

Tenho Lipsanen

SÄHKÖVERKON TIEDONSIIRRON
VARMISTUS JA
VALOKUITUKAAPELIN HYVÄKSI
KÄYTTÖ

Opinnäytetyö
Sähkötekniikan koulutusohjelma


Huhtikuu 2013




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences	Opinnäytetyön päivämäärä 				
Tekijä(t) Tenho Lipsanen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Sähkövoimatekniikka				
Nimeke Sähköverkon tiedonsiirron varmistus ja valokuitukaapelin hyväksikäyttö					
Tiivistelmä <p>Nykyrakenteisessa verkossa ukkonen, lumikuormat sekä tuulet ja myrskyt aiheuttavat laajoja ja pitkäkestoisia sähköjakelu- että tiedonsiirron keskeytyksiä.</p> <p>Nykyisin on suunnittelussa tarkasti otettava huomioon, missä kaivetaan syöttökaapeleita maahan ja miten verkkoa pyritään parantamaan haja-asutus alueella, jotta sähkö jakelu saadaan varmemmaksi ja syöttökatkot lyhyeksi.</p> <p>Tässä opinnäyte työssä pyritään löytämään sellaisia teknisiä tekijät/ratkaisut, jotka parantavat ja varmentaisivat sähkönsiirtoa palveluntuottajalta – tilaajalle ja tiedonsiirtoa tilaajalta – palveluntuottajalle. Opinnäytetyön tavoitteena oli pyrkiä etsimään keinoja, joilla päästään lyhyempiin katkosaikoihin.</p> <p>Työssä tehtiin erilaisia teknisiä parannusehdotuksia sähköjakelun parantamiseen. Pääasiassa keskityttiin käytössä olevan tekniikan ja kaapeloinnin uusimiseen, verkkokatkaisijoiden ja kauko-ohjattavien erottimien lisäämiseen ja sijoitukseen ja 1000V:n järjestelmän lisäämistä kjaaran ja pj-verkkojen ongelmien poistamiseen käytännössä.</p> <p>Tehdyillä muutoksilla sähköverkossa päästään lyhkäisimpiin katkosaikoihin, 1000V:n järjestelmän käyttöä lisäämällä saadaan verkolle luotettavuutta lisää ja valokuidun hyödyntäminen lisää uusien palveluiden käyttöönottoa sähköverkossa tulevaisuudessa sekä tiedonsiirrossa.</p>					
Asiasanat (avainsanat) sähköverkko, keskijännite, tiedonsiirto, valokuitukaapeli					
Sivumäärä 37	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Kieli</td> <td style="width: 33%;">URN</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	Kieli	URN	Suomi	
Kieli	URN				
Suomi					
Huomautus (huomautukset liitteistä) 					
Ohjaavan opettajan nimi Arto Kohvakka	Opinnäytetyön toimeksiantaja 				

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis	
Author(s)		Degree programme and option	
Tenho Lipsanen		Electrical Engineering	
Name of the bachelor's thesis			
power- line communication and navigation in favour of the fiber- optic cable.			
<p>Abstract</p> <p>In today structured network thunder, snow loads, as well as the winds and storms cause extensive and long- term electricity supply and data transfer interruptions.</p> <p>Today is accurately taken into account in the design, supply cables buried in the ground, and how the network aims to improve the rural area, in order to obtain a more reliable electricity distribution and keep supply interruptions short.</p> <p>This thesis aims to find such technical factors and solutions that enhance and certify the transmission of electricity from the service provider to the subscriber and data transmission from the subscriber- service provider. The aim was to try to find ways to get shorter outage times.</p> <p>The aim of this study was to try to find such technical factors/ solutions that shortens the length of power outages and the same time certifies electric transmission network.</p> <p>The work was carried out a number of technical improvements to improve the distribution of electricity. Mainly focused on the practice of engineering and cabling and increasing position in 1000V and the system more of the kV-leg and low-voltage network, eliminating the problems in practice.</p> <p>The purpose of these changes in the electrical grid is achieved shorter break time, 1000V's user of the system is obtained by increasing the reliability of more and more use of the optical fiber deployment of new services in the future electricity network and data transmission.</p>			
Subject headings, (keywords)			
grid, medium voltage, communication, fiber- optic cable			
Pages	Language	URN	
37	Finnish		
Remarks, notes on appendices			
Tutor		Bachelor's thesis assigned by	
Arto Kohvakka			

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO.....	1
2 RATKAISUJA TIEDONSIIRRON VARMISTAMISEKSI	2
2.1 Kaapelointi	2
2.2 1000V sähköjakelu.....	2
2.3 Tien varteen rakentaminen.....	3
2.4 Maastokatkaisija.....	3
2.5 Kauko-ohjattava erotinasema.....	4
2.6 PAS-johdot.....	4
2.7 Varayhteydet	4
2.8 AMR- älykkäät mittausjärjestelmät	5
3 TOIMENPITEET PARENNETTUUN TIEDONSIIRTOON	6
3.1 Kaapelointi	6
3.1.1 Kaapelin kaivaminen	7
3.1.2 Kaapelin auraus	8
3.1.3 Teiden alitus.....	9
3.2 1000v sähköjakelu.....	10
3.3 Tien varteen rakentaminen.....	11
4.4 Maastokatkaisijat.....	12
3.5 Kauko- ohjattava erotinasema.....	13
4.6 PAS-johdot.....	14
3.7 Varayhteydet	15
3.8 AMR- älykkäät mittausjärjestelmät	16
3.8.1 Etäluentajärjestelmän keskeisimmät osat	16
3.8.2 Etäluennan viestiyhteydet.....	17
KUVA 7. Etäluentajärjestelmän yleiskuvaus.....	18
4. KUITUVERKKO.....	18
4.1 Yleistä	18
4.2 Valokuidun verkkotopologiat.....	19
4.2.1 Rengastopologia	19
4.2.2 Puutopologia.....	19
4.2.3 Tähtitopologia.....	20
4.3 Valokuituverkon tekniikka.....	20

4.3.1 PON tekniikka	21
4.3.2 P2P- tekniikan käyttäminen.....	21
4.4 Yleisimmin käytetyt tarvikkeet valokuidun rakentamisessa.....	23
4.4.1 Kaapelityypit.....	23
4.4.2 Jakokaapit	24
4.4.3 Jatkokset ja päätekotelot	25
KUVA 17. Esimerkki päätekotelosta	27
4.4.4 Häntäkuidut.....	27
4.5 Valokuitukaapelin mittaus	28
4.5.1 Huono hitsaus	30
4.5.2 Jyrkkä taitos	31
4.5.3 Katkos	31
4.6 Valokuidun tulevaisuus	32
5. YHTEENVETO	33
LÄHTEET	35

LIITE/LIITTEET

- 1 Yksisivuinen liite
- 2 Monisivuinen liite

1 JOHDANTO

Suomessa asuville ihmisille sähkö on peruspalvelu. Sähköverkon tehtävä on siirtää voimaloissa tuotettu sähkö sähkökäyttäjille. Suomessa sähköä tuottavia laitoksia on noin neljäsataa. (Energiateollisuus 2013.)

1960- luvun lopussa ja 1980 – luvulle tultaessa suurin osa Suomesta oli sähköistetty. Kaikki Suomessa asuvat saavat sähköä ja sähköntoimitus on varmaa. Selvityksen mukaan sähkökäyttäjistä valtaosa luottaakin sähköverkon toimintaan. Sähköverkko on merkittävä osa kaiken kaikkiaan suomalaista yhteiskuntaa. (Energiateollisuus 2013.)

Ilmajohdoverkossa ääri-ilmiöt ovat lisääntyneet ilmastonmuutoksen takia, mikä aiheuttaa haasteita tulevaisuudessa sähkönjakelulle varsinkin haja- asutusalueiden ilmajohdoverkostossa. Tulevina vuosina saneeraustarve verkostossa on suuri johtuen siitä, että verkossa olevien komponenttien käyttöikä lähenee maksimi- ikää, joka on 30 – 50 vuotta. Jakeluverkon korjausta on tähän asti tehty aivan perinteisesti entiseen metsässä kulkevaan linjaan ja vanhaan, hyväksi koettuun tapaan. (Kumpulainen 2006.)

Saneeraustavoissa on huomioitu ilmaston muutokset, jolloin myös sähkön jakelun, tiedonsiirron, kunnossapitokustannukset, häviöt ja luotettavuuden näkökulma ovat tarkastelun alla. Uuden rakentamisessa sekä vanhan saneerauksessa on huomioitava nykyään sähkön luotettava toimittaminen, sähköverkon tiedonsiirron nopea siirtyminen sekä sähkönsiirrossa tapahtuvan häiriötilanteen nopea paikallistaminen häiriötilanteessa. (Kumpulainen 2006.)

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on löytää teknisiä ratkaisuja, joilla voidaan saada aikaan parantavia ja ehkäiseviä keinoja, joita lumikuormat, ukkoset, tuulet ja rajumyrskyt aiheuttavat sähköverkossa. Sähkön keskeytykset voivat olla laajoja ja pitkäkestoisi, ja ne tulevat aiheuttamaan sähköverkon haltioille suuria investointeja sekä verkon parantamista, jotta määrätyt aikarajat saavutettaisiin keskeytystilanteessa.

Tässä työssä arvioitiin entisen tekniikan uusimista rakentamisessa sekä rakentajan näkökulmasta sähköverkon toimivuudella kannalta. Samalla arvioidaan uuden verkko-tekniikan soveltuvuutta nykyisen sähköverkon rinnalle ja se, kuinka sitä voidaan par-

haiten hyöty käyttää sekä soveltaa uuden verkon rakentamisessa. Työssä on mukana myös valokuitukaapelin hyöty sähköjärjestelmän tiedonsiirrossa ja rakentamiseen tarvittavia perustarvikkeita.

2 RATKAISUJA TIEDONSIIRRON VARMISTAMISEKSI

Erilaisilla teknisillä ratkaisuilla voidaan vaikuttaa vikojen kestoihin ja määriin, joita •ovat:

- Kaapelointi
- 1000V sähköverkko
- Tienvarteen rakentaminen
- Maastokatkaisija
- Kauko – ohjattava erotinasema
- Varayhteydet.

2.1 Kaapelointi

Kaapeleiden, johtojen ja putkien sijoittamiseen maantien tiealueelle ja tiealueella tapahtuviin huoltotöihin tarvitaan aina tienpitäjän lupa. Luvan sähköjohtojen, telekaapeleiden, kaukolämpöjohtojen ja maakaasuputkien sijoittamiseen myöntää ELY – keskus. Edellä mainituissa tapauksissa ELY – keskuksen ja johdon omistajan välillä laaditaan sopimus, joka sisältää maantielain 42§:n mukaisen luvan tehdä tiealueeseen kohdistuvaa työtä ja sijoittaa johtoja tiealueelle. Sopimuksen mukaisesti tiealueelle sijoitettujen johtojen, kaapeleiden ja putkien kunnossapitoon liittyvien töiden tekemiseen on haettava paikalliselta ELY – keskukselta työ lupa (Ely-keskus 2013.)

2.2 1000V sähkönjakelu

Suomessa on rakennettu kokeilukäyttöön (Suur Savon Sähkö Oy) kolmiportaista jakeluverkkoa, jossa 20kV:n keskijänniteverkosta siirretään sähkö lähelle kuluttajaa 1kV:n verkossa ennen sen muuttamista 0,4kV:iin. Tällä 1000V:n verkolla pyritään korvaamaan hieman häiriöherkempää 20kV – verkon lyhyitä, muutamien kilometrien haarajohtoja, jotka yleisemmin menevät vapaa- ajan asunnoille. Etuna tässä kyseises-

sä järjestelmässä on, että rakentamisessa voidaan käyttää samoja tarvikkeita kuin asiakkaalle rakennettavassa 400V pienjänniteverkossa. Tällä tavalla 1000V:n jakelutekniikassa niin investointikustannukset kuin ylläpitokustannukset ovat pienemmät verrattuna 20Kv ilmajohtotekniikalla tehtyyn verkkoon. Uusi menetelmä säästää myös maisemaa, koska sille ei tarvitse raivata leveää johtokatua kuten 20kV:n keskijännitejohdolle. Uusi järjestelmä mahdollistaa kaapelinauraamisen lisäämisen ja samalla voidaan vähentää ympäristöä saastuttavien kyllästettyjen pylväiden käyttöä. (Lohjola 2013,1-2.)

2.3 Tien varteen rakentaminen

Tällä hetkellä metsiin sijoitetut ilmajohtot ovat ennen kaikkea alttiina tykkilumen ja myrskyjen aiheuttamille sähkökatkoksille. Metsässä vikojen korjaaminen ja paikantaminen on hankalaa. Johtojen siirtäminen tiealueen viereen tien varteen tai tiealueelle vähentää myrskyvahinkojen määrää noin puoleen. Tämän lisäksi sähkönjakelukatko-aika lyhenee noin puoleen, koska vian paikantaminen ja korjaus helpottuvat. Päälystettyjä ilmajohtoja käytettäessä vaurioiden syntyminen vähentyy, mutta ilmajohtot ovat edelleen alttiina niiden päälle kaatuvista raskaista puista. Tienvarteen sijoitettujen ilmajohtojen sijoittamisesta voi olla myös hyötyä. Tienvarrella sijaitsevaan metsään raivattu johtoaukea auttaa havaitsemaan tielle tulevat hirvet aikaisemmin. Sähkön toimitusvarmuuden vuoksi olisi parempi, jos tien ja sähköjohdon välissä oleva puusto poistettaisiin (Ely-keskus 2013.)

2.4 Maastokatkaisija

Maastokatkaisija on usein metsässä sijaitsevaan keskijännitepylvääseen kiinnitettävä katkaisijalaite, jolla saadaan johto jaettua kahteen suojausalueeseen. Katkaisijassa on oma releistys, joka ohjaa laitteen toimintaa. Pylväisiin asennettavat katkaisijat on vanha keksintö, mutta tämän päivän tietoliikenneyhteydet mahdollistavat niiden toimintavarmemman käytön verkostossa. Maastokatkaisijaa käytetään vähentämään keskeytyskustannuksia johtolähdössä, koska tällöin johdon loppupäässä olevat viat eivät näy alkupään asiakkaille. (Eskelinen 2008.)

2.5 Kauko-ohjattava erotinasema

Keskijänniteverkossa käytettävillä kauko- ohjauserotinasemilla voidaan lyhentää asiakkaan kokemia keskeytysaikoja. Asiakkaiden keskeytyksien määrään niillä ei ole vähentävää vaikutusta. Kytkeäjäajat kauko- ohjattavilla erottimilla on muutamia minutteja verrattuna käsin ohjattaviin erottimiin, joissa se voi kestää kymmeniä minutteja. Kauko- ohjaus erottimilla vian vaikutusalue saadaan yleensä rajattua murtoosaan lähtötilanteesta. Kauko- ohjatulla erotinasemalla verkon siirtokykyä ei saada varsinaisesti lisättyä. Kauko- ohjauksella kuitenkin saadaan väliaikaisesti verkkoon lisättyä siirtokapasiteettia, sillä kauko- ohjausta voidaan pahoissa häiriötilanteissa hyödyntää nopeastikin ja toteuttaa mutkikkaitakin varayhteysjärjestelyjä. (Lakervi 2008, 151.)

2.6 PAS-johdot

PAS-johdot eli niin sanotut päällystetyt avojohdot ovat kilpailukykyisempiä ratkaisuja kuin keskijännitteen riippukaapelit. PAS- johtimien pinnalla on kevyt ja yksinkertainen rakenne, joka estää johtimien läpilyönnit niiden osuessa hetkellisesti toisiinsa. Johto sallii myös johdon päälle kaatuneet puut, ja ne voivat nojata johdon päälle päiviä ilman sähkönjakelun keskeytystä. PAS- johtimilla on erikoisominaisuus. Ne ovat herkkiä värähtelemään, koska johtimet ovat keveitä ja niillä on suurehko halkaisija. Kannatuspidikettä käyttämällä tämä ongelma poistuu. (Elovaara, 2011, 287- 288.)

2.7 Varayhteydet

Keskeytysaikoihin voidaan vaikuttaa verkkoon tehtävillä topologiaan tehdyillä muutoksilla. Luotettavuuden kannalta keskeytysaikoja voidaan lyhentää tekemällä kohteisiin varasyöttöyhteys. Tämä tarkoittaa verkon sisällä tehdyn säteittäisen verkonrakenteen muutosta rengasmalliseksi, jossa kahden johtolähdön välille rakennetaan varayhteys, joka ei ole käytössä normaalitilanteessa. Tekemällä varasyöttöyhteyksiä saadaan parempi toimitusvarmuus, mutta tarpeettomien johto- osuuskien rakentaminen ei ole taloudellista. Varasyöttöyhteyksien tekemisestä yleensä päätetään vikaantuneen sähköaseman yhteydessä. Näissä tapauksissa asiakasmäärä on yleensä niin suuri, että osa vikaantuneen sähköaseman verkosta ehdottomasti kannattaa laittaa varasyöttöyhteyk-

sien perään. Varasyöttöyhteyksien käyttö ja niistä saatava tehokkuus ja etu ovat suoraan yhteydessä verkostoautomaation ja käytöntukitoimintojen tehokkaaseen hyödyntämiseen. (Partanen, 2006, 54.)

2.8 AMR- älykkäät mittausjärjestelmät

Annettu Helsingissä 5.päivänä helmikuuta 2009 valtioneuvoston asetus sähköntoimistusten selvityksestä ja mittauksesta. Valtioneuvoston päätöksen mukaisesti, joka on tehty työ- ja elinkeinoministeriön esittelystä, säädetään 17. päivänä maaliskuuta 1995 annetun (386/1995) nojalla. (Finlex 2009.)

Kaukoluettavien mittareiden pääsovelluksena ovat siis olleet sähkökaupassa käytettävät energiatiedot. Verkkotoiminnassa olevia mittaustietoja voidaan hyödyntää laajasti, kun mittarissa on energiatietojen lisäksi toimintoja jännitteen laadun ja rekisteröinnin ja käyttövarmuuden mittaamiseen. Seuraavat toiminnot ovat AMR- mittareissa tyypillisiä:

- hälytykset
- kuormanohjaus
- sähkön kytkentä ja katkaisu
- tuntienenergiamittaus
- keskeytysten rekisteröinti
- jännitteen laadun mittaus ja rekisteröinti.

Tuntienenergiamittauksissa käytetään hyväksi määriteltäessä kuormitusmalleja. Tehonjaon laskenta saadaan vastaamaan mahdollisemman hyvin todellisuutta. Suunnittelulaskennassa voidaan käyttää hyödyksi tarkempia ja jatkuvasti päivitettyjä kuormitusmalleja.

Jännitetason mittaukset kertovat verkossa olevan todellisen tilan, ja niitä käytetään hyödyksi verkostolaskennan kehittämisessä. Pitkät ja lyhyet katkokset pystyy AMR-laite rekisteröimään. Tämä mahdollistaa tarkkojen asiakaskohtaisten keskeytyslistojen tuottamisen ja niiden hyödyntämisen asiakaspalvelussa sekä vakiokorvauskäsittelyssä.

AMR-laitteisiin voidaan kytkeä monenlaisia hälytyksiä. Se pystyy ilmoittamaan muun muassa sähkön syötön katkeamisen ja sopivasti varustettuna keskijänniteverkon johdinkatkeaman, pienjänniteverkon 1- ja 2- vaiheisen sulakepalon sekä nollajohtimen katkeamisen pj- johdossa. (Lakervi 2008, 258- 259.)

3 TOIMENPITEET PARENNETTUUN TIEDONSIIRTOON

Tulevassa kappaleessa tarkastellaan toimenpiteitä, joilla saavutettaisiin ja parannettaisiin sähköverkossa siirtyvää tiedonsiirtoa. Tätä varten parannetaan kaapelointia ja muilla teknisillä ratkaisuilla pyritään sähkönjakelun varmentamiseen ja sitä kautta sähköverkon katkojen lyhentymisiin, sähkön laadun parantamiseen sekä sähköverkon tiedonsiirron varmentumiseen. Tämä mahdollistaa taloudellisuuden ja yksikköhintojen kehityksen seuraamisen suhteessa rakentamiskustannuksiin.

3.1 Kaapelointi

Kaikki rakentaminen on luvanvaraista toimintaa. Johtojen, kaapeleiden ja putkien sijoittamiseen tiealueelle ja niiden tiealueella tapahtuvaan huoltoon tarvitaan aina lupa tienpitäjältä (ELY-keskus 2013). Kuntien hallussa olevien katujen ja teiden osalta luvan myöntää asianomainen virkamies kussakin kunnassa.

Maankäyttö- ja rakennuslain 12. luvun 84.§:n mukaisesti kadunpito käsittää rakentamisen, kadun suunnittelun ja sen kunnossapidon- ja puhtaanapidon sekä muut siihen kuuluvat toimenpiteet, jotka ovat tarpeen katualueen sekä sen yläpuolisten ja alapuolisten johtojen, laitteiden ja rakenteiden yhteen sovittamiseksi. Kadun järjestäminen kuuluu kunnalle.(Finlex 1999.)

Sijoitettaessa tiedonsiirtokaapeleita (kuitu, tele) tienvarteen sijoitusta koskevat lait ovat viestintämarkkinalaki (393/03) maantielaki (503/2005) sekä maankäyttö- ja rakennuslaki (132/99). Viestintämarkkinalaissa 101§:n 1 momentin mukaan telekaapeli on mahdollisuuksien mukaan sijoitettava maantielaisissa tarkoitetulle tiealueelle tai kiinteistönmuodostamislaisissa tarkoitetulle yleiselle alueelle. Maantielain 42§:n 1 momentin mukaan tiealueelle kohdistuva työ sekä rakennelmien, johtojen ja muiden lait-

teiden sijoittaminen tiealueelle vaatii tienpitoviranomaisen luvan. Lupa myönnetään, jos toimenpiteestä ei aiheudu vaaraa liikenteelle tai tienpidolle. Tienpitäjän esittämät liikenne- ja rakennustekniset sekä tien kunnossapitoon vaikuttavat kohdat otetaan huomioon tienpidon ja teletoiminnan kannalta edullisemmän ratkaisun saavuttamiseksi. (ELY- keskus 2013.)

Kaapelointiastetta lisätään varsin voimakkaasti taajamista hajaasutusalueelle. Ilmajoh-toja taajamissa on vielä hyvin runsaasti. Varsinaisesti taajamakatu- jen yhteydessä on mahdollista sähkökaapelin vedon kanssa vetää myös talokohtaiset valokuitukaapelit sähkö- n tiedonsiirtoa varten ja näin varmistetaan samalla tulevaisuuden tiedonsiirto.

Maaseudulla kaapelointia voidaan hyödyntää samalla, kun siellä tehdään siirtoviemä- rihankeita tai muita suurempia kaivuhankkeita. Muuntopiirit pyritään kaapeloimaan aina, kun se on maastollisesti mahdollista ja samalla voidaan laajentaa pj-kaapelointia. Suunnitelmia tehdessä kannattaa aktiivisesti hakea kohteita, joissa päästään hyödyn- tämään yhteiskaivuja muun rakennettavan infran kanssa ja osittamaan kustannuksia toisten osallistujien kanssa.

Nykyisin pyritään käyttämään kaapelinaurausta mahdollisuuksien mukaan aina, kun se on maastollisesti mahdollista. Uusia maanrakentajia haetaan aktiivisesti yhteistyö- hön ja tekemällä heidän kanssaan pitkäaikaisia sopimuksia varmistetaan sekä sitoute- taan heidän toimintansa kehittäminen työn ohessa. (Hokkanen 2012, 15- 16.)

3.1.1 Kaapelin kaivaminen

FSF 6000 – 8 – 814 standardin mukaan maahan asennettavat kaapelit pitää suojata erikseen mekaanisesti ja sijoittaa riittävän syvälle. Asennussyvyys on riippuvainen paikallisista olosuhteista, käyttötarkoituksesta, maan laadusta ja sen mahdollisesta routimisesta ja maan omistusoikeudesta. Kaapelit asennetaan maahan 0,7 metrin sy- vyyteen, ja ne tulee suojata mekaanisesti hienolla hiekalla, jota laitetaan 0,15 – 0,20 metriä kaapeleiden päälle. Vaihtoehtoisesti ne suojataan putkella isoilta ja teräviltä kiviltä. Maanpinnan ja kaapeleiden väliin, noin 0,2 – 0,4 metrin syvyyteen, on suosi- teltavaa asentaa varoitusnauha osoittamaan kaapelin sijaintia. Nämä perustoimenpiteet parantavat kaapelin käyttöikä ja ehkäisevät kaapelivaurioita. Maahan asennettavat

kaapeleiden tulee olla riittävän vahvoja rakenteeltaan. Maahan tarkoitetut kaapelit ovat mekaanisesti vahvoja, kaapelityypiltään vaipallisia (kuva 1). (RTS 2012.)



KUVA 1. Kaapelioja kaivamalla 40cm kauhalla vapaaseen maahan

3.1.2 Kaapelin auraus

Aurauksen ideana on pääpiirteissään leikata maahan viilto ja asettaa kaapeli samanaikaisesti viiltoon. Viilto eli aurausura tehdään usein kaivinkoneeseen kytketyllä aurauslaitteella. Auraus toteutetaan teiden varsilla, pelloilla ja tiehallinnon omistamilla tieosuuksilla tienpenkkaan (kuva 2).



KUVA 2. Kaapelin aurausta maantielaitaan

Laadukkaaseen lopputulokseen pääsemiseksi auraamalla on esiauraus kaapelireitille suotavaa. Esiaurauksessa kaapelireitti aurataan läpi ilman kaapelia. Tällä tavalla maaperä pystytään varmistamaan eikä kaapelia aurattaessa törmätä enää yllättäviin, lisätöitä aiheuttaviin esteisiin. Maksimikokona aurauksessa pidetään 185mm² kaapelia. Jo näinkin paksun kaapelin takia auralaite on melko leveä. Auraamalla pyritään pitämään kaapelin syvyys 70-80 cm; syvemmälle mentäessä tarvitaan jo erikoiskalustoa. Ilman lämpötila vaikuttaa kaapelin aurattavuuteen. Lämpötilan ollessa korkea kesällä kaapelin pinta vioittuu helposti ja talvella pakkasilla kaapelista tulee jäykkä ja vaikeasti aurattava (Peijariniemi, 2007.)

3.1.3 Teiden alitus

Tänä päivänä on mahdollista saada kaapelit tien toiselle puolelle ilman, että tie joudutaisiin putkitusta varten kaivamaan auki. Tiemestarit usein vaativatkin vilkkaammin

liikennöidyillä tieosuuksilla kaapeleiden tunkkausta tai suuntaporaamista. Tunkkauksessa suoja-putki hakataan paineilman avulla tien alitse. (Hokkanen 2012, 17- 18.)

Suuntaporausmenetelmä perustuu kaivamattomaan tekniikkaan. Ensimmäisessä vaiheessa pilottireikä porataan erityisen ohjaus kärjen avulla, johon on asennettu eräänlainen paikannuslaite eli sondi. Tällä tavoin pystytään seuraamaan kärjen asentoa, syvyyttä, kaltevuuden ja lämpötilan sekä paljon muita oleellisia tietoja. Toisessa vaiheessa kärjen tultua läpi, vaihdetaan tilalle avannin, jonka perään kytketään vedettävät putket (kuva 3). (Bobmatic 2013.)



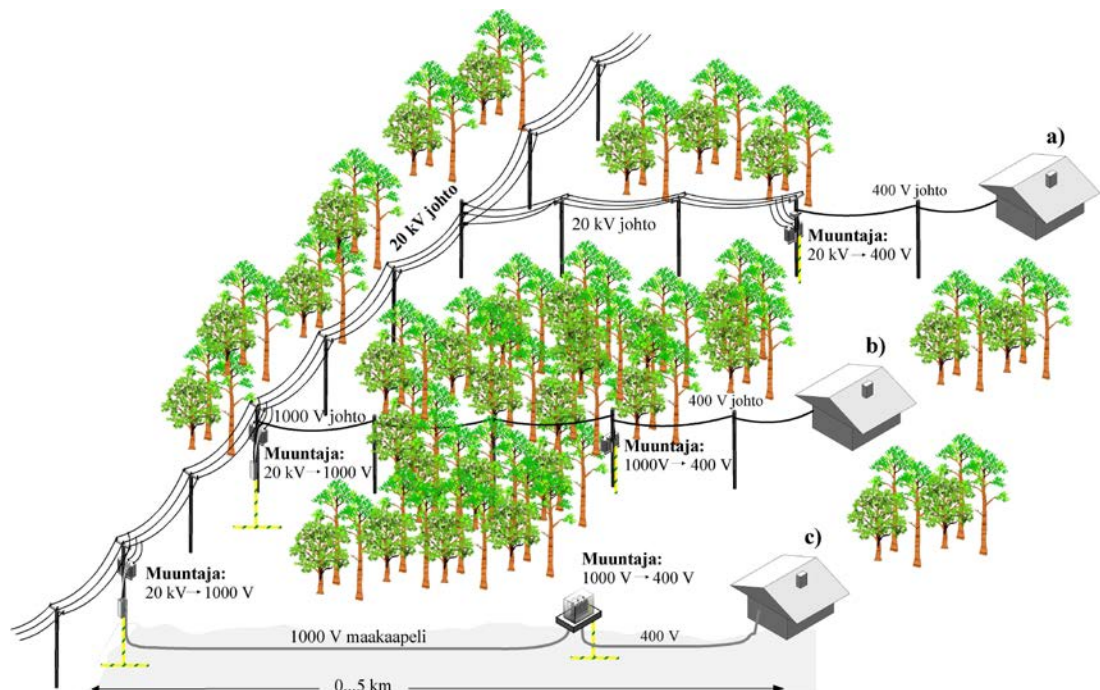
KUVA 3. Suuntaporaus kohteen alitse

3.2 1000v sähkönjakelu

Yksi lupaavimmista uusista tekniikoista on 1000V pienjännitejakelun hyödyntäminen. Koska keskeytyksistä 90 % tapahtuu 20KV keskijänniteverkossa, voidaan 1000V tekniikalla osa pientehoisista ja 20 KV vikaherkistä haarajohdoista korvata. Vikojen vaikutusalue ja määrä pienenee ratkaisevasti, koska 1000V tekniikalla toteutettu johtohaara muodostaa oman suoja-alueensa ja vaikutusta vikatilanteessa muihin saman keskijännitesyöttöalueisiin ei ole. Ilmajohtoverkossa varmat teknistaloudelliset kohteet 1000V verkossa korvataan siirtotehoiltaan alle 60KW ja johtopituudeltaan 1 – 5km. Maakaapeliverkossa 1000V siirtojohdossa jännitetason siirtoteho on alle 100KW tehoiset ja johtopituus 1- 5km. (Kumpulainen 2006.)

Haarajohdoilla suurempaa jännitettä käyttämällä voidaan näin 400V siirtomatkaa lisätä kasvattamalla johdinpoikkipinta-alaa. Tällä tavalla laajennettaessa 400V:n jakelu- aluetta vältettäisiin mahdollisesti kalliit muuntopiirijaot, jos asiakkaita tulisi lisää tai

olisi huono sähkönlaatu. Heikossa sähkönlaadussa olisi hyödynnettävä jo olemassa olevia rakenteita ja nostettava mahdollisuuksien mukaan jännitettä 1000V:n sekä tehdä tarpeelliset muutostyöt. 1000V tekniikan käyttöä puoltavat ympäristötekijät, koska ei tarvita leveitä johtokatuja. Uusi 1000V tekniikka soveltuu vapaa- ajanasuntoalueiden sähköistämiseen erityisen hyvin herkässä saaristo- ja rantamaisemissa. Pienjännitejohtojen vetämiseen ja johtokatuojen rakentamiseen on myös helpompi saada luvat maanomistajilta. 1000V järjestelmää rakennetaan niin ilmajohtona kuin maakaapelilakin, kuten kuva 4 osoittaa (Hokkanen 2012.)



KUVA 4. Johtorakenne 1000V verkossa (Verkko visio 2030)

3.3 Tien varteen rakentaminen

Haja- asutusalueilla suurin osa sähköjohdoista ja johtokaduista sijaitsevat metsissä. Malli ratkaisu juontaa vuosikymmenien takaa, jolloin tavoitteena oli investointien materiaalikustannusten minimointi. Tämähän yleensä tarkoitti johtojen suoraviivaista rakentamista metsien halki. Sähköistämisen huippu oli maaseudulla 1950- ja 1960-luvulla, jolloin johtojen rakentaminen metsään ei ollut ongelmallista. Joidenkin alueiden maanomistajat lähes kilpailivat johdon linjauksen saamiseksi omalle maalleen, jolloin he varmistivat sähkön saamisen itselleen. Sähkönjakelun luotettavuus ei ollut keskeisempiä huolenaiheita silloin. Sähkön laatua ei niin ikään käsitetty riippuvaiseksi

keskeytyksistä tai muuten häiriöiden määrästä, vaan kohtuullisesta ja riittävän suuresta jännitejäykkyydestä ja jännitteenalenemisesta. Metsiin sijoittamista on perusteltu johdosten näkymättömyydellä lähellä asutusta kustannussäästöjen lisäksi. Toisin kuin pelolle ja tienviereen vedetyt johdot, metsässä olevia johtoja ei juuri huomaa. Liian lähelle tietä rakennettu johto voi olla este tien kunnossa pitäjälle. Verkostosuunnittelun reunaehdoksi on keskeiseksi noussut luotettavuus. Uudet johdot pyritään mahdollisuuksien mukaan rakentamaan teiden varsille parantamaan käyttövarmuutta ja huolto toiminnan helpottamiseksi. Kokemukset osoittavat, että siirto tienvarteen vähentää vikojen määrää lähes puoleen johto- osuuksilla. Sähköistämisen alkuaikoina asutus ja kuormat olivat sijoittuneet muun infrastruktuurin eli teiden lähelle. Silloin metsiin rakennetuilta johdoilta joudutaan rakentamaan teiden laitoihin haarajohtoja. Uusille metsään vedettäville johdoille maankäytösopimuksia on nykyään vaikea saada. Johdon siirto tien laitaa tulee näkyväksi ympäristössään, mutta se koetaan usein pienempänä häirtana kuin metsän kaato uuden johdon tieltä. Nykyiset maankäyttökorvaukset huomioitaessa ei tien laitaa rakentaminen johda metsää kalliimpaan vaihtoehtoon. Kokonaisjohtopituudet eivät paljon pitene. Luonnon kannalta ratkaisu on parempi, sillä siinä hyödynnetään kertaalleen jo raivattuja reittejä. Tien laidassa tienpuoleinen johtokatu on jo valmiina. Siirrettäessä tien laitaa sähköjohto sijoitetaan mahdollisuuksien mukaan sille puolelle tietä, josta päin yleensä tuulee. (Lakervi 2008, 143- 144.)

4.4 Maastokatkaisijat

Sähköverkon luotettavuuden osalta pylväskatkaisija vaikuttaa sekä vikojen määrään että vika- aikaan siten, että etupuolella olevat asiakkaat eivät koe verkon takaosassa olevia vikoja. Pylväskatkaisija suodattaa tällöin pois myös jälleenkytkennöistä aiheutuneet keskeytykset, jotka saattavat olla hyvinkin kriittisiä esimerkiksi teollisuudelle (kuva 5). Pylväskatkaisijan sopiva sijoittaminen sähköverkkoon on optimointitehtävä, jossa pyritään löytämään sopiva sijoituspaikka suurinta kokonaishyötyä ajatellen. (Haakana 2007.)



KUVA 5, Netcontrolin valmistama NetRecloser pylväskatkaisija ja ohjauksyksikkö

3.5 Kauko- ohjattava erotinasema

Lisäämällä ohjaukset kaukokäyttöön erotinasemilla niiden käyttö nopeutuu ja helpottuu. Enää ei tarvitse mennä katkaisija- ja erotinlähtöjä erotinasemalle, vaan ohjaukset voidaan tehdä käyttökeskuksesta. Käyttövarmuuden lisääntyminen vikatilanteissa korostuu, koska asentajan ei tarvitse siirtyä erotinasemalle ohjataksaan lähtöjä. Käyttökeskuksessa työskentelevä operaattori voi ohjata lähtöjä erotinasemalla ja näin selvittää mahdollista vikapaikkaa, jonne asentajan voidaan suoraan opastaa. Asentajan siirryessä vikapaikalle operaattori toimii käyttökeskuksessa ja kartoittaa viallisen erotinaseman sekä lähdön. (Kumpulainen 2006.)

Kauko-ohjattavat erotinasemat eivät vaikuta keskeytysten määrään. Asiakkaiden sähkökatkojen pituus sekä kytkentäajat lyhenevät. Tämän johdosta asentajan ei tarvitse siirtyä etsimään erotinasemalle ja erottamaan vikapaikkaa kokeilemalla, vaan asentajan saapuessa paikalle vikapaikka on jo erotettu ja kyseisen erotinaseman suurin osa asiakkaista saa sähköä varayhteyksien kautta. (Kumpulainen 2006.)

Lisäämällä jakeluverkkoon kauko-ohjattavia erotinasemia (kuva 6) häiriötilanteiden sattuessa voidaan nopeasti tehdä mutkikkaitakin kytkentäjärjestelyjä. Kauko-

ohjattavat erotin- asemat asennetaan yleensä verkon haaroituspisteisiin ja jakorajoille. Yhdellä erotinasemalla on yleensä 2- 4 erotinta.(Kumpulainen 2006.)



KUVA 6. Kauko- ohjattava erotin asema

4.6 PAS-johdot

PAS-johdot ovat päällystettyjä ilmajohtoja, joita käytetään keskijänniteverkossa. Ohut eristeros johdossa vähentää johtimen jälleenkytkentöjä verrattuna avojohtoon, kun linjalle tipahtaneet oksat ja nojaavat puut eivät aiheuta välttämättä vikoja. PAS- johtimella ei ole paljoa vaikutusta pysyvien keskeytysten määrään. Puu, joka nojaa pitkään johtimeen, aiheuttaa pysyvän keskeytyksen, koska ennemmin tai myöhemmin eriste hajoaa. Tästä voi aiheutua PAS- johtimen kautta suuri turvallisuusriski, koska johtoon nojaava puu aiheuttaa suuri- impedanssisen maasulun. Välttämättä maasulkusuojaus ei huomaa vikaa ja vikapaikan läheisyydessä voi samalla olla vaarallisen korkeita kosketusjännitteitä. Tämän vuoksi PAS- johtimet pitäisi tarkistaa myrskyn jälkeen aina. Tässä on yksi syy siihen, miksi PAS- johto asennetaan teiden varsiin, josta ne ovat helposti valvottavissa. Teiden lähelle sijoittaminen parantaa myös johtojen käyttövarmuutta, koska puut ovat johtokadun toisella puolella kauempana johtimista. (Lakervi 2008, 145.)

Rakentaminen PAS- johdoilla on 30 % kalliimpaa kuin avojohdoilla. PAS-johdon korjaus on hankalaa eristyksensä vuoksi, mutta vikojen paikallistaminen on nopeaa teiden varsilla. PAS-johtimien käyttö mahdollistaa kapeampien johtokatuja käytön sekä on taloudellisempaa. PAS-johtojen potentiaalinen käyttöalue on sähköasemilta lähteissä kaksois- ja kolmoisjohdoissa sekä käyttövarmuuden näkökulmasta erityisen hankalissa oloissa. (Lakervi 2008, 145.)

3.7 Varayhteydet

Sähkönjakelun keskeytyksen sattuessa pyritään vikapaikka rajaamaan mahdollisimman pieneksi ja palauttamaan jännite terveeseen verkkoon erilaisia varayhteyksiä käyttäen. Tämä tarkoittaa käytännössä tehon syöttöä toisesta johtolähdöstä tai kokonaan toisesta verkkoyhtiöstä. Usein keskijänniteverkko on rakenteeltaan joko enemmän tai vähemmän silmukkainen, mutta silmukoita käytetään avoimena. Silmukoita ei haja- asutusalueilla ole kovin paljon, joten varasyöttömahdollisuudet ovat rajalliset. Erityisesti varayhteyksillä vaikutetaan vikojen kestoajaan. Niitä käyttämällä saadaan palautettua sähköt 50- 90 %:lle asiakkaista kytkentäajan kuluessa. Tähän vaikuttaa vian sijainti, verkon rakenne, erottimien sijainti ja lukumäärä sekä varayhteysmahdollisuudet. (Partanen 2006.)

Varayhteyksiä rakentaessa liian tiukkoja rajoja ei voida asettaa jännitteenalenemiselle. Yhdysjohto joudutaan muutoin mitoittamaan niin paksuksi, että investoinnista tulee liian kallis. Yhdysjohdolla voidaan varautua myös suurempia vikoja varten. Esimerkiksi sähköaseman vikatapauksessa sähköttömiä asiakkaita on paljon, jolloin sähkönjakelu on täysin kiinni käytettävistä varayhteyksistä. (Partanen 2006.)

Keskijänniteverkossa vaikuttaa johdinpaksuudet häviötehoihin ja myös keskeytyskustannuksiin. Paksummat johdot mahdollistavat laajemman ja monipuolisemman käytön varayhteyksissä. Näin tehoa pystytään siirtämään enemmän ja pidemmälle, Paksujen johtojen terminen kestoisuus on suurempi ja jännitteen alenemat ovat pienempiä. Johtojen paksuus voi tulla ongelmaksi, kun tehonsyöttö tulee toisesta suunnasta, jolloin väliaikaisen syötön alkupäässä saattaa olla kaikkein ohkaisimmat johdot. Suojausten toimivuudessa saattaa myös esiintyä ongelmia, jos johtimet ovat liian ohuita. (Partanen 2006.)

Verkostoautomaatio kuuluu olennaisesti varayhteyksien hyödyllisyyteen. Käyttötuki-järjestelmän avulla voidaan paikallistaa viat nopeasti, ennen kuin varayhteyksiä voidaan käyttää. Lisäksi yhteyksien tehokkaaseen ja nopeaan käyttöön tarvitaan kauko-ohjattavia erotinasemia, jolloin kytkentäajat saadaan pidettyä lyhyinä. Suunniteltaessa varasyöttöjä on huomioon otettava kauko- ohjattavien erottimien sijainnit, jolloin niitä voidaan tehokkaasti hyödyntää. (Partanen 2006.)

3.8 AMR- älykkäät mittausjärjestelmät

Älykkäistä mittareista käytetään usein termejä ”etäluettava mittari” tai ”automaattisesti luettava mittari”. Molempia tapoja käytetään viittaamalla älykkäisiin mittausjärjestelmiin riippuen raportista, tutkimuksesta tai selvityksestä. (Sarvaranta 2010.)

Perinteisesti mittarit on jaettu kahteen päätyyppiin tiedonsiirtokykynsä (yksisuuntainen tai kaksisuuntainen) perusteella. Kaksisuuntaista tiedonsiirtoa pidetään lähtökoh- taisesti edellytyksenä sille, että järjestelmää voi kutsua älykkääksi. (Sarvaranta 2010.)

Etäluettavien mittareiden tuntiluennan mittaus- ja tiedonsiirtoketju alkaa keruulaitteel- la ja päätyvät tietoja tarvitseville osapuolille. Asiakkaan tiedot luetaan mittauslaittees- ta verkkoyhtiön mittauskeskukseen, josta kerätyt tiedot edelleen välitetään sähkökau- pan muille osapuolille. (Sarvaranta 2010.)

3.8.1 Etäluentajärjestelmän keskeisimmät osat

Tuntiperusteisen luotettavan etäluentajärjestelmän rakentaminen vaatii hyvän ja luo- tettavan laitteiston. Etäluentajärjestelmä kattaa sähköjakeluverkon alueella olevat kaikki asiakkaat sekä muuntamot, jolloin järjestelmän laitemäärä kasvaa hyvinkin suureksi. Etäluentajärjestelmän tärkeimpiä laitteita ovat:

- Keskitin
- Toistin
- Kotitalousmittari
- AIM AMR- ohjelmisto.

Keskeisin kokonaisuus kuitenkin järjestelmässä on AIM AMR- ohjelmisto rajapintoi-
neen, jonka avulla järjestelmää ohjataan ja seurataan. (Nyysönen 2011.)

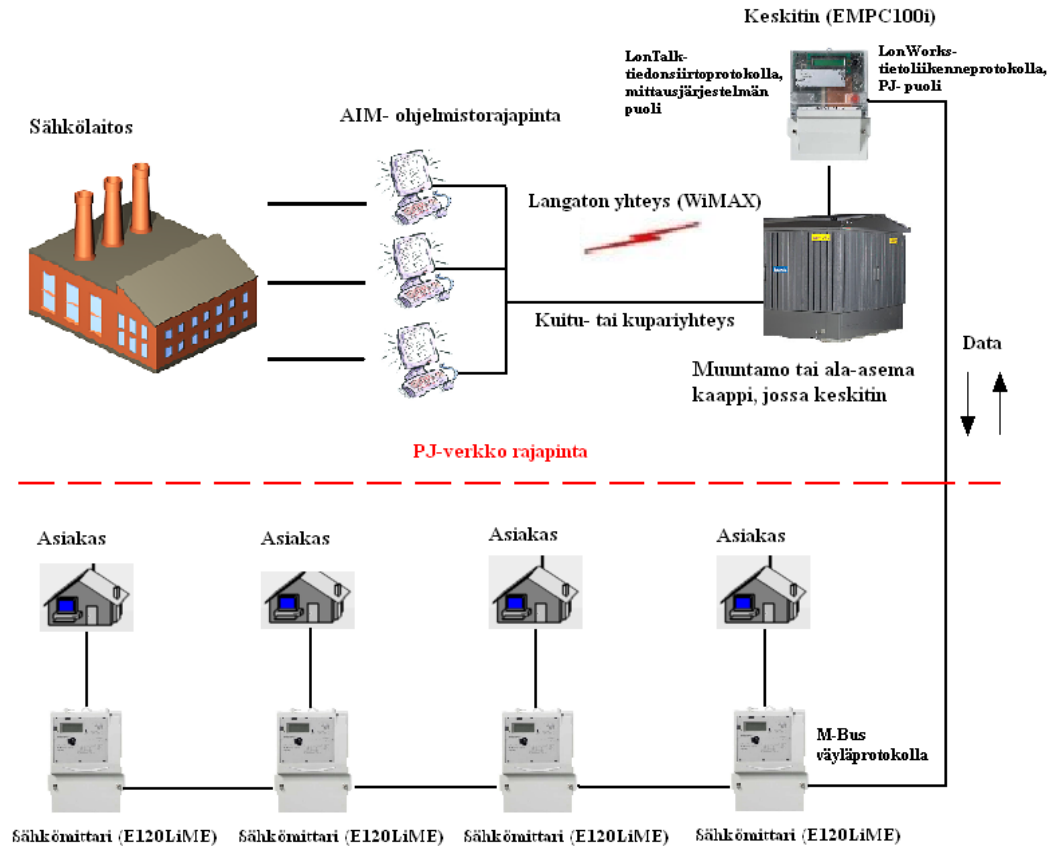
Keskittin on osa AIM AMR- järjestelmää, jonka pääasiallinen tehtävä on lukea ja tal-
lentaa automaattisesti mittauksia, jotka on AMR- puoli järjestelmässä. AIM- järjes-
telmä noutaa kyseiset tiedot mittarilta. Keskittimellä on seuraavanlaiset toiminnot:
valvoa verkon toimintaa, huolehtia mittauslaitteen kellon ylläpidosta sekä päivittämi-
sestä, tallentaa tulevat tiedot mittareilta, seurata tietoliikenteen laatua, tukea toistimia.
(Nyysönen 2011.)

Toistimen tehtävänä on laajentaa etäisyyttä tiedonsiirtoalueen olosuhteista 300- 500
metriin, ja varmistaa virheetön tiedon siirto eteenpäin. Toistin asennetaan sähkömitta-
rin ja muuntamalla olevan keskittimen väliin, jotta se voi käyttää kaikkia kolmea vai-
hetta (Nyysönen, V 2011).

3.8.2 Etäluennan viestiyhteydet

Laitteistot muodostavat oman etäluentajärjestelmän kokonaisuutensa. Viestiverkon
haasteena on yhteyksien ja riittävien yhteysnopeuksien saaminen jokaiseen keskitti-
meen (Nyysönen 2011.)

Tiedon keruuta voi tehdä joko puhelinverkon kautta, jossa se toteutetaan PSTN- yh-
teyden avulla tai sitten tämän päivän tekniikalla GSM- verkkoa hyödyntäen. GSM-
verkossa tapahtuvaan tiedonsiirtoon tarvitaan GSM-modeemi ja GPRS- siirrossa
verkkokortti. Kaukoluenta voidaan toteuttaa GSM- data, SMS tai GPRS- yhteydellä.
GSM- verkon eduksi voidaankin lukea valmiiksi rakennettu siirtoverkko. Potentiaali-
simpia kohteita kaukoluennan kannalta tapahtuvaan tiedonsiirtoon ovat esikaupunki-
ja haja- asutusalueet. Kuvassa 7 on esitetty yleinen toimintaperiaate etäluentajärjes-
telmässä ja koko sähköverkon tiedonsiirron varmistamisketju tuottajalta – asiakkaalle
ja takaisin (Nyysönen 2011.)



KUVA 7. Etäluentajärjestelmän yleiskuvaus

4 KUITUVERKKO

Nykyaikainen kuituverkko on tietoliikenneverkkojen perusta, joista muodostuvat runkoyhteydet palveluntarjoajien ja tietokoneiden välillä. Ne ovat nopeita yhteyksiä, varmoja ja rakentuvat lähes poikkeuksetta valokuitukaapeleista. Tutkimuksessa on todettu, että suurin teoreettinen nopeus olisi 100 terabittiä sekunnissa. Kuidulla voidaan tarjota kaista pitkillekin matkoille. Hinta saattaa tulla esteeksi, koska asentaminen on kallista, jos yhteydet ovat kilometrien pituisia (Nyyssönen 2011.)

4.1 Yleistä

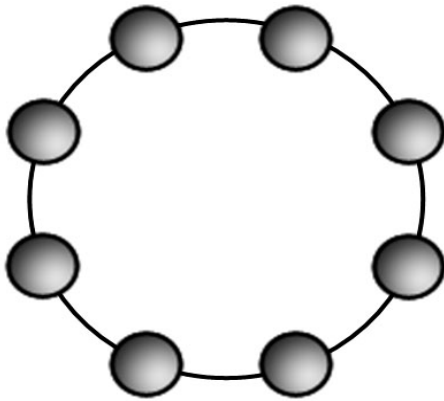
Vaativammat palvelut vaativat nopeampia yhteyksiä. Näiden palveluiden siirtonopeus on luokassa 10- 100 Mbps. Tällaisen kaistan tarvitsevia palveluja ovat esim. HDTV eli (High Definition Television), VoD eli (Video on Demand), Mobiilipalvelut, Triple Play- palvelut (kuuluu internet, VoLP ja IPTV), ja muut palvelut (Talotekniikan

etävalvonta, kamera valvonta, murtoilmaisu- ja ovipuhelinjärjestelmät, energiankulutuksen seuranta ja viihde- elektroniikan sovellutukset.) (Nyyssönen 2011.)

4.2 Valokuidun verkkotopologiat

4.2.1 Rengastopologia

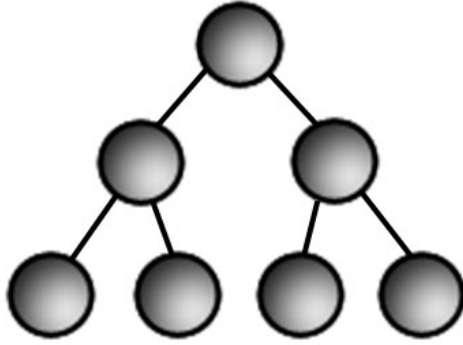
Kun kaikki laitteet liitetään toisiinsa rengasmaisesti, syntyy rakenne nimeltään rengastopologia. Laite saa vierelleen kaksi muuta laitetta renkaassa ollessaan. Kulkeva data eli paketit kulkevat laitteiden läpi, kunnes saavuttaa määränpänsä, kuvan 8 periaatteen mukaisesti. (Kuitu 2013.)



KUVA 8. Rengastopologia

4.2.2 Puutopologia

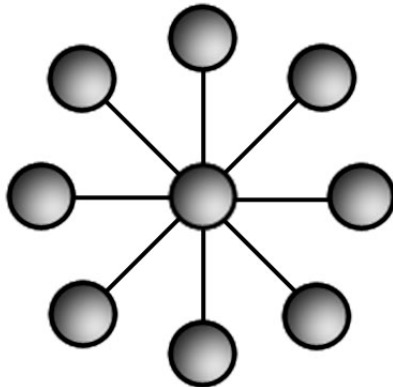
Puutopologiassa voi puhua keskussolmusta, koska se on yhdistetty vähintään yhteen tai useampaan muuhun solmuun, kuvan 9 tavoin. Tällaisessa rakenteessa ensimmäinen solmu on ylimpänä hierarkiassa. Tämän muotoisella topologialla voidaan tehdä suuriakin verkkoja liittämällä tähtiverkkoja puutopologian mukaan. (Kuitu 2013.)



KUVA 9. Puutopologia

4.2.3 Tähtitopologia

Tähtitopologiassa keskussolmulla on tärkein rooli (kuva 10), joka yleensä on kytkin tai keskitin. Tämän solmun kautta kulkee kaikki viestintä, mitä verkossa suoritetaan. Tähtitopologiassa on kaksi melkein samanlaista topologiaa. Puhumme täysi tähti sekä aktiivisesta tähtitopologiasta, joissa ainoana erona on kytkinten välisen liikenteen toteutus. Aktiivisessa tähtitopologiassa liikenne on kanavoitu samoihin kuituihin ja taas tähtitopologiassa eri kuituihin. (Kuitu 2013.)



KUVA 10. Tähtitopologia

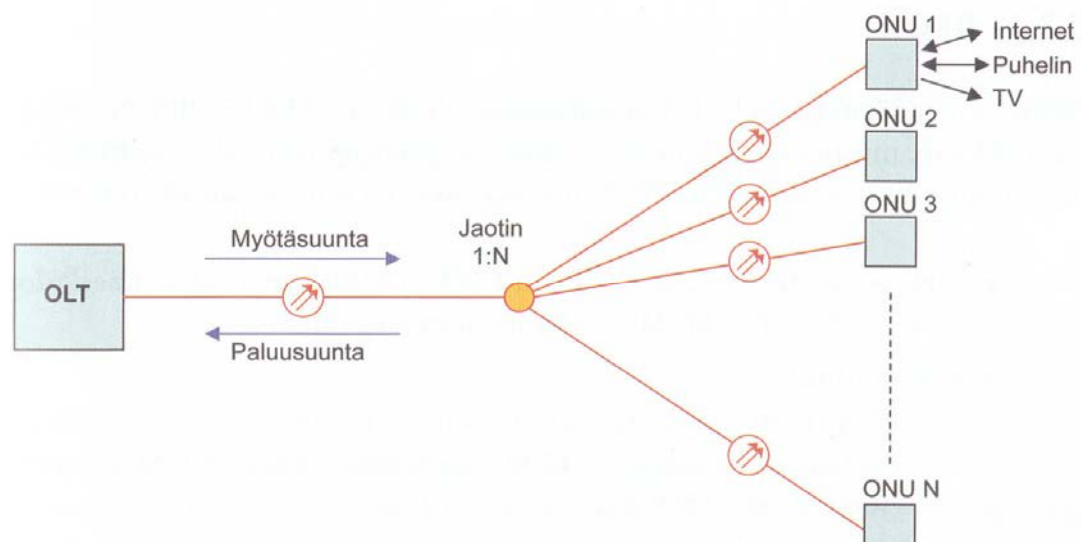
4.3 Valokuituverkon tekniikka

Kuituverkoissa yleisimmin käytettävistä sekä tärkeimmistä tekniikoista käytetään nimitystä lähiverkkotekniikka. Tekniikat perustuvat IEEE 802- lähiverkkotekniikoihin, joista tärkeimpiä ovat Ethernet ja Token Ring Wlan (Wireless Local Area Network).

IEEE: N standardi 802.3 määrittelee tarkemmin Ethernet- lähiverkkotekniikat. (Penttinen 2006.)

4.3.1 PON tekniikka

Kuvassa 11 on esitetty PON- verkon periaatteellinen rakenne. Ideana tässä on toimittaa mahdollisemman monelle tilaajalle yhteys yhdellä jako- tai syöttökuidulla. Ope- raattorin tai liityntäsolmukeskuksessa on OLT eli Optical Line Terminal. OLT:ssä on jokaista runkokuitua varten varattu vain yksi laser. OLT:stä tilaajalle lähtevä runko- kuitu jaetaan aktiivisten kytkimien sijaan käyttäen passiivisia optimisia jaottimia (TDM- tekniikka) tai optimisia suodattimia (WDM- tekniikka) jopa 64 tilaajalle. Ti- laajapäätelaite on tilaajan päässä, ONU eli Optical Line Unit, joka kommunikoi OLT:n kanssa. Passiiviset verkkokomponentit eivät tarvitse sähköä tai huoltamista, joten niis- tä ei synny käytännössä käyttökustannuksia. OLT ja tilaajapäätelaitteet ovat ainoat aktiivilaitteet verkossa. OLT:sta ja tekniikasta riippuen, yhtä runkoyhteyttä kohden välimatka ja kaistan tarve ovat ainoat rajoittavat tekijät tilaajien määrälle. Suotava etäi- syys OLT:lta ONU:lle on noin 20km tekniikasta riippuen. (Helander 2011.)

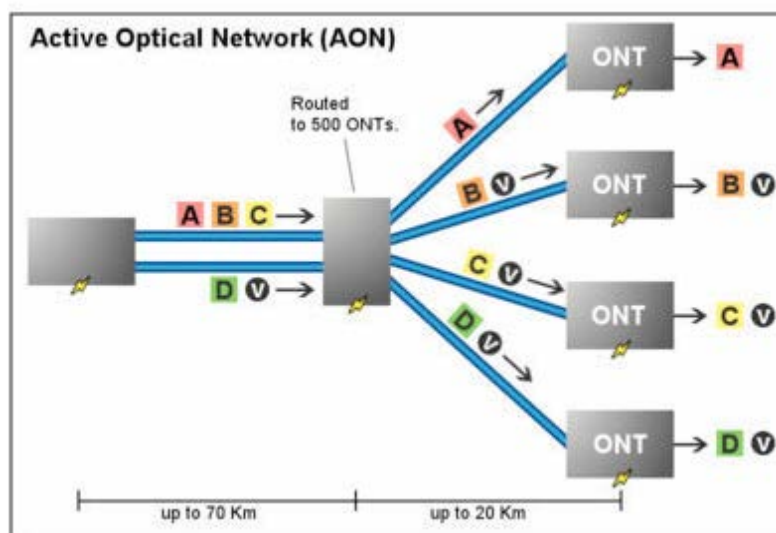


KUVA 11. PON- verkon periaatteellinen rakenne

4.3.2 P2P- tekniikan käyttäminen

AON eli Active Optical Network on Poin to Point- tekniikka (P2P), jossa jokaiselle tilaajalle on varattu oma kuitu. Tämä mahdollistaa melkein rajoittamattoman siirtonopeuden tilaajan ja operaattorin välillä. Käytännössä nopeutta rajoittaa ainoastaan linkeissä käytetty optinen tekniikka ja kuidun fyysiset ominaisuudet. (Helander 2011.)

Aktiivisen optisen verkon rakenne on esillä kuvassa 12, jossa A,B,C JA D- kirjaimet kuvaavat tilaajalle meneviä paketteja. V- kirjain tarkoittaa myötäsuntaan siirrettävää signaalia, kuten kaapeli-TV:n signaalia.



KUVA 12. Aktiivisen optisen verkon periaatteellinen rakenne. (Helander 2011.)

Signaalin tilaajalle jakamiseen käytetään aktiivisia, sähköä tarvitsevia laitteita, kuten reitittimiä, kytkimiä ja multipleksereitä. P2P- rakenteessa tietoturva on passiivisia verkkoja paremmalla tasolla. Jokainen lähetetty signaali operaattorilta menee ainoastaan sille tilaajalle, jolle se on tarkoitettu, koska tilaajat on fyysisesti erotettu toisistaan. Sen vuoksi verkkorakenne on hyvä turvata yhteyksiä rakennettaessa (Helander 2011.)

Kuituja on vähintään yksi kytkimeltä asti Poin to Poin rakenteessa tilaajaa kohden, mutta Suomen Viestintäviraston mukaan kuituja tulisi olla kaksi omakotitaloa kohden ja suurempiin kiinteistöihin 12:sta. Tämä tarkoittaisi paljon kuituja, joiden takia keskittimille syntyisi massiivisia kuitupaneelikytkentöjä. Verkko rakenteen takia jokaista

tilaajaa kohden olisi oltava myös oma laser. Signaalin jakamiseen tarkoitettut aktiiviset laitteet kuluttavat koko ajan sähköä. Tästä johtuen laitteiden hankinta- ylläpitokustannukset nousevat (Helander 2011.)

4.4 Yleisimmin käytetyt tarvikkeet valokuidun rakentamisessa.

Tässä kappaleessa käydään yleisesti läpi kuituverkonrakentamisessa tarvittavia tarvikkeita. Kaappeja voi käyttää niin sähkö kuin valokuitukaapeleiden kytkentä paikkana.

4.4.1 Kaapelityypit

Valokuitukaapeleita on monenlaisia muutamasta kuidusta useisiin kymmeneen kuituihin samassa kaapelissa. Valokuitukaapeleissa kuin sähkökaapeleissakin on joka asennustapaan kuuluvia kaapeleita, niin sisä-, ilma-, kuin maakaapeleitakin. Maakaapeleissa on vielä eroja, toiset kaapelit voidaan vetää suoraan pehmeän hiekkapeitteen päälle ja toiset täytyy suojata eli asentaa suojaputkeen tai suojata halkaistulla putkella, joka asennetaan johdon päälle, oli kyseessä sitten valokuitu- tai sähkökaapeli.

Valokaapeleita valmistetaan monen eri asennustavan mukaan. Kaapelit jaotellaan sisävalokaapeleihin, sisä- ja ulkovalokaapeleihin, kanavavalokaapeleihin, maavalokaapeleihin, ilmavalokaapeleihin ja vesistökaapeleihin. Maakaapeleissa täytyy lisäksi vielä tietää soveltuuko valittu kaapeli käytettävään asennustapaan. Käytettäviä asennustapoja on auraamalla, maahan suojahiekalla kanava- asennus ja asennus puhaltamalla. Maakaapelilla tyyppimerkintänä käytetään Drakan kaapeleissa FYOVD2PMU ja tämän jälkeen kuitujen määrää ilmoittava teksti, esim. 6*SML eli 6*yksimuoto valokuitukaapeli (Draka 2013).

Valokuidussa käytetään myös ilmakaapeleita. Siinä rakenne on tietysti vahvempi kuin vastaavalla maakaapelilla, koska siihen kohdistuvat rasitukset ovat erilaiset kuin maakaapelilla. Ilmakaapelilla ulkovaippa on yhtenäinen PE- vaippa, kannattimen ja kaapelisydämen päällä ns. kahdeksikkorakenne ja nimellispaksuus 1,6mm, mutta saadaan myös 2,1mm paksuisena. Kahdeksikkorakenteinen kannatinvaijerillinen ilmakaapeli pylvasasennuksiin kestää talvisten olosuhteiden jääkuormia sekä tuulen aiheuttamaa kuormitusta. Laajalämpötila- alue auttaa myös kestämään kuumatkin kesäpäivät. Kaa-

pelia kannattaa myös käyttää ja hyödyntää sähköverkon tiedonsiirron apuna haja- asutus alueella ilmalinjan keskittimien välisessä tiedonsiirrossa. Kaapelin tyyppimerkintä on FYOHBMUK.(Draka 2013).

Vesistökaapelit on tarkoitettu jokien, järvien ja merien asennuksiin. Tämä erikoiskaapeli on vahvan pyörölanka- armeerauksen ja hermeettisen suojan omaava kaapeli. Samainen kaapeli soveltuu erityisen vaativiin olosuhteisiin myös maakaapelina. Kaapelin rakenteena toimii toisiopäällyys: herneettinen, ruostumattomasta teräksestä hitsattu, erikoismassalla täytetty putki. Sisävaippa: musta säänkestävä polyeteeni. Armeeraus: kaksi kerrosta sinkittyjä teräslankoja, bitumia välissä sekä ulkovaippa musta säänkestävä polyeteeni. Kaapelityypimerkintä tällä on FYOVMPPW(Draka 2013).

4.4.2 Jakokaapit

Jakokaapit asennetaan suunnittelijan ohjeiden mukaan johtokaivantoihin ja kaappien koko määräytyy tulevien ja lähtevien kaapelimäärien mukaan sekä sen, kuinka vedetyt kaapelit halutaan jatkaa. Kaapeleiden jatkaminen ja tilaajien kytkeminen on sitä helpompaa, jos tarvittavaa tilaa kytkentätyöhön on riittävästi niin kuin kuvassa 13 näemme sitä olevan. Kuvassa 13 näemme, että jakokaapin sisään on asennettu erillinen kytkentäkaappi, johon valokuitujen jatkokset on asennettu levyille ja sen saa laittaneen paikoilleen takaseinässä oleviin koloihin. Näin tehdessä asennuksesta tulee siisti ja tulevat jälkikytkennät on helpompi tehdä oikeisiin kuituihin.



KUVA 13. Valokuitukaapelien jatkos- ja ristikytöntäkaappi (Draka 2013).

4.4.3 Jatkokset ja päätetekotelot

Sisätiloihin tarkoitetuissa jatkoissa vaatimukset esim. tiiviyn suhteen ei ole niin kriittisiä kuin ulkojatkoksissa. Sisäjatkoskotelointa käytetään yleensä ulkokaapelin vaihtamiseksi sisäkaapeliksi. Sisäjatkoksena sovelletaan myös esim. päätetekotelo, jolloin siinä on paikat avattaville liittimille(kuvassa 14). Sisäjatkos voi olla myös kaapillinen, jolloin siinä on runsaasti tilaa sekä tuleville että lähteville kaapeleille, kuten kuvassa 15 (Nestor 2011).



KUVA 14. Esimerkki sisäjatkoskotelosta



KUVA 15. Esimerkki sisäjatkoskaapista

Ulkokaapelijatkoksissa käytetään ihan tätä tarkoitusta varten suunniteltuja kotelaita tai kaapillisia rakenteita. Ulkokaapelin jatkoskotelon rakenne ja koon on suojattava ympäristön vaikutuksilta sekä annettava riittävä tila kuitujatkoksille ja kuitujen taivutus säteelle. Rakenteen tulee mahdollistaa myös kaapelin veto- ja lujite – elementtien kiinnitys sekä metalliosien maadoittaminen. Valittaessa jatkoskoteloita on tärkeää kiinnittää huomiota asennusympäristön asettamiin vaatimuksiin. Kotelon mekaaninen lujuus sekä tiiveys ovat erityisen merkittäviä asioita. Materiaaliksi jatkoskoteloiden on valittavissa joko metalli tai muovi.(Nestor 2011).

Jatkoskotelot soveltuvat luontevimmin suoriin kaapelijatkoksiin, joilla kasvatetaan reitille pituutta ja tehdään vaihdos ulkokaapelista sisäkaapeliin. Jatkoskoteloiden etuna voidaan pitää vapaata sijoitusmahdollisuutta: kaivo, suora maa- asennus, jakokaappi tai pylväs. Näillä jatkoskoteloiden voidaan toteuttaa myös pienin määrin haarajatkoksia. Rajana siinä on kaapelien läpivientiaukkojen lukumäärä. Suuntaus on kutisteettomiin ratkaisuihin kuten kuvassa 16(Nestor 2011).



KUVA 16. Ulkokaapelin jatkoskotelo (Nestor 2011).

Päättekoteloilla tarkoitetaan koteloita, jotka asennetaan suoraan seinälle. Päätettävän kaapelin kuidut liitetään yleensä päättekotelossa häntäkuituihin. Tarvittaessa päättekoteloon voidaan liittyä myös häntäkaapelilla, jolloin hitsausliitokset ovat erillisessä kotelossa kokonaan.(Nestor 2011.)

Yleensä päättekoteloita käytetään silloin, kun päätettäviä kuituja on vähän (4- 12). Päättekoteloiden sijoituksessa on otettava huomioon niiden tarvitseman suojauksen ja tietoturvaan liittyvät näkökulmat, kuten esim. lukittavuus ja kytkentäkaapeleiden suojaus. Yleisemmin käytetyssä päättekotelossa on 4- 12(24) liitinpaikkaa, kuvassa 17 näemme liitinpaikat kotelon pohjassa (Nestor 2011).

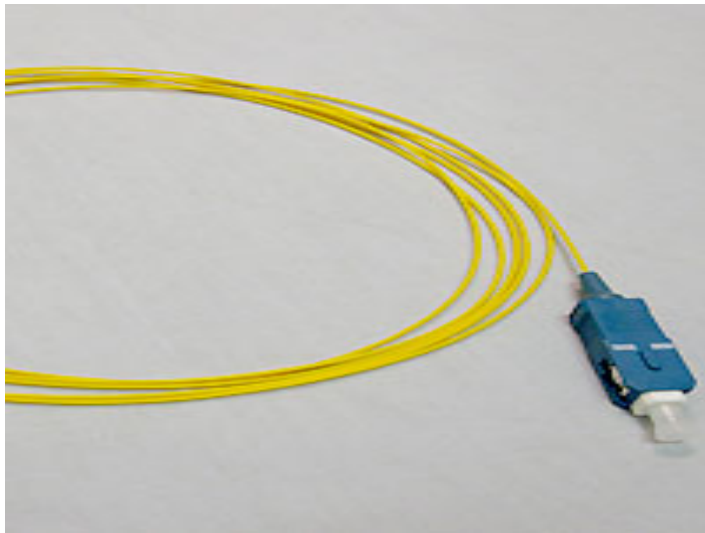


KUVA 17. Esimerkki päättekotelosta

4.4.4 Häntäkuidut

Häntäkuituja käytetään yleensä kaapelien päättämiseen tai ulkokaapelien liittämiseksi sisäkaapeleihin. Yleensä häntäkuidut ovat 2m mittaisia ja toisessa päässä on optinen liitin valmiina. Liittimet usein liitetään häntäkuitujen päähän valmiiksi tehtaalla.(Kuitu 2013).

Yksimuoto- ja monimuototekniikassakin yleisin liitin tyyppi on SC- liitin. Liitinrunko on muovia ja se on poikkileikkausmuodoltaan nelikulmainen. Liitin lukittuu kielekkeiden avulla. Kytkeminen ja avaaminen sujuvat yhtä helposti työntämällä ja vetämällä. Yleisemmin SC- liittimenpää ferrule on yksimuotokuidulla UPC- hiottu ja SPC- hiottu monimuotokuidulla.(Nestor 2011.)



KUVA 18. SC- liitin (Nestor 2011).

4.5 Valokuitukaapelin mittaus

Valokuitukaapelin kaapeloinnin tarkastuksiin kuuluu testauksia, silmämääräisiä tarkastuksia sekä dokumenttien tarkastuksia. Yleiskaapeloinnin optisen kaapeloinnin jälkeen suositellaan tehtäväksi seuraavat tarkastukset ja testaukset:

- kuitujen jatkuvuus ja kytkennät mittauksen ja läpisoiton perusteella
- vaimennus ja pituus mittauksen perusteella
- liittimiin päätettyjen kuitujen liittimien kunto ja puhtaus
- kaapeleiden asennustapa silmämääräisesti katsottuna
- jakamoiden kokoonpano ja asennustapa silmämääräisesti

- tietoliikennesiirtojen paneelien, telien, kaapin yms. merkinnät
 - kaapeloinnin kokoonpano ja siirtoteiden pituudet
 - käytettyjen rakenteiden spesifikaationmukaisuus ja standardisointi
- (Nestor 2011).

Vaimennuksen mittaaminen tehomittaparilla on keskeisin ja tärkein mitta. Kytkennän testaus ei välttämättä ole erillinen toimenpide, koska kytkentävirheet paljastuvat yleensä jo vaimennusmittauksen yhteydessä. Myös useimmilla mittauslaitteilla pituus saadaan mitatuksi vaimennusmittauksen yhteydessä. Tehomittapari koostuu kahdesta laitteesta: valonlähde ja optinen tehomittari.(Nestor 2011).

Kuituliittimien puhtaus on erityisen tärkeää. Kuituliittimien turha irrottelu saattaa aiheuttaa liittimenpään likaantumisen ja sen voi aiheuttaa liikenteen hidastelua ja pätkimistä. Yhteyden mittaamisen ja kunnossa olemisen toteamisen jälkeen jää yhteyden ristikiytäpaikkojen läpi käyminen ja liittimien likaisuuden tarkistaminen. Liittimien pienikin likaantuminen tulee esille etenkin suurilla tiedonsiirto nopeuksilla, jolloin yhteyden hidastuminen alkaa näkyä.

Tutkamittaus optistenkaapeleiden asennuksen yhteydessä on yleinen niiden käytön aikana. Kuidun tutkimus perustuu kuidun takaisinsirontaan ja valon heijastumiseen taitekertoimen muutoskohdista. Valokaapelitutkasta käytetään useimmin lyhennettä OTDR (Optical Time Domain Reflectometer).

Valokaapelitutkalla saadaan selville seuraavat asiat:

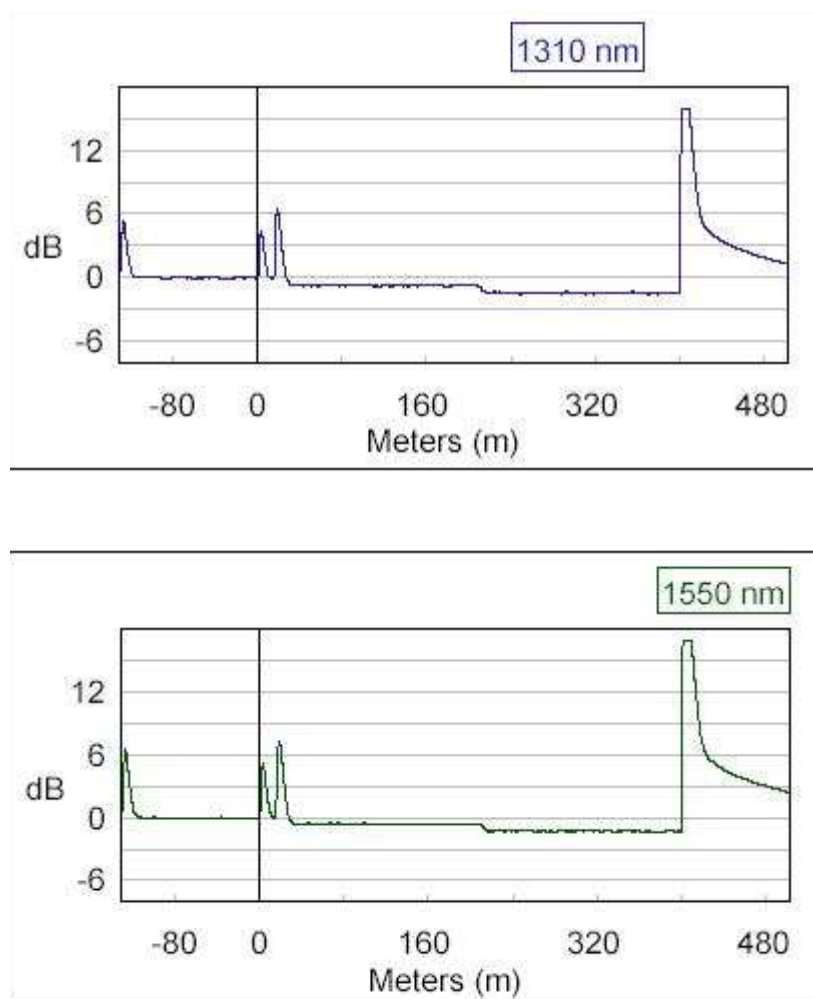
- kuidun vaimennus ja sen jakautuminen pitkin kuitua
 - jatkoksien ja liittosten vaimennukset ja sijaintikohdat
 - kuidun pituus
 - mahdollisten kuitukatkoksen sijaintikohta
- (Nestor 2011,142).

Markkinoilla on useita eri merkisiä valokaapelitutkia, joiden ominaisuudet eroavat toisistaan lähinnä käytettävyyden ja PC- ohjelmistojen osalta. Hankittaessa valokaapelitutkaa tulisi tietää käytettävät kuitutyypit, vaadittava tehotaso ja vaadittavat lähetti-

met. Valokaapelitutkat ovat hankintahinnaltaan melko kalliita ja niitä käytetään erikoistapauksissa esim. pitkien aluekaapelointien vianselvityksessä (Nestor 2011, 142-143).

4.5.1 Huono hitsaus

Valokuitukaapelin hitsausten jälkeen kaapeli tutkaamalla varmistetaan, että se on ehjä. Kuvassa 19 näemme, miltä näyttää tutkalla mitattu kuituyhteys ja missä on huonosti hitsattu jatko molemmilla aallonpituuksilla.

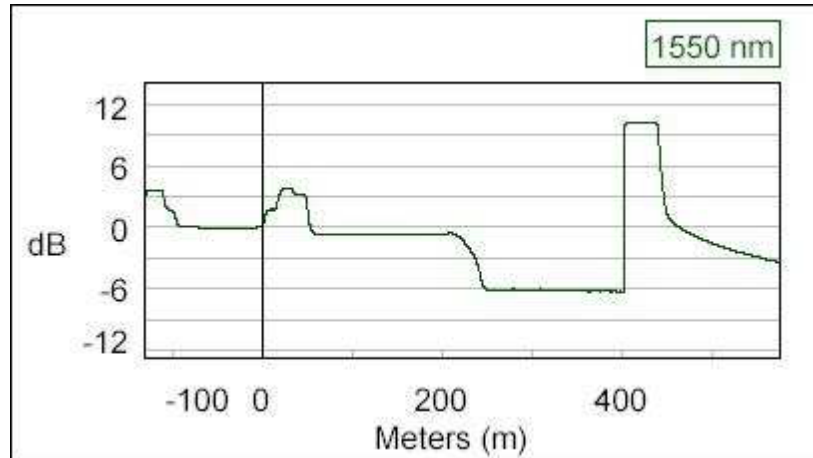
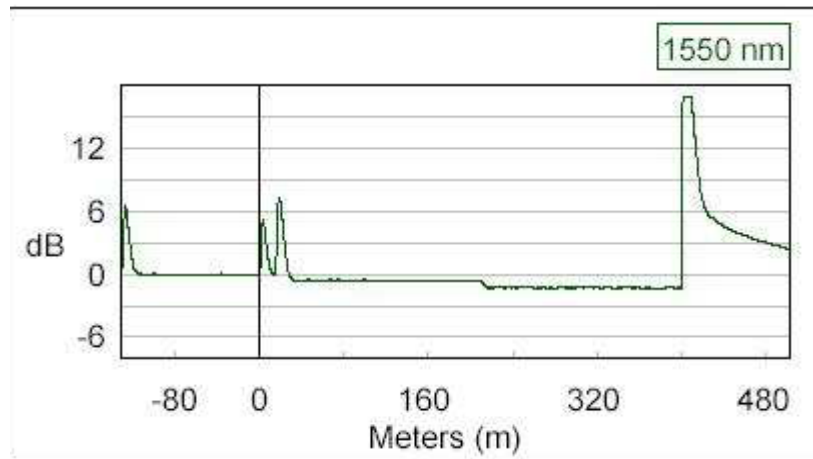


KUVA 19. Huonon hitsauksen tutkagrafiikka näyttö

Kuvissa kuidun hitsauskohta näkyy loivana kaareutumana alaspäin ja jatkuu siitä loppuun asti tasaisena (Grbic, 2010).

4.5.2 Jyrkkä taitos

Valokuitukaapelia asennettaessa kaivettuun ojaan sitä ei saa taittaa liian jyrkälle kaarelle. Kaapeliin esille tulevat jyrkät taitoksen voivat tulla kivien aiheuttamasta painosta tai kaapelin käsittelystä hitsauksen aikana. Kuvassa 20 näemme, miltä jyrkkä taitos näyttää molemmilla aallonpituuksilla.



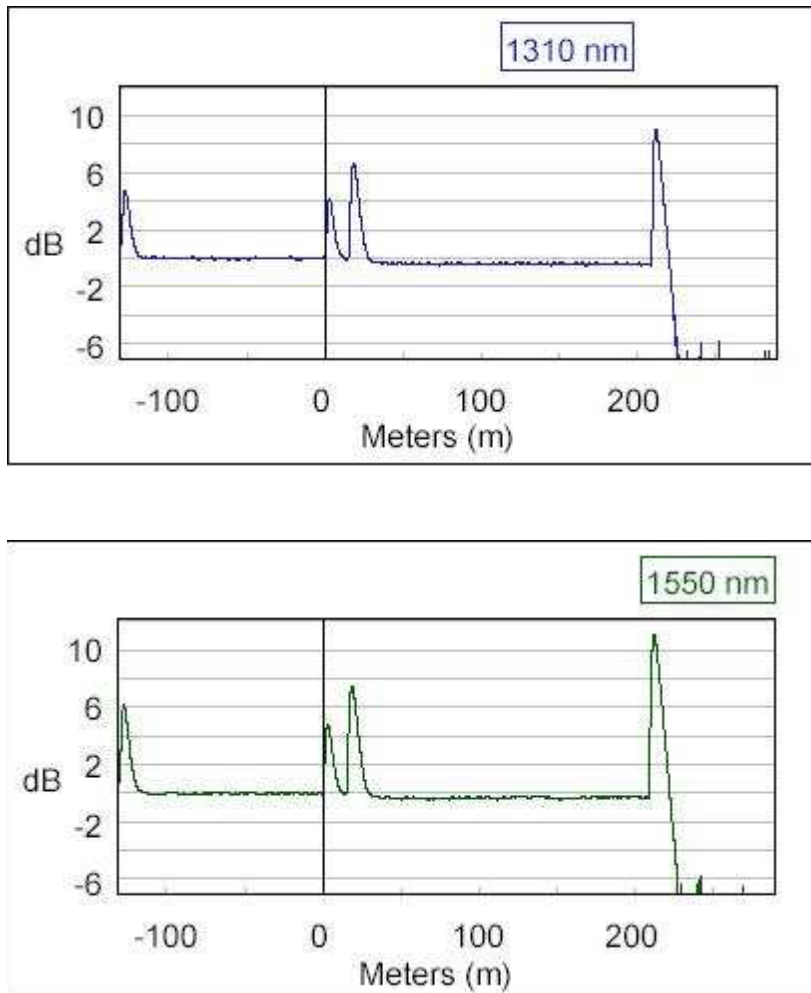
KUVA 20. Kaapelissa oleva jyrkkä taitos

Kuten kuvassa 20 näemme, noin 200 metrin päässä on jyrkkä taitos joka näyttää tutkan näytöllä tällaiselta (Grbic, 2010).

4.5.3 Katkos

Katkos kuituun voi tulla monelta tapaa. Yleisemmin katkos tapahtuu kuitujatkoksen tekovaiheessa, jolloin sitä ei aina huomata. Kuitu on voinut olla ehjä, kun se on asen-

neltu siististi jatkospaneelille, mutta on sen jälkeen katkennut jatkosholkin juuresta, mistä se usein katkeaa jatkospaneelia asennettaessa lopullisesti paikoilleen. Katkoksen näemme kuvassa 21 tutkakaapelinäytöllä (Grbic, 2010).



KUVA 21. Katkos mitatusta kuidusta

Havaitsemme kuvasta katkoksen olevan hivenen yli 200 km:n päässä ja samoin näemme, ettei tutka pysty mittaamaan kuidun loppu osaa (Grbic 2010).

4.6 Valokuidun tulevaisuus

Internetin suosio on ylittänyt kaikki odotukset ja sen tarjoamat palvelut lisääntyvät ja monipuolistuvat koko ajan. Tämän päivän tunnetuista tekniikoista vain optinen kuitutekniikka pystyy vastaamaan yhä kasvavien siirtotarpeiden asettamiin haasteisiin. Valokaapeli mahdollistaa kokonaan laaja-

kaistaisen tiedonsiirron suurta siirtonopeutta vaativine palveluineen. Ääni, liikkuva kuva, teksti ja nopea data sekä näiden yhdistelmistä koostuvat erilaiset multimediapalvelut siirtyvät parhaiten juuri optista kuitua pitkin (Netlab 2013).

Jotta tulevaisuudessa kasvava kapasiteettitarve pystytään toteuttamaan, ei riitä pelkästään nopeat kuituyhteydet paikasta toiseen, vaan tarvitaan myös elektroniikkaa, joka pystyy käsittelemään suuria terabittiluokan datavirtoja. Tähän valtavaan haasteeseen vastaa järjestelmien integroitumisaste, joka tulevaisuudessa tulee olemaan nykyistä huomattavasti suurempi. Valokuiduissa käytettävä lasi- ja kvartsimateriaali ovat erittäin puhtaita, mutta käytännössä sen pinnalle jää aina pieniä määriä epäpuhtauksia. Nämä epäpuhtaudet aiheuttavat lasikuidun pinnalle vaimentavan vaikutuksen. Tulevaisuudessa tämä ongelman poistuminen mahdollistaa suuremmat tiedonsiirtonopeudet (Netlab 2013).

Tiedonsiirrossa vallitsevat kehitystrendit ovat optisen kuidun lähestyminen loppukäyttäjää (kotia, koulua tai toimistoa) sekä langattomien järjestelmien nopea kehitys ja lisääntyminen. Voidaan sanoa, että olemme tiedonsiirtoverkkojen vallankumouksen kynnyksellä, jossa kovaa kasvava kapasiteetti ja erilaiset sovellukset sekä palvelut asettavat erittäin suuria vaatimuksia optisille verkoille. Kuitenkin, uudet kuitutekniikat, järjestelmien kasvava integroitumisaste ja nopeat kytkimet tulevat vastaamaan haasteeseen. Suuret ja halventuvat kaistanleveydet mahdollistavat uusiin innovaatioihin ja maailmaan, jossa loppujen lopuksi kaikki informaatio saapuu koteihimme optista kuitua pitkin (Netlab 2013).

5. YHTEENVETO

Tämän lopputyön tavoitteena oli etsiä parannuskeinoja sähkönjakeluun ja siellä kulkevan tiedonsiirron varmentamiseen. Työssä arvioitiin erilaisia teknisiä ratkaisuja

parantaa sähkönjakelun luotettavuutta sekä katkosaikojen lyhentämistä ja ottaa uutta tekniikkaa käyttöön siihen ja tiedonsiirron varmentamiseen.

Kaupunkialueella ja sen lähiympäristössä käyttövarmuus sekä keskeytysajan lyheneminen lyhenee kaapeloinnin ja uusien varasyöttöteiden avulla nopeasti. Haja- asutus- alueella uudistaminen on vielä hivenen hidasta, mutta uuden tekniikan ja kaapeloinnin avulla sielläkin päästään lyhkäisimpiin keskeytysaikoihin ja verkon parantaminen etenee sielläkin hyvää vauhtia. Parantaviin seikkoihin vaikuttaa kauko- ohjattavien erottimien ja verkkokatkaisijoiden lisäys verkon oikeisiin kohtiin sekä syöttöalueiden pienentäminen.

Uutta 1000V tekniikkaa kannattaa hyödyntää, koska sillä voidaan korvata kj- haaroja ja poistaa pienjännitejohdoista löytyviä sähkönlaatuongelmia. Hyvä käyttökohde 1000V järjestelmälle on kesämökkialueiden sähköistäminen.

Valokuitukaapeleiden käyttö tulee lisääntymään myös sähköyhtiöiden tiedonsiirrossa. Siinä tiedonsiirron kapasiteetti on suuri, eikä rajaa ole näkyvissä. Kaapeleiden laitto kannattaa laittaa muun kaapelivedon yhteydessä ja siten kerätä tiedot keskittimiltä verkkoyhtiöön. Kuitukaapelit tuovat nopeutta ja mahdollistavat uusien palveluiden synnyttämistä, mutta siellä pitää myös varautua mahdollisiin ongelmatilanteisiin, kuten pölyn ja liittimien likaisuuteen ym. seikkoihin ja silloin on hyvä olla varayhteydet kytkettyinä, ettei tiedonsiirto keskeydy kokonaan. Näillä toimilla parannetaan sähkön- siirron luotettavuutta paljon ja katkosajat saadaan hyvin kohtuullisiksi.

LÄHTEET

Grbic Almin 2010. Optisen verkon suunnittelu. Vaasan ammattikorkeakoulu, tekniikka ja liikenne. Opinnäytetyö.

Eskelinen, Janne 2008. Sähkönjakeluverkon käyttövarmuuden kehittäminen. Lappeenrannan Teknillinen yliopisto, Sähkötekniikka, Sähkömarkkinoiden opintosuunta. http://www.lut.fi/fi/technology/electrical_engineering/. Luettu 19.3.2013

Elovaara Jarmo, Haarla Liisa 2011. Sähköverkot II, verkon suunnittelu, järjestelmät ja laitteet. Tallinna: Raamatutrükikoda.

Haakana Juha 2007. Luotettavuuspohjaisen verkostanalysointijärjestelmän kehittäminen. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, sähkötekniikan osasto. Kandidaatintyö. <http://www.ee.lut.fi/fi/lab/sahkomarkina>. Luettu 19.3.2013

Helander Niklas 2011. Passiiviset kuituverkkoratkaisut, Turun ammattioppilaitos. Opinnäytetyö.

Hokkanen Jouko 2012. Sähkönjakeluverkon luotettavuuteen tähtäävien teknologioiden vieminen käytäntöön. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu, Ylempi ammattikorkeakoulu, Teknologiaosaamisen johtaminen, opinnäytetyö.

Kaapeli kaivannot.

http://www.rts.fi/infraryl/infraryl_paivitystiedostot_011012/16212_kaapelikaivannot_paivitys_2012_10_01.pdf. Luettu 27.3.2013.

ely-keskuksella 2013. Kaapelointi luvat. Pdf-dokumentti.

<http://www.ely-keskus.fi/liikenne/lupaasiat/kaapelitjohdotputket/sivut/default.aspx>.

Luettu 27.3.2013.

Kumpulainen Lauri 2006. Verkkovisio 2030 jakelu- ja alueverkkojen teknologiavisio. Kumpulainen, L, Laaksonen, H, Komulainen, R, Martikainen, A, Lehtonen, M, Heine, P, Silvast, A, Imris, P, Partanen, J, Lassila, J, Kaipia, T, Viljanen, S, Verho, P, Järven-

tausta, P, Kivikko, K, Kauhaniemi, K, Lågland, H & Saaristo, H. 2006. VTT Tiedotteita 2361. Luettu 28.3.2013

Lakervi Erkki, Partanen Jorma 2008. Sähkönjakelutekniikka. Helsinki: Hakapaino.

Lohjala Juha 2005. Haja- asutusalueiden sähkönjakeluvarmuuden kehittäminen - erityisesti 1000V jakelujännitteen käyttömahdollisuudet. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, sähkötekniikan osasto.

www.doria.fi/bitstream/handle/10024/45440/isbn952214004x.pdf?sequence=1. Luettu 20.3.2013

Maankäyttö- ja rakennuslaki 1999.

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132#L12P84>. Luettu 25.3.2013.

Nestor Cables 2011. Kiinteistöjen optiset kaapeloinnit kirja.

Nyyssönen Ville 2011. Kuopion energian viestiverkon kartoitus ja kehittäminen. Savonia ammattikorkeakoulu, elektroniikan koulutusohjelma, Opinnäytetyö.

Partanen Jorma 2006. Sähkönjakeluverkkoon soveltuvat toimitusvarmuuskriteerit ja niiden raja- arvot sekä sähkönjakelun toimitusvarmuudelle asetettavien toiminnallisten tavoitteiden kustannusvaikutukset. Lappeenrannan teknillinen yliopisto ja Tampereen teknillinen yliopisto, sähkövoimatekniikka.

http://www.tem.fi/files/33733/sahkonjakeluverkkoon_soveltuvat_toimitusvarmuuskriteerit_ja_niiden_raja-arvot...26.10.2006.pdf. Luettu 22.3.2013.

Peijarinniemi Ville 2007. Haja- asutus ja maaseutualueiden pienjänniteverkon rakentamisen ja saneeraamisen yhdenmukaisuus. Tampereen ammattikorkeakoulu, sähkövoimatekniikka. Opinnäytetyö.

Penttinen Jyrki 2006. Tietoliikennetekniikka perusverkot ja GSM. Porvoo: WSOY.

Sarvaranta Anni 2010. Älykkäät sähköverkot ja niiden kehitys Euroopan unionissa ja Suomessa, Aalto- yliopisto tekninen korkeakoulu energiatekniikan laitos, harjoitustyö.

http://www.energia.fi/sites/default/alykkaat_sahkoverkot_2010_diplomityo_anni_sarvaranta.pdf. Luettu 28.3.2013.

Sähkö on peruspalvelu. <http://www.energia.fi/energia-jaymparisto/sahkontuotanto>. Luettu 25.3.2013.

Valokuitukaapelit.

http://www.draka.fi/draka/Countries/Draka_Finland/Languages/suomi/navigaatio/Tuotteet/Tietoliikenneverkot/valokaapelit/index.html. Luettu 4.4.2013.

Valokuitujen tulevaisuus. <http://www.netlab.tkk.fi/opetus>. Luettu 9.4.2013.

Valtioneuvoston päätös. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup./2009/20090066>. Luettu 28.3.2013.

Verkkotopologia.

http://www.kuitu.net/portal/fi/kuituinfo/optinen_liityntaverkko/verkon_rakenne/verkkotopologia/. Luettu 4.4.2013.