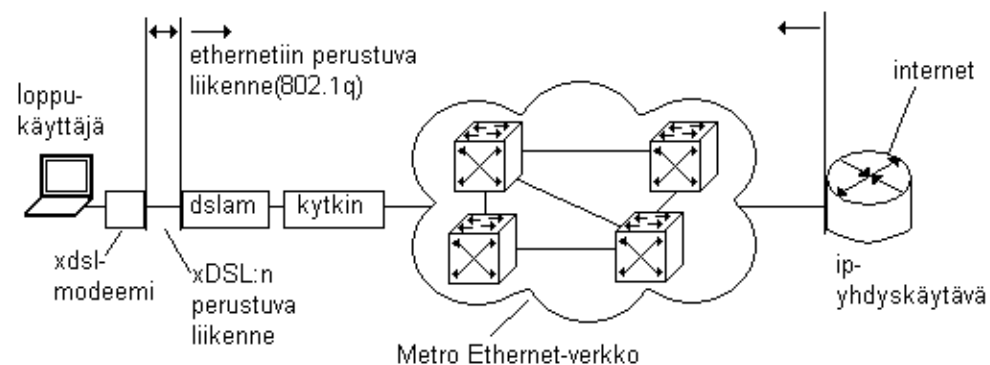
Tämän työn esimerkeissä kiinteistöjen kytkimet kytketään osaksi Metro Ethernet verkkoa. Metro Ethernet verkkoa käytetään MAN-verkkona (Metropolitan Area Network) joka yhdistää asiakkaat WAN-verkkoon (Wide Area Network), kuten Internetiin. Metro Ethernet perustuu Ethernet-standardiin mutta se on suunniteltu käytettäväksi hyvin suurissa Ethernet-verkoissa, esimerkiksi suurkaupungeissa [3]. Kun koko verkko on Ethernet-pohjainen, kustannukset ovat pienemmät ja ylläpito helpompaa [3]. Metro Ethernet on vain yksi esimerkki toteuttaa MAN-verkko mutta muita vaihtoehtoja ei tässä työssä käydä läpi.

Kuvassa 3 on esitetty verkon rakenne cat5-sisäverkon tapauksessa. Kuvasta ilmenee, että liikenne on Ethernet-pohjaista loppukäyttäjältä aina palveluntarjoajalle asti.



Kuva 3. Verkon rakenne cat5-sisäverkon tapauksessa

Kuvassa 4 kuvataan verkon rakennetta cat3-sisäverkon tapauksessa. Eroavaisuus kuvan 3 rakenteeseen on että DSLAM:n ja loppukäyttäjän xDSL-modeemin välillä liikenne on luonnollisesti xDSL-tekniikkaan perustuvaa ja DSLAM:sta eteenpäin palveluntarjoajalle asti Ethernet-pohjaista.



Kuva 4. Verkon rakenne cat3-sisäverkon tapauksessa

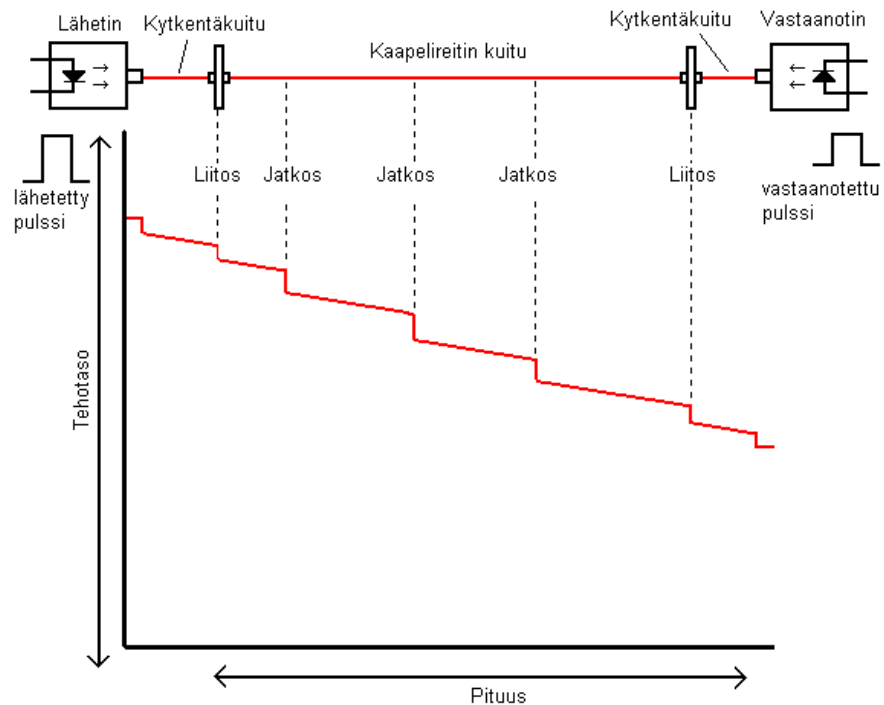
Metro Ethernet verkossa pakettien reititys voi olla esimerkiksi MPLS-pohjaista. MPLS-reitityksen idea on liittää paketteihin erillinen lippu, jonka avulla ne reititetään verkkolaitteissa. Pakettien reititys tapahtuu erityisellä lippukytkenreitittimellä eli LSR:llä (Label Switching Router). Pakettien merkitseminen sekä merkien poistaminen tapahtuu lippurajareitittimellä. Lippurajareititin eli LER (Label Edge Router) toimii MPLS-verkon ja toisen

kytkentäverkon rajalla ja näin ollen tukee moniliitännäistä tekniikkaa erilaisiin verkkoratkaisuihin. Paketit lähetetään verkkoon lippurajareitittimen toimesta vasta kun se on muodostanut lippukytkentäreitän LSP (Label Switching Path). [4.]

Nyt voidaan käydä läpi esimerkki, kuinka yhteys kotoa Internetiin voi muodostua. Kun jokin kotikoneen sovellus tarvitsee yhteyden Internetiin, se vaatii TCP/IP-protokollan toimintaa. TCP/IP välittää pyynnön Ethernetille ja ylläpitää muodostettua yhteyttä. Cat5-sisäverkkojen tapauksessa Ethernet hoitaa yhteyden palveluntarjoajan verkkoon asti. Cat3-sisäverkon tapauksessa käytetään ADSL tai vastaavaa teknologiaa yhteyden viemisessä cat3-kaapelointiosuuden osalta.

## **2.2 Optisen kuituyhteyden toimintaperiaate**

Optisessa tiedonsiirrossa signaali siirretään valon muodossa optista siirtotietä pitkin lähettimestä vastaanottimeen. Lähetin muuntaa siirrettävän sähköisen signaalin valon muotoon ja sovittaa sen kuituun. Vastaanotin ottaa valosignaalin vastaan ja muuntaa sen sopivaan sähköiseen muotoon jatkokäsittelyä varten. Valosignaalin siirtyessä kuitua pitkin se menettää tehoaan eli vaimenee. Kuituyhteydellä on myös kuitujatkoksia joissa syntyy väistämättä lisävaimennusta. Kuituyhteyden kuidut on päätetty yhteyden molemmissa päissä kuitupäätelineen liittimiin. Nämä ovat liitinrajapinnat, joihin lähetin tai vastaanotin kytketään kytkentäkuituja käyttäen. Näissäkiin liitoksissa syntyy vaimennusta. [2, s. 11-12.]



Kuva 5. Optisen kuituyhteyden periaate [1, s.11]

Optisten siirtojärjestelmien kaapeliosuuksille on määritelty suurin vaimennus, joka vastaanottimen ja lähettimen välillä saa olla. Tämä vaimennus on yhteissumma optisen kuidun vaimennuksesta, kuitujatkoksien vaimennuksesta ja liittimien liitosvaimennuksesta. Suurin sallittu vaimennus asettaa rajoituksen yhteispituudelle. [5]. Kuvassa 5 on esitetty optisen kuituyhteyden pääperiaate.

## 2.3 Valokaapelit ja hitsauslaitteet

### 2.3.1 Valokaapelit

Valokaapelit, joita käytetään FTTB-rakentamisessa ovat yksimuotokuitukaapeleita ja kooltaan vähintään 4-kuituisia. Näitä käytetään vain kiinteistöihin menevissä yhteyksissä, runkokuitujen yleisimmät koot ovat 24-192 kuituiset kaapelit. Valmistajilta löytyy kuitenkin tarvittaessa jopa 720 kuituisia kaapeleita. Kaapelin valinnassa huomio kiinnittyy seuraaviin seikkoihin:

- rakenteeseen (kerrattu, urarunko, ontelo)
- kuitutyypin (yksimuoto vai monimuoto)
- kuidun päällysteeseen (yleensä 250mm tai 900mm)

- kuitumäärään (4,8,12,24,48 jne)
- asennusympäristöön (sisä- vai ulkokaapeli)
- metallia sisältävään/metallittomaan. [6, s.50.]

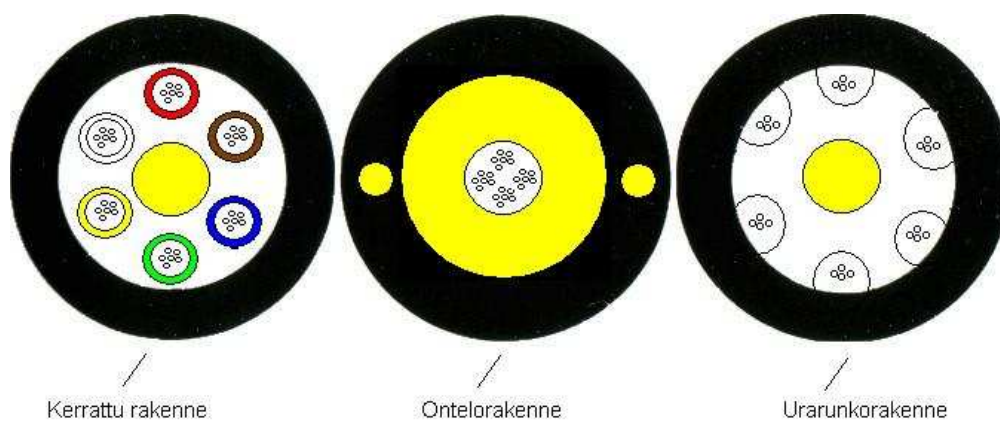
### Kaapeleiden sydänrakenteet

Valokaapeleiden sydänrakenteet perustuvat kolmeen perusrakenteeseen. Niitä ovat kerrattu rakenne, ontelorakenne ja urarunkorakenne ja ne on esitetty kuvassa 6. Kuvassa näkyvä värikoodaus on itse keksitty eikä välttämättä vastaa kenenkään valmistajan tapaa.

Kerratussa rakenteessa kuituryhmät ovat keskielementin ympärillä symmetrisesti. Keskielementti toimii kaapelin vetoelementtinä. Toisiopäällysten värikoodin perusteella tunnistetaan kuituryhmät ja ensiöpäällysten perusteella yksittäinen kuitu. Esimerkiksi sinisen toisiopäällysten sisällä olevat kuidut voisivat olla kuidut 1-6, punaisen toisiopäällysten sisällä olevat kuidut voisivat olla kuidut 7-12 ja niin edelleen. Ensimmäiset markkinoille tulleet valokaapelit olivat rakenteeltaan kerrattuja ja tämä on vieläkin yleisesti käytetty sydänrakenne [1, s.37].

Ontelorakenteessa on yksi putki, jonka sisällä kuidut sijaitsevat väljästi. Kuidut ryhmitellään niiden tunnistamiseksi. Ontelorakenteella saadaan kaapelille hyvä puristuslujuus. Vetolujuus saadaan riittäväksi vaipan ja sydämen välisellä lujitekerroksella ja vaipassa olevilla vetoelementeillä. [1, s.37.]

Urarunkorakenteessa kaapelin sydän on muovitanko, jossa on pituussuuntaisia uria, jotka kiertävät runkoa. Kuidut sijaitsevat urissa ja niiden tunnistamiseksi urissa on yleensä värikoodattuja lankoja, joiden avulla kuituryhmät tunnistetaan. Urarungon keskellä on kaapelin vetoelementti. Urarunkorakenteisilla kaapeleilla on ontelorakenteen tavoin hyvä puristuslujuus. [1, s.37.]



Kuva 6. Valokaapeleiden sydänrakenteet [5]

Lisävahvisteena kaapeleissa käytetään esimerkiksi Kevlar-kuituja tai lasikuitunauhoja. Lisäksi maakaapeleissa mekaanista lujuutta on usein lisätty käyttämällä poimutettua teräsnauha-armeerausta. Erittäin raskaissa kaapeleissa voi olla myös pyörölanka-armeeraus. Kosteudensuojauksa saavutetaan täyttämällä sydän täyterasvalla tai geelillä. Näin kaapeliin ei jää tilaa vedelle. Täytteenä voidaan käyttää myös niin sanottuja paisuvanauhoja, jotka turpoavat kastuessaan ja estävät näin veden etenemisen kaapelissa. [1, s.41.]

### 2.3.2 Hitsausliitokset ja -välineet

Valokuitujen jatkamismenetelmät eroavat täysin kuparikaapelien jatkamisista. Erittäin pienistä mitoista ja materiaaleista johtuen tarvitaan lähes kaikissa työvaiheissa erikoisvälineitä. Kahden hiuksenohuen lasisäikeen liittäminen toisiinsa ei ole itsestäänselvyys, liitetyn kuidun optisten ja mekaanisten ominaisuuksien saaminen ehjää kuitua vastaavaksi on erittäin haastavaa ja käytännössä mahdotonta. Kuitu joutuu jatkettaessa suurelle rasitukselle, sillä kuitua kuorittaessa ja puhdistettaessa syntyy väistämättä naarmuja ja halkeamia. Näin ollen liitoksesta aiheutuu väistämättä vaimennusta, oli se tehty millä menetelmällä tahansa. [6, s.52.]

Jatkamiseen on olemassa kaksi menetelmää: mekaaniset jatkot ja hitsaus. Mekaaniset jatkot eivät vielä ole yleistyneet, koska niiden ominaisuudet eivät ole läheskään hitsausta vastaavia. Mekaanisia jatkoja onkin kätevämpi käyttää esimerkiksi väliaikaisessa viankorjauksessa ja mittauskytkennöissä.

Mekaanisessa liitoksessa kuoritut, puhdistetut ja katkaistut kuitujen päät kohdistetaan vastakkain v-urassa tai holkissa ja lukitaan mekaanisesti. Kuitupäiden välissä käytetään yleensä rasvaa tai nestettä sovitusaaineena. [6, s.52.]

Hitsausliitos taas on yleisin ja luotettavin valokuidun jatkamismenetelmä. Ennen hitsausta kuidut kuoritaan, puhdistetaan ja katkaistaan erikoisvälineillä. Sitten kuidut asetetaan jatkoskoneen kuidunpitimiin, kohdistetaan ja hitsataan. Kohdistus ja hitsaus tapahtuu nykyään käytännössä nappia painamalla, kuidut tulee olla vain suurin piirtein oikealla paikalla. Hitsauksen jälkeen liitos suojataan kosteutta ja mekaanista rasitusta vastaan kutisteholkilla, joka pujotetaan kuidun päälle ennen kuorintaa ja puhdistusta. Holkki kutistetaan tähän tarkoitettuun kutisteuunilla, joka löytyy nykyään käytännössä kaikista hitsauskoneista. Kuituja jatkettaessa tulee noudattaa ehdotonta puhtautta niin ympäristön kuin kuitujenkin suhteen, koska jos paljaan kuidun pinnalle holkin alle jää epäpuhtauksia, voi se laskea liitoksen elinikää oleellisesti. [6, s.53.]

Kuituhitsaukseen tarvittavia välineitä ovat mm. :

- hitsauskone
- kuorintavälineet eri päällysteille
- puhdistusvälineet(spriitä + harsotaitos tms.)
- kuidun katkaisulaite.

Lisäksi esimerkiksi musta alusta työpöydällä auttaa erottamaan pudonneet kuidunpätkät. Kuidunpätkiä varten on varattava jokin astia, sillä kadonneet pätkät tarttuvat helposti vaatteisiin ja on vaara, että ne tunkeutuvat ihoon tai verisuoniin. Kuituhitsauslaitteet ja välineet eivät ole ns. jokamiehen työkaluja ja ne on aina tarkoitettu ammattikäyttöön. Tämän takia ne ovat suhteellisen kalliita. Hitsauskoneiden hinnat lähtevät valmistajasta riippuen hieman alle kymmenestä tuhannesta eurosta ja esimerkiksi laadukkaasta kuidun katkaisulaitteestakin voi joutua maksamaan yli tuhat euroa. Kuvassa 7 näkyy kuituhitsauslaite ja kuidun katkaisulaite.

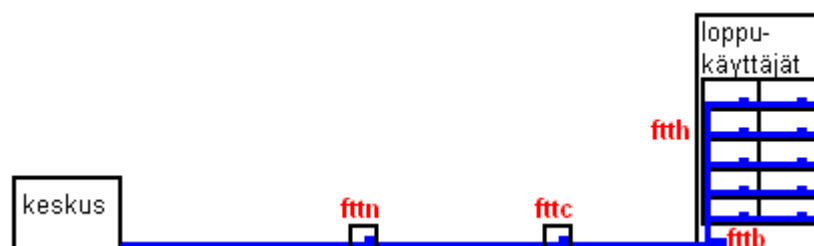




Kuva 7. Kuituhitsauslaite ja kuidun katkaisulaite

## 2.4 FTTX

FTTX eli Fiber To The X tarkoittaa verkkoarkkitehtuuria jossa osa kuparikaapeloidusta liityntäverkosta tai liityntäverkko kokonaan korvataan optisella kuitukaapelilla. Eri FTTX-arkkitehtuureita on useita, ja ne on nimetty sen mukaan miten lähelle loppukäyttäjää kuitu tuodaan. Tämän hetken kiinnostavimmat FTTX-arkkitehtuurit ovat FTTB ja FTTH. Kuvassa 8 on esimerkkejä FTTX-arkkitehtuureista. Kuvassa sinisellä näkyvä viiva kuvaa valokaapelia.



Kuva 8. Esimerkkejä FTTX-arkkitehtuureista

#### 2.4.1 *Fiber To The Node ja Fiber To The Curb*

FTTN eli Fiber To The Node tai Fiber To The Neighborhood on arkkitehtuuri, jossa kuitu tuodaan kaappiin tai vastaavaan johon käyttäjät liittyvät koaksiaali- tai parikaapelilla. Fiber To The Nodea kutsutaankin joskus myös FTTCab:ksi. Alue, jota kaappi palvelee on yleensä alle 1500 metriä [7]. Loppukäyttäjien yhteys luodaan yleensä xDSL tai DOCSIS-tekniikoilla.

FTTN:a hyvin vastaava tekniikka on FTTC eli Fiber to the Curb, joka eroaa FTTN:sta lähinnä vain siinä että kaappi palvelee pienempää maantieteellistä seutua, yleensä alle 300 metrin aluetta [7]. Kummallakaan arkkitehtuurilla ei päästä samanlaisiin siirtonopeuksiin kuin FTTH- ja FTTB-ratkaisuissa koska koaksiaali- tai kuparikaapeliosuus jää pidemmäksi.

#### 2.4.2 *Fiber To The Home*

FTTH tarkoittaa arkkitehtuuria jossa kuitu tuodaan loppukäyttäjälle asti. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että kuitu tulee huoneistojakamoon, johon myös kuitumuunnin sijoitetaan. Kuitumuunnimesta verkko on jaettavissa esimerkiksi Cat5/6-kaapeloinnilla huoneistojakamosta eteenpäin. FTTH-rakentaminen vanhoihin taloihin on kallista ja siksi vielä melko vähäistä. Lisäksi tulee ottaa huomioon että FTTB-ratkaisujen siirtonopeudet riittävät vielä toistaiseksi kuluttajien tarpeisiin varsin hyvin. Uudisrakennuksissa tilanne on eri, lisäkustannus kuitukaapeloinnista talonrakennuksen yhteydessä on mitätön [8, s. 139-140]. Onkin yleistä että uusiin kerrostalohuoneistoihin vedetään samalla yksimuotokuitukaapeli odottamaan tulevaa käyttöä [8, s. 139-140].

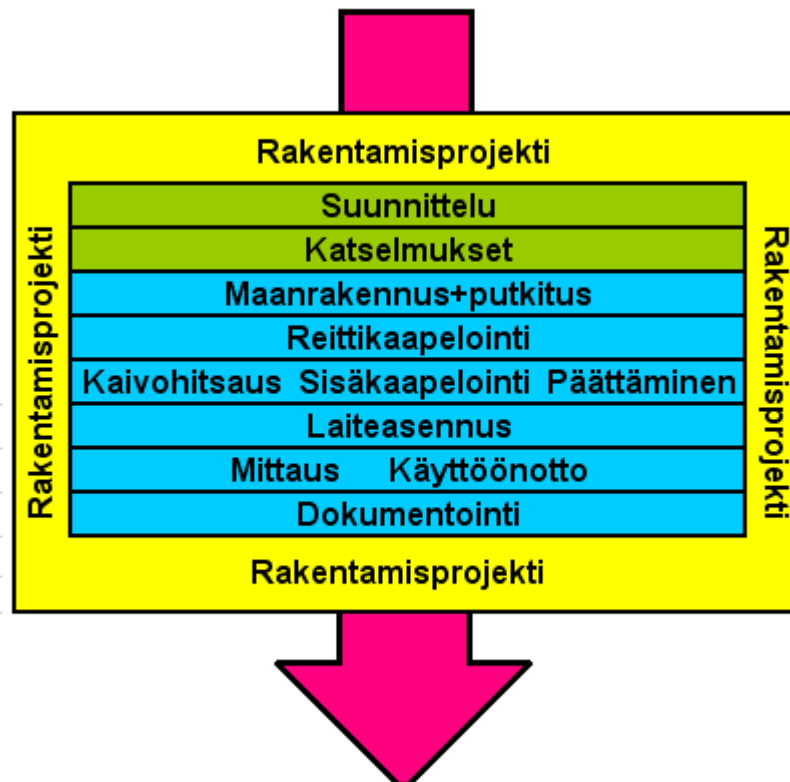
#### 2.4.3 *Fiber To The Building*

Kuten jo aiemmin tässä työssä on mainittu, FTTB-arkkitehtuurissa kuitu tuodaan kiinteistön talojakamoon. Tästä eteenpäin eli talojakamosta huoneistoihin hyödynnetään taloyhtiön olemassa olevaa Cat5- tai Cat3-sisäverkkoa. FTTB-ratkaisu on varsin kätevä tapa saada loppukäyttäjälle nopea Internet-yhteys kustannustehokkaasti. Cat5 tai korkeamman kategorian sisäverkolla nopeus riittää varovaisestikin arvioiden vuosiksi eteenpäin ja Cat3-sisäverkon omaavat kiinteistötkin ovat varmasti ajanmukaisia vielä vuosia uusien xDSL-tekniikoiden myötä. Kun kuparikaapelin siirto-ominaisuudet jäävät tulevaisuudessa riittämättömäksi,

on kiinteistö helpompi päivittää FTTH-tasoiseksi kun kuitu on jo kiinteistön jakamossa.

### 3 FTTB-TOTEUTUKSEN VERKONRAKENNUKSEN VAIHEET

Tässä kappaleessa käydään valokuituverkon rakentaminen läpi alkaen maanrakennuksesta ja päättyen dokumentointiin. Suunnittelua ja rakentamiseen liittyviä kiinteistö- ja maastokatselmuksia ei käsitellä. Kuvaan 9 on merkitty sinisellä tässä työssä käsiteltävät asiat.



Kuva 9. Tämän lopputyön aihepiiri

#### 3.1 Sisäverkon selvitys

Kiinteistön sisäverkon selvitys on tärkeä dokumentti. Sen avulla saadaan tieto tarvittavasti lisäyksistä kiinteistöön uutta kiinteistöliittymää ajatellen. Selvitys tehdään jokaisesta toteutettavasta kiinteistöstä ja sen tekee aina tarpeeksi alaa kokenut henkilö, joka ymmärtää tarvittavat selvittävät seikat. Selvitys on pääasiassa tarkoitettu palvelemaan asentajien tarpeita, mutta se on myös tarpeen kaikille, jotka ovat tekemisissä kohteen toteutuksen kanssa, koska siitä saa nopeasti käsityksen kunkin kiinteistön käytännön toteutustavasta.

Tärkeimpiä sisäverkon selvityksessä olevia asioita ovat:

- käytännön tiedot kiinteistön kulkujen osalta, kuten ovien lukitukset, kulku jakamotiloihin sekä huoltoyhtiön tai talonmiehen puhelinnumero
- mahdolliset poikkeukset sallituissa työskentelyajoissa
- tieto valokuvineen mihin laitteet sekä kuitupaneeli asennetaan
- tieto vaadittavista sähköasennuksista laitteiden sähkönsyöttöä ajatellen
- huoneistojen lukumäärä
- kiinteistössä jo olevat aktiivilaitteet, esimerkiksi muun operaattorin liittymä
- sisäisen viestintäverkon tyyppi, esimerkiksi cat3 tai cat5
- nousukaapeloinnin ja huoneistokaapeloinnin tyyppi
- kuva puhelinkaaviosta eli mikä johtopari millekin huoneistolle
- tieto mahdollisista porraskakamoista ja niiden välikaapeloinnista
- kaapelireitti kiinteistöön uutta valokuitukaapelia varten
- kaapelireitti kiinteistön sisällä läpivientikohdasta jakamoon, reitti kuvataan tarkasti kuva kuvalta ja mainitaan mahdollisten läpivientien tarve
- arvioitu kaapelin tarve kiinteistössä.

Sisäverkon selvitys on hyödyksi rakentamisen monessa eri vaiheessa eli suunnittelussa, kaapelin vedoissa, kuidun päättämisessä, laiteasennuksessa sekä mittauksessa. Jos sitä ei tehtäisi, koituisi tästä valtavasti turhaa vaivaa ja kustannuksia jo pelkästään kulkuasioita miettiessä. Lisäksi tulee pitää mielessä että esimerkiksi huonosti suunniteltu kuidun reittitoteutus kiinteistössä voi tulla huomattavasti kalliimmaksi, jos esimerkiksi valmiita kiinteistön putkituksia tai läpivientejä ei käytetä hyväksi.

## 3.2 Kaivuut ja ulkovedot

Ideaalitilanteessa ei maanrakennusta tarvittaisi ollenkaan mutta valitettavasti tositilanne ei ole tämä. Valmiita putkireittejä kiinteistölle asti on vain harvoin mutta onneksi kaivojen välillä sekä keskustiloissa on yleisemmin vapaita putkia uuden kaapelin vetoa varten. Kaivaminen varsinkin taajamassa on monimutkaista pelkästään lupa-asioiden kannalta, mutta ennen kaikkea se on erittäin kallista. Maanrakennuksen eli käytännössä maankaivuun, putkitusten ja pinnoitteiden teon kustannukset voivat hyvinkin olla reilusti yli 50 % kokonaisurakan kustannuksista ja sen takia kaivamista pyritään hyvällä verkonsuunnittelulla välttämään mahdollisimman pitkälle. Vanha verkko sekä valmiit putkitukset pitää hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Haja-asutusalueella kaivaminen on huomattavasti halvempaa ja kaivuumentrejä koneelle päivässä voi tulla moninkertaisesti taajamaan verrattuna. Siellä kaivojen sijoitus ja uudet kaivuut voidaan taajamaa yleisemmin tehdä pehmeään maahan ja tämän takia kaivamisurakka sujuu huomattavasti jouhevammin.

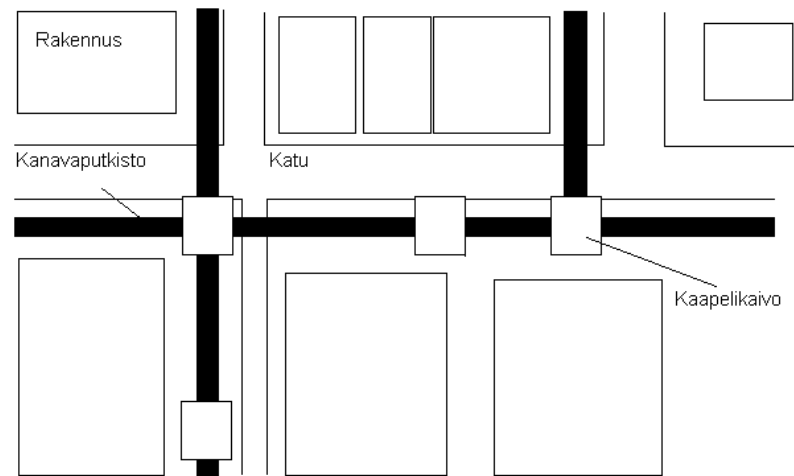
Yleisimmät kaapeleiden asennuskäytännöt ovat asennus kanavaputkiin tai maavaraisputkiin ja asennus suoraan maahan. Kaapeli voidaan asentaa suoraan maahan joko auraamalla tai kaivamalla. Kanavaan tai maavaraisputkeen asennettu kaapeli on asennuksen jälkeen melko hyvin suojattu, joten tämän jälkeen se ei ole erityisen altis mekaaniselle rasitukselle. Sen takia näihin tarkoituksiin sopivat kaapelit saavat olla rakenteeltaan keveämpiä kuin maa-asennukseen tarkoitettut kaapelit. [1, s.124-126.]

### 3.2.1 *Asennus kanava-tai maavaraisputkiin*

#### Kanavaputket

Kanava-asennuksessa kaapeli asennetaan kaapelikanavaan joka muodostuu kanavaputkista ja kaapelikaivoista. Putkien halkaisijat ovat yleensä 30-110 mm. Kaapelikanava pyritään sijoittamaan jalkakäytävän tai viheralueen alle ja vain poikkeuksellisesti ajoradan alle [1, s.124]. Kaapelikaivojen kohdalla putkistot voivat haarautua ja kaivot helpottavat kaapeleiden asentamista ja jatkamista. Kanavaputkistot muodostavat varsinkin taajama-alueilla suuria järjestelmiä.

Kuvassa 10 on esitetty periaatekuva kanavaputkistosta.



*Kuva 10. Kanavaputkiston periaate*

Kuvassa 11 näkyy tyypillisiä kanavaputkia asennusvaiheessa.



*Kuva 11. Tyypillisiä kanavaputkia asennusvaiheessa*

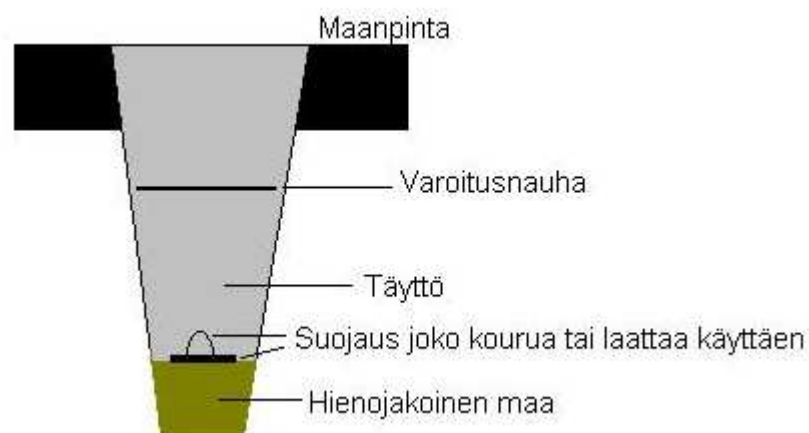
## Maavaraisputket

Kanava-asennusta kevyempi vaihtoehto on asennus maavaraisputkeen. Tämä soveltuu hyvin harvemmin asutuille alueille ja yleensä sinne missä ei ole varsinaista kanavaputkitusta eikä myöskään tarvetta sellaiselle. Maavaraisputket aurataan maahan samaan tapaan kuin maakaapelitkin jos vain maaperän laatu sallii, muuten käytetään kaivinkonetta. [1, s. 124.]

### Asennus suoraan maahan

Kaapeli voidaan asentaa maahan joko laskemalla se kaapeliojaan tai auraamalla se suoraan maahan. Maakaapeli asennetaan vähintään 40 cm:n syvyyteen maan pinnasta. Kallioon louhittavilla osuuksilla riittää 30 cm:n syvyys. [1, s.128.]

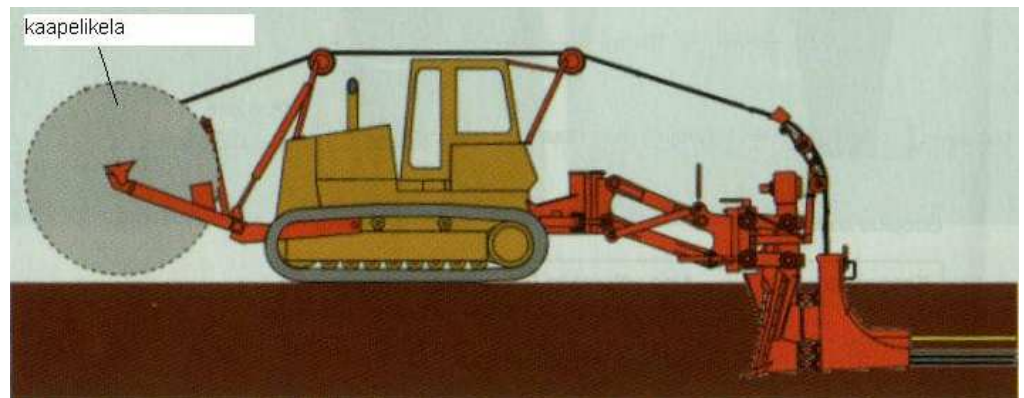
Kaapeliojaa käytettäessä on ojan pohjan oltava tasainen. Tarvittaessa pohja tasoitetaan hienolla hiekkakerroksella. Täytettäessä pitää huolehtia siitä että liian suuret kivet eivät pääse vahingoittamaan kaapelia. Kaivinkoneiden aiheuttamien vahinkojen vähentämiseksi asennetaan varoitusnauha maahan kaapelin yläpuolelle. Kaapeli suojataan yleensä joko kourulla tai laattalla. [1, s. 128-129.] Kuvassa 12 on esitetty maakaapelin suojaustavat.



Kuva 12. Maakaapelin suojaus

Jos maaperän laatu sallii, on auraus yleensä nopein ja myös edullisin tapa asentaa kaapeli maahan. Tämä tavan käyttö on yleisempää taajaman

ulkopuolella. Aurauksessa on tärkeää että eteneminen on tasaista ja että kaapeliin ei kohdistu liian suuria rasituksia. Aurauksen yhteydessä voidaan kaapeli sijoittaa halkaistun suoja-putken sisään sekä asentaa varoitusnauha. Asennussyvyyskoskevat vaatimukset ovat samat kuin kaapeliojan tapauksessa. Aurauksessa käytettävän kaapelin tulee olla varsinkin puristus- ja vetolujuuden osalta riittävän jykevää koska aurauksen aikana kaapeliin voi kohdistua suurta rasitusta. Aurauksen yhteydessä voidaan reitti paikantaa ja tallentaa karttapohjiin dokumentointia varten käyttämällä GPS-laitteita. Auraan kiinnitetään antenni ja jos käytetään GPS-työmaatukiasemaa, päästään kaapelireitin kartoituksessa jopa senttimetrin tarkkuuteen. [1,s. 129-130.] Kaapelin aurauksen periaate on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Kaapelin aurauksen periaate [1, s.130]

### 3.2.2 Kaapelin veto

Kaapelin vedossa suositellaan käytettäväksi vetopäätä, johon vetovaijeri tai vetonaru kiinnitetään [1,s.126]. Putkireiteillä kaapelikaivoilla on valmiita vetonaruja joiden avulla kaapeleita saadaan vedettyä pisteiden välillä. Näitä vetolankoja onkin suositeltavaa asentaa putkien asennusten yhteydessä. Vetolanka voidaan myös puhaltaa putkeen jälkikäteen. Kaapelikaivoissa kaapelia ohjataan putkien suulla hankautumisen estämiseksi [1, s. 126]. Vetopituutta voidaan lisätä välivetopaikkojen avulla. Vedon aikana huolehditaan siitä että suurinta sallittua vetovoimaa ei ylitetä. Kevyempi kaapeli vaatii vedettäessä huomattavasti pienemmän voiman kuin raskas kaapeli. Tarvittava vetovoima on suoraan verrannollinen kaapelin painoon.



Suurin kaapelin vetopituus voidaan laskea kaavasta 1:

$$L_{\max} = \frac{F_{sall}}{\mu \cdot G} \quad (1)$$

jossa  $L_{\max}$  on suurin sallittu vetopituus, km

$F_{sall}$  on kaapelin suurin sallittu vetovoima, N

$\mu$  on kitkakerroin, paljas luku

$G$  on kaapelin paino, N/km. [1, s.126.]

Kitkakertoimelle käytetään taulukossa 1 näkyviä arvoja:

*Taulukko 1. Kitkakertoimen arvot eri olosuhteissa [1, s. 126]*

Tuntemattomat olosuhteet	1
Betoniputki	0,9
PE-vaippainen kaapeli PVC-putkeen	0.3-0.5
Lähekkäin olevat vetorullat	0,2-0,3

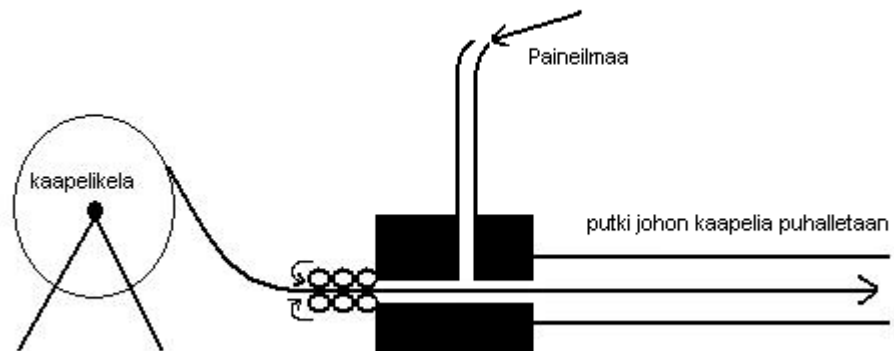
Esimerkkilasku: Vedetään PVC-putkeen PE-vaippainen valokaapeli jonka suurin sallittu vetovoima on 2200 N, paino 200 kg/km .

$$\text{Tällöin suurin kaapelin vetopituus on: } L_{\max} = \frac{F_{sall}}{\mu \cdot G} = \frac{2200N}{0,4 \cdot 1960 \frac{N}{km}} = 2,8km$$

Yksi yleistynyt ja toimiessaan myös nopea tapa on puhaltaa kaapeli putkeen. Tähän tarvitaan erityinen puhalluskone sekä kompressori jonka täytyy kyetä tuottamaan ilmaa noin 500-1000 litraa minuutissa 12-16 baarin paineella. Puhaltamalla voidaan saavuttaa jopa kahden kilometrin puhallusetäisyyksiä. Sijoittamalla asennusreitille useampia puhalluslaitteita määrävälein voidaan saavuttaa jopa 12 km:n asennuspituuksia [1, s.127]. Puhalluksen etenemä on maksimissaan noin 100 metriä minuutissa, käytännössä usein huomattavasti vähemmän. Asennuksen huolellisuus ja putkien jatkamisten laatu vaikuttavat oleellisesti puhalluspituuteen. Myös putken sisäpinnan laadulla on merkitystä. Markkinoilla on putkia joissa sisäpinta muodostuu

erillisestä ns. SILICORE-silikonikerroksesta. Tätä pidetään yleisesti parhaana ja se helpottaa asennusta myös silloin, kun kaapeli vedetään putkeen tavanomaisesti vetolankojen avulla. Myös vanhan kaapelin poistamisessa esimerkiksi vikatilanteissa voidaan hyödyntää puhallusta. [9.]

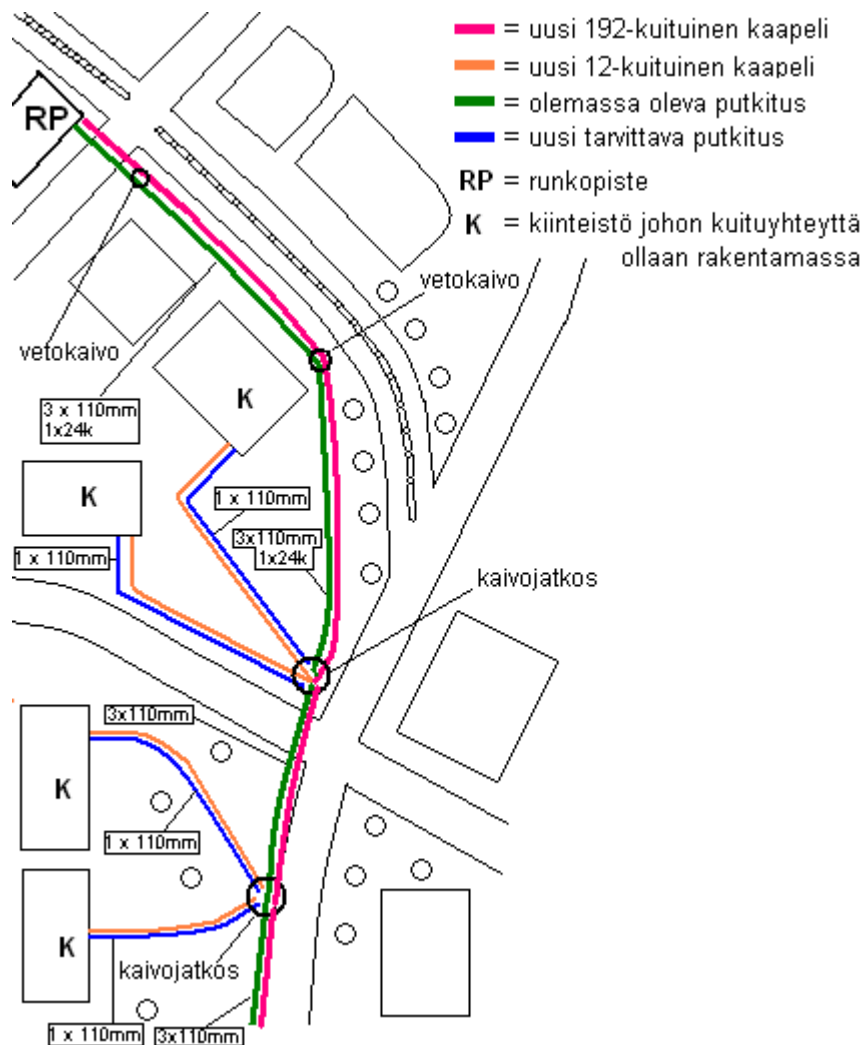
Puhalluskäyttöä varten on kehitetty erityisiä puhalluskuitukaapeleita joita käyttämällä puhallus onnistuu varmemmin. Näiden tyypillisiä ominaisuuksia ovat keveys ja pintaliukkaus. Myös tavallista valokuitukaapelia voi puhallaa ja varsinkaan suurempia kaapeleita ei välttämättä edes löydy erityisenä puhalluskaapelina. Kuvassa 14 on esitetty kaapelin puhalluksen periaate. [9.]



Kuva 14. Kaapelin puhalluksen periaate [6, s. 59]

### 3.2.3 Esimerkki vetosuunnitelmasta

Kaivuiden ja ulkovetojen tekninen toteutus on esitetty aiemmin tässä työssä. Kaapeleiden vetojen ja osittain myös kaivuiden osalta suunnitelmana voidaan käyttää esimerkiksi kuvan 15 mukaista suunnitelmaa.



Kuva 15. Veto- ja kaivuusuunnitelma

Reittiä suunnitellessa kartoitetaan ensin, mitä lisäyksiä reitille tarvitaan. Olemassa olevaa infrastruktuuria käytetään mahdollisimman paljon hyväksi ja hyvällä suunnittelulla voidaan saavuttaa huomattavia kustannussäästöjä. Varsinkin uusien kaivojen rakentamisesta, kaivamisesta ja uusien pinnoitteiden teosta syntyy erittäin iso osa valokuituverkon rakentamisen kustannuksista ja sen takia niitä pyritään hyvällä suunnittelulla erityisesti välttämään.

Esimerkkikuvassa on esitetty alkuosa reitistä, jonka runkokaapeli on 192-kuituinen. Runkopisteeltä vedetään uusi 192-kuituinen kaapeli kahden vetokaivon kautta ensimmäiselle kaivojatkokselle hyödyntäen vanhaa putkistoa. Ensimmäiseltä kaivojatkokselta vedetään myös 192-kuituinen kaapeli toiselle kaivojatkokselle suoraan ilman vetokaivoja. Esimerkkitapauksessa keskuksen ja ensimmäisen kaivojatkoksen välillä on kolme halkaisijaltaan 110:n millimetrin putkea joissa on yhdessä putkessa yksi 24-kuituinen kaapeli. Kaivojatkoksien välissä ei ole vanhoja kaapeleita. Kaivoilta kiinteistöihin ei ole valmiita putkituksia joten ne joudutaan tekemään. Nämä välit toteutetaan esimerkkitapauksessa yhdellä 110 millimetrin putkella, johon vedetään 12-kuituinen kaapeli. Esimerkkireitille ei tarvitse rakentaa uusia kaivoja eikä kaivuita tonttihaaroja lukuun ottamatta tarvita. Tarkemmat kaivuusuunnitelmat tehdään yleensä maastossa taloyhtiön isännöitsijän kanssa tonttihaarojen osalta ja yleisten katuosuuksien osalta kaivuusuudet käydään läpi kaupungin vastaavan mestarin tai vastaavan henkilön kanssa.

Esimerkkikuva on vain yksi tapa esittää veto- ja kaivuusuunnitelma. Tärkeintä on, että siitä tulee ilmi riittävän tarkasti putkien, kaivuiden ja kaivojen tarkat sijainnit sekä olemassa oleva putkitus erityisesti vapaiden putkien osalta.

### 3.3 Sisävedot

Kun kaapelinveto on saatu suoritettua kaivolta tai joissain tapauksissa suoraan keskukselta kiinteistölle asti, on seuraavana vuorossa kuljettaa valokuitukaapeli kiinteistön jakamoon tai muuhun suunniteltuun laitetilaan johon valokuitupaneeli sijoitetaan. Jos jakamo on kiinteistössä suhteellisen lähellä ulkoseiniä, on mahdollista, että sieltä löytyy valmis putkireitti suoraan jakamoon ja kaapeli työnnetään suoraan jakamoon kaapelinvetoryhmän toimesta. Valmiit putkitukset suoraan jakamoon ovat yleisempiä uudemmissa taloissa. Näissä tapauksissa työ menee yleensä suoraan kuidun päättäjille koska sisävetoja ei tarvita mahdollista kaapelin seinään naulaamista lukuun ottamatta. Ongelmallista on varmistaa että kaapeli oikeasti on talojakamossa asti. Useissa kohteissa kiinteistöön ei pääse ilman huoltoyhtiön edustajaa jonka odottaminen tuhlaa kallista työaikaakaan eikä näin ollen ole järkevää. Onkin hyödyllistä, että kuidun päättäjätkin ovat varautuneet materiaalien ja työkalujen osalta vetämään sisävetoja, koska tämä on kustannustehokkaampaa kun ryhmä näissä tapauksissa on jo

kuluttanut aikaa mennessään kiinteistöön. Kulkuasiat ovat eräs merkittävä viiveitä aiheuttava tekijä taajama-alueen verkonrakennuksessa. Hyvällä etukäteen suunnittelulla eli huoltoyhtiöille ajoissa soittamalla ja sopimalla ovenavausajat etukäteen voidaan säästää suuria summia. Tähän olisi ratkaisuna kiinteistöjen ulkoseinään sijoitettavat putkilukot, jotka mahdollistavat kiinteistöön pääsyn mihin kellonaikaan vaan. Putkilukkoja onkin kiinteistöissä jonkin verran, mutta niiden sisältämät avaimet ovat alttiita häviämään vuosien mittaan. Lisäksi taloyhtiöt ovat usein vastahakoisia putkilukkojen suhteen, sillä ne lisäävät riskiä, että avain joutuu väärin käsiin, ovathan putkilukot kaikkien nähtävillä kaduilla ja aikaa tiirikoida lukko on kellon ympäri. Koska sisävetojen jälkeen jakamossa käydään vielä ainakin päättämässä kuidut ja mittaamassa optinen siirtotie, on hyvä että tässä vaiheessa päivitetään sisäverkkoselvityksen kulkuohjeet. Sisäverkkoselvitys on yleensä vähintäänkin kuukausia vanha ja taloyhtiöt voivat tässä ajassa vaihtaa huoltoyhtiötä, putkilukossa oleva avain saattaa kadota tms., joten kulkuohjeiden päivitys on paikallaan, ettei kallista työaikaa kulu turhaan odotteluun.

Sisävedot eivät sinänsä ole kovinkaan monimutkaista työtä, sillä valokaapeleiden asennusmenetelmät eivät pääpiirteittäin eroa perinteisen kuparikaapelin asennusmenetelmistä. On kuitenkin erityspiirteitä, jotka tulee pitää mielessä valokaapeleita asennettaessa. Näitä ovat mm. taivutussäteet sekä veto- ja puristusvoimat. Kuitu saattaa näennäisesti kestää kovaakin käsittelyä mutta väärin käsiteltynä kuituun voi muodostua rasituksen seurauksena vaimennusta ja vaurioita, jotka aiheuttavat kuidun katkeamisen yllättäen. Kaapeleita käsiteltäessä tuleekin noudattaa kaapelivalmistajan antamia ohjeita ja raja-arvoja. [6, s.50.]

Vaikka valokaapeli onkin kevyttä ja suhteellisen asennusystävällistä kapasiteettiinsa nähden on sillä huonotkin puolensa. Koska se on niin kevyttä ja käsittely helppoa, on se valitettavasti myös helppoa käsitellä väärin. Solmut, nykiminen ja veto terävissä mutkissa saavat ihan uuden merkityksen koska pahimmillaan nämä aiheuttavat kuitujen murtumisen tai katkeamisen ja tämän jälkeen ei jäljelle jää muuta mahdollisuutta kuin kallis kaapelin uudelleen vetäminen. Huono puoli on, että ongelmat huomataan usein käytännössä vasta sen jälkeen, kun kuitu on jo päätetty ja mitattu eli

lisäkustannuksien määrä on huomattava koska työvaiheet kuidunveto, päättäminen ja mittaus on suoritettava uudelleen.

Kaapeleiden tärkeimpiä asennusominaisuuksia ovat:

- Pienin sallittu taivutussäde asennuksen aikana on sisäkaapeleissa tyypillisesti 15 \* kaapelin halkaisija eli tyypillisessä tapauksessa luokkaa 10-15cm, ulkokaapeleissa tyypillisesti 20\* kaapelin halkaisija.
- Pienin sallittu asennuslämpötila sisäkaapeleissa on luokkaa -5 celsiusta, ulkokaapelit luokkaa -15 celsiusta.
- Alin asennuslämpötila tarkoittaa aina kaapelin, ei siis ympäristön lämpötilaa, tulee siis muistaa että jos kaapelikela on ollut varastoituna kylmässä tilassa voi sen tarvittava lämpeneminen kestää jopa vuorokauden.
- Suurin sallittu vetovoima: tätä ei saa ylittää, jotta kuituihin ei kohdistuisi asennuksen liian suurta rasitusta joka johtaisi venymään, lisäksi kaapelia asennettaessa veto ei saa koskaan kohdistua itse kuituihin.
- Kaapelille sallittu vetovoima riippuu kaapelin veto- ja lujite-elementeistä ja sen tyypilliset arvot ovat luokkaa 300N-3000N.
- Puristuslujuus riippuu paljon kaapelin rakenteesta ja lujite-elementeistä, määritellään tietylle pinta-alalle.
- Sisävetojen osalta puristuslujuudella ei ole niin merkitystä. [6, s. 50.]

Sisävetoihin tarvittavat yleisimmät materiaalit ovat JAPP-putket, putken kiinnittimet ja jatkot, kaapeleiden naulakiinnitykset, palokatkomassa, muu läpivientien tiivistysmassa esimerkiksi Sikaflex sekä taivutuskohtiin esimerkiksi Anamet-suojaus. Yleissääntönä voidaan pitää, että kaikissa huoneissa, joihin on pääsy asukkailla, on kaapeli suojattava JAPP-putkella tai muulla ratkaisulla (esimerkiksi kaapelikouru, arina yms.) ja huoneissa, joihin on rajoitettu pääsy eli esimerkiksi jakamotiloihin, lämmönjakuhuoneisiin yms. riittää, että kaapeli on naulattu seinään.

Valmiista asennuksesta tulee ottaa valokuvia myöhempää käyttöä varten. Valokuvat ovat tarpeen laadun varmistuksessa sekä mahdollisia reklamaatiotapauksia varten. Kuvien tulee olla laadultaan sellaisia, että

asennuksen laatu ja yksityiskohdat voidaan todeta kuvista ilman, että kohteessa tarvitsee käydä. Jos esimerkiksi taloyhtiöltä tulee reklamaatio asennusjäljestä, voidaan kuvista tarkistaa, onko se aiheellinen ja tehdä päätös, mennäänkö kohteeseen korjaamaan asennusjälki vai ei. Kuvissa tulee olla koko kaapelireitti jakamolalle asti ja etenkin läpiviennit, kulmakohdat ja taivutukset tulee kuvata erityisen tarkasti. Erittäin tärkeää on myös varmistaa, että uusi kaapeli on merkitty operaattorin tunnuksella, koska joskus kiinteistöihin tuodaan kuitukaapeleita useamman operaattorin toimesta ja kuitujen päättämishetkellä on tiedettävä, mikä kaapeli on kenenkin.

Kuvassa 16 näkyy sisäveto-osuus jossa on käytetty JAPP-putkea kaapelin suojaamiseen asianmukaisin taivutussätein.



*Kuva 16. Esimerkki sisävedoista*

Kuvassa 17 on tuotu kaapeli kiinteistöön pyöräkellarin betoniseinästä sisään ja sisääntulokohta on suojattu peltikourulla.



*Kuva 17. Esimerkki sisävedoista*

Kuvassa 18 on tilanne sisävetojen jälkeen, kaapeli odottaa talojakamossa kuitujen päättöä.



*Kuva 18. Tilanne sisävetojen jälkeen*

Sisävetojen tekijöiden tehtävät lyhyesti:

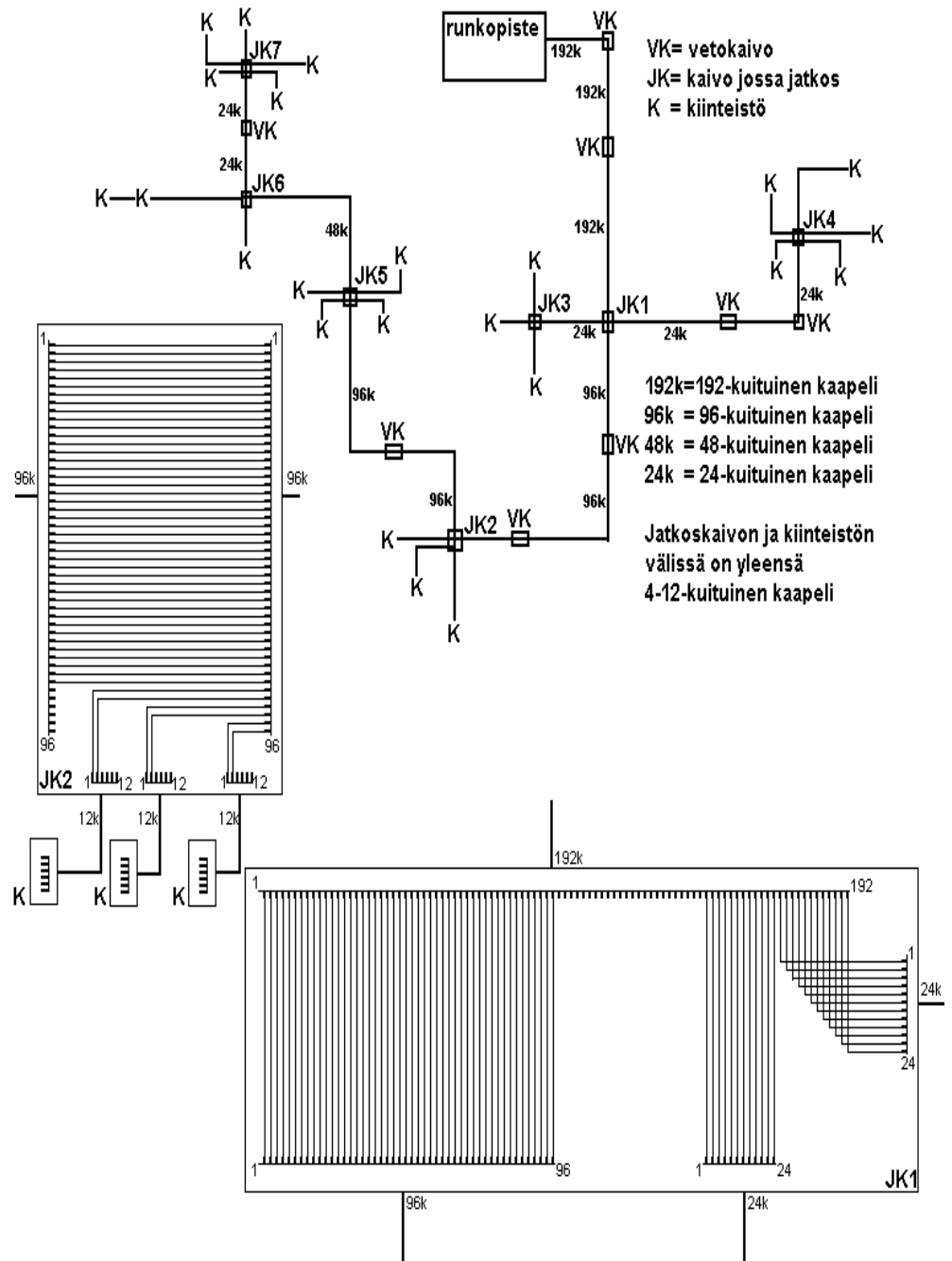


- käydä kiinteistön kaapelointisuunnitelma läpi joko sisäverkon selvityksen tai muun hyväksytyt suunnitelman perusteella
- varmistaa ennen kohteeseen menoa, että tarvittavat asennusmateriaalit ovat mukana
- asennusvaiheessa noudattaa kunkin kaapelin spesifikaatioissa mainittuja sallittuja taivutussäteitä ja noudattaa asianmukaisia asennustapoja
- merkitä kaapeli
- läpivientien teossa muistaa tehdä palokatkomassauksen
- oman työmaan työturvallisuudesta huolehtiminen ja jälkien siistiminen
- valmiin työn valokuvaus, jossa näkyy koko kaapelireitti sillä tarkkuudella että työn laadun voi varmistaa ilman kohteessa käyntiä
- valmiin työn raportointi eteenpäin, mikäli samat tekijät eivät tee seuraavaa työvaihetta eli kuitujen päättöä.

### **3.4 Kuidun jatkaminen**

#### *3.4.1 Reittiesimerkki*

Reittiesimerkissä on esitetty tyypillinen toteutus taajama-alueen kuitukaapeloinnista. Kuva 19 on periaatekuva niin sanotusta tähtimäisestä pisteestä pisteeseen pohjautuvasta verkosta eikä korreloi fyysisesti varsinaisen kaapelinvetosuunnitelman kanssa. Kuvan tarkoituksena on vain näyttää reitin kuitukytkenät. Vetojen osalta voidaan suunnitelmassa käyttää toisenlaista suunnitelmakuvaa, joka on esitetty aiemmin tässä työssä.



Kuva 19. Reittiesimerkki

Reitillä on jokaiseen kiinteistöön hitsattu 4 kuitua ja kaivojatkoksien kytkentäkuvassa (kuva 19 alempi osa) näkyvät viivat edustavat aina yhtä kuituparia tilan säästämiseksi. Tarkempaan tarkasteluun esimerkeiksi on otettu kaksi kaivojatkosta. Esimerkkireitin runkokuituun jää vielä runsaasti varaa uusille kiinteistöisäyksille tulevaisuutta varten. Keskukselta lähtevän runkokaapelin koko on 192-kuituinen, mikä mahdollistaa siis 48:n kiinteistön käyttöönoton reitille, mikäli kiinteistöihin hitsataan 4 kuitua. Mikäli kiinteistöt ketjutetaan ja käytetään siis samaa kuituparia useammalle kiinteistölle

esimerkiksi suuremman taloyhtiön tapauksessa, saadaan reitille enemmän kiinteistöjä. Kahden kaivojatkoksen kuituhitsausjärjestelyt on esitetty reittiesimerkissä. Kuvassa on kaikki riittävät tiedot kuidun hitsaajille itse työtä varten. Itse hitsaustyön voisi tehdä kyllä aivan hyvin esimerkiksi pelkän listan avulla, joka kertoo, mikä kuitu hitsataan mihinkin. Esimerkiksi tieto siitä että syöttävän kaapelin kuidut 10-14 hitsataan talokaapelin kuituihin 1-4 riittää hitsaustyön tekijöille. Esimerkin tapainen kuva on silti huomattavasti havainnollisempi ja luo verkon rakennusvaiheessa helpon seurattavuuden reitin valmistumisesta.

Ensimmäisellä kaivojatkoksella JK1:llä on paljon hitsattavaa. Syöttävän 192-kuituisen kaapelin ensimmäiset 96 kuitua hitsataan lähtevään 96-kuituiseen kaapeliin, joka menee kaivojatkokselle JK2 kahden vetokaivon kautta. Syöttävät kuidut 97-144 jätetään jatkoskotelon levyille odottamaan tulevia kiinteistölisäyksiä. Seuraavat kuidut 145-168 hitsataan JK3:lle lähtevään 24 kuituiseen kaapeliin. JK3:een on hitsattu vain kolme kiinteistöä joten tälle jatkoskaivolle jää vielä kapasiteettia tuleville kiinteistöille. JK1:llä hitsataan vielä syöttävän kaapelin viimeiset kuidut 169-192. Nämä hitsataan JK4:lle lähtevään 24-kuituiseen kaapeliin. JK4:n perässä on vain viisi kiinteistöä joten JK4:lle jää vielä 4 kuitua vapaaksi tulevaisuuden tarpeita varten. 192-kuituisen jatkoskaivon hitsaaminen vie yhdeltä mieheltä 1-2 työpäivää. Jo pelkästään kuitujen kuoriminen ja levyille laitto vie helposti päivän.

Kaivojatkolle JK2 menee 96-kuituinen kaapeli. Tästä on hitsattu kaikki 96 kuitua laiteasemalle asti, joten teoriassa saadaan vielä 24 kiinteistöä kiinni, jos hitsataan kaikille kiinteistöille 4 kuitua ja oletetaan, ettei kiinteistöjä ole ketjutettu. Tässä tapauksessa kiinteistöjä on vain 14 joten 40 kuitua jää vielä vapaaksi kapasiteetiksi. JK2:een on hitsattu 3 kiinteistöä syöttävän 96-kuituisen kaapelin viimeisiin kuituihin 85-96. Kaikki muut kuidut on hitsattu suoraan lähtevään 96-kuituiseen kaapeliin joka on vedetty kahden vetokaivon kautta kaivojatkolle JK5. Näin ollen kaivojatkolle JK2 ei jää enää tilaa uusille kiinteistölisäyksille ellei hitsausjärjestelyjä muuteta.

### 3.4.2 *Jatkamismateriaalit*

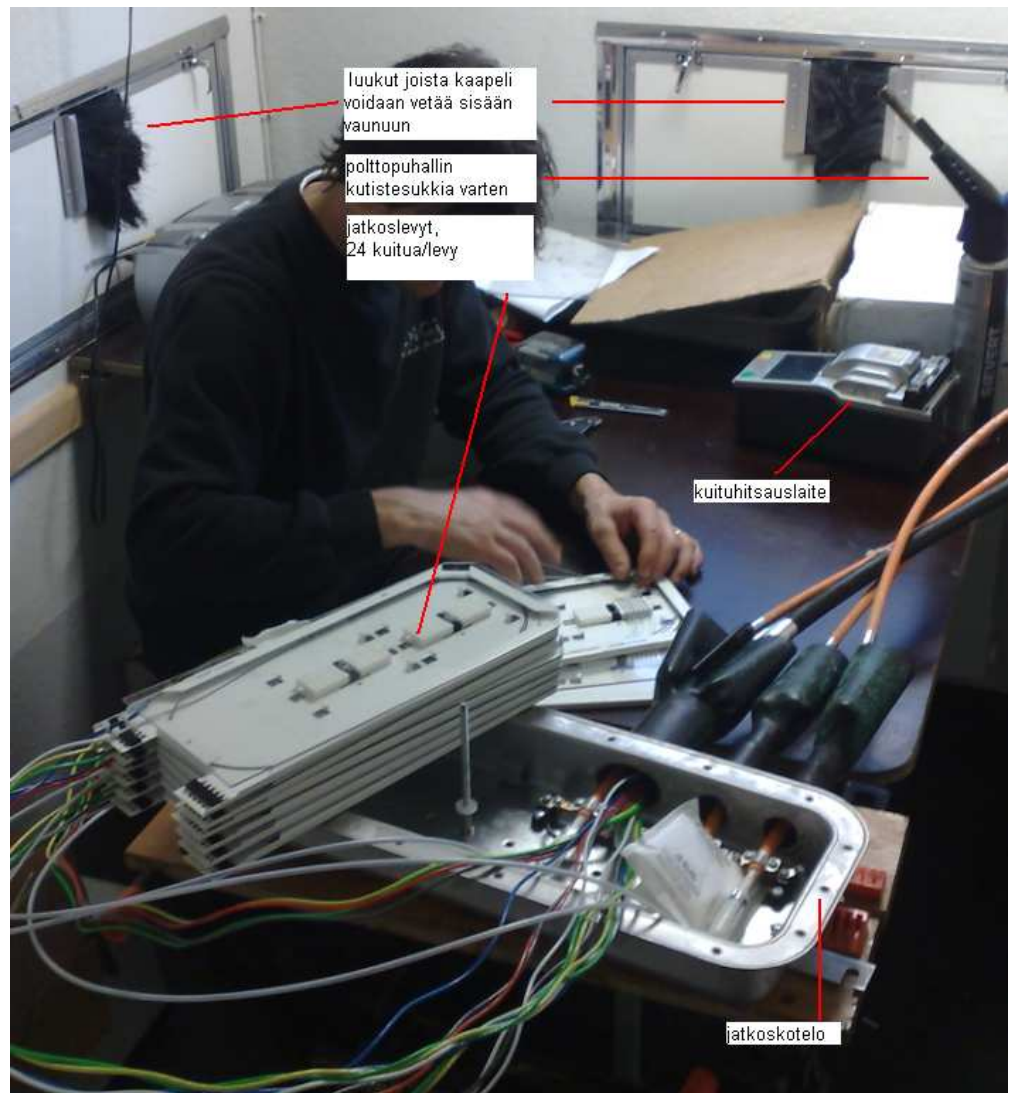
Jatkoskotelot maakaivoissa joutuvat kovalle rasitukselle. Kaivot voivat hyvinkin olla välillä täynnä vettä ja talvisin vesi saattaa myös jäätyä. Tämä asettaa omat vaatimuksensa jatkoskotelon kestävyydelle. Vesi ei saa päästä jatkoksen sisään ja kotelon on oltava riittävän tukevarakenteinen, että

kotelon tiiveys on turvattu. Kuitukaapeleiden laskennalliset käyttöiät ovat kymmeniä vuosia ja näin ollen myös jatkoskoteloiden on kestävä vähintään tämä aika. Jatkolla saatetaan käydä useampia kertoja muutoksien, lisäyksien ja huoltojen myötä ja kotelon tulee kestää useat avauskerrat. Kuvassa 20 näkyy vettynyt kaivo.



*Kuva 20. Vettynyt kaivo*

Kaivoihin jätetään vetovaiheessa riittävästi varaa kaapelipituuteen, että jatkaminen on helppo tehdä esimerkiksi hitsausvaunussa tai vastaavassa. Kuva hitsausvaunun sisältä näkyy kuvassa 21. Kuvassa on työn alla jatkos, johon tulee 192-kuituinen syöttävä kaapeli, johon liitetään kolme 12-kuituista talokaapelia. Kun jatkos on hitsattu, varmistetaan, että jokaiseen kaapeliin on merkitty, mihin pisteeseen kaapelin toinen pää on vedetty ja kieputetaan ylimääräinen kaapeli kaivoon. Kaivot ovat yleensä melko suuria sisämitoiltaan, välillä jopa 1,8 metriä halkaisijaltaan. Riittävän suuri kaivon sisämitta on tarpeellinen jo pelkästään jäykän maakaapelin taivutussäteiden takia.



Kuva 21. Jatkamistyötä hitsausvaunussa

On tavallista, että yhdessä kaivossa on useita jatkoskoteloita. Jokainen jatkoskotelo ja kaivo merkitään yksilöllisellä tunnuksella myöhemmän tunnistamisen mahdollistamiseksi.

Kuvassa 22 on kaivo, jossa on useampi jatkos. Kuvassa näkyy myös kaapelin vetoon käytetty vetolanka sekä kaivotunnuslaatta



*Kuva 22. Kaivo jossa useampi jatkoskotelo*

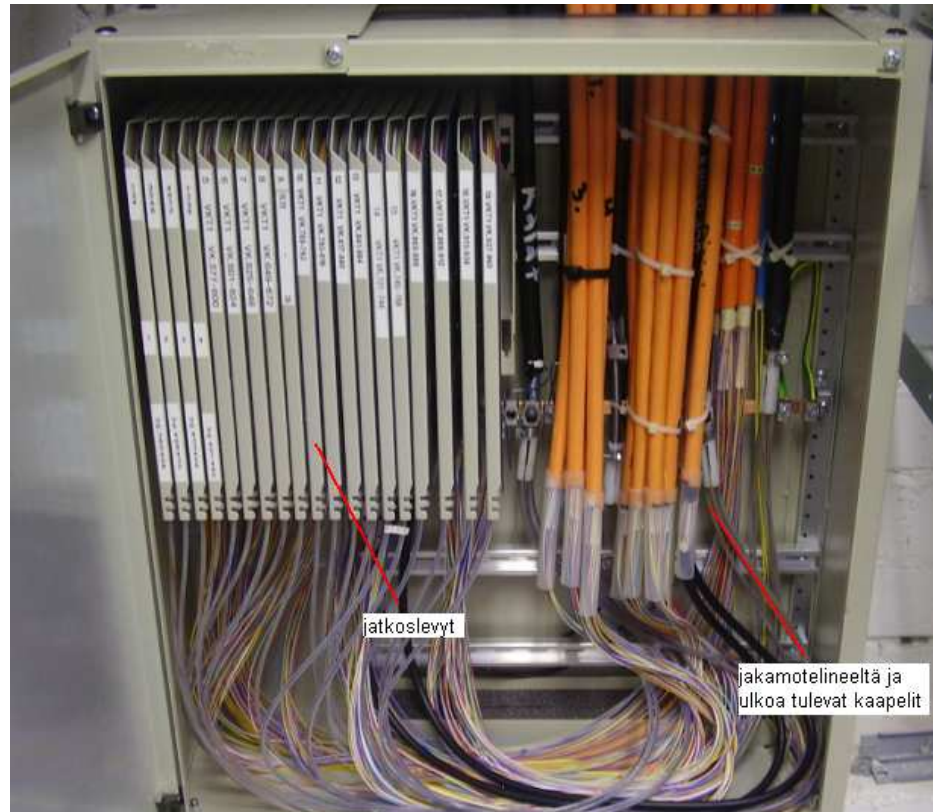


Jatkoskotelon sisällä kuidut tuodaan jatkoslevyille ja hitsausliitokset jatkosholkkeineen laitetaan levyillä oleville holkinpitimille. Levyt numeroidaan ja merkintäliuskoilla merkitään, mistä kuidut tulevat ja mihin ne menevät. Esimerkki jatkoslevystä on kuvassa 23. Kuvassa on Tykoflex-jatkoskotelo, joka on vain yksi esimerkki markkinoilla olevista lukuisista jatkoskotelotyypeistä. Kuvassa näkyvä kuitumerkintä tulkitaan, että kuidut 1-24 tulevat jatkolta, jonka tunnus on j12345.



Kuva 23. Tykoflex-jatkoskotelo avattuna, jatkoslevyt näkyvillä

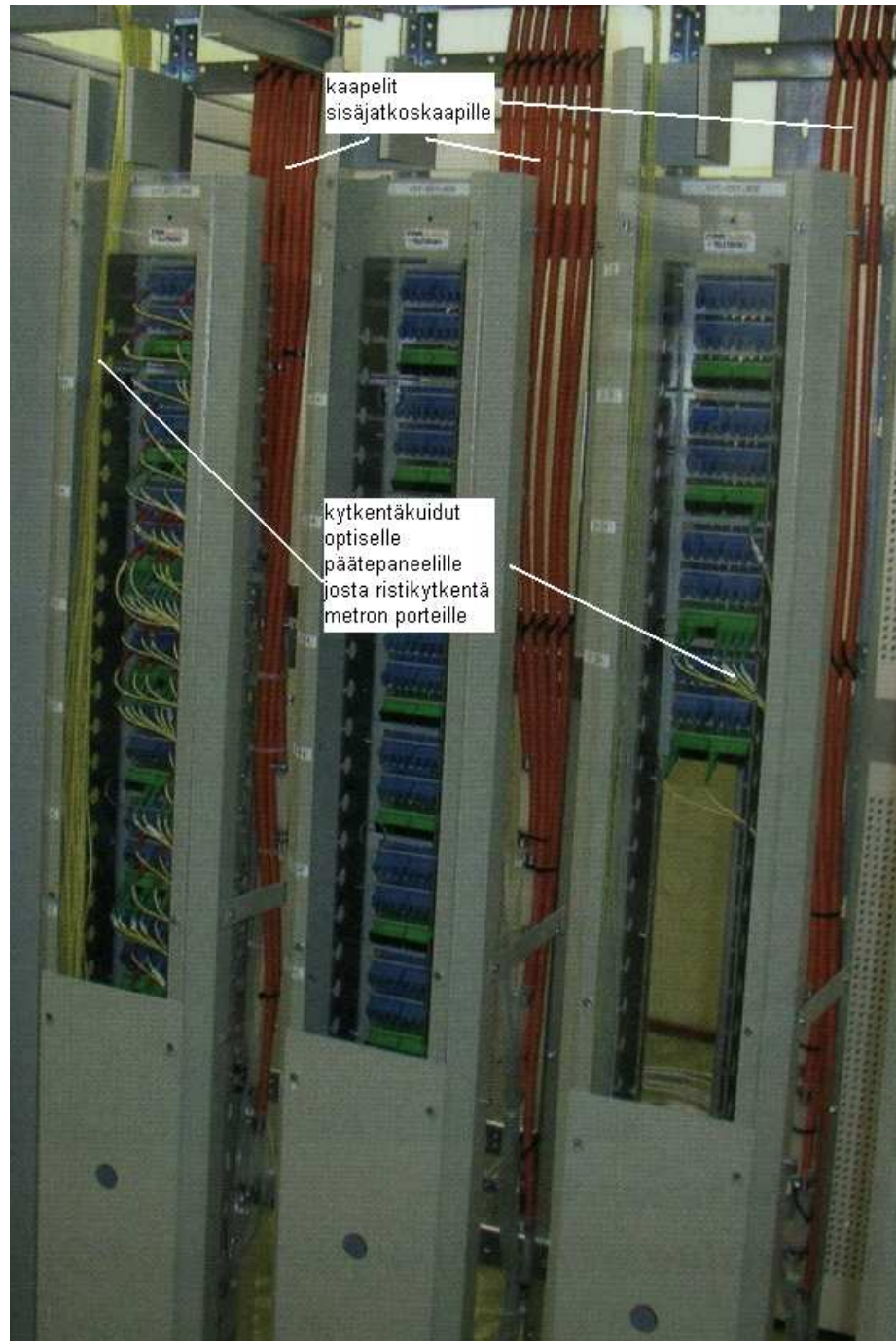
Keskustiloissa kuidut voidaan jatkaa esimerkiksi kuvan 24 tyyppisessä sisäjatkoskaapissa. Tässä kaapissa kuitu liitetään jakamotelineeltä tulevaan kuituun. Kaapeissa kuidut jatketaan samantyyppisissä jatkoslevyissä kuin kaivoissa käytettävissä jatkoskoteloissakin on.



*Kuva 24. Sisäjatkoskaappi*

Tyypillinen jakamoteline on esitetty kuvassa 25. Tällaisessa telineessä kuitujen hallinta ja muutostyöt kuten laajennus on otettu huomioon. Jakamotelineeltä taas kytketään kytkentäkaapeleilla yhteys optiseen päätepaneeliin joka taas kytketään kytkentäkaapeleilla metrokytkimeen. Joissakin tapauksissa esimerkiksi pienemmissä keskuksissa yksi ristikytkentä saatetaan jättää pois ja ulkoa tulevat kaapelit voidaan esimerkiksi päättää suoraan optiseen päätepaneeliin jossa tehdään ristikytkentä metrokytkimen porteille. Tähän päättyy optisen liityntäverkon osuus.





*Kuva 25. Jakamoteline keskustilassa*

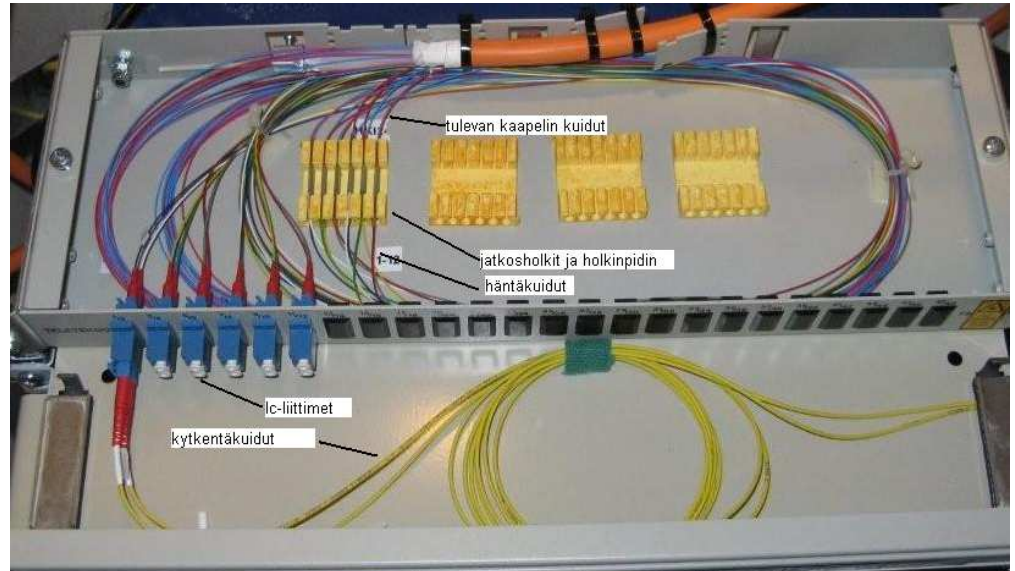
### 3.5 Kuitujen päättäminen

Sisävetojen jälkeen kiinteistössä on vuorossa kuitujen päättäminen. Kuitujen päättäjällä on mukana sisäverkon selvitys tai muu suunnitelma, josta selviää mihin kuitupaneeli sijoitetaan. Yleensä kiinteistöön tuotu kaapeli on vähintään 4-kuituista SM-kuitua. Yleensä tällä määrällä pärjätäänkin

mainiosti koska jo pelkästään yhdessä kuituparissa riittää kapasiteettia useammalle sadalle huoneistolle, mutta silti on järkevää vetää kiinteistöön saman tien 12-kuituinen kaapeli. Lisäkustannus on olematon ja kaapelin hinnan osuus kokonaistyöstä on muutenkin erittäin pieni. 12-kuituisen kaapelin ostohinta on luokkaa 1-2 euroa/metri ja etäisyys lähimmältä kaivolta ei ole yleensä kuin kymmeniä metrejä, joten kustannus ei ole suuri. Lisäkuiduista saattaa olla hyötyä tulevaisuudessa, jos kiinteistöön tulee esimerkiksi tukiasema tai runsaasti lisää huoneistoja. On myös mahdollista, että kiinteistön kautta ketjutetaan uusi yhteys seuraavalla kiinteistölle, joka voi vaatia uuden kuituparin käyttöön.

Kuitujen päättämistavoista yleisin on kaapelin kuitujen hitsaus liittimellä varustettuun häntäkuituun. Kätevin tapa on käyttää paneelia, jossa on valmiiksi liittimet kiinni paneelissa. Paneeleissa tulee yleensä mukana jatkosholkit ja holkin pidikkeet, joten muita materiaaleja ei juurikaan tarvitse. Paneeli merkitään operaattorin yksilöllisin paneeli- ja teletilatunnuksin ja kaapeliin merkitään, mistä se tulee, yleensä siis merkitään kaivotunnus. Valmiista paneelista otetaan valokuva, missä näkyvät tunnukset ja paneeli yleisesti sekä kuva ylhäältä paneeli avattuna, jossa näkyvät yksittäiset kuidut värimerkintöineen. Tämä saattaa auttaa vian etsinnässä myöhemmin. Lisäksi otetaan ylös metrilukema kaapelin päästä dokumentointia varten. Näin saadaan kullekin vedolle tarkka mitta, kun kaapeleista otetaan lukema jokaisessa paikassa missä se hitsataan. Tarkka mitta on mahdollista saada myös tutkuvaiheessa mutta se on nykyään melko vaikeaa, koska hitsausliitokset ovat niin laadukkaita, että jatkoksia on hankala huomata. Lisäksi muutkin seikat kuten kaapelikiepit kaivoissa ja kuidun laadun heittelehtiminen saattavat näyttää tutkassa samalta kuin jatkos.

Kuvassa 26 on kuva päätetystä valokuitupaneelista, jossa päättäminen on tehty häntäkuituihin hitsaamalla.



*Kuva 26. Valokuitupaneeli jossa päättäminen tehty häntäkuituihin hitsaamalla*

Päättämisryhmän tehtävät ovat lyhyesti

- selvittää sisäverkon selvityksestä tai muusta suunnitelmasta valokuitupaneelin sijoituspaikka.
- varmistaa ennen kohteeseen menoa että tarvittavat asennusmateriaalit ovat mukana.
- päättää kuidut asianmukaisesti .
- kuvata valmis paneeli riittävällä tarkkuudella.
- ottaa juokseva metrilukema ylös kaapelista kun kaapeli on katkaistu määrämittaan.
- raportoida työ valmiiksi, mikäli sama ryhmä ei suorita seuraavaa työvaihetta eli mittausta.

### 3.6 Laittasennus

Yleisin tilanne kiinteistöissä on, että siellä ei ole valmiiksi kehikkoa uuden liittymän vaatimia laitteita ja valokuitupaneelia varten. Kunkin kiinteistön tilanne asennustilan suhteen selviää sisäverkon selvityksestä, jonka perusteella tiedetään myös, mitkä laitteet kiinteistöön asennetaan. Laitteiston valintaan vaikuttavat tärkeimmät tekijät ovat tilaajien määrä ja kiinteistön sisäverkon kaapelointityyppi. Koska kiinteistöliittymän toteutukset taajamassa ovat yleensä hyvin pitkälle toisiaan vastaavia, voidaan laiteasennuksessa käyttää hyväksi valmiiksi koottuja paketteja, joita käyttämällä kentällä tehtävä työ jää mahdollisimman pieneksi ja työ nopeutuu huomattavasti. Paketit on suunniteltu tilaajamäärän mukaan. Laittasennus voidaan suorittaa jo ennen kaikkia muita työvaiheita. Näissä tapauksissa jonkun muun, esimerkiksi mittajan tehtäväksi jää optisen yhteyden kytkeminen kuitupaneelin ja kytkimen välille. Seuraavaksi tässä työssä käydään läpi laiteasennus kahden eri sisäverkkotyypin tapauksessa.

#### 3.6.1 Laittasennus CAT3-sisäverkon tapauksessa

Kerrostalojen ylivoimaisesti yleisin sisäverkon toteutus on CAT3-tasoinen. Näissä tapauksissa voidaan tilaajalle saada ADSL2+:n avulla 24Mbit/s nopeuksinen yhteys. Koska DSLAM on FTTB-ratkaisussa taloyhtiön kellarissa, ei huonolaatuista CAT3-kaapelointia tule yhteydelle kuin yleensä joitakin kymmeniä metrejä, joten luvut nopeudet ovat varsin realistisia. Valmiiksi tehtaalla kalustetussa telineessä ovat kytkin tai kytkimiä, DSLAM-yksikkö tai -yksiköitä sekä LSA PLUS -rimat ristikytkentää varten. Lisäksi telineeseen tulee vielä valokuitupaneeli. Laittasennus onkin valmiiden pakettien takia varsin helppoa.

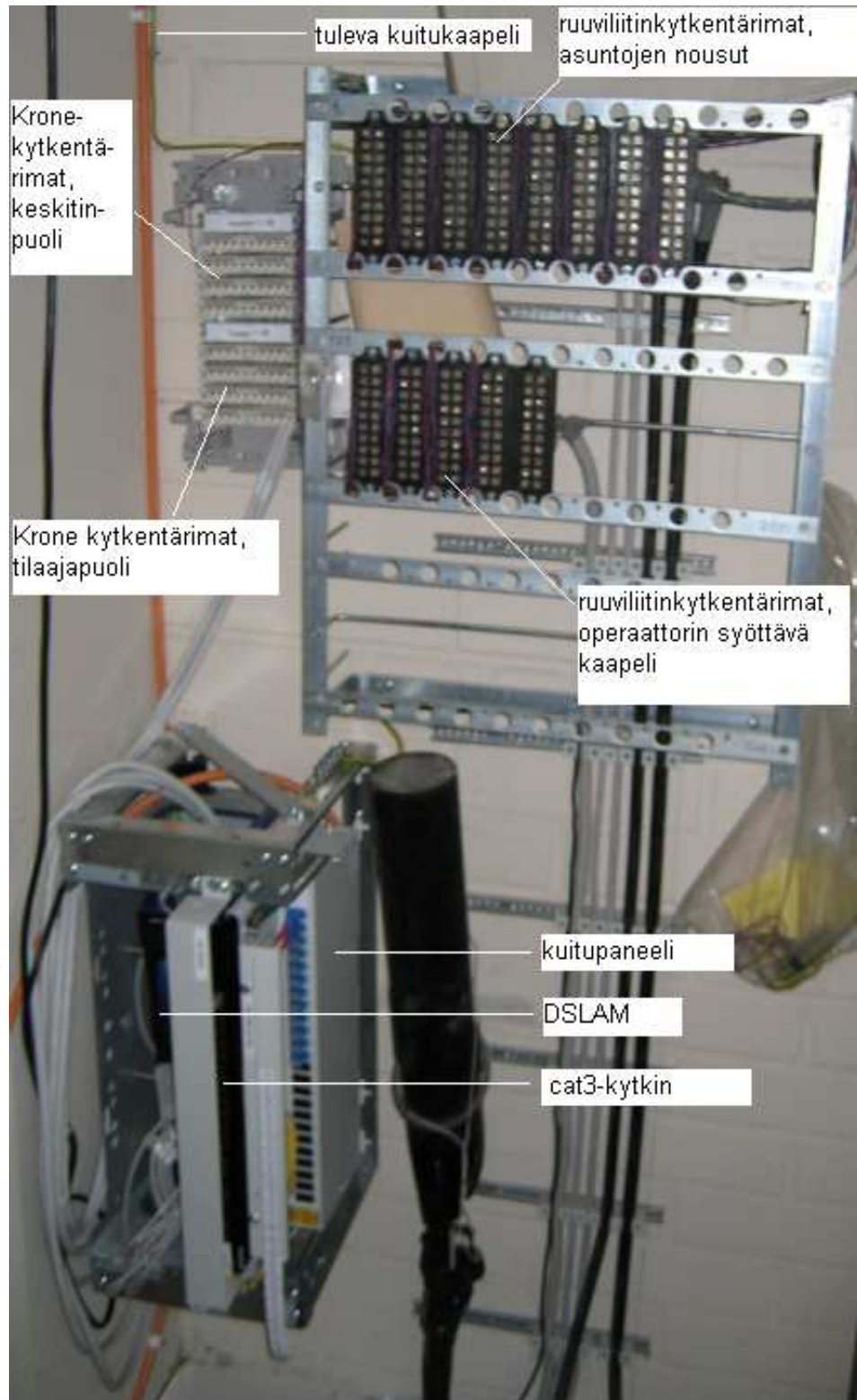
Laittasennuksen tehtäväksi jää

- mahdollisen laitetelineen kiinnitys (jos ei valmista telinettä)
- virransyötön kytkeminen laitteille
- telineen maadoitusten tekeminen
- ristikytkentöjen tekeminen Krone LSA PLUS -rimojen ja kiinteistön kytkentärimojen välille

- valokuitupaneelin kiinnitys telineeseen ja optisen kytkennän tekeminen valokuitupaneelilta kytkimeen
- master/slave asetusten varmistaminen kytkimissä
- valmiin työn raportointi operaattorin hallintaan.

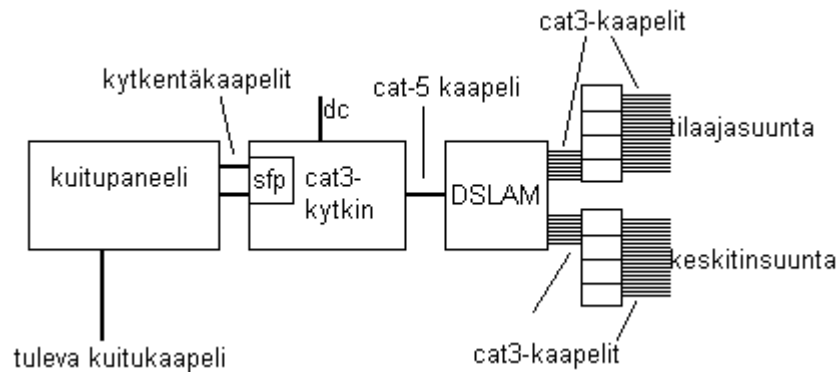
Lisäksi jos kiinteistöön tulee useampi kytkin, tulee kytkimien asetuksia mahdollisesti muuttaa. Vain yksi kytkin voi olla ns. master-kytkin, loput ketjutetaan tästä, ja ne asetetaan slave-kytkimiksi. Asentaja voi tehdä asetuksen kentällä. Tarvitaan vain Hyper Terminal -ohjelma sekä konsolikaapeli PC:n ja kytkimen välille. Mikäli kiinteistössä on useampi jakamo ja niiden välillä on optinen kaapeli, valitaan kytkimeen tuleva ns. Sfp eli Small form-factor pluggable transceiver optisen kuidun tyyppin mukaan, joka mahdollistaa eri kuitutyypin käytön kytkimessä. Sfp tulee myös ensimmäisessä jakamossa olevaan ketjun ensimmäiseen kytkimeen, ja näissä se on aina SM-kuitutyypille tarkoitettu Sfp, koska kiinteistöille vedetyt kaapelit ovat aina SM-kuitua.

Kuvassa 27 on esitetty tyypillinen kerrostalokiinteistön talojakamo kiinteistön sisäverkon ollessa cat3-tasoinen. Kuvaan on merkitty FTTB-ratkaisun kannalta tärkeimmät osat. Kiinteistöön tuodut lisäykset kuvan tapauksessa ovat kuitukaapelin lisäksi cat3-kytkin, valokuitupaneeli, Krone-kytkentärimat ja DSLAM. Kuvassa näkyvään DSLAM:iin voidaan kytkeä 12 tilaajaa. Lisäkortteja voidaan asentaa, jos tarvitaan lisäkapasiteettia. Kuvassa näkyvään KRONE-kytkentärimaan voidaan liittää 36 tilaajaa. Näitäkin voidaan lisätä tarpeen mukaan tilaajamäärän ylittäessä 36.



Kuva 27. Tyypillinen kiinteistön puhelinjakamo, sisäverkko cat3-tasoinen

Kuvassa 28 on periaatekuva cat3-jakamon laitteistosta.



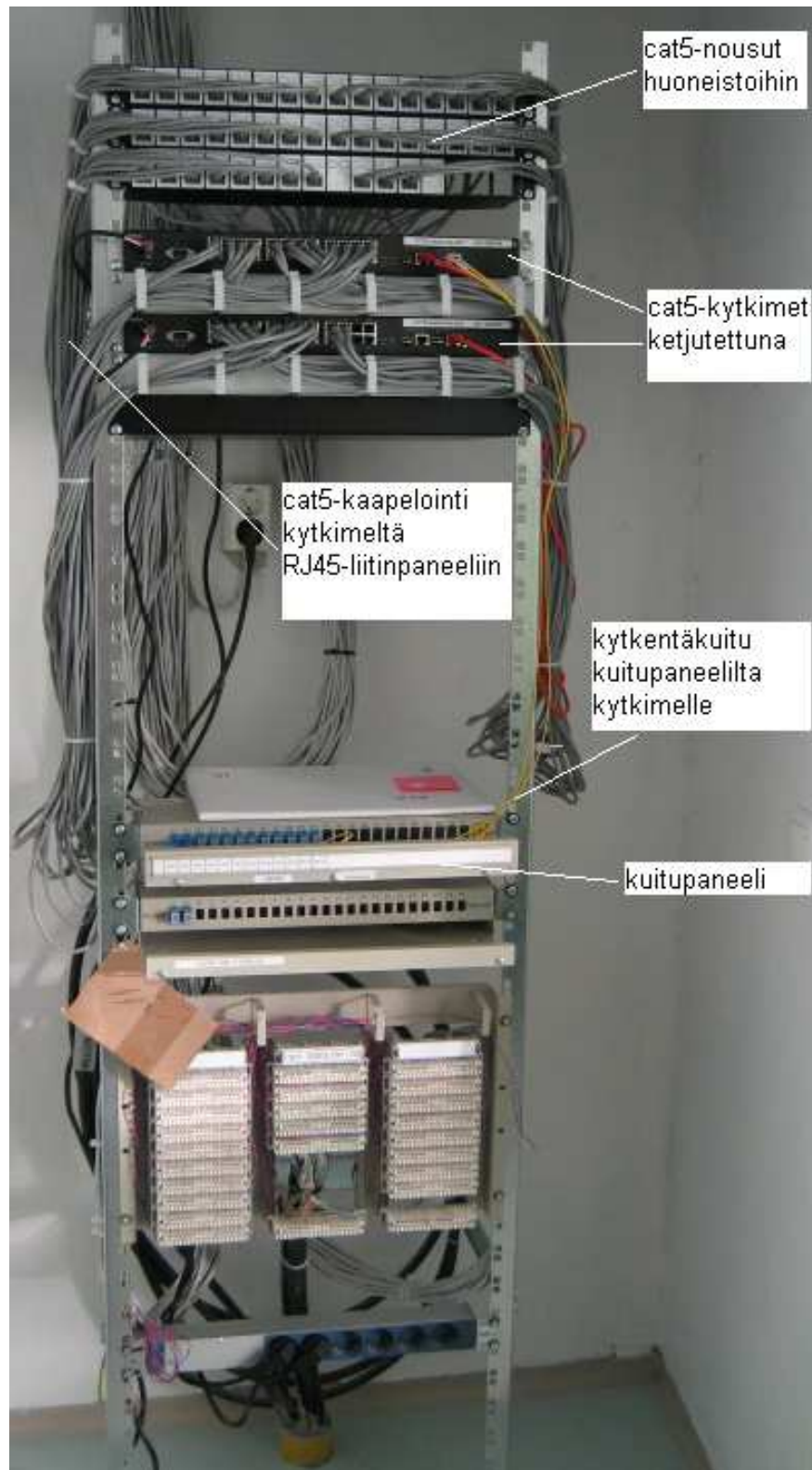
Kuva 28. Cat3-jakamon periaatekuva

Tilaajien kytkentä tehdään DSLAM:lta tulevaan valmiiseen Krone-kytkentärimaan. Jos tilaajalla on puhelin, poistetaan alkuperäinen ristikytkentä vanhoilta ruuviliitinkytkentärimoilta, kytketään operaattorilta tuleva lanka keskitinpuolelle ja tilaajapuolelta kytketään lanka huoneiston nousuparille. Mikäli tilaajalla ei ole puhelinta voidaan kytkeä lanka Kroneriman tilaajapuolelta suoraan huoneiston nousuparille. Asentaja ilmoittaa valmiista asennuksesta operaattorin hallintaan, jossa tehdään laitteille lopulliset IP- yms. asetukset ja liittymät on tämän jälkeen toimintavalmiita.

### 3.6.2 Laitteasennus CAT5 -sisäverkon tapauksessa

Kun kiinteistön sisäkaapelointi on toteutettu cat5- tai korkeamman kategorian kaapeleilla, tarvitaan kiinteistöön lisäyksenä valokuitupaneelin lisäksi ainoastaan cat5 kytkin. Cat5-sisäverkon tapauksessa loppukäyttäjän on mahdollista saada 100Mbit/s liittymänopeus. Tyypilliseen kytkimeen voidaan liittää 24 tilaajaa. Jos tilaajamäärä ylittää tämän, voidaan kytkimiä lisätä. Kytkimien ketjutus voidaan tehdä kytkimestä riippuen joko optisella- tai cat5-kaapelilla. Jälleen varmistetaan, että master/slave -asetukset ovat oikein kytkimissä. Kuvassa 29 on esitetty tyypillinen kerrostalokiinteistön talojakamo kiinteistön sisäverkon ollessa cat5-tasoinen.

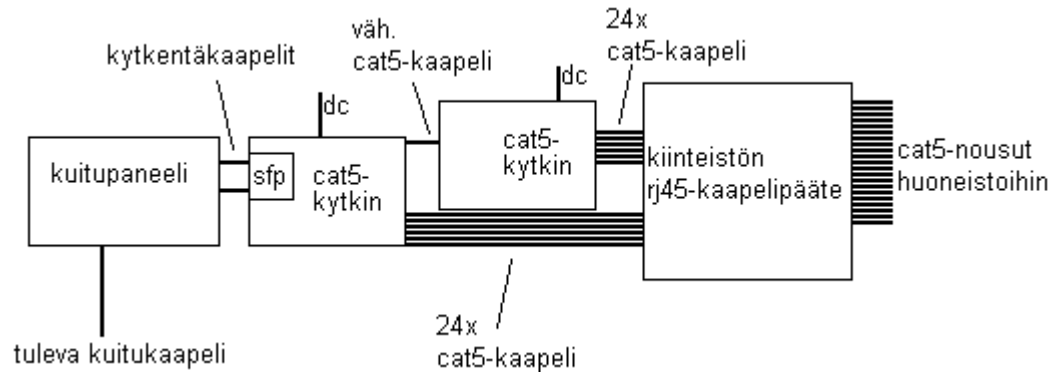




Kuva 29. Tyypillinen kiinteistön puhelinjakamo, sisäverkko cat5-tasoinen



Kuvassa 30 on cat5-jakamon periaatekuva.



Kuva 30. Cat5-jakamon periaatekuva

Laiteasentajan tehtävät cat5-jakamon tapauksessa ovat

- mahdollisen laitetelineen kiinnitys (jos ei valmista telinettä)
- valokuitupaneelin kiinnitys telineeseen ja optisen kytkennän tekeminen valokuitupaneelilta kytkimeen
- virransyötön kytkeminen laitteille
- telineen maadoitusten teko
- master/slave asetusten varmistaminen kytkimissä
- ristikytkennän teko kytkimiltä huoneistojen rj45-liitinpaneeliin
- valmiin työn raportointi operaattorin hallintaan.

Kuten cat3-sisäverkonkin tapauksessa, asentaja ilmoittaa valmiista asennuksesta operaattorin hallintaan, jossa tehdään laitteille lopulliset IP-ym. asetukset ja liittymät on tämän jälkeen toimintavalmiita.

### 3.7 Mittaus

Kun valokaapeli on tuotu kiinteistöön ja kuidut päätetty ja kaikki hitsaukset reitiltä keskukselle asti on tehty, on optinen siirtotie ehdottomasti mitattava. Tällä varmistetaan materiaalien ja työn laatu. Reitti kiinteistölle muodostuu useiden tekijöiden summasta ja yleensä viat havaitaan vasta mittausvaiheessa. Asennusvaiheessa syntyneiden virheiden lisäksi käytetyissä materiaaleissa kuten kaapeleissa voi olla valmistusvirheitä ja nämä huomataan käytännössä vasta mittausvaiheessa. Asennusvirheet ovat kumminkin huomattavasti yleisimpiä kuin materiaalivirheet. Yleisimmät

virheet reitillä ovat ristiinhitsaukset ja vaimennukset hitsausliitoksissa kaivojatkoksilla, keskuksilla ja päätepaneeleissa.

Ristiin hitsatut kuidut voidaan todeta niin sanotulla näkyvän valon lähteellä. Näkyvän valon lähde lähettää valoa aallonpituudella jonka ihmissilmä pystyy näkemään. Kiinteistön päästä laitetaan kuituun valoa ja katsotaan tuleeko se oikealle pisteelle keskuksen päässä. Näkyvän valon lähteellä voidaan joskus myös huomata huonot jatkokset ja taitokset kuidussa. Jos esimerkiksi valokuitututka näyttää, että kuitu on poikki tai siinä on suuri vaimennus 300 metrin kohdalla kiinteistöstä mitattuna ja dokumentoinnin avulla todetaan, että sillä kohdalla on jatkos eikä vikaa tunnu löytyvän silmämääräisesti, voidaan kiinteistöstä päin laittaa kuituun valoa ja vian havaitseminen helpottuu, koska valo kuultaa kuidun ohuen päällysteen läpi esimerkiksi kuidun taivutussäteen ollessa liian pieni tai kuidun ollessa taitunut. Yleisimmät näkyvän valon lähteet toimivat noin viiden kilometrin etäisyyteen asti joka riittää yleensä taajama-alueella.

Tärkein optisen siirtotien mittalaite on OTDR eli Optical Time Domain Reflectometer. Puhekielessä puhutaan valokuitututkasta. Tutkamittaus perustuu kuidun takaisinsirontaan ja valon heijastumiseen taitekertoimen muutoskohdista[5].

Valokuitututkalla saadaan tarkka kuvaus kuituyhteydestä. Sillä saadaan selville mm. seuraavat asiat:

- kuidun vaimennus ja sen jakautuminen pitkin kuidun pituutta
- liitosten heijastusvaimennukset
- jatkoksien ja liitosten vaimennukset ja sijaintikohdat
- kuidun pituus
- mahdollisen vian luonne ja sijaintikohta, esimerkiksi huono liitos tai jatkos, katkos tai puristus kuidussa, liiallinen taipuma. [5.]

Tutkalla voidaan mitata jopa satojen kilometrien pituisia siirtoteitä. Kiinteistöliittymän mittauksessa mitataan kiinteistön valokuitupaneeliin päätetyt kuidut, näin varmistetaan, että kaikki kuidut menevät oikeille pisteille keskuksen päähän ja että yhdessäkään kuidussa ei ole raja-arvoja ylittäviä vaimennuksia. Hyvin rakennetulla yhteydellä keskimääräinen vaimennus on alle 0,5 dB/km kun käytetään 1310 nanometrin aallonpituutta ja alle 0,3 dB/km, kun käytetään 1550 nanometrin aallonpituutta. Taajamassa nämä

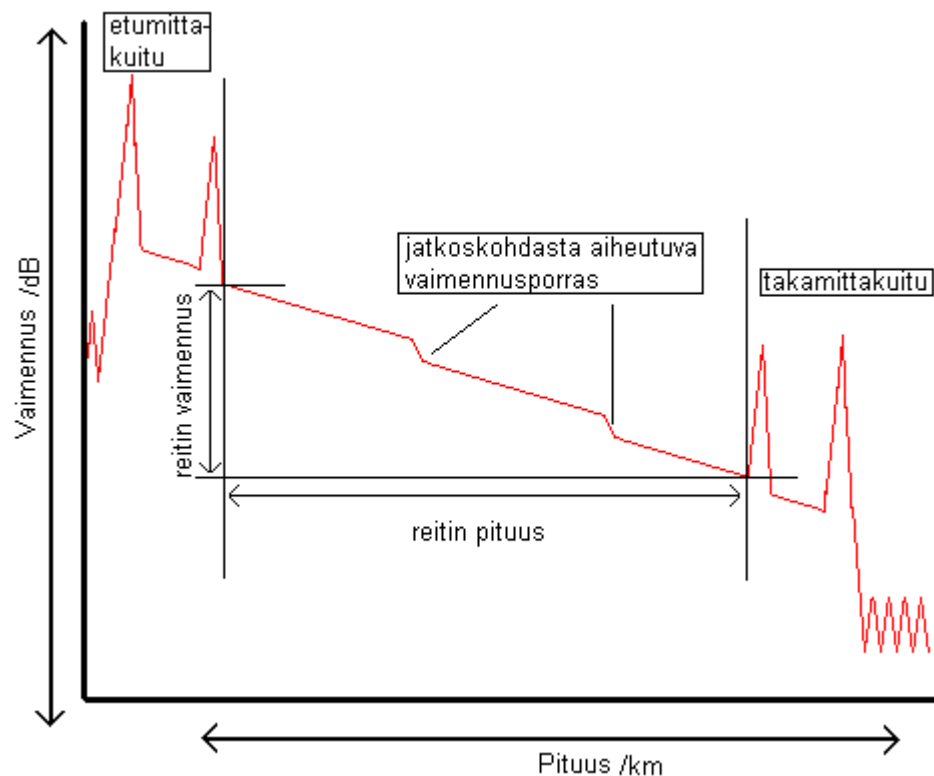
arvot voivat ylittyä koska jatkoksia on yleensä useita. Yksittäisen hitsausjatkoksen vaimennuksen ei tulisi ylittää 0,3 dB:n arvoa. Uusimmilla hitsauskoneilla voidaan päästä jopa alle kymmenesosaan tästä. Jos tutka näyttää esimerkiksi 0,5dB:n vaimennusporrasta jatkokselle, on hitsauksessa todennäköisesti mennyt jotain pieleen, esimerkiksi epäpuhtauksia liitokseen.

Loppumittauksen tärkein informaatio on reitin kokonaisvaimennus. Koko reitin vaimennuksen lisäksi samalla mittauksella saadaan myös tiedot reitin pituudesta, jatkosvaimennuksista tai muista vaimennusportaista. Käytännössä vaimennusmittaukset tehdään vain yhdestä suunnasta mutta kahdesta suunnasta mittaamalla ja keskiarvoistamalla saataisiin tarkempi tulos. Mittauksia tehdessä on tärkeää puhdistaa liittimet tähän tarkoitukseen sopivilla välineillä kuten puhdistuskasetilla. Liittimien puhtaus voidaan todeta esimerkiksi video- tai liitinmikroskoopilla. Etu- ja takamittakuituja tulee käyttää, jotta saadaan tarkistetuksi alku- ja loppupään liittimien ja päättejatkosten laatu. Mittakuituja käyttämällä saadaan selvästi näkyviin reitin alku- ja loppupisteet. Esimerkki mittakuidusta näkyy kuvassa 31.



Kuva 31. Mittakuitu

Kuvassa 32 näkyy reitin kokonaisvaimennusmittaus. Suunnilleen tällainen kuva näkyy siis valokuitututkan ruudulla siirtotietä mitattaessa. Kuvaan on merkitty reitin tapahtumat. Jakamalla reitin vaimennuksen reitin pituudella saadaan vaimennuskerroin jonka yksikkönä on siis dB/km. Hyvänä vaimennuskertoimena pidetään alle 0,3 dB/km-arvoa kun mittausaallonpituus on 1550 nanometriä ja alle 0,5 dB/km, kun mittausaallonpituus on 1310 nanometriä[10].



Kuva 32. Kokonaisvaimennusmittaus

Kun mittaus on tehty, on varmistettu, että rakennettu optinen siirtotie vastaa laatuvaatimuksia ja kiinteistö on laiteasennuksen jälkeen valmis käyttöönotettavaksi.

### 3.8 Dokumentointi

Valokaapeliverkko vaatii rakentamisen jälkeen kunnollisen dokumentaation. Tämä on verkon ylläpidettävyyden, laadunvalvonnan, huollon ja myöhemmän laajennuksen takia välttämätöntä. Dokumentoinnissa tärkeintä

on, että tarvittavat tiedot on tallennettu selkeästi ja ne ovat nopeasti saatavilla.

Kun verkon rakennusvaihe on valmis, päivitetään suunnitelmapiirustukset vastaamaan todellista tilannetta. Käytännössä suunnitelmiin tulee aina muutoksia rakennusvaiheessa kenttätyössä, joten suoraan ei voida päivittää dokumentteihin suunniteltua reittiä toteutuneeksi. Valokaapeliverkosta dokumentoidaan lukuisia asioita. Kaikilta verkonrakennuksen osa-alueilta palautuu tärkeitä tietoa tulevaa varten. Tätä on havainnollistettu taulukossa 2, jossa on listattu esimerkkejä palautuvista dokumentaatiotiedoista. Mittauksesta palautuva mittauspöytäkirja sisältää ainakin seuraavat asiat:

- kohteen tiedot, mittaaja, päivämäärä
- kaapelityyppi
- paneelin ja liittimien tyyppi
- kokonaisvaimennus
- siirtotien pituus
- käytetty aallonpituus
- käytetyt mittalaitteet.

*Taulukko 2. Esimerkkejä kentältä palautuvista dokumentaatiotiedoista*

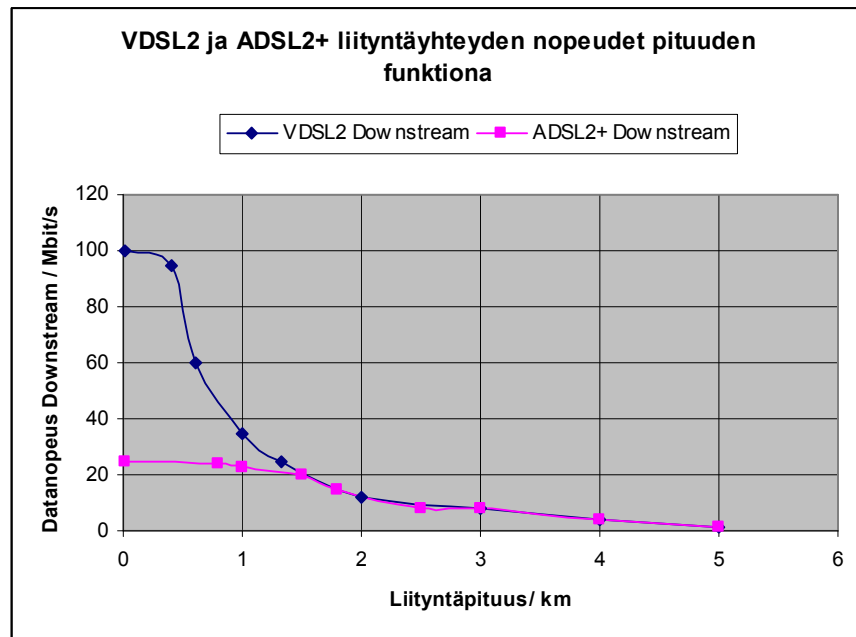
<b>Kaivuut,kaapelivedot</b>	<b>kaivojatkokset</b>	<b>päättämiset</b>	<b>mittaus</b>
toteutunut kaivuu	metrilukema kaapelista	metrilukema	mittauspöytäkirja
toteutuneet putkitukset	digikuvat	digikuvat	tutkakuvat
kaapelivalmistaja	kaivojen putkitustiedot	paneelin tyyppi	
kaapelityyppi	jatkoskotelon tyyppi	liittimien tyyppi	
kelanumero			

Kun kaikki verkon rakennusvaiheet on läpikäyty, voidaan tehdä lyhyt yhteenveto rakentamisprojektista. Aluksi kartoitetaan mitä lisäyksiä olemassa olevaan infrastruktuuriin tarvitaan jotta uusi verkko saadaan toimintaan. Vanhat putkitukset ja olemassa olevat kaapelit käytetään mahdollisimman tarkkaan hyväksi jotta uusia kaivuita ja kaapelinvetoja tarvitsee tehdä mahdollisimman vähän. Kun kaapeli on viety kiinteistöön,

pitää se kuljettaa talojakamoon ja tämän jälkeen päättää kuidut. Kun myös kunkin kiinteistön reitin kaivojatkoksilla on tehty kaikki hitsaukset runkopisteelle asti, voidaan kiinteistö mitata ja todeta siirtotien olevan kunnossa. Tämän jälkeen kiinteistöön viedään tarvittavat aktiivilaitteet, tehdään tilaajaristikytkennät ja kytketään uusi valokuituyhteys aktiivilaitteille. Kaikista rakennusvaiheista palautuu dokumentointiin tärkeää informaatiota.

#### 4 LÄHITULEVAISUUDEN NÄKYMÄ

Yksi mielenkiintoinen lisäys xDSL-tekniikoihin on VDSL2. Tällä tekniikalla saavutetaan teoreettisesti symmetrinen 100Mbps/100Mbps-yhteys. Kuten kuvaajasta 33 havaitaan, tippuu saavutettu siirtonopeus melko jyrkästi etäisyyden kasvaessa. VDSL2 soveltuu FTTB-ratkaisuihin koska niissä etäisyyttä kuparikaapeliosuudelle ei tule kuin lyhyelti, joten teoreettiset maksiminopeudet ovat saavutettavissa. ADSL2+:an verrattuna VDSL2 on ylivertainen. ADSL2+ saavuttaa teoriassa vain 25 megabitin downstream-nopeuden ja yhden megabitin upstream-nopeuden. Pitkillä etäisyyksillä nopeudet VDSL2:n ja ADSL2+:n välillä ovat kumminkin hyvin yhtenevät, joten VDSL2 on omimmillaan vain silloin kun kuparikaapeliosuus DSLAM:lle on lyhyt. VDSL2:n avulla saadaan loppukäyttäjälle riittävän nopea yhteys moneksi vuodeksi eteenpäin varsin kustannustehokkaasti, joten kalliita FTTH (Fiber To The Home) -ratkaisuja ei ole pakko vielä tehdä. Tämän työn kirjoitushetkellä edullisin VDSL2-modeemi maksoi 60 euroa, joten loppukäyttäjälle sijoitus ei ole kallis. VDSL2 yleistynee FTTB-rakentamisessa lähitulevaisuudessa voimakkaasti. Muutoksia tarvitaan vain aktiivilaitteisiin joten aiemmat vanhemmilla cat3-laitteilla varustetut kiinteistöt on helppo päivittää VDSL2-tasoisiksi kun ADSL2+:n nopeudet eivät enää riitä. Tulevaisuudessa, kun kuparikaapelin siirtonopeus todetaan riittämättömäksi, voidaan FTTB-rakennettujen kiinteistöjen sisäverkko uusia kuitukaapeloinnilla ja kiinteistö saadaan päivitettyä FTTH-tasoiseksi.



Kuva 33. VDSL2 ja ADSL2+ liityntäyhteyden nopeudet liityntäpituuden funktiona (kuvaaja on tehty keskiarvoistamalla kahdesta eri lähteestä saadut arvot [11,12])

## 5 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin optisen liityntäverkon rakennusvaiheet ratkaisussa jossa valokaapeli tuodaan kiinteistön puhelinjakamoon ja loppuyhteydessä käytetään hyväksi kiinteistön olemassa olevaa sisäverkkoa. Työssä käytiin läpi vaiheet maanrakennus, ulkovedot, kuitujen jatkamiset, sisävedot, kuitujen päättämiset, laiteasennus, mittaus ja dokumentointi. Työn tuloksena syntyi kattava läpikäynti optisen liityntäverkon rakennusvaiheista ja voidaan todeta että kyseisellä tavalla toteutetut kiinteistöt ovat siirtonopeuden suhteen ajanmukaisia vielä vuosia.

Työssä käsitelty tapa rakentaa nopea Internet-liittymä loppukäyttäjälle on kustannustehokas ja kyseisellä tavalla on rakennettu valokuituyhteys tuhansiin kiinteistöihin ympäri Suomen.

## VIITELUETTELO

- [1] Onninen, *Optiset liityntäverkot*. Helsinki: Onninen Oy. 2008.
- [2] Äyväri Heikki ym., *Valokaapeli kotiin*. Helsinki: Edita Prima Oy. 2005.
- [3] Metro Ethernet Forum, *Metro Ethernet Service- Technical Overview* [verkkodokumentti, viitattu 1.5.2009] Saatavissa: <http://www.metroEthernetforum.org/metro-Ethernet-services.pdf>.
- [4] International Engineering Consortium-MPLS *tutorial* [verkkodokumentti, viitattu 23.4.2009] Saatavissa: [www.iec.org/online/tutorials/acrobat/mpls.pdf](http://www.iec.org/online/tutorials/acrobat/mpls.pdf).
- [5] Koivisto, Pekka. *Valokuitutekniikka ja kuituliitokset*. Finnet Focus luentomoniste. 2008.
- [6] Aalto Seppo ym., *Teleasennukset käytännössä*. Espoo: Henkilö- ja yritysarviointi Seti Oy. 2004.
- [7] Wikipedia vapaa tietosanakirja, *Fiber to the x* [verkkodokumentti, viitattu 1.5.2009] Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/FTTH>.
- [8] Cameron, Debra. *Optical Networking*. Robert Ipsen. 2001.
- [9] Alasalmi, Harri, *Laajakaista ja Vesihuolto haja-asutusalueella*. Onninen Kalvosarja.
- [10] Hirsimäki, Janne. *Optisten siirtojärjestelmien suorituskyvyn mittaaminen*. Luento Verkkopäivät 2009.
- [11] Eftel Corporate, *VDSL2*. [verkkodokumentti, viitattu 25.4.2009] Saatavissa: [www.eftelcorporate.com.au](http://www.eftelcorporate.com.au).
- [12] Asotel Company, *Asotel Company announces new VDSL2 modems* [verkkodokumentti, viitattu 25.4.2009] Saatavissa: [http://asotel.net/news.php?news\\_id=140](http://asotel.net/news.php?news_id=140).



